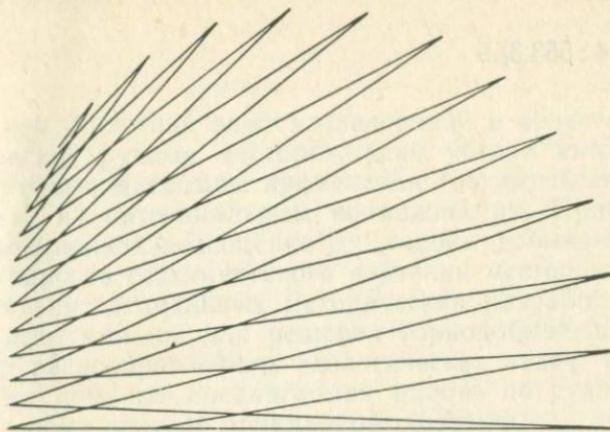


С.В. ГРИГОРЯН

РУДНИЧНАЯ
ГЕОХИМИЯ



С.В. ГРИГОРЯН
**РУДНИЧНАЯ
ГЕОХИМИЯ**

5305



МОСКВА "НЕДРА" 1992



ББК 26.301
Г 83
УДК 550.4 : 553.3/.9



СРІЛНЮРН
РАНРННРД
ЛЕХММНР

Г 1804020100—289 50—92
043(01)—92

© С. В. Григорян, 1992

ISBN 5-247-02610-1

ПРЕДИСЛОВИЕ

Более чем 30-летний опыт исследований в области геохимических поисков рудных месторождений убедил автора в том, что современные масштабы применения геохимических методов не отвечают их потенциальным возможностям. Причина этого как в традиционной недооценке со стороны добывающих предприятий вопросов геохимического изучения месторождений, так и в отсутствии специальных методических разработок по применению этих методов для решения горнодобывающими предприятиями разнообразнейших геологических задач. Восполнить этот пробел поможет предлагаемая работа по рудничной геохимии — новому разделу прикладной геохимии.

Предметы изучения рудничной геохимии — геохимические процессы с момента формирования месторождения до современных процессов его гипергенного изменения, первичные геохимические ореолы, различные типы гипергенных геохимических аномалий, включая те, которые возникают на техногенном этапе и обусловлены разведкой и эксплуатацией месторождения.

Целесообразность выделения рудничной геохимии как самостоятельного раздела рудничной геологии определяется современным уровнем развития теории и практики геохимических поисков и, прежде всего, значительными успехами в разработке методов поисков скрытого оруденения по его первичным и вторичным литогеохимическим ореолам элементов-индикаторов [5, 6, 13, 19, 21, 33, 36, 37, 44—48]. Напомним, что скрытое оруденение — единственный реальный источник прироста запасов эксплуатируемых месторождений, поскольку высокая степень геологической изученности рудных полей этих месторождений практически исключает возможность обнаружения здесь выходящих на поверхность рудных тел и месторождений промышленного значения.

В то же время детальное знание геологического строения эксплуатируемых месторождений и прилегающих территорий создает благоприятные условия для самостоятельного применения геохимических методов в отличие от геологоразведочных работ в новых районах, где геохимические методы часто не обеспечены геологической основой, что приводит к неизбежным ошибкам.

Геохимические методы способствуют не только выявлению скрытого оруденения, но позволяют успешно решать и многие другие задачи рудничной геологии. Причем перечень их все время расширяется по мере развития научных и методических основ рудничной геохимии. Современный уровень развития теории и практики геохимических поисков минеральных месторождений,

а также теории рудообразования позволяют сформулировать основные задачи рудничной геохимии:

изучение особенностей состава и строения сопровождающих минеральные месторождения рудогенных геохимических аномалий;

изучение техногенных геохимических аномалий, сформированных в различных геосферах в результате геологического изучения и разработки минеральных месторождений;

оценка перспектив рудоносности глубоких горизонтов, ближайших флангов, а также прилегающих площадей с помощью геохимических критериев, основанных на особенностях рудогенных геохимических аномалий;

геохимическая оценка экологических последствий эксплуатации месторождений с целью разработки соответствующих природоохранных мероприятий;

оценка рудогенных и техногенных аномалий как возможного источника минерального сырья с целью обеспечения комплексного и более рационального освоения месторождений.

В последние годы получены весьма интересные результаты изучения первичных геохимических ореолов — неотъемлемой составной части минеральных месторождений. Однозначно доказано, что первичные геохимические ореолы, постоянно сопровождая рудные тела и занимая значительные объемы, должны рассматриваться в качестве составной части месторождения. Включение первичных геохимических ореолов в контур самих месторождений позволит обеспечить месторождениям объективные границы, что, в свою очередь, обуславливает объективный характер результатов изучения месторождений.

Ведущий методологический принцип разработки научно-методических основ рудничной геохимии — геолого-геохимическое моделирование типоморфных представителей различных типов рудных месторождений. Оно предусматривает детальное объемное изучение особенностей состава и строения рудных тел исследуемого месторождения и их рудогенных геохимических ореолов. При этом изучение различных месторождений должно вестись по единой методике с целью обеспечения сопоставимых результатов, возможности обобщения и синтеза данных моделирования различных конкретных объектов, т. е. создания эффективного методологического способа выявления сквозных (свойственных для месторождений определенной рудной формации) закономерностей.

Важное достижение рудничной геохимии — разработка методов изучения первичных геохимических ореолов.

Практическое значение рудничной геохимии определяется также экономическими и экологическими факторами.

Экономический аспект связан с рентабельностью отработки уже освоенных промышленностью месторождений (по сравнению со вновь осваиваемыми, требующими значительных капиталовложений). Приращение запасов действующих месторож-

дений за счет обнаружения новых скрытых и слабоэродированных рудных тел и месторождений на глубоких горизонтах и в пределах прилегающих к разрабатываемым месторождениям площадей (одна из основных задач рудничной геохимии) — единственный путь продления жизни эксплуатируемых месторождений. Кроме того, широкое внедрение в практику работ горно-рудных предприятий методов рудничной геохимии существенно продлит срок их действия, что в свою очередь будет способствовать разработке и внедрению более прогрессивных с экологической точки зрения малоотходных технологий, а также более эффективных очистных сооружений длительного функционирования. Увеличение срока действия горно-рудных предприятий (за счет обнаружения новых скрытых на глубине рудных тел и месторождений) позволит воздержаться от освоения новых месторождений, что исключит техногенное загрязнение новых районов.

Широкое внедрение методов рудничной геохимии позволит по результатам геохимического опробования (экологически совершенно безвредного) исключить из сферы последующих работ неперспективные площади без привлечения для их оценки экологически неблагоприятных и очень дорогостоящих горных и буровых работ.

Придавая большое значение проблеме широкого внедрения геохимических методов в практику рудничной геологии, особое внимание автором обращено на методику и конкретные примеры оценки перспектив рудоносности тех или иных участков по геохимическим данным.

Цель книги — привлечь внимание геологических служб горно-добывающих предприятий к резко возросшим за последние годы возможностям геохимических методов для решения различных проблем рудничной геологии, прежде всего — приращения запасов минерального сырья за счет обнаружения с помощью комплекса экологически безвредных геохимических методов скрытых рудных тел и месторождений.

Автор выражает благодарность А. А. Асламзян, Н. М. Джанджапанян, Г. И. Захарычевой и Г. И. Поповой за помощь в подготовке рукописи.

Часть I.

РУДОГЕННЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ

Рудогенные геохимические аномалии характеризуются существенно повышенными или пониженными (по сравнению с геохимическим фоном) содержаниями химических элементов, обусловленными процессами рудообразования. В данном разделе будут наиболее детально описаны первичные геохимические аномалии в коренных рудовмещающих породах, которые являются эффективными признаками слепых и слабоэродированных рудных тел и месторождений. Большое внимание уделено также группе атмогеохимических аномалий — индикаторов погребенного оруденения, что также не случайно, поскольку выявление различных типов скрытого оруденения (слепого, погребенного) представляет собой основную задачу рудничной геохимии.

В этом разделе не рассматриваются био- и гидрогоеохимические аномалии, поскольку они в поисковом отношении уступают другим типам рудогенных аномалий и более эффективны при изучении процессов загрязнения окружающей среды: установлено, что применение био- и гидрогоеохимического методов позволяет надежно выявить зоны развития процессов загрязнения окружающей природной среды различными химическими элементами. Возможности этих методов будут рассмотрены при анализе деятельности горно-рудных предприятий.

Глава I

ПЕРВИЧНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ

В настоящее время достаточно детально изучены первичные геохимические ореолы только эндогенных рудных месторождений. По этому классу месторождений накоплен определенный опыт использования особенностей их первичных ореолов для решения конкретных практических задач. Полученный опыт свидетельствует о высокой эффективности практического приложения первичных ореолов. Что же касается осадочных месторождений, то следует иметь в виду, что специфический механизм их формирования определяет своеобразие как самих первичных ореолов, так и их практического использования. Пока имеются лишь единичные примеры изучения первичных ореолов осадочных месторождений [9], поэтому можно только ставить вопрос о продолжении исследований с целью разработки эффективной методики применения ореолов осадочных месторождений. В связи с отмеченным первичные ореолы рассматриваются на примере эндогенных рудных месторождений.

Первичный геохимический ореол химического элемента представляет собой околоврудное пространство, обогащенное или обедненное этим элементом в результате его привноса или перераспределения в процессе рудообразования. Известно, что вокруг рудных тел устанавливаются аномальные по сравнению с фоном концентрации многих элементов. Применительно к ним правильнее использовать термин «первичные ореолы», обозначающие совокупность ореолов всех элементов или же группы их. Наряду с первичными ореолами, окаймляющими концентрированное оруденение, часто встречаются геохимические аномалии на удалении от рудных тел, представленные зонами рассеянной рудной минерализации (ЗРМ).

Вокруг рудных тел и месторождений формируются ореолы и привноса, и выноса химических элементов. Ореолы привноса изучены детальнее. Большое практическое их значение определяется тем, что они образованы элементами, типоморфными для рудных тел, и являются, следовательно, прямыми индикаторами последних, тогда как вынос элементов мог произойти как в собственно рудную стадию, так и в процессе до- или послерудной проработки вмещающих пород. Пока надежные критерии определения связи ореолов выноса химических элементов с рудными телами отсутствуют, что, естественно, ограничивает диапазон их применения. В связи с этим особенности формирования и вопросы практического использования ореолов привноса составляют основное содержание настоящей работы.

Критерии и методика интерпретации геохимических аномалий вытекают из особенностей распределения химических элементов в околоврудном пространстве, поэтому на примере ряда месторождений рассмотрим основные закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов. Особенности развития первичных ореолов установлены главным образом по результатам экспрессного спектрального анализа геохимических проб.

1. Методика изучения

Опробование. При изучении первичных ореолов главная задача геохимического опробования коренных пород на поверхности, в горных выработках и по керну скважин — получение количественной характеристики химического состава пород и руд, вскрытых в коренном залегании. Сплошное геохимическое опробование горных выработок и керна скважин на всем их протяжении целесообразно прежде всего потому, что обычно через относительно короткий срок подземные горные выработки, канавы и шурфы становятся недоступны для дополнительного изучения, а керн подвергается сокращению или уничтожению. Опробование пород и руд, наряду с зарисовками и описанием интервалов опробования, должно входить в обязательный комплекс работ по документации горных выработок и керна скважин.

Практикуемое иногда выборочное опробование только видимых интервалов полезного ископаемого недопустимо, поскольку визуальное распознание первичных геохимических ореолов месторождений и многих типов промышленных руд абсолютно ненадежно: их объективная фиксация возможна только с помощью опробования.

При изучении первичных геохимических ореолов рудных месторождений широко применяют экспрессные методы опробования коренных пород. Несмотря на недостаточную их воспроизведимость по сравнению с другими методами пробоотбора они, благодаря меньшей трудоемкости, экономически более приемлемы. Итак, при выборе способа отбора и исходной массы геохимических проб решающими оказываются не главные характеристики способа пробоотбора — правильность (соответствие содержания интересующего компонента истинному) и воспроизводимость (точность пробоотбора), а экономическая сторона. Данный подход, несмотря на определенную некорректность, неизбежен, так как объемное изучение первичных геохимических ореолов требует отбора большого числа проб. Именно поэтому экономическая сторона при выборе метода пробоотбора выдвигается на первый план. Подобное положение обусловливает необходимость оценки (применительно к конкретным типам месторождений иrudовмещающих пород) характеристик используемого экспрессного метода отбора проб с целью учета их при интерпретации результатов геохимического опробования, т. е. оценки в каждом конкретном случае неизбежных ошибок, вносимых недостаточно прецизионными экспрессными методами пробоотбора. Несмотря на очевидную важность этой проблемы и широкое развитие работ по изучению первичных ореолов, практически отсутствуют работы по количественной оценке характеристик применяемых на практике экспрессных методов опробованиярудовмещающих пород.

Основной вид опробования коренных пород при геохимических поисках — метод пунктирной борозды, когда из опробуемого интервала через равные расстояния отбирают пять-шесть мелких кусочков (сколков) породы, которые затем объединяют в одну пробу общей массой 150—200 г. При смене пород из каждой их разновидности берется отдельная пробы. Тектонические трещины, зоны нарушения, жилы и прожилки опробуют отдельно. Следует отметить, что описанный способ отбора проб по существу скорее является точечным (по линии), тем не менее название «пунктирная борозда» укоренилось в специальной геохимической литературе и сохранено в данной работе.

Известно, что экспрессность геохимического опробования достигается, прежде всего, за счет уменьшения массы проб, вызывающего неизбежный рост дисперсии содержаний химических элементов и, соответственно, доверительного интервала оценки среднего содержания (по сравнению с более представительными

видами опробования). Это обстоятельство следует учитывать при интерпретации результатов геохимического опробования.

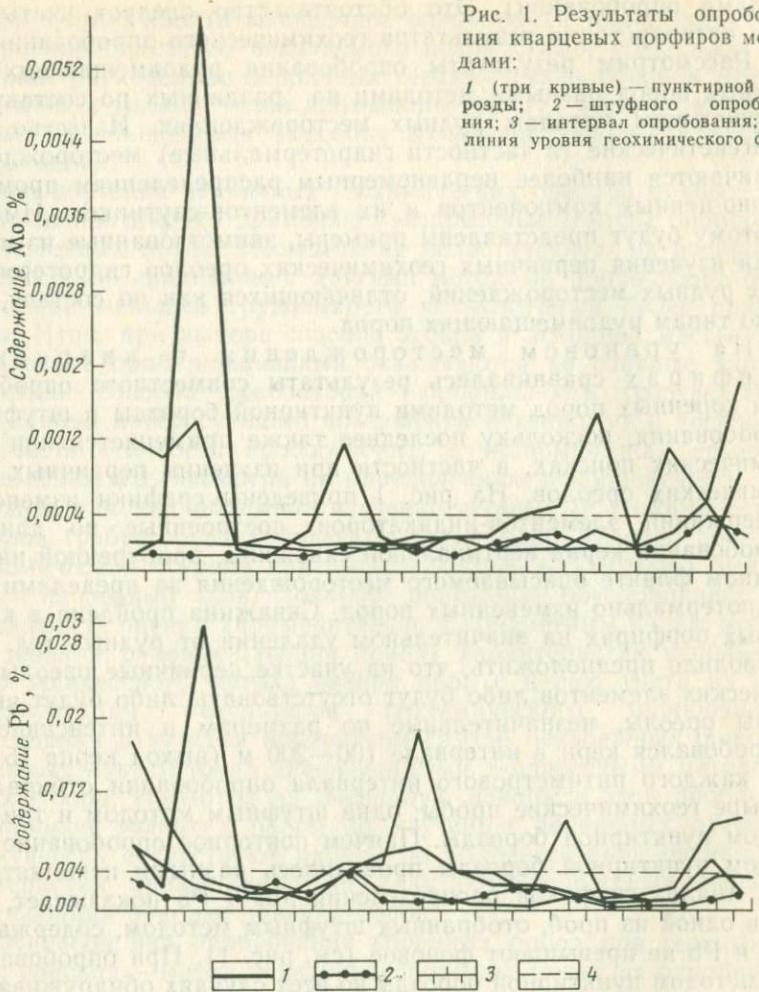
Рассмотрим результаты опробования рудовмещающих коренных пород разными методами на различных по составу и вмещающим породам рудных месторождениях. Известно, что эпигенетические (в частности гидротермальные) месторождения отличаются наиболее неравномерным распределением промышленно-ценных компонентов и их элементов-спутников. Именно поэтому будут представлены примеры, заимствованные из практики изучения первичных геохимических ореолов гидротермальных рудных месторождений, отличающихся как по составу, так и по типам рудовмещающих пород.

На урановом месторождении в кварцевых порфирах сравнивались результаты совместного опробования коренных пород методами пунктирной борозды и штрафного опробования, поскольку последнее также применяется при геохимических поисках, в частности при изучении первичных геохимических ореолов. На рис. 1 приведены графики изменения содержаний элементов-индикаторов, построенные по данным опробования керна вертикальной скважины, пробуренной на западном фланге описываемого месторождения за пределами зон гидротермально измененных пород. Скважина пройдена в кварцевых порфирах на значительном удалении от рудных тел. Это позволило предположить, что на участке первичные ореолы химических элементов либо будут отсутствовать, либо будут выявлены ореолы, незначительные по размерам и интенсивности. Опробовался керн в интервале 100—200 м (выход керна 75 %). Из каждого пятиметрового интервала опробования отбирались четыре геохимические пробы: одна штрафным методом и три методом пунктирной борозды. Причем повторное опробование методом пунктирной борозды проводилось разными исполнителями. Анализ графиков распределения Mo и Pb показывает, что ни в одной из проб, отобранных штрафным методом, содержания Mo и Pb не превышают фоновое (см. рис. 1). При опробовании же методом пунктирной борозды во всех случаях обнаруживаются неширокие, но достаточно контрастные аномальные поля Mo и Pb, причем аномальные концентрации данных элементов в целом удовлетворительно коррелируются. Эти результаты свидетельствуют, что метод пунктирной борозды по сравнению со штрафным более чувствителен: аномалии Mo и Pb, выявленные методом пунктирной борозды, штрафным опробованием «пропущены».

На том же месторождении метод опробования коренных пород пунктирной бороздой сравнивался и с наиболее представительным бороздовым способом опробования, широко применяемым при подсчете запасов месторождений полезных ископаемых. Коренные породы (граниты) опробовались вкрест простирации рудоносных зон в стенках подземных горных выработок

Рис. 1. Результаты опробования кварцевых порфиров методами:

1 (три кривые) — пунктирной борозды; 2 — штрафного опробования; 3 — интервал опробования; 4 — линия уровня геохимического фона

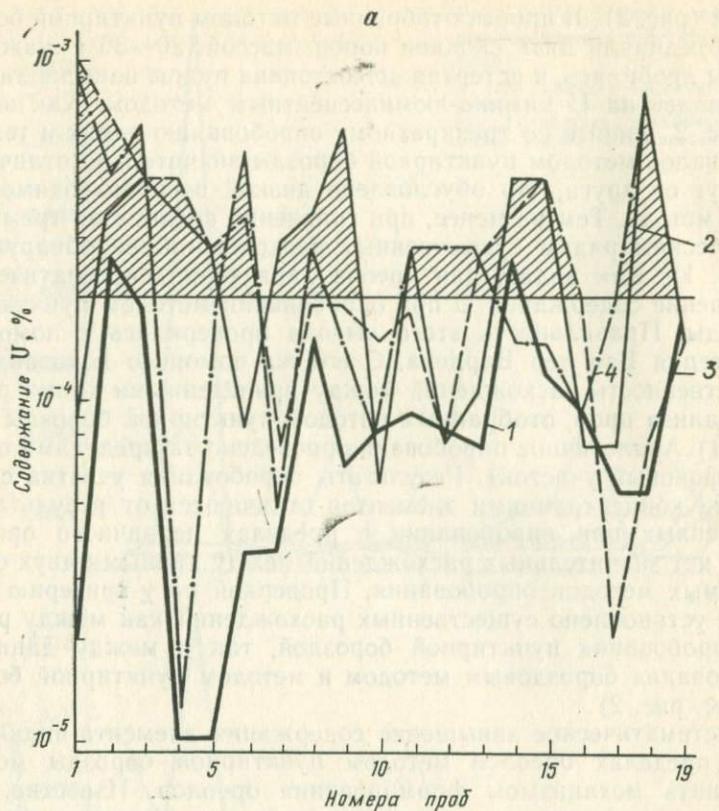


на глубине 150—200 м. Методика опробования предусматривала отбор четырех проб с одного и того же интервала (длина 1 м): одной бороздовой и трех — методом пунктирной борозды. Трехкратное опробование методом пунктирной борозды выполнялось с целью исключения влияния на результаты опробования случайности пробоотбора, так как метод пунктирной борозды (как и любые другие экспрессные методы опробования) по воспроизводимости уступает прецизионным методам. Сопряженное опробование двумя методами осуществлялось на двух участках — фоновом, за пределами рудных тел и окаймляющих их ореолов, и участке, расположенном в периферийной части первичных ореолов, в области развития слабоконтрастных геохимических ано-

малий (рис. 2). В пробы, отобранные методом пунктирной борозды, объединяли пять сколков пород массой 20—30 г каждый. Пробы дробились, и истертая до состояния пудры навеска анализировалась на У химико-люминесцентным методом. Как видно на рис. 2, данные по трехкратному опробованию одних и тех же интервалов методом пунктирной борозды значительно отличаются друг от друга, что обусловлено низкой воспроизводимостью этого метода. Тем не менее, при сравнении средних по трем статистическим рядам существенных расхождений не обнаружено (табл. 1). Как видно, для ореола характерно систематическое завышение содержания У при опробовании методом пунктирной борозды. Правильность этого вывода проверялась с помощью χ^2 -критерия Ван дер Вардена. С его же помощью доказана несущественность расхождений между приведенными тремя рядами анализа проб, отобранных методом пунктирной борозды (см. табл. 1). Аналогичное опробование проведено за пределами ореолов (фоновый участок). Результаты опробования участка с фоновыми концентрациями элементов отличаются от результатов, полученных при опробовании в пределах первичного ореола. Здесь нет значительных расхождений между данными двух сравниваемых методов опробования. Проверкой по χ^2 -критерию также не установлено существенных расхождений как между рядами опробования пунктирной бороздой, так и между данными опробования борзовым методом и методом пунктирной борозды (см. рис. 2).

Систематическое завышение содержания элемента-индикатора в пределах ореолов методом пунктирной борозды можно объяснить механизмом формирования ореолов. Известно, что геохимические ореолы на гидротермальных месторождениях возникают в результате проникновения во вмещающие породы рудообразующих растворов. Циркулируют растворы в основном по трещинам (инфилтрация), в стороны от которых элементы проникают, как правило, путем диффузии. В результате максимальные концентрации элементов устанавливаются непосредственно в призальбандовых частях трещин, по мере удаления от которых содержание резко падает до фоновых. Опыт изучения первичных ореолов рудных месторождений показывает, что диффузионное проникновение элементов-индикаторов во вмещающие породы имеет явно подчиненное значение, из-за чего ореолы приобретают не сплошной, а прерывистый характер, обусловленный чередованием низких (иногда фоновых) и высоких концентраций элементов-индикаторов. По строению первичный ореол напоминает дерево после осеннего листопада, когда ветви (для ореолов — трещины и их зальбанды) разделены между собой пустым пространством (участки с низкими аномальными и фоновыми содержаниями элементов-индикаторов).

Ввиду неравномерного распределения химических элементов в ореолах при опробовании методом пунктирной борозды в пробы попадают мелкие кусочки, как правило, из зальбандов тре-



щин, наиболее обогащенных элементами-индикаторами. Это происходит потому, что кусочки из монолитных нетрециноватых участков отбить труднее. При бороздовом опробовании избирательное накопление в пробе обогащенных кусочков исключается, так как вместе с ними в пробу попадают кусочки из монолитных участков.

Таблица 1

Средние содержания U , млн^{-1}

Вид опробования	Объекты опробования	
	первичный ореол	фоновые участки
Бороздовое		
Пунктирная борозда:		
1	1,01	1,16
2	3,01	1,3
3	3,37	1,4
	3,57	1,4

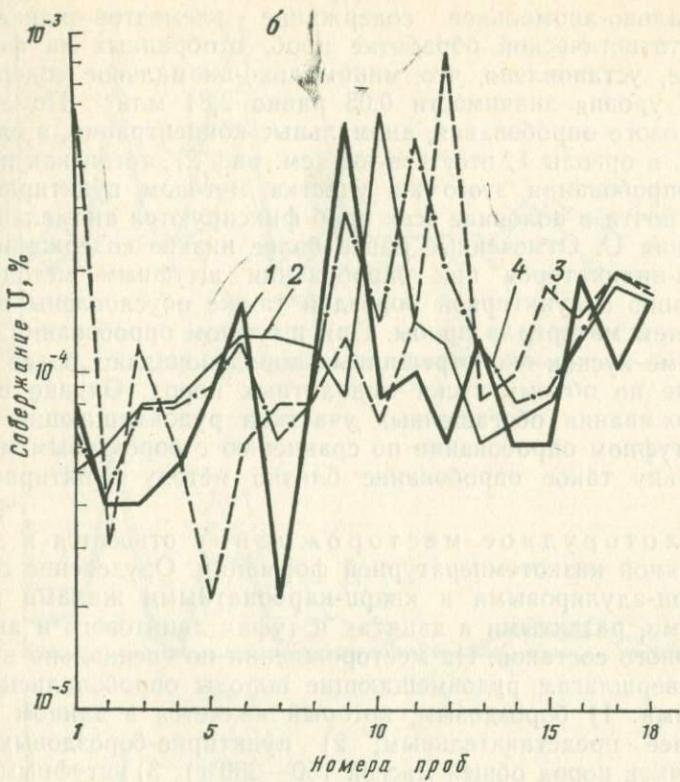


Рис. 2. Результаты опробования гранитов различными методами:
а — в пределах слабой аномалии U; б — на фоновом участке; 1 — метод бороздового
опробования; 2—4 — метод пунктирной борозды; штриховкой показаны аномалии U

литных пустых участков, характеризующихся фоновыми или низкими аномальными содержаниями элементов-индикаторов. Очевидно, указанное разубоживание тем сильнее, чем значительнее объем монолитных пустых участков, т. е. чем слабее диффузационное проникновение рудных элементов из трещин во вмещающие породы. Результаты сравнения двух методов опробования показывают, что, несмотря на меньшую по сравнению с бороздовым воспроизводимость, метод пунктирной борозды менее трудоемок и обладает большей чувствительностью обнаружения первичных ореолов. Следовательно, при прочих равных условиях с его помощью будут выявлены более значительные по размерам ореолы, что, естественно, обеспечит большую глубинность поисков скрытого оруденения по первичным ореолам.

Для выделения аномалий (ореолов) необходимо определить минимально-аномальное содержание элементов-индикаторов. При статистической обработке проб, отобранных на фоновом участке, установлено, что минимально-аномальное содержание U для уровня значимости 0,05 равно $2,81 \text{ млн}^{-1}$. По данным бороздового опробования, аномальные концентрации, а следовательно, и ореолы U отсутствуют (см. рис. 2), тогда как по данным опробования этого же участка методом пунктирной борозды почти в половине всех проб фиксируются аномальные содержания U. Отмеченные ранее более низкие содержания элементов-индикаторов при опробовании штуфным методом по сравнению с пунктирной бороздой также обусловлены разубоживанием материала пробы. При штуфном опробовании в пробу кроме кусков околотрещинных пород попадают более значительные по объему куски монолитных пород. Однако степень разубоживания обогащенных участков рудовмещающих пород при штуфном опробовании по сравнению с борзовым меньше, поскольку такое опробование близко методу пунктирной борозды.

Золоторудное месторождение относится к золото-серебряной низкотемпературной формации. Оруденение связано с кварц-адуляровыми и кварц-карбонатными жилами и прожилками, развитыми в дацитах и туфах дакитового и андезит-дакитового составов. На месторождении по специальному выбранным квершлагам рудовмещающие породы опробовались тремя методами: 1) борзовым, который является в данном случае наиболее представительным; 2) пунктирно-борзовым (5—6 кусочков пород общей массой 150—200 г); 3) штуфным (один штуф с общей массой пород из опробуемого интервала 150—200 г). Сопряженное опробование проводилось на фоновом и аномальном участках. Все отобранные геохимические пробы после дробления и истирания в полном соответствии с действующей методикой обработки проб коренных пород [16] анализировались на широкий круг химических элементов приближенно-количественным спектральным методом.

При обработке результатов геохимического опробования установлено, что все методы в целом дают близкие результаты. Однако более внимательный анализ позволяет подметить, что есть некоторые закономерные различия: отчетливо видно завышение концентраций Pb при пунктирно-борзовом и штуфном методах опробования (по сравнению с борзовым, рис. 3). Эти данные полностью согласуются с результатами выполненного ранее опробования гранитов на урановом месторождении, где также установлено завышение концентраций элементов-индикаторов при опробовании этими методами. Следовательно, и в рассматриваемом случае пунктирно-борзовый метод более «чувствителен» для первичных ореолов. Аналогичное установлено и для других элементов-индикаторов данного типа оруденения.

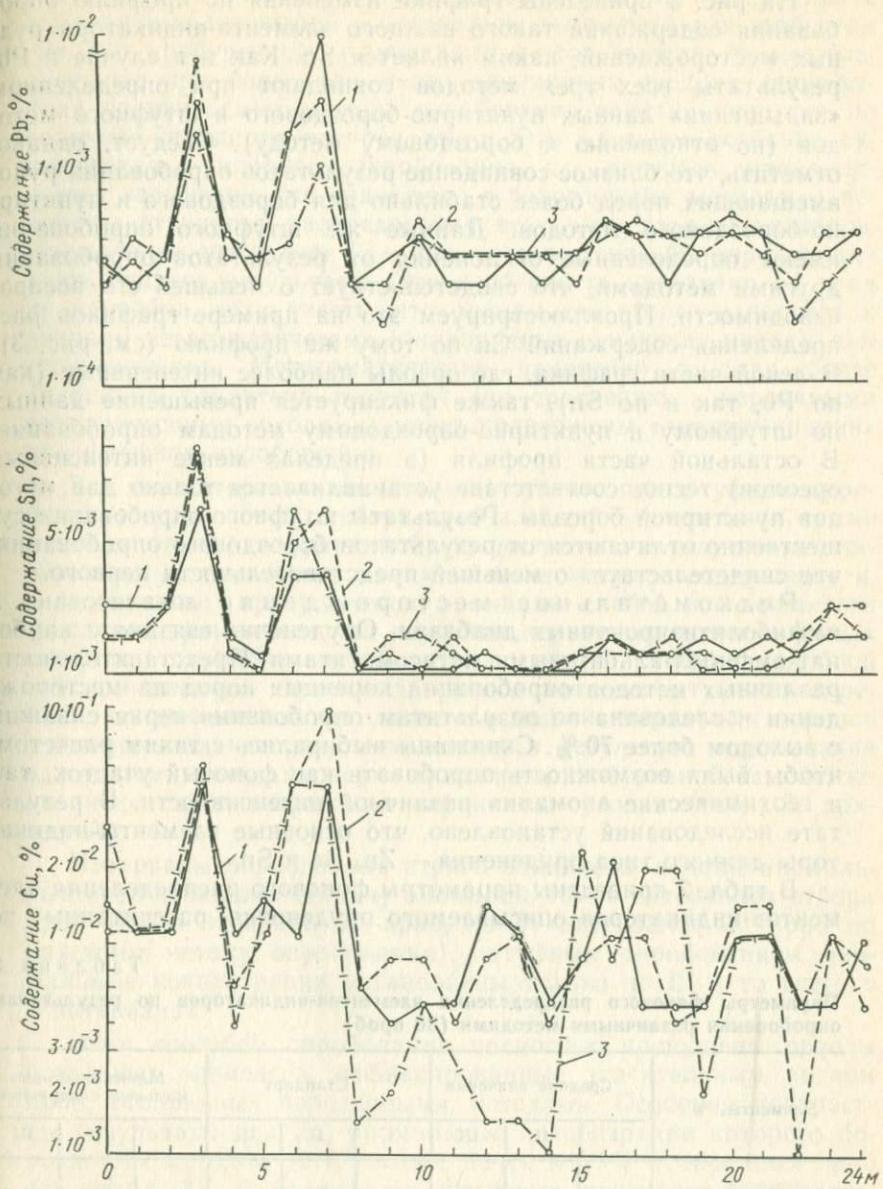


Рис. 3. Распределение содержаний Pb, Sn и Cu по данным различных методов:

1 — бороздового; 2 — пунктирно-бороздового; 3 — штупного

На рис. 3 приведены графики изменения по профилю опробования содержаний такого важного элемента-индикатора рудных месторождений, каким является Sn. Как и в случае с Pb, результаты всех трех методов совпадают при определенном «завышении» данных пунктирно-бороздового и штуфного методов (по отношению к бороздовому методу). Следует, однако, отметить, что близкое совпадение результатов опробованиярудо-вмещающих пород более стабильно для бороздового и пунктирно-бороздового методов. Данные же штуфного опробования имеют определенные отклонения от результатов опробования другими методами, что свидетельствует о меньшей его воспроизводимости. Проиллюстрируем это на примере графиков распределения содержаний Cu по тому же профилю (см. рис. 3). В левой части графика, где ореолы наиболее интенсивные (как по Pb, так и по Sn), также фиксируется превышение данных по штуфному и пунктирно-бороздовому методам опробования. В остальной части профиля (в пределах менее интенсивных ореолов) тесное соответствие устанавливается только для методов пунктирной борозды. Результаты штуфного опробования существенно отличаются от результатов бороздового опробования, что свидетельствует о меньшей представительности первого.

Редкометальное месторождение локализовано в амфиболитизированных диабазах. Оруденение связано с карбонат-амфибол-альбитовыми метасоматитами. Представительность различных методов опробования коренных пород на месторождении исследована по результатам опробования керна скважин с выходом более 70 %. Скважины выбирались с таким расчетом, чтобы была возможность опробовать как фоновый участок, так и геохимические аномалии различной интенсивности. В результате исследований установлено, что основные элементы-индикаторы данного типа оруденения — Zn, Be и Sn.

В табл. 2 приведены параметры фонового распределения элементов-индикаторов описываемого оруденения, рассчитанные по

Таблица 2

Параметры фонового распределения элементов-индикаторов по результатам опробования различными методами (30 проб)

Элементы, %	Средние значения			Стандарт			Минимально-аномальные содержания		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Zn, $n \cdot 10^{-2}$	1,30	0,83	<u>1,46</u>	0,26	0,27	<u>2,09</u>	1,8	1,4	<u>5,6</u>
Be, $n \cdot 10^{-3}$	0,70	0,56	<u>0,74</u>	1,06	1,04	<u>1,51</u>	2,8	2,6	<u>3,8</u>
Sn, $n \cdot 10^{-4}$	3,52	3,13	<u>4,13</u>	0,79	0,82	<u>3,52</u>	5,1	4,8	<u>11,7</u>
Li, $n \cdot 10^{-4}$	1,87	<u>2,95</u>	2,26	1,74	1,52	<u>1,86</u>	5,4	6,0	<u>6,0</u>

Примечание. 1. Методы: I — бороздовый, II — пунктирной борозды, III — штуфной. 2. Подчеркнуты максимальные значения.

результатам опробования рудовмещающих пород без признаков окорудных изменений в специально выбранной для этой цели скв. 530, пробуренной за пределами месторождения. Из нее следует, что при более или менее одинаковых средних содержаниях сравниваемые методы опробования заметно разнятся по величине стандарта распределения. Это различие особенно существенно у штуфного опробования, для которого устанавливается завышение (по сравнению с бороздовыми методами) величины стандарта распределения всех элементов-индикаторов. Исключение составляет Li — для него все способы опробования дают близкие результаты. Эта особенность поведения Li вряд ли случайна, если учесть, что ореолы его скорее относятся к разряду метасоматических (окорудные изменения пород), чем геохимических. Метасоматические изменения в силу более сплошного характера развития (по сравнению с первичными геохимическими ореолами) менее подвержены «дискриминации» при штуфном опробовании.

Все эти материалы свидетельствуют, что при штуфном опробовании доля способа отбора проб в общей дисперсии (в сумме с аналитической и природной) существенна: в результате значительно увеличивается минимально-аномальное содержание и, следовательно, пропускаются аномалии слабой интенсивности (в случае применения при изучении первичных ореолов метода штуфного опробования). Для иллюстрации степени подобной «дискриминации» первичных ореолов методом штуфного опробования проанализируем данные о ширине первичных ореолов элементов-индикаторов, выявленных в результате опробования различными методами керна скважины, пробуренной на участке развития слабоконтрастных первичных ореолов (табл. 3, пример А).

Интервалы опробования строго одинаковы и доли аномальных проб отражают ширину аномалий. Из 30 интервалов отбора проб (всего отобрано 90 проб, из 30 интервалов 30 проб по каждому методу опробования), штуфным опробованием аномальные концентрации установлены только по Li и то всего в 7 интервалах.

Этим способом опробования полностью пропущены ореолы остальных элементов, зафиксированные значительным числом проб, отобранных бороздовыми методами. Особенно контрастны результаты для Zn, аномальные концентрации которого бороздовым методом установлены почти в 90 % отобранных проб (см. табл. 3). В отличие от штуфного пунктирно-бороздовое, также экспрессное опробование не только не уступает бороздовому, но и в определенной степени превосходит его: только оно позволило зафиксировать ореолы Sn (см. табл. 3). Приведенные в табл. 3 данные убедительно показывают, сколь «губительным» для слабоконтрастных первичных ореолов оказалось бы применение штуфного опробования.

Таблица 3

Ширина первичных ореолов

Метод опробования	Ширина ореолов			
	Zn	Be	Sn	Li
<i>Пример А — 30 проб</i>				
Бороздовый	27 * 0,9	8 0,27	Не обн.**	9 0,3
Пунктирно-бороздовый	26 0,87	8 0,27	2 0,07	16 0,53
Штупфной	Не обн.	Не обн.	Не обн.	7 0,23
<i>Пример Б — 23 пробы</i>				
Бороздовый	18 * 0,78	1 0,03	Не обн.	23 1,0
Пунктирно-бороздовый	16 0,70	3 0,13	Не обн.	20 0,87
Штупфной	Не обн. **	Не обн.	Не обн.	20 0,87
<i>Пример В — 17 проб</i>				
Бороздовый	10 * 0,58	7 0,41	13 0,76	
Пунктирно-бороздовый	16 0,94	5 0,29	17 1,0	
Штупфной	1 0,06	1 0,06	15 0,88	

* В числителе — число аномальных проб, в знаменателе — доля аномальных из общего числа проб.

** Не обн. — аномальные концентрации (первичных ореолов) не обнаружены.

Аналогичные результаты получены по результатам опробования, выполненного на другом участке (см. табл. 3, пример Б).

Как уже отмечалось, только для Li безразличен выбираемый метод опробования. Для остальных элементов-индикаторов наиболее приемлем пунктирно-бороздовый, с помощью которого, в частности, обнаружены широкие ореолы Be — основного элемента-индикатора описываемого типа оруденения (см. табл. 3, пример В).

Приведенные данные показывают, что при изучении первичных геохимических ореолов наиболее эффективно применение пунктирно-бороздового метода. При этом, наряду с неоспоримы-

ми преимуществами (экспрессность, большая чувствительность обнаружения ореолов и др.), обнаружен один существенный его недостаток — низкая воспроизводимость (по сравнению с бороздовым методом). Это обстоятельство следует учитывать при интерпретации результатов геохимического опробования.

Влияние отмеченного недостатка на конечные результаты геохимического опробования коренных пород в значительной степени можно снизить, если использовать (при интерпретации геохимических аномалий) не результаты анализов единичных проб, а рассчитанные по представительным выборкам средние или интегральные показатели (например, различные модификации суммарных аномалий и др.).

Анализ проб. Изучение первичных ореолов рудных месторождений ведут разнообразными аналитическими методами, которые постоянно совершенствуют в направлении повышения чувствительности, точности и производительности. Последнее особенно важно при геохимических работах, сопряженных с отбором и анализом большого числа проб различного назначения. Характеристика комплекса применяемых аналитических методов представляет собой предмет специальной работы и здесь не дается. Исключение сделано только для экспрессного эмиссионного спектрального анализа, широко используемого при геохимических поисках, в том числе и при изучении первичных геохимических ореолов.

Автором при изучении геохимических ореолов самых разных типов рудных месторождений в качестве основного аналитического метода применялся экспрессный спектральный анализ в модификации сильноточной дуги, разработанной А. А. Гусельниковым [15]. В табл. 4 приведены данные о пороге обнаружения наиболее чувствительных линий, достигнутом А. А. Гусельниковым при следующих условиях: 1) источник возбуждения спектров — дуга трехфазного тока с напряжением между фазами 380 В; 2) сила тока — 30 А на фазе; 3) время экспозиции — 20 с; 4) скорость вдувания — 8 мг/с. Применялся спектрограф ДФС-13 с решеткой 600 шт/мм, освещение щели осуществлялось с помощью 3-х линз, ширина щели 10 мкм. Фотопластинка тип П, чувствительностью 15 ед. ГОСТ.

Наряду с экспрессным спектральным анализом при решении различных задач рудничной геохимии привлекают разнообразные аналитические методы и методики. В частности, широко используют результаты прецизионного анализа различных проб на основные и сопутствующие компоненты руд.

Оконтуриивание первичных ореолов. Сущность геохимических поисков рудных месторождений заключается в обнаружении и оценке геохимических аномалий, в том числе и первичных ореолов, развитых в коренныхрудовмещающих породах. Для получения представления об особенностях состава и строения первичных геохимических ореолов проводится опробование рудных тел и вмещающих пород в разрезах и на планах. Обработка

Таблица 4

Чувствительность спектрального анализа

Определяемый элемент	Аналитическая линия, 10-10	Порог обнаружения, млн ⁻¹
B	2497,73	3,0
Be	3130,42	1,0
Ba	3071,59	100,0
V	3183,40	1,0
Bi	3067,72	1,0
W	2946,98	3,0
Hf	2916,46	30,0
Ge	3039,06	1,0
Ga	2943,64	1,0
Au	2675,90	3,0
Y	3327,88	3,0
Yb	3289,37	1,0
In	3039,39	3,0
Co	3453,51	0,5
Cd	3261,06	3,0
Li	3232,61	10,0
La	3245,12	30,0
Mo	3170,35	0,5
Mn	2933,06	10,0
As	2860,45	100,0
Cu	3273,96	1,0
Ni	3050,82	1,0
Nb	3163,40	3,0
Sn	3175,05	1,0
Hg	2536,52	100,0
Pb	2833,07	1,0
Sr	3464,46	30,0
Sb	2598,06	30,0
Ag	3382,89	0,05
Sc	3353,7	1,0
Ti	3168,52	10,0
Th	2692,42	300,0
Ta	2714,67	100,0
Tl	2767,87	3,0
U	2865,68	300,0
P	2534,01	1000,0
Cr	3015,19	3,0
Zr	3279,27	10,0
Zn	3345,02	10,0
Ce	3201,71	100,0
Al	2660,39	10,0
Fe	3018,98	10,0
K	3446,40	10000,0
Ca	3179,33	±3,0
Si	2506,90	10,0
Mg	2776,69	30,0
Na	3302,32	30,0

результатов анализа отобранных по разрезам проб позволяет выявить особенности пространственного развития первичных ореолов и решать на этой основе те или иные задачи. Конкретные примеры первичных ореолов будут рассмотрены при описании особенностей первичных ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений.

Первичные геохимические ореолы оконтуривались по общепринятой методике, основанной на сравнении исследованных участков с параметрами фонового распределения элементов. Для расчета последних и определения на этой основе минимально-аномальных концентраций химических элементов для каждой разности рудовмещающих пород использовались результаты геохимического опробования коренных пород на специально выбранных «фоновых» участках, удаленных от рудных тел и месторождений и не несущих следов проявления рудной минерализации. Однако следует учесть, что в пределах рудных полей ввиду широкого проявления рудогенных процессов выбор действительно фоновых участков затруднен. Обычно участки для расчета параметров фонового распределения элементов-индикаторов выбирают за пределами оклорудных изменений рудовмещающих пород, однако и это недостаточно надежно, так как первичные ореолы многих элементов по размерам существенно превосходят ореолы измененных пород, в связи с чем нередко на «фоновых» участках обнаруживают аномалии, исключающие использование подобных выборок для расчета параметров фонового распределения элементов-индикаторов. Во избежание подобных ошибок «фоновое» опробование проводилось не на одном, а на нескольких (двух-трех) участках с выбором в качестве фоновых участков, лишенных аномалий и обычно характеризующихся минимальными значениями параметров распределения элементов — среднего и стандарта.

Внешняя граница первичных ореолов проводилась по величине минимально-аномальных содержаний элементов, рассчитанных с 5 %-м уровнем значимости. Методика и примеры расчетов параметров распределения и на этой основе минимально-аномальных содержаний детально изложены в работах [5, 6] и здесь не рассматриваются.

Метод суммарных ореолов. Установлено, что вокруг рудных тел можно выявить более контрастные геохимические ореолы, если суммировать содержания группы элементов-индикаторов. Автором предложено две модификации суммарных ореолов: аддитивные и мультиплективные.

Аддитивные ореолы строят путем простого сложения содержаний элементов-индикаторов, нормированных через среднефоновые их содержания в рудовмещающих породах. В этом случае ореолы оконтуриваются по величине минимально-аномального (суммарного) содержания элементов-индикаторов, рассчитанной по результатам геохимического опробования «фоновых» участков. Аддитивные ореолы по сравнению с моноэлементными бо-

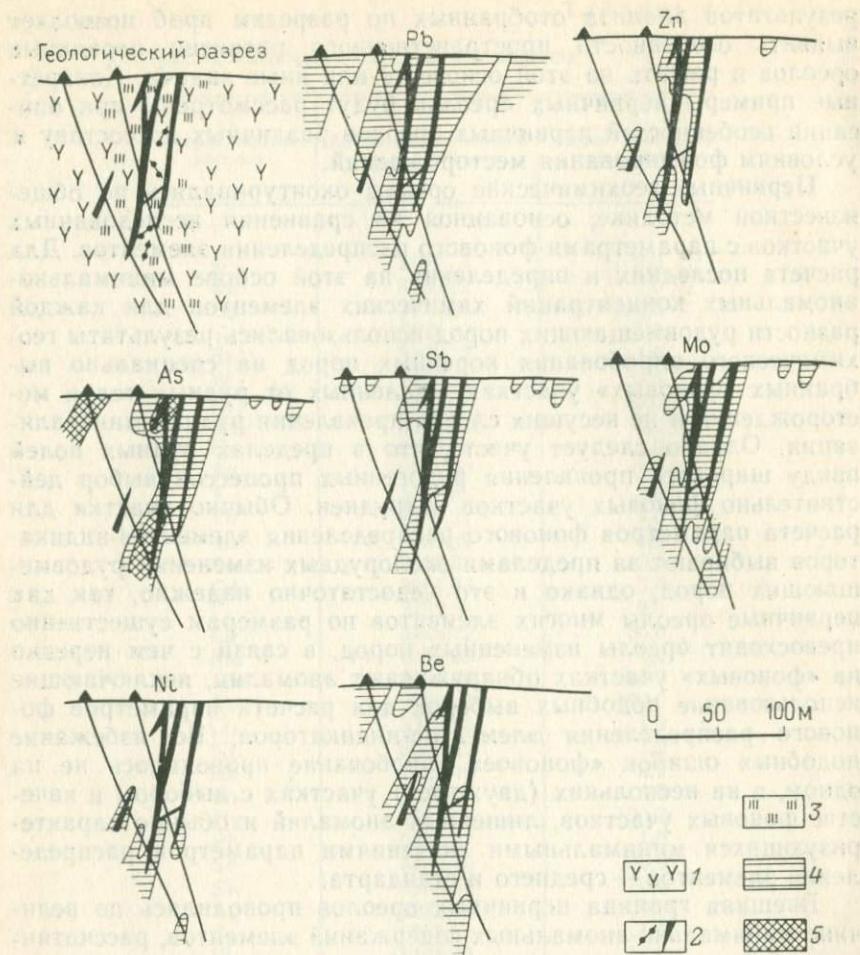


Рис. 4. Первичные ореолы в разрезе:

1 — андезитовые порфириты; 2 — рудные жилы; 3 — околорудные изменения; 4, 5 — первичные ореолы (5 — повышенных содержаний)

лее значительны по размерам и интенсивности. Благодаря направленному суммированию коррелирующих полезных сигналов влияние случайных ошибок и, прежде всего, помех фона сводится к минимуму. В результате аддитивные ореолы более тесно связаны с геолого-структурными особенностями рудных тел и месторождений, что, в свою очередь, существенно повышает надежность их интерпретации. На рис. 4 и 5 приведены первичные ореолы ряда химических элементов, оконтуренные по одному из разрезов через золоторудное месторождение. Видно, что аддитивные ореолы и по размерам, и по интенсивности существенно превосходят любой из моноэлементных.

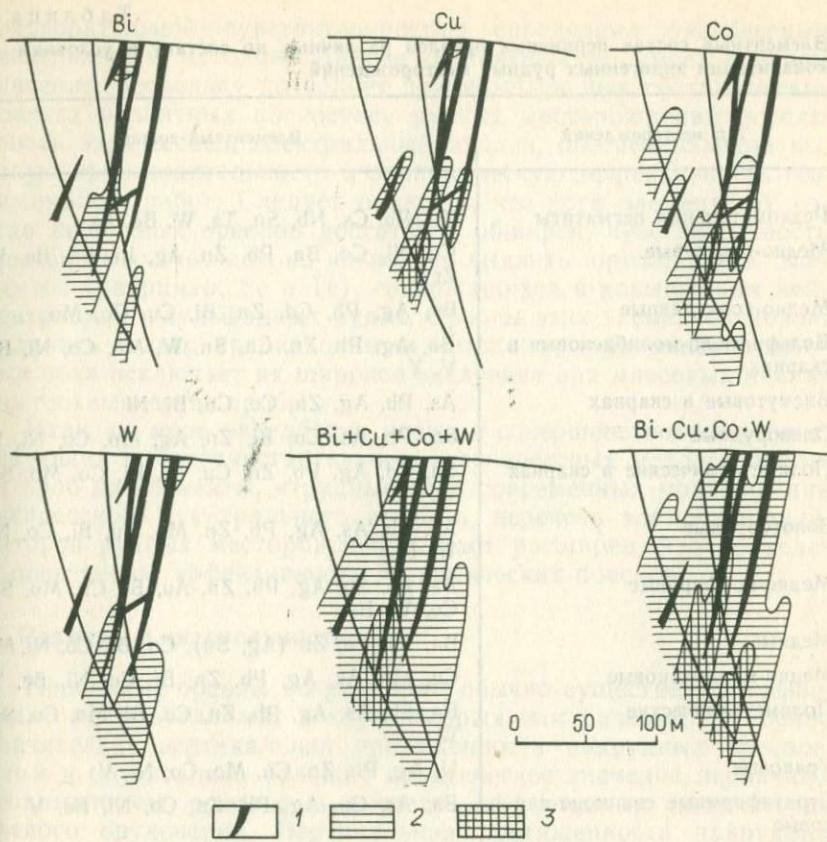


Рис. 5. Моноэлементные, аддитивные и мультиплекативные ореолы в разрезе:
1 — рудные тела, 2, 3 — первичные ореолы (3 — повышенных содержаний)

Аналогичные результаты будут получены, если вместо сложения выполнить перемножение содержаний элементов-индикаторов в каждой пробе и построить по этим данным ореолы, названные мультиплекативными. Метод мультиплекативных ореолов по сравнению с аддитивным менее трудоемок в вычислениях, поскольку отпадает необходимость в нормировании через фон значений концентраций элементов-индикаторов во всех отобранных пробах. В случае, когда из-за недостаточной чувствительности анализа значимые содержания тех или иных элементов не были обнаружены, при построении суммарных ореолов содержания элементов условно приравнивались к половине порога чувствительности анализа.

2. Элементный состав

Элементный состав ореолов — это перечень элементов, образующих первичные ореолы вокруг рудных тел месторождений

Таблица 5

Элементный состав первичных ореолов различных по составу и условиям локализации эндогенных рудных месторождений

Тип месторождений	Элементный состав
Редкометальные пегматиты	Zn, Rb, Cs, Nb, Sn, Ta, W, Be, As
Медно-никелевые	Cu, Ni, Co, Ba, Pb, Zn, Ag, Bi, Sn, Be, W, Zr
Медно-колчеданные	Ba, Ag, Pb, Cd, Zn, Bi, Cu, Co, Mo
Вольфрамово-молибденовые в скарнах	Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, Sn, W, Mo, Co, Ni, Be, V, Y
Висмутовые в скарнах	As, Pb, Ag, Zn, Co, Cu, Bi, Ni
Оловорудные	Sn, Pb, As, Cu, Bi, Zn, Ag, Mo, Co, Ni, W
Полиметаллические в скарнах	Sb, Cd, Ag, Pb, Zn, Cu, Ni, Bi, Co, Mo, Sn, W, Be
Золоторудные	Au, Sb, As, Ag, Pb, Zn, Mo, Cu, Bi, Co, Ni, W, Be
Медно-порфировые	Ba, As, Sb, Ag, Pb, Zn, Au, Bi, Cu, Mo, Sn, Co, W, Be
Медные	Ba, As, Pb, Zn (Ag, Sn), Cu, Bi, Co, Ni, Mo
Медно-молибденовые	Cu, Mo, As, Ag, Pb, Zn, Bi, Co, Ni, Be, W
Полиметаллические	Ba, Sb, As, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Co, Sn, W
Урановые	U, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, V
Стратiformные свинцово-цинковые	Ba, As, Cu, Ag, Pb, Zn, Co, Ni, Be, V
Сурьмяно-ртутные	Sb, Hg, As, Cu, Ag, Pb, Zn, Be, Co, Ni, W, Sn
Ртутные	Hg, Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Sn, Mo, W
Общий перечень элементов-индикаторов	Li*, Rb, Cs, Hg, Au, U, Ta, Sn, W, Be, Ba, Cd, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, As, Sb, Zr, Nb, V, Y

* Подчеркнуты элементы, требующие специальных методов анализа, так как приближенно количественный спектральный метод не позволяет получить удовлетворительные результаты.

