

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ПОИСКОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОЛЬФРАМА

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

МОСКВА, 1975

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ:

«НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОЛЬФРАМА

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

(одобрено Бюро Межведомственного Совета по проблеме:
«Научные основы геохимических методов
поисков месторождений полезных ископаемых»)

МОСКВА, 1975 г.



*Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
Л. Н. ОВЧИННИКОВ*

Составители:

ГРИГОРЯН С. В., АБРАМСОН Г. Я., ДЕРГАЧЕВА Г. М.,
ДРЕУС Ю. Т., КЛЮЕВ О. С., МОРОЗОВ В. И.



ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ
И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

ВВЕДЕНИЕ

Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых получают все более широкое признание и практическое применение. Роль этих методов особенно возрастает в связи с проблемой поисков скрытых месторождений, поскольку они представляют собой основной резерв обеспечения народного хозяйства минеральным сырьем, так как по мере развертывания геологоразведочных работ фонд легко открываемых месторождений (выходящих на дневную поверхность) истощается и во многих традиционных горнорудных районах практически уже исчерпан.

Именно поэтому в настоящей работе основное внимание уделено рассмотрению вопросов использования при поисково-разведочных работах первичных геохимических ореолов—прямых признаков слепых и слабоэродированных эндогенных месторождений. Вторичные литохимические ореолы рассеяния элементов-индикаторов рассматриваются как гипергенные аналоги первичных ореолов и только в связи с возможностью их использования при поисках слепого и слабоэродированного оруденения.

Из геохимических методов при поисках и оценке вольфрамовых месторождений решающее значение приобретают литохимические, поскольку другие (гидрохимический, метод литохимических потоков рассеяния и т. д.) обычно применяются на этапе региональной геологической съемки, когда геохимическая информация используется для составления прогнозо-металлогенических карт. Эти вопросы в данной работе не рассматриваются, поскольку в ИМГРЭ готовится специальное пособие, посвященное методике использования геохимической информации при построении прогнозно-металлогенических карт рудных районов.

Цель настоящей работы—оказать помощь широкому кругу геологов в деле практического применения литохимических методов при поисках и разведке вольфрамовых месторождений и способствовать широкому внедрению этих методов в практику геологоразведочных работ.

Учитывая новизну проблемы литохимических поисков слепого и слабоэродированного вольфрамового оруденения, следует признать чрезвычайно актуальным оперативное обобщение результатов апробации рекомендуемой методики в производственных условиях с целью оценки ее эффективности и, что не менее важно, дальнейшего ее совершенствования.

В работе использованы результаты исследований авторов, выполненных под руководством С. В. Григоряна. Эти исследования выполнены по единой методике, и поэтому их результаты позволяют рекомендовать в настоящей работе единые принципы обнаружения и интерпретации геохимических аномалий при поисках эндогенных месторождений вольфрама, вытекающие в основном из особенностей развития первичных и сопряженных с ними вторичных геохимических ореолов расщепления элементов-индикаторов.

Авторы рассматривают эту работу как первый, а потому не лишенный недостатков опыт, который требует улучшения как путем дальнейшего изучения литохимических ореолов вольфрамовых месторождений, так и на основе критического анализа результатов внедрения рекомендуемой методики в практику геологоразведочных работ, и будут признательны за критические замечания и пожелания.

Авторы выражают благодарность Ф. Э. Апельцину и Г. И. Россману за просмотр рукописи и полезные советы.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ ВОЛЬФРАМОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Методика изучения ореолов

Изучение первичных геохимических ореолов рудных месторождений, в том числе и вольфрамовых, начато сравнительно недавно, а потому методы сбора материала и обработки цифровых данных постоянно совершенствуются, обновляется и набор методических приемов обработки геохимической информации. В связи с этим, прежде чем перейти к описанию особенностей развития первичных геохимических ореолов вольфрамовых месторождений, рассмотрим кратко методы сбора и обработки геохимической информации при изучении закономерностей распределения химических элементов в околодрудном пространстве.

Опробование, обработка и анализ проб. Основой разработки методов поисков рудных месторождений по первичным ореолам служат результаты изучения особенностей распределения химических элементов вокруг известных, «эталонных» рудных тел и месторождений. Подобные исследования обычно заключаются в геохимическом опробовании рудных тел и вмещающих пород в плане и разрезе. По результатам обработки анализов отобранных геохимических проб устанавливаются особенности первичных ореолов, которые в последующем используются при интерпретации геохимических аномалий, выявленных в процессе геологоразведочных работ.

Изучение первичных ореолов производится путем опробования рудовмещающих коренных пород по серии заранее выбранных разрезов или профилей, обычно ориентированных вкrest простирации рудолокализующих структур. Профили опробования по возможности должны выходить за пределы контуров измененных пород. По линии профиля (будь то стен-

ка горной выработки или керн разведочной скважины) с интервалом 5—10 м отбираются геохимические пробы. Геохимическое опробование коренных пород сопровождается геологическим описанием опробуемых интервалов.

Поиски рудных месторождений по геохимическим ореолам требуют отбора и анализа огромного количества проб, поэтому производительность пробоотбора является решающим фактором при выборе метода опробования. В качестве основного метода опробования рекомендуется метод так называемой «пунктирной борозды», который заключается в отборе из интервала опробования через равные расстояния 5—6 мелких сколков пород (размер одного сколка примерно 3—4 см² в поперечнике) общим весом 100—150 г.

Пробы дробятся до —1 мм. Часть материала после дробления и квартования подвергается истиранию. При этом должно быть обращено особое внимание на чистоту обработки проб с целью исключения возможности их заражения посторонним материалом. Подготовленные навески подвергаются приближенно-количественному спектральному анализу на широкий круг химических элементов-индикаторов вольфрамового оруденения.

Контроль качества аналитических работ производится в соответствии с требованиями «Инструкции...» (1965).

Методы обнаружения первичных ореолов. Обнаружение и оконтуривание первичных геохимических ореолов производится по общепринятой методике, основанной на сравнении исследованных участков с фоновыми. Для расчета параметров фонового распределения элементов и определения на этой основе минимально-аномальных концентраций химических элементов рекомендуется использовать результаты геохимического опробования коренных пород на специально выбранных «фоновых» участках, не несущих следов проявления рудной минерализации.

Как показывает опыт, оконтуривание первичных ореолов химических элементов по величинам минимально-аномальных содержаний, рассчитанным с 5%-ным уровнем значимости, дает вполне удовлетворительные результаты.

Для усиления слабых ореолов с упехом могут быть использованы методы посторония суммарных ореолов. Если построение суммарных ореолов производить путем простого сложения в каждой пробе содержаний элементов-индикаторов, нормированных через среднефоновые их содержания в рудовмещающих породах, и оконтурить ореолы по величине минимально-

аномального суммарного содержания элементов-индикаторов, получим суммарные ореолы, названные *аддитивными* (Григорян, 1974).

Аддитивные ореолы по сравнению с моноэлементами являются более значительными по контрастности, а также по размерам. Благодаря направленному усилению коррелирующих полезных сигналов влияние случайных ошибок сводится к минимуму, в связи с чем аддитивные ореолы проявляют более тесную связь с геолого-структурными особенностями рудных тел и месторождений, что в свою очередь существенно повышает надежность их интерпретации.

Аналогичные результаты будут получены, если вместо сложения производить перемножение содержаний элементов-индикаторов в каждой пробе и построить по этим данным ореолы, которые можно назвать *мультипликативными* (Григорян, 1974).

Метод мультипликативных ореолов по сравнению с аддитивными менее трудоемок в вычислениях, поскольку при их построении отпадает необходимость в нормировании во всех отобранных пробах содержаний каждого из элементов-индикаторов через их фон. В случаях, когда из-за недостаточной чувствительности анализа значимые содержания тех или иных элементов не обнаружены, содержания элементов условно приравниваются к половине порога чувствительности анализа.

Методы изучения зональности первичных ореолов. Зональность первичных геохимических ореолов имеет большое практическое значение, она используется при интерпретации геохимических аномалий, например, в качестве критерия оценки уровня эрозонного среза.

Поскольку первичные ореолы являются многокомпонентными, всегда возникает необходимость сравнительной оценки зональности ореолов различных элементов с целью выбора наиболее эффективных элементов-индикаторов зональности.

Для этой цели рекомендуется использовать *показатель зональности* элемента-индикатора, который представляет собой отношение продуктивности ореола одного элемента к сумме продуктивностей ореолов всех элементов-индикаторов данного типа оруденения. При этих подсчетах производится нормирование средних содержаний элементов по величинам их среднефоновых содержаний.

Конкретные примеры расчета показателя зональности и составления рядов зональности элементов-индикаторов при-

водятся при описании первичных ореолов исследованных месторождений.

Зональность в строении суммарных ореолов выявляется путем построения частных суммарных ореолов, которые, в отличие от общих, строят для групп элементов с близким распределением (надрудные и подрудные элементы). Выбор этих групп элементов производится на основе рядов элементов-индикаторов зональности.

Конкретные примеры суммарных ореолов также будут рассмотрены при описании первичных геохимических ореолов различных месторождений.

Ниже рассматриваются особенности первичных ореолов вольфрамовых месторождений различных рудных формаций. При этом наиболее подробно будут описаны первичные ореолы месторождений скарново-шеелитовой формации—наиболее сложные по строению, что обусловлено прежде всего формированием так называемых «полиформационных ореолов», образовавшихся в результате совмещения в пространстве различных по составу рудных тел.

Первичные ореолы скарново-шеелитового оруденения

Месторождение Шурале

Месторождение Шурале расположено на восточном фланге Чорухдайронского рудного поля в горах Моголтау (Средняя Азия). Рудные тела месторождения залегают в крутопадающих трещинных зонах в гранодиоритах, сопровождаемых альбитизацией и скарнированием.

Основными рудными минералами на месторождении являются шеелит и молибденит. В подчиненном количестве встречаются пирит, халькопирит и другие. Эти минералы образуют вкрапленность, гнезда, прожилки и линзы небольших размеров в скарнах, скарнированных и альбитизированных породах.

На месторождении установлены три продуктивные ассоциации минералов (Кристальный, 1963): кальцит-шеелит-гранатовая, шеелит-сульфидно-альбитовая и шеелит-сульфидно-кварцевая.

На рис. 1 приведены первичные ореолы химических элементов, оконтуренные вокруг рудоносной зоны Шурале-I в ее центральной части,

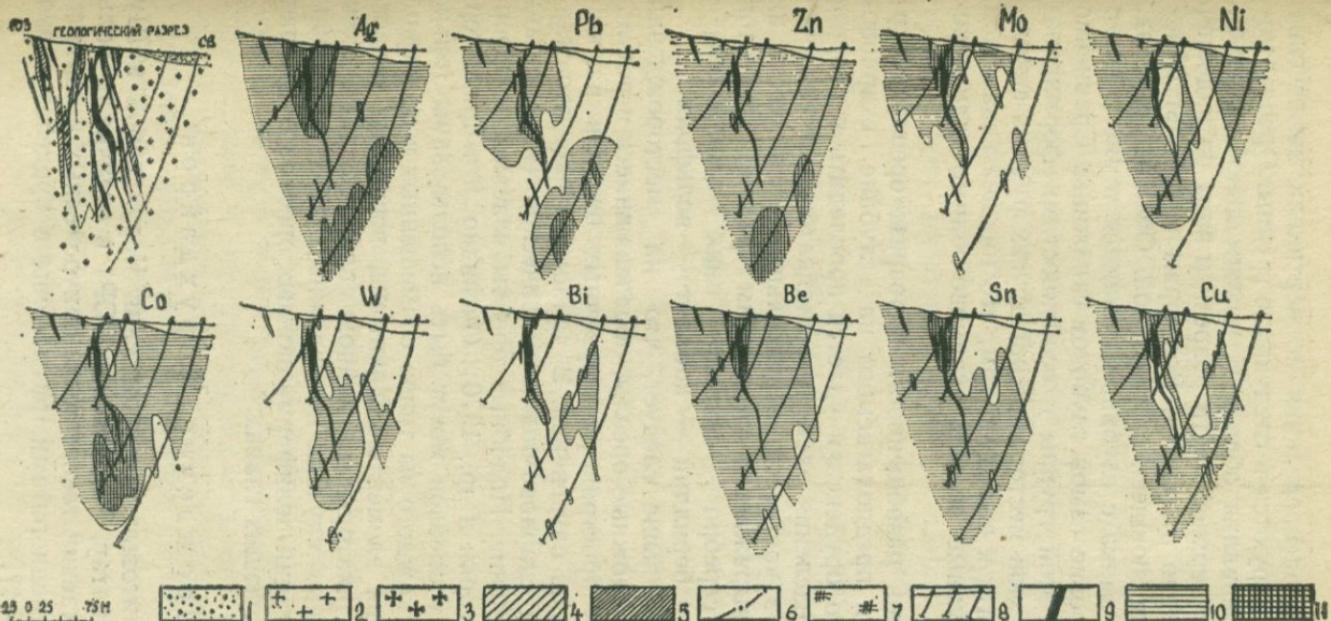


Рис. 1. Первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения Шурале (геологическая основа по П. В. Мамонтову)

1—насосы; 2—гранодиориты; 3—альбитизированные гранодиориты; 4—интенсивно альбитизированные гранодиориты; 5—альбититы; 6—тектонические нарушения; 7—скарнирование; 8—интервалы опробования; 9—рудное тело. Содержания, %: 10—серебро 0,000005—0,00001, свинец 0,001—0,01, цинк 0,005—0,01, молибден, олово 0,0001—0,001, никель, кобальт 0,0003—0,001, вольфрам 0,0003—0,02, висмут 0,0001—0,0003, бериллий 0,0003—0,0005, медь 0,001—0,25; 11—серебро 0,0000—0,015; свинец 0,01—0,1, цинк 0,01—0,2, молибден 0,001—0,009, кобальт 0,001—0,002, бериллий 0,0005—0,001, олово 0,001—0,01

По особенностям распределения по вертикали химические элементы дифференцируются в следующие группы. Ореолы молибдена, олова и бериллия обладают максимальной шириной и интенсивностью в верхней части разреза и вниз по падению рудных тел постепенно сужаются. Вольфрам и кобальт образуют ореолы, расширяющиеся с глубиной. Ореолы серебра, свинца и частично цинка с глубиной сужаются и затем резко расширяются на уровне самой глубокой скважины. Сравнение ореолов элементов этой группы с особенностями формирования первичных ореолов месторождений других рудных формаций позволяет прийти к выводу о том, что нижней скважиной обнаружены надрудные ореолы скарново-полиметаллического оруденения.

Благодаря четкой разобщенности в разрезе ореолов скарново-шебелитового и предполагаемого на глубине скарново-полиметаллического оруденения удается проследить в разрезе особенности распределения элементов-индикаторов шебелитового оруденения и, в частности, вертикальную зональность их ореолов, которая выражается следующим рядом элементов (сверху — вниз): серебро — свинец — цинк — молибден — висмут — олово — бериллий — кобальт — вольфрам.

Из изложенного выше следует, что на месторождении Шурале выявлены сложные ореолы, образовавшиеся в результате наложения в пространстве первичных ореолов различных по составу типов оруденения. В данном случае — это скарново-шебелитовое и скарново-полиметаллическое (на нижних горизонтах) оруденение. Подобные ореолы названы полиформационными (Григорян и др., 1970). Очевидно, что при интерпретации подобных ореолов могут быть использованы только типоморфные для каждого из типов совмещенных в пространстве месторождений элементы-индикаторы, поскольку «сквозные» элементы-индикаторы (в данном случае свинец, цинк, серебро) в подобных случаях не надежны. Более подробно вопросы интерпретации полиформационных ореолов будут рассмотрены в последующих главах.

Месторождение Чорухдайрон

Скарново-шебелитовые месторождения Чорухдайрон и Шурале (хребет Моголтау, Таджикская ССР) в отличие от большинства месторождений такого типа, приуроченных к контакту известняков с гранодиоритами, размещены в пределах гранодиоритов (рис. 2—4).

Шеелитовая минерализация на месторождении Чорухдайрон приурочена к протяженным зонам разломов северо-восточного простирания, имеющим весьма сложное строение. Падение рудоносных зон, как правило, северо-западнее и юго-восточное, крутое (70 — 85°). Рудные тела залегают в скарнах, преобладающим минералом которых является скаполит. Для рудоносных зон характерна также альбитизация пород, по размерам обычно превосходящая скарны.

На месторождении выделяются пять стадий минералообразования (Кристальный, 1963): 1—гранат-пироксен-скаполитовая; 2—шеелит-гранатовая (основные рудные минералы: шеелит, пирит, магнетит); 3—шеелит-альбит-водносиликатная с сульфидами (основные рудные минералы: шеелит, молибденит, халькопирит, пирит); 4—флюорит-баритовая; 5—кальцитовая.

Промышленное оруденение установлено в рудных зонах Главная, Новая и Диагональная. Оруденение Главной зоны существенно шеелитовое, на глубине около 400 м переходит в молибденитовое. Рудные тела зон Новая и Диагональная шеелит-халькопирит-молибденитового состава.

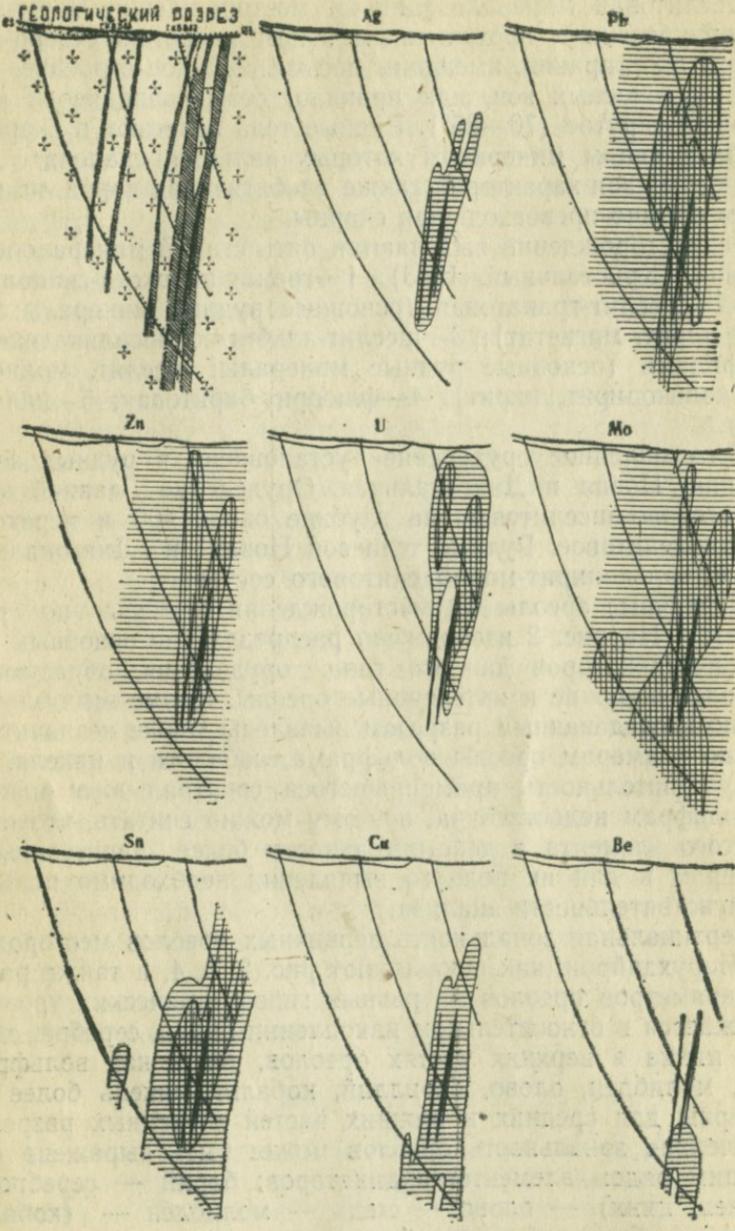
Первичные ореолы на месторождении изучены по ряду разрезов. На рис. 2 изображено распределение основных элементов-индикаторов данного типа оруденения, образующих наиболее широкие и интенсивные ореолы. Кроме этих элементов, по исследованным разрезам выявлены также незначительные по размерам ореолы вольфрама, кобальта и никеля.

Чувствительность применявшегося спектрального анализа на вольфрам недостаточна, поэтому можно считать, что ореолы этого элемента в действительности более значительны по размерам и для их полного выявления необходимо повышение чувствительности анализа.

Вертикальная зональность первичных ореолов месторождения Чорухдайрон, как показывают рис. 2, 3, 4, а также расчеты параметров ореолов на разных гипсометрических уровнях, выражается в относительном накоплении бария, серебра, свинца и цинка в верхних частях ореолов, тогда как вольфрам, медь, молибден, олово, бериллий, кобальт, никель более характерны для средних и нижних частей изученных разрезов. Отмеченная зональность ореолов может быть выражена следующим рядом элементов-индикаторов: барий — серебро — (свинец, цинк) — олово — медь — молибден — (кобальт, никель) — бериллий — вольфрам.

Следует особо остановиться на особенностях развития пер-

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФЕСС



— 1 2 3 4 5 6 7 8

Рис. 2. Первичные ореолы вокруг рудных тел зоны Диагональной месторождения Чорухдайрон (геологическая основа по Б. В. Кристаль-ному)

1—насосы; 2—гранодиориты; 3—зона альбитизации; 4—тектонические нарушения; 5—интервалы опробования; 6—рудные тела. Содержания, %:

7—серебро 0,00005—0,0001, свинец 0,003—0,01, цинк 0,005—0,01, уран 0,0002—0,0003, молибден 0,0001—0,0003, олово 0,0005—0,001, медь 0,003—0,3, бериллий 0,0001—0,001; 8—свинец 0,01—0,03, цинк 0,01—0,03, уран 0,0003—0,001, молибден 0,0003—0,001, олово 0,001—0,003

вичных ореолов молибдена. Как следует на рис. 2, в строении первичных ореолов молибдена выделяются два ярко выраженных максимума — в надрудной и подрудной частях. Вероятнее всего это представляет собой результат наложения на шеелитовое оруденение ореолов самостоятельного молибденитового этапа минерализации, проявленного в данном случае на глубоких горизонтах месторождения. Верхний максимум — это ореол молибдена, сопровождающий шеелитовое оруденение, а нижний — ореолы собственно молибденитового оруденения. Это означает, что в ряду зональности элементов-индикаторов молибден должен стоять левее вольфрама, так как он образует надрудные (относительно рудных тел шеелитового состава) ореолы. Однако очевидно, что в подобных условиях, когда формируются полиформационные ореолы (в данном случае — совмещение ореолов шеелитового и молибденитового оруденения), молибден как «сквозной» для обоих типов оруденения должен быть исключен из числа основных элементов-индикаторов.

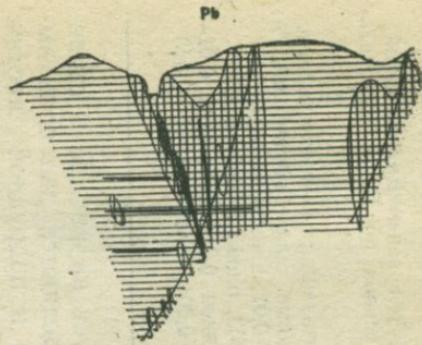
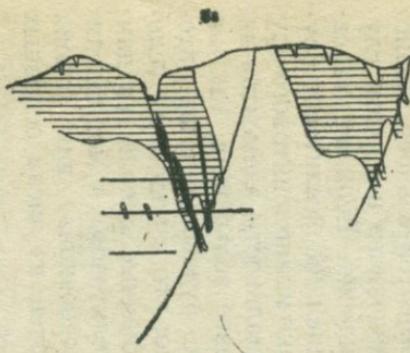
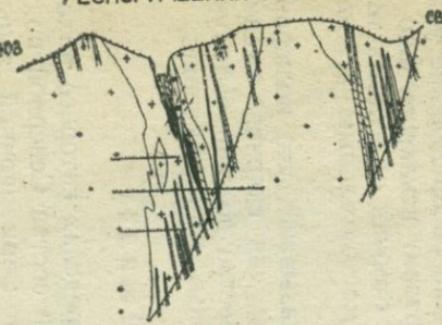
По одному из разрезов изучено также распределение урана (рис. 2). Как видно, ореол урана развит исключительно в надрудной части разреза, по существу оторван от рудных тел и по всей вероятности обусловлен самостоятельным этапом минерализации.

Рассмотренные выше примеры показывают, что полиформационные ореолы весьма характерны для скарново-шеелитовых месторождений, и это обстоятельство должно быть учтено при геохимических поисках подобных месторождений.

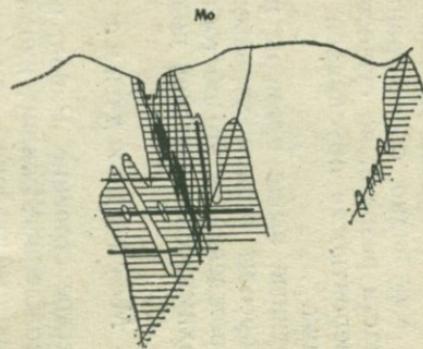
Месторождение Джилау

Геологическое строение. Район, в пределах которого находится месторождение Джилау, входит в состав Северной подзоны Зеравшано-Алтайской структурно-формационной зоны,

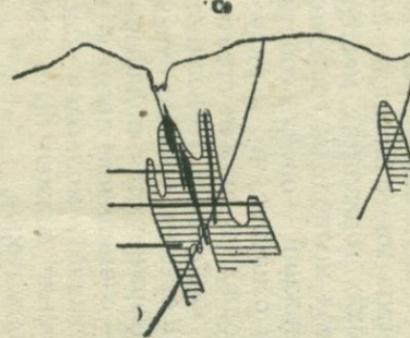
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ I-I



Mo



Cu

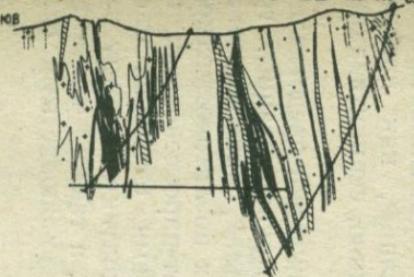


1	25	50	75	M	6
2					7
3					8
4					9
5					10

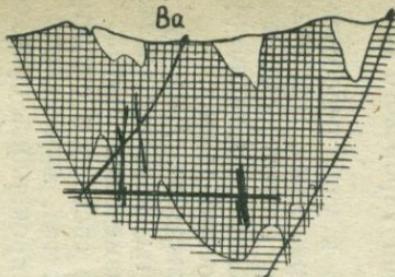
Рис. 3. Первичные ореолы вокруг рудных тел зон Новая и Диагональная (разрез I-I) месторождения Чо-рухдайрон (геологическая основа по материалам рудника)

1—гранодиориты выветрелые; 2—гранодиориты; 3—альбитизированные гранодиориты; 4—зоны альбитизации; 5—зона разлома; 6—тектонические нарушения; 7—интервалы опробования. Содержания, %: 8—базальт 0,03—0,3; свинец 0,005—0,01, молибден 0,0003—0,001, медь 0,005—0,03; 9—свинец 0,01—0,03, молибден 0,001—0,01; 10—рудное тело

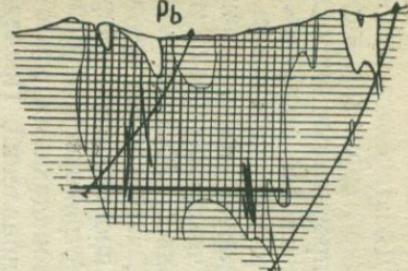
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ III-III



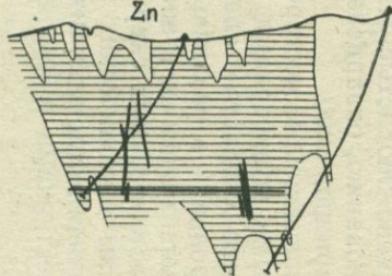
Ва



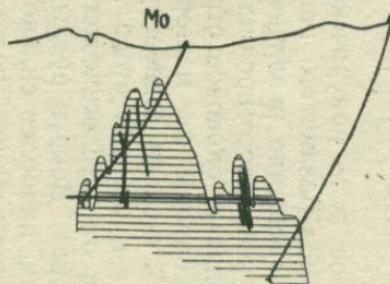
Рв



Zn



Mo



Си

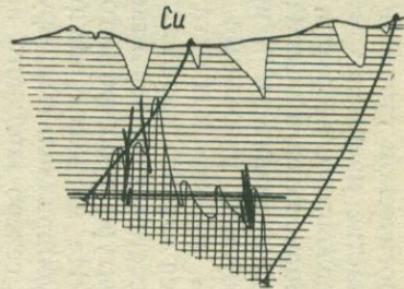


Рис. 4. Первичные ореолы вокруг рудных тел зон Новая и Диагональная (разрез III-III) месторождения Чо-рухдайрон (геологическая основа по материалам рудника)

1—гранодиориты; 2—альбитизированные гранодиориты; 3—зоны альбитизации; 4—зоны интенсивной альбанизации; 5—скаполитизация; 6—тектонические нарушения; 7—интервалы опробования. Содержания, %: 8—барий 0,01—0,1, свинец 0,003—0,005, цинк 0,01—0,08, молибден 0,0003—0,008, медь 0,005—0,01; 9—барий 0,1—0,5, свинец 0,005—0,03, медь 0,01—0,1; 10—рудное тело

являющейся краевой частью Южно-Тянь-Шаньской складчатой системы. В геологическом строении Джилаусского рудного поля принимают участие преимущественно терригенно-карбонатные породы палеозойского возраста, прорванные чинарсайской интрузией гранодиоритов и комплексом дайково-жильных образований. Широким развитием в пределах Джилаусского рудного поля пользуются разрывные нарушения различных направлений. Вдоль южного контакта чинарсайского интрузива устанавливается серия параллельных кругопадающих разрывов, которые составляют, вероятно, часть более крупной дизъюнктивной структуры субширотного простирания — Зеравшанского разлома. Не меньшим распространением в районе пользуется серия субпараллельных, кругопадающих разломов северо-восточного и северо-западного направлений. Последние находятся на северо-западном продолжении Тарорского разлома.

Джилауское рудное поле приурочено к узлу пересечения долгоживущих разломов различного направления. Эти разломы контролируют размещение различных гидротермально-измененных пород, зон кварцевого прожилкования, а также рудных тел и обуславливают блоковое строение района.

Рудовмещающие породы на месторождении Джилау в большей или меньшей степени подвергнуты гидротермальному изменению. Характер и степень этого изменения зависят в значительной степени от литологического состава и структурных особенностей пород. Вокруг рудных тел, залегающих в карбонатных породах, наиболее сильно проявились процессы мраморизации и скарнирования, реже серпентинизации и окварцевания. Кварцево-слюдистые сланцы, как правило, подверглись ороговикованию, окварцеванию, серicitизации и значительно реже скарнированию.

Рудные тела на описываемом месторождении представлены прожилково-кварцевыми штокверками в окварцовых гранодиоритах и кварцево-слюдистых сланцах, минерализованными зонами брекчирования в различных по литологическому составу породах, окварцованными гранат-пироксеновыми, пироксеновыми и волластонитовыми скарнами. Основная масса их приурочена к зонам тектонических контактов между карбонатными и терригенными отложениями, а также к контактам гранодиоритов с известняками и кварцево-слюдистыми сланцами.

Рудные тела на месторождении Джилау являются как сущими кругопадающими ($45-50^\circ$), так и пологозалегающи-

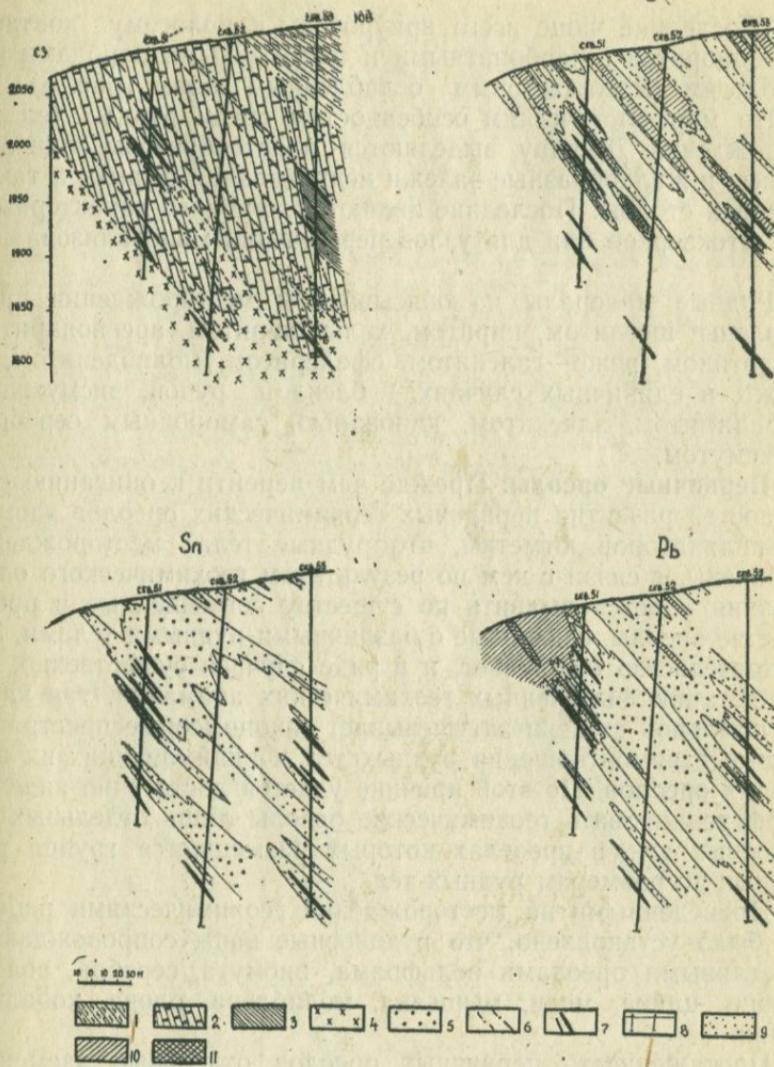


Рис. 5. Геологический разрез и первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения Джилаяу

1—глинистые, кремнистые, «яшмовидные», сланцы; 2—доломитовые известняки; 3—кварцево-слюдистые сланцы; 4—гранодиориты; 5—скарнированные породы; 6—предполагаемые крупные тектонические трещины; 7—рудные тела; 8—скважины. Содержания, %: 9—свинец, олово 0,002—0,009, серебро 0,00004—0,00009; 10—свинец 0,01—0,09, олово >0,01, серебро 0,0001—0,0009; 11—свинец 0,1—1,0, серебро 0,001—0,01

ми. Последние чаще всего приурочены к пологому контакту гранодиоритов с карбонатными и терригенными породами или к пологим «межпластовым» ослабленным зонам (рис. 5).

По морфологическим особенностям среди рудных тел месторождения Джилау выделяются пластообразные, линзообразные и жилообразные залежи неправильной формы, а также гнезда и столбы. Последние являются наиболее характерными для штокверков или для узлов пересечения минерализованных зон.

Рудные минералы на описываемом месторождении представлены: шеелитом, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, пирротином, реже—галенитом, сфалеритом, молибденитом, а также, в единичных случаях, — блеклой рудой, висмутином, тетрадимитом, аляскитом, киноварью, самородным серебром и висмутом.

Первичные ореолы. Прежде чем перейти к описанию особенностей развития первичных геохимических ореолов элементов-индикаторов, отметим, что рудные тела месторождения сближены, в связи с чем по результатам геохимического опробования удается выявить по существу совмещенные в пространстве ореолы, связанные с различными рудными телами. Это обстоятельство осложняет, и в ряде случаев существенно, интерпретацию выявленных геохимических аномалий, так как в значительной степени затушевывает закономерные пространственные взаимоотношения рудных тел и окаймляющих их первичных ореолов. По этой причине удается достаточно надежно дифференцировать геохимические ореолы лишь отдельных рудоносных зон, в пределах которых размещается группа различных по размерам рудных тел.

Проведенными на месторождении геохимическими работами было установлено, что рудоносные зоны сопровождаются отчетливыми ореолами вольфрама, висмута, серебра, золота, свинца, цинка, меди, мышьяка, молибдена, олова, кобальта, бария.

Протяженность первичных ореолов отдельных элементов по простирианию достигает 200—300 м, а ширина их колеблется от первых до десятков и более метров. В пределах рудных зон ореолы, как и рудные тела, чаще всего располагаются кулисообразно (как в плане, так и в разрезе).

При поисках слепого оруденения, как известно, большое значение приобретает вертикальная протяженность надрудных первичных ореолов, которая определяет глубинность поисков слепого оруденения по первичным ореолам.

Полную вертикальную протяженность надрудных первичных ореолов на месторождении Джилау не удалось проследить, поскольку надрудные ореолы всех исследованных слепых рудных тел были прослежены до самого удаленного от тел сечения, где они продолжали оставаться достаточно интенсивными. Это позволяет считать, что в действительности протяженность надрудных ореолов больше прослеженной по конкретным разрезам.

Все слепые рудные тела на поверхности фиксируются широкими ореолами свинца, олова и серебра (см. рис. 5). Если учесть, что максимальная глубина залегания слепых тел составляет 150—200 м, то можно прийти к выводу, что в условиях месторождения Джилау глубинность поисков слепого оруденения по первичным ореолам элементов-индикаторов превышает 150—200 м и, по-видимому, существенно, поскольку ореолы на поверхности являются достаточно широкими и интенсивными. Укажем, что речь в данном случае идет оmonoэлементных ореолах. Очевидно, что глубинность по сум-

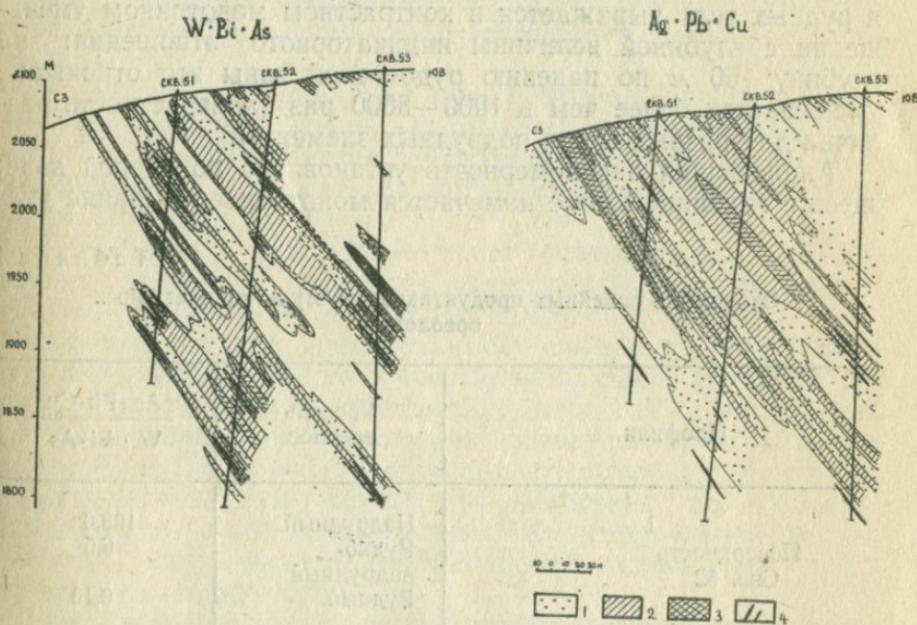


Рис. 6. Первичные мультиплективные ореолы (g/t) вокруг рудных тел месторождения Джилау

W·Bi·As: $1-100-1000$; $2-1000-10000$; $3->10000$;
 $4-\text{рудные тела}$

марным ореолам будет больше, поскольку суммарные ореолы, как уже отмечалось, по размерам больше моноэлементных.

По исследованным разрезам были посторены частные мультиплекативные ореолы: свинца, серебра и меди, образующих надрудные ореолы, и вольфрама, висмута и мышьяка, ореолы которых обладают максимальной шириной и интенсивностью в нижних частях околоврудного пространства.

Как следует из рис. 6, мультиплекативные ореолы по сравнению с моноэлементными являются более контрастными. Зональность в их строении также является весьма контрастной, что отчетливо иллюстрируется в табл. 1. Отношение производительностей мультиплекативных ореолов рассчитано для следующих групп элементов: свинец, серебро, медь (надрудные) и вольфрам, висмут, мышьяк (подрудные). Эти расчеты выполнены для двух зон, граница между которыми проведена в значительной степени условно.

В первой зоне, где изучены ореолы на уровне группы сближенных рудных тел и выше, отчетливая вертикальная зональность (точнее зональность по падению рудоносной зоны и рудных тел) выражается в контрастном монотонном уменьшении с глубиной величины индикаторного отношения: на глубину 160 м по падению рудоносной зоны это отношение уменьшается более чем в 1000—3000 раз (контрастность различна для разных групп подрудных элементов).

Аналогичная закономерность установлена во второй зоне: здесь с глубиной также намечается монотонное убывание ука-

Таблица 1

Отношение линейных производительностей мультиплекативных ореолов

Профили	Уровень ореолов	$\frac{\text{Ag} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Cu}}{\text{W} \cdot \text{Bi} \cdot \text{As}}$
I Поверхность Скв. 52	Надрудный	108,0
	Рудно-надрудный	6,5
	Рудный	0,10
II Поверхность Скв. 51 Скв. 52 Скв. 53	Надрудный	96,0
	Рудный	1,1
	Подрудный	0,7
	Подрудный	0,13

занного выше индикаторного отношения. Следует отметить, что градиент этого отношения ниже уровня скв. 51 резко уменьшается, что, по всей вероятности, следует объяснить появлением на глубине новых слепых рудных тел, надрудные ореолы которых накладываются на подрудные верхних рудных тел. Влияние этого наложения, как следует из величин индикаторных отношений, не столь существенно, что вероятно, объясняется небольшими размерами этих тел (см. рис. 5).

Месторождение Тырныауз

Геологическое строение. Особенности развития первичных геохимических ореолов месторождения Тырныауз (Сев. Кавказ) рассматриваются на примере Северного участка. Он расположен на левобережье реки Тырныауз в районе развития ороговикованных терригенных и вулканогенных пород.

Промышленное оруденение на Северном участке представлено двумя типами—молибденитовым и скарново-шеелитовым.

Молибденитовое оруденение представляет собой штокверк, образованный системами кварц-молибденитовых жил и прожилков.

Молибденит в прожилках находится в виде чешуек и тонкой вкрапленности, трудно различимой невооруженным глазом (0,01—0,1 мм). Иногда отмечаются прожилки водяно-прозрачного кварца с довольно крупными (1—3 мм) чешуйками молибденита.

Сравнительно редко встречаются гнездообразные и неправильные по форме скопления молибденита, приуроченные к участкам метасоматически сильно измененных пород.

Молибденитовый штокверк имеет линейно вытянутую форму запад-северо-западного простирания, совпадающую в целом с простиранием вмещающих пород. В его пределах кварц-молибденитовые прожилки распределены крайне неравномерно, что обусловливает значительные колебания содержания полезного компонента. Штокверк по существу представляет собой серию рудных тел неправильной формы, разделенных пустыми или слабо минерализованными участками вмещающих пород.

Скарново-шеелитовое оруденение на участке представлено рудной зоной, расположенной к югу от кварц-молибденитового штокверка.

Морфологически зона представляет собой линзоподобное

рудное тело субширотного простирания с крутым падением на юг: Переход от руд к вмещающим породам постепенный, контуры рудных тел устанавливаются по данным опробования.

Распределение минералов в рудной зоне неравномерное. Шеелитовая минерализация приурочена к метасоматически измененным разностям скарнов, а также к скарнизованным пироксен-плагиоклазовым, биотит-амфиболовым и биотитовым роговикам, подвергшимся последующим метасоматическим изменениям; молибденовая — к гранатовым разностям скарнов, а также к кварцевым прожилкам, секущим как скарновые, так и роговиковые породы.

До настоящего времени отсутствуют общепринятые представления о генезисе месторождения, о развитии процесса минералообразования во времени и в пространстве, несмотря на то, что это месторождение известно уже давно и десятки лет находится в стадии промышленной эксплуатации.

Одной из причин выбора месторождения Тырныауз в качестве эталонного объекта для изучения первичных геохимических ореолов явилась отмеченная сложность его строения, которая не могла не отразиться на строении и особенностях развития первичных геохимических ореолов. Именно поэтому особенности состава и строения первичных геохимических ореолов месторождения Тырныауз ниже рассматриваются более детально по сравнению с месторождениями, описанными выше.

Первичные ореолы. На месторождении Тырныауз широко развиты ореолы многих элементов: вольфрама, молибдена, олова, висмута, бериллия, бария, цинка, свинца, кобальта, никеля, мышьяка, сурьмы и других. Однако, как показали детальные геохимические исследования, из перечисленных элементов только некоторые (молибден, вольфрам, висмут, олово, бериллий, мышьяк, иттрий, ванадий) образуют ореолы, закономерно связанные с двумя основными промышленными типами рудных тел: скарново-шеелитовыми и молибденитовыми.

Первичные ореолы скарново-шеелитового оруденения рассматриваются на примере рудной зоны № 69. Геохимические исследования, выполненные в пределах Тырныаузского рудного поля, показали, что наиболее информативными элементами-индикаторами скарново-шеелитового оруденения являются вольфрам, молибден, олово, висмут и бериллий (рис. 7).

Вольфрам образует весьма широкие (более 200 м) ореолы вокруг рудного тела. Концентрация его закономерно меняет-

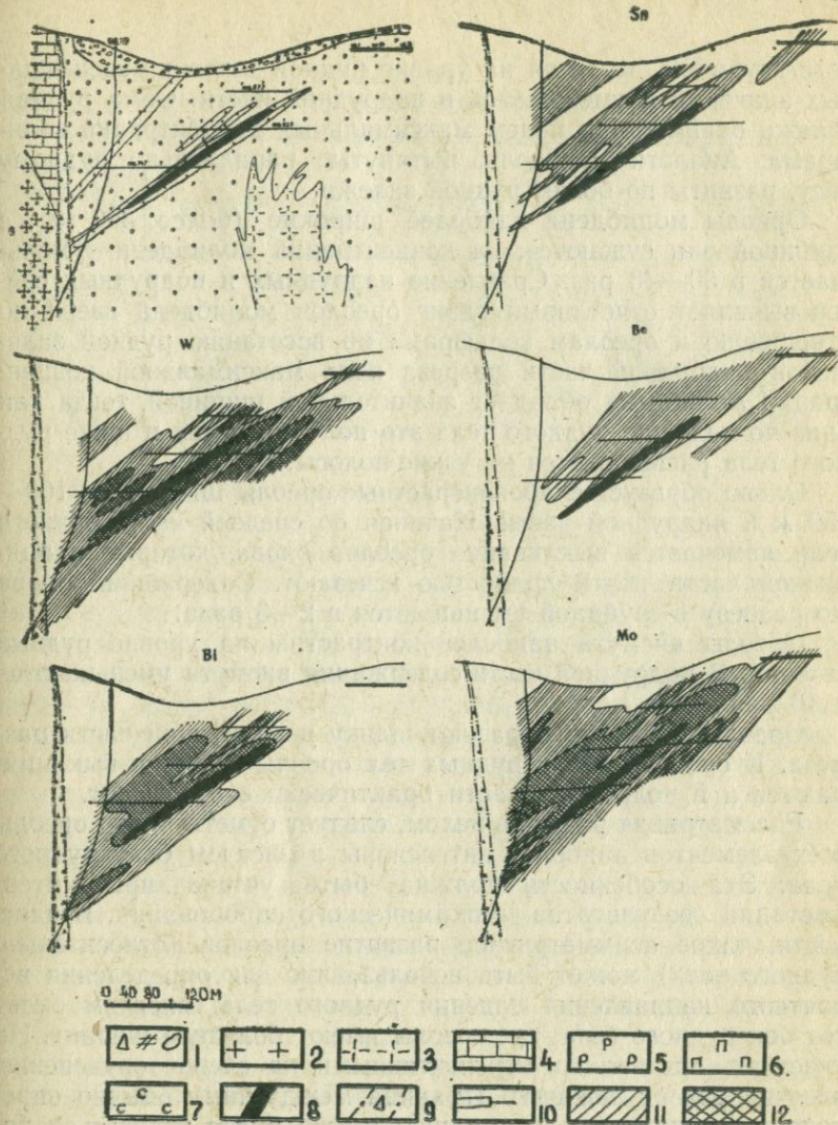


Рис. 7. Геологический разрез и первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения Тырныауз

1—рыхлые отложения; граниты: 2—эльджуртинский; 3—лейкократовый; 4—мрамор; роговики; 5—биотитовые и биотит-амфиболовые; 6—пироксен-плагиоклазовые; 7—скарны; 8—рудные тела; 9—зона разлома; 10—горные выработки и скважины. Содержания, %: 11—вольфрам, молибден, олово— $1\text{--}10 \cdot 10^{-3}$, висмут $1\text{--}10 \cdot 10^{-4}$, бериллий $>1 \cdot 10^{-4}$; 12—вольфрам, молибден, олово $>10 \cdot 10^{-3}$, висмут $>10 \cdot 10^{-4}$

ся с глубиной, достигая на уровне рудной залежи максимальных значений и уменьшаясь в подрудной части. Сама рудная залежь окаймляется полем максимальных концентраций вольфрама. Аналогичные поля, вытянутые параллельно рудному телу, развиты по бокам рудной залежи.

Ореолы молибдена наиболее широкие (более 300 м), с глубиной они сужаются, а концентрация молибдена уменьшается в 30—40 раз. Сравнение надрудных и подрудных срезов выявляет отчетливый сдвиг ореолов молибдена вверх по отношению к ореолам вольфрама по восстанию рудной залежи: в надрудной части разреза поле максимальной концентрации молибдена обладает значительной шириной, тогда как вниз по падению рудного тела это поле сужается и ниже рудного тела расщепляется на узкие полосы.

Олово образует слабоконтрастные ореолы шириной в 100—150 м в надрудной части. Начиная со средней части рудного тела намечается выклинивание ореолов олова, которые в подрудной части почти полностью исчезают. Содержания олова по разрезу с глубиной уменьшаются в 2—3 раза.

Ореолы висмута наиболее контрастны на уровне рудных сечений. В подрудной части содержания висмута уменьшаются в 10 раз.

Ореолы бериллия образуют шапку в надрудной части разреза. К средней части рудных тел ореолы берилля выклиниваются и в подрудной части практически отсутствуют.

Рассматривая разрез в целом, следует отметить, что ореолы всех элементов наиболее интенсивны в висячем боку рудного тела. Эта особенность должна быть учтена при интерпретации результатов геохимического опробования. В частности, такое асимметричное развитие ореолов (относительно рудного тела) может быть использовано для определения вероятного направления падения рудного тела; висячим будет тот бок рудного тела, где ореолы имеют большую ширину. На участках, признанных перспективными на слепое оруденение, висячий бок от лежачего (граница между ними обычно определяется эпицентром аномалий), также будет отличаться более широкими ореолами.

Для выявления и количественной оценки зональности ореолов были подсчитаны линейные продуктивности ореолов и величины показателя зональности для исследованных элементов (табл. 2). Напомним, что показатель зональности представляет собой долю линейной продуктивности данного элемента в сумме линейных продуктивностей всех элементов,

Таблица 2

Показатель зональности элементов-индикаторов

Уровень сечения, м	Вольфрам	Молибден	Олово	Висмут	Бериллий
2549,0	0,19	0,42	0,25	0,029	0,089
2470,6	0,16	<u>0,50</u>	0,12	0,13	0,075
2399,4	0,29*	0,26	0,033	<u>0,39</u>	0,018
2316,9	<u>0,28</u>	0,39	0,021	<u>0,029</u>	0,0097
2216,0	0,17	<u>0,63</u>	0,026	0,15	0,00041

* Подчеркнуты максимальные значения.

Для вольфрама и висмута максимальные значения показателя зональности характерны для средних (рудных) сечений, выше и ниже которых наблюдается уменьшение величины этого параметра (табл. 2). В отличие от этого, максимальные значения показателя зональности олова и бериллия установлены на самом верхнем надрудном сечении исследованного разреза; вниз по разрезу величина показателя зональности этих элементов убывает монотонно, при этом в верхних частях градиент показателя олова заметно больше. Это означает, что ореолы олова сдвинуты вверх по отношению к ореолам бериллия.

Для молибдена максимальные значения установлены в верхних (надрудных) и самом нижнем (подрудном) горизонтах. Рудные сечения характеризуются минимальными значениями показателя его зональности. Такое двойственное поведение молибдена вызвано тем, что этот элемент является «сквозным»: молибден образует ореолы как вокруг скарно-шелеитового, так и кварц-молибденитового оруденения, причем с последними связаны наиболее широкие и интенсивные ореолы. Наложение в пространстве ореолов молибдена, связанных с различными по составу рудными телами, и приводит к нарушению зональности ореола этого элемента. Сказанное подтверждается морфологией ореола молибдена: поле его повышенных концентраций в надрудной части представляет прямое продолжение рудного тела по его восстанию. По падению рудного тела в узкой зоне поле повышенных концентраций выклинивается (расщепляется на узкие полосы), но

выше (в висячем боку) появляются новые поля, которые за-
кономерной связи с описываемым рудным телом не обнару-
живают и, безусловно, связаны с кварц-молибденитовым ору-
денением. Взаимоотношения ореолов молибдена этих двух типов
рудных тел более подробно будут рассмотрены ниже при
описании особенностей развития первичных ореолов в плане.
Такой «сквозной» характер молибдена не позволяет рекомендо-
вать его в качестве надежного индикатора скарново-шебелито-
вого оруденения.

Поведение вольфрама и висмута примерно одинаково: для обоих элементов максимальные значения установлены на уровне рудных сечений (см. табл. 2). Иходя из того, что значения показателя зональности вольфрама по обоим рудным сечениям одинаковы (оба значения подчеркнуты), а для висмута максимальное значение установлено только на верхнем рудном срезе, мы приходим к выводу о смещении ореолов висмута вверх по отношению к ореолам вольфрама.

С учетом изложенного и на основании данных табл. 2, можно составить следующий ряд зональности элементов-индикаторов (сверху — вниз): олово—бериллий — молибден — висмут — вольфрам. Место молибдена в этом ряду определено с учетом его поведения в верхней части разреза (снизу происходит наложение ореолов молибдена, связанных с кварц-молибденитовым оруденением).

Учитывая «сквозной» характер молибдена и исходя из приведенного ряда зональности элементов в качестве индикаторов вертикальной зональности первичных ореолов скарново-шебелитового оруденения, были выбраны следующие группы элементов: олово, бериллий (надрудные элементы) и висмут, вольфрам (индикаторы более глубоких срезов).

Величина выбранного индикаторного отношения от надрудных к подрудным сечениям монотонно убывает, выявляя в строении контрастную вертикальную зональность: на глубину порядка 300 м это отношение меняется почти в 10000 раз (табл. 3).

Первичные ореолы кварц-молибденитового оруденения рассматриваются на примере кварц-молибденитового штокверка Северного участка месторождения Тырныауз.

Изучение особенностей распределения вокруг штокверка широкого круга химических элементов показало, что для этого типа оруденения наиболее характерны ореолы молибдена, иттрия, мышьяка, вольфрама и ванадия (рис. 8).