ТОГО или иного типа. Ореолы всех эндогенных рудных месторождений многокомпонентны. Это видно из табл. 5. Анализ приведенных данных показывает также, что многие элементы — «сквозные», т. е. служат индикаторами различных по составу рудных месторождений. Общий перечень элементов-индикаторов включает в себя 23 элемента. Это число сократится до 19, если исключить типоморфные элементы редкометальных пегматитов. Из них только для трех (U, Au и Hg) требуется использование специальных методов анализа. Все остальные элементы с удо-

влетворительной чувствительностью определяют экспрессным спектральным методом. Данное обстоятельство имеет большое значение, поскольку позволяет при комплексных геохимических поисках различных по составу рудных месторождений использовать экспрессный спектральный анализ, обеспечивающий высокую производительность и экономическую эффективность геохимических работ. Следует отметить, что хотя элементный состав первичных ореолов достаточно обширен, чувствительность применяемых методов не позволяет выявить ореолы ряда элементов (например, Se и Te), содержащихся в повышенных концентрациях в сульфидных рудах. Ореолы этих элементов можно выделить только прецизионными методами, трудоемкость которых пока исключает их широкое внедрение при массовых анализаах геохимических проб.

Итак, по мере разработки новых и совершенствования существующих высокочувствительных и экспрессных методов анализа проб на элементы, «трудные» для современных модификаций экспрессного спектрального анализа, перечень элементов-индикаторов рудных месторождений будет расширен, что приведет к повышению эффективности геохимических поисков.

3. Размеры и интенсивность

Первичные ореолы по размерам обычно существенно превосходят рудные залежи, вокруг которых они развиты. Особенно значительна вертикальная протяженность надрудных ореолов. Этим и обусловлено большое практическое значение первичных геохимических ореолов в качестве эффективных индикаторов слепого оруденения. Вертикальная протяженность надрудных ореолов, определяющая глубинность геохимических поисков слепого оруденения, обычно составляет сотни метров, а в отдельных случаях превышает 1 км. Для иллюстрации данного положения рассмотрим первичные ореолы Николаевского месторождения.

Николаевское скарново-полиметаллическое месторождение (Приморье) представлено пластообразной залежью, приуроченной к контакту известняков верхнего триаса с верхнемеловыми вулканогенными породами. Залежь, мощность которой достигает нескольких десятков метров, согласно с подошвой вулканогенной толщи погружается в северо-восточном и северо-западном направлениях под углами около 30° . Месторождение слепое и залегает на глубине 700—1100 м под перекрывающей вулканогенной толщей, сложенной туфобрекчиями и туфами кварцевых порфиров с маломощными прослоями и линзами алевролитов и песчаников. Вмещающие оруденение породы прорваны дайками диабазовых порfirитов, небольшой штокообразной интрузией сложного состава (габбродиориты, гранит-порфиры, фельзиты) и интенсивно изменены — песчаники и сedimentационные брекчии фундамента хлоритизированы, серицитизированы

ны, известняки мраморизованы, а на контакте с силикатными породами превращены в геденбергитовые скарны. Вулканогенные и интрузивные породы над рудной залежью интенсивно пропилитизированы. Оруденение размещается в геденбергитовых скарнах. Главные рудные минералы — сфалерит, галенит, пирит, пирротин. Текстуры руд — прожилковая и вкрапленная.

По результатам опробования керна скважин на месторождении установлены первичные геохимические ореолы широкого круга химических элементов, типоморфных для скарново-полиметаллического оруденения (см. табл. 5). Вертикальная протяженность надрудных ореолов значительна: по описываемому разрезу она достигает 850 м (глубина рудной залежи), причем это не предел, так как на поверхности первичные ореолы еще шире и интенсивнее (рис. 6). Рассмотренный пример в некоторой степени уникален, поскольку ореолы изучены вокруг крупной рудной залежи. Однако и вокруг мелких месторождений и рудных тел развиваются значительные по размерам и по вертикальной протяженности первичные геохимические ореолы.

Сравнительное изучение многочисленных рудных месторождений показывает, что в зависимости от состава и других особенностей оруденения формируются различные по размерам первичные ореолы элементов-индикаторов. Если на скарново-полиметаллических месторождениях вертикальная протяженность первичных ореолов ряда элементов превышает сотни метров, то на месторождениях другого состава (золоторудные, например) первичные ореолы элементов незначительны по размерам и интенсивности и надежное их обнаружение при геохимических поисках представляет определенные трудности.

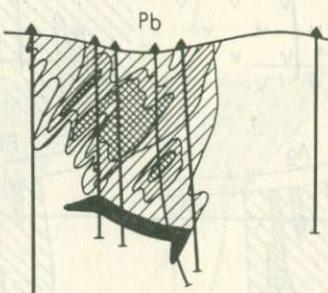
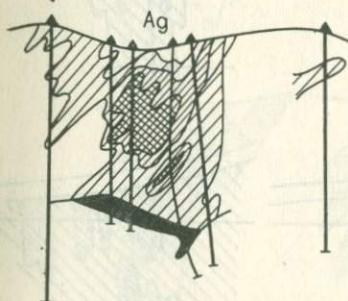
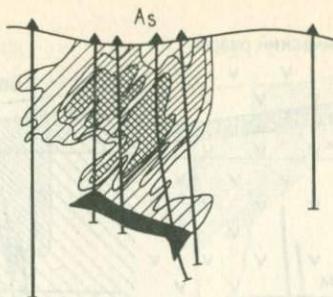
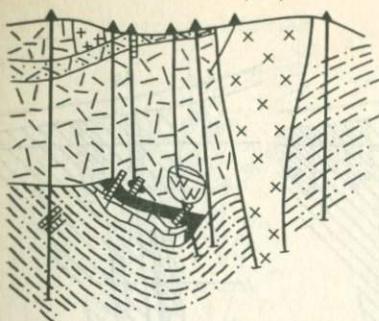
4. Морфология

В большинстве случаев первичные ореолы развиваются согласно с рудными телами. Это положение справедливо как для рудных тел крутого падения, так и для пологозалегающих.

Ореолы крутого падения. Для иллюстрации морфологии ореолов, развитых вокруг рудных тел крутого падения, рассмотрим первичные ореолы ряда элементов вокруг полиметаллических жил месторождения Архон (Северный Кавказ). Полиметаллические жилы локализуются в крутопадающих трещинах северо-восточного простирания. Наиболее распространенные рудные минералы — пирит, сфалерит, галенит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, в меньших количествах встречаются тетраэдрит, аргентит, джемсонит и др. Обработка данных геохимического опробования показала, что вокруг рудных жил несмотря на их незначительные мощности развиты весьма широкие и протяженные ореолы Pb, Zn, Cu, Ag, Co и Bi.

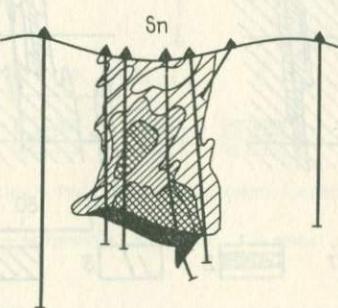
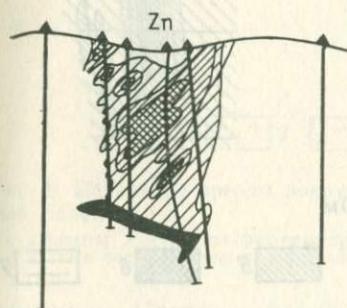
В качестве примера на рис. 7 приведены первичные ореолы вокруг рудных жил медного месторождения Кафан (Армения). Первичные ореолы здесь также резко вытянуты согласно с руд-

Геологический разрез



0 300 600 м

1



2

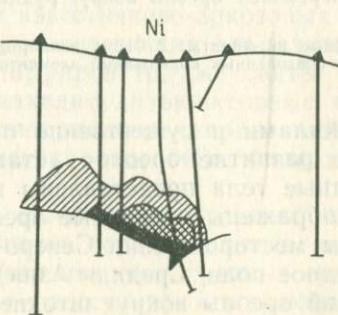
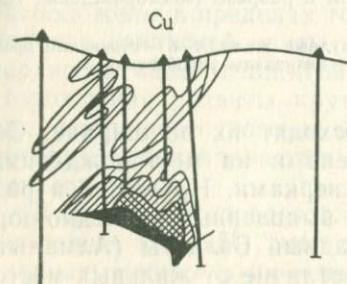
3

4

5

6

7



8

9

10

11

12

Рис. 6. Первичные ореолы элементов-индикаторов (Николаевское скарново-полиметаллическое месторождение):

1 — кварцевые порфирь; 2 — габбродиориты; 3 — туфы и туфобрекции кварцевых порфиров; 4 — туффины; 5 — известняки; 6 — алевролиты и песчаники; 7 — кремнистые породы; 8—10 — первичные ореолы (10 — поля максимальных содержаний); 11 — дайки; 12 — рудные тела

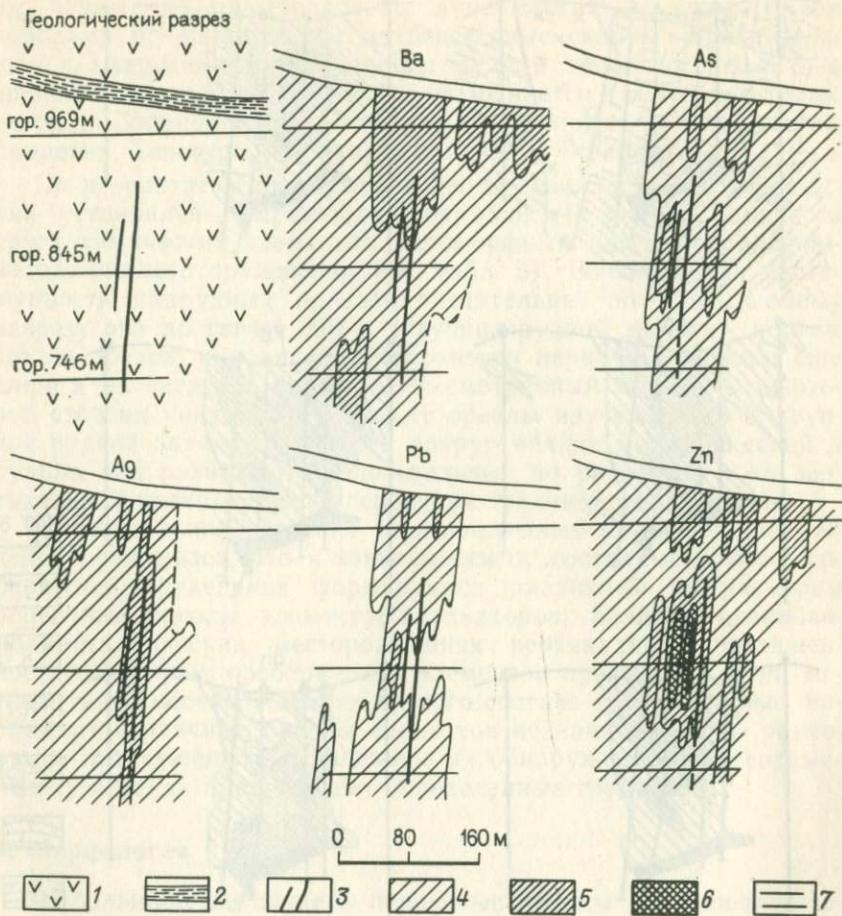


Рис. 7. Первичные ореолы вокруг рудных жил в разрезе (месторождение Кафан):

1 — кварцевые порфиры; 2 — зона разлома; 3 — рудные жилы; 4—6 — первичные ореолы (5, 6 — повышенных содержаний элементов); 7 — интервалы опробования

ными жилами и существенно превосходят их по ширине. Согласное развитие ореолов установлено и на месторождениях, где рудные тела представлены штокверками. На рис. 8 в разрезе изображены первичные ореолы, выявленные на медно-порфировом месторождении Северо-Западный Балакты (Алмалыкское рудное поле, Средняя Азия). В отличие от жильных месторождений ореолы вокруг штокверковых тел более изометричны.

Ореолы полого залегания. Как правило, они развиваются согласно вокруг рудных тел полого залегания. Типичным примером служат первичные ореолы вокруг рудных тел скарново-полиметаллического месторождения Тутлы 1 (Курусайское руд-

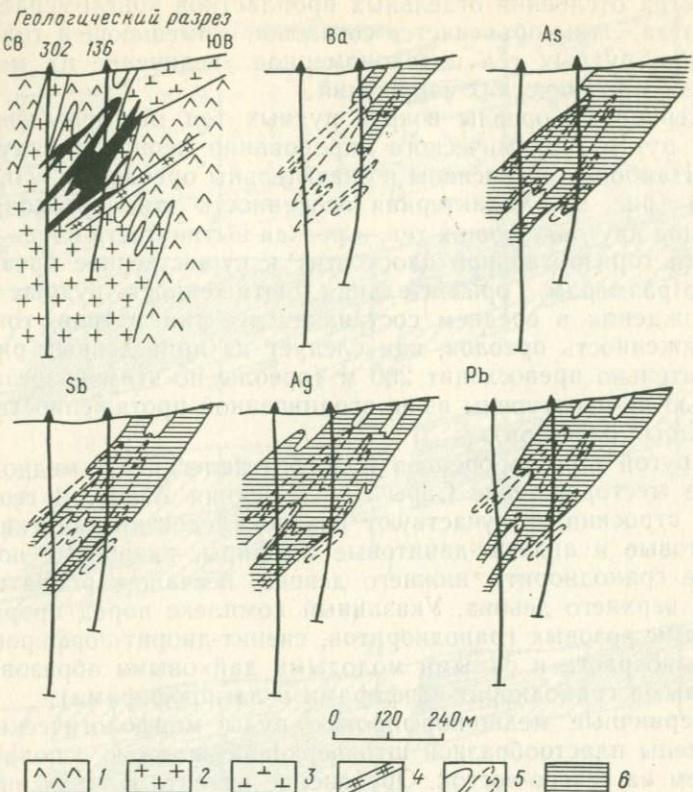


Рис. 8. Первичные ореолы вокруг рудных тел (месторождение Северо-Западный Балакты):

1 — диориты; 2 — гранодиорит-порфиры; 3 — кварцевые порфиры; 4 — зоны дробления;
5 — рудные тела; 6 — первичные ореолы

ное поле, Средняя Азия). Рудные тела этого месторождения расположены в пределах толщи известняково-аркозовых конгломератов акчинской свиты (C_2-3), залегающих на размытой поверхности андезит-дацитовых порфиров той же свиты. На месторождении развиты крутопадающие дизъюнктивные нарушения северо-восточного и меридионального направлений, вдоль которых устанавливаются смещения отдельных блоков толщи конгломератов.

Рудные тела представляют собой линзообразные пологозалегающие ($10-15^\circ$), местами почти горизонтальные залежи в скарнах; мощность их — несколько метров. Основные скарновые минералы — гранат (андрадит — гроссуляр) и пироксен (мангангеденбергит). Полиметаллическое оруденение преимущественно развивается в пироксеновых скарнах и представлено галенитом, сфалеритом, пиритом, блеклыми рудами и халькопиритом. Оруденение локализовано в наиболее ослабленных зонах —

в местах отслоения отдельных пропластков конгломератов друг от друга. Этим объясняется согласное с вмещающей толщей залегание рудных тел и закономерное увеличение их мощности вблизи тектонических нарушений.

Первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения изучены путем геохимического опробования керна по ряду разрезов. Наиболее интенсивны и значительны ореолы Pb, Zn, Ag, As и Sb (рис. 9). Характерная особенность этих ореолов, как и ореолов крутопадающих тел,— резкая вытянутость вдоль рудных тел (в горизонтальной плоскости) и существенное превышение их по размерам. Горизонтальная протяженность рудных тел месторождения в среднем составляет десятки метров, тогда как протяженность ореолов, как следует из приведенных рисунков, значительно превосходит 200 м (ореолы по этим разрезам полностью не оконтурены из-за ограниченной протяженности исследованных разрезов).

Другой пример ореолов пологого залегания — медно-порфировое месторождение Сарычеку (Средняя Азия). В геологическом строении его участвуют позднекаледонские аляскиты, андезитовые и андезит-дацитовые порфиры, кварцевые порфиры, серые гранодиориты нижнего девона, песчано-карбонатные породы верхнего девона. Указанный комплекс пород прорван инрузиями розовых гранодиоритов, сиенит-диорит-порфиров пермского возраста и самыми молодыми дайковыми образованиями (черными гранодиорит-порфирами и лампрофирами).

Первичные медно-порфировые руды морфологически представлены пластообразной штокверковой залежью с пологим падением на северо-восток. Оруденение развито в зонах интенсивной трещиноватости в кварцевых порфирах и в розовых гранодиоритах. Минеральный состав рудных тел сравнительно прост: вместе с халькопиритом и молибденитом присутствуют пирит, галенит, сфалерит, барит, флюорит, кварц, редко встречаются аргентит и висмутин. На месторождении выявлены широкие и вытянутые вдоль рудных залежей ореолы ряда элементов-индикаторов (рис. 10). И в этом случае особенности строения рудных тел нашли отражение в морфологии ореолов. В отличие от месторождения Тутлы I, на месторождении Сарычеку ореолы, как и рудные тела, более изометричны.

Несогласные ореолы. Исследования показывают, что согласное с рудными телами развитие первичных ореолов — наиболее распространенный, но не единственно возможный случай, так как иногда вокруг рудных тел полого залегания развиваются первичные ореолы кругового падения. Подобные ореолы, в частности, установлены на скарново-полиметаллическом месторождении Николаевское (см. рис. 6). Несмотря на пологое залегание рудных тел, первичные ореолы этого месторождения резко отличаются от ореолов месторождений Тутлы I и Сарычеку прежде всего размерами в плане (в плоскости рудной залежи): они невелики и несущественно превосходят рудную залежь. Друг-

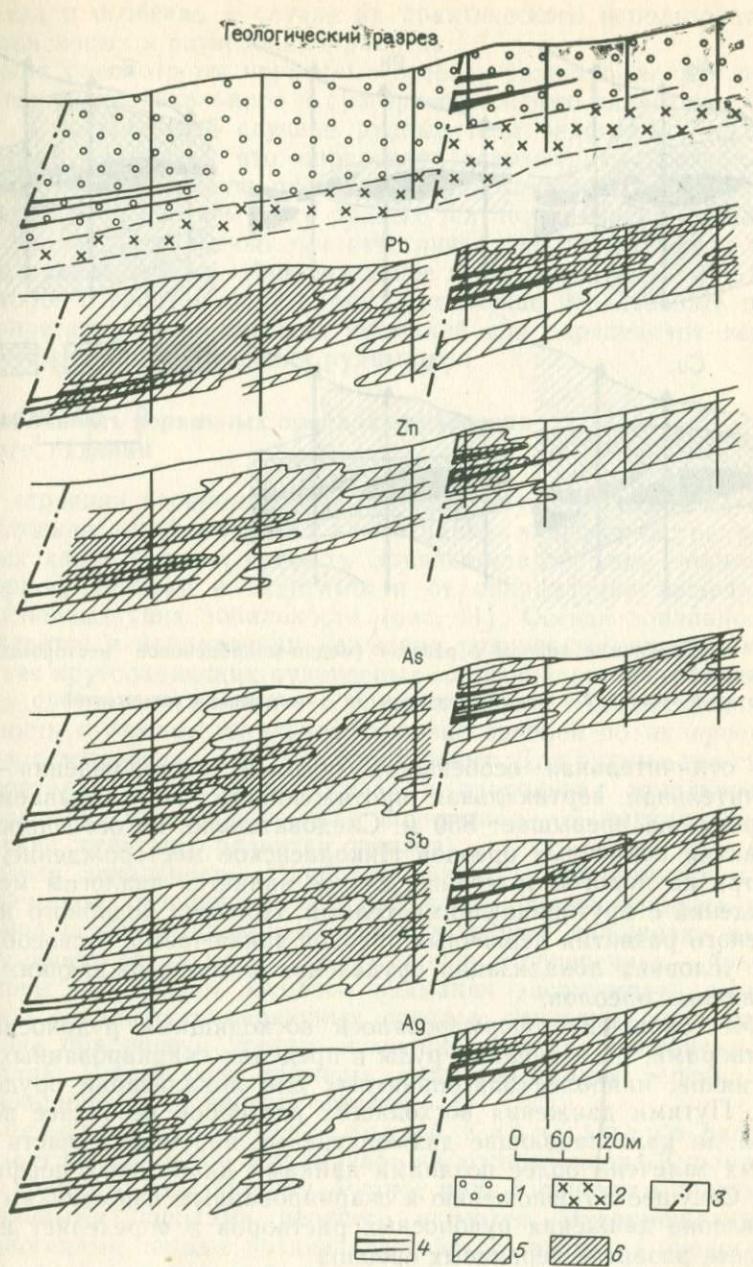


Рис. 9. Первичные ореолы в разрезе (скарново-полиметаллическое месторождение Тутлы 1):

1 — андезит-дацитовые порфиры; 2 — известково-аркозовые конгломераты; 3 — дислокации; 4 — рудные тела; 5, 6 — первичные ореолы (6 — повышенных содержаний)

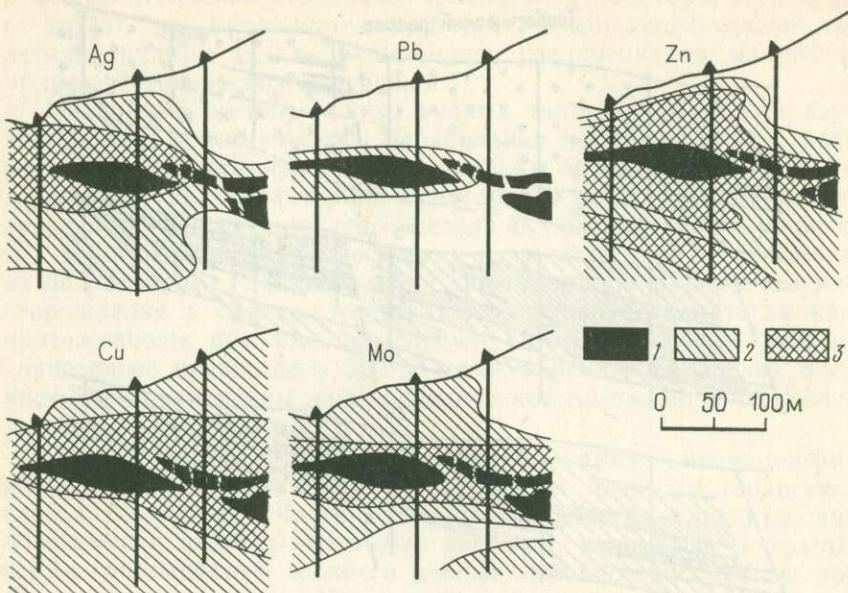


Рис. 10. Первичные ореолы в разрезе (медно-молибденовое месторождение Сарычеку):

1 — рудные тела; 2, 3 — первичные ореолы (3 — повышенных содержаний)

гая отличительная особенность ореолов месторождения — их значительная вертикальная протяженность: по описываемому разрезу она превышает 850 м. Следовательно, по особенностям развития первичных ореолов Николаевское месторождение, несмотря на пологое залегание, скорее является аналогом месторождений с крутопадающими телами. Причина подобного несогласного развития первичных ореолов заключается в своеобразных условиях локализации оруденения и сопровождающих его первичных ореолов.

Месторождение формировалось восходящими рудоносными растворами, отлагающими руды в пределах скарнированных известняков, наиболее благоприятных для локализации оруденения. Путями движения восходящих растворов вероятнее всего служили крутопадающие дизъюнктивные нарушения, часть которых залечена более поздними дайками диабазовых порфиритов. Секущее по отношению к скарнированным известнякам направление движения рудоносных растворов и определяет несогласное развитие первичных ореолов.

Эти данные показывают, что как размещение рудных тел, так и особенности развития вокруг них первичных геохимических ореолов определяются, в первую очередь, геолого-структурными условиями локализации эндогенного оруденения. Данное обстоятельство должно быть учтено как при изучении первичных орео-

лов, так и особенно в случае их практического использования при поисковых и разведочных работах.

Были рассмотрены первичные ореолы, развитые вокруг рудных тел субвертикального и субгоризонтального залегания. Однако в большинстве случаев рудные тела эндогенных месторождений наклонны, что определяет асимметрию в строении ореолов, обусловленную развитием более широких и интенсивных ореолов в висячем боку рудных тел по сравнению с лежачим. Асимметрия обычно тем отчетливее, чем больше угол наклона рудной залежи. Избирательное накопление элементов-индикаторов в висячем боку рудных тел можно использовать при интерпретации геохимических аномалий для определения вероятного направления падения рудных тел.

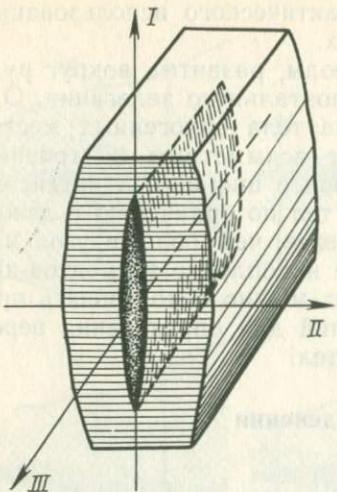
5. Зональность первичных ореолов оруденения крутого падения

В строении первичных ореолов существует зональность, обусловленная закономерными изменениями в пространстве различных характеристик ореолов. Зональность ореолов — понятие векторное, поэтому в зависимости от направления выделяют три основных типа зональности (рис. 11). Осевая зональность проявляется в направлении движения рудоносных растворов и в случае крутопадающих рудоносных зон совпадает с вертикальной, а субгоризонтальных — с горизонтальной. Продольная зональность отражает зональное строение ореолов по их простирации, а поперечная — вкрест простирации. Для рудных тел субгоризонтального залегания осевая и продольная зональности совпадают с горизонтальной, а поперечная — с вертикальной (в случае согласного развития ореолов).

Осевая зональность. Наиболее важная в теоретическом и практическом отношениях. Во избежание многочисленных повторений осевая зональность при дальнейшем изложении имеется просто зональностью, а продольная и поперечная — будут отмечены специально. Особого внимания заслуживает вертикальная зональность первичных ореолов, имеющая решающее значение при оценке уровня эрозионного среза геохимических аномалий. Рассмотрим примеры, иллюстрирующие вертикальную зональность первичных ореолов.

Месторождение Восточный Канимансур расположено в Центральном Карамазаре на южном склоне Кураминского хребта (Таджикистан). Рудное поле в основном сложено эффузивными породами верхнего палеозоя. Рудовмещающие вулканогенные породы позднепалеозойского возраста представлены туфолавами и туфобрекчиями кварцевых порфиров, флюидальными фельзит-порфирами, андезитовыми порfirитами и кварцевыми порфирами. Эти породы прорваны большим числом даек фельзит-порфиров, кварцевых порфиров и диабазовых порfirитов.

Рис. 11. Направление осевой (I), поперечной (II) и продольной (III) зональностей первичных ореолов



В структурном отношении месторождение приурочено к юго-восточному крылу Тавакской антиклинали, осложненной серией разломов северо-восточного и широтного простирания с падением на юго-юго-восток под углом 70—90°. Разломы представлены мощными зонами дробленых и гидротермально измененных пород местами с кварцем, баритом, флюоритом и сульфидами. Многочисленные трещины оперения наряду с основными разломами контролируют размещение рудных тел. Рудные тела тяготеют к Главному разлому, разлому Южная ветвь, а также к оперяющим их трещинам и имеют линзообразные формы с многочисленными апофизами.

Минеральный состав медно-висмутовых руд следующий: халькопирит, пирит, висмутин, козалит, айкинит, в меньших количествах присутствуют арсенопирит, блеклая руда, сфалерит, галенит, сульфосоли серебра; жильные минералы представлены кварцем и флюоритом. Основные минералы руд — галенит (иногда с серебром), сфалерит, пирит, арсенопирит, халькопирит, блеклая руда, стефанит, а из жильных — кварц, барит, флюорит.

Как показали результаты обработки данных опробования, вокруг рудных тел развиты ореолы большого числа химических элементов. На рис. 12 приведены первичные ореолы вокруг Главной зоны. В этой зоне рудные тела (группа сближенных рудных тел) залегают близко к поверхности; на глубине появляется медно-висмутовое оруденение.

Ширина первичных ореолов большинства элементов-индикаторов намного превосходит ширину рудных тел. О вертикальной протяженности ореолов судить трудно, поскольку из-за неглубокого залегания рудных тел выяснены особенности распределения элементов-индикаторов только на уровне рудных тел. Тем не менее, в строении первичных ореолов проявлена отчетливая

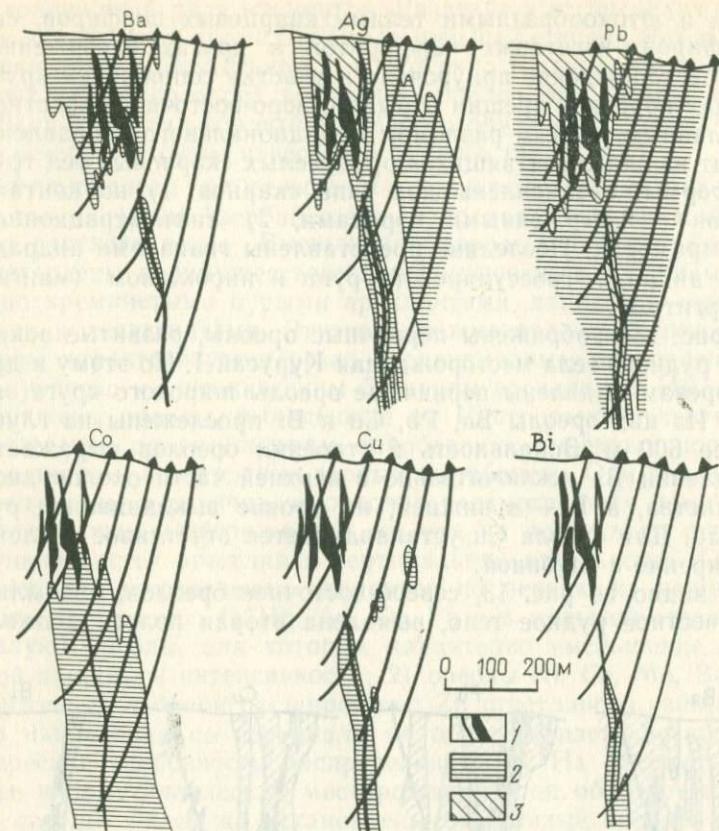


Рис. 12. Первичные ореолы в разрезе (полиметаллическое месторождение Восточный Канимансур):

1 — рудные тела; 2, 3 — первичные ореолы (3 — повышенных концентраций)

вертикальная зональность. Такие элементы, как Ba, Ag и частично Pb, образуют весьма широкие и контрастные ореолы только в верхних частях разреза — на уровне рудных тел и выше. Вниз по падению рудных тел ореолы этих элементов резко сужаются. Наиболее характерно выклинивание для ореолов Ba и Ag. В отличие от них ореолы Cu, Bi, Co, Mo, Sn и W развиты практически только в нижней части разреза.

Лучше всего вертикальную зональность в распределении элементов отражают пары: Ba—Ag и Co—W. Ореолы этих элементов как бы представляют собой зеркальное отражение друг друга.

Скарново-полиметаллическое месторождение Курусай расположено на северо-западном окончании Курусайской гряды (Таджикистан). Вмещающими породами служат мраморы турнейского яруса, прорванные небольшими

дайками и штокообразными телами кварцевых порфиров, сиенит-порфиров, авгитовых порфириотов и других изверженных пород. Месторождение приурочено к участку сопряжения круто-падающих коротких трещин отрыва северо-восточного простирания с Главным рудным разломом меридионального направления и состоит из сложноветвящихся оруденелых скарновых тел трубчатой формы. Установлены два типа скарнов: 1) на контакте мраморов с изверженными породами, 2) инфильтрационного типа в мраморах. Последние представлены гранатами андрадитовой и андрадит-гроссуляровой групп и пироксеном (манган-геденбергитом).

На рис. 13 изображены первичные ореолы, развитые вокруг слепого рудного тела месторождения Курусай-1. По этому и другим разрезам выявлены первичные ореолы широкого круга элементов. Из них ореолы Ba, Pb, Cu и Bi прослежены на глубину более 600 м. Зональность в строении ореолов выражается в накоплении Ba исключительно в верхней части окорудного пространства, а Bi — в нижней, на уровне выклинивания рудного тела. Для ореола Cu устанавливается отчетливое усиление и расширение с глубиной.

Как видно из рис. 13, северо-восточнее ореолов, окаймляющих известное рудное тело, выявлена вторая полоса аномаль-

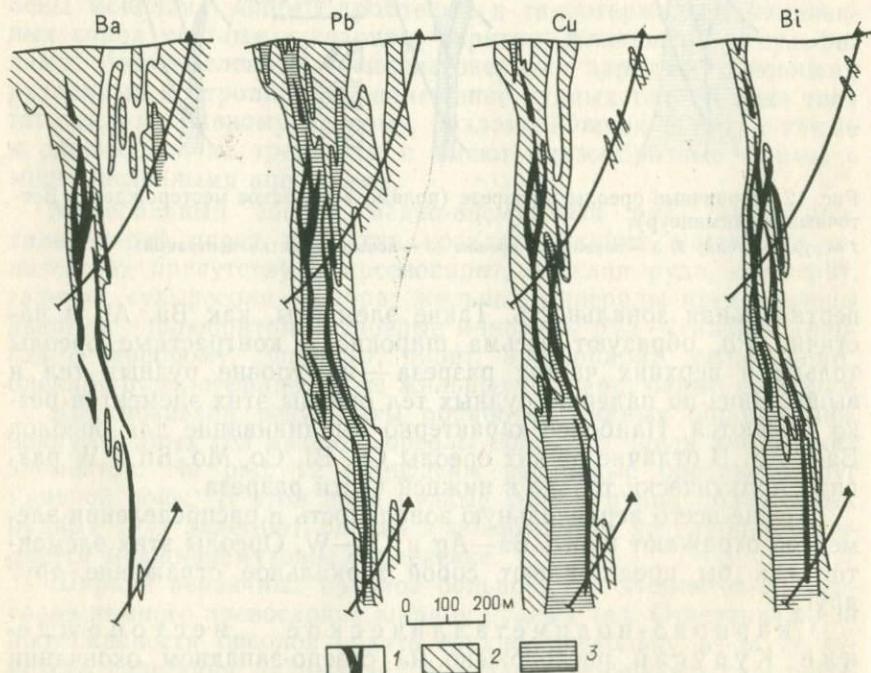


Рис. 13. Первичные ореолы в разрезе (месторождение Курусай):
1 — рудные тела; 2, 3 — первичные ореолы (3 — повышенных содержаний элементов)

ных содержаний ряда элементов. Развитие в ее пределах широкой и интенсивной аномалии Ва (в меньшей степени Pb) и практически полное отсутствие Cu и особенно Bi (индикаторов подрудных частей ореолов) позволяют считать эти аномалии надрудными ореолами вероятного слепого оруденения, расположенного северо-восточнее известного рудного тела.

Агята́гское ртутное месторождение находится в восточной части Азербайджана, в пределах Севано-Карабахского ртутного пояса. Вмещающие породы на месторождении представлены преимущественно тектоническими брекчиями, частично кремнистыми бурыми аргиллитами, дакитами, серпентинитами и лиственитами. Ртутное прожилково-вкрапленное оруденение характеризуется резко неравномерным распределением и приурочено к тектоническим брекциям аргиллитов. На рис. 14 изображены ореолы, выявленные на Центральном участке месторождения по результатам опробования коренных пород на поверхности и в подземных горных выработках. Они весьма слабоконтрастны в отличие от ореолов рассмотренных нами полиметаллических месторождений, но тем не менее в их строении устанавливается отчетливая вертикальная зональность. По особенностям распределения элементов по вертикали можно выделить две группы: 1) Hg, As, Cu, Pb и в меньшей степени Sn образуют ореолы, для которых характерно уменьшение с глубиной ширины и интенсивности; 2) ореолы Ni, Co, Mo, Be и W, напротив, с глубиной расширяются; Zn отчетливого избирательного накопления по вертикали не обнаруживает. Установлена интересная особенность распределения Ba. На рассмотренных ранее полиметаллических месторождениях он образует надрудные ореолы. Здесь же установлены отчетливые ореолы выноса (на рис. 14 штриховкой показаны фоновые содержания этого элемента). Подобное двойственное поведение Ba (вынос из нижних горизонтов и привнос в надрудные части ореолов) характерно и для ряда других месторождений. Этот вопрос более подробно будет еще рассмотрен нами.

Методы изучения зональности. Графический способ изображения зональности первичных ореолов дает только качественное представление о зональном распределении элементов-индикаторов в околосрудном пространстве. Существует ряд способов количественной оценки зональности ореолов, применяемых при изучении первичных ореолов и интерпретации геохимических аномалий.

А. Д. Каблуков и Г. И. Вертепов [17] предложили использовать в качестве оценки вертикальной зональности ореолов величину отношения среднеаномальных содержаний пар элементов. Для урановых месторождений рекомендовано Pb-U отношение, которое закономерно уменьшается с глубиной, что обусловлено сдвигом ореолов Pb вверх по отношению к ореолам основного компонента руд — U.

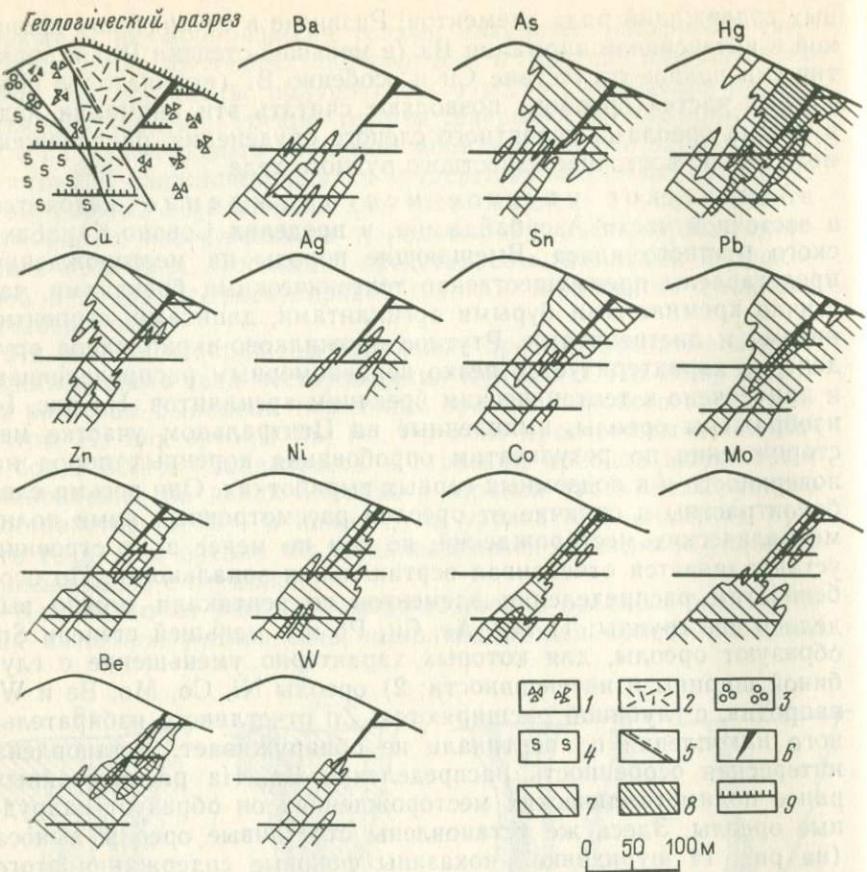
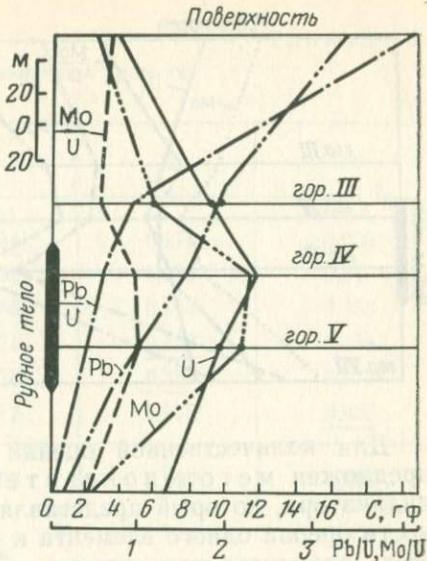


Рис. 14. Первичные ореолы в разрезе:

1 — брекчии; 2 — дайки; 3 — известняки; 4 — габброидные породы; 5 — дислокационные нарушения; 6 — рудное тело; 7, 8 — первичные ореолы (8 — поля повышенной интенсивности); 9 — интервалы опробования

На рис. 15 приведены графики изменения с глубиной параметров первичных ореолов слепого уранового оруденения в фельзитах. На них видно, что Pb-U отношение монотонно убывает с глубиной, при этом отчетливо дифференцируются различные уровни первичных ореолов. По величине этого отношения надрудные ореолы отличаются от подрудных в десятки раз. Очевидно, используя описанную вертикальную зональность и ее оценку — величину индикаторного отношения, можно решать одну из сложнейших задач интерпретации геохимических аномалий при поисках слепого оруденения — задачу отличия перспективных на слепое оруденение надрудных ореолов от ореолов, развитых на уровне корневых частей оруденения и ниже, которые относятся к бесперспективным и должны быть исключены.

Рис. 15. Графики изменения с глубиной средних содержаний элементов-индикаторов и их отношений



чены из сферы последующих детальных поисковых и разведочных работ.

В последующем Н. Н. Сочеванов [17] предложил использовать в качестве оценки вертикальной зональности парные отношения не средних содержаний элементов, а продуктивностей их ореолов (этот параметр в практику геохимических исследований впервые ввел А. П. Соловов), что позволяет выявить более контрастную, а следовательно, и более надежную для практического применения зональность. Анализ графиков $Pb-U$ отношений на рис. 15 и 16 показывает, что отношение средних содержаний с глубиной меняется в 40 раз, а отношение продуктивностей ореолов — в 150 раз, т. е. по сравнению с отношениями средних содержаний существенно усиливается контрастность зональности ореолов при использовании отношений продуктивности. Следует, однако, отметить, что когда размеры ореолов не установлены (профили опробования не вышли за пределы ореолов), приходится пользоваться отношениями средних содержаний химических элементов, рассчитанных по опробованным сечениям.

В связи с тем, что первичные ореолы многокомпонентны, возникает задача выбора наиболее эффективных пар элементов-индикаторов зональности. Как показали исследования, различные пары позволяют выявить зональность различной контрастности. Лучшими будут индикаторные отношения с максимальными значениями градиента по вертикали. Например, контрастность изменения с глубиной отношения пары $Pb-U$ больше по сравнению с парой $Mo-U$ (см. рис. 15 и 16).

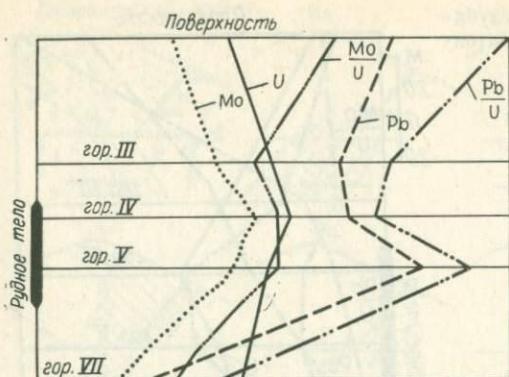


Рис. 16. Графики изменения с глубиной линейных продуктивностей первичных ореолов и их отношений

Для количественной оценки зональности ореолов автором предложен метод показателя зональности элемента-индикатора, который представляет собой отношение продуктивности ореола одного элемента к сумме продуктивностей ореолов всех элементов-индикаторов данного типа оруденения. При расчете продуктивностей ореолов среднеаномальные содержания элементов нормируются через их среднефоновые содержания. Размерность линейной продуктивности тогда будет представлена метрогоефоном (мгф). Для иллюстрации методики расчета показателя зональности рассмотрим пример: по профилю выявлен ореол Pb шириной в 50 м со среднеаномальным его содержанием 0,03 %. Фоновое (среднее) содержание этого элемента во вмещающих породах 0,003 %. Линейная продуктивность ореола будет равна 1,5 м.-% ($50 \cdot 0,03$), а нормированное ее значение — 500 мгф ($50 \cdot 0,03 / 0,003$). Когда чувствительность анализа на данный элемент недостаточна, при нормировании следует пользоваться «условным» фоном, за который обычно принимается половина порога чувствительности анализа (как и в случае построения суммарных ореолов).

Иногда в целях упрощения расчетов нормирование ведется не по среднефоновому значению, а по ближайшему к нему порядку. Для Pb, например, не по 0,003, а по 0,001 %. Опыт показывает, что несмотря на определенную некорректность подобной методики существенных искажений в конечных результатах не наблюдается.

В качестве примера в табл. 6 приведены нормированные значения линейных продуктивностей ореолов и величины показателя зональности элементов-индикаторов, рассчитанные по одному из разрезов через скарново-полиметаллическое месторождение Акташ (Средняя Азия). Нетрудно убедиться, что показатель зональности количественно отражает относительное накопление элемента на каждом из горизонтов конкретного разреза. Максимальное относительное накопление As и Sb наблюдается на первом горизонте (см. табл. 6), Pb — на втором, Cu и Bi —

Таблица 6

Величины показателя зональности на различных уровнях
(I—IV, сверху вниз) ореолов

Элемент	I	II	III	IV
Pb	0,131	<u>0,764</u>	0,171	0,030
As	<u>0,148 *</u>	0,006	0,036	0,040
Sb	<u>0,574</u>	0,056	0,184	0,155
Cu	0,084	0,071	<u>0,158</u>	0,138
Bi	0,061	0,028	<u>0,211</u>	0,177
Mo	0,006	0,072	0,237	<u>0,465</u>
<i>Сумма</i>	0,997	0,997	0,997	1,005

* Подчеркнуты максимальные значения.

на третьем, а Mo — на самом нижнем уровне ореолов. Таким образом, по результатам расчета показателя зональности для рассмотренного примера можно составить следующий ряд элементов (снизу — вверх): Mo—(Bi, Cu)¹—Pb—(As, Sb). В скобках даны элементы, взаимоотношения которых между собой неясны, поскольку максимальные значения их показателя зональности установлены на одних и тех же горизонтах ореолов. Для дальнейшего уточнения положения подобных элементов в ряду зональности можно пользоваться изменчивостью величины показателя зональности по вертикали. Если сравниваются элементы, максимальное накопление которых установлено на крайних уровнях ореолов (верхний или нижний), то для оценки этой изменчивости можно пользоваться формулой

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{D_{\max}}{D_i},$$

где G — показатель изменчивости; D_{\max} — максимальное значение показателя зональности данного элемента; D_i — значение показателя зональности элемента на i -м горизонте; n — число горизонтов (не считая горизонта максимального накопления).

Для As и Sb получим:

$$G_{\text{As}} = \frac{0,148}{0,006} + \frac{0,148}{0,036} + \frac{0,148}{0,04} = 24,7 + 4,14 + 3,7 = 32,54;$$

$$G_{\text{Sb}} = \frac{0,574}{0,056} + \frac{0,574}{0,184} + \frac{0,174}{0,139} = 10,2 + 3,1 + 4,1 = 17,4.$$

Итак, $G_{\text{As}} > G_{\text{Sb}}$, что позволяет в ряду зональности Sb расположить перед As. В случае, когда максимальные значения по-

казателя зональности элементов установлены на крайнем нижнем горизонте, в ряду зональности элементы будут расположены по возрастанию градиента.

Если максимальное относительное накопление нескольких элементов наблюдается на уровне средних горизонтов, то можно пользоваться разностью градиентов $G_1 - G_2$ (G_1 и G_2 — градиент соответственно по направлению вверх и вниз от уровня горизонта максимального накопления элемента). Последовательность этих элементов в ряду зональности будет определяться указанной разностью градиентов: чем больше величина разности, тем правее место элемента в ряду зональности, и наоборот.

Для примера рассмотрим взаимоотношение Cu и Bi, максимальное накопление которых установлено на уровне 11-го горизонта.

Для Cu:

$$G_1 = \frac{0,158}{0,071} + \frac{0,158}{0,084} = 2,23 + 1,88 = 4,11;$$

$$G_2 = \frac{0,158}{0,156} = 1,01; \quad G_1 - G_2 = 4,11 - 1,01 \cong 3,1$$

Для Bi:

$$G_1 = \frac{0,211}{0,027} + \frac{0,211}{0,061} = 7,54 + 3,46 = 11,0;$$

$$G_2 = \frac{0,211}{0,177} = 1,19; \quad G_1 - G_2 = 11 - 1,19 = 9,81.$$

Разность градиентов показателя зональности Bi больше, что позволяет в ряду зональности расположить его левее Cu. Таким образом, для рассмотренного примера получаем следующий ряд элементов-индикаторов зональности ореолов: Mo—Bi—Cu—Pb—Sb—As. Правильность вычислений при расчете показателя зональности может быть проверена суммой значений по каждому сечению, которая должна быть равна 1. Как следует из табл. 6, эта сумма отличается от 1 только в третьем знаке (за счет округлений).

По сравнению с методом составления ряда зональности по величине коэффициента контрастности (отношение продуктивностей пар элементов) метод показателя зональности более точен. Благодаря суммированию продуктивностей ореолов широкого круга элементов уменьшается влияние случайных ошибок определения исходных данных.

Как уже отмечалось, ряды зонального отложения элементов в первичных ореолах имеют большое практическое значение. На их основе определяют наиболее важные в практическом отношении элементы-индикаторы зональности ореолов, используемые для оценки уровня среза геохимических аномалий. В общем случае такими будут элементы, максимально удаленные друг

от друга в рядах зональности, поскольку отношения параметров ореолов подобных пар элементов характеризуются значительным градиентом по вертикали, а следовательно, и высокой надежностью их практического применения.

Ряды зонального отложения элементов. Для сравнительной характеристики зональности ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений в табл. 7 приведены ряды элементов-индикаторов осевой зональности, составленные по рассмотренной ранее методике. В этих рядах слева направо подрудные элементы сменяются надрудными для ореолов рудных тел крутого падения, и элементы-индикаторы корневых частей ореолов индикаторами головных частей в случае пологого залегания.

Сравнение данных в табл. 7 позволяет выявить практически полную идентичность рядов зональности месторождений одной и близких по составу рудных формаций (ртутные, полиметаллические и др.). Это обстоятельство имеет большое практическое значение, поскольку при интерпретации геохимических аномалий можно использовать единые индикаторные отношения.

Данные табл. 7 дают возможность установить удивительное сходство в рядах зональности ореолов не только однотипных, но и различных по составу и условиям формирования месторождений. В результате можно составить единый ряд зонального отложения основных элементов-индикаторов исследованных месторождений. Тем не менее, полученные ряды не являются абсолютно идентичными: для отдельных элементов наблюдаются определенные отклонения. Выяснена следующая вероятность нахождения каждого элемента в соответствующей ячейке ряда, рассчитанная на основе использования частных рядов, составленных по результатам изучения первичных геохимических ореолов многих месторождений (цифры — вероятность в %): W(72)—Be(60)—Sn(66)—U(100)—Mo(48)—Co(55)—Ni(50)—Bi(72)—Cu(86)—Au(84)—Zn(87)—Pb—Te—Ag(80)---Cd(84)—As—Sb—Hg—Ba.

Как видно, некоторые элементы имеют сравнительно низкую вероятность, обусловленную их перемещением в рядах отдельных месторождений. Однако подобные перемещения несущественны: в большинстве случаев на одну и крайне редко на две и более ячейки. Низкая вероятность в основном у элементов-примесей, образующих на большинстве исследованных месторождений незначительные по размерам и интенсивности ореолы (Ni, Co, Mo и др.). Это позволяет считать, что низкая вероятность в определенной степени есть следствие влияния флюктуации фоновых содержаний данных элементов, которое усиливается при их перераспределении, относительно невысокой точности анализа и других причинах, поскольку слабоконтрастные ореолы более чувствительны к влиянию помех.