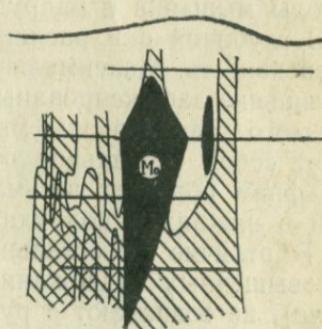
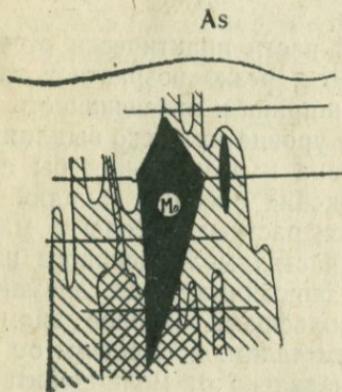
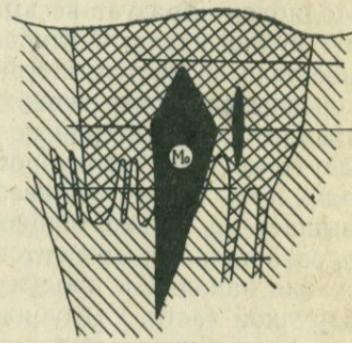
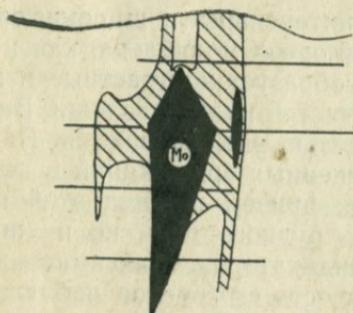
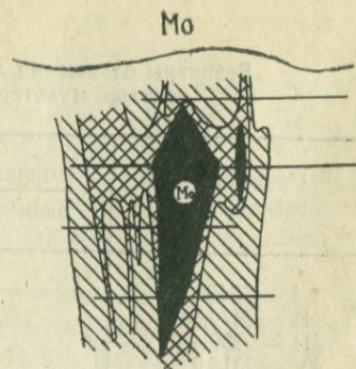
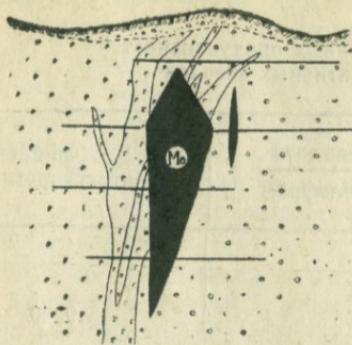
**Величины отношения линейных продуктивностей
частных мультипликативных ореолов**

Уровень сечения, м	олово · бериллий висмут · вольфрам	Коэффициент контрастности, I/IV
I — 2549	3,7	
II — 2470,6	4,4	
III — 2399,4	0,005	
IV — 2316,9	0,0024	
V — 2216,0	0,0004	9250

Молибден образует весьма интенсивные и широкие ореолы вокруг рудного тела. С глубиной ореол молибдена, как и само рудное тело, сужается. Иттрий образует контрастные и широкие ореолы на уровне верхних частей рудной залежи. Вниз по вертикали ореолы иттрия полностью выклиниваются. Ванадий образует мощную шапку повышенных содержаний в верхних и надрудных частях штокверка, причем ширина этой шапки превышает не только мощность рудного тела, но и ширину ореолов остальных элементов-индикаторов. Максимальные содержания ванадия и продуктивность его ореола наблюдаются в надрудной части. С глубиной поле повышенных содержаний ванадия выклинивается полностью.

Ореолы мышьяка в надрудной части практически отсутствуют. С глубиной они расширяются, резко возрастает также их интенсивность. Максимальная ширина и интенсивность ореолов мышьяка зафиксированы на уровне нижнего выклинивания рудного тела. Ореолы мышьяка в разрезе как бы представляют собой зеркальное отражение ореолов ванадия.

Вольфрам образует весьма контрастные ореолы с максимумами в нижних и подрудных частях молибденового штокверка. В отличие от остальных описанных выше элементов, поля повышенных содержаний вольфрама (второе аномальное поле), не совпадают с рудным телом, а смешены от него в сторону. В этом направлении недалеко от молибденитового рудного тела залегает скарново-шеелитовая залежь, чем, собственно, и обусловлено подобное смещение полей повышенных содержаний вольфрама. Более подробно вопросы совмещения ореолов, связанных с различными по составу рудными телами, будут рассмотрены ниже при описании ореолов в плане. Не-



5 60 60 110 160

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Рис. 8. Распределение элементов-индикаторов в первичных ореолах вокруг кварц-молибденитового штокверка месторождения Тырныауз

1 — роговики биотитовые и биотит-амфиболовые; 2 — ультрабазиты; 3 — конгломераты; 4 — рудное тело; 5 — скважины. Содержания, %: 6 — вольфрам, молибден, ванадий $1-10 \cdot 10^{-3}$, мышьяк $1-10 \cdot 10^{-2}$; 7 — вольфрам, молибден, ванадий $> 10 \cdot 10^{-3}$, мышьяк $> 10 \cdot 10^{-2}$

смотря на влияние наложения, из рис. 8 отчетливо следует, что вольфрам, связанный с молибденовым рудным телом, образует отчетливые подрудные ореолы.

Для выяснения зональности строения ореолов были рассчитаны величины показателя зональности (табл. 4), для ванадия и иттрия они максимальны в надрудном сечении ореолов и вниз по разрезу monotонно уменьшаются, причем градиент показателя зональности ванадия существенно больше. Это означает, что ореолы ванадия более «надрудные», т. е. сдвинуты вверх по отношению к ореолам иттрия.

Таблица 4
Величины показателя зональности элементов

Горизонт опробования, м	Молибден	Вольфрам	Мышьяк	Ванадий	Иттрий
I—2549	0,55	0,04	0,06	0,33	0,006
II—2474	<u>0,63*</u>	0,11	0,18	0,06	0,004
III—2399	0,05	0,25	<u>0,64</u>	0,03	0,001
IV—2324	0,02	<u>0,38</u>	<u>0,63</u>	0,005	0,0002

* Подчеркнуты максимальные значения.

На основании данных табл. 4 может быть составлен следующий ряд зональности элементов-индикаторов (сверху вниз): ванадий — иттрий — молибден — мышьяк — вольфрам. В этом ряду мышьяк расположен левее вольфрама, так как максимальные значения показателя зональности мышьяка установлены на двух нижних горизонтах, тогда как единственный максимум вольфрама приходится на самый нижний горизонт.

Для количественной оценки уровня эрозионного среза первичных ореолов кварц-молибденитового оруденения был рас-

считаны отношения линейных продуктивностей⁸ частных мультиплекативных ореолов надрудных (ванадий, иттрий) и подрудных (мышьяк, вольфрам) элементов в соответствии с приведенным рядом вертикальной зональности элементов-индикаторов (табл. 5).

Таблица 5

Величины отношения линейных продуктивностей
частных мультиплекативных ореолов

Горизонт опробования, м	ванадий·иттрий мышьяк·вольфрам	Коэффициент контрастности, I/IV
I—2549	8,61	
II—2474	0,12	
III—2399	0,003	
IV—2324	0,00005	172200

Как следует из табл. 5, в строении мультиплекативных ореолов кварц-молибденитового оруденения выявляется также весьма контрастная вертикальная зональность: отношение продуктивностей частных мультиплекативных ореолов надрудных и подрудных элементов в интервале порядка 250 м меняется более чем в 170 тыс. раз.

Первичные ореолы в плане. В отличие от рассмотренных выше месторождений, первичные ореолы которых были описаны только в разрезе, ниже приводится также описание ореолов в плане. Это вызвано тем, что на месторождении Тырныауз известны сближенные в пространстве рудные тела скарново-шебелитового и кварц-молибденитового состава, в связи с чем часто формируются полиформационные ореолы, образовавшиеся в результате совмещения ореолов, связанных с различными по составу рудными телами. Очевидно, что интерпретация подобных ореолов в отличие от «моноформационных» (ореолы только шебелитового или молибденитового оруденения) более сложна и требует точного знания пространственных взаимоотношений ореолов, сопровождающих сближенные рудные тела различных формаций. Эти вопросы ниже рассматриваются на примере первичных геохимических ореолов, выявленных в плане по результатам геохимического опробования выработок и керна подземного горизонтального бурения горизонта шт. 17 Северного участка месторождения Тырныауз, где вскрыты

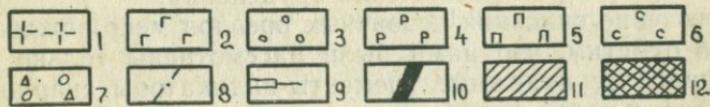
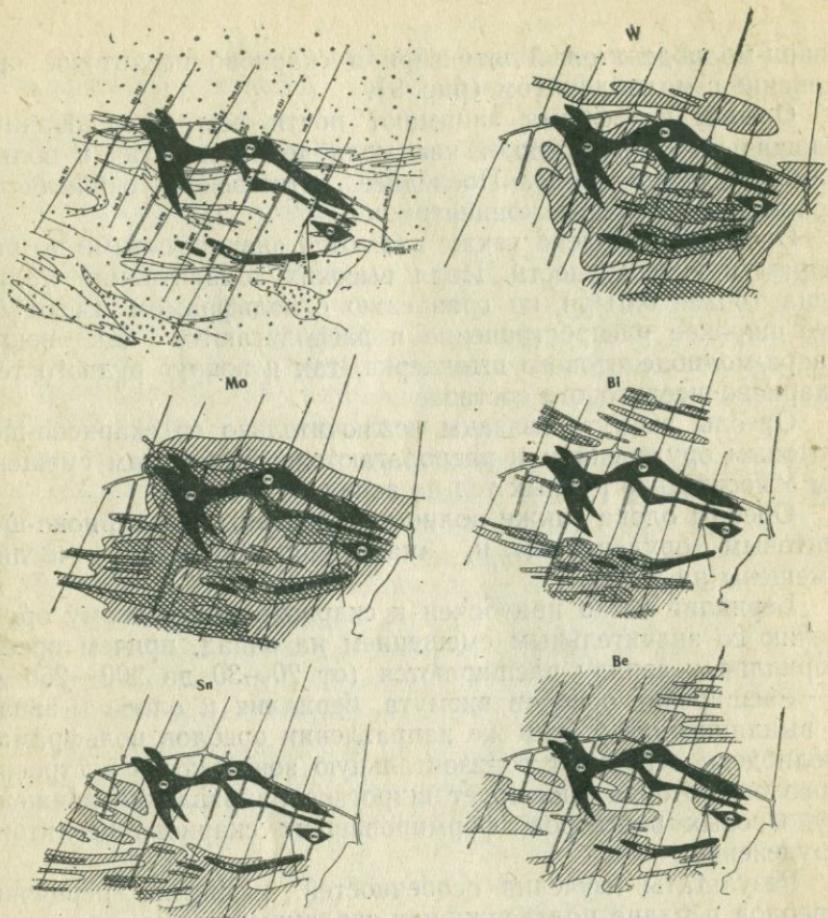


Рис. 9. Геологический план горизонта шт. 17 месторождения Тырныауз и первичные ореолы вокруг рудных тел
 1—гранит лейкократовый; 2—ультрабазиты; 3—конгломераты; 4—роговики биотитовые и биотит-амфиболовые; 5—роговики пироксен-плагиоклазовые; 6—скарны; 7—конглобрекции; 8—зона дробления; 9—горные выработки и скважины; 10—рудные тела (Mo—кварц-молибденитовое, W, Mo—скарново-шеелитовое с молибденитом). Содержания, %: 11—вольфрам, молибден, олово $1-10 \cdot 10^{-3}$, висмут $1-10 \cdot 10^{-4}$, бериллий $>1 \cdot 10^{-4}$; 12—вольфрам, молибден, олово $>10 \cdot 10^{-3}$, висмут $>10 \cdot 10^{-4}$

кварц-молибденитовый штокверк и скарново-шебелитовое оруденение с молибденитом (рис. 9).

Ореолы вольфрама занимают почти всю исследованную площадь и сопровождают как молибденитовое, так и вольфрамовое рудное тело. Последнее, естественно, окаймляется полем максимальных концентраций.

Ореолы молибдена также являются значительными по размерам и интенсивности. Поля высоких концентраций молибдена (более 0,01 %) по сравнению с вольфрамом имеют более широкое распространение и располагаются как вокруг кварц-молибденитового штокверка, так и вокруг рудного тела скарново-шебелитового состава.

Ореолы висмута связаны исключительно со скарново-шебелитовым оруденением и располагаются с некоторым смещением относительно рудных тел на запад.

Ореолы олова также полностью связаны со скарново-шебелитовым оруденением и, аналогично висмуту, отчетливо смещены на запад.

Бериллий четко приурочен к скарново-шебелитовому оруденению со значительным смещением на запад, причем ореолы бериллия к западу расширяются (от 20—30 до 200—250 м).

Расширение ореолов висмута, бериллия и олова к западу и выклинивание в этом же направлении ореолов вольфрама и молибдена отражают горизонтальную зональность в строении ореолов, которая фиксирует широтное направление движения рудоносных растворов, формировавших скарново-шебелитовое оруденение.

Результаты изучения особенностей развития первичных ореолов в плане подтверждают сделанный выше, при описании ореолов по разрезам, вывод о том, что ореолы висмута, олова и бериллия сопровождают только скарново-шебелитовое (с молибденитом) оруденение и являются тем самым надежными индикаторами этого типа оруденения.

В заключение описания первичных ореолов месторождения Тырныауз отметим, что нами были рассмотрены только основные, наиболее надежные элементы-индикаторы скарново-шебелитового и кварц-молибденитового оруденения. Остальные элементы, типоморфные для описанных выше месторождений (свинец, серебро, кобальт и др.), на месторождении Тырныауз также образуют ореолы, однако они являются «сквозными» для обоих типов оруденения и поэтому в условиях данного рудного района не могут быть использованы в качестве надежных элементов-индикаторов.

Первичные ореолы месторождений грейзеновой формации

Особенности состава и строения вольфрамовых месторождений грейзеновой формации рассматриваются на примере комплексного вольфрам-мolibден-бериллиевого месторождения (рис. 10).

Месторождение связано с массивом редкометальных апогранитов пермского возраста. Купол апогранитов установлен под толщей верхнесилурийских осадочно-метаморфических пород (песчаники, алевролиты) на пересечении субширотной и субмеридиональной тектонических зон, фиксируемых на поверхности поясами гранитоидных даек.

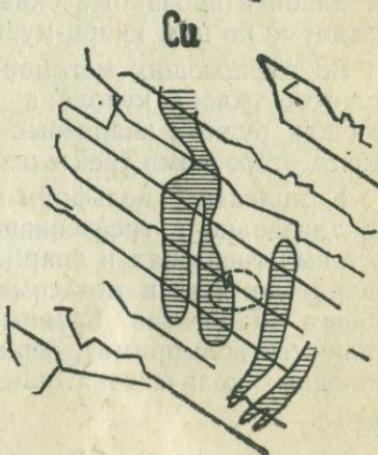
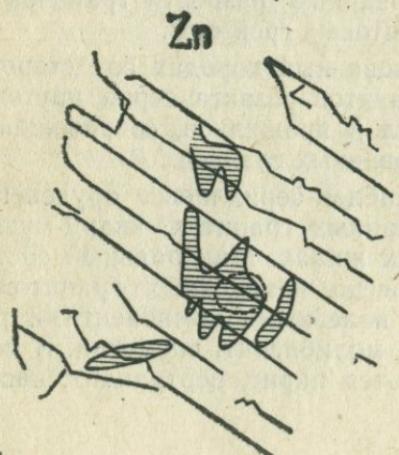
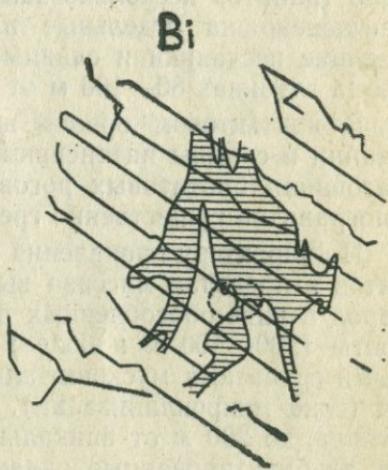
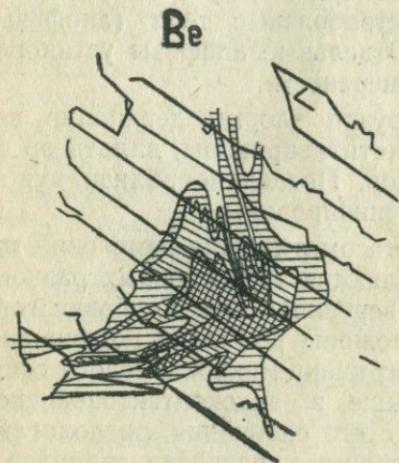
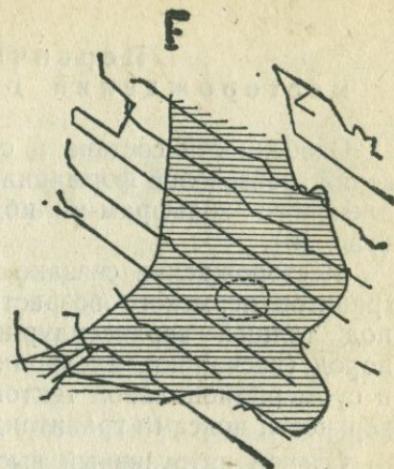
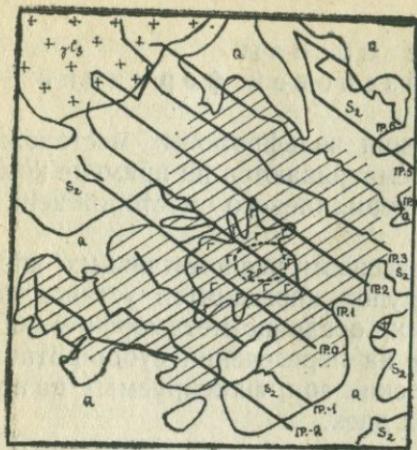
Слепой интрузивный выступ имеет штокообразную форму. Тело гранитов несколько наклонено к западу и по восстанию расчленено на отдельные пластообразные тела (апофизы), секущие песчаники и сланцы. Отдельные апофизы установлены на глубинах 80—100 м от поверхности.

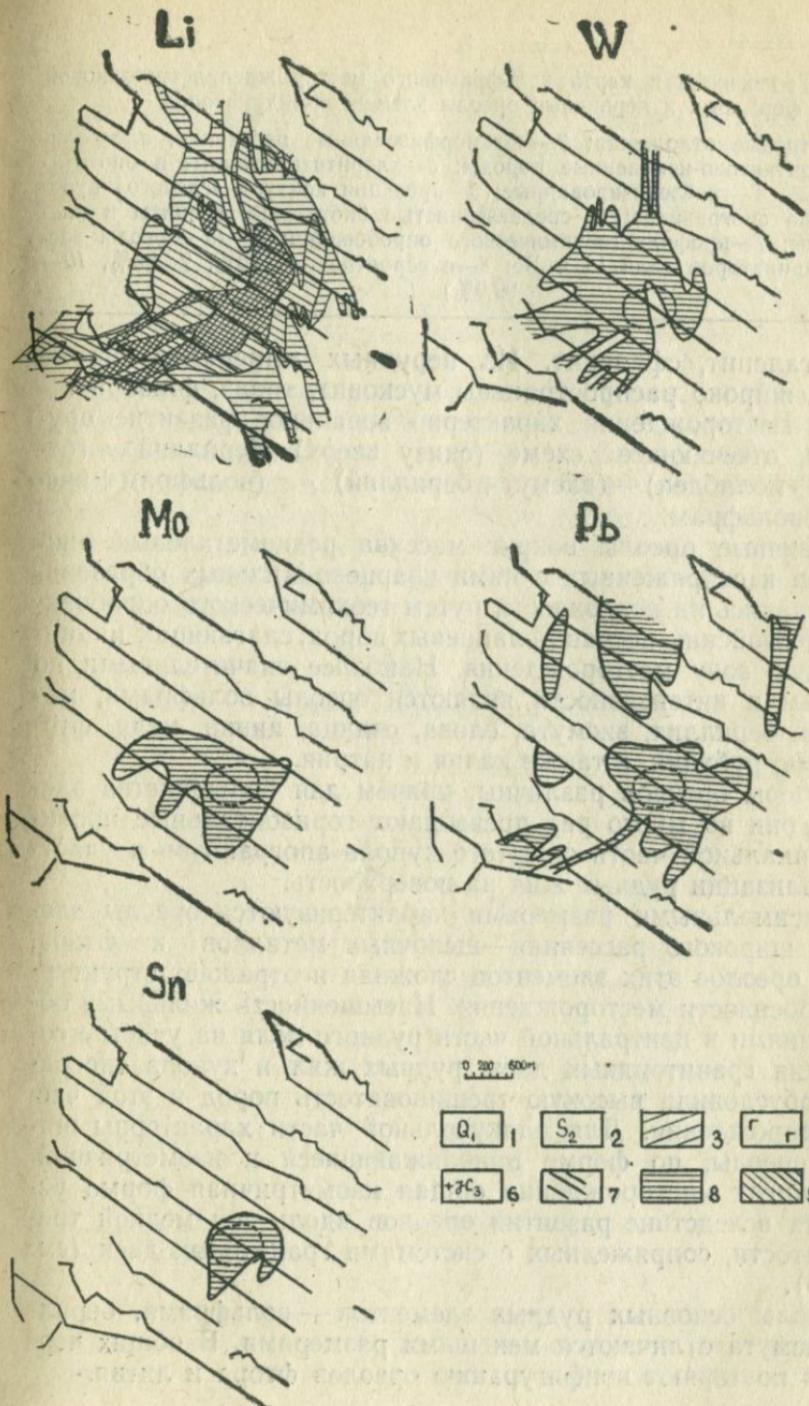
В контактовом ореоле интрузии хлоритсодержащие песчаники и сланцы интенсивно биотитизированы, вплоть до образования биотитовых роговиков. Последние вблизи купола апогранитов существенно грейзенизированы.

По характеру проявления метасоматических изменений гранитов в пределах массива выделяются три основных разности пород в виде обособленных по вертикали зон. Глубокие горизонты (200—500 м и более) сложены розовыми порфировидными гранитами мусковит-альбит-кварц-микроклинового состава (зона микроклинизации). Выше, в эндоконтактовой части купола, до 200 м от апикального его окончания, располагаются альбитизированные окварцованные разности гранитов и развитые по ним кварц-мусковитовые грейзены.

Во вмещающих метаморфизованных породах со стороны пологого склона купола апогранитов развита серия круто падающих рудных кварцевых жил и прожилков, сопровождающихся оторочками грейзенизованных сланцев.

Комплексное вольфрам-мolibден-бериллиевое оруденение локализовано в грейзенизованных гранитах, кварц-мусковитовых грейзенах и кварцевых жилах. Минеральный состав кварцевых жил и метасоматически измененных гранитов в общем аналогичен. Главными полезными компонентами руд являются вольфрамит, берилл, молибденит, висмутин. В подчиненных количествах отмечаются пирит, берtrandит, касси-





0 200 500 m

Q_1	1	S_2	2	3	4	5
$+J_3$	6	7	8	9	10	

Рис. 10. Геологическая карта вольфрамового месторождения грейзеновой формации и первичные ореолы элементов-индикаторов

1—четвертичные отложения; 2—метаморфизованные песчаники, алевролиты; приконтактово-измененные породы: 3—хлоритизированные и биотитизированные; 4—грейзенизированные; 5—проекция контура «слепого» купола массива апогранитов; 6—среднезернистые биотитовые граниты и плагиограниты; 7—профили геохимического опробования; 8—10—ореолы элементов-индикаторов (для Li и Be: 8—с вероятностью 90%, 9—95%, 10—99,9%)

терит, галенит, сфалерит. Из нерудных минералов, кроме кварца, широко распространены мусковит, топаз, флюорит.

Для месторождения характерно зональное развитие оруденения, отвечающее схеме (снизу вверх): бериллий — (бериллий + молибден) — (висмут + бериллий) — (вольфрам + висмут) — вольфрам.

Первичные ореолы вокруг массива редкометальных апогранитов и сопряженных с ними кварцево-жильных образований изучались на поверхности путем геохимического опробования палеозойских песчано-сланцевых пород, слагающих надинтрузивную зону месторождения. Наиболее значительными по размерам и интенсивности являются ореолы вольфрама, молибдена, бериллия, висмута, олова, свинца, цинка, меди, фтора, лития, рубидия, а также калия и натрия.

Размеры ореолов различны, причем для большинства элементов они во много раз превышают горизонтальные проекции апикальной части скрытого купола апогранитов и участка локализации рудных жил на поверхность.

Максимальными размерами характеризуются ореолы элементов широкого рассеяния — щелочных металлов и фтора. Форма ореолов этих элементов сложная и отражает структурные особенности месторождения. Насыщенность жильными образованиями в центральной части рудного поля на участке сопряжения гранитоидных даек, рудных жил и купола апогранитов обусловила высокую трещиноватость пород в этой части месторождения. Для надкупольной части характерны широкие ореолы, по форме приближающиеся к изометричной. На флангах месторождения общая изометрическая форма усложнена вследствие развития ореолов вдоль зон мелкой трещиноватости, сопряженных с системами гранитовых даек (см. рис. 10).

Ореолы основных рудных элементов — вольфрама, бериллия, висмута отличаются меньшими размерами. В общих чертах они повторяют конфигурацию ореолов фтора и лития.

Наиболее локальные ореолы образуют молибден, свинец, цинк, медь, олово, хотя их размеры также значительны (1—1,5 км²). Развиты они непосредственно над куполом апогранитов.

Ореолы вольфрама, бериллия и висмута слабо проявлены за пределами зоны биотитизированных пород, внешние контуры ореолов фтора, лития и других щелочных металлов находятся в пределах хлоритовой зоны, а площади аномальных концентраций прочих элементов локализованы в контуре грейзенизованных сланцев.

Внутреннее строение первичных ореолов месторождения является сложным. Графики распределения содержаний элементов, отстроенные по профилям геохимического опробования, осложнены многочисленными пиками и провалами. Общая же закономерность изменения относительных концентраций элементов в ореолах отчетливо выявляется при сопоставлении величин коэффициентов аномальности, вычисленных для различных зон общего ореола (табл. 6).

Таблица 6
Сравнительная таблица
величин коэффициентов аномальности

	Зоны ореола		
	Внешняя (хлоритовая)	Средняя (биотитовая)	Внутренняя (грейзеновая)
Вольфрам	11,6	30,0	53,5
Молибден	1,1	4,6	113,9
Висмут	2,2	3,1	7,0
Олово	1,1	1,3	5,7
Бериллий	2,5	5,0	22,0
Свинец	2,7	1,6	2,6
Цинк	1,4	2,1	8,8
Медь	4,9	5,2	5,4
Фтор	3,8	13,1	22,0
Литий	2,6	5,4	22,1
Рубидий	3,03	5,76	24,8
Калий	2,0	2,37	5,45
Натрий	6,1	6,4	3,5
Cu · Pb · Zn · Bi	11,5		0,0005
Sn · Be · Mo ²			

Из приведенных данных следует, что концентрации компонентов первичного ореола месторождения, за исключением натрия, в различной степени, но закономерно возрастают от

внешней к внутренней части ореола. При этом накопление бериллия, фтора, лития и рубидия носит синхронный характер, на что указывают весьма близкие величины коэффициентов аномальности в рассматриваемых зонах ореола.

Наиболее контрастно во внутренней зоне ореола выражена концентрация молибдена и вольфрама (коэффициенты аномальности 113,9 и 53,5) при резко пониженных содержаниях этих элементов во внешней зоне (соответственно 1,1 и 11,6).

Калий и натрий на месторождении образуют широкие, но малоконтрастные ореолы. Коэффициенты аномальности их в целом по ореолу составляют соответственно 3,83 и 5,1. Максимальное накопление калия отмечается во внутренней зоне ($K_a = 5,45$). В отличие от калия и прочих элементов-индикаторов, натрий обнаруживает пониженное содержание во внутренней зоне ($K_a = 16,1$), что связано, очевидно, с перераспределением натрия при метасоматических преобразованиях вмещающих пород.

Приведенные выше данные показывают, что в распределении элементов-индикаторов относительно купола апогранитов отчетливо выражена геохимическая зональность, которая в общем виде согласуется с метасоматической, проявленной в породах кровли редкометальных апогранитов.

Для изучения особенностей распределения химических элементов в первичном ореоле месторождения составлен ряд вертикальной зональности элементов-индикаторов по методике расчета показателя зональности элементов.

При составлении ряда использовались величины линейных продуктивностей ореолов отдельных элементов, вычисленные для различных зон изменения вмещающих пород, так как каждая из зон характеризует определенный уровень ореола, а именно: 1) внешний (зона хлоритизированных пород, до границы ореола фтора) — более 500 м; 2) средний (зоны хлоритизированных и биотитизированных пород) — 250 — 500 м; 3) нижний (зоны хлоритизированных, биотитизированных и грейзенизированных пород) — 0—250 м.

Ряд зональности элементов-индикаторов в ореоле имеет вид: Na — K — Rb — Cu — Pb — Zn — Li — F — W — Bi — Sn — Be — Mo.

Положение каждого элемента в ряду зональности определяет уровень его максимального накопления относительно прочих компонентов и отражает общую тенденцию качественного изменения ореола по вертикали в соответствии с последовательностью рудоотложения при формировании месторождения.

дения. В частности, из приведенного ряда следует, что образованию первичных ореолов рудных компонентов вероятно предшествует вынос во вмещающие породы щелочных металлов (раннешелочные стадии постмагматического процесса). Это отражено в образовании зон относительного накопления калия, натрия и рубидия в верхних частях зональной колонны (левая часть ряда зональности).

Дальнейшее развитие метасоматоза, сопутствующего оруденению, как известно, приводит к образованию грейзеновых фазий и других продуктов кислотной стадии. Элементный состав ореола при этом существенно расширяется и наряду со щелочными металлами во вмещающие породы при активном участии фтора выносятся вольфрам, бериллий, молибден и другие рудные элементы.

Из приведенного ряда зональности видно, что область максимального накопления вольфрама, молибдена, олова, висмута и бериллия, во фронтальной части которой располагаются фтор и литий, проявлена гипсометрически ниже уровня относительного накопления свинца, цинка, меди.

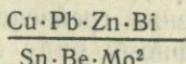
Следует указать, что полученный статистическим путем ряд вертикальной зональности в принципе не противоречит общей схеме зональности отложения, установленной на редкometальных грейзеновых месторождениях. Последняя, по данным Г. Н. Щербы, имеет вид (сверху вниз): медь, цинк, свинец, вольфрам, висмут, бериллий, молибден, олово.

Приведенный выше ряд зональности элементов-индикаторов вольфрамового оруденения грейзеновой формации в целом соответствует типоморфному ряду зональности элементов-индикаторов гидротермального оруденения (Григорян, 1973) и, в частности, рассмотренному выше ряду зональности элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения. Существенное отличие заключается только в том, что в случае грейзенового оруденения вольфрам в ряду стоит левее, что, вероятно, следует объяснить различиями в минеральных формах присутствия вольфрама в рудах и ореолах: вольфрамит — в месторождениях грейзеновой формации и шеелит — в скарновой.

Исходя из приведенного выше ряда зональности элементов-индикаторов данного типа оруденения можно предложить ряд индикаторных отношений, которые, являясь оценками геохимической зональности ореолов, могут быть использованы для определения уровня эрозионного среза геохимических аномалий.

Отметим, что задача оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий при поисках месторождений данного типа в принципе совпадает с задачей определения примерной глубины залегания кровли гранитного массива, поскольку само по себе положение геохимических аномалий в надинтрузивной зоне не вскрыты эрозией гранитных массивов предопределяет их надрудную природу.

Очевидно, что в практическом отношении удобнее пользоваться таким коэффициентом зональности, который включает элементы, анализ на которые экономически наиболее выгоден. Так, калий, натрий, литий, рубидий и фтор требуют привлечения относительно дорогостоящих методов анализа (щелочи — фотометрия пламени, фтор — трудоемкий количественный спектральный анализ). В отличие от этого для рудных элементов удовлетворительные результаты дает экспрессный спектральный анализ, обеспечивающий одновременное определение с достаточной для целей геохимических поисков точностью и чувствительностью содержаний перечисленных в ряду зональности рудных элементов-индикаторов описываемого типа оруденения, за исключением вольфрама, чувствительность рядового спектрального анализа на которой недостаточна. Эти элементы: медь, свинец, цинк, вольфрам, висмут, олово, бериллий, молибден. Помня, что наиболее контрастная зональность выявляется с помощью мультиплекативного геохимического коэффициента, можно предложить следующий наиболее оптимальный вариант коэффициента зональности:



(молибден возведен в квадрат для обеспечения безразмерности коэффициента, так как в знаменателе число элементов меньше). По величине этого коэффициента фиксируется контрастная зональность, которая геохимически отчетливо дифференцирует различные зоны ореолов: по мере приближения к рудоносному массиву величина этого коэффициента закономерно уменьшается более чем на четыре порядка (см. табл. 6).

Месторождения кварц-гюбнеритовой формации

Особенности развития первичных ореолов вокруг рудных тел кварц-гюбнеритовой формации рассматриваются на примере месторождения Бом-Горхон, расположенного на юго-западе

падных отрогах хребта Цаган-Хуртгей (Читинская область).

Район месторождения сложен гранитоидами нижнего палеозоя, среди которых отмечаются разрозненные ксенолиты кристаллических сланцев малханского комплекса. Месторождение приурочено к юго-западному эндоконтакту Бом-Горхонского гранитного массива и представлено многочисленными жилами кварц-глинеритового состава. Промышленное оруденение представлено жилами, которые прослеживаются на поверхности непрерывно на значительном протяжении и распространяются на глубину от 150 м до одного километра и более. Простирание жил северо-восточное, падение на юго-восток под углом

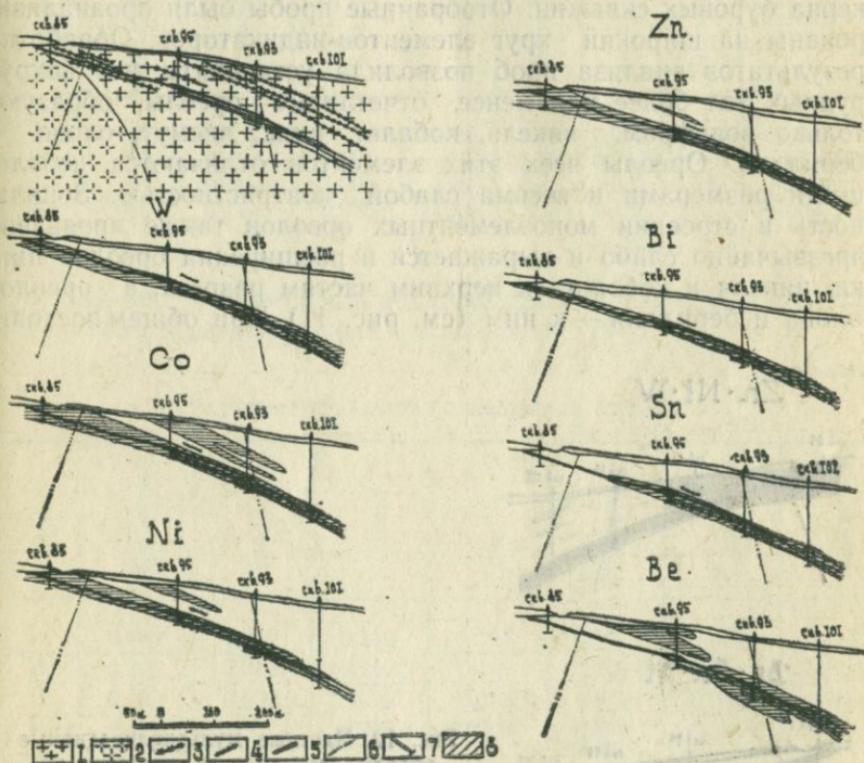


Рис. 11. Первичные ореолы элементов-индикаторов на разрезе через месторождение Бом-Горхон

1—биотитовые граниты; 2—гранодиориты; 3—порфировидные гранодиориты;
4—гнейсы; 5—рудные тела; 6—разрывные нарушения; 7—скважины.
Содержания, %: 8—вольфрам $>0,5 \cdot 10^{-3}$, кобальт $>0,4 \cdot 10^{-3}$, никель $>0,2 \cdot 10^{-3}$, цинк $>0,5 \cdot 10^{-2}$, висмут $>1 \cdot 10^{-4}$, олово $>5 \cdot 10^{-4}$,
бериллий $>0,2 \cdot 10^{-4}$.

18—35°. Месторождение относится к кварцевому типу кварц-гюбнеритовой формации. Морфология жил сложная, с частыми раздувами и пережимами. Около жил слабо развиты грейзены кварц-слюдистого состава.

Основным промышленно-ценным минералом руд является гюбнерит. В незначительных количествах присутствуют сфalerит, кассiterит, козалит. Распределение минералов в жильной массе неравномерное, гнездово-вкрапленное.

Особенности первичных ореолов иллюстрируются по разрезу вкрест простирации рудного тела (рис. 11). Первичные ореолы изучены по результатам геохимического опробования керна буровых скважин. Отобранные пробы были проанализированы на широкий круг элементов-индикаторов. Обработка результатов анализа проб позволила установить, что вокруг рудных тел более или менее отчетливые ореолы образуют только вольфрам, никель, кобальт, цинк, висмут, олово и бериллий. Ореолы всех этих элементов отличаются небольшими размерами и весьма слабой контрастностью. Зональность в строенииmonoэлементных ореолов также проявлена чрезвычайно слабо и выражается в расширении ореолов цинка, никеля и кобальта к верхним частям разреза, а ореолов олова и бериллия — к ним (см. рис. 11). При общем постоян-

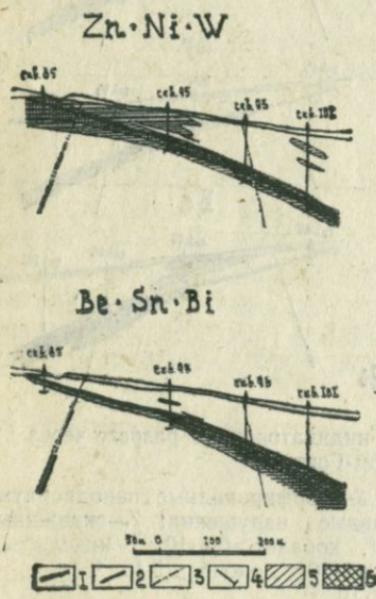


Рис. 12. Частные мультиплекативные ореолы элементов-индикаторов на разрезе через месторождение Бом-Горхон

1—грейзены; 2—рудные тела; 3—разрывные нарушения; 4—скважины. Содержания, %: 5—Zn·Ni·W— $0,01—0,1 \cdot 10^{-8}$; Be·Sn·Bi— $0,5—1 \cdot 10^{-11}$; 6—Zn·Ni·W— $>0,1 \cdot 10^{-8}$; Be·Sn·Bi— $>1 \cdot 10^{-11}$.

стве размеров ореолов вольфрама и висмута по восстанию рудных тел в верхних частях разреза наблюдается повышение величины продуктивности ореолов вольфрама, в нижних частях разреза заметно возрастает продуктивность ореола висмута (табл. 7).

Таблица 7

Величины линейных продуктивностей первичных ореолов

Сечения	Скважины	Вольфрам	Никель	Кобальт	Цинк	Висмут	Олово	Бериллий
I	95	0,080	0,009	0,026	0,69	0,003	0,002	0,00005
II	85	0,017	0,001	0,012	0,09	0,002	0,003	0,00005
III	93	0,045	0,003	0,010	0,33	0,022	0,097	0,00112
IV	101	0,040	0,0005	0,001	0,15	0,153	0,023	0,00030

Для определения ряда зональности элементов были рассчитаны величины показателя зональности (табл. 8).

Таблица 8

Величины показателя зональности элементов

Сечения	Вольфрам	Никель	Кобальт	Цинк	Висмут	Олово	Бериллий
I	0,330*	0,040	0,110	0,295	0,127	0,008	0,002
II	0,290	0,016	0,210	0,149	0,248	0,041	0,008
III	0,106	0,007	0,023	0,078	0,510	0,220	0,026
IV	0,022	0,0003	0,009	0,009	0,850	0,013	0,002

* Подчеркнуты максимальные значения величин показателя зональности.

Согласно табл. 8, зональность ореолов элементов-индикаторов кварц-гюбнеритового оруденения может быть выражена следующим рядом (сверху — вниз): (цинк, никель, вольфрам) — кобальт — (бериллий, олово) — висмут. В скобках

заключены элементы, взаимоотношения между которыми точно не установлены.

Частные мультиплекативные ореолы, построенные для группы верхнерудных (цинк, никель, вольфрам) и нижнерудных элементов (бериллий, олово, висмут), отличаются от моноэлементных ореолов более значительными размерами и высокой контрастностью (рис. 12) и, естественно, являются более надежными в практическом отношении. Другой важнейшей особенностью частных мультиплекативных ореолов является контрастная зональность в направлении восстания рудного тела, которая может быть использована для оценки уровня эрозионного среза рудных тел и сопровождающих их первичных ореолов.

Зональность в строении мультиплекативных ореолов иллюстрируется рис. 13 и табл. 9, из которых видно, что отношения линейных продуктивностей частных мультиплекативных ореолов монотонно изменяются более чем в $5 \cdot 10^5$ раз.

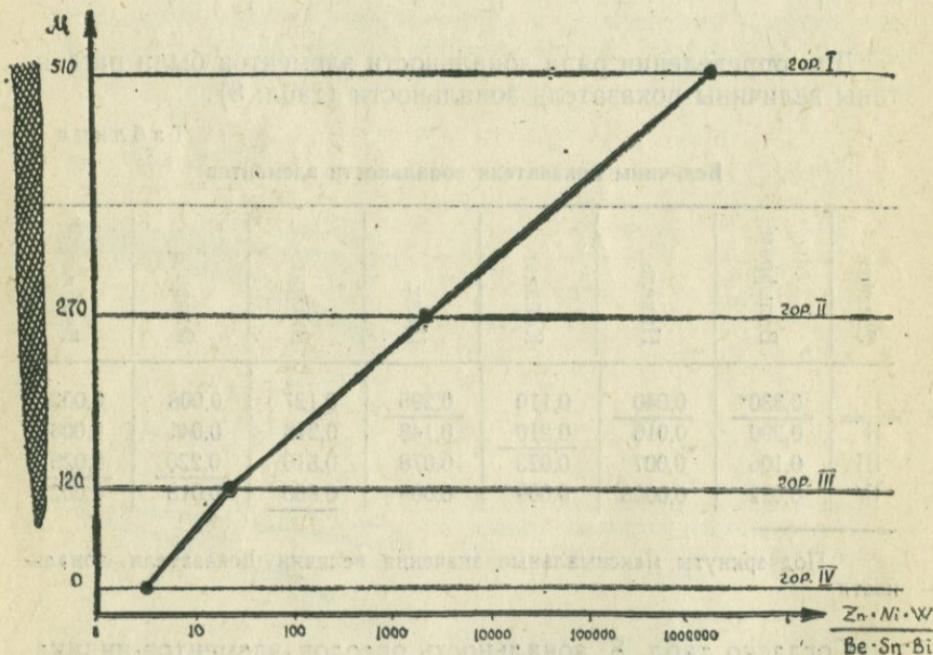


Рис. 13 . График индикаторного отношения $\frac{\text{Zn} \cdot \text{Ni} \cdot \text{W}}{\text{Be} \cdot \text{Sn} \cdot \text{Bi}}$ на разрезе через месторождение Бом-Горхон

**Величины отношения линейных продуктивностей
частных мультипликативных ореолов**

Сечения	цинк·никель·вольфрам бериллий·олово·висмут	Коэффициент контрастности, I/IV
I	$1,6 \cdot 10^6$	
II	$2,1 \cdot 10^3$	
III	$1,9 \cdot 10$	
IV	3,2	533000

Изложенное позволяет рекомендовать указанное отношение в качестве надежного критерия оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий, связанных с кварц-гюбнеритовым оруденением.

**М есторождения кварц-шеелитовой
формации**

В качестве примера рассмотрим кварц-шеелитовое месторождение Богуты, расположенное в северо-восточной части Заилийского антиклиниория. Оруденение представлено кварц-шеелитовым штокверком, расположенным в юго-восточном эзоконтакте Богутинского гранитного массива среди осадочных пород среднего ордовика.

Вмещающие породы ульген-богутинской свиты представлены двумя пачками средней подсвиты и нижней пачкой верхней подсвиты. В первой из них преобладают песчанистые разности при подчиненном развитии глинистых. Вторая — сланцевая — в нижней половине разреза состоит из часто переслаивающихся мелкозернистых и тонкозернистых песчаников и глинистых сланцев.

Месторождение представляет собой кварцево-жильную зону штокверкового типа, вся рудная минерализация которого сосредоточена в кварцевых жилах и прожилках. Границы рудной зоны нечеткие, постепенные и устанавливаются по результатам опробования. Внутреннее строение рудной зоны достаточно сложное, за счет чередования рудных и безрудных интервалов.

Простирание жил штокверкоподобной зоны месторождения север-северо-восточное, падение к северо-востоку—75—80°. Характерна их субпараллельность, несмотря на общие небольшие изменения простирания в разных частях месторождения.

Из гипогенных минералов в штокверке встречаются: кварц, мусковит, кальцит, калишпат, флюорит, альбит, апатит, хлорит, шеелит, пирит, молибденит, галенит, сфалерит, халькопирит, марказит, вольфрамит, асренопирит, висмут, пирротин, гематит, магнезит.

Особенности распределения элементов-индикаторов месторождения были исследованы по результатам экспрессного спектрального анализа проб, любезно предоставленных в распоряжение авторов Лютым А. Г., Митрофанским В. Ф., Салиным Б. А. Были использованы пробы, отобранные по поперечному разрезу через месторождение на поверхности и на трех горизонтах горных выработок (I—III, сверху вниз).

Для изучения зональности в распределении элементов-индикаторов по четырем горизонтам были рассчитаны величины показателя зональности элементов (табл. 10).

Таблица 10
Величины показателя зональности элементов

Горизонт опробования	Вольфрам	Молибден	Олово	Бериллий	Висмут	Мышьяк	Медь	Цинк
Поверхность	0,228	0,086	0,049	0,11	0,337	0,05	0,019	0,016
I	0,345	0,144	0,021	0,153	0,194	0,031	0,020	0,024
II	0,362	0,170	0,023	0,130	0,195	0,034	0,015	0,015
III	0,215	0,310	0,020	0,061	0,507	0,011	0,016	0,009

По данным табл. 10 можно составить следующий ряд зональности элементов-индикаторов: (Sn, As)—(Zn, Cu, Be)—W—(Mo, Bi).

С учетом этого ряда зональности было выбрано три варианта мультипликативного коэффициента зональности (табл. 11).

Как видно из табл. 11, величины всех индикаторных отношений с глубиной монотонно убывают, фиксируя отчетливую

Таблица 11

Величины мультипликативного коэффициента зональности

Горизонт опробования	$\frac{\text{Sn} \cdot \text{Be}}{\text{W} \cdot \text{Bi}}$	$\frac{\text{Sn} \cdot \text{Be} \cdot \text{Zn}}{\text{W} \cdot \text{Bi} \cdot \text{Mo}}$	$\frac{\text{Sn} \cdot \text{Be} \cdot \text{As}}{\text{W} \cdot \text{Bi} \cdot \text{Mo}}$
Поверхность	0,007	0,130	0,408
I	0,005	0,084	0,106
II	0,004	0,036	0,082
III	0,001	0,01	0,008
Контрастность	7	130	51

зональность в строении ореолов. Однако обращает на себя внимание то обстоятельство, что эта зональность в целом является малоконтрастной, что вероятнее всего следует объяснить тем, что приведенные в табл. 11 данные отражают зональность не отдельных рудных жил (этого сделать оказалось невозможным из-за сближенности рудных тел), а штокверково-образной линейно-вытянутой зоны в целом, представляющей собой группу сближенных субпараллельных жил, расположенных кулисно как в плане, так и в разрезе. Именно последнее обстоятельно обусловливает определенное «гашение» вертикальной зональности по причине наложения друг на друга ореолов, связанных с рудными жилами, расположенными на различных уровнях.

Зональность первичных геохимических ореолов

Ниже рассматривается вертикальная зональность ореолов, используемая для оценки уровня геохимических аномалий относительно оруденения и в частном случае, когда аномалии выявлены на поверхности, для оценки уровня их эрозионного среза.

В строении первичных ореолов исследованных вольфрамовых местооруждений установлена вертикальная зональность, которая в общем виде выражается в развитии наиболее интенсивных ореолов свинца, серебра, олова в надрудных (верхнерудных) сечениях окаторудного пространства, а молибдена, кобальта, мышьяка — на уровне тел и ниже.

Для сравнения особенностей зонального строения ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений, по всем изученным месторождениям были составлены ряды зональности основных элементов-индикаторов на основе расчета показателей зональности, а также изменений парных индикаторных отношений (продуктивностей, средних содержаний). Эти ряды приведены в табл. 12.

Таблица 12

**Ряды зональности основных элементов-индикаторов
вольфрамового оруденения**

Месторождение	Ряды зональности
Шурале	Скарно-шеелитовые (Ag, Pb), Zn, (Mo, Bi), Sn, Be, W
Чорухдайрон	Ag, (Pb, Zn), Cu, Sn, Mo, Be, Co, W
Джилау	Ag, Pb, Sn, Bi, As, W
Восток-2	(Ag, Pb), Zn, (Sn, Be), Bi, W
Тырныауз	(Sn, Be), (Bi, Mo), W
Первое	Грейзеновое (Cu, Pb, Zn), W, Bi, Sn, Be, Mo
Бом-Горхон	Кварц-гюбнеритовое Zn, W, Co, (Be, Sn), Bi
Богуты	Кварц-шеелитовое Ag, Sn, Be, (Bi, Mo, W)

Как следует из табл. 12, последовательность элементов в рядах зональности исследованных месторождений, несмотря на резкие различия в условиях их формирования, практически одна и та же. Эти ряды, однако, отличаются набором элементов. В ряду месторождения Джалау отсутствуют такие элементы, как медь, цинк, кобальт, молибден. На этом месторождении указанные элементы образуют весьма слабые по контрастности ореолы, которые, по всей вероятности из-за влияния флюктуаций фона, закономерной связи с рудными телами не образуют и поэтому не могут быть отнесены к числу основных элементов-индикаторов данного типа оруденения. Геохимические пробы, отобранные на месторождении Джалау, на берил-

лий не анализировалась, поэтому этот элемент в ряду зональности также отсутствует.

Минимальное количество элементов-индикаторов месторождения Тырныауз объясняется прежде всего полиформационной природой выявленных на этом месторождении ореолов, образовавшихся в результате совмещения в пространстве ореолов скарново-шебелитового и кварц-молибденитового оруденения. В табл. 12 приведены элементы, типоморфные только для скарново-шебелитового оруденения. Место молибдена определено в значительной степени условно, учитывая максимум его показателя зональности в надрудном сечении. (см. описание ореолов месторождения Тырныауз, табл. 4).

Мышьяк приведен только в ряду зональности месторождения Джилау. На остальных месторождениях в ряде проб, отобранных из рудных тел и в непосредственной близости от них, также установлены аномальные концентрации мышьяка, однако, распределение этих проб спорадическое и по ним не удается оконтурить достаточно четкие первичные его ореолы. Причина здесь не в отсутствии таких ореолов, а в недостаточной чувствительности используемого при геохимических поисках экспессного спектрального анализа на мышьяк.

Приведенные в табл. 12 ряды зональности элементов выявляют отчетливую геохимическую специализацию первичных ореолов месторождений различных формаций, которая выражается в различии набора основных элементов-индикаторов (т. е. образующих вокруг рудных тел данной рудной формации достаточно широкие и интенсивные ореолы). Наряду с этим для «сквозных» элементов, являющихся индикаторами всех рудных формаций, установлена принципиально единая последовательность в рядах зональности, что является отражением существующей в первичных ореолах вольфрамовых месторождений изученных формаций количественно единой геохимической зональности. Исключением является один из основных компонентов руд — вольфрам, который в рядах месторождений грейзеновой и кварц-гюбнеритовой формаций заметно перемещен влево. Это перемещение не является случайным и отражает существующую в строении первичных геохимических ореолов минеральную зональность. Дело здесь в том, что на месторождениях грейзеновой и кварц-гюбнеритовой формаций вольфрам представлен вольфрамитом и гюбнеритом, тогда как в остальных месторождениях вольфрам содержится в шебелите.

Подобные примеры минеральной зональности ореолов известны и для других типов месторождений. Так, для сульфид-

ных месторождений установлена минеральная зональность меди (блеклая руда вверху, халькопирит — внизу), мышьяка (соответственно блеклая руда — арсенопирит), олова (станнин — кассiterит) и ряда других элементов.

Исследования, выполненные на вольфрамовых месторождениях позволяют уточнить опубликованный ранее единый ряд зональности первичных геохимических ореолов гидротермальных месторождений, включив в него второй вольфрам, отвечающий вольфрамиту и гибнериту. С учетом этого единый ряд зональности будет выглядеть следующим образом: Ba, (Sb, As¹, Hg), Cu¹, Cd, Ag, Pb, Zn, Sn¹, Au, Cu², Bi, Ni, Co, Mo, U, Sn², W¹, As², Be, W².

Как уже отмечалось, практическое значение рядов зональности элементов-индикаторов заключается в том, что на их основе выбираются группы надрудных и подрудных элементов для расчета индикаторных отношений, используемых в качестве оценки вертикальной зональности. Конкретные примеры индикаторных отношений были рассмотрены выше при описании первичных ореолов месторождений различных рудных формаций.

Приведенные выше ряды элементов отражают *качество единую зональность* в первичных ореолах месторождений каждой из рассмотренных рудных формаций, что позволяет рекомендовать единые индикаторные отношения, используемые для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий. Очевидно, что эта оценка будет только относительной, т. е. может быть оценена только большая или меньшая степень эродированности геохимических аномалий.

В пределах известных рудных полей, когда имеются данные изучения эталонных месторождений, эта оценка будет более определенной. Конкретные цифровые значения индикаторных отношений, установленные по ореолам геохимических исследованных рудных тел, помогают увязать оценку уровня эрозионного среза геохимических аномалий с определенными уровнями первичных ореолов, т. е. определить надрудные (перспективные на слепое оруденение), среднерудные — нижнерудные и подрудные (оруденение полностью уничтожено эрозией) срезы.

Очевидно, что столь определенная оценка уровня эрозионного среза аномалий в новых районах (где эталонные объекты не изучались) будет возможна только тогда, когда в строении первичных ореолов месторождений данной формации будет установлена зональность единая не только качественно, но

и количественно, т. е. когда адекватные сечения ореолов различных месторождений данной формации характеризуются одинаковыми или близкими значениями одних и тех же индикаторных отношений.

Подобная количественно единая зональность, как известно, уже установлена для полиметаллических месторождений, в геохимическом отношении наиболее детально изученных (Григорян, 1974). Изучение первичных ореолов вольфрамового оруденения начато сравнительно недавно и поэтому в настоящее время мы не располагаем достаточными данными для решения этой задачи. Тем не менее, анализируя некоторые весьма фрагментарные данные, можно считать, что эта задача разрешима и исследования должны быть продолжены.

Для иллюстрации возможности выявления в строении первичных ореолов вольфрамовых месторождений количественно единой зональности рассмотрим особенности зональности первичных ореолов двух скарново-шебелитовых месторождений — Тырныауз и Восток-2 (Приморье).

Месторождение Восток-2 (Приморье) относится к шебелит-сульфидной скарновой формации. Месторождение приурочено к контактовой зоне штока меловых гранодиоритов, прорывающих верхнепермские песчано-алевролито-кремнистые породы с невыдержаными горизонтами и линзами известняков. Рудные тела представлены согласными с вмещающими породами крутопадающими скарновыми залежами с наложенным вольфрамовым оруденением. Наиболее распространенными рудными минералами являются шебелит, пирротин, халькопирит, реже арсенопирит. В меньших количествах в рудах содержатся висмутин, самородный висмут, галенит, сфалерит, сульфосоли свинца и меди, редко встречаются станин и касситерит.

Первичные геохимические ореолы месторождения были исследованы по результатам анализа геохимических проб, любезно предоставленных А. Ф. Миронюком.