Обращает на себя внимание «необычное» расположение Си в рядах зональности ореолов стратиформных месторождений:

Таблица 7

Основные элементы-индикаторы различных типов месторождений

Тип месторождений	Ряды зонального отложения элементов-индикаторов
Апатитовые (Хибины)	(Cu, Cr)*, (Ni, Pb, Zn, Co), Sn, (Sc, V, Ti, Mo), (Nb, Zr), P, (Ca, Mn), (Sr, Yb), (La, Y), Ba
Медно-никелевые: Кольского полуострова Норильского района	Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Ba Co, Ni, Cu, (Ag, Mo), Ba, Pb, (Ti, Sn, Zr)
Редкометальные пегматиты	W, Nb, Ta, Sn, Cs, Rb, Li, As
Гидротермальные	
1. Вольфрамовые: скарново-шеелитовые грейзеновые кварц-форстеритовые кварц-шеелитовые	W, Ba, Sn, (Bi, Mo), Zn, (Pb, Ag) Mo, Be, Sn, Bi, W, (Zn, Pb, Cu) Bi, (Sn, Be), (Co, W, Zn) (W, Mo, Bi), Be, (Sn, Ag)
2. Оловорудные: кассiterит-кварцевые кассiterит-сульфидные	(As, Be, W), B, Sn, Cu, (Zn, Ag, Pb) (W, Mo, Co), (Sn, Cu), (Zn, Ag, Pb)
3. Медно-колчеданные	Mo, Co, As ¹ , Cu, Zn, Pb, Ag, As ² , Ba
4. Полиметаллические: скарновые	(W, Mo), Co, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, (Sb, As), Ba
жильные	Ni, Mo, W, As ¹ , Sn, Co, Cu, Zn, Pb, As ² , Ba, Sb
5. Золоторудные: высокотемпературные среднетемпературные низкотемпературные	(Be, W, Au, As ¹ , Ni, Co), Bi, Mo, Cu, Zn, (Pb, Ag, As ² , Sb) (Co, W, Be), Bi, (Sn, Mo), Cu, Au, Zn, Pb, (Ag, Sb) (W, Bi, Sn), Mo, (Cu, Zn), Pb, Au, Ag, (As, Sb), Ba, Hg
6. Медно-порфировые	(Be, W, Co, Sn), (Mo, Cu), Bi, Au, (Zn, Pb, Ag), Sb, As, Ba
7. Медные (жильные)	Co, Ni, Bi, Cu, (Sn, Ag), Zn, Pb, Ag, Ba
8. Урановые ** (настуран-сульфидной формации)	V, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag
9. Ртутные	
10. Сурьмяно-ртутные	(Sn, W, Ni, Co), (Bi, Mo), Cu, Zn, Pb, Ag, (Hg, As, Sb)
11. Стратиформные свинцово-цинковые	(Ni, Co, W), Mo, Cu ¹ , Zn, Pb, Sn, Ag, Cu ² , (Sb, As), Hg Be, Ni, Bi, Co, Zn, Pb, Ag, Cu, As, Ba

* Взаимоотношения элементов, заключенных в скобки, в ряду не установлены.

** На этих месторождениях изучены ореолы ограниченного круга элементов-индикаторов.

ореол Cu занимает более высокие уровни по сравнению с Pb и Ag (см. табл. 5). Развитие наиболее широких и интенсивных ореолов Cu в надрудной части околосрудного пространства установлено по одному из разрезов через стратиформное свинцово-цинковое месторождение Сумсар (Кыргызстан). Исследования показали, что в рудах и в ореолах этого месторождения Cu в основном содержится в блеклых рудах. На тех месторождениях, где Cu входит в состав халькопирита, в ряду зональности она располагается значительно левее (до Zn, см. табл. 7).

Эти данные свидетельствуют о существовании в первичных ореолах минеральной зональности, обусловленной сменой в пространстве различных минералов-носителей одних и тех же элементов. Именно проявлением минеральной зональности объясняется и своеобразное поведение As на месторождениях Кочбулак и Восточный Канимансур (см. рис. 4 и 12). Интенсивные ореолы этого элемента выявлены как в верхних частях рудной зоны, так и на глубоких горизонтах — на уровне выклинивания рудных тел. Объясняется это появлением на глубине арсенопирита, тогда как на верхних горизонтах As, по-видимому, входит в состав блеклой руды, галенита и сфалерита (содержание As в этих минералах достигает сотых и десятых долей процента). Справедливость данного положения подтверждается результатами изучения ореолов месторождения Сумсар, где отсутствует арсенопирит и широко развита мышьяксодержащая блеклая руда (теннантит). Поэтому интенсивные и широкие ореолы As на месторождении установлены только в верхних (надрудных) частях рудных зон.

Итак, приведенный обобщенный ряд элементов-индикаторов зональности справедлив только для месторождений, где формы нахождения этих элементов постоянны или представлены минералами с одинаковым распределением в пространстве. В тех же случаях, когда существенно развиты минеральные формы, распределение которых в ореолах различно, один и тот же элемент в ряду зональности может занимать различные места (как это было показано для Cu и As).

Очевидно, что не во всех случаях существование в ореолах различных минеральных форм того или иного элемента приведет к значительным перемещениям его в ряду зональности. Последнее вероятно только при условии близких количеств минеральных форм, распределение которых отличается резкой дифференциацией в пространстве. Например, и в рудах, и в ореолах ряда исследованных месторождений наряду с галенитом установлены случаи вхождения Pb и в другие минералы, в частности в различные сульфосоли. Однако содержание этих минералов по сравнению с галенитом оказалось ничтожным и поэтому не было перемещения Pb в ряду зональности. Вот почему при изучении зональности ореолов и составлении на этой основе соответствующих рядов необходим учет не столько качественной, сколько количественной стороны минеральной зональности.

С учетом отмеченной минеральной зональности единый ряд зональности элементов-индикаторов примет следующий вид:
W—Be—As¹—Sn¹—U—Mo—Co—Ni—Bi—Cu¹—Au—Sn²—Zn—Pb—Te—Ag—Cd—Cu²—As²—Sb—Hg—Ba (1, 2 — генерации).

Естественно, что случаи дифференциации элементов в пространстве по формам их нахождения не исчерпываются рассмотренными примерами. Дальнейшие исследования позволят выявить новые особенности минеральной зональности и на этой основе уточнить и расширить обобщенный ряд зональности элементов.

Независимо от геологической обстановки зональность ореолов повторяет зональность самих рудных тел. Примером может служить широко известная смена на полиметаллических месторождениях с глубиной свинцовых руд собственно цинковыми. И в первичных ореолах не только свинцово-цинковых, но и других по составу гидротермальных месторождений с глубиной постоянно уменьшается Pb-Zn отношение. Однако зональность геохимических ореолов по сравнению с рудными телами более универсальна и контрастна. Причина здесь, по-видимому, в том, что оклорудное пространство, более значительное по размерам, характеризуется и более однородным по сравнению с рудными телами строением и соответственно более стандартными условиями минералообразования. Рудные тела же представляют собой своеобразные «аномалии» — участки резкой смены геолого-структурных и физико-химических условий рудоотложения и отличаются ураганно высокими содержаниями рудных компонентов и, что особенно важно, значительной дисперсией как концентраций рудных компонентов, так и других параметров. Это существенно затрудняет выявление возможной зональности рудных тел. Кроме того, в первичных ореолах, как правило, изучается распределение не только основных компонентов руд, но и элементов-примесей, многие из которых образуют контрастную вертикальную зональность, тогда как зональность руд обычно рассматривается для небольшого числа основных компонентов, как правило, характеризующихся близким распределением в пространстве.

Приведенный обобщенный ряд зонального отложения элементов-индикаторов составлен эмпирически — путем обобщения результатов изучения первичных ореолов большого числа различных по составу и условиям формирования гидротермальных месторождений. Выяснение причин существования единогообразной зональности ореолов исследованных месторождений — чрезвычайно трудная задача, затрагивающая теорию эндогенного рудообразования в целом, многие вопросы которой в настоящее время не решены. Такое положение усугубляется и отсутствие специальных исследований по экспериментальному моделированию процессов формирования первичных ореолов широкого круга химических элементов.

Зональность ореолов — это зональность отложения, обусловленная изменениями внутреннего равновесия рудообразующего раствора. Единая зональность первичных ореолов в определенной степени освещает и роль стадийности в формировании гидротермальных месторождений. Все рассмотренные месторождения многостадийны, но несмотря на это для их ореолов устанавливается единая вертикальная зональность. Вполне вероятно, что существенный разрыв во времени проявления отдельных стадий минерализации отсутствует и что их смена — результат скорее пространственной, чем временной дифференциации единого рудообразующего раствора, поступающего непрерывно. Наблюдающиеся же взаимные пересечения продуктов различных стадий могут быть обусловлены внутрирудными подвижками в различных частях околоврудного пространства.

Следует иметь в виду, что в ряде случаев зональность ореолов нарушается из-за совмещения в пространстве проявлений различных по составу рудных формаций, когда формируются так называемые «полиформационные» ореолы (они будут еще рассмотрены нами).

Зональность суммарных ореолов. В строении суммарных ореолов также может быть установлена отчетливая зональность, если построить частные суммарные ореолы (аддитивные, или мультиплективные), которые в отличие от общих строятся не по всем элементам-индикаторам данного типа оруденения, а только по группам элементов с близким распределением, например для групп над- и подрудных элементов. Эти группы выбираются с учетом особенностей зональности первичных ореолов, в частности на основе рядов элементов-индикаторов зональности. Именно в этом заключается большое методическое значение рассмотренных рядов элементов-индикаторов зональности первичных ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений (см. табл. 7).

В качестве примера проанализируем частные суммарные ореолы одного из золоторудных месторождений. Рудное поле месторождения сложено вулканогенными породами верхнеакчинской подсвиты среднего карбона, представленными излившимися и пирокластическими образованиями, в основном агломератовыми туфами, андезитовыми порфиритами, лавобрекчиями андезитовых порфириотов. Вулканогенные породы прорваны дайками и субвулканическими телами различного состава (дацитовые порфиры, андезитовые, сиенит-диоритовые и диабазовые порфириты). Для руд месторождения характерны пирит, галенит, блеклая руда и халькопирит, сфалерит, самородное золото, серебро, висмут, теллуриды серебра, золота, висмута. Эти минералы формируют неравномерную, гнездообразную и прожилковую вкрапленность. Кварц — основной жильный минерал рудных тел.

На рис. 4 приведены первичные ореолы химических элементов, развитые вокруг выклинивающихся с глубиной, сближен-

ных в пространстве кварц-золоторудных жил крутого падения. Как видно, только ореолы Au и Ag имеют значительные размеры и интенсивность. Ореолы остальных элементов характеризуются минимальной интенсивностью и редко выходят за пределы рудоносной зоны. Отмеченное не относится к Sb и As, небольшие размеры ореолов которых объясняются недостаточной чувствительностью анализа на эти элементы.

В строении ореолов устанавливается вертикальная зональность: ореолы Sb, Pb и Ag характеризуются максимальной шириной и интенсивностью в верхней части разреза и проявляют отчетливо выраженную тенденцию к выклиниванию с глубиной. В отличие от них ореолы W, Co, Ni и ряда других элементов развиты в нижней части разреза, на уровне выклинивания рудных жил.

Как уже отмечалось, ореолы преобладающего большинства элементов, в том числе всех элементов-индикаторов подрудных сечений, небольшие по размерам и чрезвычайно слабоконтрастные. Данное обстоятельство затрудняет использование первичных ореолов парных индикаторных отношений для оценки уровня эрозионного среза: флюктуации этих отношений значительны из-за слабой контрастности моноэлементных ореолов, поскольку последние по сравнению с суммарными более подвержены влиянию различных помех (вариации фона, случайные ошибки анализа и др.). Исследования показали, что суммарные ореолы лишены этого недостатка. Частным аддитивным ореолам свойственна контрастная вертикальная зональность (рис. 17), обус-

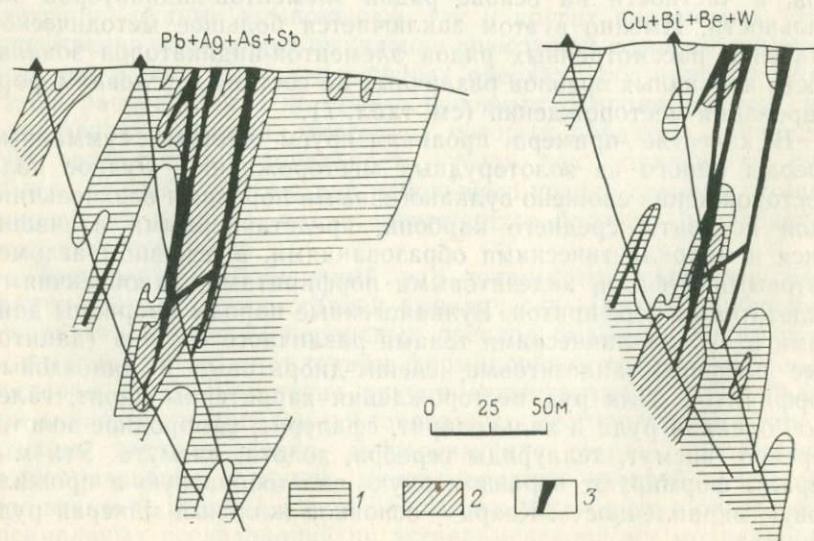


Рис. 17. Частные аддитивные ореолы в разрезе:

1, 2 — аддитивные ореолы (2 — повышенных содержаний); 3 — рудные тела

ловленная противоположным поведением ореолов надрудных (выклинивание с глубиной) и подрудных (резкое расширение с глубиной) элементов. Величина отношения линейных продуктивностей этих ореолов на глубине 130 м уменьшается более чем в 1500 раз. Аналогичная картина получается при построении мультиплекативных ореолов (см. рис. 5).

Контрастная вертикальная зональность в строении суммарных ореолов установлена также на ртутном месторождении Агята. На рис. 18 изображены частные мультиплекативные ореолы, построенные по разрезу через Центральный участок этого месторождения. Здесь же показаны изменения с глубиной отношения линейных продуктивностей частных мультиплекативных ореолов, иллюстрирующие контрастную вертикальную зональ-

Геологический разрез

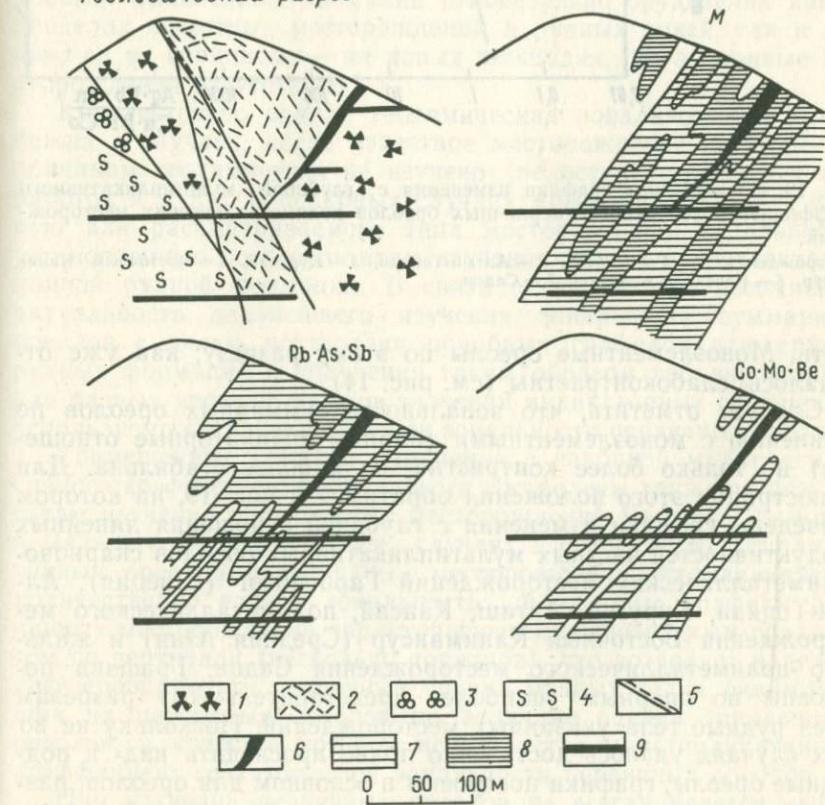


Рис. 18. Общие (М) и частные мультиплекативные ореолы в разрезе (ртутное месторождение Агята):

1 — тектонические брекчи; 2 — дациты; 3 — листвениты; 4 — габброидные породы; 5 — дислокационные нарушения; 6 — рудное тело; 7, 8 — первичные ореолы (8 — повышенных содержаний); 9 — интервалы опробования

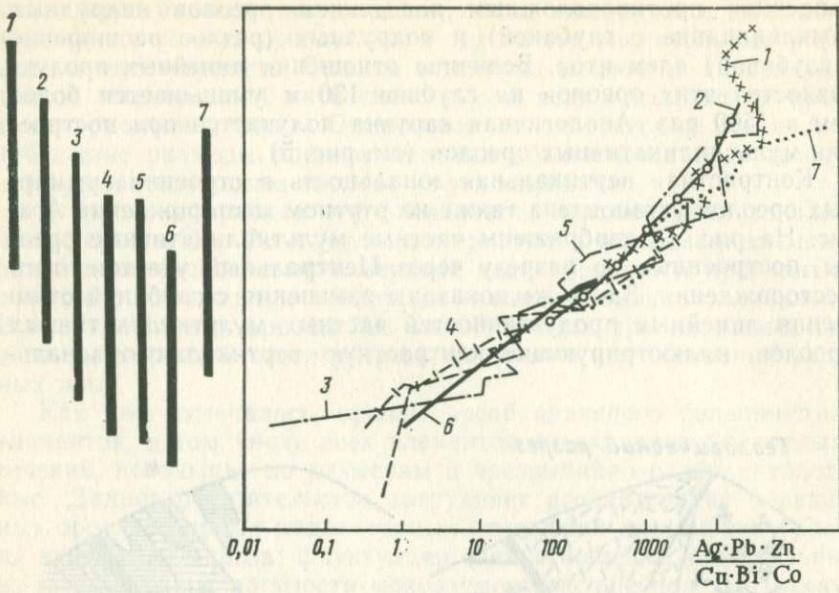


Рис. 19. Совмещенные графики изменения с глубиной мультиплекативного коэффициента зональности первичных ореолов полиметаллических месторождений:
месторождения. 1 — Гарпенберг, 2 — Алтын-Топкан, 3 — Курусай, 4 — Восточный Канимансур, 5 — Кансай, 6 — Акташ, 7 — Садон

ность. Многоэлементные ореолы по этому разрезу, как уже отмечалось, слабоконтрастны (см. рис. 14).

Следует отметить, что зональность суммарных ореолов по сравнению с многоэлементными (парные индикаторные отношения) не только более контрастна, но и более стабильна. Для иллюстрации этого положения обратимся к рис. 19, на котором приведены графики изменения с глубиной отношения линейных продуктивностей частных мультиплекативных ореолов скарново-полиметаллических месторождений Гарпенберг (Швеция), Алтын-Топкан, Курусай, Акташ, Кансай, полиметаллического месторождения Восточный Канимансур (Средняя Азия) и жильного полиметаллического месторождения Садон. Графики построены по опорным (наиболее представительным) разрезам через рудные тела указанных месторождений. Поскольку не во всех случаях удалось достаточно полно проследить над- и подрудные ореолы, графики построены в основном для ореолов, развитых на уровне рудных тел (от верхнерудных сечений к нижнерудным). Как видно из рис. 19, графики всех месторождений тесно совмещены: они практически повторяют друг друга и характеризуются значительным градиентом по вертикали (индикаторное отношение с глубиной меняется в десятки тысяч раз).

Приведенные данные показывают, что в строении суммарных ореолов месторождений одной или близких по составу рудных формаций устанавливается зональность, единая не только качественно (единые ряды зональности), но и количественно, когда адекватные сечения ореолов различных месторождений одной рудной формации характеризуются весьма близкими значениями оценки (коэффициента) зональности ореолов. В данном случае в качестве такой оценки использовано отношение линейных производительностей частных мультиплексивных ореолов. В отличие от этого, парные индикаторные отношения из-за значительных флуктуаций позволяют только относительно оценить уровень эрозионного среза ряда однотипных (по составу) аномалий. Большое практическое значение этой особенности суммарных ореолов станет очевидным, если учесть, что существование количественно единой зональности ореолов позволяет оценить уровень выявленных аномалий относительно оруденения как в пределах известных месторождений и рудных полей, так и далеко за их границами — на новых площадях, где эталонные месторождения отсутствуют.

Количественно единая геохимическая зональность особенно важна в случаях, когда известное месторождение по каким-то причинам геохимически не изучено (недоступность горных выработок и т. д.). В подобных случаях можно использовать единую для рассматриваемого типа месторождений зональность, установленную по результатам изучения других представителей данной рудной формации. В связи с отмеченным несомненная актуальность дальнейшего изучения зональности суммарных ореолов с целью построения подобных графиков для других рудных формаций и получения таким образом табулированных для разных уровней ореолов значений индикаторных отношений, используемых в качестве оценок зональности первичных ореолов.

Совмещенные графики изменения с глубиной мультиплексивного коэффициента зональности составлены также по результатам изучения оловорудных месторождений Якутии, Приморья и Дальнего Востока. Во всех случаях в строении мультиплексивных ореолов оловорудных месторождений устанавливается количественно единая зональность: сближенные графики различных месторождений характеризуются значительным градиентом по вертикали (несколько порядков), что позволяет надежно дифференцировать различные уровни рудных тел и окаймляющих их первичных ореолов по величине оценки зональности ореолов, в качестве которой используется мультиплексивный коэффициент геохимической зональности первичных ореолов.

При изучении первичных ореолов не всегда удается выйти за их пределы (в основном из-за ограниченности размеров подземных горных выработок) и определить действительные размеры ореолов, поэтому для оценки зональности чаще используют не линейные производительности, а среднеаномальные содержания элементов по данному сечению. И при этом, как свиде-

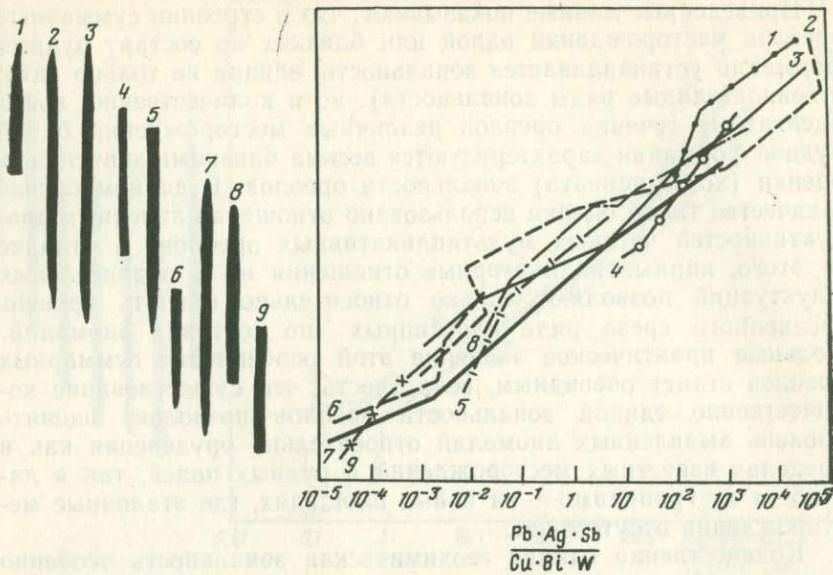


Рис. 20. Совмещенные графики изменения с глубиной величины мультиплактивного коэффициента зональности первичных ореолов оловорудных месторождений Дальнего Востока (по А. Ф. Миронюку):

месторождения: 1 — Южное, 2 — Смирновское, 3 — Зимнее, 4 — Верное, 5 — Ветвистое, 6 — Ивановское, 7 — Дальнетаежное, 8 — Трудное, 9 — Обычное

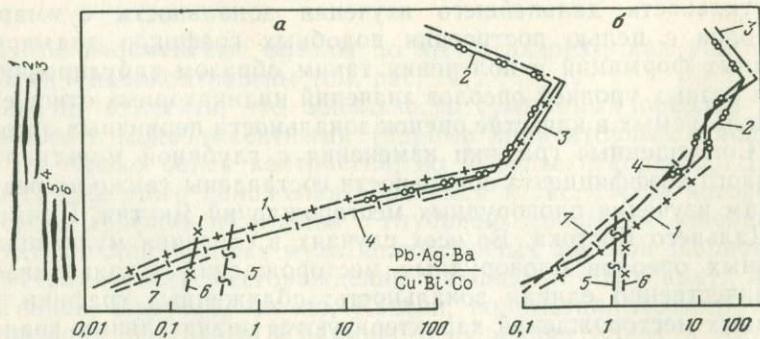


Рис. 21. Совмещенные графики изменения с глубиной линейных продуктивностей частных и мультиплактивных (а) и аддитивных (б) ореолов ряда полиметаллических месторождений Центрального Карагазара (Таджикистан):
месторождения: 1 — Канимансур, 2 — Северо-Западное, 3 — Ямансай, 4 — Тарыекан, 5 — Каптархона, 6 — Кызылташ, 7 — Операющее

тельствует опыт, удается выявить весьма контрастную зональность (рис. 20).

Сравнение частных аддитивных и мультиплактивных ореолов, построенных по одним и тем же разрезам, показывает, что зональность последних существенно более контрастна, в связи

с чем предпочтение должно быть отдано мультиплекативному методу (рис. 21). Отметим также, что для графиков аддитивных ореолов характерен больший разброс, что снижает надежность их практического использования при оценке уровня эрозионного среза геохимических аномалий.

Поперечная зональность первичных ореолов. Отражает различия в ширине ореолов элементов вкрест простирации рудных тел и окаймляющих их ореолов. Эта зональность определяется концентрацией элементов в рудных телах и ореолах, подвижностью элементов, а также величинами их фоновых содержаний во вмещающих породах. В табл. 8 приведены ряды поперечной зональности первичных ореолов различных по составу месторождений. Элементы расположены в порядке убывания линейных продуктивностей их ореолов, развитых на уровне верхних частей рудных тел и выше. При расчете продуктивностей использовали среднеаномальные содержания элементов в единицах геохимического фона. В отличие от вертикальной (осевой) зональности, единообразной для различных по составу месторождений, поперечная зональность в силу отмеченной зависимости от состава руд специфична для каждого месторождения. Первыми в рядах, как правило, располагаются элементы, которые являются основными промышленно-ценными компонентами руд.

Зависимость ширины ореолов от концентрации элементов в рудах позволяет использовать поперечную зональность в качестве критерия определения вероятного состава предполагаемого слепого оруденения по поперечной зональности надрудных ореолов. Очевидно, что на известном месторождении эта задача возникает только в тех случаях (довольно редких), когда появля-

Таблица 8

Поперечная зональность первичных ореолов

Месторождения	Ряды поперечной зональности
Свинцово-цинковые в скарнах	Zn, Pb, As, Ag, Cu, Sb
Жильные свинцово-цинковые	Pb, Zn, Ag, Cu, As, Co
Шеелитовые в скарнах	W, Mo, Cu, Ba, Zn, Pb
Кварц-золоторудные	Au, As, Bi, Ag, Pb, Sb, Cu, Be, Mo, Co, Zn
Медно-порфировые	Au, Cu, Mo, Ag, As, Sb
Медно-висмутовые	Cu, Bi, Pb, Ag, As, Ba, Zn, Co
Урановые	U, Mo, Pb, Cu, Zn, Ag
Ртутные	Hg, As, Ba, Cu, Pb, Zn, Ni, Ag, Co
Медно-молибденовые	Cu, Mo, Zn, Pb, Co, Ni, Sn, Be, W, Bi, As, Ba, Ag
Сульфидно-кассiterитовые	Sn, Ag, Zn, Pb, Cu, Mo
Стратиформные свинцово-цинковые	Pb, Cu, As, Ba, Co, Zn, Ni

ются признаки возможного наличия на глубине известного месторождения слепых рудных тел другого состава. Этот вопрос более подробно будет рассмотрен нами при описании полиформационных аномалий, а также при рассмотрении критериев и примеров интерпретации сложных аномалий.

Исследования показывают, что в зависимости от элементов залегания рудных тел поперечная зональность первичных ореолов может быть симметричной и асимметричной. Симметричной зональностью характеризуются первичные ореолы, развитые вокруг рудных тел вертикального падения. В тех случаях, когда рудные тела наклонные, как правило, наблюдается более интенсивное развитие первичных ореолов в висячем боку рудных тел, что и обуславливает асимметрию поперечной зональности (рис. 22). Следует отметить, что избирательное накопление элементов в висячем боку рудных тел характерно для индикаторов надрудной группы, благодаря чему отношение содержаний над- и подрудных элементов позволяет выявить более отчетливую асимметрию поперечной зональности.

Большое практическое значение рассмотренной поперечной зональности первичных ореолов состоит в том, что с ее помощью можно определить условия залегания рудных тел. Отсутствие асимметрии горизонтальной зональности свидетельствует о субвертикальном залегании рудного тела, тогда как наклонное его залегание фиксируется асимметрией поперечной зональности, которая может быть использована для определения направления падения оруденения. Вряд ли нужно доказывать, что знание условий залегания рудных тел — важнейшее условие успешной разведки перспективных рудопроявлений.

Продольная зональность первичных ореолов. Выражается в закономерном изменении параметров ореолов в направлении простирации рудоносных зон, включающих в себя рудные тела и окаймляющие их первичные ореолы. Продольная зональность первичных ореолов также (аналогично поперечной зональности) может быть симметричной (отсутствует склонение рудных

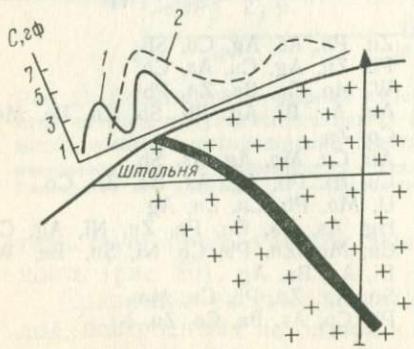


Рис. 22. Графики распределения Cu (1) и As (2) в первичных ореолах кварц-золоторудной жилы

тел и сопровождающих ореолов) и асимметричной, когда в продольном направлении в соответствии со склонением рудных тел происходит дифференциация в распределении элементов-индикаторов. Эта зональность отражает также направление движения рудоносных растворов в плоскости рудоносных зон и поэтому согласуется с рассмотренными рядами элементов-индикаторов осевой зональности первичных ореолов (см. табл. 7).

Для иллюстрации продольной зональности первичных ореолов на рис. 23 в проекции на вертикальную плоскость в изолиниях изображены изменения линейных продуктивностей ореолов элементов, рассчитанных по пересекающим (в поперечном направлении) рудоносную зону скважинам, штольням, а также профилям опробованных пород на поверхности и отнесенных к точкам пересечения линиями геохимического опробования плоскости рудоносной зоны. Вблизи массива гранитоидов фиксируются высокие продуктивности ореолов Cu, Bi, W и низкие — Ag и Pb. По мере удаления от массива продуктивности ореолов Pb и Ag увеличиваются при одновременном уменьшении продуктивностей ореолов Cu, Bi, As и W. В наиболее удаленных от интрузии частях разреза развиты ореолы Sb, которые вблизи интрузии (при чувствительности анализа 0,01 %) не установлены. Наиболее контрастно описанная продольная зональность фиксируется по изменению значений мультиплекативного коэффициента зональности, представляющего собой отношение произведений линейных продуктивностей ореолов надрудных (Pb, Ag, Sb) и подрудных (Cu, Bi, W) элементов. Величина этого коэффициента в исследованной части продольного разреза меняется более чем в 1 млн раз.

На рис. 24 показана продольная геохимическая зональность в строении первичных ореолов Садонского полиметаллического месторождения (Северный Кавказ). Выполненным М. З. Кайтуковым и автором исследованиями установлено, что состав первичных ореолов Садонского и других полиметаллических месторождений Северного Кавказа (Архон, Холст и др.) сходен и представлен широким кругом элементов-индикаторов, наиболее информативные из которых — Pb, Zn, Cu, Ag, Bi, Sb, As. Размеры ореолов колеблются в широких пределах. Их протяженность в плане и по вертикали составляет первые сотни метров, а в отдельных случаях, в зависимости от масштаба оруденения, может достигать 1 км и более. Наиболее интенсивны, выдержаны и значительны по падению и простианию ореолы Pb, Zn и Cu. Их мультиплекативные ореолы включают в себя остальные моноэлементные ореолы.

В строении ореолов отмеченных месторождений установлена отчетливая зональность, обусловленная преобладающей ролью Ag, Sb, Pb и Cu в головных и Mo, Sn, Co, W и Ni в коренных зонах ореолов. Зональность выражается в изменении величин следующих параметров ореолов: размеров, среднеореольных концентраций элементов, показателей зональности элементов.

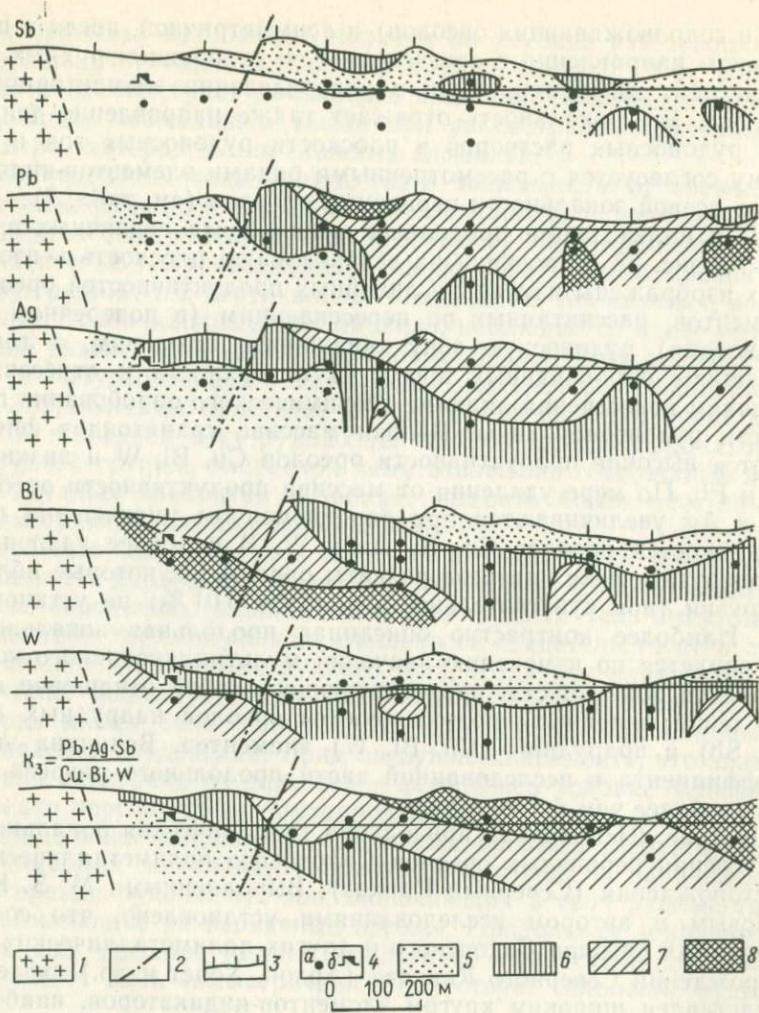


Рис. 23. Изменение величины линейных продуктивностей ореолов элементов-индикаторов и мультипликативного коэффициента зональности в продольном разрезе зон Фестивальная и Комплексная (месторождение Зимнее):

1 — биотитовые граниты; 2 — линия сочленения рудоносных зон; 3 — профили опробования пород на поверхности; 4 — точки пересечения плоскости рудоносной зоны скважинами (а) и подземными горными выработками (б); 5—8 — поля различных значений линейных продуктивностей ореолов и коэффициента зональности (8 — поля максимальных содержаний)

Ее можно представить следующим рядом основных элементов-индикаторов (снизу — вверх): W—Ni—Co—Sn—Mo—Zn—Bi—Cu—Pb—Ag—Sb.

Детальные исследования по изучению первичных ореолов Садонского месторождения позволили получить дополнительные данные о зональном распределении элементов-индикаторов в

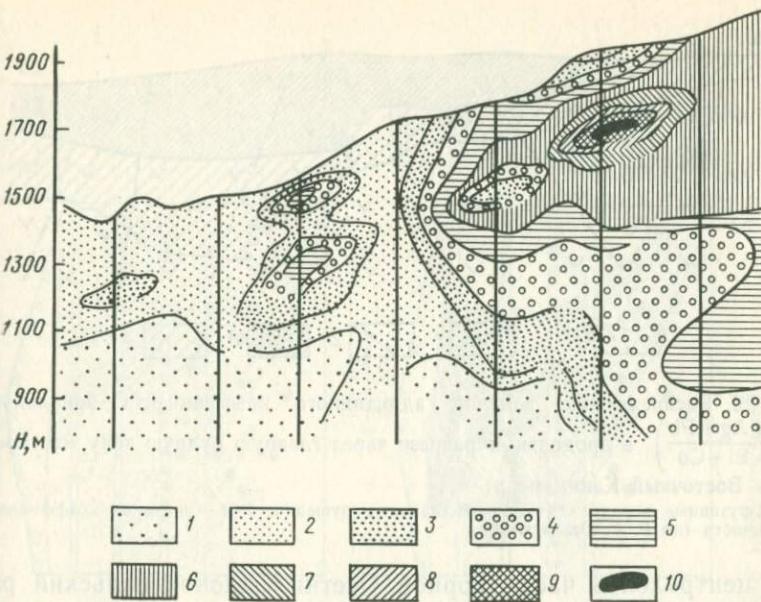


Рис. 24. Распределение величин мультиликативного коэффициента зональности $\frac{Pb \cdot Zn \cdot Cu \cdot Ag}{Co \cdot Mo^2 \cdot Sn}$ в продольном разрезе через месторождение Садон:

1—10; 2—10—100; 3—100—250; 4—250—500; 5—500—1000; 6—1000—2000; 7—2000—3000; 8—3000—4000; 9—4000—5000; 10—более 5000

пространстве. Установлено, что максимальный градиент изменения концентраций большинства перечисленных элементов наблюдается в направлении от нижних горизонтов юго-западного фланга, примыкающего к региональному рудоконтролирующему Садено-Унальскому разлому общекавказского простирания, к верхним горизонтам северо-восточного фланга месторождения. В указанном направлении увеличиваются содержания таких ореолообразующих элементов, как Ag, Pb, Zn, Cu, и уменьшаются содержания Co, Sn и Mo. Наиболее четко направление вектора зональности фиксируется по изменению величин мультиликативного коэффициента зональности $\frac{Pb \cdot Zn \cdot Cu \cdot Ag}{Co \cdot Mo^2 \cdot Sn}$ в продольной плоскости ореолов Садонского месторождения.

Как видно на рис. 24, в строении первичных ореолов выявлена контрастная продольная зональность, обусловливающая закономерное, выдержанное и контрастное увеличение значений мультиликативного коэффициента геохимической зональности ореолов с северо-запада на северо-восток (более чем на три порядка), фиксируя тем самым направление движения рудоносных растворов. Описанная продольная зональность подтверждает мнение тех исследователей, которые считают, что поперечный крудовмещающим структурам полиметаллических месторожде-

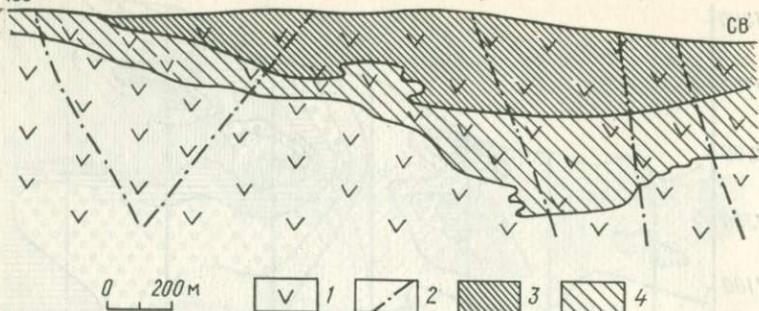


Рис. 25. Распределение величин аддитивного коэффициента зональности $\frac{(Ba+Ag+Pb)}{(Cu+Bi+Co)}$ в продольном разрезе через главную рудную зону месторождения Восточный Канимансур:

1 — эфузивные породы; 2 — дисьюнктивные нарушения; 3—4 — значения коэффициента зональности (по Р. Г. Оганесяну)

ний центральной части Горной Осетии Садоно-Унальский разлом является рудоконтролирующим и, по всей вероятности, рудопроводящим.

На рис. 25 в продольном разрезе через главную рудную зону полиметаллического месторождения Восточный Канимансур изображено изменение величины аддитивного коэффициента геохимической $\frac{Ba+Pb+Ag}{Cu+Bi+Co}$. Описание осевой зональности первичных ореолов этого месторождения выполнено по поперечному вертикальному разрезу XXXI (линия разреза показана на рис. 25). В разрезе проявлена вертикальная и продольная геохимическая зональность. Вертикальная зональность выражается в закономерном уменьшении величины коэффициента зональности с глубиной. Кроме того, по разрезу фиксируется также отчетливая продольная геохимическая зональность, обусловленная резким уменьшением вертикального размаха полей повышенных значений коэффициента геохимической зональности в юго-западной части разреза.

Следует, однако, отметить, что во многих случаях в продольных разрезах рудоносных зон выявляется более сложное изменение параметров геохимических ореолов. Это необходимо учитывать при интерпретации результатов геохимического опробования, в частности при оценке уровня эрозионного среза аномалий на основе их осевой геохимической зональности. На рис. 26 показано изменение содержаний Au и его элементов-спутников в продольном разрезе (в плоскости рудоносной зоны) через золоторудное месторождение. Наблюдается сложная структура первичных ореолов рудоносной зоны в продольном сечении. Наиболее закономерную картину строения ореолов удается проследить, используя особенности строения в продоль-

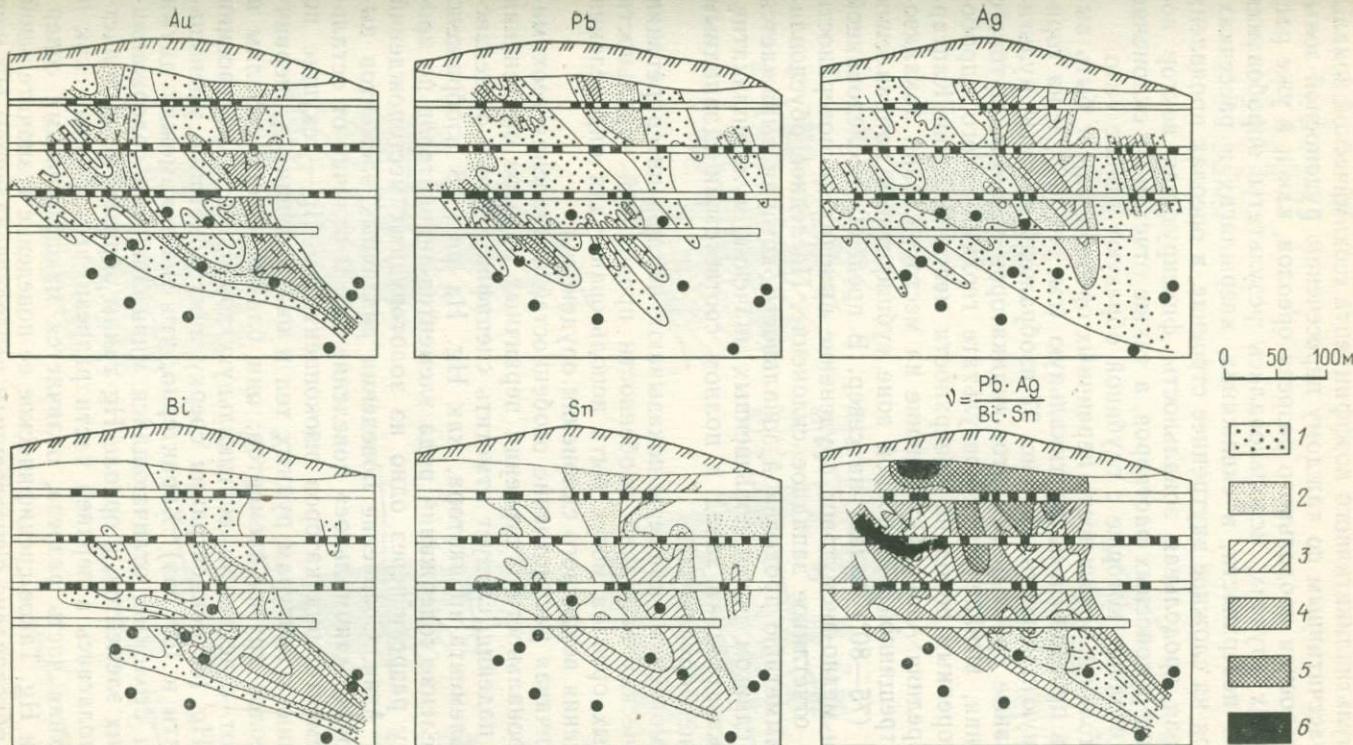


Рис. 26. Первичные ореолы в продольном разрезе рудной зоны золоторудного месторождения:
1—6 — первичные ореолы (по возрастанию интенсивности) и величины мультиплекативного коэффициента зональности ($1-6$ от менее 1 до более 10 000); на рисунке показаны также места пересечения плоскости рудной зоны подземными горными выработками и скважинами

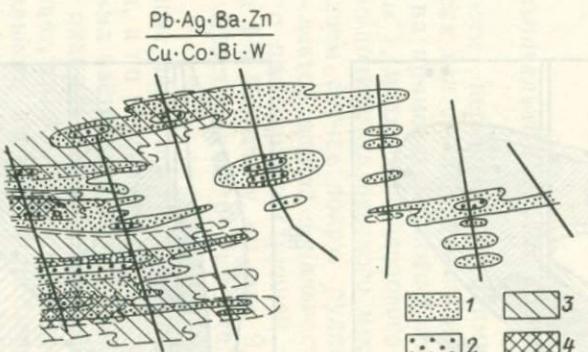
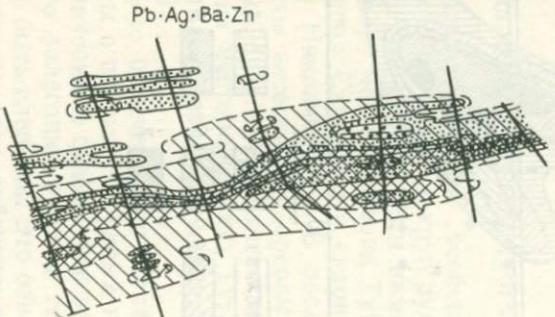
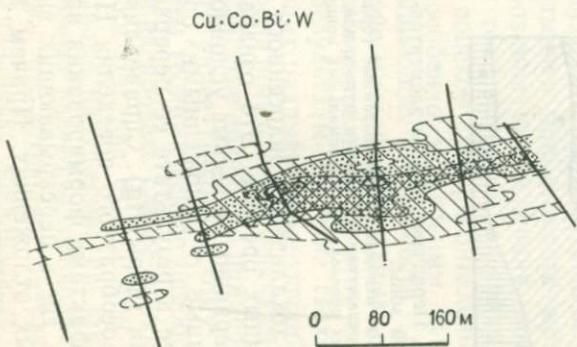
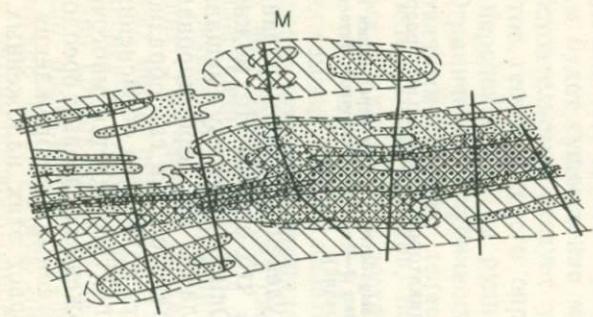
ном сечении полей первичных ореолов, оконтуренных по величинам мультиплекативного коэффициента геохимической зональности, рассчитанным по каждому пересечению рудоносной зоны. При построении продольного разреза ореолов, как и в уже рассмотренных случаях, использовались результаты опробования пород на поверхности, в скважинах, квершлагах и рассечках. Несмотря на сложное внутреннее строение, в ореолах проявлена отчетливая продольная зональность, фиксирующая вектор поступления рудоносных растворов, а также отчетливое склонение рудных столбов, которые с глубиной образуют единое тело.

Продольная зональность первичных ореолов может быть выявлена в проекции и на вертикальную (см. рис. 26), и на горизонтальную плоскость. На рис. 27 изображены частные мультиплекативные ореолы элементов-индикаторов медно-висмутового оруденения, выявленные в результате геохимического опробования коренных пород на поверхности месторождения Каптархона (Средняя Азия). Оруденение на месторождении локализовано в трещинной рудоносной зоне субширотного направления и круто ($75-80^\circ$) падает на север. В пределах исследованной площади медно-висмутовое оруденение выходит на поверхность и имеет отчетливое западное склонение. Последнее обуславливает асимметрию продольной зональности, которая выражается резким сдвигом полей повышенных значений мультиплекативного показателя на запад в полном соответствии с западным склонением оруденения.

Рассмотренные примеры показывают, что при интерпретации геохимических аномалий особенности продольной зональности первичных ореолов могут быть использованы для определения направления вероятного склонения оруденения.

Заканчивая рассмотрение особенностей проявления геохимической зональности в строении первичных ореолов оруденения крутого падения, следует отметить специфику такого общеизвестного элемента-индикатора, как Hg . На рис. 28 изображено распределение содержаний ряда элементов-индикаторов по продольному разрезу через одно из золоторудных месторождений Средней Азии. Сравнение поведения различных элементов выявляет резко «аномальное» поведение Hg . В отличие от остальных элементов-индикаторов изоконцентраты Hg — секущие по отношению к контурам рудных тел и окаймляющих их первичных ореолов других элементов; они близки к горизонталям и отражают отчетливую вертикальную зональность в строении ореола Hg (ее концентрация сверху вниз монотонно уменьшается почти в 100 раз). Характерно, что участок между двумя рудными столбами, отличающийся минимальными содержаниями других элементов, в ореоле Hg таким образом не выделяется. Располагаясь в верхней части разреза, этот участок, как и вся верхняя часть разреза, отличается максимальными содержаниями Hg . Такое специфическое ее поведение в значительной степени обусловлено существенным перераспределением Hg уже

Рис. 27. Мультиплексивные
литохимические
ореолы на по-
верхности:
1—2 — первичные;
3, 4 — вторичные



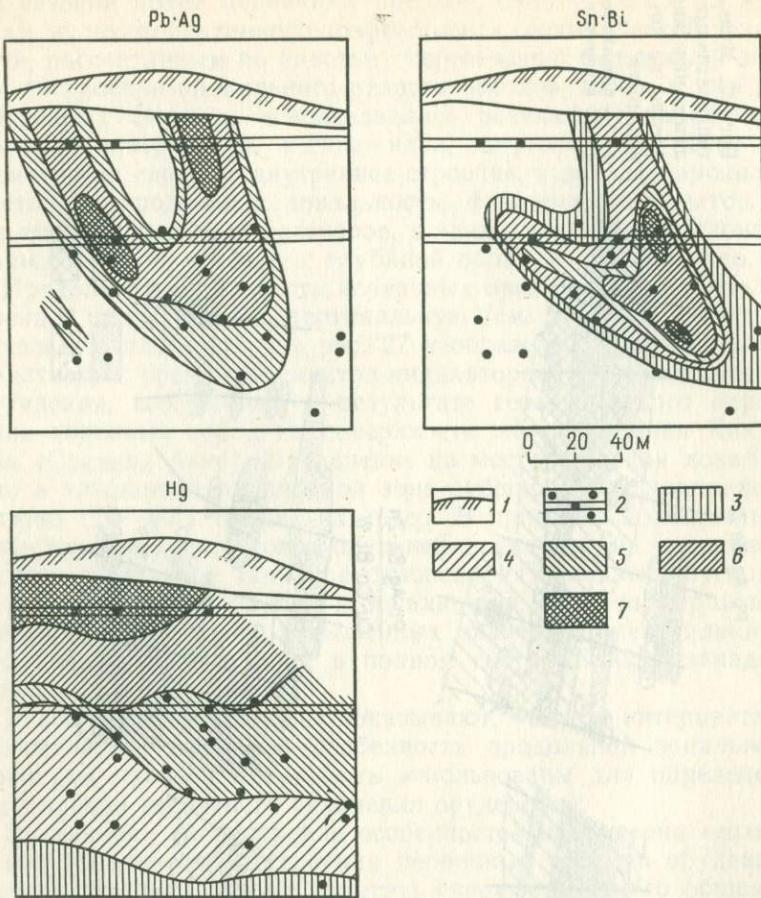


Рис. 28. Первичные ореолы элементов-индикаторов в продольном разрезе рудоносной зоны:

1 — рыхлые отложения; 2 — подземные горные выработки и точки пересечения выработками и скважинами плоскости рудоносной зоны; 3—7 — поля различной интенсивности первичных ореолов (7 — максимальных концентраций)

после локализации эндогенного оруденения и формирования его первичных ореолов. Это означает, что ореолы Hg можно считать первичными весьма условно. Они по существу смешанные — первичные с наложенными ореолами Hg, сформированными позднее в результате ее перераспределения в газообразном состоянии (пары Hg). Справедливость подобного объяснения причин своеобразного поведения Hg подтверждается многочисленными фактами формирования наложенных газовых ореолов расщепления Hg в перекрывающих эндогенные месторождения аллюхтонных отложений. Причем возраст этих наложенных ореолов Hg существенно моложе рудных тел и их первичных ореолов.

лов, являющихся своеобразными «поставщиками» паров Hg в перекрывающие рудовмещающие породы рыхлые отложения. Благодаря такой специфике Hg, будучи прекрасным индикатором перекрытого оруденения, не может служить надежным индикатором уровня эрозионного среза геохимических аномалий, ибо отмеченное вторичное перераспределение нарушает первичную зональность.