Было установлено, что вокруг рудных тел месторождения существуют ореолы широкого круга химических элементов. Ниже рассматриваются ореолы только олова, бериллия, висмута и вольфрама (рис. 14), которые являются основными элементами-индикаторами месторождения Тырныауз. Эти ореолы являются наиболее широкими и контрастными по сравнению с ореолами других элементов. Ореолы вольфрама и висмута концентрируются в пределах всех сечений разреза с заметным смещением вниз. Ореолы олова и бериллия достигают наи-

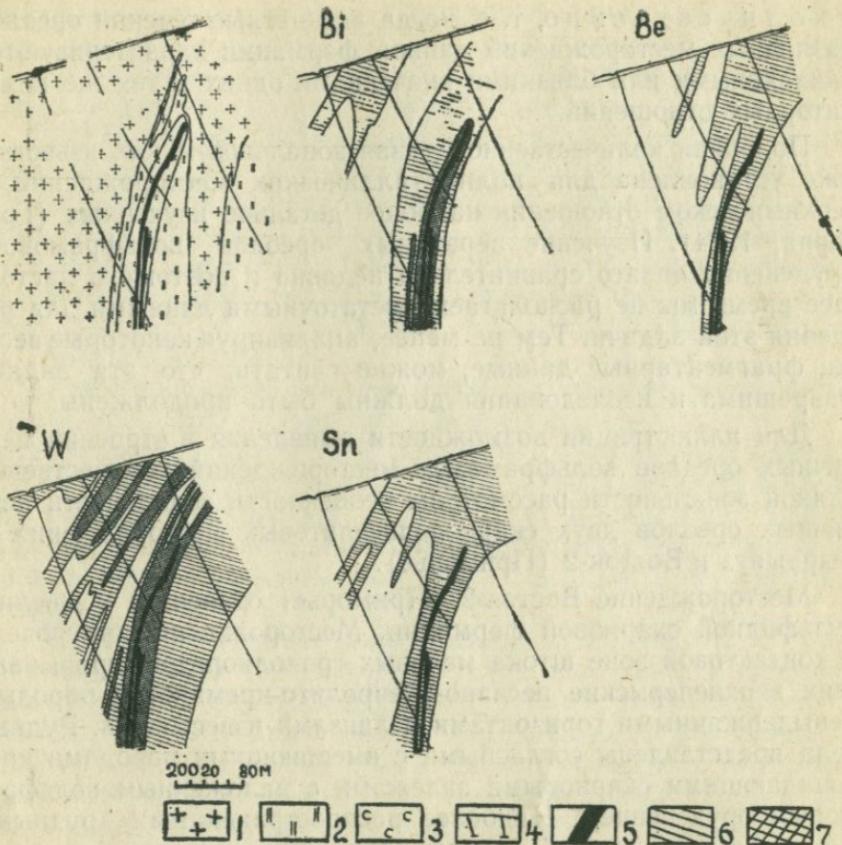


Рис. 14. Первичные ореолы элементов-индикаторов на разрезе через месторождение Восток-2

1—гранит; 2—терригенно-осадочные метаморфизованные породы;
 3—скарны; 4—скважины; 5—рудное тело. Содержания, %: 6—
 вольфрам $1-10 \cdot 10^{-3}$, олово $> 1 \cdot 10^{-3}$, висмут, бериллий $> 1 \cdot 10^{-4}$
 7—вольфрам $> 10 \cdot 10^{-3}$

большей ширины и концентрации в верхних сечениях рудного тела (рис. 14).

Подсчет показателя зональности для этих элементов (табл. 13) показывает, что по отношению к рудному телу изученные элементы подразделяются на две группы—надрудные (бериллий и олово) и рудно-подрудные (висмут и вольфрам). Ряд зональности выглядит следующим образом (сверху вниз): (бериллий, олово)—(висмут, вольфрам).

Таблица 13

Величины показателей зональности элементов-индикаторов

Сечения	Вольфрам	Висмут	Олово	Бериллий
I	0,40	0,29	<u>0,038</u>	<u>0,179</u>
II	0,50	0,38	<u>0,012</u>	<u>0,081</u>
III	<u>0,52*</u>	<u>0,48</u>	0,006	0,004

* Подчеркнуты максимальные значения величин показателей зональности.

Отношения параметров частных аддитивных и мультипликативных ореолов $\frac{\text{олово} + \text{бериллий}}{\text{вольфрам} + \text{висмут}}$ и $\frac{\text{олово} \times \text{бериллий}}{\text{висмут} \times \text{вольфрам}}$ достаточно контрастны и отличаются на смежных сечениях более чем на порядок (табл. 14).

Таблица 14

Величины отношений линейных продуктивностей частных аддитивных и мультипликативных ореолов

Сечения	$\frac{\text{олово} + \text{бериллий}}{\text{висмут} + \text{вольфрам}}$	$\frac{\text{олово} \times \text{бериллий}}{\text{висмут} \times \text{вольфрам}}$		I III
		I	III	
I	0,31		0,06	
II	0,02	31	0,005	
III	0,01		0,0004	150

Сравнение величин аддитивных и мультипликативных отношений показывает, что последние являются более контрастными.

Как следует из рис. 15, в строении частных суммарных (аддитивных и мультипликативных) ореолов перечисленных выше элементов выявляется количественно единая зональность. Графики индикаторных отношений по сравниваемым месторождениям достаточно синхронно и монотонно убывают с глубиной,

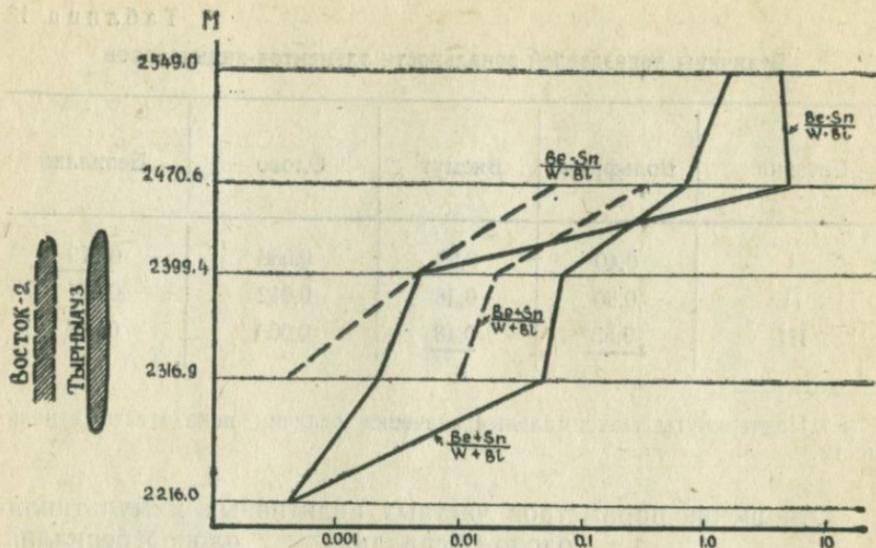


Рис. 15. Графики изменения аддитивных и мультипликативных отношений линейных продуктивностей ореолов элементов-индикаторов на разрезах через месторождения Тырныауз и Восток-2

фиксируя близкие величины индикаторного отношения для адекватных сечений ореолов. Исходя из опыта изучения месторождений других типов, можно предположить, что коэффициенты более высокого порядка позволят установить более тесное совмещение графиков различных месторождений, т. е. выявить более надежную в практическом использовании количественно единую зональность.

В заключение отметим, что при интерпретации выявленных геохимических аномалий, прежде чем перейти к оценке уровня их эрозионного среза, необходимо установить их природу: выявленные аномалии связаны только с одной, например скарново-шебелитовой, формацией или же они являются полиформационными, как это было установлено на месторождении Тырныауз (критерии расшифровки полиформационных ореолов подробно рассматриваются в главе III и поэтому здесь не приводятся). После решения этой задачи производится выбор надрудных и подрудных элементов в соответствии с приведенными в табл. 12 рядами зональности, строятся частные суммарные ореолы и рассчитывается отношение их параметров, по величине которого определяется уровень среза исследуемой аномалии.

В тех случаях, когда поиски проводятся в районах, где известны вольфрамовые месторождения, приведенные в табл. 12, элементный состав ореолов, а также ряды зональности могут быть уточнены по результатам изучения первичных ореолов этих месторождений. На новых площадях, где подобные «эталонные» месторождения неизвестны, могут быть использованы данные, приведенные в табл. 12.

Конкретные примеры интерпретации геохимических аномалий, и в частности, оценки уровня их эрозионного среза с помощью рассмотренной выше вертикальной зональности, будут рассмотрены в последующих главах.

Глава II

ВТОРИЧНЫЕ (ГИПЕРГЕННЫЕ) ОРЕОЛЫ И ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Вопросы методики поисков рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния достаточно подробно изложены в многочисленных публикациях и хорошо известны широкому кругу геологов, поэтому эти методы в настоящей работе рассматриваются лишь в той мере, в какой это необходимо для обоснования выбора элементов-индикаторов при поисках слепых и слабоэродированных месторождений вольфрама. Именно поэтому ниже более подробно рассматриваются вопросы корреляции первичных и вторичных геохимических ореолов, так как характер этой корреляции определяет возможность и надежность поисков слепых и слабоэродированных рудных тел и месторождений по их гипергенным ореолам рассеяния.

Известно, что формирование вторичных литохимических ореолов происходит в результате физического и химического выветривания рудных тел и окаймляющих их первичных геохимических ореолов.

По фазовому состоянию вторичные ореолы обычно подразделяют на *механические* и *солевые*. В зависимости от характера вмещающей толщи и условий формирования вторичные ореолы рассеяния подразделяют на *остаточные* (формирующиеся по продуктам выветривания ранее существовавшего рудного тела или первичного ореола) и *наложенные* (в контурах которого до проявления процесса формирования ореолов первичная рудная минерализация отсутствовала).

По степени доступности для опробования с поверхности различают *открытые* ореолы, т. е. выходящие на современную дневную поверхность, и *закрытые* (погребенные) ореолы, раз-

вые на некоторой глубине от поверхности. Таким образом, все открытые ореолы могут быть обнаружены и изучены путем опробования верхних горизонтов почв, а закрытые — путем отбора проб на уровне их надежного развития. В практике геохимических работ этот уровень получил название *представительного горизонта* для опробования (обычно это определенный генетический горизонт почв или рыхлых отложений) и его положение определяет глубину отбора геохимических проб.

Опыт показывает, что поиски по вторичным ореолам рассеяния наиболее эффективны в районах, где существуют условия, благоприятные для развития остаточных открытых ореолов рассеяния.

В районах со сложным строением осадочного покрова, где преобладают закрытые (погребенные) ореолы различного типа, обычно используются глубинные модификации литохимических поисков, основанные на опробовании «представительного горизонта» с помощью специальных короткометражных скважин.

Для интерпретации гипергенных литохимических аномалий А. П. Солововым (1965) предложена методика оценки прогнозных запасов коренного оруденения по продуктивности его гипергенных ореолов.

Подсчет количества металла в ореолах обычно производится в $m\%$ (линейная продуктивность) или в $m^2\%$ (площадная продуктивность) по следующим формулам (Соловов, 1965).

$$P = \Delta_x \left(\sum_n^1 C_x - nC_{\Phi} \right) \text{ линейная продуктивность в } m\%;$$

$$P = \Delta_x l \left(\sum_n^1 C_x - nC_{\Phi} \right) \text{ площадная продуктивность в } m^2\%.$$

В этой формуле: Δ_x — расстояние между точками пробоотбора по профилю;

l — расстояние между профилями;

$\sum_n^1 C_x$ — арифметическая сумма всех аномальных концентраций элемента;

C_{Φ} — значение местного фона;

n — количество точек, вошедших в подсчет.

Для районов с преимущественным развитием остаточных вторичных ореолов рассеяния между запасами металла в линейном сечении рудного тела ($M_{\text{рудн. тело}}$) и продуктивностью вторичных ореолов ($M_{\text{вт. ореол}}$) на поверхности установлена прямая связь, выражаящаяся формулой:

$$M_{\text{вт. ореол}} = K \cdot M_{\text{рудн. тело}},$$

где K — коэффициент пропорциональности, обусловленный совокупностью местных условий.

Наличие этой связи позволило А. П. Соловову предложить метод подсчета прогнозных запасов оруденения в коренном залегании по параметрам вторичных ореолов рассеяния элементов.

Прогнозные запасы рассчитываются по формуле:

$$Q = KqH,$$

где Q — прогнозные запасы металла в коренном залегании;
 K — коэффициент пропорциональности, устанавливаемый в каждом районе путем проведения специальных опытно-методических работ;

H — целесообразная по геологическим данным глубина подсчета;

q — продуктивность, выраженная в тоннах металла для слоя мощностью 1 м.

$$q = \frac{P \cdot 1 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ г/см}^3}{100} = \frac{P}{40 \text{ т/м}}$$

P — продуктивность;

$2,5 \text{ г/см}^3$ — усредненный объемный вес горных пород;

100 — коэффициент для перехода от весовых % к тоннам металла.

Очевидно, что оценка прогнозных запасов оруденения может быть надежной только в том случае, если имеются данные о глубине эрозионного среза исследуемых участков. К сожалению, этот вопрос для вторичных ореолов рассеяния до сих пор мало разработан, хотя он имеет принципиальное значение. Для иллюстрации этого положения обратимся к рис. 16, где показаны три варианта эрозионного среза рудных тел.

Соотношение продуктивностей вторичных ореолов для этих трех рудных тел будет $M_1 < M_2 < M_3$.

Очевидно, что аномалии, связанные со вторым и третьим рудными телами, обладающие большей продуктивностью, без учета их эрозионного среза могут быть признаны более перспективными по сравнению с первым телом. Поэтому метод

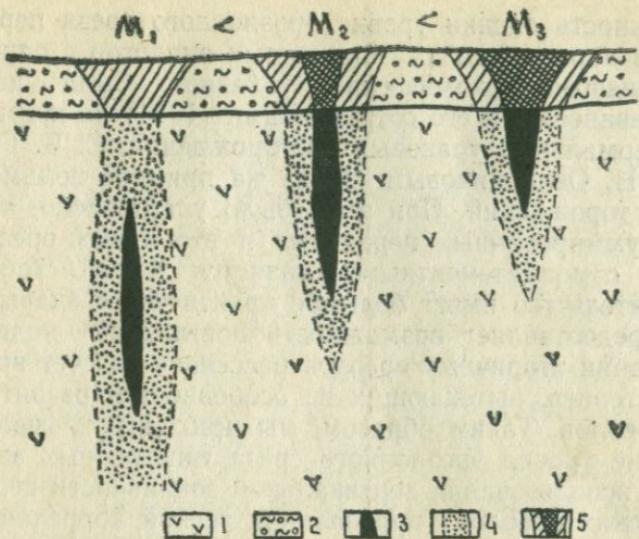


Рис. 16. Продуктивность вторичных ореолов рассеяния в зависимости от уровня эрозионного среза рудных тел

1—вмещающие породы; 2—наносы; 3—рудное тело;
4—первичные ореолы; 5—вторичные ореолы различной
интенсивности

оценки прогнозных запасов по продуктивности гипергенных аномалий следует использовать для оценки аномалий примерно одинакового уровня эрозионного среза, что достаточно надежно устанавливается на основе вертикальной зональности первичных геохимических ореолов. Однако, во многих случаях коренные породы недоступны для непосредственного опробования с поверхности. Вскрытие же их не всегда экономически оправдано. В связи с этим приобретает исключительную актуальность проблема разработки критериев оценки уровня эрозионного среза рудных тел и окаймляющих их первичных геохимических ореолов непосредственно по особенностям распределения элементов-индикаторов в их гипергенных ореолах. Очевидно, что наиболее просто надежное решение этой задачи может быть достигнуто на тех площадях, где вторичные ореолы рассеяния являются полными (адекватными) аналогами первичных ореолов, когда индикаторные отношения, используемые для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий, одинаковы (или близк по величине) для первичных и вторичных ореолов.

Возможность оценки уровня эрозионного среза первичных ореолов по параметрам их гипергенных аналогов в определенных ландшафтно-геохимических условиях была доказана Н. Н. Сочевановым и его сотрудниками (1964) на примере ряда гидротермальных урановых месторождений, С. В. Григоряном и Л. Н. Овчинниковым (1972) на примере полиметаллических месторождений. При этом было установлено, что корреляция суммированных первичных и вторичных ореолов по сравнению с моноэлементными является более стабильной. Это обстоятельство имеет большое практическое значение, поскольку предоставляет возможность повышения надежности интерпретации вторичных ореолов рассеяния за счет использования критериев, вытекающих из особенностей развития первичных ореолов. Таким образом, мы приходим к выводу, что определение уровня эрозионного среза гипергенных аномалий на основе использования вертикальной зональности первичных геохимических ореолов (при наличии тесной корреляции первичных и вторичных ореолов) позволяет оценить перспективы рудоносности аномалий на глубину и увеличить тем самым глубинность прогноза.

В свете изложенного очевидна важность изучения особенностей корреляции первичных и вторичных ореолов. При этом мы выделяем:

1) Пространственную корреляцию, когда имеется в виду совпадение ореолов в пространстве. Существование подобной корреляции предоставляет возможность поисков перекрытых рыхлыми отложениями первичных ореолов по их гипергенным аналогам, выявляемым по результатам отработания почв на поверхности.

2) Количественную корреляцию, когда выявляется численное соответствие тех или иных параметров первичных и вторичных ореолов. Из параметров ореолов одними из наиболее важных являются индикаторные отношения, используемые для оценки уровня эрозионного среза первичных ореолов, поэтому ниже основное внимание уделяется сопоставлению величин этого параметра, рассчитанных по первичным и вторичным ореолам типоморфных для вольфрамовых месторождений элементов-индикаторов, исследованных на одних и тех же участках.

Вопросы корреляции первичных и вторичных ореолов месторождений вольфрам-молибденовых руд рассматриваются нами на примере Чорух-Дайронского и Курусайского рудных полей. Район этих рудных полей характеризуется относительно

пологими и плавными формами рельефа, где наряду с процессами линейной и плоскостной денудации широко развиты и процессы аккумуляции рыхлого материала. Горные склоны повсеместно закрыты плащом рыхлых отложений из продуктов эрозии, при этом в нижней части склонов мощность этого покрова увеличивается. Широкие межгорные котловины также выполнены толщей грубосортированных осадочных образований мощностью от десятков до сотен метров. Формирующий на этих отложениях почвенный покров представлен горно-коричневыми (на склонах), местами карбонатными почвами и типичными сероземами (в депрессиях).

Климат характеризуется жарким и сухим летом (до 30—35°) и умеренно-мягкой (0—5°) зимой. Количество осадков невелико — всего 200—300 мм, причем их основная масса выпадает в зимне-весенний период. Растительный покров развивается только в весенне время. В основном это разнотравье и мелкие кустарники.

Ниже рассматриваются результаты изучения корреляции первичных и вторичных ореолов на трех изолированных участках: участке Тутлы-III (Курусайское рудное поле), где на фланге скарново-полиметаллического оруденения вскрыта вольфрам-молибденовая минерализация; на участках Айна-Булак и Юбилейный (Чорухдайронское рудное поле) с вольфрамовым и вольфрам-молибденовым оруденением.

В пределах указанных участков по ряду пересечений проводилось параллельное (из одних и тех же интервалов) опробование рыхлых и коренных образований. В этом случае проба рыхлых отложений отбиралась из середины интервала опробования коренных пород. Расстояние между порфилями опробования лимитировалось густотой поверхностных горных выработок (канав, шурфов и т. д.) и менялось от 50 до 200 м. Отбор геохимических проб из коренных пород производился по обычной методике («пунктирная борозда» с интервалом 5—10 м, в зависимости от характера геологического строения). Отбор проб рыхлых отложений производился с шагом опробования в 10 м из дна мелких копуш (10—15 см). Длина профилей поверхностного опробования обычно превышала длину разведочных канав с целью выхода за контуры аномалий на фоновые участки.

Участок Тутлы-III. Этот участок охватывает территорию одноименного скарново-полиметаллического месторождения, рудные тела которого на глибне сменяются вольфрам-молибденовой минерализацией.

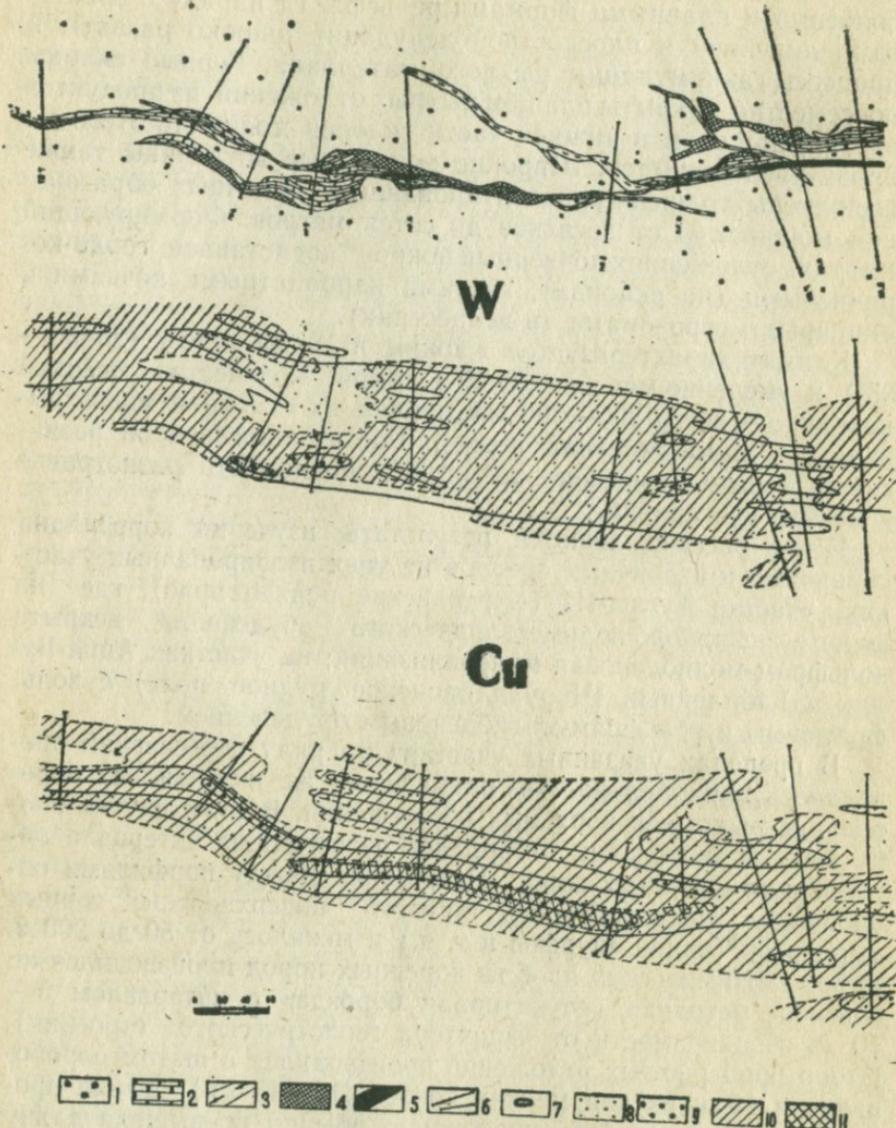
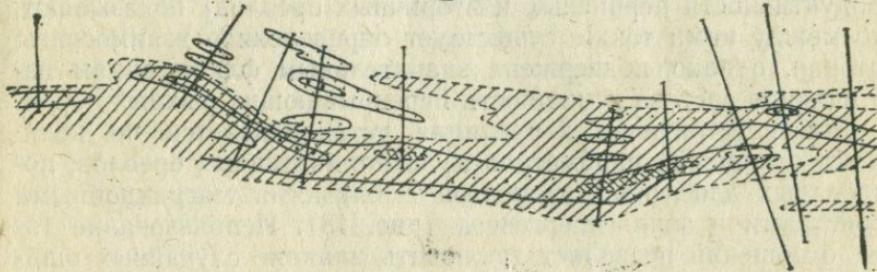


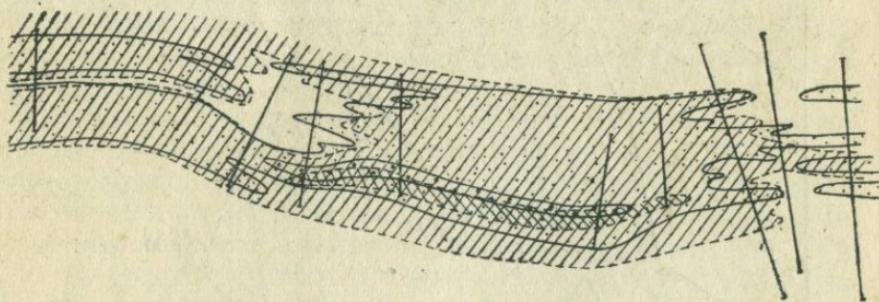
Рис. 17. Сопоставление первичных и вторичных ореолов на участке Тутлы-III

1—ганодиориты; 2—доломиты; 3—дайки диабазовых порфиритов; 4—гранат-пироксеновые скарны; 5—рудная минерализация; 6—опробованные профили; 7—древние выработки.

Pb



Bi



Содержания (%) в первичных (8, 9) и вторичных (10, 11) ореолах: 8, 9—вольфрам 0,001; медь, свинец 0,005, серебро 0,00005, висмут 0,0001;
8, 10—вольфрам 0,001, медь, свинец 0,005, серебро 0,00005, висмут 0,0001;
9, 11—вольфрам 0,003, медь 0,1, серебро 0,0001, свинец 0,5, висмут 0,002

На рис. 17 показаны закономерности размещения первичных геохимических ореолов ряда элементов-индикаторов по простирианию рудовмещающей структуры, а также их гипергенные аналоги, полученные в результате опробования перекрывающих коренные породы рыхлых отложений. Конфигурация указанных ореолов, как первичных, так и вторичных, четко фиксирует рудовмещающую структуру на всем ее протяжении. При этом более значительным по размерам и интенсивности первичным ореолам соответствуют более широкие и интенсивные вторичные ореолы рассеяния, т. е. между ними намечается достаточно тесная пространственная корреляция.

Сравнение различных параметров (средние содержания, продуктивности первичных и вторичных ореолов) показывают, что между ними также существует определенная взаимосвязь, которая, однако, подвержена значительным флюктуациям из-за влияния состава и мощности перекрывающих рыхлых пород.

Более устойчивая корреляция устанавливается по величинам отношений параметров мультиплекативных ореолов, построенных для групп элементов с близкими миграционными свойствами в зоне гипергенеза (рис. 18). Использование таких отношений позволяет исключить влияние случайных ошибок.

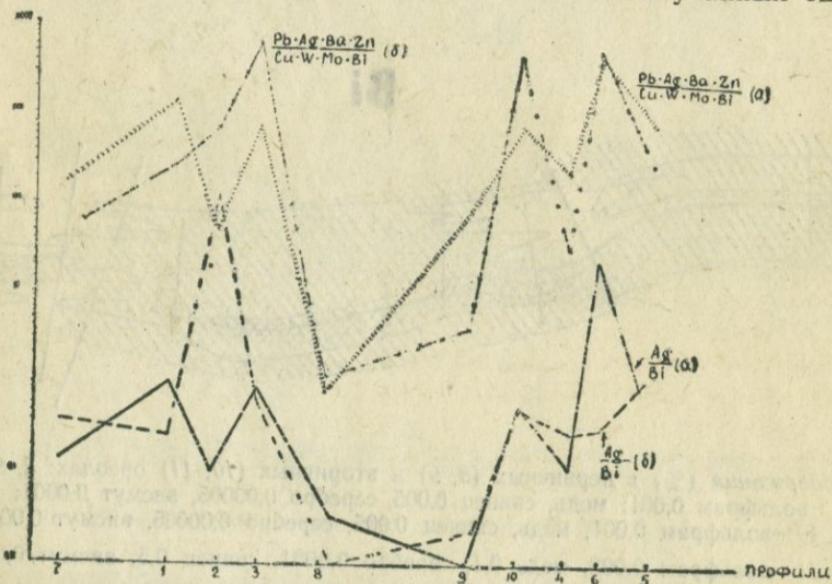


Рис. 18. Характер корреляции парных и мультиплекативных отношений элементов-индикаторов в первичных (а) и вторичных (б) ореолах на участке Тутлы-III

бок и выделить основные тенденции, характерные для гипергенных аналогов первичных ореолов на различных уровнях эрозионного среза.