6. Зональность ореолов субгоризонтальных рудных залежей

Морфологические особенности первичных геохимических ореолов, развитых вокруг рудных тел субгоризонтального залегания, уже рассмотрены нами на примере скарново-полиметаллического месторождения Тутлы 1, медно-молибденового месторождения Сарычеку и скарново-полиметаллического месторождения Николаевское. В последнем случае вокруг рудных тел развиты несогласные ореолы — вектор осевой зональности первичных ореолов не совпадает с простирианием рудной залежи (как на месторождениях Тутлы 1 и Сарычеку, см. рис. 9, 10), а направлен перпендикулярно к простирианию рудного тела (см. рис. 6).

Было отмечено, что согласные первичные ореолы резко вытянуты в плоскости рудных тел, а по вертикали распространены ограниченно, в связи с чем весьма часто из-за сравнительно глубокого залегания рудных тел окаймляющие их ореолы также могут быть слепыми. Это означает, что глубинность поисков слепых рудных тел субгоризонтального залегания по первичным ореолам будет существенно меньше, чем крутопадающих. Данное обстоятельство следует учитывать при интерпретации результатов геохимического опробования на площадях, потенциально перспективных на рудные тела полого залегания.

Ограниченнная глубинность поисков субгоризонтальных тел по первичным ореолам делает особенно актуальным применение специальных методов, повышающих глубинность (анализ тяжелых фракций проб, построение мультиплексивных и аддитивных ореолов, а также их комбинирование). В этих случаях ценную помощь могут оказать результаты изучения геохимической специализации крутопадающих разрывных нарушений, служащих во многих случаях своеобразными «проводниками» глубокозалегающих рудных тел. В качестве подобного примера приведем результаты по описанному ранее Николаевскому месторождению, где удалось по данным геохимического опробования коренных пород поверхности зафиксировать слепое оруденение, залегающее на глубине около 1 км (см. рис. 6). На этом месторождении крутопадающие разрывные нарушения, по которым, вероятно, циркулировали рудоносные растворы, проходят непосредственно через рудную залежь, что позволяет по результатам их геохимического опробования четко локализовать месторождение. Однако во многих случаях рудоподводящие наруше-

ния крутого падения расположены в стороне от рудных тел. Это следует учитывать при интерпретации результатов опробования.

При интерпретации геохимических аномалий, связанных с субгоризонтальными рудными телами, задача отличия надрудных ореолов от подрудных решается достаточно просто при наличии стратиграфического контроля в локализации оруденения, когда рудные тела залегают в пределах определенного благоприятного горизонта (месторождение Тутлы 1 — в скарнированных конгломератах, см. рис. 9) или на контакте различных пород (Николаевское месторождение в Приморье приурочено к контакту карбонатных и вулканогенных пород, см. рис. 6). Когда такой контроль в размещении оруденения отсутствует, для отличия надрудных аномалий от подрудных можно использовать вертикальную зональность ореолов, развитых вокруг рудных тел субгоризонтального залегания. Эта зональность выражается в относительном обогащении надрудных ореолов рядом элементов. На месторождении Тутлы 1 такими элементами являются Sb и As, а на Сарычеку — Ag и Pb. Следует, однако, отметить, что вертикальная зональность в ореолах вокруг пологозалегающих тел весьма слабоконтрастна, и поэтому в настоящее время можно говорить только о принципиальной возможности ее использования.

Строение первичных ореолов месторождения Тутлы 1 зональное. В отличие от ореолов основных компонентов руд (Pb, Zn), интенсивность которых коррелируется с самими рудными телами, поля максимальных концентраций As и Sb не совпадают с рудными телами — они располагаются на продолжении рудных тел, в головной части первичных геохимических ореолов. Эта зональность отчетливо фиксируется закономерными изменениями величины мультиплексивного коэффициента геохимической зональности вида $\frac{\text{As-Sb}}{\text{Pb-Zn}}$ (рис. 29).

Зональность первичных ореолов медно-молибденового месторождения Сарычеку выражается в ясно выраженном смещении относительно рудного тела ореолов Ag (рис. 30). Для описываемых месторождений вектор осевой зональности первичных ореолов также совпадает с направлением движения рудоносных растворов, поэтому дифференциация элементов согласуется с приведенными ранее рядами осевой зональности, составленными в результате изучения первичных ореолов, развитых вокруг рудных тел крутого падения.

Использование первичных ореолов и зональности их строения позволит повысить эффективность бурения при поисках и разведке рудных тел субгоризонтального залегания. Значительные размеры ореолов в плане (в плоскости рудных тел) создают благоприятные условия для выделения с помощью бурения по редкой сети скважин участков, перспективных на слепое оруденение. При этом в разряд перспективных следует отнести как

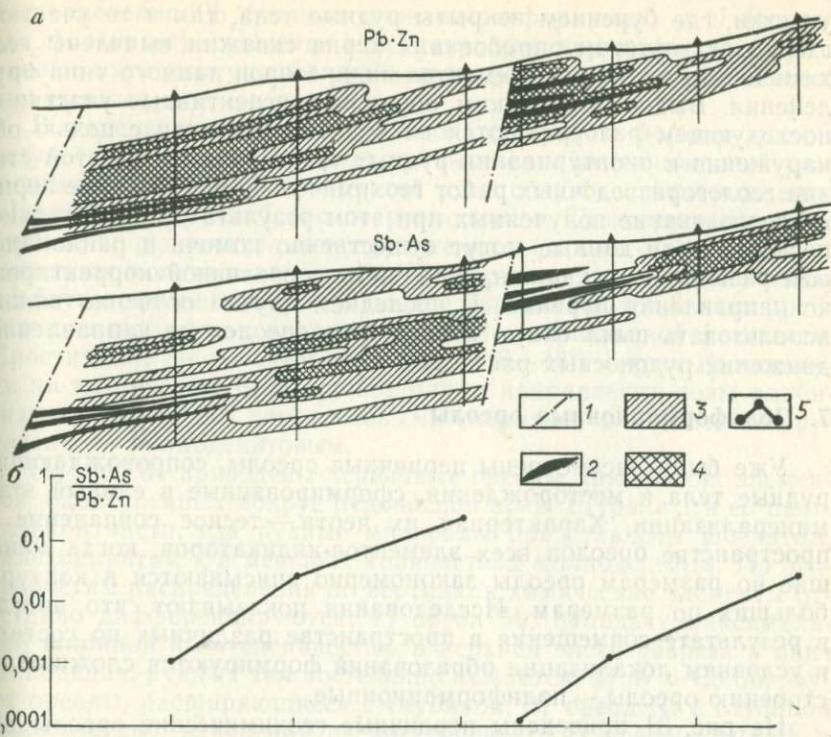


Рис. 29. Частные мультиплексивные
ореолы (а) и график (б) коэффициента
зональности:

1 — дислокационные нарушения; 2 — рудные
тела; 3—4 — первичные ореолы (4 — ореолы
повышенной интенсивности); 5 — графики из-
менения мультиплексивного коэффициента
зональности

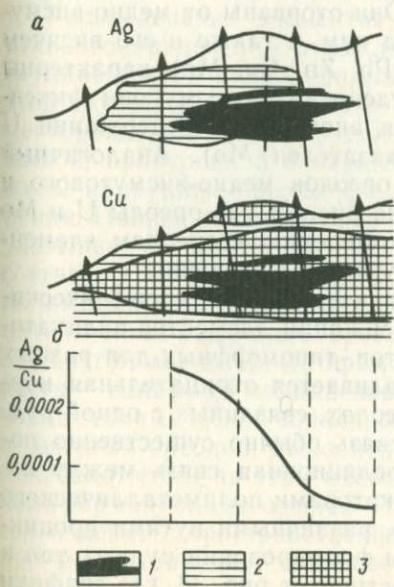


Рис. 30. Первичные ореолы (а) и гра-
фик (б) парного индикаторного отноше-
ния Hg/Cu в разрезе (месторождение
Сарычеку):

1 — рудное тело; 2, 3 — первичные ореолы
(3 — повышенных концентраций)

участки, где бурением вскрыты рудные тела, так и те участки, где по результатам опробования керна скважин выявлены геохимические аномалии элементов-индикаторов данного типа оруденения. Выделенные таким образом перспективные участки в последующем разбуриваются по более густой сети с целью обнаружения и оконтуривания рудных тел. Причем и на этой стадии геологоразведочных работ геохимическое опробование керна и использование полученных при этом результатов обязательно, поскольку эти данные могут существенно помочь в рациональном размещении скважин, а также в оперативной корректировке направления бурений. В последнем случае особенно важно использовать выявленную зональность ореолов по направлению движения рудоносных растворов.

7. Полиформационные ореолы

Уже были рассмотрены первичные ореолы, сопровождающие рудные тела и месторождения, сформированные в единый этап минерализации. Характерная их черта — тесное совпадение в пространстве ореолов всех элементов-индикаторов, когда меньшие по размерам ореолы закономерно вписываются в контуры больших по размерам. Исследования показывают, что иногда в результате совмещения в пространстве различных по составу и условиям локализации образований формируются сложные по строению ореолы — полиформационные.

На рис. 31 приведены первичные геохимические ореолы вокруг медно-висмутового оруденения. По этому разрезу выявлены также ореолы U, связанные с известной в районе более молодой урановой минерализацией. Они оторваны от медно-висмутового рудного тела и развиты над ним, а также в его висячем боку. Элементы-спутники урана (Pb, Zn, Cu, Mo) характерны также для медно-висмутового оруденения, поэтому они фиксируют как рудное тело, так и поля аномальных содержаний U (в этом отношении наиболее показателен Mo). Аналогичный сдвиг в пространстве эпицентров ореолов медно-висмутового и уранового оруденения изображен на рис. 32, где ореолы U и Mo отчетливо сдвинуты на север по отношению к ореолам элементов, типоморфных для медно-висмутового оруденения.

Полиформационные ореолы характеризуются специфическими корреляционными связями содержаний элементов-индикаторов. Между содержаниями элементов, типоморфных для разных рудных формаций, обычно устанавливается отрицательная корреляционная связь, тогда как в ореолах, связанных с одной рудной формацией, корреляционная связь обычно существенно положительная. Отрицательная корреляционная связь между содержаниями U и элементами-индикаторами полиметаллического оруденения обусловлена, очевидно, различными путями проникновения рудоносных растворов при формировании рудных тел и ореолов этих формаций. Это иллюстрирует рис. 33, где графики

распределения Pb (полиметаллическая формация) и U (урановая формация) «падают» навстречу друг другу, фиксируя различные пути циркуляции рудоносных растворов при формировании ореолов.

В ряде случаев полиформационные ореолы формируются в результате смены с глубиной рудных тел и месторождений различных формаций. Такой случай установлен на месторождении Шурале 1 (Чорухдайронское рудное поле, Таджикистан), где с глубиной редкометальное оруденение (шеелит-молибденовое) сменяется полиметаллическим. Рудное тело представлено зоной альбитизированных пород, в центре которой проходит зона дробления, выполненная кварцевыми жилами различной мощности. Простирание зоны северо-восточное ($35-45^\circ$) с крутым падением на юго-восток. В северо-восточном направлении зоны альбитизации сменяются пироксеновыми скарнами, а шеелитовое оруденение — молибденитовым.

На рис. 34 приведены первичные ореолы химических элементов, оконтуренных вокруг рудоносной зоны Шурале 1 в ее центральной части, где рудные минералы представлены шеелитом, халькопиритом и в меньших количествах молибденитом. По особенностям распределения по вертикали химические элементы четко дифференцируются: 1) ореол Mo обладает максимальной шириной и интенсивностью в верхней части разреза и вниз по падению рудных тел постепенно сужается; 2) W и Co образуют ореолы, расширяющиеся с глубиной; 3) ореол Ni с глубиной существенных изменений не претерпевает; 4) ореолы Ag, Pb и частично Zn с глубиной сужаются и затем резко расширяются на уровне самой глубокой скважины.

Распределение элементов последней группы для редкометального оруденения аномально и обусловлено появлением на глубине другой рудной формации. Сравнение ореолов элементов этой группы с особенностями формирования первичных ореолов месторождений других рудных формаций показывает, что скважиной, пробуренной в нижней части рудоносной зоны, обнаружены надрудные ореолы скарнового свинцово-цинкового оруденения. Полное выклинивание с глубиной ореолов W, Mo, Ni и Co указывает на отсутствие на глубине слепых тел редкометального состава. Глубокие горизонты месторождения перспективны на полиметаллы, о чем свидетельствует появление там широких и интенсивных надрудных ореолов именно этого типа оруденения.

Другой характерный пример сложной геохимической зональности — вольфрам-молибденовое месторождение Тырныауз. Изучение геохимической зональности рудных тел и окаймляющих их первичных ореолов, выполненное автором и Г. Я. Абрамсоном, показало, что и на этом месторождении широко распространены полиформационные ореолы. Последние образуются в результате совмещения в пространстве продуктов по крайней мере двух этапов минерализации: скарново-шеелитового и кварц-молибденового.

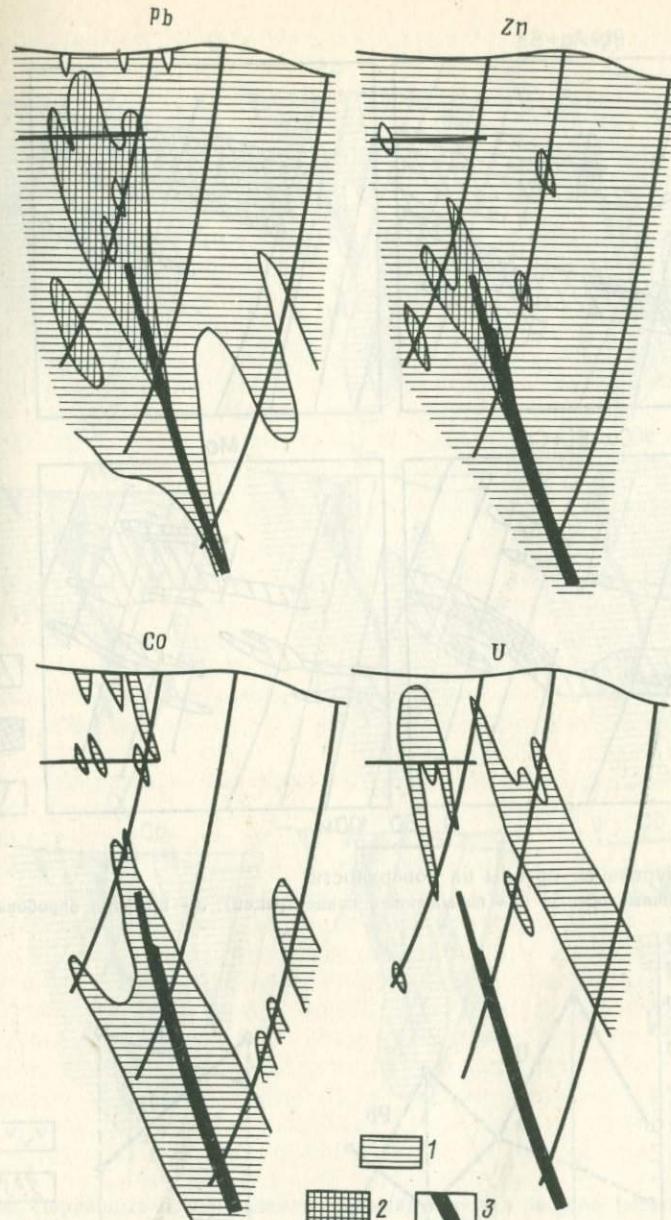
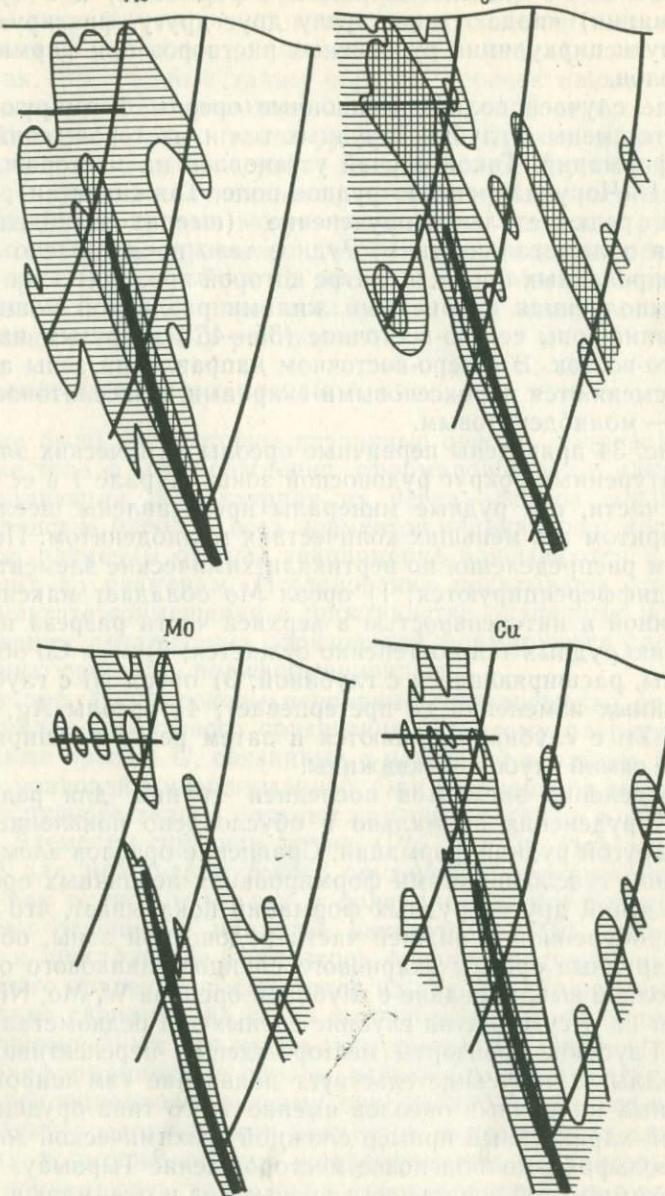


Рис. 31. Первичные ореолы в разрезе:
1, 2 — первичные ореолы (2 — повышенных содержаний); 3 — рудное тело

Детальное изучение особенностей развития первичных геохимических ореолов вокруг изолированных рудных залежей скарново-шеелитового и кварц-молибденитового типов показало, что зональность их ореолов полностью согласуется с приведенным ранее единым рядом зональности элементов (см. табл. 8). В ча-

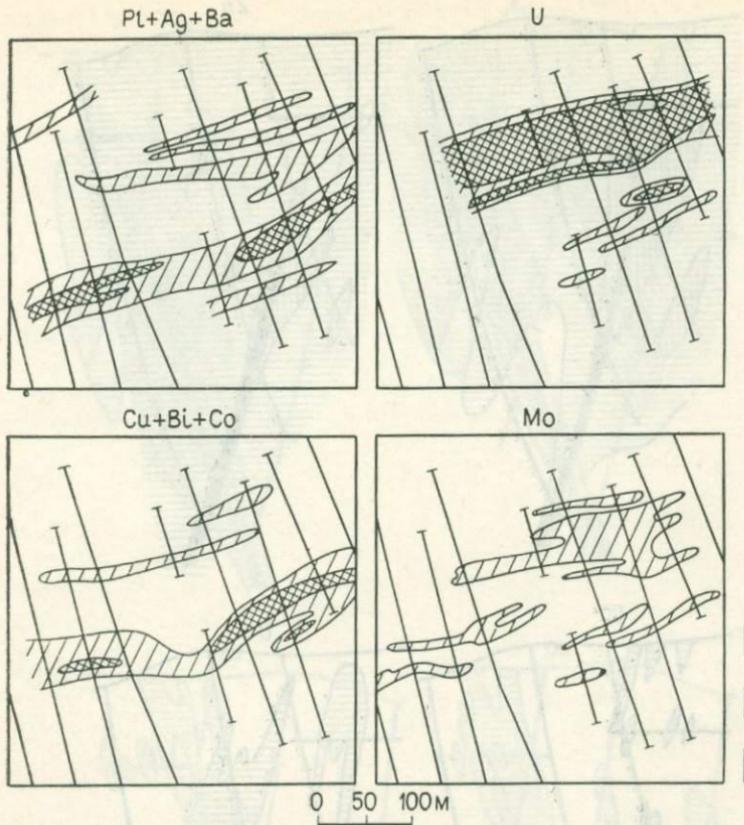


Рис. 32. Первичные ореолы на поверхности:

1, 2 — первичные ореолы (2 — повышенных концентраций); 3 — профили опробования

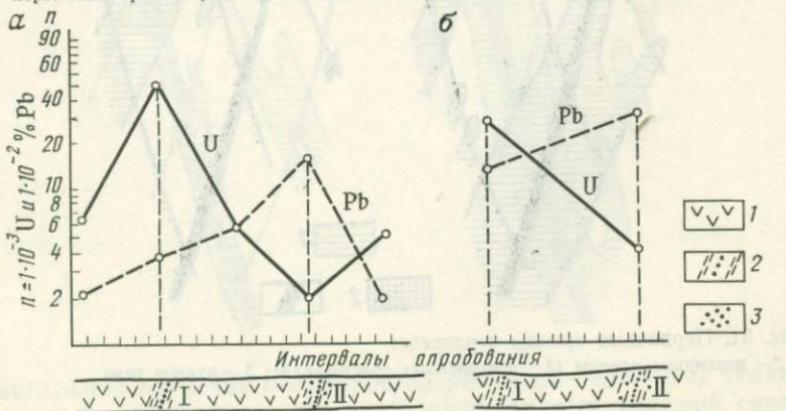


Рис. 33. Графики распределения элементов-индикаторов вокруг рудоносных зон урановой (а) и полиметаллической (б):

1 — эфузивы; 2 — рудные зоны (I — урановые, II — полиметаллические); 3 — измененные породы

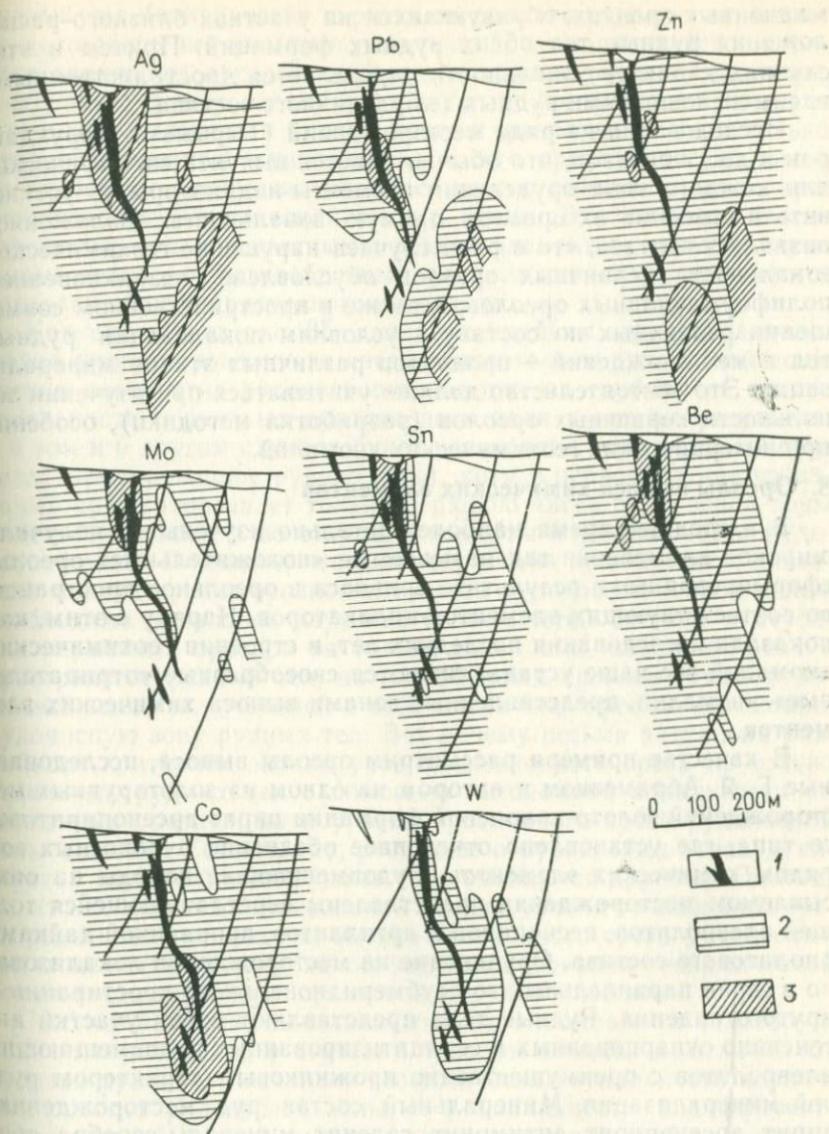


Рис. 34. Первичные ореолы элементов-индикаторов в разрезе (месторождение Шурале 1):

1 — рудное тело; 2, 3 — первичные ореолы (3 — повышенных концентраций)

стности, для скарново-шебелитового оруденения характерны сдвинутые вверх по отношению к W ореолы Mo, Sn, Be, а для молибденитовых тел W уже является индикатором подрудных частей ореолов. Отмеченная зональность резко нарушается в полифор-

мационных ореолах, образующихся на участках близкого расположения рудных тел обеих рудных формаций. Причем в этих случаях характер зональности определяется пространственными взаимоотношениями рудных тел различного состава.

Исследования на ряде месторождений (Тырныауз, Чорухдайрон и др.) показали, что обычно удается выявить специфические для каждого типа оруденения элементы-индикаторы и установить в строении их ореолов прямую зональность. Изложенное позволяет считать, что в ряде случаев нарушение геохимической зональности первичных ореолов обусловлено возникновением полиформационных ореолов, а также в пространственном совмещении различных по составу и условиям локализации рудных тел и месторождений — продуктов различных этапов минерализации. Это обстоятельство должно учитываться при изучении зональности первичных ореолов (разработка методики), особенно при интерпретации геохимических аномалий.

8. Ореолы выноса химических элементов

В настоящее время наиболее детально изучены и получили широкое применение так называемые «положительные» ореолы, сформированные в результате привноса в ореольное пространство соответствующих элементов-индикаторов. Наряду с этим, как показали исследования последних лет, в строении геохимических аномалий все чаще устанавливаются своеобразные «отрицательные» аномалии, представленные зонами выноса химических элементов.

В качестве примера рассмотрим ореолы выноса, исследованные Г. Я. Абрамсоном и автором на одном из золоторудных месторождений золото-кварцевой формации пирит-арсенопиритового типа, где установлено отчетливое обеднение рудоносных зон рядом химических элементов. Рудовмещающие породы на описываемом месторождении представлены переслаивающейся толщей алевролитов, песчаников и аргиллитов, прорванной дайками риолитового состава. Оруденение на месторождении локализовано в серии параллельных зон субмеридионального простириания и крутого падения. Рудные тела представляют собой участки интенсивно окварцованных и серicitизированных рудовмещающих алевролитов с преимущественно прожилковым характером рудной минерализации. Минеральный состав руд месторождения: пирит, арсенопирит, антимонит, галенит, минералы серебра, тонкодисперсное самородное золото. Рудные тела в пределах рудоносных зон расположены кулисо-, а нередко и четкообразно.

В строении первичных ореолов (привноса) установлена контрастная геохимическая зональность, обусловленная относительным накоплением в над- и верхнерудных частях ореолов Ag, Sb и Pb. Для нижних же горизонтов ореолов характерно относительное обогащение As, Cu и Au. При этом, как и на других месторождениях, описываемая геохимическая зональность автономна для рудных тел, т. е. повторяется в ореолах каждого из

рудных тел (зональность первичных ореолов рудных тел данного месторождения является идентичной, повторяющейся в строении первичных ореолов каждого из группы рудных тел месторождения). Для ее оценки используют те же коэффициенты, которые применимы для оценки уровня эрозионного среза только одного конкретного рудного тела и его ореолов, тогда как в практическом отношении не менее важно оценить уровень эрозионного среза рудоносной зоны в целом. Это особенно важно для месторождений цветных и редких элементов, характеризующихся кулисо- и четкообразным расположением рудных тел в пределах общего рудоносного интервала.

Как следует из рис. 35, для двух крайних случаев расположения уровня эрозионного среза относительно рудоносной зоны оценка перспектив рудоносности участка на глубину на основе зональности первичных ореолов даст один и тот же результат: и в том и в другом случаях будет установлен верхнерудный срез (слабозеродированное рудное тело), хотя в первом случае эрозионный срез затрагивает только верхнюю часть рудоносной зоны (месторождения), а во втором — вскрыты корневые части рудоносной зоны. Очевидно, что для разработки эффективных критериев оценки уровня эрозионного среза рудоносной зоны в целом необходимо детальное изучение особенностей состава и строения первичных ореолов не только отдельных, изолированных в пространстве рудных тел, но и первичных ореолов самой рудоносной зоны, включающей в себя первичные ореолы слагающих рудоносную зону рудных тел. Вот почему весьма актуальна разработка критериев оценки уровня эрозионного среза не только отдельных рудных тел с помощью автономной зональности их первичных ореолов, но и уровня эрозионного среза рудоносной зоны в целом. Естественно, речь идет о рудоносных зонах, в которых с глубиной одни рудные тела сменяются другими. Очевидно, что по аналогии с методикой оценки уровня эрозионного среза отдельных рудных тел оценка эрозионного среза рудоносных зон в целом возможна на основе использования геохимической зональности первичных ореолов всей рудоносной зоны.

Исследованиями, выполненными на описываемом золоторудном месторождении, в строении ореолов выноса, в отличие от ореолов привноса, выявлена геохимическая зональность первичных ореолов рудоносной зоны, т. е. зональность, индифферентная к каждой рудной кулисе и автономная для всей рудоносной зоны. Зональность установлена в строении ореолов выноса таких элементов, как Co, Ni, Mp. Наиболее рельефно обеднение рудоносной зоны данными элементами проявляется в строении мультиплакативных ореолов их выноса. На рис. 36 приведены графики изменения (вкрест простирации рудоносной зоны) произведения содержаний этих элементов на различных уровнях рудоносной зоны. Для сравнения показаны графики изменения содержания As — характерного элемента, образующего ореол привноса. Как видно, графики As и элементов, образующих ореолы

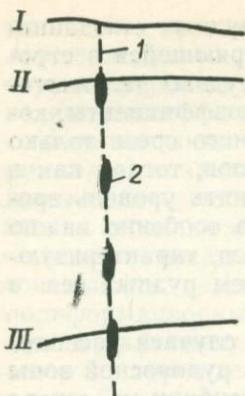


Рис. 35. Схематический разрез рудоносной зоны:
I — рудовмещающая структура; 2 — рудные тела; линия по-
верхности; I — во время локализации оруденения, II — эро-
зионной, вскрывшей верхнюю часть рудоносной зоны, III —
эрозионной, вскрывшей нижнюю часть рудоносной зоны

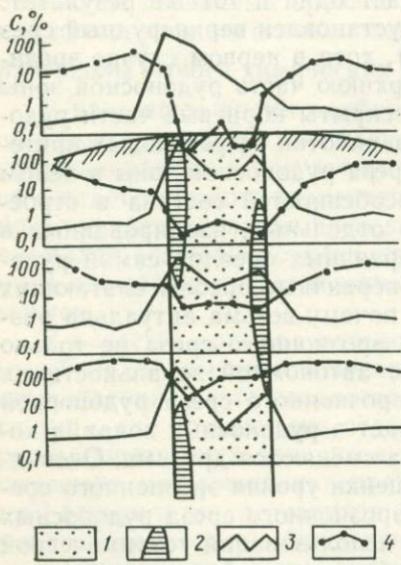
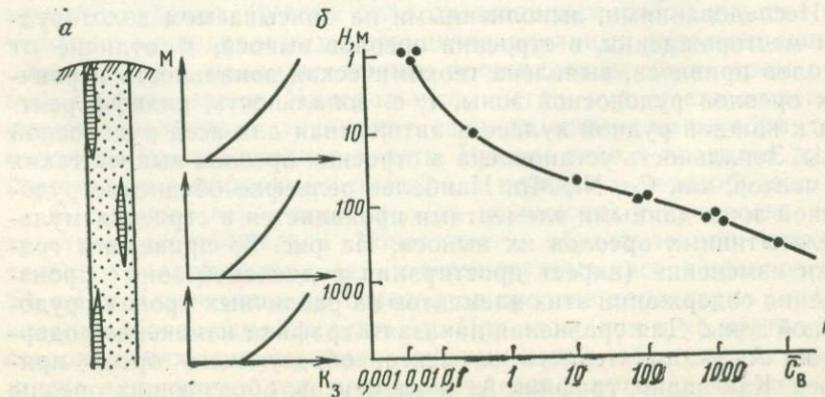


Рис. 36. Графики распределения элементов вокруг рудоносной зоны:
1 — рудоносная зона; 2 — рудные тела; 3 — график распределения As; 4 — график распределения произведений содержаний Co, Ni и Mn

Рис. 37. Изменение с глубиной мульти-
пликативного коэффициента зональности
 K_3 первичных ореолов $\left(\frac{Pb \cdot Ag \cdot Sb}{Cu^2 \cdot As} \right)$ (а)
и произведений содержаний Co, Ni и
Mn (б)



выноса, имеют противоположный характер. Они показывают также, что с глубиной тенденция выноса элементов из рудоносной зоны ослабевает. Эта особенность ореолов выноса количественно охарактеризована приведенным на рис. 37 графиком изменения с глубиной произведений содержаний (средних по рудоносной зоне) элементов, образующих ореолы выноса. С глубиной намечается контрастное и монотонное возрастание произведения содержаний элементов выноса, причем график «не реагирует» на смену с глубиной одного рудного тела другим, в отличие от графиков мультиплективного коэффициента зональности ореолов привноса, которые отражают только автономную зональность, т. е. зональность окаймляющих каждое рудное тело ореолов привноса. Очевидно, что применительно к условиям описываемого золоторудного месторождения зональность ореолов выноса (ее оценка — произведение средних содержаний элементов-индикаторов) может быть использована для определения уровня эрозионного среза рудоносной зоны в целом, а автономная зональность ореолов рудных тел — для оценки уровня эрозионного среза отдельно взятого рудного тела. В этом случае в качестве оценки зональности первичных ореолов используется мультиплективный коэффициент геохимической зональности ореолов привноса.

Сравнительное изучение первичных ореолов различных по размерам рудных тел позволило на ряде месторождений установить прямую зависимость между интенсивностью ореолов выноса и масштабом оруденения. Эта зависимость более выдержанна для простых случаев, когда рудоносная зона представлена единой рудной залежью. В табл. 9 приведены некоторые геохимические параметры рудоносных зон описываемого золоторудного месторождения, содержащих рудные тела различных масштабов.

В табл. 9 не приведены данные по нижне- и подрудным уровням первичных ореолов, так как подобные аномалии по причине глубокого эрозионного среза заведомо относятся к разряду бес-

Таблица 9

Параметры первичных ореолов, развитых вокруг различных по масштабу рудных тел золоторудного месторождения

Рудоносная зона	Уровень ореолов	As-Ag-Pb	Co-Ni-Mn	As-Ag-Pb Co-Ni-Mn
1 — с богатым промышленным оруденением	Надрудный	$4 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$
	Среднерудный	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-12}$	$9 \cdot 10^{-5}$
2 — с бедным непромышленным оруденением	Надрудный	$5 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	13,8
	Среднерудный	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-10}$	355,5

перспективных и не «нуждаются» в оценке масштаба оруденения.

Как следует из табл. 9, по величине мультиликативного коэффициента, представляющего собой отношение произведений средних содержаний элементов привноса (индикаторы верхних частей ореолов) и выноса, отмеченные рудоносные зоны резко отличаются друг от друга. Это различие существенно для надрудных срезов ореолов (более чем в 10 млн раз). Если учесть, что при оценке масштаба оруденения наиболее сложна проблема определения масштаба предполагаемого на глубине слепого оруденения (по выявленным на поверхности надрудным ореолам), то станет очевидным, что большая «разрешающая» способность приведенного коэффициента для надрудных срезов обеспечивает надежное применение его именно при интерпретации надрудных ореолов. При обобщении результатов изучения первичных ореолов многих месторождений выяснено, что наиболее часто ореолы выноса устанавливаются для такого распространенного элемента-индикатора рудных месторождений, как Ва. В тех случаях, когда удается проследить поведение Ва на значительном удалении от рудных тел по их восстанию обычно в ореолах выявляется не только вынос, но и отчетливое перераспределение этого элемента. Именно такой пример иллюстрирует рис. 38, где изображено распределение бария в первичных ореолах вокруг слепого скарново-полиметаллического оруденения (Северный Курасай). В нижних частях разреза отчетливо виден вынос Ва (содержания ниже фоновых), а в наиболее удаленных надрудных частях — интенсивное накопление, приведшее к образованию контрастной надрудной «шапки» Ва над слепым орудением.

Сравнение особенностей зонального распределения различных элементов-индикаторов в первичных ореолах рудных тел и рудоносных зон позволило установить, что наиболее существенное различие в распределении характерно для Ва — он проявляет отчетливую тенденцию выноса и преимущественного накопления в верхних (надрудных) частях рудоносных зон в отличие от остальных надрудных элементов (Sb, Ag и др.), которые образуют автономную для каждого рудного тела зональность и не имеют ясно выраженного избирательного накопления или выноса из определенных частей рудоносной зоны. Благодаря этому изменение с глубиной коэффициентов зональности, использующих Ва (в сочетании с другими элементами), более монотонное (однонаправленное). Исключение Ва из коэффициента приводит к возникновению резких перегибов в графиках, отражающих смену с глубиной рудных тел (каждое рудное тело обуславливает свой локальный максимум коэффициента зональности).

На рис. 39 и 40 приведены графики изменения с глубиной мультиликативных коэффициентов зональности по ряду типоморфных разрезов через полиметаллические месторождения Рудного Алтая. Особенности состава и строения первичных ореолов

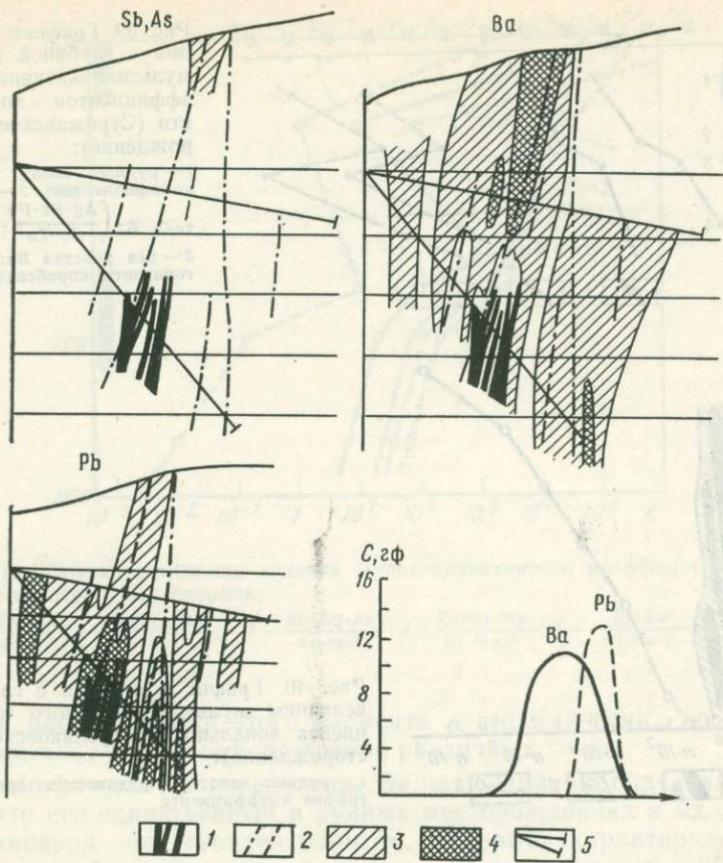


Рис. 38. Первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения Северный Курсай II:

1 — рудные тела; 2 — разрывные нарушения; 3, 4 — первичные ореолы (4 — поля повышенных концентраций); 5 — скважины

этих месторождений изучены автором совместно с Г. Э. Федотовой.

График мультипликативного коэффициента геохимической зональности первичных ореолов Стрежанского месторождения на уровне переката оруденения (см. рис. 39) дает резкий перегиб, отчетливо отражая кулисное расположение рудных тел. В отличие от этого графики индикаторных отношений с участием Ba практически не реагируют на кулисный характер и строго монотонны. Аналогичная закономерность в поведении Ba характерна и для первичных ореолов других месторождений. На рис. 40 показан график изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности с участием Ba в первичных ореолах Гусляковского месторождения. Как видно, данный график также фиксирует строго монотонное уменьшение с глубиной это-

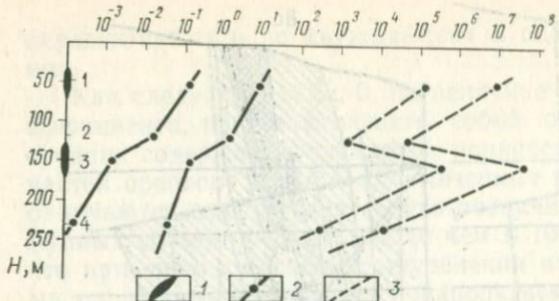


Рис. 39. Графики изменения с глубиной величин мультипликативных коэффициентов зональности (Стрежанское месторождение):

1 — рудное тело; графики коэффициентов: 2 — с участием Ва ($\frac{\text{Ag} \cdot \text{Ba} \cdot \text{Pb}}{\text{Cu}^2 \cdot \text{Zn}}$; $\frac{\text{Ba} \cdot \text{Pb}}{\text{Cu} \cdot \text{Zn}}$); 3 — без участия Ва; 1—4 — горизонты опробования

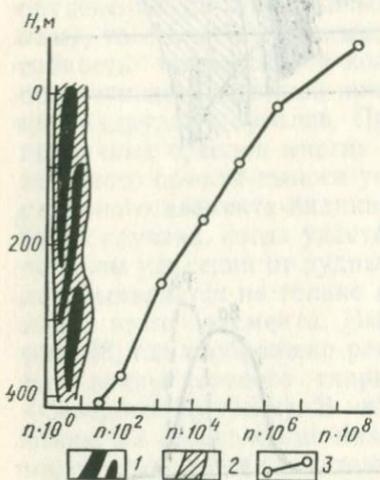


Рис. 40. График изменения с глубиной величины мультипликативного коэффициента зональности (Гусляковское месторождение):

1 — рудные тела; 2 — рудоносная зона; 3 — график коэффициента

го коэффициента, несмотря на сложное кулисное строение рудноносной зоны. Обращает на себя внимание исключительная контрастность рассматриваемого коэффициента зональности (на глубине не более 500 м величина коэффициента монотонно уменьшается более чем на семь порядков), что обеспечивает высокую надежность использования этого коэффициента для оценки уровня эрозионного среза рудоносной зоны в целом.

Графики любых других коэффициентов без участия Ва характеризуются резкими перегибами, фиксирующими появление на глубине новых рудных кулис. Описанная особенность зонального распределения Ва, впервые выявленная на полиметаллических месторождениях, автором и И. В. Гольдмахером установлена также для одного из золоторудных месторождений Сибири (рис. 41). Это позволяет считать, что отмеченная закономерность проявлена более широко и, по-видимому, характерна для эндогенного рудообразования в целом. Данное обстоятельство резко повышает роль Ва как индикатора зональности и ставит на повестку дня усиление работ по детальному изучению особенностей

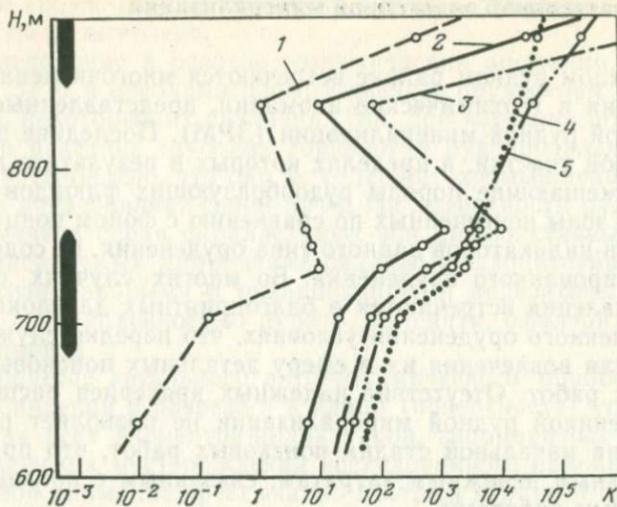


Рис. 41. Графики изменения величин мультипликативного коэффициента зональности первичных ореолов:

$$1 - \frac{\text{Ag} \cdot \text{Zn} \cdot \text{As}}{\text{Ni} \cdot \text{Mo} \cdot \text{F}}; 2 - \frac{\text{Ag} \cdot \text{Zn} \cdot \text{As}}{\text{Cu} \cdot \text{Sn} \cdot \text{Mo}}; 3 - \frac{\text{Zn} \cdot \text{Ag} \cdot \text{As}}{\text{Sn} \cdot \text{Mo}^2}; 4 - \frac{\text{Zn} \cdot \text{Ba} \cdot \text{Mn}}{\text{Ni} \cdot \text{Mo} \cdot \text{F}}; 5 - \frac{\text{Zn} \cdot \text{Ba}^2}{\text{Ni} \cdot \text{Mo} \cdot \text{F}}$$

ностей распределения этого элемента в геохимических ореолах эндогенных рудных месторождений различных типов.

Специфическое распределение Ва не случайно и определяется тем, что его единственный в рудных месторождениях и их ореолах минерал представлен баритом, который характеризуется ретроградной растворимостью в воде. Начинается она с 250 °C [5]. Это означает, что поведение Ва в ореолах не будет отличаться от других элементов только на месторождениях, сформировавшихся при температуре ниже 250 °C. Если же месторождение формировалось при более высокой температуре (к ним относится большинство эндогенных месторождений), то с понижением ее (ниже 250 °C) барит вновь растворяется и переотлагается в более холодных участках околодрудных пород, т. е. в первичных ореолах. Нет сомнений, что первоначально Ва, подобно другим надрудным элементам (Sb, Ag и др.), образовывал надрудные ореолы над каждым из кулисно расположенных рудных тел, но потом, по мере понижения температуры, вновь растворялся и переотлагался в более удаленных верхних частях рудоносных зон, формируя своеобразные «шапки» над рудоносной зоной.

Заканчивая рассмотрение особенностей геохимических аномалий выноса, отметим, что изучение этой группы аномалий только начато. Описанные примеры лишь частично освещают рассматриваемую проблему, однако они уже сейчас имеют большое теоретическое и практическое значение.

9. Зоны рассеянной эндогенной минерализации

В каждом рудном районе встречаются многочисленные рудо-проявления и геохимические аномалии, представленные зонами рассеянной рудной минерализации (ЗРМ). Последние представляют собой участки, в пределах которых в результате воздействия на вмещающие породы рудообразующих флюидов сформировались зоны повышенных по сравнению с фоном концентраций элементов-индикаторов данного типа оруденения, не содержащие концентрированного оруденения. Во многих случаях подобные рудо-проявления встречаются в благоприятных для локализации промышленного оруденения условиях, что нередко служит основанием для вовлечения их в сферу детальных поисковых и разведочных работ. Отсутствие надежных критериев расшифровки зон рассеянной рудной минерализации не позволяет разбраковать их на начальной стадии поисковых работ, что приводит к значительным денежным затратам, связанным с последующими детальными работами.

ЗРМ особенно «опасны» при геохимических поисках слепого оруденения. Как известно, поиски слепых рудных тел и месторождений ведутся путем выявления их надрудных геохимических ореолов, которые, как и ЗРМ, характеризуются низкими, обычно субкларковыми концентрациями элементов-индикаторов, а также сходством ряда других особенностей. Все это приводит к ошибкам при интерпретации результатов опробования. При сравнительном изучении особенностей первичных ореолов промышленного гидротермального оруденения и ЗРМ установлены некоторые геохимические различия этих образований, которые можно использовать при оценке перспектив рудоносности выявленных геохимических аномалий.

Рассмотрим геохимические особенности ЗРМ на примере полиметаллических месторождений Рудного Карамазара (Таджикистан). Типоморфными для Рудного Карамазара являются полиметаллические месторождения жильного типа, залегающие в вулканогенных породах кислого состава. Все известные здесь полиметаллические месторождения сопровождаются первичными ореолами широкого круга химических элементов. В строении ореолов выявлена отчетливая вертикальная зональность, которая выражается в закономерной дифференциации элементов в оклорудном пространстве: наиболее широкие и интенсивные ореолы Ba и Ag развиваются в верхних частях рудоносных зон; с глубиной ореолы этих элементов сужаются при одновременном расширении ореолов других элементов — Ca, Cu, Bi, Mo, W.

Сравнение результатов геохимического опробования коренных пород на участках развития зон рассеянной минерализации и ореолов промышленного оруденения показало, что эти типы аномалий характеризуются идентичным элементным составом, а также близкими концентрациями элементов-индикаторов. В мор-

фологии аномалий, оконтуренных в плане, существенных различий также не выявлено.

Исследование в разрезе геохимических аномалий, представленных ЗРМ и ореолами промышленного оруденения, позволило выявить некоторые их различия. Так, при изучении поверхности, а также разведке глубоких горизонтов рудопроявления Кокчегиртке установлено, что оно не содержит промышленного оруденения и представляет собой ЗРМ. На поверхности рудопроявления намечена серия параллельных зон дизъюнктивных нарушений, фиксируемых лимонитизированными, хлоритизированными, серicitизированными и окварцованными андезитовыми порфиритами с вкрапленностью пирита, галенита, сфалерита и редко халькопирита.

В процессе детального литогеохимического опробования на рудопроявлении в разрезе и в плане (поверхность) установлены аномалии всех элементов-индикаторов, типоморфных для полиметаллических месторождений исследованного района. Обращает на себя внимание чрезвычайно пестрый характер выявленных по разрезу аномалий, обусловленный наличием серии разрозненных аномальных полей элементов. Основная рудоносная зона, в отличие от ореолов промышленного оруденения, не фиксируется полями максимальных концентраций элементов-индикаторов. Эта особенность особенно отчетливо проявлена в строении суммарных аддитивных аномалий. Кроме того, для аномалий описываемого разреза характерно практически полное отсутствие вертикальной зональности в их строении. Нет сколько-нибудь заметной дифференциации и в распределении над- и подрудных элементов. Вертикальная зональность не обнаружена и в строении аддитивных ореолов, а также в строении аномалий, оконтуренных по величине аддитивного показателя (отношение по каждой пробе сумм содержаний над- и подрудных элементов в единицах фона).

В отличие от ЗРМ в ореолах, сопровождающих концентрированное промышленное оруденение, постоянно устанавливаются контрастная вертикальная (осевая) зональность, подробно уже рассмотренная нами, а также поперечная зональность. Последняя отчетливее проявлена в строении ореолов, оконтуренных по величине аддитивного показателя, и выражается в приуроченности поля максимальных значений аддитивного показателя к рудоносной зоне, в отличие от ЗРМ, в пределах которых рудоносные зоны по величине аддитивного показателя не выделяются.

Отличие описанных ЗРМ от ореолов промышленного оруденения по характеру зональности подтверждается данными соответствующих расчетов (табл. 10).

Изменение с глубиной величины отношения линейных продуктивностей не существенно (не выходит за пределы точности расчетов), что свидетельствует об отсутствии в строении ЗРМ отчетливой вертикальной зональности. Установлено, что по абсолютной величине индикаторного отношения любое из исследо-

Таблица 10

Величины отношения линейных продуктивностей аддитивных аномалий

Тип аномалий	Название участка	Местоположение аномалий	Отношение линейных продуктивностей $\frac{\text{Ba} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Pb}}{\text{Cu} + \text{Bi} + \text{Co}}$
Зоны рассеянной рудной минерализации (ЗРМ)	Рудопроявление Кокчегиртке	Поверхность (гор. 1490) Скв. 873 (гор. 1400)	1,2 1,3
	Участок Оперяющий	Поверхность (гор. 1450) Скв. 885 (гор. 1350)	1,7 2,2
Первичные ореолы на уровне нижних частей промышленного оруденения	Месторождения: Каптархона Канимансур Тарыэкан	Поверхность, профиль IV—IV (гор. 1550) Скв. 659 Скв. 79	1,4 1,1 0,81

ванных сечений ЗРМ соответствует первичным геохимическим ореолам, развитым на уровне нижних частей промышленного оруденения (см. табл. 10).

Как уже отмечалось, различия между ЗРМ и ореолами промышленного оруденения устанавливаются особенно четко, если построить аномалии по величине аддитивного показателя, который представляет собой рассчитанное по каждой пробе отношение сумм содержаний (в единицах геохимического фона) приведенных выше групп элементов-индикаторов. На примере ряда месторождений выяснено, что максимальными значениями аддитивного показателя фиксируются рудные тела, по мере удаления от которых в стороны висячего и лежачего боков закономерно уменьшается величина этого показателя. В результате в строении околоврудных ореолов появляется контрастная поперечная зональность, наряду с которой устанавливается и вертикальная зональность, выражаясь в отчетливом сдвиге вверх по разрезу полей максимальных значений аддитивного показателя.

В ЗРМ наблюдается другая картина: в фиксирующих их аномалиях вертикальная зональность практически отсутствует, а поперечная отлична от зональности ореолов промышленного оруденения — в ЗРМ контрастного возрастания аддитивного показателя к центру аномалий не наблюдается.

Аналогичные особенности установлены и в ЗРМ, сопровождающих другие по составу и условиям формирования рудные ме-

сторождения (оловорудные, золоторудные, ртутные и др.). В Кончочском рудном районе отчетливые различия первичных ореолов промышленного (концентрированного) оруденения и ЗРМ обнаружены с помощью мультиплекативного показателя, рассчитанного для групп верхнерудных (Sb, Hg, As, Ag) и подрудных элементов (Cu, Bi, W, Zn). Мультиплекативный показатель представляет собой отношение произведений содержаний над- и подрудных элементов и аналогично аддитивному показателю рассчитывается по каждой пробе. Специальными исследованиями установлено, что при изучении геохимических аномалий использование аддитивного и мультиплекативного показателей дает одинаковые результаты. Однако предпочтительнее мультиплекативный показатель, поскольку при его расчете отпадает необходимость в нормировании содержаний элементов через фон.

В ореалах, сопровождающих промышленное ртутное оруденение, по указанным показателям намечается четкая вертикальная зональность, которая выражается в сдвиге вверх, в надрудную часть разреза, поля максимальных значений мультиплекативного показателя. В отличие от этого в строении аномалий, фиксирующих ЗРМ (участок Чальбои), полностью отсутствует как вертикальная, так и горизонтальная зональность. Примечательно, что и в этом случае ЗРМ по величине индикаторного отношения отвечает уровню нижних частей промышленного ртутного оруденения (рис. 42).

Глава II

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ

Исследования показывают, что большое практическое значение первичных геохимических ореолов определяется прежде всего их зональностью, используемой в качестве одного из важнейших критериев оценки геохимических аномалий. Однако известно, что геохимическая зональность — характернейшая особенность не только первичных ореолов, но и самих месторождений. Можно вспомнить хорошо известную зональность полиметаллических месторождений, выражающуюся в смене с глубиной свинцовых руд цинковыми. Именно сравнительное рассмотрение этих двух типов зональности позволит внести необходимую ясность в оценку практического значения критерия зональности в целом.

В гл. I были рассмотрены основные особенности первичных геохимических ореолов различных типов месторождений. Следует отметить, что ретроспективный взгляд в историю развития работ по первичным геохимическим ореолам позволяет отметить определенную методологическую «узость» изучения первичных ореолов: имеется в виду несколько «изолированный» характер их изучения. С целью скорейшего выявления «сквозных» для

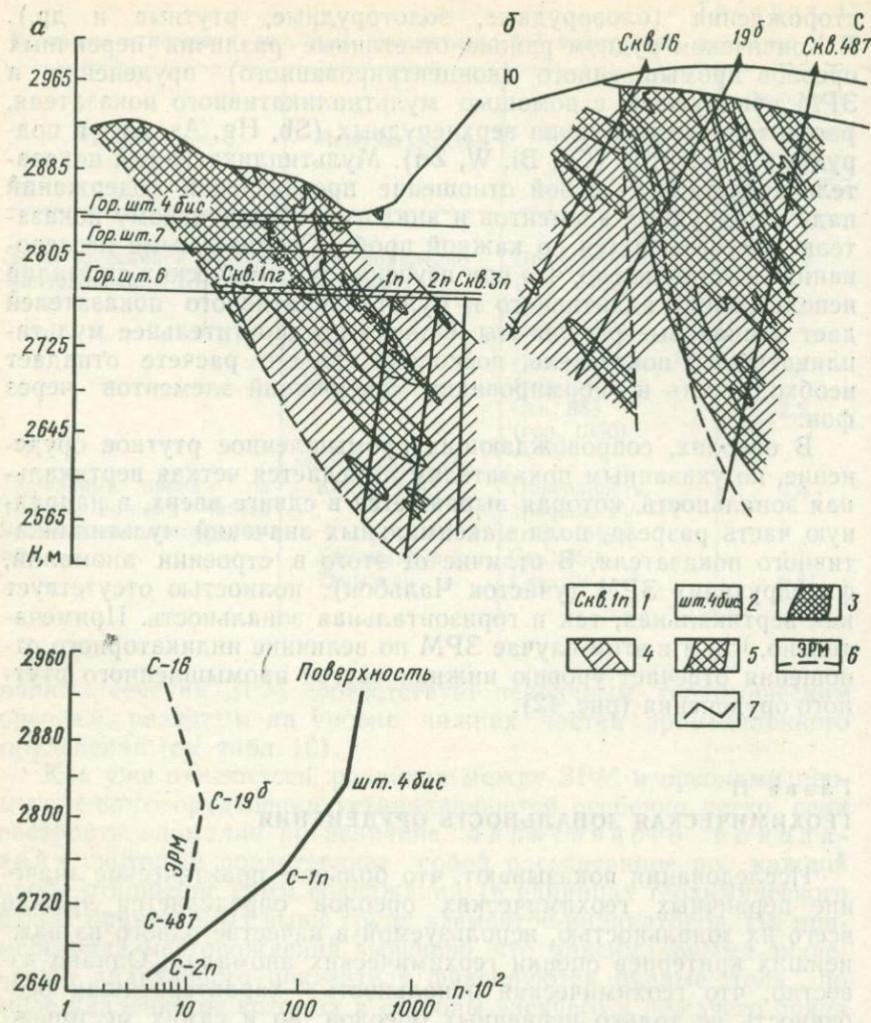


Рис. 42. Изменение величины мультипликативного показателя по разрезам через слепое промышленное оруденение (рутное месторождение Кончоц), зону рассеянной ртутной минерализации (а) и графики изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности (б):

1 — скважины; 2 — штольни; 3 — рудные тела; 4, 5 — значения мультипликативного показателя: 4 — от 1 до 100 (а), от 0,0001 до 0,1 (б), 5 — более 100 (а), более 1 (б); 6 — график зоны рассеянной минерализации, 7 — график первичных ореолов промышленного оруденения

многих месторождений особенностей первичных ореолов (используемых в качестве поисковых критериев) на многих месторождениях проводилось изучение только первичных ореолов без комплексного исследования месторождений в целом.

Такой подход, обусловленный стремлением исследователей ускорить разработку и внедрение в производство весьма актуальной методики поисков слепого и слабоэродированного оруденения по его первичным геохимическим ореолам, был весьма эффективен в прежние годы, однако в настоящее время он не может быть признан достаточно рациональным. Прежде всего следует отметить чрезвычайно ограниченное применение при изучении и практическом использовании первичных ореолов (как и при литогеохимических поисках вообще) высокочувствительных прецизионных методов анализа. Как уже отмечалось, изучение первичных ореолов в основном велось с помощью экспрессного спектрального анализа, который, несмотря на свои очевидные преимущества, не может быть единственным аналитическим методом, ибо его чувствительность на многие важные индикаторы не удовлетворительна. Вот почему поиск новых нетрадиционных элементов-индикаторов — важнейшее направление геохимического изучения рудных месторождений.

Для подтверждения плодотворности этого направления приведем пример установления Р. Ивлевым и автором на медно-порфировых месторождениях Казахстана (Актогай и др.) первичных геохимических ореолов такого «экзотического» для геохимических поисков элемента-индикатора, каким является Se, образующий на этих месторождениях отчетливые верхнерудные первичные ореолы. Другой необычный для геохимических ореолов элемент — Te исследован автором на Кафанской группе медно-полиметаллических месторождений. Установлено, что элемент также тяготеет к верхним частям окорудных ореолов и служит тем самым индикатором надрудных частей ореолов. Отчетливые надрудные ореолы Te установлены автором и А. К. Сагателяном и на одном из золоторудных месторождений Армении. В геологическом строении исследованного месторождения участвуют метаморфические, вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные породы палеозоя, мела, эоцен, миоплиоцен, прорванные разновозрастными интрузивными образованиями. Рудовмещающие породы представлены сиенитами, кварцевыми диоритами и порфиритами.

По морфологическим особенностям выделяют простые и сложные жилы: первые приурочены к изолированным трещинам, вторые — к субпараллельным трещинам, зонам дробления и рассланцевания пород. Большинство жил локализуется в сколовых нарушениях; контакты их с вмещающими породами четкие, обычно с глинкой трения. Характерная особенность жил — наличие пережимов и раздузов. Рудные тела на 90—95 % представлены жильными минералами, остальные составляют сульфиды, сульфосоли, теллуриды, оксиды и др. Оруденение отличается крайне неравномерным распределением компонентов. Среди минералов отличаются ширит, сфалерит, галенит, халькопирит, марказит, самородное золото, теннантит, тетраэдрит, висмутин. Из теллуридов развиты: алтait, сильванит, калаве-

рит, креннерит, гессит, петцит, эмпрессит, колорадоит, нагиатит, теллуро-висмутит. Редко встречаются аргентит, витихенит, эмплетит, пирротин, арсенопирит, молибденит, киноварь, ковелин, халькозин, борнит, самородное серебро. Главные элементы руд — Fe, Zn, Pb, Cu, As, Sb, Au, Ag, Te, Bi; второстепенные — Mo, Hg, Cd, Li, Ga, Be, V, Ti, Ni, Co.

Количественный спектральный анализ, выполненный в лаборатории ИГН АН Армении Г. М. Мкртчяном с чувствительностью 0,001 %, показал высокие содержания Te как в пробах и концентрате тяжелых фракций, так и в мономинеральных фракциях: пирит — 0,029, сфалерит — 0,1, халькопирит — 0,04, блеклая руда — 0,01—0,3, галенит — 1,26 %.

Характерная особенность жильных тел, залегающих в интрузивных породах, — развитие вокруг них слабоинтенсивных первичных геохимических ореолов.

Особенности распределения химических элементов по вертикали изучались по уже описанной методике. Кроме рядовых геохимических проб, исследованы результаты анализов на широкий круг химических элементов (в том числе на Te), а также мономинеральные фракции типоморфных минералов — сфалерита и галенита. Рассчитанные ряды зонального отложения (по вертикали) элементов-индикаторов приведены в табл. II.

Как видно из приведенных рядов, несмотря на определенные перемещения в них отдельных элементов, Te стабильно занимает место в конце рядов — в группе верхнерудных элементов. Это позволило считать его характерным индикатором верхнерудных сечений.

Обобщение результатов изучения состава и строения первичных геохимических ореолов различных месторождений показывает, что значение первичных ореолов не исчерпывается лишь поисковыми аспектами. Очевидно и большое геолого-генетическое их значение. В связи с этим целесообразно рассмотреть понятие «рудное месторождение». Опыт изучения первичных ореолов рудных месторождений показывает, что месторождение

Таблица II

Ряды зонального отложения элементов-индикаторов

Анализируемый материал	Ряды вертикальной зональности
Геохимические пробы	Ti, Be, Ni, Co, As, Sb, Cd, V, Hg, Ga, Zn, Bi, Sr, Mo, Li, Cr, Pb, Cu, Te, Ag
Сфалерит	Co, Ti, Bi, Sb, As, La, Cd, Sn, V, Mo, Ga, Pb, Cu, Te, Ag
Галенит	Bi, Ga, Ti, Sb, Co, Sn, La, Cd, Mo, Zn, Ag, V, Te, As, Cu

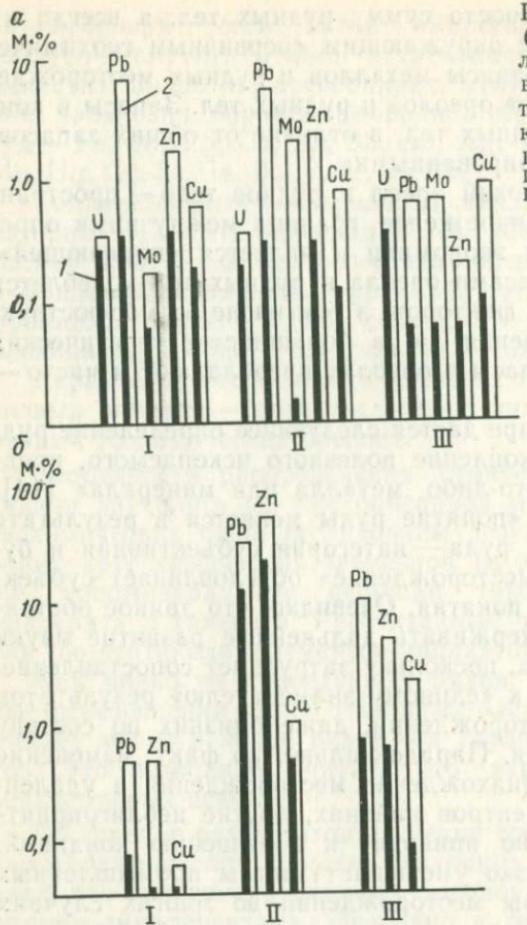
представляет собой не просто сумму рудных тел, а всегда их обязательное сочетание с окружающим «первичным геохимическим ореолом». Общие запасы металлов в рудных месторождениях слагаются из запасов ореолов и рудных тел. Запасы в контурах промышленных рудных тел, в отличие от общих запасов, можно назвать «концентрированными».

Первичный геохимический ореол и рудное тело — пространственно и генетически единое целое, граница между ними определяется соображениями экономики и является «плавающей». Соотношение между запасами ореола и рудных тел колеблется в зависимости от многих факторов, в том числе от морфоструктурного типа месторождения, но в большинстве генетических типов месторождений запасы в ореолах преобладают и часто — значительно (рис. 43).

В геологическом словаре дается следующее определение рудного месторождения: «Скопление полезного ископаемого, представленного рудой какого-либо металла или минерала» [14]. Там же отмечается, что «понятие руды меняется в результате прогресса техники», т. е. руда — категория субъективная и будучи основой понятия «месторождение» обуславливает субъективный характер и этого понятия. Очевидно, что данное обстоятельство не может не сдерживать дальнейшее развитие науки о рудных месторождениях, поскольку затрудняет сопоставление, обобщение и приведение к «единому знаменателю» результатов изучения различных месторождений, даже близких по составу и условиям формирования. Парадоксально, но факт: изменение экономических условий (нахождение месторождения в удаленных от промышленных центров районах, другие неблагоприятные факторы) немедленно приводит к повышению кондиций, а это в свою очередь резко уменьшает запасы промышленных руд и сокращает размеры месторождений во многих случаях до полного их «исчезновения». К отмеченному особенно чувствительны медно-порфировые месторождения, так как они отличаются низкими концентрациями промышленно-ценных компонентов и значительными размерами. Даже небольшие изменения кондиций существенно изменяют запасы и размеры месторождений. Известно, что месторождения данной группы разрабатываются открытым способом; очевидно, что эти же месторождения в слепом залегании уже как бы перестают быть таковыми, ибо разработка их более дорогостоящим подземным способом становится нерентабельной.

В связи с этим возникает настоятельная необходимость изучения месторождений в пределах объективных, количественно строго оцениваемых контуров. По нашему мнению, оптимальным решением было бы включение первичных ореолов в состав месторождения, что расширило бы границы месторождения до объективно существующих границ — внешних контуров первичных геохимических ореолов. Очевидно, что включение первичных ореолов в понятие «месторождение» обеспечит по-

Рис. 43. Сопоставление запасов (метропроценты) в рудных телах (1) и ореолах (2) уранового (а) и скарново-полиметаллического (б, Алтын-Топкан) месторождений на уровне:
I — верхних частей рудных тел;
II — средней части рудных тел;
III — нижних частей рудных тел



следнему объективный характер, поскольку границы первичных ореолов (периферийные части месторождения) в отличие от руд имеют объективный характер и от экономической конъюнктуры не зависят.

Каждая научная дисциплина, как известно, определяется объектом изучения и методологией, которая по мере развития и становления самой научной дисциплины постоянно совершенствуется. Следует отметить, что в настоящее время не существует более или менее общепринятой методики изучения рудных месторождений, и это обстоятельство существенно затрудняет обобщение результатов изучения месторождений различными исследователями.

Создание единой и общепринятой методики изучения рудных месторождений не исключает дальнейшего развития и совершенствования методологии и методов изучения рудных месторождений: речь идет о едином методологическом подходе к изу-

чению различных рудных объектов с целью получения сопоставимых данных, соответствующая обработка которых позволит решить разнообразнейшие вопросы изучения месторождений. Конкретные же методы и методики, безусловно, должны постоянно совершенствоваться и модифицироваться.

Реализация предложения о признании первичных геохимических ореолов составной частью месторождений, как нам представляется, должно означать существенное изменение методологии изучения месторождений в целом, имея в виду прежде всего принятие за основу этой методологии методику изучения первичных геохимических ореолов. Речь по существу идет о рациональной методике геохимического моделирования рудных месторождений, т. е. изучения геохимических особенностей месторождения, включающего в себя как собственно рудные тела и их первичные геохимические ореолы (ореолы микрокомпонентов), так и метасоматические ореолы (ореолы макрокомпонентов).

С теоретической и с практической точки зрения наиболее примечательная геохимическая особенность рудных месторождений — их геохимическая зональность, поэтому важнейшие задачи геохимического моделирования месторождений — выявление и характеристика на количественном уровне закономерностей пространственного (зонального) распределения различных химических элементов. Весьма убедительным примером слияния первичных ореолов и месторождений могут служить упомянутые ранее медно-порфировые месторождения, где из-за низких кондиций полезных компонентов первичные ореолы по существу превратились в руды и где практически невозможно провести границы между рудными телами и окаймляющими их первичными геохимическими ореолами. Именно поэтому на этих месторождениях геохимическая зональность первичных ореолов и самого месторождения суть одно и то же. Геохимическая зональность медно-порфировых месторождений в целом изучена недостаточно, однако имеющиеся в настоящее время данные однозначно показывают, что и этим весьма сложным по условиям локализации месторождениям свойственна пространственная геохимическая зональность, в том числе контрастная вертикальная (осевая). Последняя весьма удовлетворительно согласуется с приведенным нами (см. гл. I) обобщенным рядом зонального отложения химических элементов. Для иллюстрации этого положения на рис. 44 даны графики изменения с глубиной величин мультиплективных коэффициентов зональности, рассчитанных по результатам выполненного Р. Р. Ивлевым и автором геохимического моделирования медно-порфирового месторождения Кызылкия (Актогайское рудное поле, Казахстан).

Месторождение Кызылкия в форме минерализованного штокверка локализовано в Колдарском интрузивном массиве, породы которого представлены непрерывным рядом от габбро до гранитов. Месторождение имеет блоковое строение, обуслов-

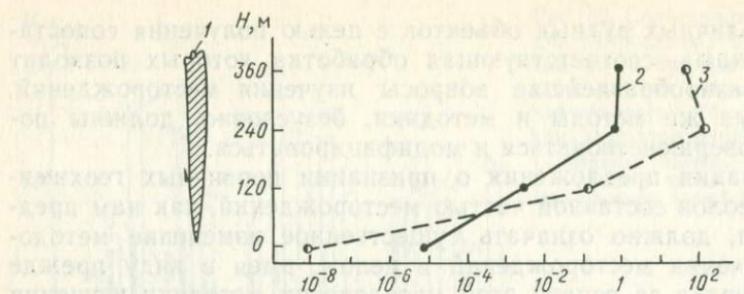


Рис. 44. Изменение с глубиной величин мультиплекативных коэффициентов зональности:

1 — рудное тело; мультиплекативные коэффициенты: 2 — $\frac{\text{Zn} \cdot \text{Sb}}{\text{Cu} \cdot \text{Mo}}$; 3 — $\frac{\text{Zn}^2 \cdot \text{Pb}}{\text{Cu} \cdot \text{Mo} \cdot \text{Ag}}$

ленное разрывными дислокациями. На месторождении промышленно ценными являются сульфидные руды, представленные прожилково-вкрашенными и брекчиями (в меньшей степени) разностями. Локализация оруденения происходила в несколько стадий, обусловивших развитие на месторождении семи устойчивых минеральных ассоциаций: пирит-халькопиритовой, пирит-молибденит-халькопиритовой, халькозин-борнитовой, пирит-серпентитовой, галенит-сфалеритовой, пренит-халькопиритовой и цеолит-карбонатной. В промышленном отношении наиболее важные пирит-молибденит-халькопиритовая, пренит-халькопиритовая и халькозин-борнитовая.

Как видно из рис. 44, на описываемом месторождении с помощью мультиплекативных коэффициентов выявляется весьма контрастная геохимическая зональность: величина мультиплекативного коэффициента второго порядка на глубине менее чем 400 м уменьшается более чем на пять порядков, а коэффициента третьего порядка — почти на девять порядков.

Наряду с изучением особенностей пространственного распределения микроэлементов (первичных геохимических ореолов), изучение месторождений по единой методике должно включать в себя также объемное изучение окаторудных изменений (первичные ореолы макрокомпонентов). Его можно проводить с помощью как геохимических (анализ проб на макрокомпоненты — ведущие элементы минералов метасоматических новообразований), так и минералогических методов (количественная оценка содержаний различных минералов в специально отобранных пробах — минералогический анализ и образцах — подсчет в шлифах). В строении метасоматических ореолов обычно устанавливается отчетливая пространственная зональность, которая по контрастности в ряде случаев превосходит геохимическую зональность первичных ореолов микроэлементов. Для иллюстрации этого положения в табл. 12 приведены величины мультиплекативных коэффициентов зональности, рассчитанных по ре-

Таблица 12

Величины мультиликативных коэффициентов зональности

Номер горизонта опробования и его глубина	$K_1 = \frac{\text{флюорит}\cdot\text{карбонаты}}{\text{кварц}\cdot\text{хлорит}}$	$K_2 = \frac{\text{Pb}\cdot\text{Zn}\cdot\text{Ag}}{\text{Cu}\cdot\text{Bi}\cdot\text{W}}$
I — 580 м	0,52	14 851
IV — 450 м	0,01	12 635
VI — 370 м	0,004	5293
<i>Коэффициент контрастности</i>	130	2,8

зультатам исследования проб, отобранных на Арсеньевском оловорудном месторождении (Приморье). Отчетливая зональность установлена в изменении соотношений содержаний жильных минералов. Зональность фиксируется с помощью мультиликативного коэффициента метасоматической зональности. Как показывает сравнение, геохимическая зональность в данном случае по контрастности уступает метасоматической. Этот пример свидетельствует, что простое заимствование методического приема, разработанного для изучения первичных ореолов, позволяет получить строго определенные количественные данные о зональности окорудных изменений рудовмещающих пород.

Следует, конечно, иметь в виду трудоемкость минералогических исследований, особенно выделения мономинеральных фракций и количественного минералогического анализа. Очевидно, что в данном случае внедрение в производство рассмотренных методик станет реальным только при условии разработки экспрессных методов минералогических исследований. В связи с этим следует ставить вопрос о более широком использовании при изучении рудных месторождений фазового рентгеновского анализа, подобно тому как это выполнено на медно-порфировом месторождении Сан-Маньюель (шт. Аризона, США), где по результатам рентгенодифрактометрических анализов линиями изоконцентраций оконтурены отчетливые окорудные ореолы развития серицита, кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза, из рудных минералов — пирита [47].

Одно из перспективных направлений в приложении методов исследования первичных ореолов к изучению самих месторождений — выявление и оконтуривание ореолов окорудных изменений рудовмещающих пород методом геохимического опробования (наряду с традиционным микроскопическим и рассмотренным ранее минералогическим методами. В качестве подобного примера рассмотрим результаты работ, выполненных Л. Н. Бельчанской и автором на одном из месторождений золото-серебряной формации.

Описываемое месторождение расположено на южном замыкании крупной вулкано-тектонической депрессии в зоне глубинного разлома широтного направления и приурочено к структуре проседания (палеокальдеры). В строении палеокальдеры участуют стратифицированные осадочно-вулканогенные отложения и субвулканические образования мелового возраста. Обрамление и основание палеокальдеры слагают нижнемеловые туфогенно-осадочные породы и вулканиты среднего состава, прорванные в северной части площади месторождения платигранит-порфирами и кварцевыми диоритовыми порфиритами. Центральная часть палеокальдеры выполнена верхнемеловыми туфами кислого состава и игнимбритами.

Вдоль разломов, разделяющих внутреннюю часть кальдеры и ее обрамление, в восточной и северной частях расположено экструзивное тело риолито-дацитов и брекчий андезитов. Оруденение локализовано в зонах сочленения крутопадающих разломов и пологих полукольцевых нарушений по обрамлению палеокальдеры. Рудные тела на месторождении представлены крутопадающими жилами кварцевого, адуляр-кварцевого, кварц-карбонатного, карбонат-цеолит-кварцевого и кварц-сульфидного составов. Основную массу жильного выполнения составляют кварц, адуляр и кальцит; в подчиненном количестве присутствуют гидрослюдя, хлориты, железистые и магнезиальные карбонаты, монтмориллониты и каолинит. На долю рудных минералов приходится 0,5—1,5 %. В составе руд месторождения в заметных количествах присутствует не более 10 минералов (пирит, сфалерит, халькопирит, фрейбергит, теннантит и др.).

Геохимическими исследованиями установлено, что рудные тела месторождения сопровождаются первичными ореолами многих элементов. Наиболее интенсивные и протяженные ореолы образуют Au и Ag. В строении первичных ореолов обнаружена отчетливая вертикальная (осевая) зональность, которая в общем виде проявлена в приуроченности Au, Ag, As, Sb, Hg и Ba к верхним горизонтам месторождения, а Mo, Cu, Sn, Pb, Zn, W — к нижнерудным — подрудным горизонтам (рис. 45—47). Как видно из рис. 48, монотонность изменения коэффициента геохимической зональности нарушается на уровне верхних четырех горизонтов с промышленным оруденением. Подобное поведение коэффициента, естественно, существенно осложняет надежную идентификацию уровня эрозионного среза рудопроявлений (эрзиеи вскрытое промышленное оруденение).

Наряду с первичными геохимическими ореолами уже упомянутых микроэлементов, на месторождении исследованы также измененные породы, представленные кварц-адуляр-гидрослюдистыми метасоматитами. Как уже отмечалось, околоврудные изменения минерального состава рудовмещающих пород могут быть установлены визуально, при микроскопическом изучении пород, а также геохимическим путем — установление особенностей распределения в околоврудном пространстве химических

Геологический разрез

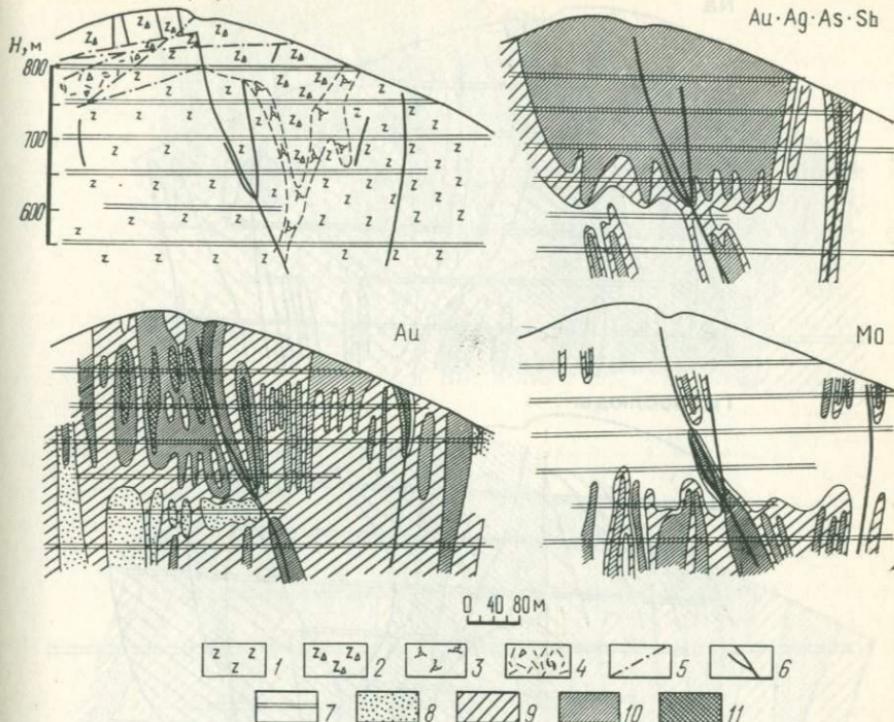


Рис. 45. Первичные ореолы элементов в разрезе:

1 — дайки; 2 — автомагматические брекции андезитов; 3 — гидротермальные брекчии; 4 — туфобрекчии; 5 — тектонические нарушения; 6 — рудные тела; 7 — опробованные горные выработки; 8—11 — первичные ореолы (по возрастающей интенсивности)

элементов, типоморфных для подвергшихся изменениям минералов, а также минеральных новообразований. Геохимический способ изучения околоврудных изменений рудовмещающих пород — один из самых точных (количественно). Он позволяет выявить более значительные по размерам околоврудные ореолы и проследить внутреннюю их структуру (зональность).

В распределении щелочных металлов (см. рис. 46, 47), количественно отражающих околоврудные изменения вмещающих пород, проявленна отчетливая зональность: поля минимальных содержаний (вынос) Na характерны для верхних частей околоврудного пространства. Поведение K и Pb противоположно: поля максимальных содержаний приурочены к верхним частям разреза. Коэффициенты зональности ореолов щелочных металлов монотонно убывают с глубиной (табл. 13). Такое его поведение в данном случае позволяет рекомендовать совместное использование геохимической и метасоматической зональности. На рис. 48 показан комбинированный мультиплексный коэффициент,

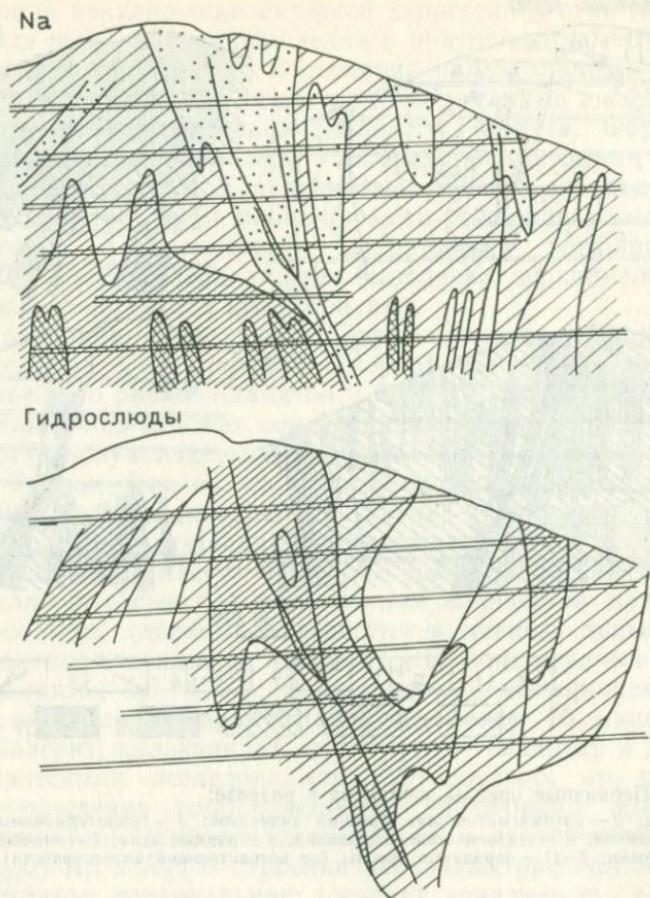


Рис. 46. Распределение Na и гидрослюд по разрезу.
Усл. обозначения см. на рис. 45

Таблица 13

Отношения содержаний элементов-индикаторов в метасоматитах

Уровень ореолов	K/Na	$\frac{K \cdot Li \cdot Pb}{Na \cdot Cs \cdot Sr}$
Верхнерудный	11,4	155,4
Среднерудный	6,3	83,4
Подрудный	1,1	8,3
Коэффициент контрастности	10,4	18,7

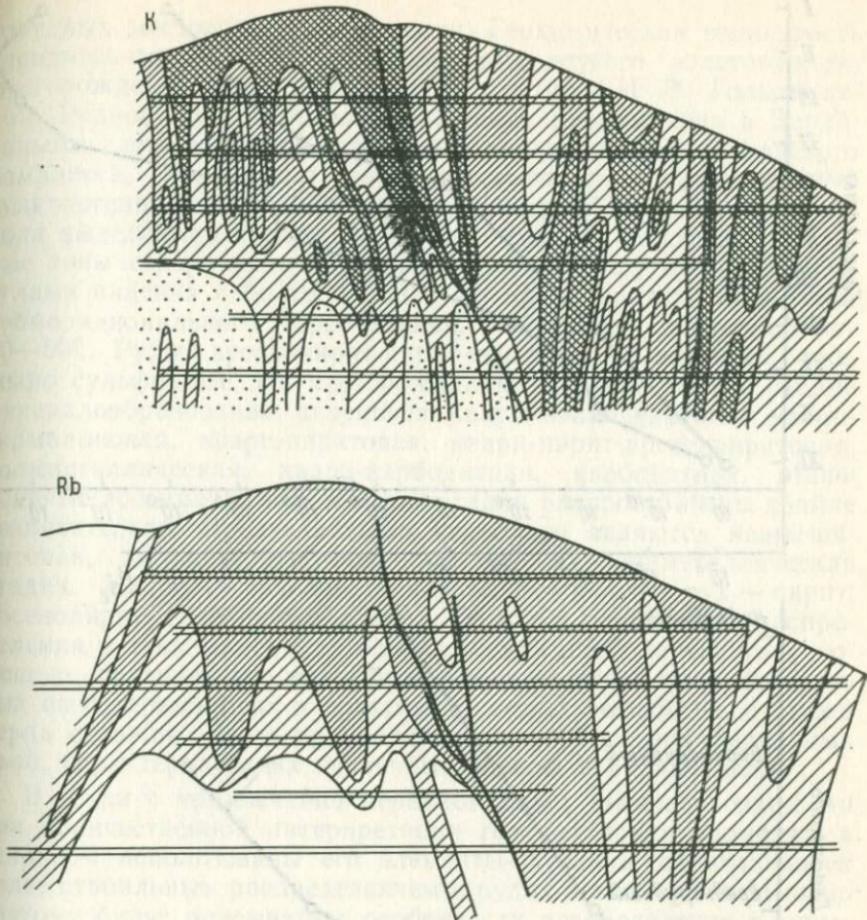


Рис. 47. Распределение К и Rb по разрезу.

Усл. обозначения см. на рис. 45

котором использованы и микроэлементы, и элементы-индикаторы метасоматических преобразований рудовмещающих пород. Как видно на рис. 48, коэффициент зональности с глубиной контрастно уменьшается (на изученном вертикальном интервале на десять порядков).

Рассмотренный пример, по нашему мнению, свидетельствует о значительных перспективах совместного изучения и применения при поисках и оценке рудных месторождений критериев, основанных на закономерностях состава и строения и геохимических, и метасоматических ореолов. При этом особенно важно изучение метасоматической зональности с использованием методических приемов, применяемых при изучении первичных геохимических ореолов.

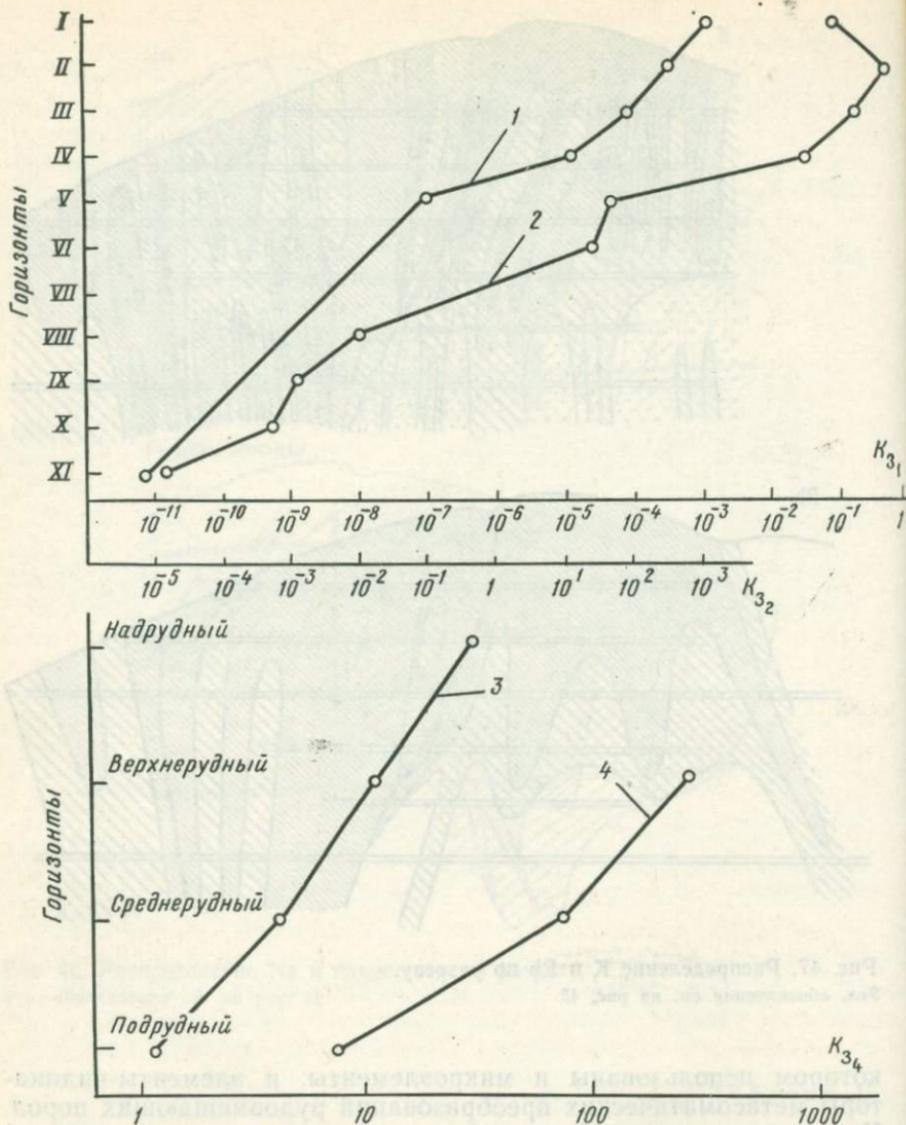


Рис. 48. Графики изменения с глубиной коэффициентов геохимической зональности:

$$1 - K_{32} = \frac{\text{Au} \cdot \text{Ag} \cdot \text{As} \cdot \text{K} \cdot \text{Li} \cdot \text{Rb}}{\text{Pb} \cdot \text{Cu} \cdot \text{Mo} \cdot \text{Sn} \cdot \text{Na} \cdot \text{Cs}}; 2 - K_{31} = \frac{\text{Au} \cdot \text{Ag} \cdot \text{As} \cdot \text{Sb} \cdot \text{Hg}}{\text{Pb} \cdot \text{Mo} \cdot \text{Sn} \cdot \text{Cu} \cdot \text{W}}; 3 - K_{33} = \frac{\text{K}}{\text{Na}}; 4 - K_{34} = \frac{\text{K} \cdot \text{Li} \cdot \text{Rb}}{\text{Na} \cdot \text{Cs} \cdot \text{Sr}}$$

Исследования показывают, что геохимическую зональность оруденения можно выявить не только по данным валового геохимического опробования руд и рудовмещающих пород, но и путем анализа на широкий круг элементов-примесей мономинеральных фракций различных минералов [10, 41]. Подобная зональность уже рассмотрена нами на примере одного из золотоносных месторождений.

торудных месторождений Армении. Геохимическая зональность элементов-примесей в минералах руд другого золоторудного месторождения изучена автором совместно с И. В. Гольдмахером. Рудное поле этого месторождения расположено в Забайкалье и сложено гранитоидами верхнеюрского амуджиканского комплекса, архейскими метаморфическими и нижнеюрскими вулканогенно-осадочными образованиями. В пределах рудного поля выделяются протяженные, относительно маломощные рудные зоны северо-восточного простираия с крутыми (60 — 90°) углами падения и более мощные, но менее протяженные зоны субмеридионального простираия, имеющие углы падения 30 — 50° . Руды арсенопирит-пирит-сфалерит-галенитовые, умеренно сульфидные. На месторождении выделено восемь стадий минералообразования: кварцевая, кварц-молибденитовая, кварц-турмалиновая, кварц-пиритовая, кварц-пирит-арсенопиритовая, полиметаллическая, кварц-карбонатная, карбонатная. Минеральные ассоциации первых трех стадий распространены крайне незначительно. Продуктивными на золото являются кварц-пиритовая, кварц-пирит-арсенопиритовая и полиметаллическая стадии. Наиболее распространенные минералы руд — пирит, арсенопирит, галенит и сфалерит. Состав и особенности распределения в этих минералах элементов-примесей изучались с помощью спектрального анализа мономинеральных проб, отобранных из поверхностных и подземных горных выработок, а также керна скважин. Всего проанализировано 187 мономинеральных проб, характеризующих первичные ореолы и рудные тела.

В связи с чрезвычайно неравномерным распределением Au при количественной интерпретации геохимических аномалий в основном использованы его элементы-спутники, отличающиеся более стабильным распределением в рудах и аномалиях. Именно поэтому будут описываться особенности распределения в минералах только элементов-спутников золота.

Пирит — наиболее распространенный рудный минерал на месторождении. Установлено, что от верхних горизонтов к нижним поведение элементов-примесей в пирите характеризуется закономерным уменьшением концентраций одних и возрастанием других, т. е. отчетливой геохимической зональностью, которой свойствен ряд особенностей.

1. Содержание Sb, Ag, Zn и Pb с глубиной достаточно резко уменьшается. Эта закономерность отчетливо видна на рис. 49, где в продольном вертикальном разрезе изображено изменение содержаний элементов-примесей в пирите. На разрезе нанесены точки пересечения плоскости рудной зоны с горной выработкой или скважиной, к которым отнесены содержания элементов-примесей, рассчитанные как средние арифметические по ряду проб, отобранных по данной выработке (скважине).

2. Содержания As, Cu, Mo, Sn, Ti, V с глубиной сохраняются примерно на одном уровне.

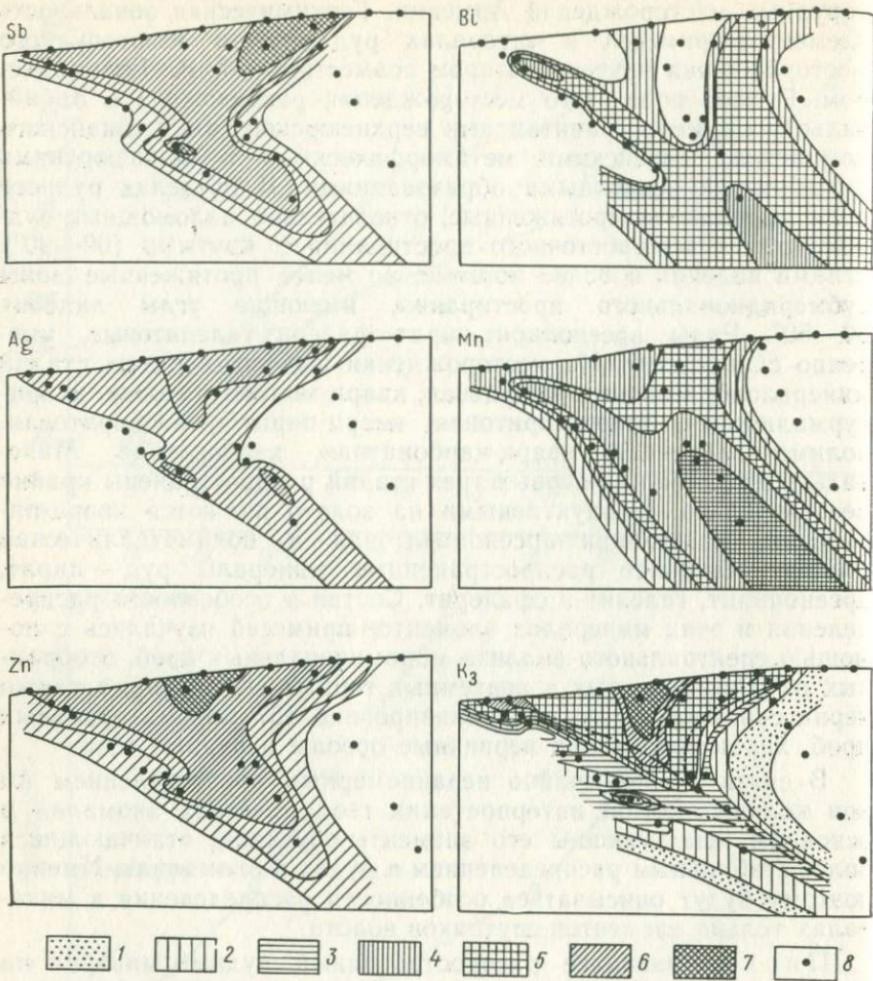


Рис. 49. Изменение средних содержаний элементов-примесей в пирите и мультиплексивного коэффициента зональности K_3 :

1—7 — поля различных значений средних содержаний элементов и коэффициента зональности (от низких до высоких); 8 — точки пересечения скважин с плоскостью рудной зоны

3. Содержания Bi и Mn с глубиной отчетливо возрастают.

В табл. 14 приведены ряды зональности элементов-примесей в рудных минералах; слева направо происходит закономерная смена подрудных (нижнерудных) элементов надрудными (верхнерудными).

Арсенопирит совместно с пиритом — основной рудный минерал главной продуктивной кварц-пирит-арсенопиритовой стадии. Вертикальная зональность в распределении элементов-примесей в арсенопирите выражается в том, что с глубиной

Таблица 14

Ряды зональности элементов-примесей в рудных минералах

Минерал-носитель	Ряды зональности элементов-примесей	Коэффициент контрастности мономинеральной зональности
Пирит	Ti, Ni, Co, Mo, Sn, Cu, Bi, Mn, V, As, Pb, Sb, Zn, Ag	$n \cdot 10^6$
Арсенопирит	Ti, Mn, Mo, Sn, Cu, Bi, Ag, Zn, Pb, Sb	$n \cdot 10^5$
Галенит	Ti, Mn, Bi, Ag, Mo, Sn, As, Cu, Zn, Sb	$n \cdot 10^5$
Сфалерит	Ti, Mn, Ag, As, Bi, Sn, Cu, Pb, Sb	$n \cdot 10^4$

Примечание. Коэффициент контрастности мультиминеральной зональности
 $K_{\text{мульт}} = (n \cdot 10^6) (n \cdot 10^5) (n \cdot 10^4) = n \cdot 10^{20}$.

содержания Sb, Pb, Ag и Zn понижаются, а Mo и Mn резко возрастают.

Галенит относится к главным рудным минералам полиметаллической минеральной ассоциации, которая наиболее широко развита в верхних частях рудных зон. Вертикальная зональность в распределении элементов-примесей проявляется в резком уменьшении с глубиной содержаний Zn и Cu и в возрастании содержаний Bi, Ti и Mn.

Сфалерит, как и галенит, относится к главным рудным минералам продуктивной полиметаллической минеральной ассоциации. Распределение элементов-примесей в сфалерите характеризуется следующими особенностями: наиболее высокие концентрации Sb, Pb и Sn устанавливаются на верхних горизонтах месторождения, а содержания Mn и As увеличиваются с глубиной.

Приведенные в табл. 14 ряды зональности элементов-примесей в рудных минералах имеют принципиальное сходство с описанным в гл. 1 обобщенным рядом вертикальной геохимической зональности первичных ореолов гидротермальных рудных месторождений.

Для иллюстрации особенностей вертикальной зональности в распределении элементов-примесей в минералах по разрезу оконтурены поля различных значений мультиплексивного коэффициента $\frac{\text{Sb-Zn}}{\text{Bi-Mn}}$ (см. рис. 49). Выбор этого коэффициента определяется тем, что на исследованном месторождении по существу только Bi и Mn — индикаторы глубоких уровней месторождения. Как следует из рис. 49, несмотря на низкий порядок выбранного коэффициента, с его помощью удается выявить весьма контрастную вертикальную зональность: величина коэффициента с глубиной (400—500 м) уменьшается бо-

лее чем в 1 млн раз. Для сравнения заметим, что контрастность зональности, выявленной по этому же коэффициенту в строении первичных ореолов (оконтуренных по валовым анализам рядовых геохимических проб), не превышает десятков тысяч, т. е. контрастность зональности по элементам-примесям более чем на два порядка выше.

Приведенные данные не исчерпывают всех аспектов рассматриваемой проблемы, они только показывают возможность и практическую целесообразность использования особенностей состава и пространственного распределения элементов-примесей различных минералов при поисках и оценке рудных месторождений. Особенно привлекательно применение минералого-геохимических данных для выявления сверхконтрастной геохимической (точнее минералого-геохимической) зональности. Как уже отмечалось, надежность оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий и рудопроявлений с помощью вертикальной геохимической зональности в основном определяется ее контрастностью. Известно, что именно стремление к выявлению высококонтрастной зональности привело к широкому использованию мультиплекативных коэффициентов зональности. Возможности этого метода ограничиваются набором элементов-индикаторов оруденения. Дальнейшее повышение контрастности зональности может быть достигнуто применением мультиплекативного метода для выявления так называемой мультиминеральной геохимической зональности. Способ обработки данных минералого-геохимических исследований приведен в табл. 14.

Учитывая близость приведенных в табл. 14 рядов, для всех исследованных минералов рассчитаны значения рассмотренного выше мультиплекативного коэффициента второго порядка $\frac{\text{Sb} \cdot \text{Zn}}{\text{Bi} \cdot \text{Mn}}$. Только для сфалерита Zn был заменен Pb — равноценным элементом-индикатором. Для этих минералов рассчитан коэффициент контрастности вертикальной зональности, который представляет собой частное от деления значений коэффициента на крайних верхнем и нижнем сечениях приведенного на рис. 44 разреза.

Как следует из табл. 14, мультиминеральная зональность, выявленная с помощью двух последовательно рассчитанных типов мультиплекативных коэффициентов (моно- и мультиминеральный), характеризуется чрезвычайно высокой контрастностью — более двадцати порядков. Легко убедиться, что возможности предложенного способа выявления высококонтрастной зональности полиминеральных ореолов практически не ограничены. Повысить контрастность геохимической зональности можно за счет увеличения как числа минералов-носителей, так и числа элементов-примесей, используемых в мономинеральных мультиплекативных коэффициентах.

На Саурейском месторождении, изученном автором и М. З. Фурсовой, оруденение (гидротермальное) приурочено к

карбонатно-сланцевой толще шугорской свиты (O_2-3), расположенной в осевой части Саурейской синклиналии. Рудовмещающими породами служат карбонатные алевролиты и песчанистые известняки, местами рассланцованные. Рудные тела имеют линзовидную форму, вытянуты в северо-западном направлении и залегают согласно с вмещающими породами, падающими на запад под углами $65-75^\circ$. Главные рудные минералы: галенит, сфалерит, пирит; второстепенные — халькопирит, тетраэдрит, бурнонит. Нерудные минералы представлены кварцем, баритом и кальцитом.

Для выявления минералов-концентраторов химических элементов, образующих первичные геохимические ореолы, на месторождении проводился специальный отбор проб по опорным разрезам для всех зон геохимического ореола, характеризующих надрудную, рудную и подрудную области. С учетом геологических условий из керна скважин с шагом опробования в 20 м отбирались специальные пробы массой около 1 кг. Затем из них готовились протолочки, которые обогащались разделением в тяжелых жидкостях. Далее осуществлялось минералогическое изучение проб по фракциям. Из тяжелой фракции отбирались мономинеральные пробы массой 100 мг для определения в них элементов-примесей, а также готовились искусственные полированные шлифы для микроскопического изучения минерального состава проб.

Как следует из табл. 15, для большинства элементов-примесей устанавливаются существенно более высокие их концентрации в пиритах из ореолов (по сравнению с рудными телами). Изучение распределения элементов-примесей в валовых пробах и в пиритах свидетельствует, что содержание Ag, Pb, Zn, Cu, Co, Ni и Mo в пиритах превышает содержание их в валовых пробах на 1—2 порядка и более (табл. 16).

Минералогический анализ тяжелых фракций показал, что пирит в них встречается повсеместно. Содержание его колеблется от 2 до 5 %, а в отдельных пробах достигает 18 % массы всей тяжелой фракции. Остальная часть тяжелой фракции представлена породообразующими минералами (в основном, хлоритом и баритом), спектральный анализ мономинеральных проб которых показывает более низкие содержания в них элементов-примесей (на порядок, а иногда и больше). Галенит встречается не во всех пробах, а сфалерит — лишь в единичных случаях. Следовательно, в тяжелых фракциях основной носитель и концентратор элементов-примесей — пирит. В распределении элементов-примесей в пиритах установлена отчетливая геохимическая зональность: для надрудной области характерные элементы-примеси — Pb, Ag и Sb. В подрудной зоне ореолов наблюдаются повышенные содержания Co, Ni, Sn, Zn и Cu.

На рис. 50 показано изменение содержания пирита, галенита и сфалерита по разрезу XIX описываемого месторождения. Как видно, сфалерит и галенит теснее связаны с рудными телами,

Таблица 15

Средние содержания элементов-примесей
в пиритах руд и первичных
ореолов Саурейского месторождения

Элемент	Объект опробования	
	руды ($n=4$)	ореолы ($n=35$)
Ba	5,7	82
Sr	1,0	3,1
Sb	21,0	10,0
Ag	325	218
Zn	9,8	12,0
As	1,0	2,8
Pb	600	496
Cu	14	120
Ni	20	16
Co	13,3	26
Sn	0,5	2,2
Mo	7,3	5,9
Be	1,0	4,2
V	1,0	0,9
Ga	0,4	0,4
Y	0,3	4,2
Ti	7,0	26
Mn	0,25	1,8

Примечание. Содержание, %: As — $n \cdot 10^{-1}$; Ba, Sr, Sb, Zn, Ti, Mn — $n \cdot 10^{-2}$; Y — $n \cdot 10^{-3}$; Mo, Be — $n \cdot 10^{-4}$; Ag — $n \cdot 10^{-5}$.

Таблица 16

Средние содержания элементов в пиритах и валовых пробах

Элемент	Пирит ($n=35$)	Валовые ($n=35$)
Ba	8,7	11,6
Ag	20,9	1,4
Pb	34,2	13,1
Zn	11,9	0,4
Cu	103	7,8
Co	29,1	1,4
Ni	15,04	1,6
Sb	9,95	0,5

Примечание. Содержания, %: Ba, Pb, Zn, Sb — $n \cdot 10^{-2}$; Cu, Co, Ni — $n \cdot 10^{-3}$; Ag — $n \cdot 10^{-4}$.