Как видно из рис. 18, для парных соотношений наблюдаются значительные флюктуации, которые сглаживаются для мультиплакативных соотношений. Контрастность последних очень велика (в нашем случае до 10000 раз), что позволяет с достаточной степенью надежности оценивать эрозионный срез геохимических аномалий не только по первичным ореолам, но и по их гипергенным аналогам.

Из графиков отчетливо видно, что различным типам минерализации (полиметаллической и вольфрам-молибденовой) соответствуют различные по абсолютной величине мультиплакативные соотношения, причем во вторичных ореолах они практически повторяют графики этих же соотношений в первичных ореолах.

Участок Айна-Булак расположен в предгорной части северного склона хребта Могол-Тау в районе развития останцов среднепалеозойских известняков на границе с Мирзабадской депрессией. Известняки местами сильно скарнированы. С севера они ограничены альбитизированными монцонитами.

Вольфрамовое (скарново-шеелитовое) оруденение приурочено к участкам развития гранат-пироксеновых скарнов и представлено редкой вкрапленностью шеелита.

Поверхность участка представляет собой полого-волнистый склон, покрытый плащом элювио-делювиальных отложений мощностью не более 0,3—1,0 м.

В пределах этого участка по результатам совмещенного опробования коренных пород и рыхлых отложений были выявлены первичные и вторичные ореолы типоморфного комплекса элементов-индикаторов вольфрамового оруденения. На рис. 19 они показаны в мультиплакативном варианте для двух групп — надрудной ($Pb \times Ag \times As \times Zn$) и рудной ($Cu \times Co \times Bi \times W$). Как видно, между первичными и вторичными мультиплакативными ореолами обеих групп элементов существует тесная пространственная взаимосвязь. При этом полям максимальных концентраций элементов в первичных ореолах соответствуют не менее контрастные и стабильные поля во вторичных ореолах. Следует отметить, что по интенсивности вторичные ореолы рассеяния обычно превосходят первичные ореолы. Особенно отчетливо это видно на примере ореолов надрудных элементов (рис. 19).

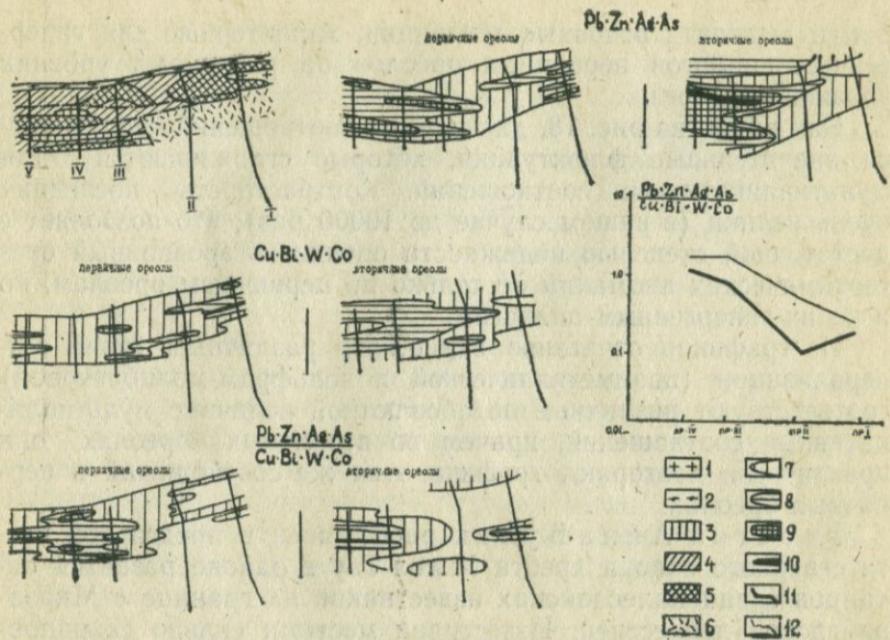


Рис. 19. Сопоставление первичных и вторичных мультиплексивных ореолов на участке Айна-Булак

1—гранодиориты; 2—монцониты; 3—останцы известняков; 4—скарнированные известняки; 5—гранат-пироксеновые скарны; 6—измененные породы. Содержания Pb·Ag·As·Zn: 7— $1-100 \cdot 10^{-12}$; 8— $100-1000 \cdot 10^{-12}$; 9— $1000-10000 \cdot 10^{-12}$; 10— $>10000 \cdot 10^{-12}$; Cu·Bi·W·Co: 7— $1-100 \cdot 10^{-11}$; 8— $100-1000 \cdot 10^{-11}$; 9— $1000-10000 \cdot 10^{-11}$; $\frac{Pb \cdot Ag \cdot As \cdot Zn}{Cu \cdot Bi \cdot W \cdot Co}$:

$$7-0,5-5,0; 8-5-50.$$

Графики соотношений продуктивностей обеих групп элементов:
11—в первичных ореолах; 12—во вторичных

Весьма интересные данные получаются при расчете мультиплексивных соотношений в каждой пробе в пределах участка. Как видно, с востока на запад величина этих соотношений закономерно возрастает, фиксируя изменение в уровне эрозионного среза в пространстве. Эта картина характерна как для вторичных, так и первичных ореолов, что позволяет использовать эти данные для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий в коренных породах по вторичным ореолам. Аналогичные результаты были получены при сопоставлении соотношений произведений линейных продуктивностей, указанных групп элементов по всем опробованным профилям (рис. 19).

Как видно из рис. 19, между первичными и вторичными ореолами существует тесная количественная корреляция: эти отношения как по первичным, так и вторичным ореолам убывают в направлении с запада на восток, отражая закономерное изменение в этом направлении уровня эрозионного среза.

Рассмотренные выше участки характеризуются сравнительно небольшой мощностью рыхлых отложений (1 м, редко больше). Результаты изучения подобных участков также показывают, что в условиях исследованного района при небольшой мощности элювио-делювиальных отложений выявляется тесная пространственная и количественная связь между первичными и вторичными ореолами, что позволяет по результатам геохимического опробования рыхлых отложений не только обнаружить перспективные на вольфрамовое оруденение участки (первичные ореолы), но и оценить уровень их эрозионного среза.

Для иллюстрации особенностей корреляции первичных и вторичных ореолов в условиях отложений большой мощности рассмотрим результаты исследований, выполненных на участке Юбилейный.

Участок Юбилейный расположен на флангах Чорудайронского рудного поля, в пределах краевой части Мирзарабадской депрессии, выполненной древнечертвичными груbosортированными аллювиально-пролювиальными отложениями мощностью от 5 до 100—150 м. В результате опробования керна скважин в рудовмещающих коренных породах были выявлены отноительно слабоконтрастные ореолы ряда элементов-индикаторов, сопровождающие убогую шеелитовую минерализацию.

На рис. 20 они показаны в виде общих мультиплекативных ореолов всей исследованной гаммы элементов.

Опробование верхних горизонтов почвенного профиля над этим разрезом, при мощности перекрывающей рыхлой толщи около 10—15 м, не позволило выявить сколько-нибудь контрастные моноэлементные ореолы. В связи с этим было предпринято построение общих мультиплекативных ореолов по результатам опробования верхней солевой корочки, формирующейся на поверхности почв в засушливый период, и по результатам опробования гумусового горизонта почв (рис. 20).

Как видно, над аномалиями в коренных породах на уровне современной дневной поверхности фиксируются достаточно контрастные мультиплекативные вторичные ореолы, причем в «солевом» варианте они более точно отражают контуры ано-

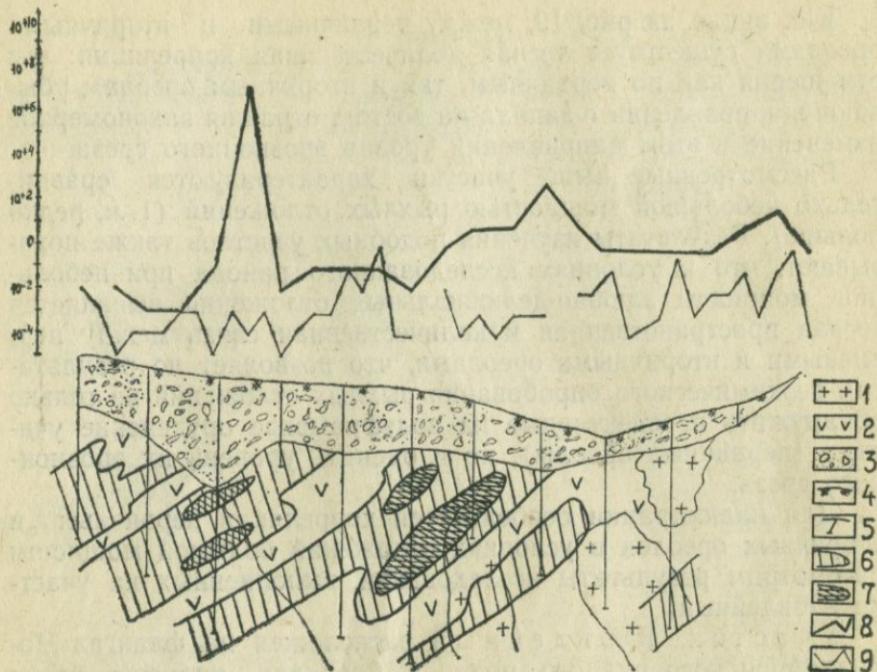


Рис. 20. Особенности взаимоотношений первичных и вторичных мультиплекативных ореолов на участке с мощным покровом рыхлых аллохтонных отложений (участок Юбилейный)

1—гранодиориты; 2—альбититы; 3—аллювиальные песчано-галечниковые отложения; 4—почвы; 5—опробованные скважины. Концентрация элементов в общих мультиплекативных ореолах в коренных породах, усл. ед.: 6—200, 7—50000. Графики мультиплекативных ореолов: 8—в солевой кочке над почвой; 9—в почве

малий в коренных породах. Естественно, что в данном случае оценивать эрозионный срез аномалии в коренных породах по вторичным ореолам не имеет смысла, однако задача обнаружения и оконтуривания подобных аномалий в коренных породах по результатам опробования рыхлых отложений на поверхности может быть решена успешно. Отметим, что в данном случае по результатам опробования поверхностного горизонта рыхлых отложений отчетливо фиксируются слабые по интенсивности первичные ореолы в коренных породах (рис. 20).

Приведенные выше данные показывают, что в условиях исследованных площадей, перекрытых элювио-делювиальными

ми отложениями ограниченной (5—15 ..., редко больше) мощности, выявление и оценка уровня эрозионного среза первичных геохимических аномалий возможны по результатам изучения гипергенного поля рассеяния элементов-индикаторов вольфрамовых месторождений. Очевидно, что это существенно повысит эффективность поисков вольфрамовых месторождений по их гипергенным ореолам и в первую очередь их глубинность, поскольку оценка уровня эрозионного среза аномалий представляет собой основу оценки перспектив исследованных участков на глубину.

Естественно, что рассмотренные выше критерии могут быть эффективно использованы только при интерпретации остаточных открытых вторичных ореолов рассеяния. В районах с устойчивым покровом аллохтонных или делювиальных отложений, мощность которых значительна, использование таких критериев может не дать положительных результатов, поскольку формирование вторичных ореолов в толще рыхлых образований происходит иным путем, в основном, за счет миграции металlosодержащих вод и осаждения элементов из растворов на различных физико-химических барьерах. В подобных случаях по результатам опробования почв с поверхности в лучшем случае может быть решена задача локализации аномалий, дальнейшая интерпретация которых потребует вскрытия коренных пород или же горизонта перекрывающих их рыхлых отложений, удовлетворительно коррелирующегося с ореолами в коренных породах.

К числу подобных относится рассмотренный нами пример сравнительного изучения особенностей развития первичных и вторичных ореолов на участке Юбилейный.

Следует отметить, что рассмотренные выше примеры только иллюстрируют методические принципы использования гипергенных ореолов рассеяния элементов-индикаторов при поисках и оценке первичных геохимических ореолов в коренныхрудовмещающих породах и могут служить «эталонами» в лучшем случае для исследованных районов. В других районах, естественно, должны быть использованы данные изучения корреляции первичных и вторичных ореолов, выполненного в пределах участков, охватывающих различные типы ландшафтов. По результатам подобных исследований составляются карты районирования (на ландшафтной основе) исследуемых территорий по условиям ведения геохимических поисков, на которых в обязательном порядке должны быть выделены:

1. Площади с тесной, т. е. как пространственной, так и

количественной корреляцией первичных и вторичных ореолов. Под количественной корреляцией мы подразумеваем синхронное изменение величин индикаторных отношений (отношение продуктивностей ореолов надрудных и подрудных элементов), при этом расхождения между первичными и вторичными ореолами не должны превышать уровень, гарантирующий надежную дифференциацию надрудных (слепое оруденение), верхнерудных (слабоэродированное оруденение), нижнерудных (глубокоэродированное оруденение) и подрудных срезов ореолов.

2. Площади, где в силу различных причин (аллохтонный характер рыхлых отложений, большая мощность и др.) между первичными и вторичными ореолами выявляется только пространственная корреляция и отсутствует количественная (например, участок Юбилейный). В пределах таких площадей по результатам опробования рыхлых отложений с поверхности выделяются аномалии, дальнейшая интерпретация которых, как уже отмечалось, потребует вскрытия коренных пород или же горизонта рыхлых отложений, где вторичные ореолы с подстилающими их первичными коррелируются количественно.

3. Площади, где первичные и вторичные ореолы являются погребенными (перекрыты аллохтонными отложениями значительной мощности). В подобных условиях обычно применяются глубинные модификации геохимических поисков с использованием буровых работ.

Из изложенного следует, что в благоприятных условиях, когда доказана удовлетворительная корреляция между первичными и вторичными ореолами, с помощью рассмотренных выше критерии представляется возможным выделить перспективные на глубину гипергенные аномалии. Однако перед тем, как поставить на этих участках дорогостоящие разведочные работы, представляется целесообразным вскрытие и опробование коренных пород по единичным профилям для выяснения особенностей развития первичных ореолов, увязки их с геолого-структурной позицией участка и уточнения на этой основе оценки перспектив его рудоносности. Эти данные крайне важны для размещения в последующем разведочных выработок. Сведения об особенностях распределения элементов-индикаторов в первичных ореолах особенно цены в случаях, когда:

а) первичные ореолы являются полиформационными, образовавшимися в результате совмещения в пространстве ореолов рудных тел различных формаций. В гипергенном поле рассея-

ния элементов по причине определенного перераспределения элементов полиформационная природа первичных ореолов не всегда может быть установлена достаточно надежно. Учет этого обстоятельства представляется особенно важным при поисках вольфрамовых месторождений, поскольку для них как это было выше показано, чрезвычайно характерно формирование полиформационных ореолов в результате совмещения в пространстве ореолов различных типов оруденения (например, на месторождении Тырныауз, где известны рудные тела скарново-шелеитового и кварц-молибденитового состава).

б) первичные ореолы развиты вокруг сближенных в пространстве рудных тел различного эрозионного среза и эта неоднородность первичных ореолов может быть «смазана» в гипергенных аномалиях.

Литохимические потоки рассеяния представляют собой одну из разновидностей вторичных ореолов, специфическими особенностями которой является приуроченность к аллювиальным отложениям, а также линейно вытянутая форма.

Потоки рассеяния своими головными частями прымывают ко вторичным ореолам рассеяния, за счет разрушения которых процессами склоновой эрозии и происходит их формирование. Таким образом, потоки рассеяния генетически связаны со вторичными ореолами рассеяния, а через них с рудными концентрациями в коренных породах. Эта связь известна уже давно и собственно поиски коренных источников по механическим ореолам устойчивых к выветриванию минералов: кассiterита, киновари, золота и др. (шлиховой метод), и послужили родоначальником различных видов геохимических методов поисков.

Однако многие гидрогенные элементы (медь, цинк, свинец, молибден и др.) в потоках рассеяния находятся в тонкодисперсной, солевой или сорбированной форме и минералометрическим методом не могут быть установлены. Поэтому при изучении потоков рассеяния пробы отбираются из наиболее тонкодисперсной, илистой фракции донных отложений, которая является наиболее интенсивным коллектором для большинства элементов-индикаторов. В последующем эти пробы подвергаются спектральному анализу с определением необходимого круга элементов-индикаторов.

Состав элементов-индикаторов в потоках рассеяния зависит от состава первичных ореолов и руд в коренном источнике, а также особенностей гипергенной миграции элементов в различных ландшафтно-геохимических условиях.

Протяженность потоков рассеяния для рудных компонентов, перемещаемых солевым или механическим путем, обычно измеряется величиной от сотен метров до нескольких километров. При этом более контрастные и стабильные потоки рассеяния характерны для русел мелких рек и болотных систем.

Значительная протяженность потоков рассеяния обеспечивает высокую эффективность их использования (в районах, благоприятных для их формирования) на стадии мелкомасштабных поисков, когда по результатам анализа сравнительно небольшого количества проб удается получить сведения о рудоносности значительных площадей и выделить на этой основе локальные площади, перспективные на оруденение.

Более детально этот метод мы не рассматриваем, поскольку методические аспекты его практического применения достаточно подробно изложены во многих опубликованных работах.

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКАХ ВОЛЬФРАМОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Поисковые работы обычно проводятся в пределах перспективных участков, выделенных по результатам геолого-съемочных работ предшествующего этапа. Из геохимических методов на данном этапе наиболее эффективно применение литохимических методов в масштабе 1 : 10000, в отдельных случаях — 1 : 25000.

Известно, что методика геохимических работ существенным образом определяется степенью обнаженности участков исследований, поэтому вопросы использования геохимических методов при поисках вольфрамовых месторождений рассматриваются применительно к открытым и закрытым районам.

Открытые районы

К открытым мы относим участки обнажения коренных пород, а также прекрытые элювио-делювиальными отложениями сравнительно небольшой мощности (обычно первые метры). В последнем случае в рыхлых отложениях обычно формируются открытые вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов, представляющие собой продукт гипергенного разрушения рудных тел и сопровождающих их первичных геохимических орелов.

Обнаружение геохимических аномалий

На этапе поисковых работ в пределах перспективных участков проводится площадное геохимическое опробование коренных пород и элювио-делювиальных отложений по профи-

лям, ориентированным вкrest простирации известных или предполагаемых рудоносных структур. Сеть опробования 250×25 м ($m=6$ 1 : 2500) и 100×10 м ($m=6$ 1 : 10000).

В пределах хорошо обнаженных участков в соответствующем масштабе опробуются коренные породы (методом «пунктирной борозды»). Опробование сопровождается геологической документацией, детальность которой определяется масштабом работ.

На участках с частичной обнаженностью основным является метод опробования элювио-делювиальных отложений. В этих случаях параллельно с площадным опробованием рыхлых отложений по единым профилям опробуются также коренные породы с целью получения данных о корреляции первичных и вторичных ореолов и учета их при интерпретации результатов площадного геохимического опробования рыхлого покрова. При выборе профилей опробования коренных пород наряду с геологическими факторами (целесообразность пересечения профилями потенциально-рудоносных геологических образований и др.) особое внимание должно быть обращено на обнаженность коренных пород: профили должны быть проложены по линиям максимальной обнаженности с целью получения представительной информации об особенностях распределения элементов-индикаторов в первичных ореолах.

Следует особо остановиться на вопросе площадного опробования коренных пород на участках с частичной (островной) обнаженностью. Как показывает опыт, в подобных случаях нередко результаты опробования коренных пород дают искаженное представление об интенсивности и других особенностях первичных ореолов. Причина здесь, вероятно, в том, что имеет место своеобразное «избирательное» развитие по площади чехла элювио-делювиальных отложений: как известно, наиболее интенсивное разрушение коренных пород и формирование рыхлого чехла в первую очередь происходит на тектонически наиболее нарушенных участках (зоны повышенной трещиноватости, сопровождающиеся окорудными изменениями пород и др.), т. е. именно в пределах потенциально рудоносных геологических образований. Очевидно, что в подобных случаях при площадном опробовании только коренных пород могут быть выявлены, в основном, слабоконтрастные ореолы. Не исключено также, что в отдельных случаях первичные ореолы могут быть полностью перекрыты рыхлыми отложениями и по этой причине пропущены при опробовании только коренных пород. Следует также учесть, что распределение элементов-индикатор-

ров во вторичных ореолах рассеяния является более равномерным, что обусловлено определенным выравниванием концентраций химических элементов, происходящим в процессе гипергенного разрушения первичных ореолов. Это обстоятельство существенно повышает представительность геохимического опробования рыхлых отложений. Немаловажным также является экономический фактор, который определяется меньшей трудоемкостью обработки проб рыхлых отложений (по сравнению с пробами коренных пород).

Отмеченное позволяет рекомендовать широкое применение при поисковых работах на площадях с частичной обнаженностью площадного опробования элювио-делювиальных отложений. Пробы при этом отбираются из представительного горизонта опробования и обрабатываются в соответствии с «Иструкцией...» (1965).

Задача площадного геохимического опробования коренных пород и рыхлых отложений на стадии поисковых работ заключается, как известно, в выявлении и последующей интерпретации геохимических аномалий, сопровождающих месторождения и отдельные рудные залежи.

Интерпретация геохимических аномалий

Критерии интерпретации геохимических аномалий, выявленных при поисках, вытекают из особенностей формирования литохимических ореолов и, прежде всего, первичных.

При интерпретации геохимических аномалий последовательно решаются следующие основные задачи.

Определение формационной природы аномалий. Эта задача в большинстве случаев решается на основе учета металлогенических особенностей исследованного района (типы развитых в районе месторождений), а также результатов структурно-минералогических наблюдений, выполненных в процессе геохимического опробования или последующего полевого осмотра аномалий (наличие типоморфных для отдельных типов месторождений минеральных ассоциаций и др.). Используется также метод аналогии — сравнение выявленных аномалий с ореолами известных в районе месторождений. В определенных условиях для указанной цели могут быть использованы рассмотренные выше особенности развития первичных геохимических ореолов вольфрамового оруденения.

Определение формационной принадлежности геохимических аномалий при поисках вольфрамовых месторождений пред-

ставляется особенно важным, поскольку, как отмечалось выше, для этих месторождений часто характерны полиформационные ореолы, образующиеся вокруг сближенных в пространстве тел различных рудных формаций.

Рассмотрим особенности формирования полиформационных ореолов и вытекающие из этого критерии их расшифровки на примере месторождения Тырныауз. На рис. 21 приведен геологический разрез через сближенные в пространстве рудные тела скарново-шеелитового (с молибденом) и кварц-молибденитового состава (Северный участок месторождения).

По описываемому разрезу были отстроены ореолы всех элементов-индикаторов (рис. 21) по методике, описанной в главе I.

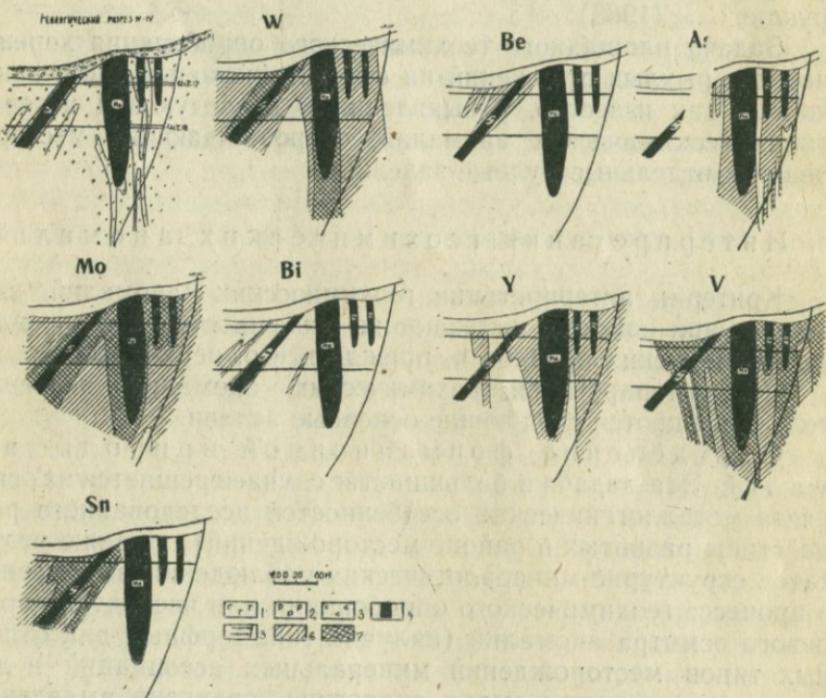


Рис. 21. Геологический разрез IV-IV через Северный участок месторождения Тырныауз

1—ультрабазиты; 2—роговики биотитовые и биотит-амфиболовые; 3—скарны; 4—рудные тела; 5—скважины и горные выработки. Содержания, %: 6—вольфрам, молибден, олово, ванадий— $1 \cdot 10^{-3}$ — $10 \cdot 10^{-3}$; 7—висмут, бериллий— $> 1 \cdot 10^{-4}$, иттрий— $> 1 \cdot 10^{-3}$, мышьяк— $> 11 \cdot 10^{-2}$; 8—вольфрам, молибден, олово, ванадий— $> 10 \cdot 10^{-3}$.

Ореолы главных рудных компонентов — вольфрама и молибдена, будучи приурочены к обоим типам оруденения, в процессе наложения в пространстве создают общее мощное аномальное поле (особенно молибден) на горизонте максимального сближения рудных тел (шт. 17). С глубиной происходит разделение их в пространстве, что в данном случае связано с различным падением рудных тел скарново-шеелитового и кварц-молибденитового состава. Здесь мы наблюдаем типичную для полиформационных ореолов картину, когда одни и те же элементы-индикаторы разных типов оруденения («сквозные» индикаторы), накладываясь в пространстве, образуют мощные аномальные зоны (Абрамсон, Григорян, 1972).

С целью выявления критериев расшифровки подобных аномальных зон, позволяющих оценивать перспективы их рудоносности на каждый из совмещенных типов оруденения, были исследованы особенности распределения в пространстве всех элементов, образующих ореолы, и выделены элементы, свойственные только одному типу оруденения.

Было установлено, что для скарново-шеелитового оруденения такими являются висмут, олово и бериллий, для кварц-либденитового — мышьяк, иттрий и ванадий (см. рис. 21). Как следует из приведенных рисунков, эта дифференциация элементов очень четкая. При этом бериллий и олово, являясь надрудными элементами-индикаторами, образуют максимумы в верхних частях рудного тела (шт. 17). Ореолы висмута в данном случае проявлены слабо, в виде отдельных узких полосок. Это связано, во-первых, с недостаточной чувствительностью анализа ($1 \cdot 10^{-4} \%$), а во-вторых, с тем, что висмут в ряду зональности находится выше вольфрама, является нижнегорудным, а учитывая общее склонение рудного тела на запад и такую же продольную зональность, можно предположить, что данный разрез подсекает только корневые части ореолов висмута (глава I). Следует отметить, что ни один из вышеперечисленных элементов не образует аномальных концентраций в пределах кварц-молибденитового штокверка, а также в околоврудном пространстве.

С целью более четкой дифференциации в пространстве ореолов каждого из типов оруденения были построены мультиплексивные ореолы элементов, типоморфных только для одного типа оруденения. Для скарново-шеелитового оруденения такими являются бериллий и олово, для кварц-молибденитового — иттрий и ванадий (рис. 22). Как показывает сравнение рис. 21 и 22, мультиплексивные ореолы по сравнению с мо-

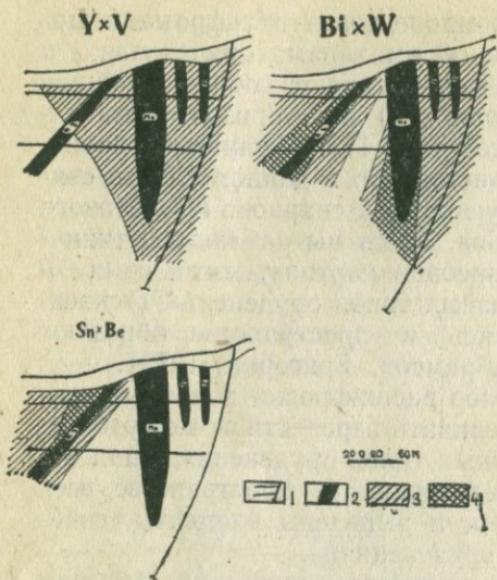


Рис. 22. Частные мультиплекативные ореолы элементов-индикаторов на разрезе IV—IV через Северный участок месторождения Тырныауз

1—скважины и горные выработки;
 2—рудные тела. Содержания, %:
 3—Sn·Be; Bi·W—1— $10 \cdot 10^{-7}$;
 Y·V— $> 1 \cdot 10^{-6}$; 4—Sn·Be;
 Bi·W— $> 10 \cdot 10^{-7}$

ноэлементными дифференцируют различные по составу рудные тела более контрастно.

После того, как выделены аномалии, фиксирующие разные по составу оруденения, и на этой основе установлены участки, перспективные на тот или другой тип оруденения, производится оценка рудоносности глубоких горизонтов выявленных аномалий на данный тип оруденения. Для этой цели используются индикаторные отношения в соответствии с вертикальной зональностью первичных геохимических ореолов данного типа оруденения.

Для оценки уровня эрозионного среза ореолов скарново-шеелитового оруденения может быть использовано отношение продуктивностей (в данном случае линейных) частных мультиплекативных ореолов надрудных (олово, бериллия) и подрудных (висмут, вольфрам) элементов в соответствии с вертикальной зональностью первичных ореолов данного типа оруденения, подробно рассмотренной в главе I. Контрастная вертикальная зональность в строении этих ореолов иллюстрируется рис. 22. Отметим, что после дифференциации в пространстве «моноформационных» аномалий, при оценке уровня их эрозионного среза уже могут быть использованы и «сквозные» элементы, если они являются надежными индикаторами вертикальной зональности ореолов. Таким, в частности, является

основной компонент скарново-шебелитовых руд — вольфрам, который образует ореолы и вокруг кварц-молибденовых тел (см. рис. 21).

Рассмотренный выше пример, естественно, иллюстрирует только методические принципы расшифровки полиформационных ореолов. В других районах характер полиформационных ореолов может быть иным (совмещение с вольфрамовым оруденением других по составу месторождений, специфические геолого-структурные условия локализации оруденения и т. д.), что должно быть учтено при интерпретации результатов геохимического опробования. Поэтому ниже рассматриваются общие принципы интерпретации полиформационных аномалий.

Следует отметить, что во многих случаях возможность встречи при поисковых работах полиформационных геохимических аномалий достаточно надежно определяется металлогеническими особенностями исследуемых районов. Появление подобных аномалий наиболее вероятно в районах развития различных рудных формаций, в особенности на участках стыка рудных полей разных по составу месторождений.

В ряде случаев полиформационная природа геохимических аномалий может быть установлена в результате детальных структурно-минералогических наблюдений, позволяющих выявить на поверхности признаки проявления рудных формаций и, в частности их типоморфные минеральные ассоциации. В тех случаях, когда рудные тела одной из формаций являются слепыми, надежная расшифровка аномалий требует привлечения дополнительных критериев, поскольку минералогические признаки слепого оруденения на поверхности могут быть не зафиксированы. В качестве таких критериев могут быть использованы и геохимические, вытекающие из особенностей развития полиформационных ореолов, рассмотренных выше.

Как уже отмечалось, ореолы вокруг рудных тел каждой рудной формации в соответствии с составом руд характеризуются специфическим набором элементов-индикаторов. Это означает, что появление аномалий каких-то элементов, не свойственных известной рудной формации, должно рассматриваться как признак возможного проявления другой формации. Так, например, появление аномалий ванадия, иттрия в пределах вольфрамовых месторождений может свидетельствовать о проявлении кварц-молибденитовой рудной формации, поскольку для ореолов скарново-вольфрамового оруденения эти элементы не характерны.

Для определения полиформационной природы исследуемых

аномалий могут быть привлечены также «сквозные» элементы-индикаторы, типоморфные для ряда рудных формаций. В этом случае используются соотношения размеров (ширины) ореолов этих элементов, разные для разных по составу месторождений. Так, для месторождения Тырныауз соотношение ореолов вольфрама и молибдена резко различно для шеелитовых и молибденитовых рудных тел. Следует отметить, что в этом отношении наиболее информативно отношение линейных продуктивностей ореолов, рассчитанных в поперечном к профилю ореолов сечении. В тех случаях, когда из-за ограниченной длины профилей опробования не удается определить ширину ореолов, может быть использовано соотношение средненормальных содержаний элементов.

В ряде случаев в пределах единой полиформационной геохимической аномалии удается выделить эпицентры максимальных концентраций элементов-индикаторов, отвечающих каждой из формаций. В подобных случаях, как показывает опыт, наиболее информативным является метод суммированных ореолов, что иллюстрируется приведенными выше примерами месторождения Тырныауз (см. рис. 21, 22).

Установлено, что в первичных ореолах, связанных с проявлением одной рудной формации, между содержаниями элементов-индикаторов выявляется, как правило, значимая положительная связь. В случае полиформационных ореолов связь между содержаниями элементов-индикаторов разных формаций в основном отрицательная или же не существенная.

Интерпретация полиформационных геохимических аномалий представляет чрезвычайно сложную задачу и успешное ее решение возможно только при комплексном подходе, требующем учета совокупности геологических данных и в первую очередь геолого-структурных особенностей конкретных участков.

Дальнейшее изучение полиформационных геохимических ореолов и разработка на этой основе более надежных критериев их расшифровки является весьма актуальной задачей в связи с тем, что подобные ореолы, как показывают исследования последних лет, пользуются более широким распространением, чем представлялось. Исследования в этом отношении являются важными еще и потому, что они позволяют получать более определенную информацию о зональности первичных геохимических ореолов, используемую в качестве важнейшего критерия интерпретации геохимических аномалий. Так, часто оказывается, что нарушение зональности ореолов гидротермальных

месторождений, появление «обратной» зональности являются следствием формирования полиформационных ореолов.

Примером подобной «обратной» геохимической зональности может служить описанное выше месторождение Шурале, где с глубиной происходит смена элементов-индикаторов высокотемпературного редкометального оруденения (вольфрам, молибден и др.) ореолами свинца, цинка и серебра — типичных индикаторов полиметаллического оруденения (см. рис. 1). Детальное геохимическое изучение этого месторождения, а также ряда других, показало, что в данном случае мы имеем дело с полиформационными ореолами, образовавшимися в результате совмещения в пространстве полиметаллического и скарново-шебелитового оруденений, представляющих собой продукты двух совершенно самостоятельных этапов минерализации, которые проявляются как изолированно (ореолы «чистой линии» с прямой зональностью), так и совместно (полиформационные ореолы), причем в последнем случае пространственные взаимоотношения продуктов этих этапов минерализации могут быть самыми различными. Очевидно, что именно этим будет определяться характер зональности ореолов. Так, если на месторождении Шурале, как уже отмечалось, наблюдается «обратная» зональность, то на месторождении Тутлы III (Курусайское рудное поле) картина обратная: с глубиной скарново-полиметаллическое оруденение сменяется скарново-шебелитовым и в соответствии с этим в ореолах выявляется прямая зональность.

Оценка уровня эрозионного среза геохимических аномалий. Одной из важнейших задач интерпретации геохимической аномалии является оценка уровня ее эрозионного среза. Отметим, что речь идет об уровне эрозионного среза аномалии относительно рудного тела, с которым данная аномалия связана. Нетрудно убедиться, что этот уровень в общем случае не будет совпадать с уровнем (абсолютным) эрозионного среза участка исследований. Благодаря кулисному расположению рудных тел в разрезе могут быть встречены случаи, когда на участке с максимальной глубиной эрозионного среза будут развиты надрудные геохимические ореолы (над слепым оруденением), а на участках, менее эродировано-ореолы (глубокий эрозионный срез аномалий).

Для оценки уровня эрозионного среза геохимической аномалии используется вертикальная зональность первичных ореолов, подробно рассмотренная выше (глава I). При интерпретации гипергенных геохимических аномалий критерий вер-

тикальной зональности первичных ореолов также может быть использован, но только при условии удовлетворительной корреляции первичных и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов. Как отмечалось выше (глава II), наиболее стабильная корреляция характерна для суммированных ореолов, поэтому при интерпретации гипергенных аномалий надежнее использование зональности суммированных ореолов (аддитивных или мультиплекативных).

При оценке уровня эрозионного среза геохимических аномалий следует иметь в виду, что при поисковых работах обычно выявляются сложные по строению аномалии, образовавшиеся в результате совмещения в пространстве ореолов, сопровождающих более или менее разобщенные в пространстве рудные тела. Причем уровни эрозионного среза ореолов каждого из этих тел могут быть резко различными, поэтому в пределах общей аномалии должны быть выделены вероятные элементарные аномалии (аномалии, сопровождающие отдельные рудные тела) с последующей оценкой уровня эрозионного среза каждой из них в отдельности. Элементарные аномалии обычно легко фиксируются эпицентрами аномалий элементов-индикаторов и в первую очередь — основных компонентов данного типа оруденения. Подобный подход к интерпретации геохимических аномалий тем более необходим, что часто в непосредственной близости от слепого и слабоэродированного оруденения встречаются подрудные ореолы или же ореолы, развитые на уровне корневых частей практически полностью эродированных рудных тел.

Следует отметить, что поиски вольфрамовых месторождений, как впрочем и других, чаще всего проводятся в районах, где коренные рудовмещающие породы перекрыты рыхлыми отложениями различной мощности. В связи с этим обычно приходится использовать метод поисков по вторичным ореолам рассеяния элементов-индикаторов.

Как известно, метод поисков рудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния элементов-индикаторов (металлометрические съемки), разработанный советскими учеными Н. И. Сафоновым, А. П. Солововым и другими, в настоящее время превратился в один из ведущих поисковых методов. Многолетняя практика показала высокую эффективность этого метода; с его помощью открыто много месторождений, в том числе и ряд вольфрамовых. Однако в настоящее время результативность металлометрических съемок в ряде районов, в основном сравнительно детально исследованных, является явно

недостаточной, что в значительной степени следует объяснить незначительной глубинностью этого метода, фиксирующего, главным образом, рудные тела и месторождения, вскрытые эрозионной поверхностью, тогда как по мере повышения степени геологической изученности территории и истощения фонда легкооткрываемых месторождений (выходящих на поверхность) основным резервом прироста запасов остаются глубокозалегающие рудные тела и месторождения. Вот почему дальнейшее повышение геологической эффективности металлометрического метода возможно только на основе повышения его глубинности, что может быть достигнуто, как уже отмечалось выше (глава II), если при интерпретации металлометрических (гипергенных) аномалий будут определены уровни их эрозионного среза на основе вертикальной зональности первичных ореолов — первоисточника гипергенных аномалий.

Оценка масштаба оруденения. Эта задача ниже рассматривается для рудопроявлений, где на поверхности установлены выходы рудных тел, и для участков развития надрудных геохимических ореолов, перспективных на слепое оруденение.

Масштабы рудопроявлений на стадии поисковых (детальных) работ обычно с той или иной степенью надежности оцениваются исходя из параметров выходов рудных тел на поверхность.

Очевидно, что удовлетворительные результаты при этом могут быть получены только тогда, когда достаточно надежно будет определено изменение с глубиной параметров рудных тел. При решении этой чрезвычайно сложной задачи существенную помощь окажут результаты литохимического опробования, и в частности, использование вертикальной зональности первичных ореолов с целью оценки уровня эрозионного среза геохимических ореолов относительно соответствующих рудных тел. Как отмечалось выше, контрастная вертикальная зональность в строении первичных ореолов выявляется не только при сопоставлении их надрудных и подрудных сечений, но и в строении ореолов, развитых на уровне рудных тел. Это обстоятельство позволяет использовать вертикальную зональность ореолов не только для поисков слепого оруденения (обнаружение надрудных ореолов), но и оценки уровня эрозионного среза выведенных на дневную поверхность рудных тел. Вот почему определение уровня эрозионного среза геохимических аномалий с помощью критерия вертикальной зональности первичных ореолов соответствующего типа оруденения должно

предварять оценку перспектив рудоносности любых участков, потенциально перспективных на эндогенное оруденение.

В свете отмеченного надо указать на необходимость обязательного учета уровня эрозионного среза участков при оценке прогнозных геологических запасов коренного оруденения по параметрам гипергенных ореолов рассеяния, сформированных в результате гипергенного разрушения вскрытых эрозией и перекрытых элювио-делювиальными отложениями рудных тел, а также их первичных ореолов. Имеется в виду рассмотренный выше (глава II) метод оценки прогнозных (геологических) запасов коренного оруденения по продуктивности индцирующих их гипергенных ореолов рассеяния элементов-индикаторов. Очевидно, что этот метод может быть использован только для сравнительной оценки прогнозных запасов участков с одинаковым или близким уровнем эрозионного среза, который определяется с помощью вертикальной зональности первичных геохимических ореолов.

Метод оценки прогнозных запасов может быть использован также для определения вероятных масштабов коренного оруденения аномалий, характеризующихся различным уровнем эрозионного среза; только в этом случае расчеты должны быть скорректированы с учетом различий в уровне эрозионного среза. В частности, эта корректировка может быть осуществлена путем изменения глубины «подвески» запасов, установленных на поверхности непосредственно, или же через продуктивность гипергенной аномалии (в последнем случае с учетом, конечно, коэффициента пропорциональности). Очевидно, что эта «подвеска» для аномалий более эродированных (при отсутствии существенных различий в запасах руд на поверхности) должна быть меньшей. Отметим, что глубина распространения оруденения является функцией не только эрозионного среза, но и масштабов (мощности) и, что особенно важно, морфологических особенностей рудных тел, поэтому учет этих факторов в каждом конкретном случае является обязательным.

В случае удовлетворительной корреляции первичных и вторичных (суммарных) ореолов уровень эрозионного среза участков, как уже отмечалось, с той или иной степенью надежности может быть определен непосредственно по параметрам гипергенных аномалий.

При отсутствии достаточно тесной корреляции между первичными и вторичными ореолами, оценка уровня эрозионного среза интересующих гипергенных аномалий должна быть

уточнена вскрытием единичными канавами (в их эпицентрах) и опробованием коренных пород с целью как установления поверхностных выходов рудных тел, так и оценки уровня их эрозионного среза уже по особенностям распределения элементов-индикаторов в первичных ореолах.

Во всех случаях вскрытие и геохимическое опробование коренных пород хотя бы единичными канавами должно предварять дорогостоящие разведочные работы.

Поиски слепого оруденения. В настоящее время, когда фонд легкооткрываемых месторождений (выходящих на поверхность) прогрессивно сокращается и во многих горнорудных районах практически уже исчерпан, на повестку дня встает вопрос о разработке эффективных методов поисков скрытых месторождений, в том числе и слепых. Работами последних лет доказано, что первичные ореолы, благодаря своей значительной вертикальной протяженности над рудными телами и месторождениями, являются одними из наиболее эффективных признаков слепого оруденения.

Вольфрамовые месторождения в этом отношении не являются исключением. Протяженность надрудных (моноэлементных) ореолов скарново-шебелитового оруденения превышает 150—200 м, причем это не предел, ибо нигде не удалось проследить полностью эту протяженность, поскольку во всех случаях надрудные ореолы по вертикали не были прослежены до их полного выклинивания и на самых удаленных уровнях были достаточно контрастны, что позволяет считать, что протяженность надрудных ореолов промышленного скарново-шебелитового оруденения, по-видимому, существенно превышает 150—200 м.

Рассмотрим пример прогнозирования слепого скарново-шебелитового оруденения по результатам геохимического опробования. Участок расположен в западной части Тырныаузского рудного поля и сложен массивными мраморами, пироксен-пла-гиоклазовыми и биотитовыми роговиками.

Для оценки перспектив рудоносности участка было выполнено геохимическое опробование коренных пород на поверхности. В результате были выявлены интенсивные расширяющиеся к востоку аномалии элементов-индикаторов скарново-шебелитового оруденения (рис. 23).

Расчеты отношений линейных продуктивностей частных мультиплекативных ореолов типоморфных элементов-индикаторов вертикальной зональности скарново-шебелитового оруденения и сравнение этих данных с результатами изучения пер-

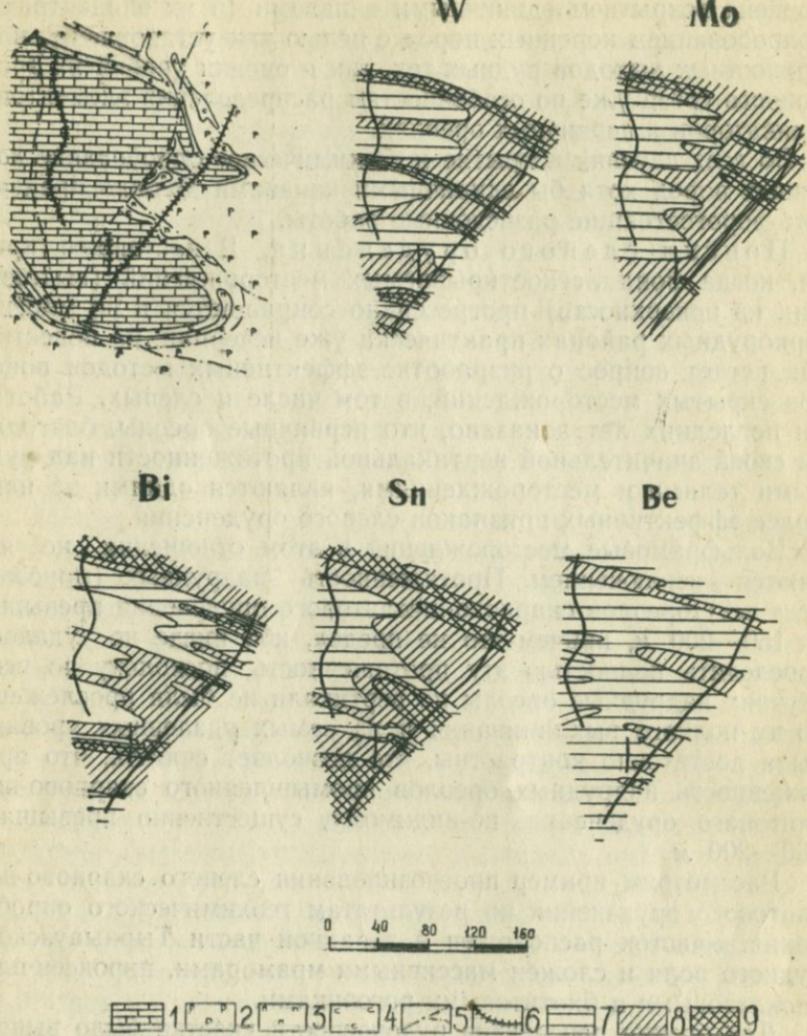


Рис. 23. Геологический план и первичные ореолы на поверхности участка Пик Веры (Тыргынайуз)

1 — мрамор; 2 — роговик биотитовый и биотит-амфиболовый; 3 — скарны; 4 — разрывные нарушения; 5 — линии опробования. Содержания, %: 6 — вольфрам, молибден, олово $\angle 1 \cdot 10^{-3}$, висмут, бериллий $\angle 1 \cdot 10^{-4}$; 7 — вольфрам, молибден, олово $1 \cdot 10 \cdot 10^{-3}$, висмут, бериллий $1 \cdot 10 \cdot 10^{-4}$; 8 — вольфрам, молибден, олово $> 10 \cdot 10^{-3}$, висмут $> 10 \cdot 10^{-4}$; 9 — вольфрам, молибден, олово $> 10 \cdot 10^{-3}$, висмут $> 10 \cdot 10^{-4}$.

вичных ореолов вокруг известных рудных тел (глава I) показали, что выявленные аномалии представляют собой надрудные ореолы этого типа оруденения (табл. 15). Это позволило считать участок перспективным на слепое скарново-шебелитовое оруденение и рекомендовать его к разведке.

Таблица 15

**Величины отношения линейных продуктивностей
мультипликативных ореолов**

Горизонты опробования	<u>Sn · Be</u>
	<u>W · Bi</u>
Исследованный участок	
I	3,93
II	2,2
Эталонный разрез	
Надрудный	4,4
»	3,7
Подрудный	0,0004

В качестве примера использования первичных ореолов при поисках слепого вольфрамового оруденения грейзеновой формации можно привести результаты геохимических работ по району одного из кварцевожильных грейзеновых месторождений.

В геологическом строении района месторождения принимает участие комплекс разнообразных осадочно-метаморфических и вулканогенных образований верхнего силура и карбона, находящихся в сложных структурных взаимоотношениях (рис. 24).

Оруденение пространственно и генетически связано с интрузией лейкократовых гранитов пермского возраста. Массив рудоносных гранитов, обнажающийся в центральной части месторождения полого погружается под вмещающие породы и на большей части обследованной площади залегает на глубинах порядка 300 м от современной поверхности.

Рудные тела на месторождении представлены обычно крутопадающими жилообразными зонами грейзенов и кварцевыми жилами, приуроченными к системе субпараллельных трещин меридионального простирания.

Особенность локализации рудных тел состоит в приуроченности их к выходам гранитоидных пород при практически пол-

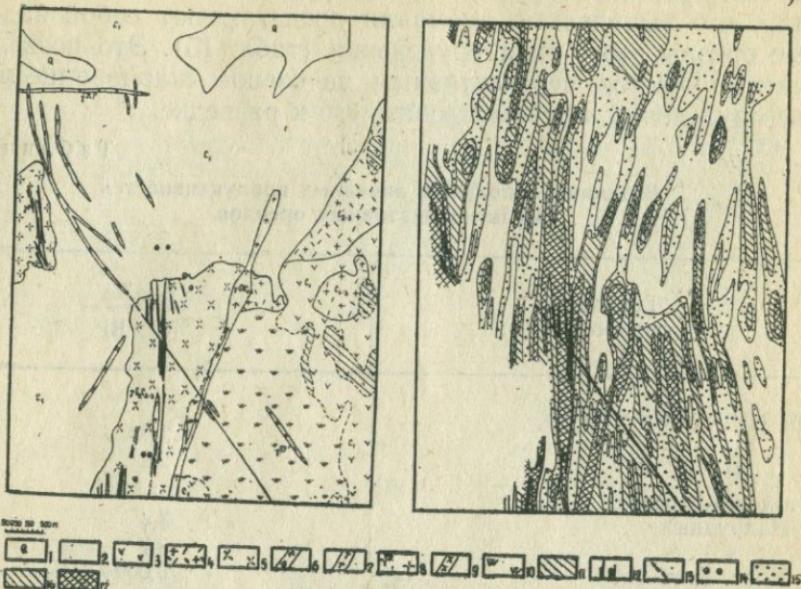


Рис. 24. Геологическая схема участка перспективных аномалий слепого вольфрамового оруденения грейзеновой формации и карта первичных мультиплакативных ореолов

1—рыхлые четвертичные отложения; 2—песчаники нижнего карбона; 3—андезит-дациевые порфиры и их туфы; 4—фельзиты, кварцевые порфиры и их туфы; 5—адамеллиты; 6—дайки гранодиорит-порфиров; 7—дайки диоритовых порфиров; 8—граниты; 9—дайки гранит-порфиров; 10—вторичные кварцы; 11—гидротермально-измененные породы; 12—рудные кварцево-грейзеновые тела и жилы; 13—тектонические нарушения; 14—скважины. Содержания, усл. ед.: 15—150—1500; 16—1500—15000; 17—>15000

ном отсутствии в породах кровли, что обусловлено экранирующим характером осадочно-метаморфических и вулканогенных образований района. Мощные тела грейзенов, залегающие в гранитах, при переходе во вмещающие породы сменяются тонкопрожилковыми штокверковыми зонами, как правило, не имеющими промышленного значения.

В результате геохимического опробования коренных пород, слагающих экзоконтактовую и надинтрузивную зоны рудоносного гранитного массива, в восточной части рудного поля были выявлены геохимические аномалии типоморфных элементов-индикаторов и на этой основе намечены участки, на которых целесообразно провести буровые работы. В частности, при

оценке северных флангов меридиональной системы рудных жил, залегающих в гранитоидном массиве, были откастированы широкие интенсивные ореолы вольфрама, висмута, берилля, олова, молибдена, фтора, лития и других элементов. Первичные ореолы указанных элементов проявлены в пределах широкой (1500—2000 м), протяженной полосы палеозойских пород, в контуре которой контрастно выделяются локальные зоны с ореолами поликомпонентного состава.

Морфологические особенности первичных ореолов иллюстрируются приведенными на рис. 24 мультиплакативными ореолами, построенными для группы элементов-индикаторов (W-Sn-Bi-Be) данного типа оруденения. Для этих аномалий, выявленных на северном продолжении известных рудоносных зон, характерна меридиональная ориентировка, прямолинейность, значительная протяженность по простианию и кулисообразное расположение. Аномалии комплексного состава приурочены к тектонически ослабленным зонам, фиксируемым густой сетью меридионально ориентированных трещин.

Геологическая позиция выявленных аномалий, в частности, их положение в надинтрузивном структурном ярусе месторождения, позволили интерпретировать их как надрудные, перспективные на слепое оруденение.

Выделенные на карте размещения аномалий (см. рис. 24) осевые части мультиплакативных ореолов, очевидно, фиксируют положение в плане глубинных структур, контролирующих размещение оруденения в невскрытом гранитном массиве.

С учетом приведенных соображений было рекомендовано бурение в пределах выявленных аномалий серии наклонных скважин с целью подсечения ими предполагаемых рудоносных зон в эндоконтактовой части массива.

Для оценки рудоносности одной из комплексных аномалий была пробурена скважина (скв. 1, рис. 25), вскрывшая на глубине 220 м контакт гранитной интрузии. Во вмещающих ороговикованных песчаниках среди гидротермально-измененных пород на интервале 150—190 м была вскрыта штокверковая зона, представленная крутопадающими прожилками существенно кварцевого состава с вольфрамитом. По результатам химического анализа керновых проб в контуре штокверковой зоны был выделен десятиметровый интервал с промышленным содержанием вольфрама.

Для прослеживания по падению выявленной штокверковой зоны, а также поисков в контуре первичного ореола новых рудных тел, «в затылок» первой скважине была пробурена

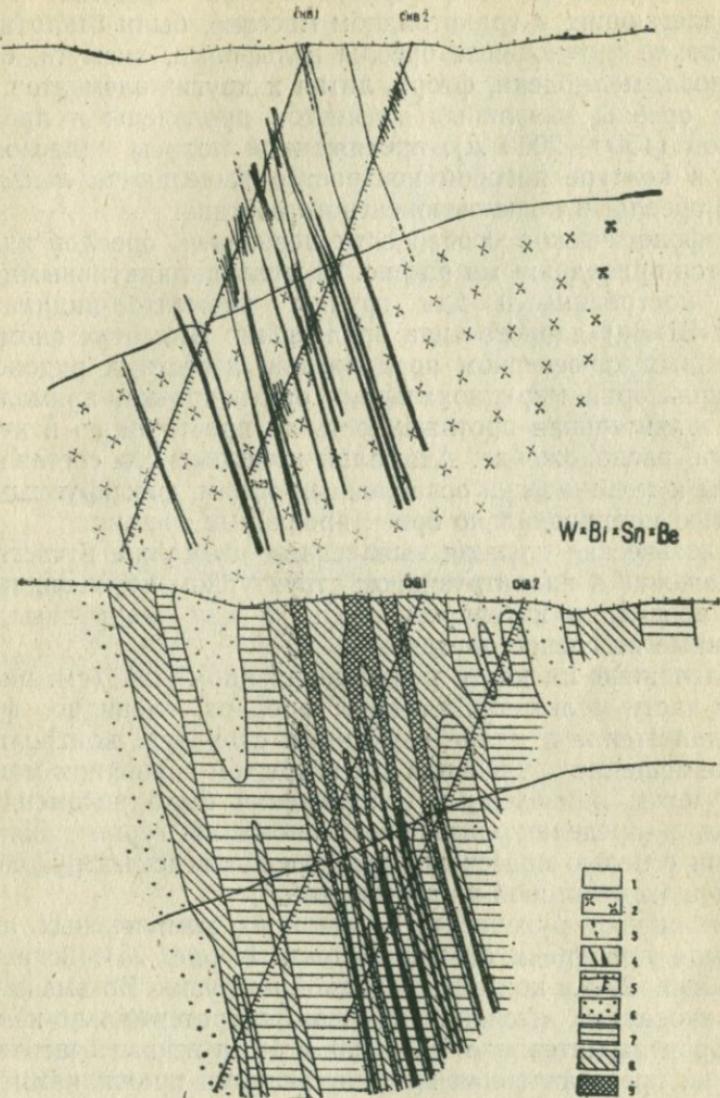


Рис. 25. Геологический разрез и мультиплекативные ореолы
 1—песчаники нижнего карбона; 2—адамеллиты; 3—дайки гранит-порфиров; 4—грейзеновые и кварцевые жилы; 5—интервалы опробования. Содержания $W \cdot Bi \cdot Sn \cdot Be$, усл. ед.: 6—150—1500; 7—1500—15000, 8—15000—150000; 9—>150000

вторая — глубиной 342,5 м (скв. 2, рис. 25). Эта скважина в эндоконтакте массива адамеллитов вскрыла рудную зону мощностью около 100 м, представленную серией сближенных жил грейзенов, в ряде случаев богато минерализованных вольфрамитом.