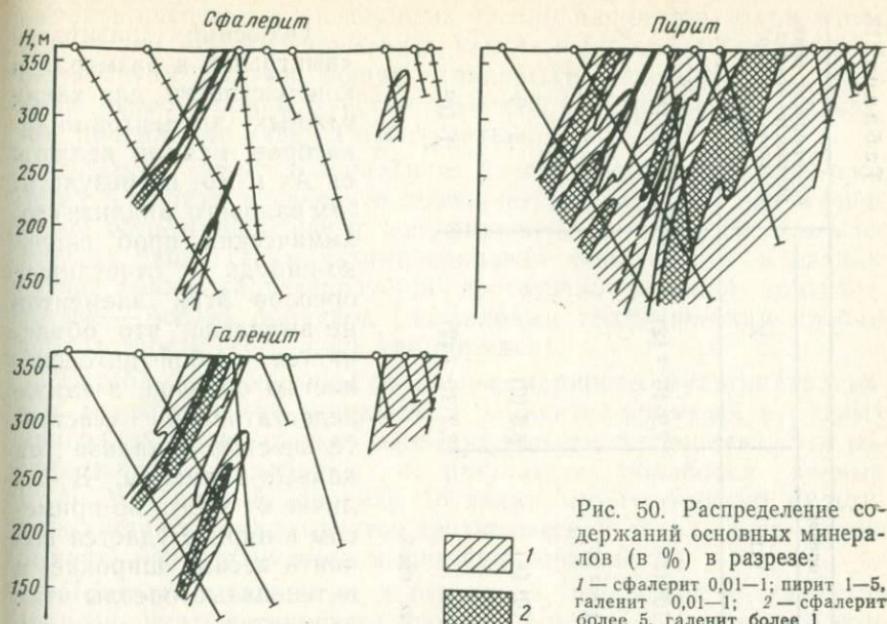


Рис. 50. Распределение содержаний основных минералов (в %) в разрезе:
 1 — сфалерит 0,01—1; пирит 1—5,
 галенит 0,01—1; 2 — сфалерит
 более 5, галенит более 1

образуя вокруг них отчетливые ореолы. Ореолы пирита более значительны по размерам: их связь с рудными телами менее определена. В зоне главного рудного тела проявленна отчетливая минеральная зональность: поля максимальных концентраций трех основных минералов закономерно сдвинуты относительно друг друга по восстанию рудного тела в такой последовательности (снизу вверх): пирит—сфалерит—галинит. Как показывает сравнение ореолов, оконтуренных по результатам анализа валовых («рядовых») геохимических проб, с ореолами элементов-примесей в пирите, последние отличаются существенно большими размерами и контрастностью.

Таблица 17

Контрастность мультиминеральной зональности по величине коэффициента

Sb·Ag·Pb

Zn·Ni·Co

Уровень сечения ореола	Тип проб			
	пирит	галенит	тяжелая фракция	валовые геохимические
Среднерудный (скв. 164)	2,3	$2 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^2$	75
Подрудный (скв. 165)	$3 \cdot 10^{-3}$	0,045	$5 \cdot 10^{-1}$	24
Коэффициент контрастности	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^3$	3

Примечание. $K_{\text{мульт}} = (n \cdot 10^3)(n \cdot 10^5) = m \cdot 10^8$.

Таблица 18

Варианты мультиплексивных коэффициентов зональности

Минерал	Коэффициент зональности	Горизонт			Коэффициент контрастности мономинеральной зональности
		VI	VII	X	
Сфалерит	$\frac{\text{Sb} \cdot \text{Ga} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Sn} \cdot \text{Mn} \cdot \text{Cu}}{\text{Ni} \cdot \text{Co} \cdot \text{V} \cdot \text{Ti} \cdot \text{In} \cdot \text{Fe} \cdot \text{As} \cdot \text{Cd}}$	$1,4 \cdot 10^8$ (5)	$4,3 \cdot 10^5$ (3)	$7,9 \cdot 10^{-2}$ (2)	$2 \cdot 10^9$
	$\frac{\text{Bi} \cdot \text{Sb} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Sn}}{\text{Fe} \cdot \text{Mn} \cdot \text{As} \cdot \text{Cd}}$	$2,5 \cdot 10^3$ (7)	$6,0 \cdot 10^{-2}$ (1)	—	$4 \cdot 10^4$
Галенит	$\frac{\text{Co} \cdot \text{Cu} \cdot \text{Pb}}{\text{Cd} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag}}$	$1,6 \cdot 10^4$ (3)	$1,9 \cdot 10^4$ (4)	$8,8$ (2)	$2 \cdot 10^3$
	$\frac{\text{Pb} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Cd}}{\text{Cu} \cdot \text{Mo} \cdot \text{Mn}}$	$2,6$ (18)	$2,3$ (8)	$2,2 \cdot 10^{-2}$ (2)	$1 \cdot 10^2$
Арсенопирит					
Пирротин					

Примечание. 1. Кмульт = $16 \cdot 10^{18}$. 2. В скобках дано число мономинеральных проб.

Особенно разителен «выигрыш» в размерах и контрастности для таких важных элементов-индикаторов, какими являются As и Sb: по результатам валового анализа геохимических проб сколько-нибудь отчетливых ореолов этих элементов не выявлено, что объясняется слабой интенсивностью ореолов, а также недостаточной чувствительностью анализа на данные элементы. В отличие от этого, по примесям в пирите удается выявить весьма широкие и интенсивные ореолы этих элементов.

Интересные данные получены для таких специфических элементов-индикаторов, как Ba и Sr. Уже отмечалось, что для них характерно развитие зон выноса. Эта особенность в распределении Ba и Sr особенно отчетливо проявляется в строении ореолов, оконтуренных по результатам анализа пирита на элементы-примеси. Близкие к описанным закономерностям в распределении ряда химических элементов установлены также в результате исследования особенностей пространственного распределения элементов-примесей в галените. Галенит — основной ценный рудный минерал месторождения. По результатам анализа его мономинеральных фракций также удается

выявить интенсивные и широкие ореолы элементов, в том числе и для таких важных элементов, как As и Sb, ореолы которых по результатам анализа общих (рядовых) геохимических проб из-за недостаточной чувствительности спектрального анализа, как правило, не удается оконтурить.

Близкий характер зонального распределения элементов-примесей в пирите и галените позволяет выбрать для них одинаковые мультиплекативные коэффициенты зональности. Как следует из табл. 17, мультиминеральная зональность в данном случае также характеризуется достаточно высокой контрастностью — восемь порядков (по валовым геохимическим пробам контрастность всего лишь три порядка).

В табл. 18 приведены различные варианты мультиплекативных коэффициентов зональности элементов-примесей в рудных минералах Арсеньевского оловорудного месторождения. Эти коэффициенты подобраны в результате обработки данных В. П. Максимовой. Из табл. 18 видно, что с помощью мультиплекативных коэффициентов геохимической зональности можно выявить контрастную геохимическую зональность.

Приведем данные о контрастном изменении с глубиной мультиплекативного коэффициента зональности элементов-примесей в кассiterите Хинганского оловорудного месторождения, полученные в результате обработки материалов Г. А. Осиповой [29]. Коэффициент пятого порядка $\left(\frac{\text{In} \cdot \text{Mn} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Zr}}{\text{Sn} \cdot \text{V} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Be} \cdot \text{Fe}} \right)$ на первом, втором и третьем горизонтах равен соответственно $1 \cdot 10^8$, $1 \cdot 10^4$ и $3 \cdot 10^2$, коэффициент контрастности — $3,3 \cdot 10^5$.

Рассмотренные примеры зонального распределения элементов-примесей в минералах, а также имеющиеся у автора представительные данные по многим другим месторождениям позволяют утверждать, что этот вид геохимической зональности — характерная особенность для минеральных месторождений, что, в свою очередь, свидетельствует о значительных потенциальных возможностях рассматриваемой методики и подтверждает целесообразность усиления исследований в этом направлении. Речь в данном случае идет не столько о расширении исследований по изучению элементов-примесей в минералах (такие работы проводятся давно), сколько об обработке результатов анализа мономинеральных проб по единой методике, включающей в себя предложенные автором методические приемы подавления флюктуаций, прежде всего, способ расчета различных типов групповых (мультиплекативных, в том числе) коэффициентов.

Глава III

ВТОРИЧНЫЕ И НАЛОЖЕННЫЕ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ

1. Вторичные ореолы

В основе поисков рудных месторождений по вторичным ореолам лежит использование ореолов вторичного рассеяния, формирующихся в поверхностных образованиях (почвы, элювий, делювий и т. д.) при гипергенном изменении рудных месторождений. Методы поисков по вторичным ореолам рассеяния были разработаны в нашей стране в начале 30-х годов, когда в трудах Н. И. Сафронова, А. П. Соловова, Е. А. Сергеева и других авторов были сформулированы основные понятия о вторичных ореолах и очерчен круг геологических задач, при решении которых могли быть использованы особенности развития вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов. Рассмотрим остаточные вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов, формирующиеся в современных автохтонных (элювиально-делювиальных) отложениях.

Очевидно, что поиски новых рудных тел, в том числе и слепых, легче всего вести в пределах так называемых «открытых» площадей, где коренные рудовмещающие породы выходят на поверхность и доступны для геохимического опробования. Однако гораздо чаще коренные породы для опробования недоступны, поскольку они перекрыты рыхлыми отложениями различной мощности, в которых и развиваются вторичные ореолы — своеобразные гипергенные аналоги развитых в коренных породах геохимических аномалий.

Очевидно, что в пределах площадей, где коренные породы перекрыты рыхлыми отложениями, поиски рудных тел и месторождений можно вести по вторичным ореолам путем опробования рыхлых отложений. В связи с этим возникает актуальнейшая проблема разработки критериев обнаружения и оценки перспектив рудоносности геохимических аномалий в коренных породах по особенностям распределения элементов-индикаторов в гипергенных ореолах их рассеяния.

Наиболее просто решить эту задачу можно на площадях, где вторичные ореолы рассеяния являются полными (адекватными) аналогами первичных, когда индикаторные отношения, используемые для оценки геохимических аномалий, одинаковы (или близки по величине) для первичных и вторичных ореолов.

Для иллюстрации возможности обнаружения и интерпретации (оценки уровня эрозионного среза) первичных ореолов по данным опробования перекрывающих их элювиально-делювиальных отложений приведем некоторые результаты изучения пространственной сопряженности первичных и вторичных ореолов, выполненные В. И. Морозовым и автором в Средней Азии. Сравнительное изучение первичных и вторичных ореолов эле-

ментов-индикаторов проводилось в пределах Канимансур-Алмадонского разлома — одного из основных рудовмещающих нарушений Центрального Карамазара. Описываемый район расположен на южных склонах Кураминского хребта и представляет собой сильно расчлененное среднегорье с абсолютными отметками высот от 1400 до 2000 м. Относительное превышение отдельных вершин над местными базисами эрозии составляет 200—400 м. Склоны гор обычно крутые (15 — 30°), выполаживающиеся в нижней части. Район характеризуется значительной обнаженностью коренных пород. Однако в пределах зоны Канимансур-Алмадонского разлома практически повсеместно отмечается покров элювиально-делювиальных образований мощностью от 0,5 до 2 м. Почвенный покров этой территории представлен горно-коричневыми карбонатными и типично коричневыми, на крутых склонах — щебенистыми, маломощными почвами. Раствительный покров сильно разрежен и характеризуется злаковыми и кустарничковыми ассоциациями.

Исследования проводились по ряду профилей через первичные ореолы на различных уровнях эрозионного среза, а также на фоновых участках. Пробы почв отбирались в тех же интервалах, в которых опробовались коренные породы. Фракция рыхлых образований крупностью —0,1 мм была проанализирована приближенно-количественным спектральным методом на ряд элементов, включая элементы-индикаторы типоморфного для данного района свинцово-серебряного и медно-висмутового оруденения. Участки исследований выбирались с таким расчетом, чтобы изучить особенности развития вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов, сформированных в результате гипергенного разрушения первичных ореолов, которые характеризуются различными уровнями эрозионного среза — от над- до подрудных. Надрудные срезы ореолов изучены на полиметаллическом месторождении Восточный Канимансур, над- и рудные сечения медно-висмутового оруденения — на месторождении Каптархона, подрудные сечения медно-висмутового оруденения — на участке Юго-Западный Алмадон.

Установлена тесная пространственная корреляция первичных и вторичных ореолов основных элементов-индикаторов не только в пределах внешних, но и внутренних контуров полей высоких концентраций. Несмотря на значительную крутизну склонов (15 — 30°), существенного смещения вторичных ореолов рассеяния вниз по склону не наблюдается. По сравнению с первичными, вторичные ореолы рассеяния большинства элементов-индикаторов имеют несколько большие размеры и отличаются более равномерным распределением элементов в поле ореола. Приведенные данные, а также результаты аналогичных исследований, выполненных автором и его коллегами в других районах, показывают, что в условиях, аналогичных описанным, возможно обнаружение первичных геохимических ореолов по их гипергенному аналогам.

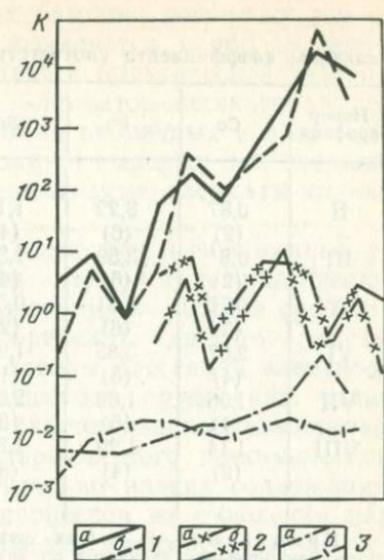
Для выяснения возможности и надежности использования особенностей распределения элементов-индикаторов в гипергенном поле рассеяния при интерпретации геохимических аномалий, в частности при определении уровня их эрозионного среза, были сопоставлены параметры первичных и вторичных ореолов. Как уже отмечалось, уровень эрозионного среза первичных ореолов обычно определяется по величинам отношений параметров ореолов пар элементов-индикаторов вертикальной зональности. На рис. 51 приведены графики изменения величин отношений линейных продуктивностей ореолов пар элементов как в первичных, так и во вторичных ореолах по мере увеличения глубины эрозионного среза. Как видно, по ряду пар выявляется весьма тесная корреляция между первичными и вторичными ореолами. Однако такое соответствие величин парных индикаторных отношений наблюдается не во всех случаях. В частности, существенные расхождения наблюдаются для пары Ag—Cu.

Суммарные ореолы отличаются более тесной и стабильной корреляцией. Приведенные на рис. 51 графики изменения отношений линейных продуктивностей первичных и вторичных мультиплакативных ореолов (надрудные элементы — Ba, As, Ag, Pb и подрудные — Cu, Bi, Co, W) даже в деталях повторяют друг друга и иллюстрируют весьма контрастное уменьшение от надрудных сечений ореолов к подрудным, четко дифференцируя различные уровни эрозионного среза ореолов. «Сближение» графиков суммарных ореолов, по-видимому, происходит потому, что в одну группу попадают элементы, поведение которых при формировании вторичных ореолов различно, в результате чего возникает определенное «гашение» отклонений вторичных ореолов от их первичных аналогов. В этой связи можно предположить, что с увеличением числа элементов при построении суммарных ореолов будет устанавливаться более тесная связь между первичными и вторичными ореолами.

Таким образом, напрашивается вывод, что в определенных условиях на площадях, перекрытых элювиально-делювиальными отложениями ограниченной мощности, выявить и оценить уровень эрозионного среза первичных геохимических аномалий можно по результатам изучения гипергенного поля рассеяния элементов-индикаторов соответствующих месторождений. Это существенно повышает эффективность поисков рудных месторождений по их гипергенным ореолам, в первую очередь глубинность, поскольку оценка уровня эрозионного среза аномалий представляет собой основу оценки их перспектив на глубину. Естественно, что данный вывод справедлив только для остаточных открытых ореолов. В районах с устойчивым покровом аллохтонных или делювиальных отложений значительной мощности использование таких критериев может не дать результатов, поскольку вторичные ореолы в толще рыхлых образований формируются иным путем, в основном за счет миграции металловосодержащих вод и осаждения элементов из растворов на

Рис. 51. Графики отношений линейных продуктивностей (парных и мультиплексивных) первичных (а) и вторичных (б) ореолов:

1 — мультиплексивное; 2 — Pb/Cu; 3 — Ag/Cu



различных физико-химических барьеров. В подобных случаях по результатам опробования почв с поверхности в лучшем случае может быть решена только задача локализации аномалий, дальнейшая интерпретация которых потребует вскрытия коренных пород или горизонта перекрывающих рыхлых отложений, удовлетворительно коррелирующегося с первичными ореолами в коренных породах.

Приведенные данные показывают, что в благоприятных условиях, когда установлена тесная пространственная сопряженность первичных и вторичных ореолов, возможно выделение с помощью зональности первичных ореолов перспективных на слепое и слабоэродированное оруденение гипергенных геохимических аномалий. Для этой цели используют мультиплексивные коэффициенты геохимической зональности различного вида. Исследования показывают, что для обеспечения надежной оценки уровня эрозионного среза гипергенных геохимических аномалий при выборе мультиплексивного коэффициента зональности необходимо учитывать подвижность элементов не только при формировании первичных (эндогенных) ореолов (ряды зонального отложения элементов-индикаторов), но и гипергенных (подвижность элементов в гипергенных условиях).

Для определения степени накопления или выноса элементов-индикаторов в процессе формирования вторичных ореолов рассчитывались отношения средних содержаний элементов во вторичных и первичных ореолах — коэффициент соответствия K_c . Если коэффициент соответствия меньше единицы, то это указывает на вынос данного элемента из вторичных ореолов (подвижный элемент), если больше единицы — то на обогаще-

Таблица 19

Величины коэффициента соответствия первичных и вторичных ореолов

Номер профиля	Co	Pb	Sn	Ba	Mo	Cu	Ag	Zn
II	0,87 (2)	3,22 (6)	1,17 (4)	9,2 (8)	1,14 (3)	1,98 (5)	3,25 (7)	0,32 (1)
III	0,8 (2)	3,59 (6)	1,83 (4)	3,43 (5)	4,18 (7)	1,68 (3)	6,91 (8)	0,42 (1)
IV	0,76 (3)	1,81 (6)	0,51 (2)	1,93 (7)	1,26 (4)	1,35 (5)	4,97 (8)	0,49 (1)
VI	2,67 (4)	3,85 (5)	1,93 (1)	14,1 (8)	5,96 (6)	2,39 (2)	9,79 (7)	2,47 (3)
VII	1,06 (4)	1,09 (5)	2,0 (8)	1,32 (7)	0,43 (1)	0,99 (3)	1,28 (6)	0,84 (2)
VIII	1,14 (2)	1,29 (4)	1,31 (5)	2,6 (6)	1,21 (3)	4,55 (7)	15,4 (8)	0,89 (1)

Приложение. В скобках указаны порядковые номера в ряду, составленном путем ранжирования элементов по возрастанию величин коэффициента соответствия первичных и вторичных ореолов.

ние вторичных ореолов этим элементом (инертный элемент). В табл. 19 приведены значения K_c , рассчитанные по ряду профилей (I—VIII) сопряженного опробования коренных пород и почв на участке Тарыэкан.

Ранжирование элементов по возрастанию средних (по всем профилям) значений коэффициента соответствия образует следующий ряд подвижности элементов при формировании вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов в ландшафтно-геохимических условиях участка Тарыэкан: Zn—Co—Sn—Cu—Mo—Pb—Ba—Ag. В этом ряду слева направо подвижные элементы сменяются малоподвижными. Анализ данных табл. 19 показывает, что в условиях описываемого участка для большинства элементов-индикаторов (кроме Zn и частично Co) наблюдается относительное их накопление в рыхлых продуктах выветривания коренных пород. Различная подвижность элементов-индикаторов в зоне гипергенеза во многом определяет особенности вторичных ореолов их рассеяния. Элементы, способные интенсивно выщелачиваться в зоне окисления, обычно образуют более протяженные и размазанные вторичные ореолы с относительно низкими концентрациями даже над максимумами первичных ореолов. Элементы, являющиеся слабыми мигрантами, обычно четко повторяют конфигурацию первичных ореолов в коренных породах.

Инертные (малоподвижные) в гипергенных условиях элементы-индикаторы способствуют более четкой локализации перспективных участков и информативнее на стадии детальных работ. Эти элементы весьма надежны при оценке уровня эрозионного среза гипергенных ореолов рассеяния на основе гео-

химической зональности первичных ореолов, поскольку для их первичных и вторичных ореолов выявляется наиболее тесная корреляция. Именно этим определяется практическое значение рядов гипергенной подвижности элементов-индикаторов, составленных путем оценки соответствия первичных и вторичных ореолов рассеяния: на их основе удается выделить малоподвижные и соответственно более информативные элементы-индикаторы.

Приведенный ряд подвижности элементов в гипергенных условиях составлен по результатам изучения литохимических ореолов, развитых на участке, сложенном кислыми и средними вулканогенными породами. В пределах другого участка (Тутлы III) изучались вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов скарново-полиметаллического оруденения, развитые на площадях распространения скарнированных известняков и доломитов, т. е. в условиях карбонатного геохимического барьера. Известно, что при относительно низких содержаниях сульфидов и слабом проявлении процессов их окисления карбонатные вмещающие породы обычно не способствуют процессам окисления (из-за нейтрализации образующихся кислых растворов), и поэтому процесс обычно сводится к перераспределению CaCO_3 .

Исследованный участок охватывает площадь скарново-полиметаллического месторождения Тутлы III — одного из месторождений Курусайского рудного поля (Таджикистан). Главная рудоконтролирующая структура месторождения — Тутлинский разлом, секущий в северо-восточном направлении гранодиориты Алмабулакского массива. Рудная минерализация приурочена к двум пачкам доломитов, расположенным в зоне разлома. На контактах карбонатных пород и гранодиоритов встречаются многочисленные изометрические по форме скарновые и скарново-магнетитовые тела мощностью до нескольких десятков метров. Рудная минерализация приурочена к зонам скарнирования и представлена прожилково-вкрапленными и агрегативными скоплениями галенита, сфалерита, халькопирита, реже висмутина, молибденита, вольфрамита и шеелита. Вмещающие породы интенсивно хлоритизированы, серицитизированы, эпидотизированы и окварцовены.

Участок расположен в зоне сочленения юго-западного продолжения Кураминского хребта с краевой частью Дальверзинской депрессии и характеризуется всхолмленным рельефом с пологими задернованными склонами. Здесь повсеместно развиты покровы рыхлых, преимущественно элювиально-делювиальных отложений мощностью от 0,8 до 4 м. Эти отложения обычно представлены песчано-суглинистым материалом с редкой щебенкой рудовмещающих коренных пород. На пологих участках в зонах скарнирования данные отложения подстилаются элювиальными карбонатными корами выветривания обломоч-

ного типа мощностью 0,3—0,5 м. Почвы горно-коричневые карбонатные. В результате обработки данных геохимического опробования в пределах описываемого участка оконтурены устойчивые и протяженные первичные и вторичные ореолы большой группы элементов-индикаторов, типоморфных для данного типа оруденения (Pb , Ag , Zn , Cu , Bi , W , Co , Va и др.).

Конфигурация указанных ореолов четко контролируется разрывными структурами со скарновыми телами и сульфидной минерализацией. При этом более значительным по размерам и интенсивности первичным ореолам обычно соответствуют более широкие вторичные ореолы рассеяния, т. е. и в условиях исследованного участка между первичными и вторичными ореолами намечается определенная пространственная корреляция. Однако такая корреляция фиксируется только при незначительной мощности перекрывающих рыхлых образований (менее 1 м). При возрастании мощности перекрывающего чехла корреляция между ними ослабевает или не фиксируется вообще. Мощность пачки карбонатных пород по простирации зоны Тутлинского разлома варьирует от единиц до сотен метров, причем в наиболее узких местах доломитизированные породы практически полностью замещены пироксен-гранатовыми скарнами с гранодиоритами по контактам. Эта особенность вмещающих пород позволила получить сравнительные данные о характере развития вторичных ореолов рассеяния элементов в условиях развития гранодиоритов и скарнов, а также на участках с преимущественным распространением доломитов (карбонатный барьер), ограничивающих активность гипергенной миграции различных элементов.

Помимо конфигурации и линейных размеров вторичных ореолов, мало отличающихся друг от друга, на участках развития разных по составу пород сопоставлялись концентрации в первичных и вторичных ореолах различных элементов. Оказалось, что подвижность элементов в гипергенных процессах в пределах развития карбонатных пород и гранодиоритов существенно неодинакова. В табл. 20 приведены ряды подвижности элементов, составленные по величинам K_c .

Ряд подвижности элементов-индикаторов в ореолах, развитых в элювии гранодиоритов, близок (если не считать некоторые несущественные отклонения) ряду, составленному по участку Тарыэкан. Второй ряд свидетельствует о существенном влиянии карбонатного геохимического барьера на миграцию элементов-индикаторов. При увеличении мощности перекрывающих рудовмещающие карбонатные породы рыхлых отложений корреляция первичных и вторичных ореолов резко нарушается.

Выполненное В. И. Морозовым и автором сравнительное изучение особенностей первичных и вторичных ореолов рассеяния по ряду участков, расположенных в Средней Азии и Закавказье, позволило для ландшафтно-геохимических условий этих районов составить ряды подвижности наиболее распространенных элементов.

Таблица 20

Ряды подвижности элементов-индикаторов скарново-полиметаллического оруденения

Элювий	Ряды подвижности
Гранодиоритов	$\text{Co} - \text{Zn} - \text{Mo} - \text{Bi} - \text{Mn} - \text{Cu} -$ $(0,75) \quad (0,78) \quad (0,95) \quad (1,00) \quad (1,2) \quad (1,45)$ $\text{Sn} - \text{W} - \text{Ag} - \text{Pb} - \text{Ba}$ $(2,0) \quad (2,3) \quad (2,03) \quad (4,58) \quad (10,5)$
Карбонатных пород	$\text{Pb} - \text{Sn} - \text{Cu} - \text{Mo} - \text{Ag} -$ $(0,07) \quad (0,1) \quad (0,17) \quad (0,23) \quad (0,26)$ $\text{Ba} - \text{Mn} - \text{Co} - \text{Bi} - \text{Zn}$ $(0,27) \quad (0,4) \quad (0,41) \quad (0,7) \quad (0,7)$

Примечание. В скобках приведены величины коэффициента соответствия.

раненных элементов-индикаторов рудных месторождений. Данные в табл. 21 показывают, что в окислительной обстановке зоны гипергенеза при формировании вторичных литохимических ореолов дифференциальная подвижность элементов-индикаторов характеризуется сходными рядами (за исключением случая карбонатных пород на участке Тутлы III). Существенные отклонения в сравниваемых рядах установлены только для Mo и Sn. Перемещения остальных элементов в рядах подвижности незначительны (одна, крайне редко две-три ячейки). Это обстоятельство позволило на основе приведенных в табл. 21 частных, составленных по отдельным участкам рядов, разработать обобщенный единый ряд и рекомендовать его в качестве типоморфного для наиболее распространенных элементов-индикаторов рудных месторождений. При этом обобщенный ряд подвижности в целом согласуется с рядами подвижности элементов-индикаторов рудных месторождений, составленными другими исследователями для ландшафтно-геохимических условий Мугоджар, Алтая и Забайкалья.

Большое практическое значение выдержаных рядов подвижности элементов при формировании вторичных литохимических ореолов заключается прежде всего в возможности выбора с помощью этих рядов элементов-индикаторов, вторичные ореолы которых в большей степени соответствуют первичным и поэтому являются более надежными их индикаторами. Такими будут элементы, находящиеся в правой части ряда и отличающиеся слабой подвижностью в гипергенных условиях.

Как уже отмечалось (см. рис. 51), по сравнению с парными отношениями мультиплекативные проявляют более тесную корреляцию. Приведенные на рис. 51 графики изменения мультиплекативного коэффициента зональности даже в деталях повторяют друг друга и весьма контрастно убывают от надрудных

Ряды относительной подвижности типоморфных элементов-индикаторов
рудных месторождений

Участки	Ряды подвижности элементов
<i>Средняя Азия</i>	
Тарыэкан (кислые эфузивы)	Zn—Co—Sn—Cu—Bi—Mo—Pb—Ba—Ag
Кантархона (кислые эфузивы)	Zn—Co—Cu—Sn—Pb—Bi—Ag—Ba—Mo
Кызыл-Унгур (кислые эфузивы)	Co—Zn—Cu—Bi—Mo—W—Ag—Pb—Ba
Тутлы III (силикатные породы)	Co—Zn—Mo—Bi—Mn—Cu—Sn—W—Ag—Pb—Ba
Тутлы III (карбонатные породы)	Pb—Sn—Cu—Mo—Ag—Ba—Mn—Co—Bi—Zn
<i>Закавказье</i>	
Халадж (кварцевые порфиры)	Co—Ni—Zn—As—Sn—Cu—Pb—Ag—Mo
Арманис (кварцевые метасоматиты)	Co—Zn—Ag—Mo—Pb—Cu—Ba
<i>Обобщенный ряд для Средней Азии и Закавказья</i>	
Co—Ni—Zn—As—Sn—Cu—Mo—Bi—Pb—W—Ag—Ba	
Мугоджары (по В. А. Бугрову)	Mo—Zn—Cu—Pb—As—Ag
Алтай (по Н. А. Рослякову)	Mn—Zn—Co—Bi—Cd—Mo—Ti—Sn—Ca—Ni—V—Cu—W—Sr—Pb—Ag—As—Ba
Забайкалье (по Е. М. Квятковскому и И. Н. Крицуку)	Zn—Mo—As—Cu—Pb—W—Sn

сечений ореолов к подрудным, четко дифференцируя различные уровни эрозионного среза ореолов. В данном случае использование мультиплексивного коэффициента обеспечивает резкое повышение контрастности зональности. Благодаря этому на фоне значительного градиента по вертикали мультиплексивного коэффициента различия индикаторных отношений в первичных и вторичных ореолах уже не столь существенны в отличие от парных отношений, использование которых для оценки уровня эрозионного среза вторичных ореолов рассеяния в ряде случаев практически исключается из-за различий в величинах индикаторных отношений по первичным и вторичным ореолам. Очевидно, чем выше степень соответствия первичных и вторичных ореолов, т. е. чем ближе величины индикаторных отношений, используемых в качестве оценок геохимической зональности, тем надежнее будет использование вторичных ореолов для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий.

В связи с этим приобретает важное значение выбор наиболее оптимальных индикаторных отношений, т. е. таких, для которых расхождения первичных и вторичных ореолов минимальные.

Выбор для оценки типергенных ореолов оптимального варианта коэффициента геохимической зональности при интерпретации вторичных ореолов будет значительно облегчен, если пользоваться правилом двух рядов подвижности, которое гласит: наиболее надежным является коэффициент зональности, в числе тел и знаменателе которого использованы максимально удаленные в ряду гипогенной подвижности элементы, расположенные в правой части ряда гипергенной подвижности. Данное правило требует выполнения следующих условий при выборе коэффициента зональности: 1) число элементов должно быть максимальным (для обеспечения максимальной контрастности зональности), 2) группы над- и подрудных элементов должны быть расположены в ряду гипогенной зональности и в правой части ряда гипергенной подвижности. Для иллюстрации использования правила двух рядов подвижности вернемся к уже рассмотренному примеру сравнения различных вариантов коэффициента геохимической зональности. Ниже приведены ряды гипогенной и гипергенной подвижности элементов-индикаторов полиметаллического оруденения. В качестве ряда гипогенной подвижности использован ряд осевой зональности первичных ореолов полиметаллического месторождения Восточный Канимансур, а в качестве ряда гипергенной подвижности — типоморфный ряд элементов-индикаторов полиметаллического оруденения (подчеркнуты элементы мультиплекативного коэффициента).

Гипогенный ряд: Ba—As—Ag—Pb—Zn—Cu—Bi—Mo—Ni—Sn—Co—W

Гипергенный ряд: Co—Ni—Zn—As—Sn—Cu—Mo—Bi—Pb—W—Ag—Ba

Приведенное на рис. 51 парное индикаторное отношение Ag—Cu не отвечает рассмотренным выше условиям. Эти элементы недостаточно удалены друг от друга в ряду гипогенной подвижности (зональности): они расположены близко, что решающим образом оказывается на соответствии по этому индикаторному отношению первичных и вторичных ореолов. Расхождения между первичными и вторичными ореолами максимальны именно для этого индикаторного отношения, что исключает возможность его использования для оценки уровня эрозионного среза по результатам геохимического опробования вторичных ореолов. Для индикаторного отношения пары Pb—Cu устанавливается более тесная корреляция первичных и вторичных ореолов, что объясняется относительно невысокой и примерно одинаковой миграционной способностью этих элементов в гипергенных условиях. Как следует из рядов, при одинаковом расположении в ряду типогенной зональности для пар Ag—Cu и Pb—Cu в ряду гипогенной подвижности элементы первой пары

всего на две ячейки больше удалены друг от друга (по сравнению с парой Pb—Cu), что сказывается на соответствии первичных и вторичных ореолов по этому индикаторному отношению. Для графиков свинцово-медного отношения характерна более тесная корреляция, чем для пары Ag—Cu.

Как уже отмечалось, максимальная степень соответствия первичных и вторичных ореолов выявляется по величине мультиплекативного коэффициента геохимической зональности, в котором надрудными являются Pb, Ba, Ag, As, а подрудными — Cu, Co, Bi, W. На примере этого коэффициента рассмотрим регламентированные правилом двух рядов подвижности принципы выбора мультиплекативного коэффициента зональности. В рядах подчеркнуты элементы, использованные в рассматриваемом коэффициенте. Выбор надрудных элементов удовлетворяет обоим рядам подвижности: они занимают левый конец ряда гипогенной подвижности и правый конец другого ряда, исключение составляет As, который характеризуется сравнительно высокой миграционной подвижностью. В группе подрудных элементов правильнее было бы вместо Cu и Co использовать Mo и Sn. Однако эти элементы исключены из числа индикаторов в связи с тем, что их место в рядах гипергенной подвижности неустойчивое. Вместо них в число подрудных элементов включены Co и Cu — эффективные индикаторы подрудных сечений первичных ореолов полиметаллического оруденения. Cu полностью подходит для коэффициента и по своей подвижности в гипергенных условиях. Этого нельзя утверждать для Co, который является первым в ряду гипергенной подвижности. Тем не менее, он оставлен в коэффициенте как для обеспечения высокой контрастности зональности, так и с целью «компенсации» влияния As, также высоко подвижного. Таким образом, рассматриваемый мультиплекативный коэффициент при значительном градиенте по вертикали (от над- до подрудных сечений меняется в десятки миллионов раз) по величине практически одинаков для адекватных сечений первичных и вторичных ореолов и поэтому в ландшафтно-геохимических условиях описываемого района он с успехом может быть использован для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий (точнее, уровня эрозионного среза первичных ореолов по результатам опробования их гипергенных аналогов — вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов).

Практическое значение возможности оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий по параметрам вторичных ореолов трудно переоценить. Непосредственное опробование коренных пород с поверхности (для обнаружения первичных ореолов) возможно в пределах только небольшой части территорий поисковых работ. Коренные рудовмещающие породы обычно перекрыты более молодыми рыхлыми отложениями, в которых развиты вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов.

Возможность использования в определенной ландшафтно-геохимической обстановке осевой геохимической зональности первичных ореолов для оценки гипергенных геохимических аномалий позволяет существенно повысить эффективность метода поисков рудных месторождений по их вторичным (гипергенным) литохимическим ореолам. Это достигается прежде всего в результате надежной идентификации (оценка уровня эрозионного среза геохимических аномалий) перспективных на слепое и слабоэродированное оруденение геохимических аномалий, а также благодаря обоснованному исключению из сферы последующих детальных поисково-оценочных работ многочисленных (часто весьма «привлекательных» по геолого-структурному положению) гипергенных аномалий, представленных ЗРМ.

Все это свидетельствует о целесообразности совместного изучения первичных и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов с целью разработки рациональной методики поисков рудных месторождений по их литохимическим ореолам. При этом как в теоретическом, так и в практическом отношении особенно важно дальнейшее изучение подвижности элементов-индикаторов в гипергенных процессах в различных ландшафтно-геохимических условиях. Рассмотрим задачи, которые стоят перед исследователями.

1. Увеличение числа элементов в рядах их подвижности в гипергенных условиях с целью обеспечения возможности выбора для мультиплекативных коэффициентов большего количества надежных элементов-индикаторов. Это позволит за счет резкого повышения контрастности осевой зональности первичных ореолов добиться удовлетворительного соответствия первичных и вторичных ореолов в более сложных случаях. Успешное решение задачи потребует увеличения числа элементов-индикаторов рудных месторождений, что возможно только по результатам изучения первичных ореолов, т. е. речь идет об исследовании в процессе научно-методических работ особенностей состава и строения первичных ореолов не только химических элементов, широко известных и поэтому уже ставших «традиционными» индикаторами тех или иных типов рудных месторождений, но и широкого круга химических элементов, ранее по разным причинам не исследованных.

2. Расширение географии сопряженного изучения первичных и вторичных литохимических ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений, прежде всего с целью уточнения разработанных рядов гипергенной подвижности элементов-индикаторов и создания типоморфных для определенных ландшафтно-геохимических условий (аналогично типоморфным для месторождений определенных рудных формаций) рядов гипергенной подвижности (рядов зональности) элементов-индикаторов.

Еще раз возвращаясь к вопросу о корреляции первичных и сопряженных с ними в пространстве вторичных ореолов, следует

отметить, что в условиях площадей, где коренные рудовмещающие породы перекрыты элювиально-делювиальными отложениями ограниченной мощности, выявление и оценка уровня эрозионного среза первичных геохимических ореолов, а также разбраковка зон рассеянной рудной минерализации возможны по результатам изучения гипергенного поля рассеяния элементов-индикаторов соответствующих месторождений, т. е. с помощью зональности первичных ореолов можно выделить гипергенные геохимические аномалии, перспективные на слепое и слабоэродированное оруденение. Это существенно повышает эффективность поисков рудных месторождений по их гипергенным ореолам, в первую очередь благодаря увеличению глубинности поисков, поскольку оценка уровня эрозионного среза аномалий представляет собой необходимое условие оценки их перспектив на глубину.

Отметим еще раз, что вывод об адекватности первичных и вторичных ореолов справедлив только при остаточных открытых ореолах рассеяния. В районах с устойчивым покровом аллохтонных или делювиальных отложений значительной мощности использование критериев первичных ореолов при интерпретации гипергенных аномалий может не дать положительных результатов, поскольку вторичные ореолы в толще рыхлых образований формируются иным путем, в основном за счет миграции металлосодержащих вод и осаждения элементов из растворов на различных физико-химических барьерах.

2. Наложенные ореолы

Очевидно, что выявление рудных тел и месторождений в пределах площадей, где коренные рудовмещающие породы перекрыты дальнеприносными (аллохтонными) отложениями, представляет собой наиболее сложную задачу геологоразведочных работ. Из геохимических методов для решения этой задачи наиболее эффективен метод наложения ореолов рассеяния элементов-индикаторов оруденения. Разработка основных методических принципов поисков месторождений по наложенным ореолам применительно к различным регионам и типам оруденения начата во второй половине 50-х годов и нашла свое отражение в трудах А. Д. Миллера [23], Н. И. Долухановой [9], С. П. Албула [1], Г. А. Вострокнутова, Ю. Н. Юшкова [7], Б. П. Виноградова и др. [9], Н. Ф. Майорова [22], Л. В. Антроповой [2], Н. И. Несвижской, Ю. Е. Саeta [24] и др.

Из множества предложенных методик в настоящее время наиболее приемлемыми для внедрения в производство представляются разработки Л. В. Антроповой [2] и Ю. Е. Саeta [24]. При изучении наложенных ореолов в почвах Л. В. Антроповой предложена методика выделения и анализа металлоорганических форм в виде гуматно-фульвятного комплекса почв, которая, как показали опытно-методические работы, обладает

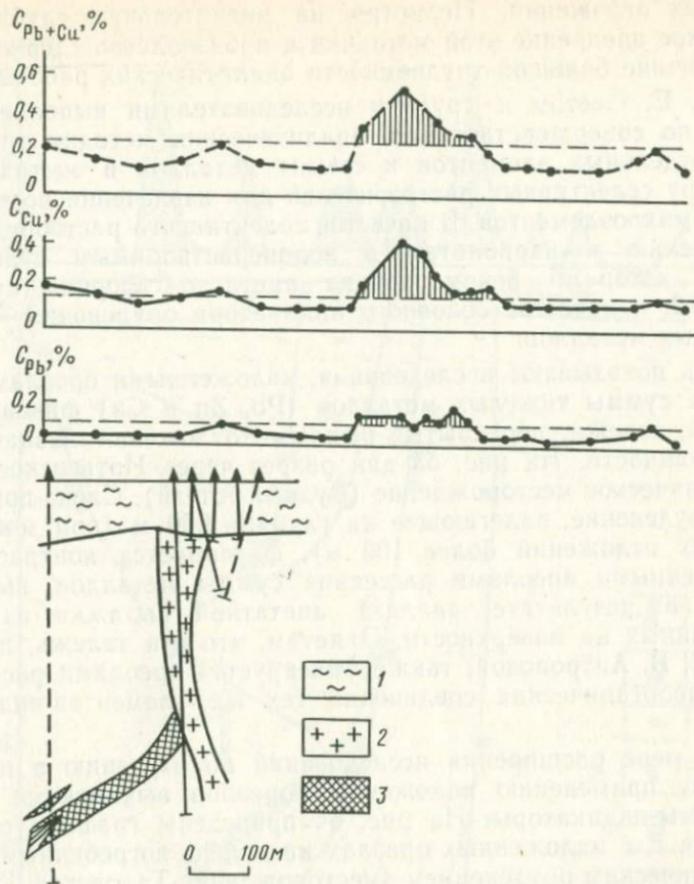


Рис. 52. Распределение $Pb+Cu$, Cu и Pb в почвах над полиметаллическим оруднением (Орловское месторождение, Рудный Алтай) (по Л. В. Антроповой):

1 — рыхлые отложения; 2 — альбит-порфиры; 3 — рудные тела; штриховкой показаны аномалии

значительной глубинностью. В качестве экстрагента для гуматно-фульватного комплекса микроэлементов рекомендован раствор пирофосфата натрия, а в качестве опорного горизонта опробования — гумусовый горизонт почв. Как следует из рис. 52, скрытое на глубине в несколько сотен метров полиметаллическое оруднение по результатам опробования почв на поверхности отчетливо фиксируется аномалиями концентраций элементов, содержащихся в ореолах в формах металлоорганических соединений. В рассмотренном случае скрытое оруднение слепо-погребенное: вертикальный размах рудовмещающих коренных пород над слепым оруднением 500 м и примерно 100 м мощность перекрывающих коренные рудовмещающие породы

рыхлых отложений. Несмотря на значительную глубинность, широкое внедрение этой методики в производство сдерживается по причине большой трудоемкости аналитических работ.

Ю. Е. Саевом и другими исследователями выполнены работы по совершенствованию аналитических методик определения отдельных элементов и суммы металлов в экстрактах и подбору селективных растворителей для извлечения подвижных форм микроэлементов. В качестве селективного растворителя по отношению к карбонатам и водонерастворимым сульфатам этими авторами рекомендована ацетатно-буферная смесь с $\text{pH}=4,2$, в качестве основного индикатора оруденения — сумма тяжелых металлов.

Как показывают исследования, наложенные ореолами рассеяния суммы тяжелых металлов (Pb , Zn и Cu) фиксируются рудные залежи, перекрытые рыхлыми отложениями значительной мощности. На рис. 53 дан разрез через Иртышское полиметаллическое месторождение (Рудный Алтай). Слепо-погребенное оруденение, залегающее на глубине 600 м (при мощности рыхлых отложений более 100 м), фиксируется контрастными наложенными ореолами рассеяния суммы металлов, выявленными в результате анализа ацетатной вытяжки из проб, отобранных на поверхности. Отметим, что эта залежь, по данным Л. В. Антроповой, также фиксируется ореолами рассеяния металлоорганических соединений тех же элементов-индикаторов.

По мере расширения исследований по изучению и практическому применению наложенных ореолов выявляются новые элементы-индикаторы. На рис. 54 приведены графики распределения F в наложенных ореолах над слепо-погребенным полиметаллическим оруденением (месторождение Таловское, Рудный Алтай). Несмотря на значительную глубину залегания рудных тел (примерно 400 м, из них 70—80 м рыхлый чехол), по результатам опробования различных горизонтов почв на поверхности выявлены наложенные ореолы рассеяния как валового, так и подвижного F (в последнем случае F извлекается 1 %-м раствором аммония). Было установлено, что нормирование содержаний F (как валового, так и подвижного) через содержание органического C позволяет повысить контрастность наложенных ореолов рассеяния F .

Приведенные данные свидетельствуют, что наложенные (эпигенетические) ореолы рассеяния химических элементов — эффективные индикаторы погребенного и слепо-погребенного оруденения и этот метод должен найти подобающее место в комплексе поисковых методов. Опыт показывает, что наложенные ореолы рассеяния элементов-индикаторов можно использовать только для выявления погребенных рудоносных участков и зон. Дальнейшая оценка этих зон, включая определение формационного типа оруденения, уровня его эрозионного среза и ожида-

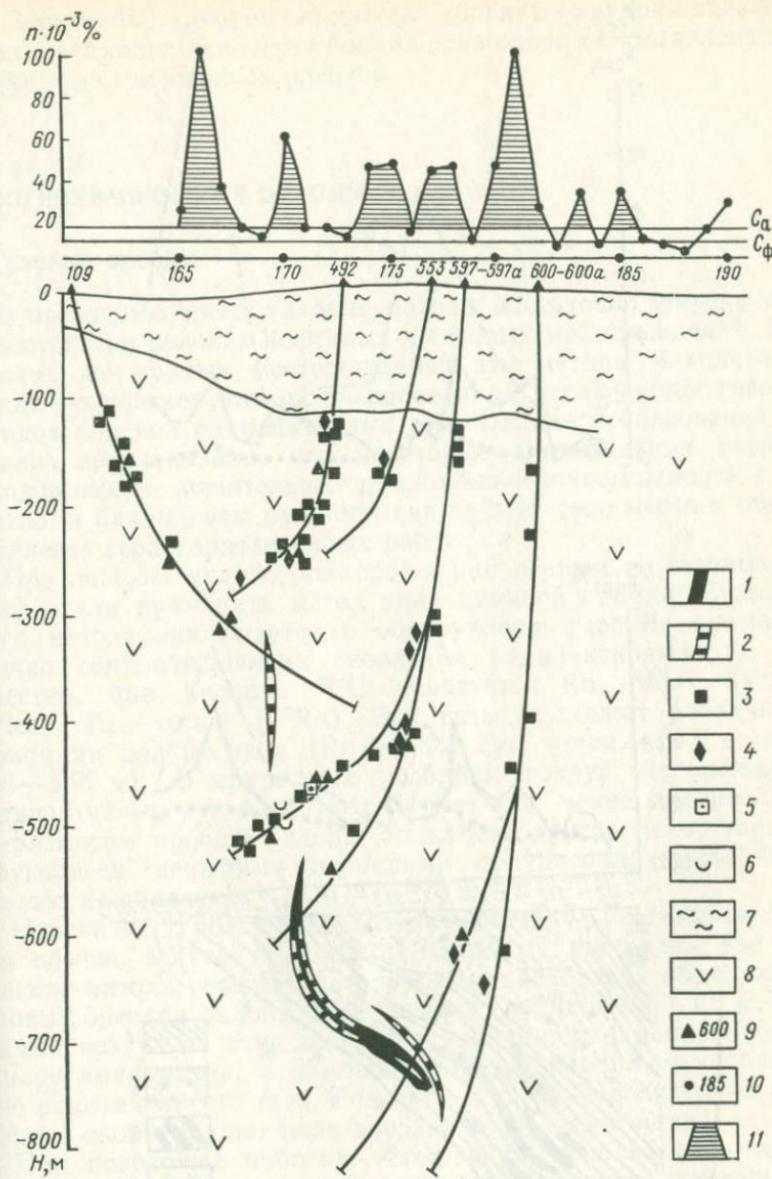


Рис. 53. Распределение суммы тяжелых металлов в почвах над полиметаллическим оруденением (Иртышское месторождение, Рудный Алтай) (по Ю. Е. Сауту):

1 — массивные руды; 2 — вкрапленные руды; 3 — пирит; 4 — халькопирит; 5 — галенит; 6 — хлоритизация; 7 — глины и суглинки неоген-четвертичного возраста; 8 — рудовмещающие вулканогенно-осадочные породы; 9 — скважины; 10 — точки литохимического опробования; 11 — аномалии; C_a — средненефное содержание; C_ϕ — минимальное аномальное содержание с 95 %-ной вероятностью

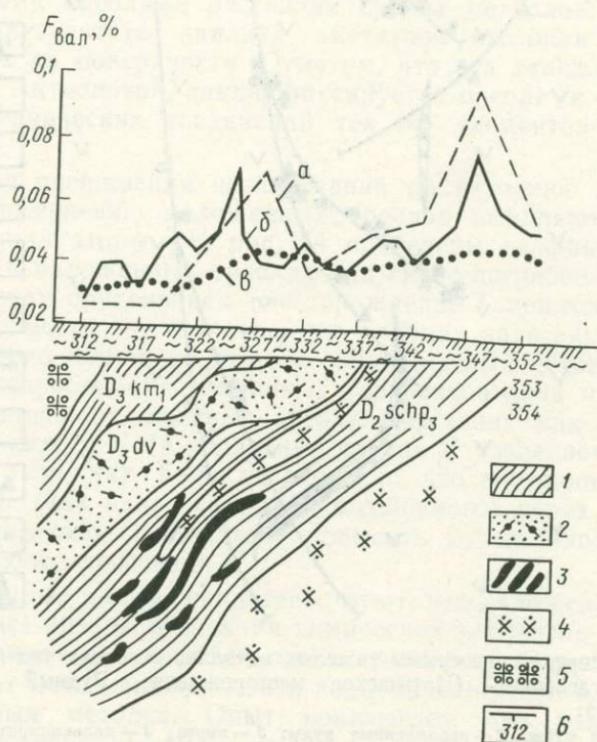
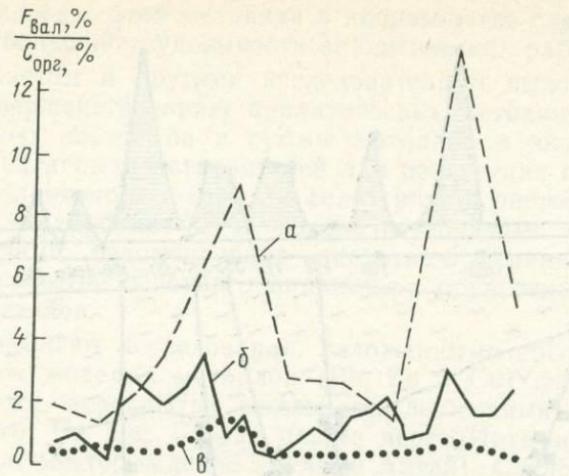


Рис. 54. Изменение содержания подвижного F и величины отношения $F_{\text{вал}}/C_{\text{орг}}$ в почвенных горизонтах на участке Таловского месторождения (по Б. Ф. Чернышеву):

Горизонты: а — С, б — В, в — А; 1 — алевролиты; 2 — туфы; 3 — рудные тела; 4 — риолитовые порфирь; 5 — брекчии; 6 — опорные точки отбора проб

мые масштабы, требует вскрытия коренных рудовмещающих пород специальными неглубокими скважинами, выявления и оценки в них первичных ореолов.

Глава IV

АТМОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ

1. Газовые ореолы

В настоящее время газовые методы достаточно широко применяются при поисках нефтяных и газовых месторождений. При поисках же рудных месторождений эти методы находятся в стадии экспериментальной разработки, за исключением газовых методов поисков радиоактивных руд. Однако исследования последних лет показали, что некоторые модификации газовых методов имеют значительные потенциальные возможности и, вероятно, в ближайшем будущем они займут свое место в общем комплексе геологоразведочных работ.

При поисках рудных месторождений первым из газовых методов стали применять метод эманационной съемки. Сущность этого метода заключается в обнаружении газовых аномалий, обычно сопровождающих скопления радиоактивных руд. Как известно, при распаде ^{238}U образуется Rn, ^{235}U — актинон (^{219}Rn), Th — торон (^{220}Rn). Эти газы обладают различными периодами полураспада (Rn — 3,825 сут, торон — 54,6 с, актинон — 3,92 с). В природных условиях вокруг месторождений радиоактивных руд образуются более или менее значительные по размерам ореолы радона, тогда как другие газы, характеризующиеся меньшими периодами полураспада, устойчивых ореолов не образуют.

Поиски месторождений радиоактивных руд по газовым ореолам обычно ведутся в пределах закрытых площадей, где применение литохимических методов затруднено. Для обнаружения газовых ореолов радона бурят шпуры глубиной 0,5—1,5 м. Почвенный воздух из этих шпурков откачивается в ионизационную камеру эманометра, с помощью которой измеряют концентрацию радиоактивного газа. Результаты замеров выносят на план, а затем оконтуривают поля ореолов исследуемого газа.