Приведенный пример указывает на высокую эффективность использования первичных ореолов при поисках редкometального оруденения, локализованного над экраном ороговикованных пород мощностью более 200 м.

Индикационная роль первичных ореолов хорошо выявляется при рассмотрении особенностей их развития в разрезе по профилю буровых скважин. В результате детального геохимического опробования, проведенного на поверхности и по керну скважин, на всех изученных уровнях установлен широкий многокомпонентный ореол высокой интенсивности. Мультиплективный ореол ($W \times Bi \times Sn \times Be$) своим максимумом, отвечающим изолинии $1,5 \cdot 10^4$ усл. ед. (рис. 25), отчетливо фиксирует зону грейзеновых тел, выявленных по скв. 2. В соответствии с залеганием рудной зоны ореолы непрерывно прослеживаются до поверхности, где достигают ширины около 150 м. Отличительная особенность ореола состоит в более локальном его проявлении в рудовмещающих адамеллитах сравнительно с ореолом во вмещающих ороговикованных песчаниках. В первом случае мультиплективный ореол образует серию полос, тесно связанных с конкретными грейзеновыми телами.

Рассмотренный пример иллюстрирует возможность использования первичных ореолов при поисках слепого вольфрамового оруденения грейзеновой формации.

Очевидно, что в ландшафтно-геохимических условиях, благоприятных для формирования вторичных ореолов, пространственно сопряженных с первичными, при поисках слепого оруденения с успехом могут быть использованы также и вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов, сформированные в результате гипогенного разрушения первичных ореолов. При этом методические основы поисков слепого оруденения во вторичным ореолам не будут отличаться от рассмотренных выше.

Специфические особенности геологических условий локализации вольфрамовых месторождений грейзеновой формации и, в первую очередь, их приуроченность к апикальным частям интрузивных массивов вносят определенные коррективы в методику геохимических поисков этих месторождений.

Геохимические поиски месторождений вольфрама, связанные

ные со скрытыми куполами минерализованных гранитов, в общем случае должны повышать достоверность перспективной оценки широких экзоконтактовых и надинтрузивных зон рудоносных интрузий, в пределах которых вероятно обнаружение промышленных концентраций вольфрама. Такими перспективными площадями являются участки проявления контактового и гидротермального метаморфизма, протекавшего при активном участии фтора главным образом над апикальными частями скрытых гранитных массивов, а также участки, характеризующиеся наличием дизъюнктивных нарушений, особенно в узлах их пересечения и сопряжения.

Перечисленные образования создают сложные геофизические поля и аномалии, для выявления которых, как известно, весьма эффективно использование результатов различных геофизических методов. Такие аномалии, оцененные как вероятно перспективные, требуют их оценки на основе выявления прямых признаков рудоносности, к числу которых относятся и геохимические ореолы.

Все потенциально рудоносные образования, выявляемые в процессе геологического изучения картируемых территорий, подлежат геохимическому изучению. Детальность геохимических исследований в общем случае определяется масштабом и детальностью геологических наблюдений. Благодаря значительным размерам первичных ореолов месторождений рассматриваемого типа, последние уверенно выявляются при геохимическом опробовании в масштабе 1 : 50000.

При геохимических поисках слепого оруденения основная задача, как известно, сводится к выделению из множества выявляемых при геохимических поисках аномалий таких, которые представляют собой надрудные первичные (или вторичные) ореолы слепого оруденения. При геохимических поисках различных типов эндогенных месторождений (полиметаллических, оловорудных, вольфрамовых в скарнах и др.) для решения этой задачи используется вертикальная зональность первичных ореолов, позволяющая отличать перспективные на слепое оруденение надрудные ореолы от подрудных.

В случае поисков месторождений, приуроченных к апикальным частям слепых интрузивных массивов, решение этой задачи существенно упрощается: положение геохимических аномалий в надинтрузивной зоне не вскрытых эрозией гранитных массивов уже само по себе позволяет классифицировать их как надрудные. Общая продуктивность первичного ореола в породах кровли и комплексность его состава будут возрас-

тать по мере приближения к прикровельным частям интрузии и в непосредственном ее экзоконтакте; наряду с элементами широкого рассеяния (фтор, редкие щелочи, калий) будут контрастно проявлены ореолы большинства рудогенных элементов (вольфрам, молибден, висмут и др.).

Задача определения уровня вскрытия ореола в данном случае в принципе совмещается с задачей определения глубины залегания кровли гранитного массива.

Одним из возможных критериев определения уровня вскрытия ореола может служить величина мультиплекативного коэффициента геохимической зональности первичных ореолов. Выше при рассмотрении геохимической зональности первичных ореолов описываемого типа месторождений был рекомендован коэффициент $\frac{\text{Cu} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Bi}}{\text{Sn} \cdot \text{Be} \cdot \text{Mo}^2}$. Как уже отмечалось, величина его сверху-вниз (по мере приближения к рудоносному массиву) монотонно и весьма контрастно убывает (глава II, табл. 6). Следует, однако, отметить, что в настоящее время речь может идти только о принципиальной возможности использования геохимической зональности ореолов для оценки уровня их вскрытия, что равнозначно определению глубины залегания рудоносного массива. Что же касается надежности подобных оценок, то определение ее представляет собой задачу будущих исследований, включающих апробацию этого критерия в производственных условиях.

Поиски месторождений, выведенных на эрозионную поверхность. Выше наиболее подробно были рассмотрены вопросы методов поисков слепого оруденения, решение которых является более сложным и возможно только на основе использования новейших достижений теории и практики геохимических поисков и, прежде всего, первичных ореолов и их объемной геохимической зональности. Отсутствие в настоящее время значительного количества примеров обнаружения оруденения с помощью этой методики объясняется только тем, что она еще не нашла широкого применения в практике поисковых работ. Однако первые же примеры подобного прогнозирования свидетельствуют о высокой эффективности этой методики и позволяют рекомендовать ее широкое внедрение в производство геологоразведочных работ на вольфрам.

Что же касается месторождений, выведенных на современную эрозионную поверхность, то следует отметить, что при их поисках уже давно и достаточно успешно используется метод

поисков по вторичным ореолам рассеяния элементов-индикаторов, рассмотренный в главе II настоящей работы. Этот метод хорошо разработан (Соловов, 1959, и др.), достаточно прост по исполнению и может быть проиллюстрирован следующими примерами.

Пример 1. В Центральном Казахстане в результате площадного опробования элювио-делювиальных отложений были выявлены значительные по размерам ореолы вольфрама, молибдена и ряда их элементов-спутников. Последующая проверка этих аномалий привела к открытию вольфрамового месторождения Аксарлы, представляющего собой аналог уникального Верхне-Кайрактинского месторождения (Кличников, 1974).

Необходимо отметить, что не во всех случаях проверка гипогенных литохимических аномалий глубоким бурением и горными выработками приводит к открытию промышленноценных месторождений. Причина здесь в том, что во многих случаях контрастными литохимическими аномалиями фиксируются глубокоэродированные месторождения. Очевидно, что подобные аномалии могут быть своевременно исключены из сферы детальных поисковых и разведочных работ путем оценки уровня их эрозионного среза с помощью подробно рассмотренных с ними вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов. Опыт показывает, что в ряде случаев проверочные горно-буровые работы дают отрицательные результаты, в связи с тем, что по ряду причин они проходят «мимо» промышленного оруденения. В подобных случаях опробование керна буровых скважин и горных выработок позволит избежать ошибок в оценке реальной рудоносности выявленных аномалий, так как при этом будут выявлены первичные ореолы «пропущенных» рудных залежей и с их помощью уточнены места заложения последующих буровых скважин и горных выработок. Это означает, что геохимические исследования не должны завершаться на стадии обнаружения и интерпретации геохимических аномалий, а должны органически входить в комплекс последующих проверочных работ.

С целью иллюстрации этого положения рассмотрим следующий пример обнаружения вольфрамового оруденения в Центральном Казахстане. Описание этого примера полностью заимствовано из работы Абеуова А. К., Тюгая О. М. и Акылбекова С. А. (1974).

Пример 2. Акмая-Катпарская рудная зона расположена в центральной части Успенского синклиниория Джунгаро-Балхашской складчатой области. Зона протягивается в северо-вост-

точном направлении на 15—20 км и сложена терригенно-карбонатными и карбонатными отложениями фаменского и турнейского ярусов, прорванными интрузиями гранитоидов акчатауского комплекса (пермского возраста), с которыми генетически связывается редкометальная минерализация. До 70% всей территории перекрыто неоген-четвертичными рыхлыми образованиями, мощность которых колеблется от 10 до 80 м.

В результате проведения комплекса геолого-геофизических работ масштаба 1 : 10000 (поисковые маршруты, лихимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния, магниторазведка и электроразведка) в пределах Акмая-Катпарской зоны наряду с ранее известными месторождениями и рудопроявлениями было выявлено несколько перспективных геофизических аномалий, пространственно совпадающих со вторичными ореолами рассеяния редких и цветных металло в надкупольных зонах гранитов пермского возраста, являющихся перспективными для локализации редкометального оруденения.

На одной из таких аномальных зон, протягивающейся в юго-западном направлении от месторождения Акмая до рудопроявления Катпар и имеющей размеры 6×1 —2 км, были проведены глубинные геохимические поиски. Необходимо отметить, что в 1952 г. на рудопроявлении Катпар по вторичным ореолам вольфрама было пробурено несколько поисково-картировочных и поисковых скважин глубиной до 100—120 м, которые не вскрыли заслуживающего внимания оруденения, в связи с чем работы в то время были остановлены.

Глубинные геохимические поиски проводились с помощью колонкового бурения поисково-картировочных скважин по сети 400×200 м для выявления эндогенных ореолов редких металлов и элементов-спутников над рыхлыми образованиями, с последующим сгущением сети скважин до 200—100×50 м. Поисково-картировочные скважины бурились с обязательным выходом в свежие коренные породы не менее чем на 10 м. Керн коренных пород опробовался методом пунктирной борозды с интервалом до 5 м (при детализации—2 м). Пробы керна весом 200—300 г после предварительной обработки исследовались на спектрографе ДФС-13 методом приближенно-количественного спектрального анализа. Обработка результатов спектрального анализа проводилась по общепринятой методике.

В результате проведенных работ была составлена геологическая карта полеозойского фундамента с данными изоконцентраций элементов в коренных породах. При этом оказалось,

что аномальные участки эндогенных геохимических ореолов совпадают с межформационной зоной дробления на контакте известняков и песчаников. Известняки в этой зоне несут тонкие прожилки гранат-пироксеновых скарнов с редкометальной и полиметаллической минерализацией. Всего было выявлено четыре аномальных участка.

На крайнем юго-западном аномальном участке, в районе рудопроявления Катпар, было проведено бурение глубоких поисковых скважин с целью проверки эндогенных ореолов редких металлов максимальной интенсивности. Скважины на глубине 110 м вскрыли промышленные рудные тела с высокими содержаниями трехокиси вольфрама и сопутствующих молибдена, висмута, меди. Участку было дано название месторождение Катпар-Северный.

Рудные зоны этого месторождения представлены шеелитоносными гранат-пироксеновыми скарнами среди мраморов и мраморизованных известняков турнейского яруса. На глубине 450—600 м по данным бурения карбонатные породы прорваны гранитами пермского возраста.

Эндогенные геохимические ореолы элементов в пределах месторождения вытянуты в северо-восточном направлении, согласно предполагаемому простирианию рудных зон. Говоря о горизонтальной зональности необходимо отметить, что наиболее широкие ореольные зоны характерны для меди и висмута. Вписанные в них ореолы вольфрама, молибдена, бериллия и олова более локальны, сопоставимы между собой и располагаются над основным рудным телом, увязываясь с ним по размежам. Ореолы цинка наблюдаются в основном над внешней краевой частью рудного тела.

Вертикальная зональность в предварительной качественной интерпретации результатов опробования глубоких поисковых скважин характеризуется следующим рядом основных элементов: цинк, висмут, вольфрам, молибден (по преобладающей концентрации элементов сверху вниз, т. е. с поверхности до более глубоких горизонтов). Необходимо отметить, что при сравнении ранее проведенного поискового бурения (по вторичным ореолам рассеяния) с настоящими работами установлено, что плохая результативность ранее пробуренных скважин объясняется значительным (в масштабе поисково-разведочных работ) смещением вторичных ореолов, что, по-видимому, неизбежно в очень плохо обнаженных районах и на площадях, где породы подвержены мощному процессу гипергенеза.

Закрытые районы

В пределах площадей, где рудоносный фундамент перекрыт аллохтонными отложениями, как правило, применяются те или иные модификации губинных геохимических поисков. Эти работы обычно ставятся в пределах локальных участков, признанных перспективными по результатам работ предшествующего съемочного этапа.

На участках развития погребенных кор выветривания ставятся глубинные геохимические поиски с бурением скважин и опробованием представительного горизонта. При отсутствии погребенных вторичных ореолов рассеяния и кор выветривания в пределах потенциально рудоносных участков целесообразно бурение картировочных скважин с небольшой (первые метры) забуркой в коренные породы с целью обнаружения и интерпретации первичных геохимических ореолов.

Следует отметить, что в настоящее время полностью отсутствует опыт геохимических поисков с помощью картировочного бурения перекрытых аллохтонными отложениями вольфрамовых месторождений, поэтому разработка этой методики представляет собой задачу последующих исследований.

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ РАЗВЕДКЕ ВОЛЬФРАМОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Разведочные работы, как известно, являются чрезвычайно дорогими и в связи с этим разработка методов, направленных на повышение их эффективности, весьма актуальна. Исследования последних лет показывают, что одним из наиболее перспективных путей повышения эффективности разведочных работ является внедрение геохимических методов и в первую очередь метода изучения первичных ореолов. Роль первичных ореолов особенно возрастает благодаря тому, что разведочные работы вскрывают рудные тела и рудовмещающие коренные породы и создают весьма благоприятные условия для объемного изучения первичных геохимических ореолов, выяснения особенностей их развития в пространстве и оценки на этой основе перспектив рудоносности исследуемых участков.

При разведке рудных месторождений литохимические методы могут быть использованы для решения различных задач.

Оценка перспектив рудоносности на глубину рудоносных зон, подлежащих детальной разведке. Очевидно, что решение данной задачи по существу сводится к определению уровня эрозионного среза исследуемых рудоносных зон. Другими словами, нужно определить, какие части этих зон — верхние, средние или корневые — выведены на дневную поверхность. В методическом плане решение этой задачи ничем не отличается от оценки перспектив рудоносности рудопроявлений, подробно рассмотренной в предыдущей главе. Следует только отметить, что значительные затраты, связанные с детальной разведкой этих рудоносных зон, требуют высокой надежности прогноза орудий

денения на глубину, поэтому на участках, подлежащих разведке, необходимо проведение детального площадного геохимического опробования коренных пород.

Опережающее детальную разведку геохимическое опробование может существенно уточнить оценку перспектив рудоносности рудопроявлений и позволит сэкономить значительные средства благодаря исключению из сферы дорогостоящих разведочных работ глубокоэродированных рудопроявлений.

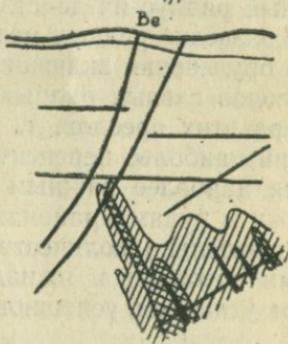
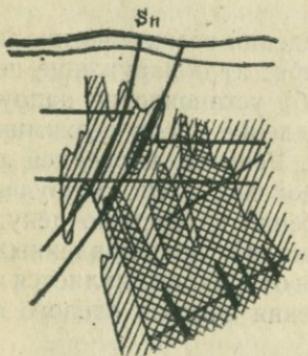
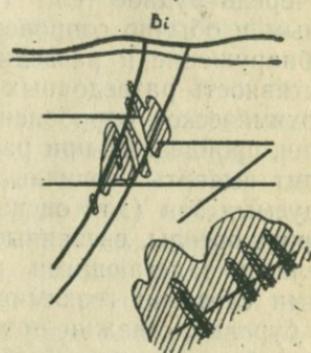
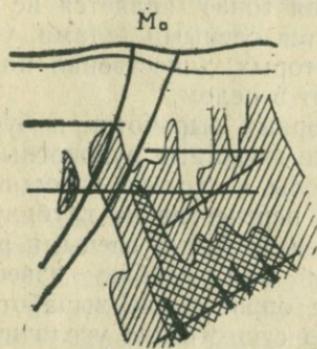
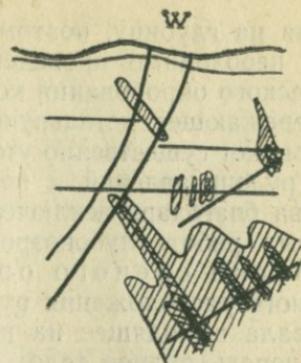
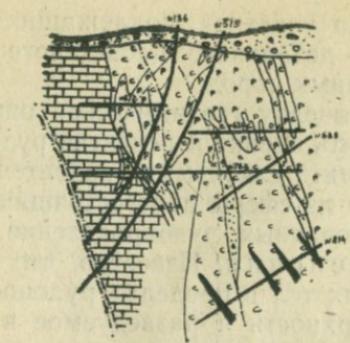
Поиски слепого оруденения. Известно, что из-за кулисного расположения рудных тел в пределах рудоносного интервала выходящее на поверхность и разведуемое в первую очередь рудное тело (рудная зона) является не единственным и обычно сопровождается слепыми телами, успешное обнаружение которых существенно повысит эффективность разведочных работ в целом.

Геохимическое опробование горных выработок и буровых скважин, пройденных при разведке известных рудоносных зон, позволяет выявить первичные ореолы не только известных и разведуемых зон (для оценки их перспектив на глубину), но и выявить ореолы, связанные с неизвестными слепыми рудными телами, залегающими рядом или глубже известных. Другими словами: геохимическое опробование выработок и керна буровых скважин позволяет существенно увеличить эффективный радиус их действия.

При разведке рудных месторождений геохимические поиски слепого оруденения включают в себя: а) обнаружение первичных ореолов слепых рудных тел, б) установление надрудного характера этих ореолов, т. е. выделение среди геохимических аномалий наиболее перспективных. Решение последней задачи является наиболее важным при поисках слепого оруденения, поскольку в рудных районах, особенно интенсивно денудируемых, значительно количество аномалий, представленных подрудными ореолами, и их надежная отбраковка является обязательным условием успешного ведения поисков слепого оруденения.

При решении этой задачи, как уже отмечалось, используется зональность первичных ореолов, подробно рассмотренная в предыдущих главах. Пример прогнозирования слепого скарново-шеелитового оруденения по результатам геохимического опробования был рассмотрен в предыдущей главе.

Корректировка направления разведочных работ. Исследования показывают, что первичные ореолы весьма успешно могут быть использованы также для коррек-



0 40 100M

- | | | | | | |
|---|---|---|---|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |

тировки направления разведочных работ путем оперативного геохимического опробования горных выработок и керна буровых скважин.

Корректировка направления разведочных выработок по существу сводится к оценке перспектив рудоносности глубоких горизонтов разведемых участков на основе зональности ореолов и выбору из них наиболее перспективных для последующей разведки.

Рассмотрим пример использования первичных геохимических ореолов при оценке перспектив рудоносности глубоких горизонтов разведенного на верхних горизонтах участка и корректировки на этой основе дальнейшего направления разведочных работ.

На рис. 26 приведен разрез через один из разведочных участков месторождения Тырныауз. Как следует из рисунка, на участке выполнен значительный объем разведочных работ (буровые скважины, подземные горные выработки), однако рудных тел не обнаружено.

Для выяснения перспектив рудоносности участка на глубине были опробованы подземные горные выработки и керн буровых скважин. В результате обработки данных геохимических опробования были выявлены расширяющиеся с глубиной ореолы типоморфных тел скарново-шеелитового оруденения элементов.

Расчеты показали, что отношение линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов ($\frac{\text{олово}\cdot\text{бериллий}}{\text{вольфрам}\cdot\text{висмут}}$) по всем сечениям существенно превышает единицу, что указывало на надрудную природу выявленных ореолов (глава I, табл. 3). На основании этих данных был сделан вывод о наличии на глубине слепого скарново-шеелитового оруденения. Скважина, пробуренная в соответствии с этой рекомендацией из нижнего горизонта горных выработок, на глубине 350 м от поверхности вскрыла мощную слепую зону с промышлен-

Рис. 26. Разрез III—III через Северный участок месторождения Тырныауз и первичные ореолы элементов-индикаторов

1—гранит лейкократовый; 2—мрамор; 3—роговик биотитовый и биотитамфиболовый; 4—роговик пироксен-плагиоклазовый; 5—скарны; 6—зона дробления; 7—зона разлома; 8—скважины; 9—рудное тело, вскрытое по рекомендации. Содержание, %: 10—вольфрам, молибден, олово $1-10\cdot10^{-3}$, висмут $1-10\cdot10^{-4}$, бериллий $1-5\cdot10^{-4}$; 11—вольфрам, молибден, олово $>5\cdot10^{-4}$.

ным скарново-шеелитовым оруденением, подтвердив тем самым оценку, данную по результатам изучения первичных ореолов.

Ревизия ранее проведенных разведочных работ. Известно, что не все месторождения после завершения на них разведочных работ передаются для промышленного освоения. Во многих случаях причина этого заключается в ограниченных запасах (разведенных) месторождений, не обеспечивающих рентабельность их освоения. Есть все основания рассчитывать, что постановка на подобных месторождениях геохимических работ в ряде случаев позволит выявить участки, перспективные на слепые (слабоэродированные) залежи, обнаружение и разведка которых позволит прирастить запасы месторождений и возможно перевести их в разряд рентабельных для промышленного освоения.

ЛИТЕРАТУРА

Абеуов А. К., Тюгай О. М., Акылбеков С. А. Глубинные геохимические методы поисков в пределах Акмая-Катпарской рудной зоны (Центральный Казахстан).—В сб. «Теоретические аспекты миграции элементов-индикаторов рудных месторождений и математические методы обработки геохимической информации. Тезисы совещания». М., 1974.

Абрамсон Г. Я., Григорян С. В. О полиформационных ореолах месторождения Тырныауз.—В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого орудеения», М., 1972.

Баранов Э. Н., Григорян С. В. К вопросу о механизме движения гидротермальных растворов.—Атомная энергия, 1966, вып. 6.

Барсуков В. Л. и др. Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений.—В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений». Иркутск, 1970.

Беус А. А., Григорян С. В. Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. М., «Недра», 1965.

Вистелиус А. Б. Математические методы в геологии.—Советская геология, 1964, № 12.

Геохимические поиски эндогенных месторождений редких элементов (на примере тантала). М., «Недра», 1968.

Григорян С. В., Беспалов Н. И. и др. Опыт поисков эндогенного оруденения по первичным ореолам в Рудном Карагазаре.—В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих м-ний», Иркутск, 1970.

Григорян С. В., Минакова Г. Э. О практическом значении зональности эндогенных ореолов гидротермальных месторождений.—Труды Пражского геологического конгресса, XXIII сессия, 1968.

Григорян С. В., Овчинников Л. Н. К вопросу об интерпретации геохимических аномалий.—В сб. «Литогеохимические поиски рудных месторождений». Алма-Ата, «Наука», 1972.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений и их использование при поисках скрытого оруденения. М., «Недра», 1968.

Григорян С. В. Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений (методическое руководство). М., 1974.

Еремеев А. Н. Глубинные геохимические поиски погребенных рудных месторождений.—В сб. «Геохимические и геофизические методы поисков скрытых месторождений». М., 1968.

Еремеев А. Н., Соловов А. П. Глубинные поиски погребенных месторождений.—В сб. «Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения». М., Госгеолтехиздат, 1963.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1965.

Кристальныи Б. В. Структурные условия эндогенного минералообразования и закономерности локализации оруденения в главнейших рудноносных зонах Чорух-Дайронского рудного поля.—Геология рудных месторождений, 1963, № 6.

Лито-геохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния.—Материалы I сессии Междуб. Совета, Алма-Ата, 1969.

Методические указания по проведению отдельных этапов геологоразведочных работ на месторождениях твердых полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В., Гармаш А. А. Успехи и проблемы прикладной геохимии.—Изв. АН СССР, сер. геол., 1967, № 11.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений.—В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений», Иркутск, 1970.

Пэк А. В. Геологическое строение рудного поля месторождения Тырныауз.—Труды ИГЕМ, вып. 56, М., Изд-во АН СССР, 1962.

Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Изд-во МГУ, 1963.

Сафонов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., ОНТИ ВИТР, 1967.

Соловов А. П. Оценка рудопроявлений по их различным ореолам рассеяния.—Изв. АН КазССР, сер. геол., 1965а, № 3.

Соловов А. П. Оценка сравнительной подвижности элементов в ореолах рудных месторождений.—В сб. «Геохимические поиски рудных месторождений». ОНТИ ВИЭМС, 1965б, № 63.

Сочеванов Н. Н. и др. Использование ореолов рассеяния урана и элементов-спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений (методическое руководство), М., «Недра», 1964.

Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. Изд-во АН СССР, 1940.

Хрущев Н. А. Тырныауз.—Советская геология, 1958, № 2.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение		5
Глава I. ОСОБЕННОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ ВОЛЬФРАМОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ		5
Методика изучения ореолов		5
Первичные ореолы скарново-шебелитового оруденения		8
Месторождение Шурале		8
Месторождение Чорухдайрон		10
Месторождение Джиллау		13
Месторождение Тырныауз		21
Первичные ореолы месторождений грейзеновой формации		33
Месторождения кварц-гюбнеритовой формации		40
Месторождения кварц-шебелитовой формации		45
Зональность первичных геохимических ореолов		47
Глава II. ВТОРИЧНЫЕ (ГИПЕРГЕННЫЕ) ОРЕОЛЫ И ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ ВОЛЬФРАМОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ		56
Глава III. ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКАХ ВОЛЬФРАМОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ		73
Открытые районы		73
Закрытые районы		97
Глава IV. ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ РАЗВЕДКЕ ВОЛЬФРАМОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ		98
Литература		103

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОЛЬФРАМА

Методические рекомендации

*Утверждено Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов*

Редакторы *T. И. Нефелова, T. С. Баринова*
Технический редактор *E. A. Хазанова*

T-00358	Подписано к печати 27/VII-75 г.
Формат бумаги 60×90 1/16	Объем 6,5 печ. л.
Тираж 400 экз.	Цена 46 коп

Набрано в типографии ХОЗУ Миннефтепрома
Отпечатано в типографии В/о «Знание». Зак. 568.

1948

Цена 46 коп.