При поисковых работах, естественно, используются только те газовые компоненты, распределение которых закономерно связано с рудными месторождениями того или иного типа. Для рудных месторождений, по А. И. Фридману [42], характерны углекислый газ, кислород, азот, углеводородные соединения, водород, сероводород, сернистый газ, галоидные соединения углерода, оксид углерода, аммиак, редкие газы (Ar, Kr, Xe, Rn, Ne и He).

Наличие газовых ореолов рассеяния вокруг рудных залежей, а также в зонах, контролирующих оруденение дизъюнктивных

нарушений, определяют возможность использования газовой съемки как для поисков рудных месторождений, так и для трассирования дизъюнктивных нарушений при геолого-структурном картировании и последующих прогнозных построениях.

А. И. Фридман, проводивший детальное изучение связи ореолов рассеяния различных газов с месторождениями твердых полезных ископаемых, выделяет ряд основных видов связи газовых компонентов с рудными телами.

1. Скопления газов в рудных телах, локализованных в текtonически ослабленных зонах, являющихся основными путями перемещения рудообразующих растворов и природных газов.

2. Скопления ряда газовых компонентов в результате протекающих в зоне окисления рудных месторождений химических реакций. В зоне окисления сульфидных руд, в частности, имеет место образование сульфатов из сульфидов. Происходит связывание кислорода и образование серной кислоты и сульфатов. Последние, взаимодействуя с карбонатными растворами, выделяют углекислый газ, в результате чего происходит обеднение кислородом и обогащение углекислым газом, сероводородом и сернистым газом.

3. Появление в аномальных концентрациях газовых компонентов продуктов радиоактивного распада. К числу этих компонентов относятся Rn, торон, Не, Н и тяжелые углеводородные газы.

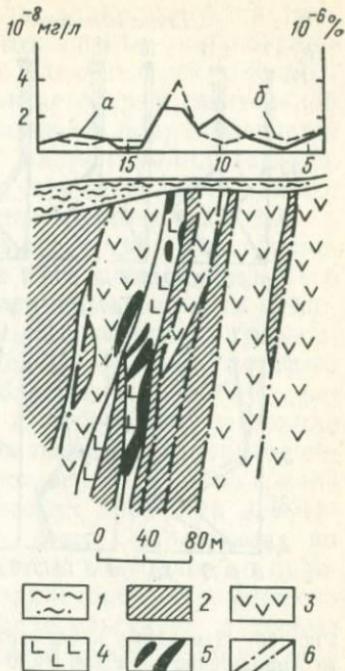
4. Эндогенные газовые ореолы рудных тел, образованные газами, заключенными в газово-жидких включениях рудных тел и окружающих их первичных ореолах.

Наиболее эффективный способ обнаружения газовых геохимических аномалий — газовая съемка по подпочвенному воздуху, сущность которой заключается в определении концентрации газовых компонентов в подпочвенном воздухе перекрывающих рудные тела рыхлых отложений.

В последние годы усилился интерес к исследованиям по разработке и внедрению в практику геологоразведочных работ газо-ртутного метода поисков рудных месторождений. Теоретические основы этого метода разработаны А. А. Сауковым, Н. А. Озеровой, В. П. Федорчуком, В. З. Фурсовым и др. Этот метод основан на высокой летучести паров Hg, способных проникать через значительные толщи перекрывающих отложений. Пробы почвенного воздуха для определения концентраций паров Hg также отбираются из неглубоких скважин с помощью специальных герметических устройств, соединенных с приемником атомно-абсорбционного фотометра или с камерой поглотителя с сорбентом. В дальнейшем концентрация Hg определяется либо колориметрическим методом, либо с помощью атомно-абсорбционного фотометра. Для выявления газовых ореолов все шире применяется атомно-абсорбционный фотометр, характеризующийся высокой чувствительностью определения паров Hg.

Рис. 55. График концентраций Hg в газовой и твердой фазах на ртутном месторождении Улу-Тоо (*по В. З. Фурсову*):

a, б — графики концентрации Hg: *a* — в газовой фазе, мг/л; *б* — в твердой фазе, %; 1 — аллохтонные суглинки; 2 — сланцы; 3 — основные эфузивы; 4 — листвениты; 5 — рудные тела; 6 — разрывные нарушения



Исследованиями последних лет установлено, что газовые ореолы рассеяния Hg могут быть использованы при поисках не только собственно ртутных, но и других по составу месторождений (например, полиметаллических, где Hg, являясь элементом-спутником, также формирует газовые ореолы рассеяния).

Для методики газо-ртутных поисков рудных месторождений принципиально важно, что отчетливые газовые ореолы рассеяния Hg фиксируются над погребенным и слепо-погребенным оруденением. На рис. 55 приведены графики распределения Hg над рудными телами ртутного месторождения Улу-Тоо (Кыргызстан), перекрытыми аллохтонными лессовидными суглинками мощностью 10—25 м. Несмотря на аллохтонный характер перекрывающих рыхлых отложений, ртутное оруденение по результатам ртутно-метрических определений выделяется отчетливыми аномалиями.

Использование газо-ртутного, как и других атмохимических методов, наиболее целесообразно при поисках месторождений и рудных тел, погребенных под чехлом аллохтонных (далее — приносичных) отложений.

2. Ионометрические ореолы

Методика измерений. Как уже отмечалось, выявление новых рудных тел и месторождений на участках, где коренные рудо-

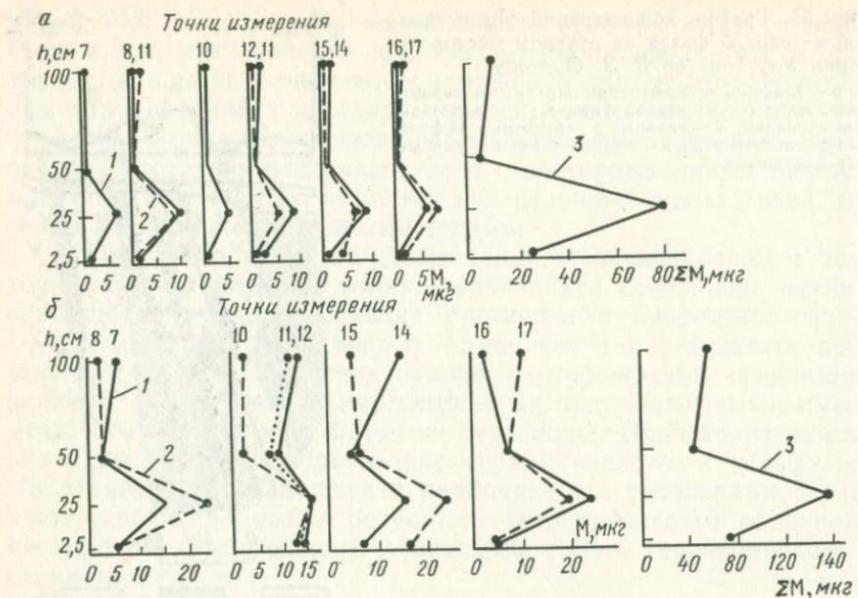


Рис. 56. Изменение концентраций элементов по вертикали (золоторудное месторождение) — а для Pb, б — для Cu:

1, 2 — графики содержаний химических элементов; 3 — графики суммы концентраций по всем точкам наблюдений

вмещающие породы перекрыты аллохтонными рыхлыми отложениями, представляет собой наиболее сложную задачу геологических работ. Для ее решения с успехом можно использовать ионометрический метод, разработанный автором и Е. М. Копиным.

Научная основа метода — установленное авторами наличие над погребенным оруденением в приземной части атмосферы повышенных концентраций элементов-индикаторов. Эти аномалии элементов-индикаторов фиксируются специально предложенной для этой цели «ионной ловушкой». Ионные ловушки устанавливают на точках наблюдений по профилю через определенные расстояния (обычно 20 м). Экспозиция составляет 20 ч.

Для выяснения характера изменений в атмосфере (по вертикали) концентраций исследованных элементов в отдельных точках наблюдений ионоприемники располагались на разных высотах: 2,5; 25; 50 и 100 см (рис. 56, а, б). Графики, приведенные на рис. 56, отчетливо иллюстрируют идентичный для всех точек наблюдений характер изменения концентраций Си и Pb: в непосредственной близости от поверхности земли, на высоте 2,5 см, концентрации элементов, как правило, минимальны. На уровне 25 см во всех случаях установлены максимальные концентрации Си и Pb. По мере увеличения высоты пробоотбора концентрации элементов уменьшаются и затем выравниваются. Более

контрастно описываемая закономерность иллюстрируется графиками изменения суммарных по всем точкам наблюдений концентраций как одного, так и другого элемента (см. рис. 56). Эти данные позволяют предложить понятие о представительной высоте опробования атмосферы, под которой подразумевается высота максимального накопления элементов-индикаторов. В конкретных условиях рассмотренного месторождения золото-серебряного типа представительной является высота 25 см.

Заканчивая описание методики ионометрических работ, отметим, что важная характеристика любого метода измерений — его воспроизводимость. Для ее оценки на всех исследованных месторождениях по ряду профилей выполнено повторное опробование, заключающееся в отборе и последующем анализе через сутки новых проб на тех же точках наблюдений. Обработка результатов основного и контрольного опробования позволила установить, что во всех случаях воспроизводимость предложенного метода опробования вполне достаточна для надежной фиксации и оконтуривания ионометрических аномалий элементов-индикаторов. Для иллюстрации этого положения на рис. 57—59 приведены графики основного и контрольного опробования для различных элементов-индикаторов. Практически полное совпадение этих графиков свидетельствует о весьма удовлетворительной для целей геохимических исследований воспроизводимости ионометрических измерений.

При обсуждении первых результатов ионометрических ис-

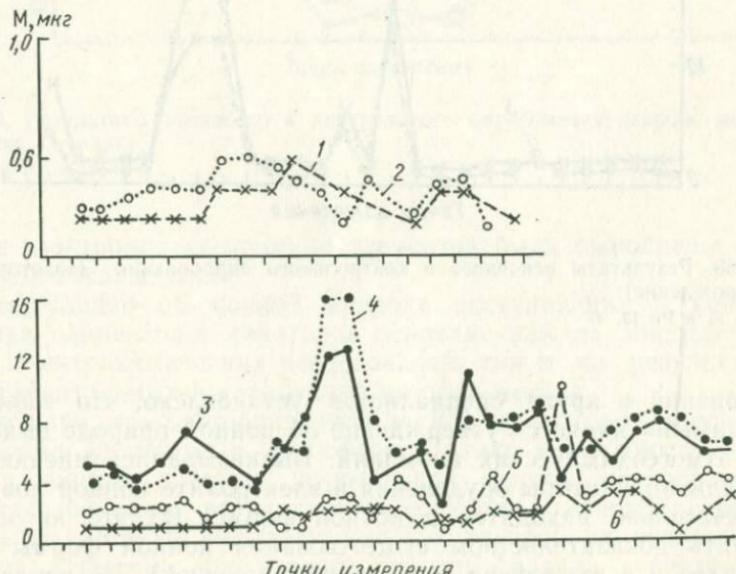


Рис. 57. Результаты основного и контрольного опробования (золоторудное месторождение):

Au (1, 2), Cu (3, 4) и Pb (5, 6)

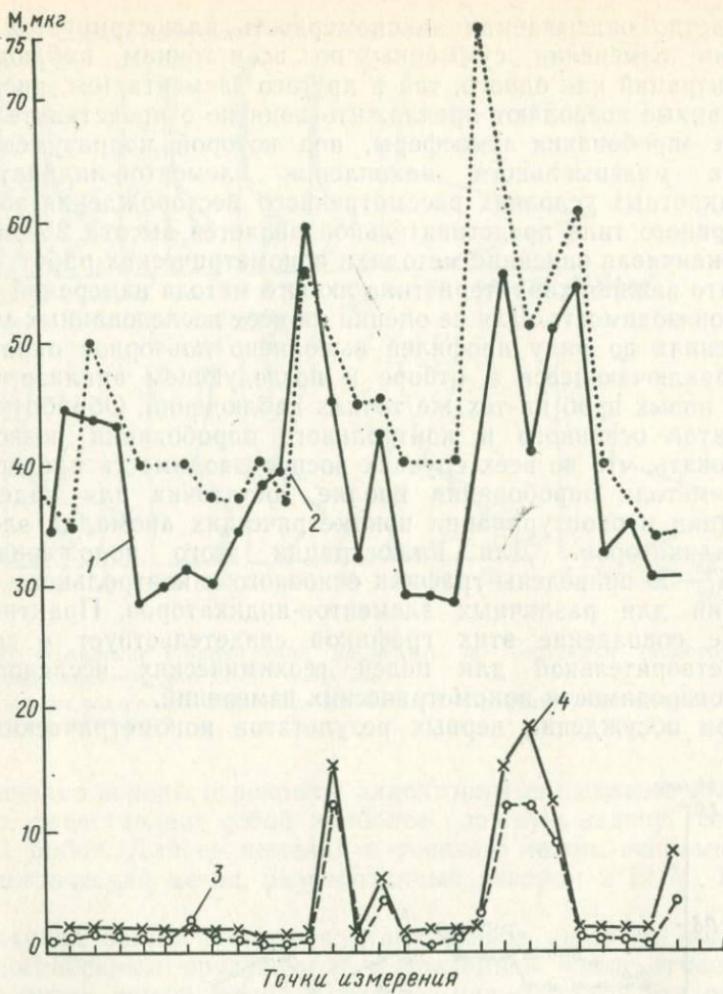


Рис. 58. Результаты основного и контрольного опробования (золоторудное месторождение):
Cu (1, 2) и Pb (3, 4)

следований в кругу специалистов установлено, что наиболее «уязвимым» является утверждение об ионной природе выявленных атмогеохимических аномалий. Высказывались мнения, что металлы-индикаторы оруденения в электролите ионной ловушки действительно находятся в ионной форме. Но это не может служить доказательством существования ионной формы этих металлов и в атмосфере (вне ионных ловушек). Не исключена возможность прилипания аэрозолей к полупроницаемой перегородке (дну) ионной ловушки, «смоченной» электролитом. Для исследования вероятности проявления данного механизма пере-

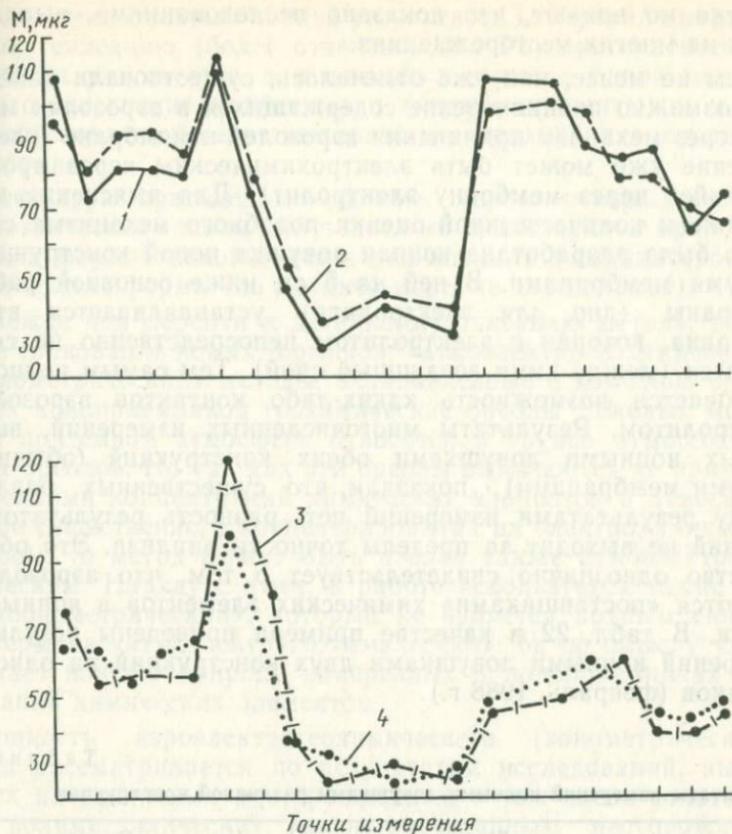


Рис. 59. Результаты основного и контрольного опробования (серное месторождение Гаурдак):
Pb (1, 2) и Cu (3, 4)

хода в электролит химических элементов были выполнены специальные исследования.

Утверждение об ионной природе поступающих в ионные ловушки элементов-индикаторов основано как на многолетнем опыте электрохимических исследований, так и на результатах экспериментальных исследований авторов метода.

Очевидно, что альтернативной ионной может быть аэрозольная форма элементов в атмосфере. Однако возможность перехода в ионные ловушки аэрозольной формы опровергается представительными результатами повторных ионометрических измерений, которые выявляют высокую степень их воспроизводимости. Известно, что аэрозольное опробование характеризуется крайне неудовлетворительной воспроизводимостью, целиком и полностью зависящей от погодных условий. В отличие от этого на результаты ионометрической съемки погодные условия

заметно не влияют, что доказано исследованиями, выполнеными на многих месторождениях.

Тем не менее, как уже отмечалось, существовали опасения, что возможно проникновение содержащихся в аэрозолях металлов через механизм прилипания аэрозолей к мембране (где растворение уже может быть электрохимическим через просачивающийся через мембрану электролит). Для выяснения этого, а также и количественной оценки подобного механизма специально была разработана ионная ловушка новой конструкции — с двумя мембранными. В ней на 5 см ниже основной рабочей мембранны (дно для электролита) устанавливается вторая мембрана, которая с электролитом непосредственно не соприкасается (между ними воздушный слой). Тем самым полностью исключается возможность каких-либо контактов аэрозолей с электролитом. Результаты многочисленных измерений, выполненных ионными ловушками обеих конструкций (обычной и с двумя мембранными), показали, что существенных различий между результатами измерений нет: разность результатов измерений не выходит за пределы точности анализа. Это обстоятельство однозначно свидетельствует о том, что аэрозоли не являются «поставщиками» химических элементов в ионные ловушки. В табл. 22 в качестве примера приведены результаты измерений ионными ловушками двух конструкций на одном из участков (февраль, 1988 г.).

Таблица 22

Результаты измерений ионными ловушками различной конструкции

Дата измерений, дни	Pb, мкг			Cu, мкг		
	одна мембрана	две мембранны	разность	одна мембрана	две мембранны	разность
5	1,1	1,1	0,0	1,0	1,0	0,0
6	1,5	1,2	+0,3	0,8	0,8	0,0
7	1,5	1,4	+0,1	1,0	1,0	0,0
8	0,9	0,9	0,0	0,6	0,6	0,0
11	1,9	1,85	+0,05	0,8	0,8	0,0
12	1,7	1,7	0,0	0,4	0,4	0,0
13	1,5	1,5	0,0	0,8	0,7	0,1
14	1,2	1,2	0,0	0,75	0,7	+0,05
15	1,45	1,4	+0,05	0,8	0,8	0,0
18	1,4	1,5	-0,1	0,7	0,7	0,0
19	1,1	1,1	0,0	1,0	1,0	0,0
20	1,3	1,25	+0,05	1,0	1,0	0,0
21	1,0	1,0	0,0	0,6	0,6	0,0
22	1,3	1,3	0,0	1,0	1,0	0,0
25	1,4	1,4	0,0	0,9	0,9	0,0
26	1,8	1,8	0,0	1,1	1,1	0,0
27	1,6	1,6	0,0	1,0	1,1	-0,1
28	1,0	1,0	0,0	0,7	0,7	0,0
29	1,4	1,4	0,0	1,1	1,0	+0,1

Более внимательный анализ результатов измерений выявляет, однако, тенденцию (более отчетливо для Pb) систематического завышения результатов для ионных ловушек с одной мембраной: это завышение крайне мало (первые проценты) и может быть обусловлено именно механизмом «прилипания» аэрозолей к мембране.

Резюмируя приведенные данные, можно утверждать, что ионометрические ореолы действительно существуют в природе и основной формой нахождения в них элементов-индикаторов является ионная форма (по крайней мере, не аэрозольная).

Прежде чем перейти к детальному описанию метода, дадим четкое толкование новых терминов: «атмоэлектрогохимический» и «ионометрический» методы. Установленные с помощью специальных ионоприемников геохимические ореолы тяжелых металлов в приземной атмосфере относятся к группе атмогеохимических ореолов. Но так как эти ореолы выявляются не прямыми измерениями концентраций химических элементов в атмосфере, а после существенного концентрирования их электрохимическим способом, то метод может быть назван также атмоэлектрогохимическим. Наряду с этим, в работе используется также термин «ионометрический», который не является полным синонимом термина «атмоэлектрогохимический»: он по смыслу уже и отражает ионную природу измеренных в ионоприемниках концентраций химических элементов.

Сущность атмоэлектрогохимического (ионометрического) метода рассматривается по результатам исследований, выполненных на различных месторождениях, в том числе золоторудных, полиметаллических, медно-колчеданных, месторождений алмазов и серы.

Золоторудные месторождения. На месторождении 1 состав руд золото-серебряный. Структура месторождения определяется тектоническими нарушениями субширотного и северо-восточного направлений с мощными зонами дробления пород. В этих зонах размещается большинство рудных тел, представленных линзами разных размеров с углами падения 50—70°. Вмещающим оруденение породами на месторождении является терригенная песчано-сланцевая толща бесапанской свиты протерозоя. По составу это олигомиктовые, полевошпатово-кварцевые, полевошпатово-кремнисто-кварцевые песчаники, слюдисто-полевошпат-кварцевые алевролиты, филлитовидные, кремнисто-слюдисто-хлоритовые сланцы.

Минеральный состав руд месторождения: пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, мирагирит, пирагирит, электрум, кюстелит, самородное золото, самородное серебро и др. Золото-серебряное отношение в рудах описываемого месторождения составляет 15—30. В пределах площади месторождения оруденение перекрыто довольно мощным чехлом более молодых по отношению к оруденению (по отношению к

оруденению от 20 до 60 м) терригенных мезокайнозойских отложений.

Опытно-методические работы проводились на фланге месторождения по двум профилям скважин с расстоянием между ними 100 м. Разрезы вскрывают золото-серебряное оруденение до глубины 100 м.

Ранее проведенными атмоэлектрогохимическими работами на месторождении по указанным профилям, пересекающим рудную зону, зафиксированы повышенные концентрации Pb и Cu над коренным золотым оруденением и его первичными ореолами. Геохимические аномалии этих элементов установлены при извлечении элементов с помощью ионометрического способа в приземной атмосфере на высоте 2,5 см. Следует отметить, что фиксация элементов в атмогеохимических аномалиях в основном определяется аналитическими возможностями. Pb и Cu оказались наиболее «благоприятными» для данного метода, поскольку применяемый для электрогохимических исследований полярографический метод анализа характеризуется экспрессностью и удовлетворительной чувствительностью практически только на эти элементы, особенно в полевых условиях. Очевидно, что выявление других элементов-индикаторов возможно только при условии привлечения новых более чувствительных аналитических методов. Естественно, что для месторождений золото-серебряной формации интерес представляют основные компоненты руд — Au и Ag.

Предварительно были выполнены специальные исследования, предусматривающие определение представительной для электрогохимических измерений высоты. Установленные для этой цели специальные мачты высотой до 4,5 м позволили выяснить, что представительной для электрогохимических измерений является высота 25 см (в интервале высот от 0 до 4,5 м). Напомним, что в данном случае представительной считалась высота, на которой с помощью ионных приемников извлекается максимальная концентрация (по массе) данного элемента.

Для обнаружения атмоэлектрогохимических ореолов Au и Ag ионометрическим способом по тем же профилям с интервалом в 20 м были установлены ионоприемники на высоте 25 см от земной поверхности. Время экспозиции, как и раньше, составляло 20 ч. Электролит ионоприемников на содержание Ag и Au анализировался атомно-абсорбционным методом с применением сорбционного концентрирования на полимерном тиоэфире. В качестве экстрагентов для Au и Ag используются органические сульфиды и другие серосодержащие реагенты, а для избирательной экстракции золота — метил-изобутилкетон и другие кислородосодержащие органические растворители (авторы метода И. И. Назаренко и И. В. Кислова).

На рис. 60 приведены кривые распределения содержаний Au и Ag вдоль профиля, а также Cu и Pb (для сравнения). Эти данные показывают, что во всех случаях над коренным оруденением

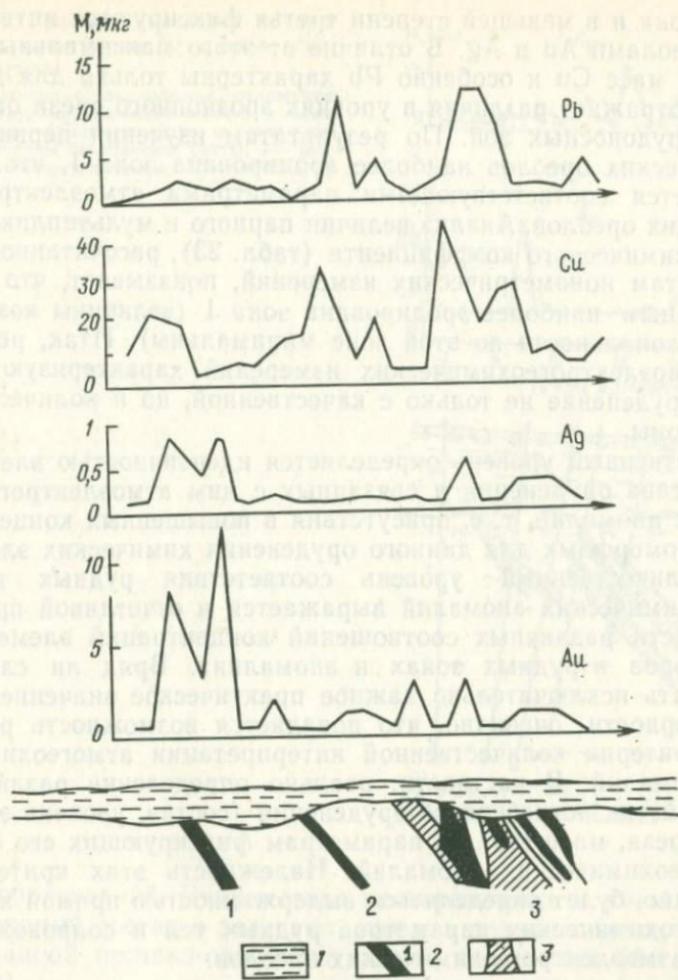


Рис. 60. Графики изменения по профилю концентраций элементов-индикаторов в ионоприемниках:

1 — перекрывающие рудные тела, пострудные (мезокайнозойские) отложения; 2 — рудные тела и их номера; 3 — забалансовые руды

нением наблюдаются повышенные концентрации всех элементов-индикаторов.

Как показывают графики извлечения, масса Au достигает до 11,8 мкг, Ag — 0,85 мкг, Cu — 5—40 мкг и Pb — 1—13 мкг (на 150 мл раствора).

Более внимательный анализ графиков распределения элементов-индикаторов на рис. 60 позволяет установить определенные различия: интенсивность атмоэлектрогохимических аномалий элементов-индикаторов неодинакова для разных рудных зон. Из выделенных в коренном залегании трех рудоносных зон только

первая зона и в меньшей степени третья фиксируются интенсивными ореолами Au и Ag. В отличие от этого максимальные извлечения масс Cu и особенно Pb характерны только для зон 2 и 3, что отражает различия в уровнях эрозионного среза описываемых рудоносных зон. По результатам изучения первичных геохимических ореолов наиболее эродирована зона 1, что подтверждается соответствующими параметрами атмоэлектрогохимических ореолов. Анализ величин парного и мультиплексивного геохимического коэффициента (табл. 23), рассчитанного по результатам ионометрических измерений, показывает, что и по этим данным наиболее эродирована зона 1 (величины коэффициентов зональности по этой зоне минимальны). Итак, результаты атмоэлектрогохимических измерений характеризуют коренное оруденение не только с качественной, но и количественной стороны.

Качественный уровень определяется идентичностью элементного состава оруденения и связанных с ним атмоэлектрогохимических аномалий, т. е. присутствия в повышенных концентрациях типоморфных для данного оруденения химических элементов. Количественный уровень соответствия рудных тел и атмогеохимических аномалий выражается в отчетливой прямой зависимости различных соотношений концентраций элементов-индикаторов в рудных зонах и аномалиях. Вряд ли следует доказывать исключительно важное практическое значение этой закономерности: очевидно, что появляется возможность разработки критерия количественной интерпретации атмогеохимических аномалий. В частности, реально определение различных характеристик погребенного оруденения (состав, уровень эрозионного среза, масштаб) по параметрам фиксирующих его атмоэлектрогохимических аномалий. Надежность этих критериев, естественно, будет определяться выдержанностью прямой корреляции геохимических параметров рудных тел и сопровождающих их атмоэлектрогохимических ореолов.

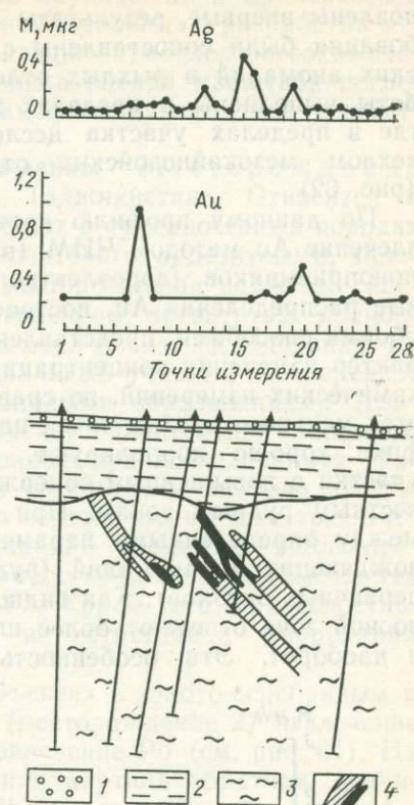
Подобный комплекс работ выполнен также на аналогичном по составу месторождении 2, расположенном в другом рудном поле. В отличие от первого месторождения, золотое оруденение второго объекта перекрывается более мощной (100 м и более) толщей молодых (также пострудных) мезокайнозой-

Таблица 23
Величины коэффициентов геохимической зональности

Рудоносные зоны	Pb Au	Pb-Ag Au-Cu
1	0,4	0,01
2	5,8	0,04
3	4,2	0,07

Рис. 61. Графики изменения по профилю концентраций Ag и Au в ионоприемниках:

1 — современные лессовидные отложения;
2 — пострудные (мезокайнозойские) отложения;
3 — рудовмещающие песчано-сланцевые породы бесапанской свиты; 4 — рудные тела (заштрихованы забалансовые руды)



ских образований. Рудные тела месторождения 2 имеют золото-сульфидный состав и залегают, как и в первом случае, в дислоцированной песчано-сланцевой толще протерозоя (бесапанская свита).

Рудная зона месторождения представлена интенсивно смятыми и окварцованными углеродисто-слюдисто-кварцевыми сланцами с сульфидной минерализацией. Из сульфидов в рудах присутствуют пирит, в меньших количествах — халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит и др. По указанному профилю во всех ионоприемниках установлены содержания Ag и Au.

На рис. 61, где приведены графики распределения извлеченных масс Au и Ag (при фоне Au в 0,25 мкг и Ag в 0,1 мкг), довольно четко выделяются области с повышенными концентрациями этих элементов (до 1 мкг), приуроченные к участкам оруденения. Несовпадение аномалий Au и Ag, по всей вероятности, отражает геохимические различия рудоносных зон, локализованных в коренных рудовмещающих породах.

Учитывая то обстоятельство, что значимые концентрации Au и Ag в ионометрических аномалиях приземной атмосферы уста-

новлены впервые, результаты атмоэлектрогохимического опробования были сопоставлены с данными выявления геохимических аномалий в рыхлых отложениях методом ЧИМ. Эти работы выполнены в пределах золоторудного месторождения 1, где в пределах участка исследований оруденение перекрыто чехлом мезокайнозойских отложений мощностью 20—180 м (рис. 62).

По данному профилю проведено электрогохимическое извлечение Au методом ЧИМ (в анодном режиме) и с помощью ионоприемников (аэроЭлектрогохимическое извлечение). Криевые распределения Au, построенные по результатам измерений обоими способами, представлены на рис. 62. Более плавный характер изменения концентраций Au по данным атмоэлектрогохимических измерений, по сравнению с методом ЧИМ объясняется меньшим числом точек наблюдений. В целом же, оба графика хорошо коррелируют. На графиках четко выделяются участки с повышенным содержанием Au, которые отвечают известным рудным зонам. При этом наблюдается тесная связь между определенными параметрами рудоносных зон и сопровождающих их аномалий (рудных тел и сопровождающих их первичных ореолов). Как видно из рис. 62, более крупной рудоносной зоне отвечают более широкие и интенсивные аномалии и наоборот. Эта особенность развития атмоэлектрогохими-

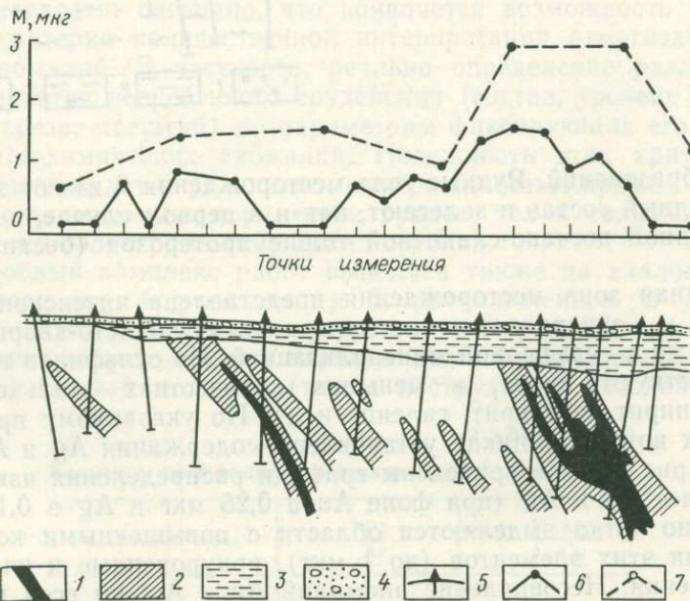


Рис. 62. Графики изменения концентраций Au:

1 — рудные тела; 2 — первичные ореолы; 3 — перекрывающие рудные тела (мезокайнозойские) отложения; 4 — современные рыхлые отложения; 5 — скважины с интервалами опробования; график изменения концентраций Au: 6 — зафиксированных методом ЧИМ, 7 — в ионоприемниках

ческих аномалий имеет не только научное, но и практическое значение. Последнее определяется возможностью разработки методики количественной интерпретации атмозаэлектрохимических аномалий, в частности методики оценки масштаба погребенного оруденения по параметрам фиксирующих его ионометрических аномалий.

Полиметаллическое месторождение. Месторождение Канимансур расположено в Таджикистане. Относится к серебряно-свинцовому типу и залегает в вулканогенных породах (порфириты, туфы порфиритов риолитового, андезитового, андезит-дацитового составов). Руды месторождения сложены галенитом, сфалеритом, самородным серебром,argentитом, полибазитом и др. Для выполнения геохимических исследований по описанной методике выбран специальный участок, где коренное оруденение перекрыто более молодыми образованиями (глинистые отложения мелового возраста) значительной мощности (350—500 м). Сопоставив полученные при исследованиях графики распределения Pb и Cu по результатам анализа проб с помощью ионоприемников, можно видеть, что во всех трех экспериментах распределение содержаний элементов вдоль профиля неравномерное, над участками с оруденением отмечаются повышенные концентрации Cu и Pb. Кроме того, при сопоставлении графиков наблюдается их отчетливая корреляция (рис. 63).

Интересно отметить, что на объектах с золото-серебряным и золото-сульфидным оруденением (месторождение 2) извлечение Cu в несколько раз превышает извлечение Pb (см. рис. 61). На серебряно-свинцовом месторождении картина обратная: значительно больше здесь извлечение Pb (см. рис. 63).

Для иллюстрации этого положения приведем значения Pb-Cu отношения для всех исследованных месторождений (табл. 24).

Это отношение максимально для месторождения серебряно-свинцового состава. Таким образом, можно сделать очень важный в научном и практическом отношении вывод: метод геохимических поисков с помощью ионоприемников не только позво-

Таблица 24

Величины отношения средних содержаний пары Pb—Cu

Месторождение	Высота опробования, см	
	50	100
Золото-серебряное	0,13	0,32
Золото-сульфидное	0,2	0,05
Серебряно-свинцовое	100	80

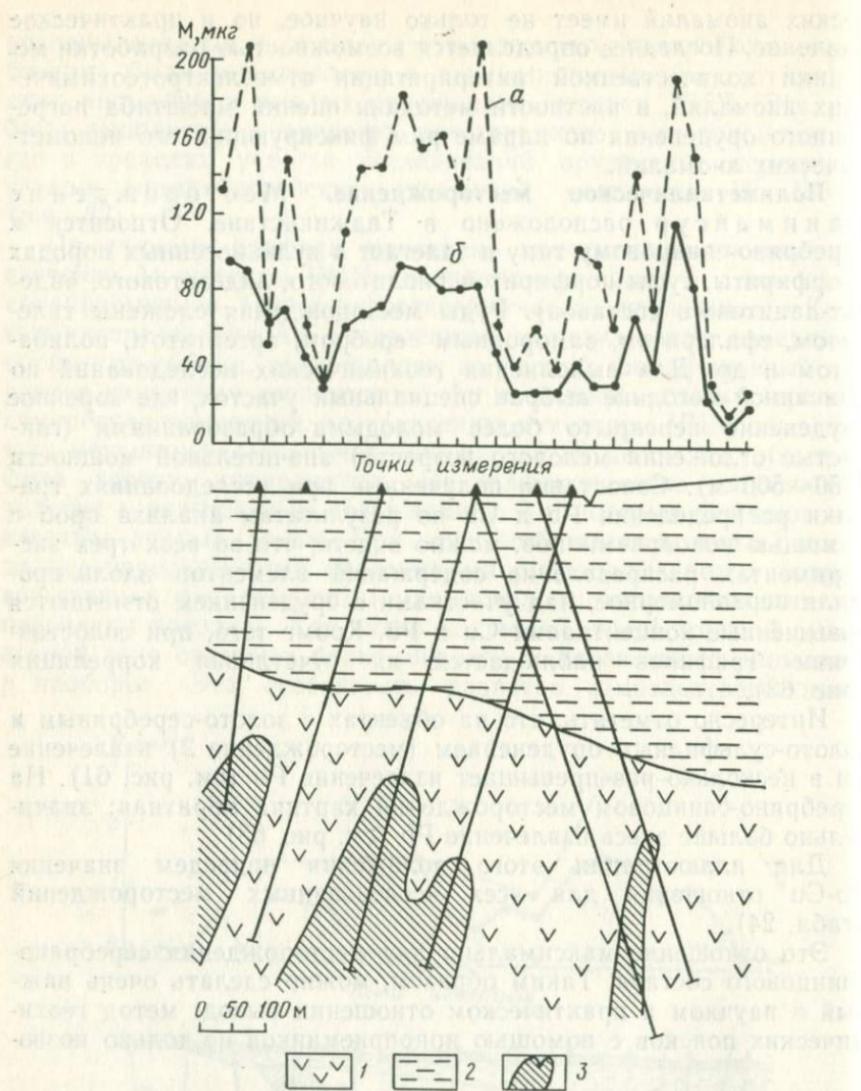


Рис. 63. График распределения концентраций элементов над погребенными рудными телами свинцово-серебряного месторождения:

a — Pb; *b* — Cu; 1 — рудовмещающие вулканогенные породы пермского возраста; 2 — глинистые отложения мелового возраста; 3 — слепо-погребенные рудные тела

ляет зафиксировать глубоко погребенное оруденение, но и отражает примерные соотношения содержаний исследованных в ионоприемниках элементов-индикаторов в погребенном оруденении. Важное практическое значение этого аспекта метода станет очевидным, если учесть, что возможность фиксации соотношений элементов-индикаторов в коренном оруденении намечает реальные пути резкого повышения эффективности геохимиче-

ских поисков погребенного оруденения за счет привлечения этих соотношений для интерпретации ионометрических аномалий (аномалий, выявленных методом ионоприемников).

Медно-колчеданное месторождение. Выбор колчеданного месторождения Уруп в качестве объекта опытно-методических атмосферогеохимических исследований не случаен: он обусловлен специфическими генетическими особенностями месторождения. В настоящее время можно считать доказанным вулканогенно-осадочный генезис многих колчеданных месторождений. Как показали исследования последних лет [3, 5], механизм локализации оруденения однозначно определяет также отличительные черты строения первичных геохимических ореолов, которые на месторождениях вулканогенно-осадочного генезиса характеризуются особым строением, в частности практическим полным отсутствием надрудных ореолов. Данное обстоятельство существенно влияет на методику геохимических поисков этих месторождений: отсутствие значительных по размерам и контрастности надрудных первичных ореолов сильно ограничивает возможности и эффективность применения геохимических методов при поисках колчеданных месторождений вулканогенно-осадочного генезиса, особенно в случае их слепого залегания. Вот почему проблема разработки эффективных критериев поисков скрытых колчеданных месторождений исключительно актуальна. Один из возможных путей решения этой проблемы — применение уже рассмотренного нами атмосферогеохимического метода.

Месторождение Уруп расположено в северо-западной части зоны Передового хребта на Северном Кавказе. Процесс рудообразования, определяющий металлогенический облик Передового хребта, — вулканогенно-осадочное рудоотложение, связанное со спилит-кератофировой формацией [3]. Медно-колчеданное оруденение на месторождении локализовано в толще вулканогенно-осадочных образований девона. Рудные тела представляют собой согласные с вулканогенными породами линзы и пластообразные залежи.

На рис. 64 — разрезе через Главную рудную залежь — изображены мультиплекативные ореолы основных элементов-индикаторов данного типа оруденения (Cu , Zn , Pb , Ag , Mo , Co , As). Они мощной полосой (до 200 м) окаймляют слепую залежь со стороны лежачего бока и весьма узкой (15—20 м) — со стороны висячего. Характерная особенность первичных ореолов — концентрическая геохимическая зональность (в общем случае симметричная относительно подводящих каналов), которая отчетливо фиксируется графиком мультиплекативного коэффициента геохимической зональности $\frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag}}{\text{Cu} \cdot \text{Co} \cdot \text{Mo}}$. Для сравнения на рис. 64 показан также условный график зональности первичных ореолов типичного гидротермального месторождения (зональ-

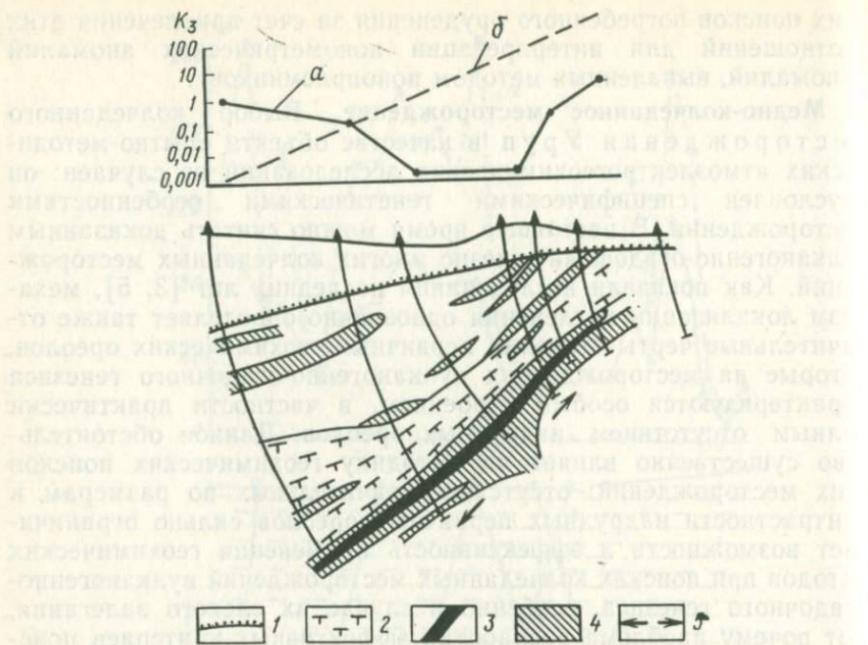


Рис. 64. Мультиплекативные ореолы в разрезе через Главную рудную залежь месторождения Уруп:

a — график изменения (по скважинам) мультиплекативного коэффициента зональности;
б — условный график изменения коэффициента зональности гидротермального оруденения;
1 — граница между породами верхней юры и девона; 2 — туфы смешанного состава;
3 — рудная залежь; 4 — мультиплекативные ореолы (Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Co, As);
5 — предполагаемые направления движения рудообразующих растворов

ность асимметричная, которая выражается монотонно восходящей линией графика).

На рис. 65 приведены графики распределения Cu и Pb по результатам анализа электролита ионоприемников, расположенных на высоте 50 см (по другим высотам получены идентичные результаты). По этому разрезу исследованы атмоэлектрогохимические ореолы вокруг погребенного на юге (глубина 50 м), слепо-погребенного на севере (глубина 200 м) рудного тела.rudovмещающие вулканогенно-осадочные породы девона перекрыты юрскими сланцами со средней мощностью 50 м, а также современными элювиально-делювиальными отложениями мощностью до 15 м. Несмотря на столь неблагоприятные для фиксации рудогенных ореолов условия залегания рудного тела, по профилю установлены отчетливые ионометрические аномалии Cu и Pb, фиксирующие скрытое на глубине оруденение. Для сравнения на рис. 66 приведен также график содержаний паров Hg, построенный по результатам ртутнометрической съемки. Аномалии Hg отражают выход рудного тела на древнюю эрозионную поверхность, тогда как слепое погружение

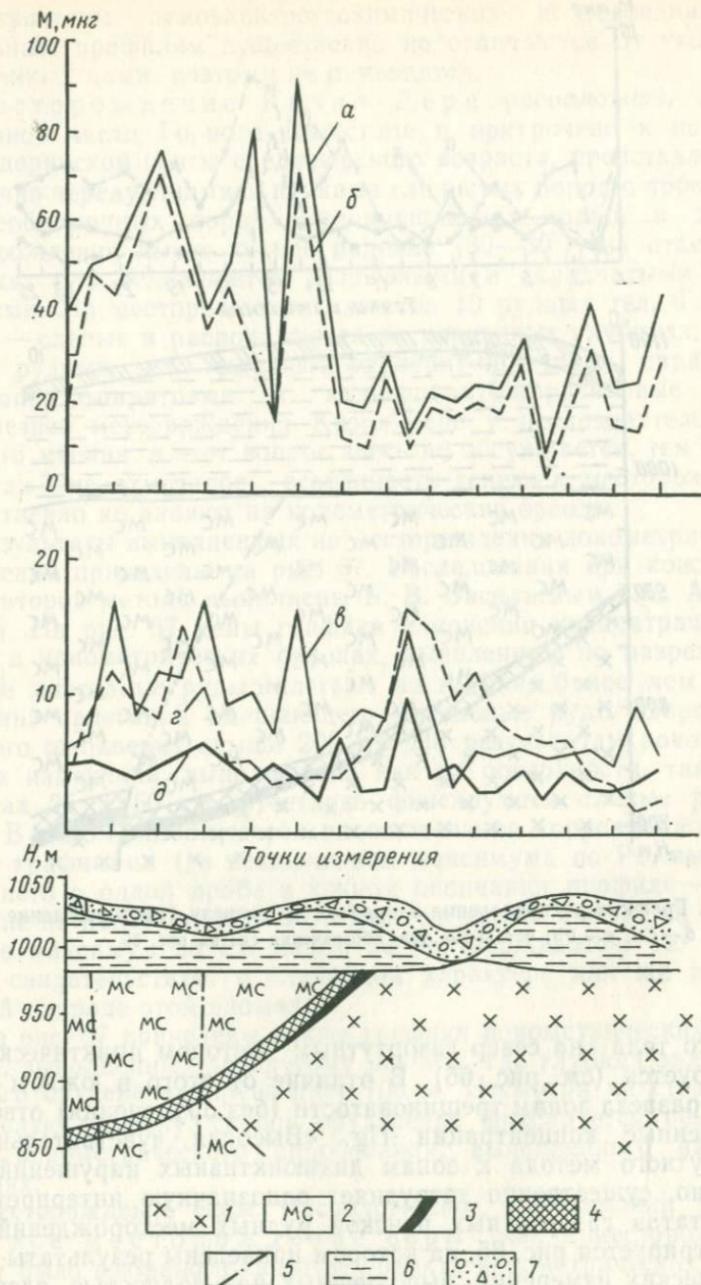


Рис. 65. Графики распределения элементов по разрезу (месторождение Уруп): графики распределения: a — Pb; δ — Hg (рутнотометрическая съемка); b — Cu; ε — Zn; δ — суммы Cu и Zn; 1 — подстилающие девонские вулканогенные породы; 2 — перекрывающие девонские вулканогенно-осадочные породы; 3 — рудное тело; 4 — рудоносная зона; 5 — разломы; 6 — юрские сланцы; 7 — современные элювиально-делювиальные отложения

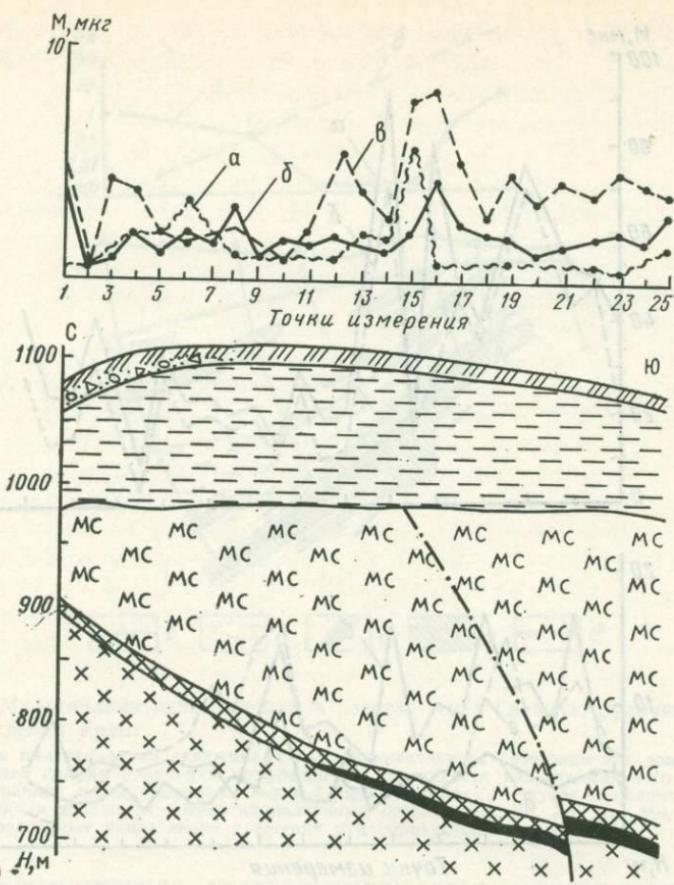


Рис. 66. Графики распределения элементов по разрезу (месторождение Уруп):
а — Hg; б — Cu; в — Pb; остальные усл. обозначения см. на рис. 65

рудного тела на север газортутным методом практически не фиксируется (см. рис. 65). В отличие от этого в южном окончании разреза зонам трещиноватости (без оруденения) отвечают повышенные концентрации Hg. «Высокая чувствительность» газортутного метода к зонам дизъюнктивных нарушений, как известно, существенно затрудняет однозначную интерпретацию результатов газортутных поисков рудных месторождений, что иллюстрируется рис. 65, на котором приведены результаты ионометрических измерений, выполненных над полностью слепо-погребенным рудным телом, залегающим на глубине 300—400 м. Как видно, и в данном случае скрытое на значительной глубине оруденение фиксируется ионометрическими аномалиями, наиболее отчетливыми по Pb.

Результаты атмоэлектрогохимических исследований по остальным профилям существенно не отличаются от уже рассмотренных нами, поэтому не приводятся.

Месторождение Кизил-Дере расположено в юго-восточной части Горного Дагестана и приурочено к породам кизилдеринской свиты среднеюрского возраста, представленным ритмично чередующимися пачками глинистых пород с прослойями среднеобломочных пород. Рудовмещающая толща в районе месторождения имеет южное падение (60 — 80°), на отдельных участках она осложнена разрывными и складчатыми нарушениями. На месторождении известно 10 рудных тел, 6 из которых — слепые и располагаются на различных глубинах. В составе рудных тел выделяют сфалерит-пиритовые, пиритовые, халькопирит-пиритовые и халькопирит-пирротиновые руды. О генезисе месторождения Кизил-Дере у исследователей нет единого мнения, и этот вопрос здесь не обсуждается, тем более, что, как уже отмечалось, особенности генезиса месторождений существенно не влияют на ионометрические ореолы.

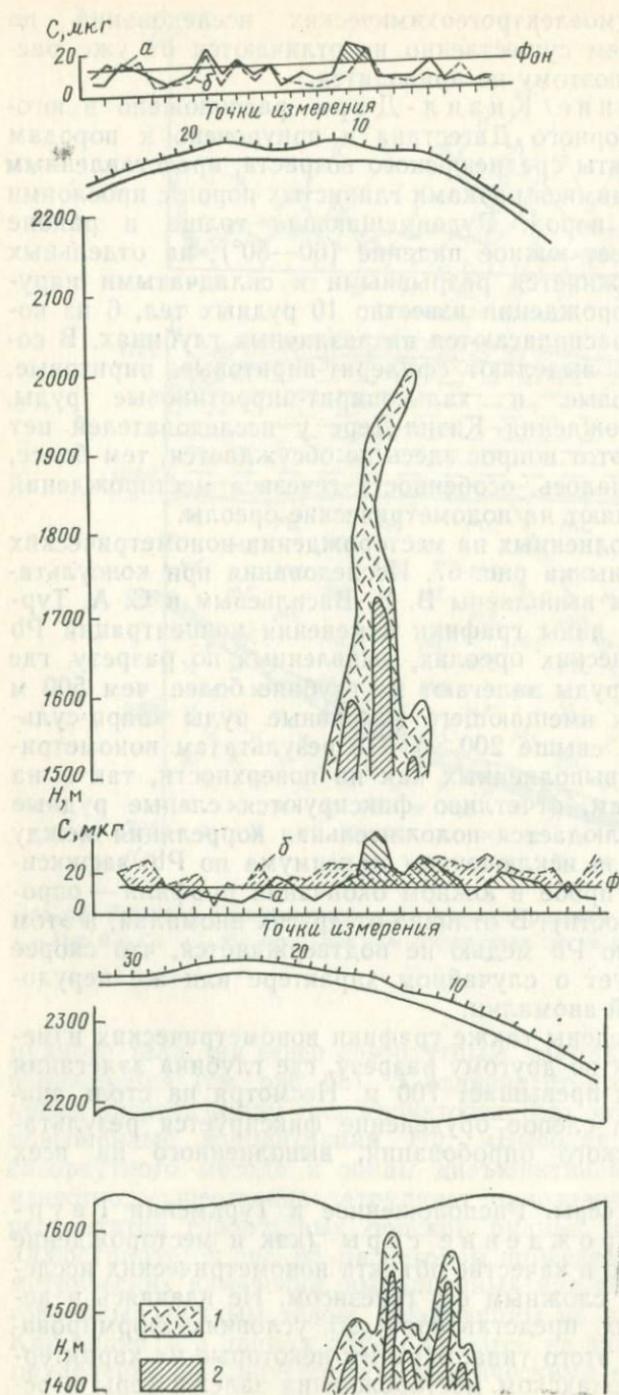
Результаты выполненных на месторождении ионометрических измерений приведены на рис. 67. Исследования при консультации авторов метода выполнены В. В. Васильевым и С. А. Турловым. На рис. 67 даны графики изменения концентраций Pb и Cu в ионометрических ореолах, выявленных по разрезу, где слепые массивные руды залегают на глубине более чем 500 м (глубина залегания вмещающего массивные руды кварц-сульфидного штокверка выше 200 м). По результатам ионометрических измерений, выполненных как на поверхности, так и на высотах 25 и 50 см, отчетливо фиксируются слепые рудные тела. В целом, наблюдается положительная корреляция между тремя графиками (за исключением максимума по Pb, зафиксированного в одной пробе в южном окончании профиля — опробование на поверхности). В отличие от других аномалий, в этом случае максимум по Pb медью не подтверждается, что скорее всего свидетельствует о случайном характере или же нерудогенной природе этой аномалии.

На рис. 67 приведены также графики ионометрических измерений, выполненных по другому разрезу, где глубина залегания слепого оруденения превышает 700 м. Несмотря на столь значительную глубину, слепое оруденение фиксируется результатами ионометрического опробования, выполненного на всех уровнях.

Месторождение серы. Расположенное в Туркмении Гаурдакское месторождение серы (как и месторождение Уруп) было выбрано в качестве объекта ионометрических исследований в связи со сложным его генезисом. Не вдаваясь в детали существующих представлений об условиях формирования месторождений этого типа, отметим некоторые их характерные черты. На Гаурдакском месторождении залежи серы в основном скрыты и заключены в ангидрит-известковых породах

Рис. 67. Графики распределения элементов над слепыми залежами (месторождение Кизил-Дере):

графики распределения:
 а — Pb, б — Cu; 1, 2 —
 соответственно сплошные
 и вкрапленные ру-



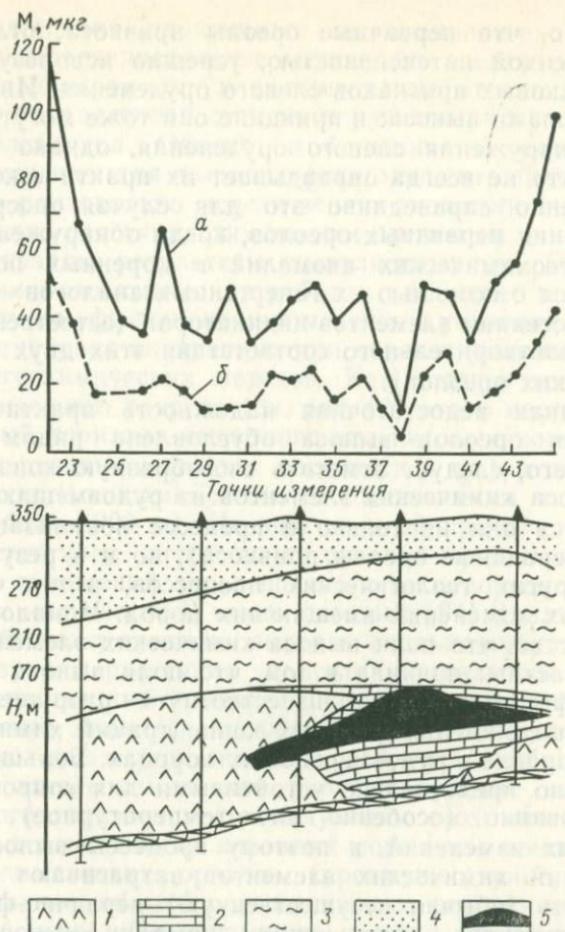


Рис. 68. Графики распределения элементов над скрытой залежью серы:
графики распределения: *a* — Pb, *б* — Cu; 1 — ангидриты; 2 — известники;
3 — глины; 4 — четвертичные отложения (глины, песчаники); 5 — залежь серы

юрского возраста (рис. 68). Изучение геохимических особенностей серных залежей и вмещающих их пород позволило установить более или менее отчетливые первичные ореолы только выноса ряда химических элементов, прежде всего халькофильных — Pb, Zn, Cu и др. Отсутствие контрастных первичных ореолов привноса в данном случае определяется специфическим генезисом месторождения, в первую очередь ярко выраженной «стерильностью» серных залежей по отношению к микроэлементам — типоморфным элементам-индикаторам рудных месторождений. Тем не менее, процессы локализации на месторождении связаны с определенным перераспределением химических элементов, что практически всегда сопровождается формированием полей выноса химических элементов.

Известно, что первичные ореолы привноса, отличающиеся обычно высокой интенсивностью, успешно используются в качестве поисковых признаков слепого оруденения. Иначе обстоит дело с ореолами выноса: в принципе они тоже могут применяться для обнаружения слепого оруденения, однако надежность их низка, что не всегда оправдывает их практическое применение. Особенно справедливо это для случая опосредованного использования первичных ореолов, когда обнаружение и интерпретация геохимических аномалий в коренных породах осуществляются с помощью их гипергенных аналогов — вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов (естественно, при условии удовлетворительного соответствия этих двух типов литогеохимических ореолов).

Отмеченная недостаточная надежность практического использования ореолов выноса обусловлена рядом факторов. Прежде всего, следует отметить своеобразную конвергентность полей выноса химических элементов из рудовмещающих пород: формируются они не только в процессе локализации рудных тел (как первичные ореолы привноса), но и в результате проявления других геологических процессов, в том числе до- и послерудных изменений вмещающих пород. Немаловажно и то обстоятельство, что поля выноса химических элементов обычно слабоконтрастны: причина в том, что поля выноса химических элементов формируются, как известно, путем разрушения первичных форм нахождения фоновых концентраций химических элементов в коренных рудовмещающих породах. Большинство этих форм обычно представлено устойчивыми для сопровождающих рудообразование (особенно низкотемпературное) процессами околоврудных изменений, и поэтому процессы выноса фоновых концентраций химических элементов затрагивают только какую-то часть (обычно несущественную) первично-фоновых количеств элементов, образующих аномалии выноса. Следует также иметь в виду, что существенным ограничительным для интенсивности аномалий выноса обстоятельством является чувствительность методов анализа проб, применяемых для выявления геохимических аномалий. Очевидно, что предел обнаружения данного элемента тем или иным методом не может быть бесконечно малым. Для подавляющего большинства химических элементов он редко достигает значений, на порядок ниже средненфонового содержания. Это означает, что только под влиянием аналитического фактора интенсивность аномалий выноса практически не может превысить десятикратного (по отношению к фону) уровня.

Как уже отмечалось, слабая контрастность аномалий выноса химических элементов приобретает решающее значение в тех наиболее распространенных на практике случаях, когда поиски рудных тел и месторождений ведутся по вторичным литогеохимическим ореолам рассеяния элементов-индикаторов: из-за слабой контрастности ореолы выноса в гиперген-

ном поле рассеяния практически не проявляются, поскольку гипергенное перераспределение химических элементов в процессе разрушения первичных и формирования вторичных ореолов нарушает в определенной степени первичное распределение химических элементов. Однако, в большинстве случаев этого вполне достаточно для выравнивания концентраций элементов выноса, что равносильно исчезновению аномалий выноса в гипергенном поле рассеяния химических элементов.

Как показали результаты выполненных на Гаурдакском месторождении геохимических работ, в настоящее время нельзя рассчитывать на эффективное применение в условиях этого района наиболее широко внедренных при поисках рудных месторождений литогеохимических методов. Как следует из типоморфного геологического разреза (см. рис. 68) этого месторождения, продуктивный горизонт известково-кальцитовых пород юры пerekрыт четвертичными (глины, песчаники и др.), а также более молодыми современными рыхлыми отложениями значительной мощности (более 200 м). Именно по этой причине, а также в связи с отсутствием интенсивных ореолов привноса опробование рыхлых отложений на поверхности не дало положительных результатов: как валовой, так и фазовый [24] анализ геохимических проб не позволили выявить сколько-нибудь заметные вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов. Это означало, что единственный приемлемый вариант литогеохимических поисков серных залежей в геологических и ландшафтно-геохимических условиях описываемого района — комбинированные буровые и литогеохимические работы: бурение скважин до продуктивного горизонта с последующим геохимическим опробованием рудовмещающих коренных пород для выявления первичных геохимических ореолов (преимущественно выноса) и прогнозированием на этой основе участков вероятного нахождения залежей серы. Очевидные недостатки комбинированного варианта поисков (прежде всего из-за высокой стоимости буровых работ) заставляли искать другие более приемлемые методики, в частности попробовать в данных условиях ионометрический метод. С его помощью над известными скрытыми рудными телами установлены отчетливые ионометрические ореолы выноса исследованных элементов-индикаторов, в качестве которых были выбраны Pb и Cu, как наиболее благоприятные для ионометрического метода (точнее для используемых при ионометрических исследованиях аналитических методов). Ионометрические исследования проводились по ряду разрезов через скрытые серные залежи: во всех случаях были установлены отчетливые аномалии выноса Pb и Cu (см. рис. 68, рис. 69).

Результаты выполненных на Гаурдакском серном месторождении исследований имеют принципиальное значение для дальнейшего развития рассматриваемого метода, прежде всего в связи с возможностью фиксации этим методом не только рудных тел и их первичных ореолов привноса, но и скрытых на

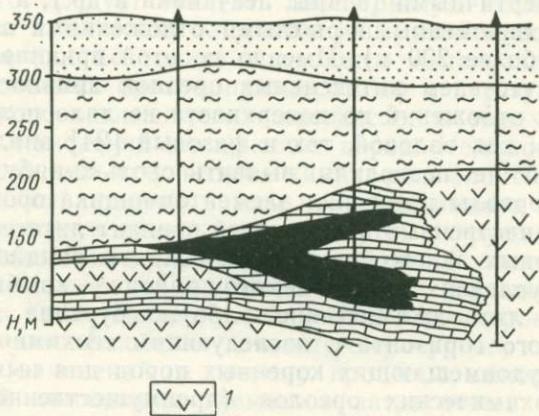
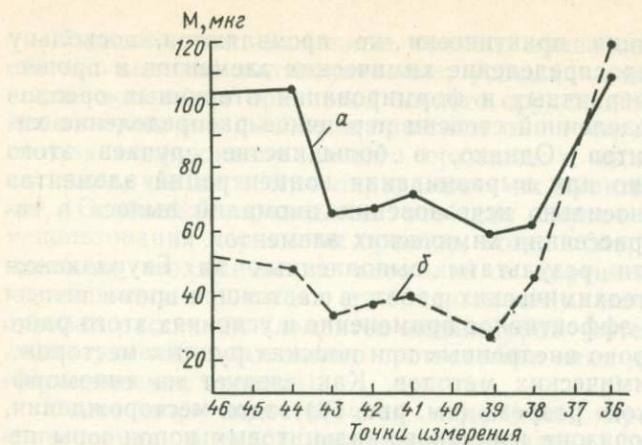


Рис. 69. Распределение элементов над скрытой залежью серы:
1 — ангидриты; остальные усл. обозначения см. на рис. 68

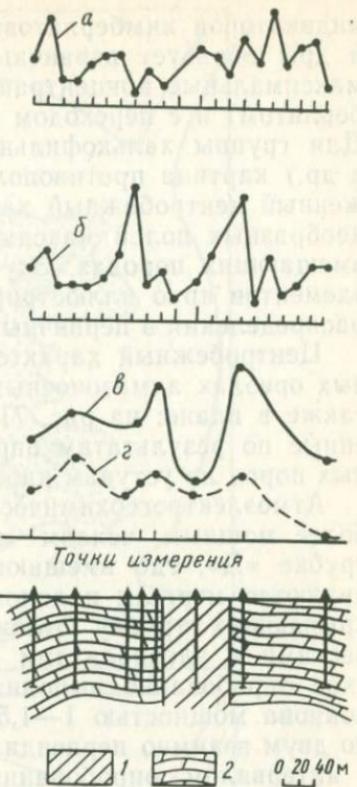
значительной глубине слабоконтрастных первичных ореолов выноса химических элементов. Это обстоятельство резко расширяет диапазон задач, при решении которых с успехом может быть использован ионометрический метод.

Алмазоносные кимберлиты. Для выяснения возможности использования атмоэлектрогохимического метода при поисках кимберлитовых тел на двух алмазоносных трубках в Якутии были поставлены специальные опытно-методические исследования.

Одна из исследованных трубок (трубка А) расположена в тектонической зоне, оперяющей глубинный разлом. Вмещающие породы представлены теригенно-карбонатной пестроцветной толщой (мергели, известняки, доломитистые и известковистые песчаники, алевролиты и аргиллиты) ордовика. С поверхности описываемая трубка перекрыта элювиально-делюви-

Рис. 70. Графики распределения элементов вокруг кимберлитовой трубы.

Аддитивные (по разным высотам) ионометрические ореолы: *a* — Pb, *b* — Cu; *в* и *г* — соответственно первичные ореолы Pb и Cu; *1* — кимберлитовая трубка; *2* — вмещающие известняки



альными отложениями мощностью 2—4 м. Для изучения атмосферогеохимических ореолов на профиле через кимберлитовое тело с шагом в 20 м были смонтированы мачты высотой до 1,5 м, на которых на высотах 25, 50, 75, 100 и 150 см устанавливались ионоприемники.

Кривые распределения Cu и Pb, построенные по результатам выполненного с помощью ионоприемников опробования на перечисленных высотах, во всех случаях зафиксировали повышенные концентрации этих элементов над границей контакта кимберлитовой трубы с вмещающей средой, а также во вмещающих породах на некотором удалении от контактов (рис. 70). Более контрастные атмосферогеохимические аномалии над контактами трубы фиксируются аддитивными кривыми распределения суммы содержаний Cu и Pb, построенными путем суммирования масс этих элементов, извлеченных в ионоприемники на разных высотах — от 25 до 100 см (рис. 70).

Полученные данные отражают особенности состава и строения первичных геохимических ореолов кимберлитовых тел, детально изученных автором и М. В. Заиченко [10]. Этими исследованиями установлено, что по особенностям пространственного распределения отчетливо выделяют две группы элементов —

индикаторов кимберлитовых тел. Часть элементов (Cr, Ni, Co и др.) образует первичные ореолы по стандартной схеме: их максимальные концентрации совпадают с рудным телом (кимберлитом) и с переходом во вмещающие породы резко падают. Для группы халькофильных элементов (Cu, Pb, Zn, Ag, Mo и др.) картина противоположная: их ореолы имеют ярко выраженный центробежный характер, отражая формирование кольцеобразных полей максимальных концентраций элементов во вмещающих породах. Этую особенность ореолов халькофильных элементов ярко иллюстрируют приведенные на рис. 70 кривые распределения в первичных ореолах Cu и Pb.

Центробежный характер распределения Cu и Pb в первичных ореолах алмазоносных кимберлитов отчетливо проявляется также в плане: на рис. 71 приведены ореолы Cu и Pb, построенные по результатам опробования вмещающих трубку коренных пород по уступам карьера.

Атмоэлектрогохимические ореолы кимберлитов, перекрытых более мощным чехлом молодых отложений, исследованы на трубке «Д», где вмещающими кимберлитовое тело породами являются мергели и доломиты верхнего кембрия. Чехол перекрывающих трубку отложений мощностью 20 м представлен песками и алевролитами нижней юры. Атмоэлектрогохимическое опробование выполнялось в условиях наличия снежного покрова мощностью 1—1,5 м. Ионоприемники устанавливались по двум взаимно перпендикулярным профилям длиной по 400 м с интервалом опробования (установки ионоприемника) 20 м. Вблизи контактов трубки интервал уменьшался. Анализы на Cu и Pb велись в полевых условиях методом полярографии, на Cr, Ni и Co — в стационарных условиях.

Кривые распределения масс Pb и Cu (рис. 72) показывают, что, как и на трубке А, намечаются две области повышенных значений, соответствующих контактам трубы с вмещающими породами. Особенно контрастно погребенная трубка фиксируется максимумами Ni и Cu: концентрации Ni достигают 210, а Cu — 130 мкг (при фоне менее 50 мкг). На этом же рисунке для сопоставления даны кривые распределения указанных элементов во вторичных (гипергенных) ореолах, построенных по результатам опробования рыхлых отложений. Как видно, закономерных изменений в содержаниях элементов в данном случае не наблюдается: выдержанных аномалий этих элементов над кимберлитовым телом не выделяется.

Приведенные данные, по всей видимости, свидетельствуют о значительных потенциальных возможностях рассматриваемого метода при поисках кимберлитовых тел, погребенных под более молодыми образованиями значительной мощности.

Практическое значение. Изучение атмоэлектрогохимических ореолов некоторых типов месторождений показало, что во всех случаях скрытые на различных глубинах рудные тела фиксировались отчетливыми ионометрическими аномалиями типоморф-

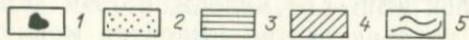
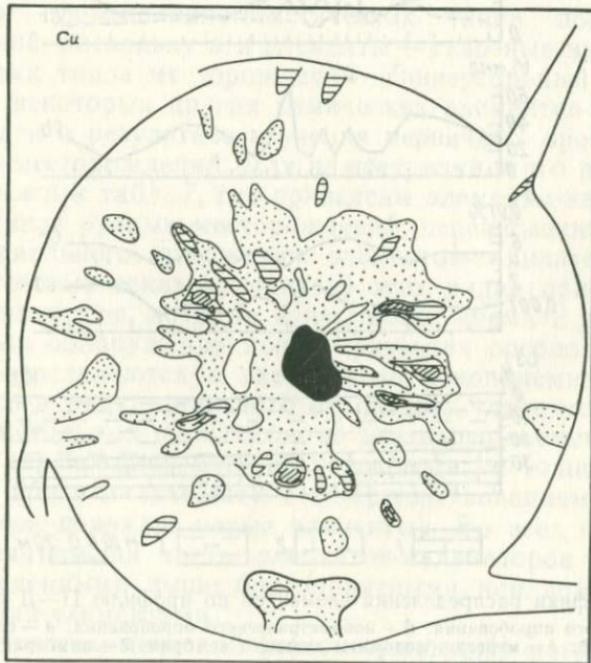
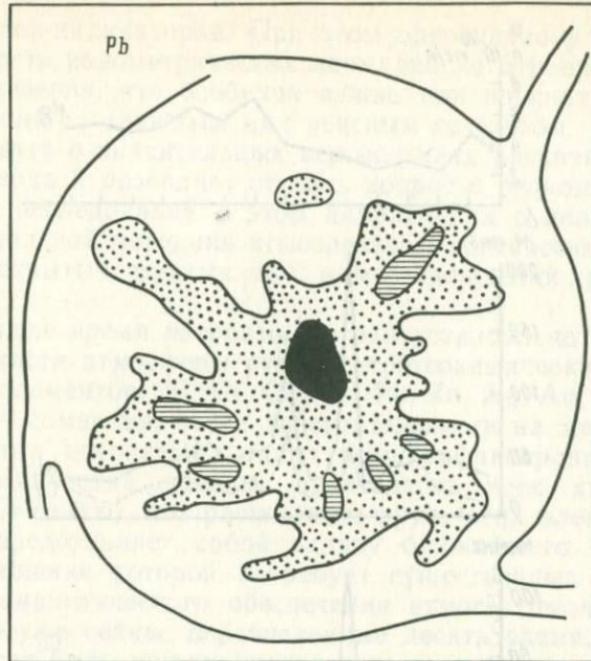


Рис. 71. Первичные ореолы Pb и Cu вокруг кимберлитовой трубы (в плане):
1 — кимберлитовое тело; 2—4 — первичные ореолы (4 — поле максимальных концентраций); 5 — границы карьера

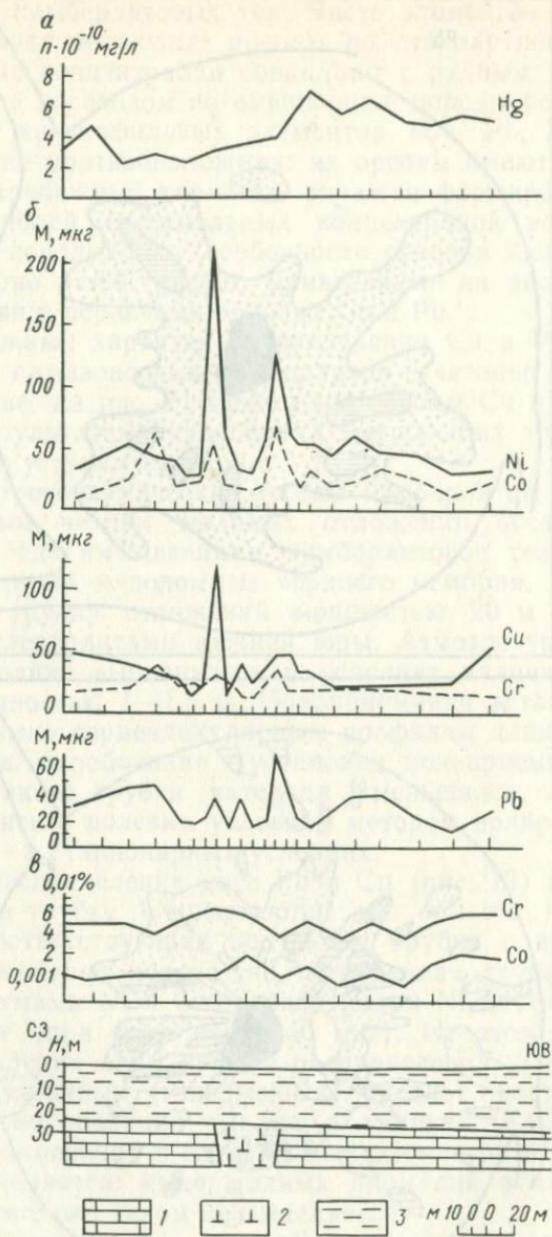


Рис. 72. Графики распределения элементов по профилю П—Д по данным:
 a — газорутного опробования; b — ионометрического опробования; c — опробования рыхлых отложений; 1 — мергели, доломиты верхнего кембрия; 2 — кимберлитовые тела; 3 — пески, алевролиты верхней юры

ных элементов-индикаторов. При этом однозначно установлена инвариантность ионометрических аномалий по отношению к генезису оруденения, что особенно важно при поисках и оценке месторождений со сложным или неясным генезисом. Сказанное свидетельствует о значительных перспективах развития предложенного метода и позволяет ставить вопрос о резком расширении объема исследований в этом направлении с целью разработки оптимальной методики атмосферогеохимических поисков и оценки скрытых рудных тел и месторождений различных типов.

В настоящее время авторами метода установлено наличие в приземной части атмосферы атмосферогеохимических ореолов следующих элементов: Ni, Cr, Co, Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Mo и Mp. Не вызывает сомнения, что в действительности на месторождениях полезных ископаемых могут быть зафиксированы атмосферогеохимические ореолы практически всех химических элементов. Очевидно, что расширение круга этих элементов-индикаторов представляет собой задачу ближайшего будущего, успешное решение которой потребует существенных усилий в улучшении аналитического обеспечения атмосферогеохимических работ. Однако уже сейчас перечисленные десять элементов-индикаторов могут быть широко использованы для поисков разнообразнейших промышленно-генетических типов погребенных месторождений, поскольку эти элементы — сквозные индикаторы для различных типов месторождений. Универсальный характер их, а также некоторых других химических элементов-индикаторов установлен в результате изучения первичных ореолов многочисленных месторождений. Для иллюстрации этого положения опять обратимся к табл. 7, где приведены элементы-индикаторы различных типов рудных месторождений, перечисленные в форме рядов зонального отложения элементов-индикаторов в их первичных геохимических ореолах. В этих рядах присутствуют химические элементы, которые в настоящее время с удовлетворительной для обнаружения ионометрических ореолов чувствительностью определяются в электролите ионоприемников. Как видно, только в ряду зонального отложения элементов-индикаторов редкometальных пегматитов не оказалось элементов, благоприятных для ионометрических поисков (в настоящее время, естественно, ибо в дальнейшем с совершенствованием аналитических методов появятся новые элементы). Во всех остальных случаях значительная часть элементов-индикаторов представлена перечисленными выше благоприятными для ионометрических измерений элементами.

Атмосферогеохимический (ионометрический) метод поисков глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых основан на обнаруженном авторами метода явлении наличия в атмосфере ионов элементов-индикаторов месторождений полезных ископаемых. Эффект наличия и транспортировки ионов от оруденения в приземную атмосферу зафиксирован недавно

(октябрь, 1984 г.) и, безусловно, нуждается в дальнейшем изучении. Необходимы широкомасштабные опытно-методические исследования для совершенствования методики, внедрения метода при поисках скрытых месторождений различных промышленно-генетических типов, а также совершенствования аппаратуры и технологии исследований. При этом необходимо обратить пристальное внимание на аналитическое обеспечение ионометрических исследований.

Особо следует выделить проблему поисков с помощью атмоэлектрогохимического метода скрытых месторождений сложного генезиса, прежде всего вулканогенно-гидротермально-осадочного. Оптимистическая оценка возможностей предложенного метода при решении этой проблемы основана на результатах атмоэлектрогохимических исследований, выполненных на медно-колчеданном месторождении Уруп.

Заканчивая рассмотрение ионометрического метода, следует отметить, что наряду с поисками предложенный метод с успехом может быть использован как способ углубленного изучения общей геохимии атмосферы, в частности для исследования особенностей распределения в атмосфере тяжелых металлов, определяемых в значительной степени благодаря своеобразному электрогохимическому обогащению. Выполнение параллельно с ионометрическими аэрозольными измерениями позволит получить оригинальные данные о концентрации в атмосфере различных форм широкого круга химических элементов как в непосредственной близости от земной поверхности, так и на значительных высотах. Эти данные, наряду с общетеоретическим, имеют практическое значение, поскольку отчетливыми ионометрическими аномалиями сопровождаются и геогенные (природные геохимические аномалии — первичные и вторичные ореолы), и антропогенные геохимические аномалии. Кроме того, учитывая, что высота распространения ионометрических ореолов составляет около 1,5 м (высота дыхания человека), ионометрические ореолы приобретают еще одно исключительно важное значение — экологическое. С их помощью можно выяснить влияние ионных форм химических элементов (как от природных, так и от техногенных источников) на живые организмы. Эти проблемы особенно актуальны для районов, освоенных горнорудной промышленностью, так как они отличаются широким развитием природных (месторождения, рудопроявления, первичные и вторичные ореолы) и техногенных (результаты горнорудного производства) геохимических аномалий. Подобная постановка вопроса полностью согласуется с пониманием того, что важнейшая задача рудничной геохимии — оценка экологических последствий разработки месторождений.

Таким образом, ионометрический метод изучения ионных полей ионогенного геохимического поля земной коры является перспективным методом геохимии и геохимической геологии.

МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ РУДОГЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

1. Обнаружение геохимических аномалий

В процессе геохимических работ на базовом месторождении и в пределах прилегающих к нему площадей проводится геохимическое опробование подземных горных выработок, керна скважин, коренных пород и рыхлых отложений на поверхности с целью обнаружения геохимических аномалий-индикаторов как известных, так и новых рудных тел и месторождений. Под базовым подразумевается месторождение, находящееся на стадии эксплуатации (или детальной разведки), геохимическое изучение которого (включая и наращивание его запасов за счет выявления новых рудных тел и даже месторождений) представляет собой основную задачу рудничной геохимии. В отличие от геохимических поисков, проводимых в составе геолого-съемочных и поисковых работ в строго определенных масштабах, геохимическое опробование на действующем (или находящемся на стадии детальной разведки) месторождении во многих случаях не строго масштабно. Причина этого — определяющее значение уже существующей сети буровых и подземных работ.

Геохимические аномалии оконтуриваются по минимально-аномальным содержаниям элементов-индикаторов, рассчитанных для каждой разности типичных для района исследований пород. Значения минимально-аномальных содержаний устанавливаются по методике, изложенной в гл. II при описании методов изучения первичных геохимических ореолов.

При определении параметров фонового распределения элементов-индикаторов возникают некоторые трудности, связанные прежде всего с выбором специальных фоновых участков. Обычно их выбирают за пределами известных рудопроявлений и измененных пород, однако и это не всегда гарантирует «чистоту» участков. Они могут быть «заражены» элементами-индикаторами оруденения, поскольку первичные ореолы ряда элементов, имея значительные размеры, обычно распространяются за пределы измененных пород. Учитывая изложенное, можно рекомендовать оправдавший себя на практике способ определения параметров фонового распределения элементов-индикаторов, который предусматривает: 1) построение в изолиниях (градациях в порядках десятичной шкалы) карты распределения на исследованной площади значений произведений содержаний элементов-индикаторов (мультипликативный показатель) с выделением в последующем наиболее вероятных фоновых участков, которые отличаются минимальными значениями произведений содержаний элементов и более равномерным распределением этих значений по сравнению с геохимическими аномалиями; 2) расчет минимально-аномальных значений произведений содержаний

элементов-индикаторов по выбранным фоновым участкам с 5%-м уровнем значимости и оконтуривание по этим значениям геохимических аномалий.

Успех применения геохимических методов для решения задачи наращивания запасов известного месторождения за счет обнаружения новых рудных тел на глубоких горизонтах и в пределах прилегающих к месторождению площадей в значительной степени будет определяться надежностью геохимических критериев, используемых для оценки перспектив рудоносности. Эти критерии, как уже отмечалось, основаны на особенностях состава и строения рудогенных геохимических аномалий известных («эталонных») рудных тел и месторождений.

Геохимические критерии для конкретного месторождения, как известно, устанавливаются в результате изучения геохимических аномалий известного месторождения. Вот почему начальный этап исследований по рудничной геохимии должен включать в себя проведение опытно-методических работ, основная задача которых — именно изучение геохимических ореолов известных рудных тел месторождения с целью разработки критериев оценки геохимических аномалий. Рассмотренные ранее примеры геохимических ореолов различных типов рудных месторождений по существу представляют собой результаты опытно-методических работ.

По результатам обработки материалов опытно-методических исследований устанавливают основные особенности ореолов известных рудных тел (элементный состав, размеры, зональность и т. д.), которые в последующем используют в качестве критериев оценки других геохимических аномалий.

Результаты геохимического опробования на площади графически оформляются в виде геохимических карт, построенных на геологической основе. Прежде всего составляется карта размещения геохимических аномалий, на которой в изолиниях изображается распределение значений произведений содержаний элементов, и на этой основе выделяют (по минимальным значениям) геохимические аномалии.

Нами уже рассмотрены рудогенные геохимические аномалии, оконтуренные по результатам валового геохимического опробования. Однако, как было установлено автором [10], с помощью валового опробования выявляют усеченные по размерам аномалии. В связи с этим особое значение приобретают специальные методы, направленные на обнаружение более значительных по размерам геохимических аномалий, ибо чем больше размеры аномалий (в том числе и протяженность надрудных ореолов), тем больше глубинность поисков скрытого на глубине слепого оруденения по его первичным геохимическим ореолам. Вот почему этот вопрос заслуживает самого внимательного рассмотрения.

Успехи в изучении и практическом использовании первичных геохимических ореолов существенно повысили эффективность

геохимических методов в целом, прежде всего благодаря возможности поисков по первичным ореолам залегающих на значительных глубинах «слепых» рудных тел и месторождений. Последние, как известно, фиксируются надрудными ореолами элементов-индикаторов, характеризующимися низкими субкларковыми концентрациями соответствующих элементов-индикаторов. При этом содержания элементов в первичных ореолах по мере удаления от рудных тел вверх по их восстанию убывают в геометрической прогрессии.

Сравнительное изучение первичных ореолов различных типов рудных месторождений показывает, что в зависимости от состава и других особенностей оруденения формируются различные по размерам первичные ореолы элементов-индикаторов. Если на скарново-полиметаллических месторождениях вертикальная протяженность первичных ореолов превышает сотни метров, а в отдельных случаях достигает 1 км, то на золоторудных месторождениях первичные ореолы элементов настолько незначительны по размерам и интенсивности, что обнаружить их при геохимических поисках достаточно трудно. В связи с этим приобретают особую актуальность методы «усиления» слабых первичных ореолов.

Существенный методический интерес представляет рассмотрение факторов, контролирующих размеры первичных геохимических ореолов. Среди них — прежде всего протяженность надрудных ореолов. Именно вертикальная протяженность надрудных ореолов определяет глубинность поисков слепого оруденения по его первичным ореолам. Анализ особенностей строения первичных ореолов позволил установить, что убывание параметров первичных ореолов элементов-индикаторов по их восстанию над слепыми рудными телами происходит в логарифмической пропорции, т. е. в геометрической прогрессии [6]. Для иллюстрации этого положения на рис. 73 графически определена протяженность ореола подвижного U над слепым рудным телом, залегающим на глубине 200 м. Как видно, график изменения по вертикали величины линейной продуктивности ореола подвижного U, построенный в полулогарифмической системе координат, представляет собой практически прямую линию (в логарифмическом масштабе по оси абсцисс отложена величина линейной продуктивности ореола). Для определения вертикальной протяженности ореола U над рудным телом график линейной продуктивности ореола продолжен до пересечения с линией, параллельной оси ординат и соответствующей минимальной аномальной продуктивности. Такую продуктивность имеет ореол, характеризующийся минимальной шириной и содержанием, равным минимально-аномальному. Выявляемая при геохимических поисках минимальная ширина ореола равна интервалу опробования, в данном случае 5 м. Однако нами она принята равной 10 м, так как ореол должен быть зафиксирован не менее чем двумя пробами. В противном случае за аномальные содержа-



Рис. 73. Графики изменения в разрезе величины линейной продуктивности первичного ореола:
1 — эмпирический; 2 — гладженный

ния ошибочно могут быть приняты данные анализа проб, в которых высокие содержания элементов могут быть вызваны случайными факторами, например колебанием фоновых концентраций элементов. Таким образом, минимально-аномальная линейная продуктивность ореола подвижного U будет $0,0002 \cdot 10 = 0,002 \text{ м. \%}$.

Как следует из рис. 73, протяженность ореола подвижного U равна 300 м. Анализ графика на рис. 73 позволяет выделить ряд факторов, контролирующих протяженность надрудных ореолов по их восстанию.

1. Линейная продуктивность ореолов, развитых на уровне средних частей рудной залежи. Чем больше линейная продуктивность, тем при прочих равных условиях дальше распространяется надрудный ореол, и наоборот (прямая зависимость).

2. Градиент линейной продуктивности в направлении восстания надрудных ореолов. По величине градиент равен тангенсу острого угла, образованного графиком линейной продуктивности с осью ординат. Обратная зависимость протяженности надрудных ореолов от градиента линейной продуктивности является очевидной.

3. Минимально-аномальная линейная продуктивность и вертикальная протяженность надрудных ореолов также находятся в обратной зависимости. Изменение минимально-аномальной линейной продуктивности определяется только изменением минимально-аномального содержания (ширина постоянно равна 1040 м), и это означает, что вертикальная протяженность ореолов (при прочих равных условиях) зависит от уровня минимально-аномального содержания, что, в свою очередь, определяется параметрами фонового распределения элементов в рудовмещающих породах.

Итак, фоновое распределение химических элементов в рудо-вмещающих породах служит помехой для выявления первичных геохимических ореолов (как и любых других аномалий) и поэтому усиление аномалий требует прежде всего применения таких приемов опробования, анализа проб и обработки аналитических данных, которые способствовали бы уменьшению мешающего влияния геохимического фона. Автором предложен ряд методов усиления геохимических аномалий [6], из которых будут рассмотрены наиболее важные.

Метод рационального анализа. В тех случаях, когда формы нахождения элементов-индикаторов во вмещающих породах (сингенетическое рассеяние) и ореолах (эпигенетическое рассеяние) различны, мешающее выявлению ореолов сингенетическое рассеяние элемента (фон) можно свести к минимуму благодаря рациональному химическому анализу геохимических проб. На примере одного из урановых месторождений рассмотрим эффективность использования такого анализа для достижения большей полноты оконтуривания первичных ореолов на примере Pb — одного из наиболее типоморфных элементов-индикаторов рудных месторождений.

Установлено, что основной носитель Pb в его первичных ореолах — галенит. Рудовмещающими на месторождении являются аляскитовые граниты, в которых основная часть свинца, по данным Л. В. Таусона [40], находится в виде изоморфной примеси в калиевых полевых шпатах. Для избирательного перевода галенита в раствор использовался метод обработки проб, рекомендованный Л. В. Таусоном. Растворителем служила соляная кислота концентрации 1:50 (по объему), содержащая повышенную соль с концентрацией 1 г/л. Эксперимент показал, что кислота такой концентрации практически не разрушает кристаллическую решетку породообразующих минералов, но хорошо растворяет галенит. Для анализа на Pb использовался дитизоновый метод (аналитик Б. М. Елоев).

Статистическая обработка результатов анализа фоновой выборки позволила определить, что минимально-аномальное содержание легкоизвлекаемого Pb равно $1 \cdot 10^{-3}$ %, что на порядок меньше минимально-аномального содержания по общему содержанию Pb — $1 \cdot 10^{-2}$ (минимально-аномальные содержания определены с 5%-м уровнем значимости). Изучение особенностей развития ореолов Pb по ряду разрезов показало, что ореолы, выявленные по результатам рационального анализа, более чем в 2—3 раза шире и протяженнее ореолов, оконтуренных в результате определения в пробах валового содержания Pb (спектральный анализ). Метод рационального анализа геохимических проб с успехом использовался также для увеличения глубинности поисков слепого оруденения по первичным ореолам так называемого «подвижного» U.

Метод анализа тяжелых фракций геохимических проб. Методической основой использования этого способа усиления пер-

вичных ореолов служит факт избирательного накопления в тяжелых фракциях проб элементов-индикаторов, привнесенных рудоносными растворами и отложенных в пределах ореолов в форме тяжелых минералов (сульфиды и др.).

С целью иллюстрации возможностей метода тяжелых фракций для усиления слабых ореолов в табл. 25 приведены размеры ореолов, выявленных методом анализа тяжелых фракций в единицах, кратных размерам (ширине) ореолов, выявленных методом анализа общих проб на урановом месторождении. Приведенные данные показывают, что во всех случаях с помощью метода анализа тяжелых фракций выявляют ореолы, по размерам существенно превосходящие ореолы, оконтуренные по результатам анализа валовых геохимических проб. Аналогичные результаты получены и по ряду других месторождений.

Исследования показывают, что по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб удается выявить ореолы, более значительные не только по размерам, но и по интенсивности. Другим примером использования метода анализа тяжелых фракций могут служить результаты, полученные автором на уникальном золоторудном месторождении Колар (Индия), которое находится в пределах кратона Карнатака в толще кристаллических пород архейского—раннепротерозойского возраста. Рудовмещающими породами на месторождении служат амфиболиты. Мощность рудных жил кварц-сульфидного состава колеблется от первых сантиметров до одного метра и в среднем составляет первые десятки сантиметров.

Первичные геохимические ореолы на месторождении изучены по ряду поперечных разрезов через основные рудные тела: Чемпион и Ориенталь, Западное (Вест Лод) и Восточное (Ист Лод). Для исследования особенностей состава и строения сопровождающих рудные тела первичных геохимических ореолов по ряду поперечных разрезов опробовались рассечки и квершлаги (способ отбора проб — пунктирная борозда). Установлено, что весьма неблагоприятны для изучения и практического применения первичных ореолов описываемого месторождения слабая интен-

Таблица 25

Размеры ореолов, выявленных методом тяжелых фракций

Элементы-индикаторы	Класс крупности, мм					Представительный класс ¹
	+0,6	-0,6 +0,4	-0,04 +0,25	-0,25 +0,1	-0,1	
Pb	2,5	2,4	2,6	2,2	3,8	-0,1
Mo	2,1	2,3	1,8	1,5	4,1	-0,1
Zn	2,7	2,9	3,8	2,0	2,8	-0,4+0,25
Cu	6,6	6,6	6,8	5,6	8,6	-0,1

¹ Класс, по которому выявляется максимальный по размерам ореол.

сивность и малые размеры (в первую очередь ограниченная ширина) первичных ореолов, обусловленные прежде всего ограниченной мощностью рудных жил, а также относительно низким содержанием в рудах описываемого месторождения элементов-спутников золота.

В связи с отмеченным с целью выявления более значительных по размерам и интенсивности ореолов был привлечен наилучший из существующих методов «усиления» первичных ореолов — способ рационального опробования коренных рудовмещающих пород путем опробования тяжелых фракций проб. Для этой цели использовались дубликаты валовых геохимических проб, отобранных из рудных жил и вмещающих их пород при изучении и оконтуривании первичных геохимических ореолов.

Как известно, при изучении первичных ореолов пробы коренных пород после дробления до 1 мм подвергаются квартовке, после чего 1/4 часть пробы истирается для последующих анализов. Для рационального опробования использовались дубликаты валовых проб (остатки после квартования), которые после обесшламливания и выделения магнитной фракции просеивались на следующие классы крупности (мм): +0,63; -0,63+ +0,315; -0,315+0,1; -0,1+0,05; -0,05. Первые четыре класса с помощью бромоформа делились на легкую, промежуточную и тяжелую фракции. Анализ различных фракций геохимических проб на широкий круг химических элементов с помощью приближенно-количественного спектрального анализа позволил установить, что содержания многих элементов в ряде фракций существенно выше по сравнению с валовыми содержаниями в общих пробах. На рис. 74 приведены результаты анализа различных фракций геохимических проб, отобранных из квершлага на горизонте 976 м. Этой выработкой вскрыты две рудные жилы — Восточная (Ист Лод) и Западная (Вест Лод). В результате опробования выработки изучены первичные ореолы, развитые между этими жилами, а также в лежачем боку жилы Западная.

На рис. 74 приведены графики распределения содержаний Pb и Sn — основных элементов-индикаторов данного типа оруденения в различных фракциях проб, а также результаты валового анализа геохимических проб (для сравнительной оценки эффекта усиления, который достигается с помощью разделения навески пробы на различные фракции). Учитывая резкие природные вариации в распределении содержаний химических элементов, приведенные на рис. 74 графики построены после сглаживания результатов анализа проб методом скользящего окна (окно 3-й пробы).

На месторождении Колар химические элементы образуют чрезвычайно узкие и слабоконтрастные первичные геохимические ореолы. Как видно из рис. 74, описываемый разрез в этом отношении не исключение: графики валового анализа геохимических проб по существу отражают фоновое распределение этих

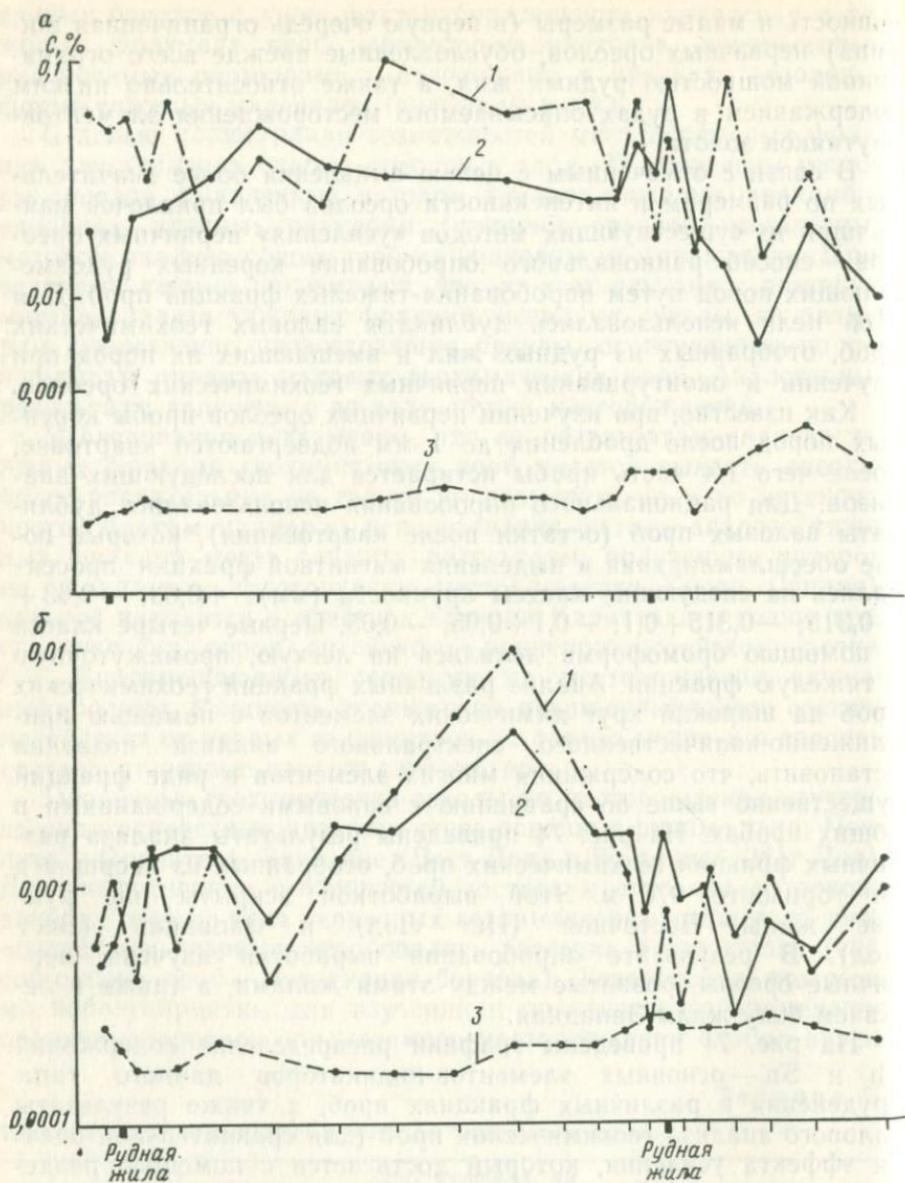


Рис. 74. Графики распределения Pb (а) и Sn (б):
1 — магнитная фракция; 2 — тяжелые фракции проб; 3 — валовые пробы

элементов и первичные ореолы представлены узкими и редкими отрезками. Сравнение приведенных на рис. 74 графиков однозначно свидетельствует о резком обогащении элементами-индикаторами описываемого типа оруденения определенных фракций проб, выявленных методом рационального опробования. Содержание Pb во всех без исключения тяжелых фракциях по срав-

нению с валовым анализом существенно выше: наиболее обогащена тяжелая фракция класса $-0,1+0,05$ мм, которую можно считать представительной для этого элемента. Содержания Pb в этой фракции почти на три порядка выше (по сравнению с валовым опробованием, см. рис. 74). Подобное же обогащение характерно и для Cu — одного из типоморфных элементов-индикаторов рудных месторождений. Для Cu также установлено существенное обогащение в тяжелых фракциях, максимальное — во фракции $-0,1+0,05$ мм. Как и в случае с Pb, для Cu одной из наиболее обогащенных является магнитная фракция. Для Sn максимальная степень обогащения также установлена в магнитной фракции и в тяжелой фракции класса $-0,1+0,05$ мм (см. рис. 74). Поведение As существенно отличается от поведения рассмотренных нами элементов-индикаторов: для этого элемента магнитная фракция по информативности явно уступает тяжелой фракции класса $-0,1+0,05$ мм.

Таким образом, можно считать, что тяжелая фракция $-0,1+0,05$ мм наиболее представительна для изучения первичных ореолов золоторудных тел месторождения Колар. Этот вывод согласуется с результатами более ранних исследований автора, в процессе которых установлено, в частности, что при изучении первичных геохимических ореолов гидротермального уранового оруденения в гранитах тяжелая фракция геохимических проб крупности $-0,1+0,05$ мм дает наилучшие результаты при оконтуривании наиболее интенсивных и широких ореолов ряда элементов-индикаторов (табл. 26). Это означает, что класс $-0,1+0,05$ мм можно считать представительным для изучения первичных ореолов как золоторудных, так и любых других типов сульфидосодержащих рудных месторождений.

Таблица 26

Среднеаномальные содержания элементов-индикаторов, %

Элементы-индикаторы	Горизонты опробования								
	35 (976 м)			41 (1159 м)			70 (2013 м)		
	Ст	Св	Ст/Св	Ст	Св	Ст/Св	Ст	Св	Ст/Св
Pb, $n \cdot 10^{-3}$	13,2	0,75	17,6	20,7	0,54	38,3	7,0	0,46	15,2
Sn, $n \cdot 10^{-4}$	20,9	2,2	9,5	2,5	3,2	0,78	0,56	2,3	0,24
Co, $n \cdot 10^{-4}$	614,0	20,7	29,7	325,0	21,2	15,3	212,5	—	21,2
Ni, $n \cdot 10^{-3}$	22,1	6,0	3,7	14,0	5,0	70	32,5	6,1	5,3
Zn, $n \cdot 10^{-2}$	4,1	1,3	3,1	15,7	0,85	18,5	8,9	1,0	8,9
Cu, $n \cdot 10^{-3}$	97,1	17,0	5,71	87,5	18,3	4,8	107,5	19,3	5,6
As, $n \cdot 10^{-2}$	28,7	15,5	1,9	2,4	—	2,4	0,9	2,0	0,45
Mo, $n \cdot 10^{-4}$	0,37	0,3	1,2	—	—	—	—	—	—

Приложение 1. Прочерк — ореол не установлен, при расчетах приравнивается к фоновому содержанию. 2. Ст, Св — содержания элементов соответственно по рациональному (тяжелая фракция) и валовому опробованию.

При анализе среднеаномальных содержаний элементов-индикаторов, рассчитанных по трем горизонтам разреза Нанди-друг-3 (см. табл. 26), в целом наблюдается обогащение элементами-индикаторами тяжелых фракций (по сравнению с валовым опробованием). Однако степень обогащения для исследованных элементов различна: наиболее контрастно и стабильно оно для Pb и Co. Для таких элементов, как As, Sn и особенно Mo, стабильного и существенного обогащения не установлено.

Как уже отмечалось, существенное обогащение элементами-индикаторами, наряду с тяжелыми фракциями, установлено также для магнитной фракции (см. рис. 74). Очевидно, что выделение и анализ магнитной фракции геохимических проб представляет собой разновидность рационального геохимического опробования. Если учесть, что выделение магнитной фракции менее трудоемко по сравнению с выделением тяжелых фракций, то следует признать целесообразным продолжение исследований по сравнительной оценке различных методов рационального определения с целью выяснения условий применения при изучении первичных ореолов метода выделения и анализа магнитных фракций, как одного из наиболее экспрессных способов рационального геохимического опробования.

При описании результатов анализа различных фракций геохимических проб постоянно отмечалось обогащение определенных фракций элементами-индикаторами оруденения. Установлено также, что одновременно как бы происходит «расширение» ореолов, точнее: рациональное опробование позволяет выявить более значительные по размерам первичные ореолы (см. табл. 25). Однако отметим, что на описываемом месторождении реальные размеры ореолов, выявленных по результатам рационального геохимического опробования, не удалось определить, поскольку во всех исследованных случаях первичные ореолы выходят за пределы опробованных выработок. Другими словами: ни в одной из проб, отобранных способом рационального опробования, концентрации элементов-индикаторов не были фоновыми, что уже само по себе свидетельствует о значительном выигрыше в размерах (в данном случае ширине) ореолов, выявленных рациональным опробованием.

Заканчивая рассмотрение различных способов «усиления» геохимических аномалий, следует отметить, что эти способы из-за значительной трудоемкости не могут заменить рядовое валовое геохимическое опробование. Их можно использовать в тех случаях, когда возникает настоятельная необходимость в «увеличении» глубинности геохимических поисков слепого оруденения. Такие случаи наиболее характерны именно для рудничной геохимии, когда на флангах действующего месторождения благодаря наличию proximity глубоких подземных выработок становится рентабельной обработка слепых рудных тел глубокого залегания. Вот почему в случаях, когда по данным рядового (валового) геохимического опробования фланги базового место-

рождения оказываются бесперспективными (надрудных ореолов оруденения на поверхности не установлено), можно привлечь методы усиления аномалий для обнаружения геохимических ореолов слепых рудных тел возможно более глубокого залегания. В подобных вариантах наиболее эффективно применение метода тяжелых фракций геохимических проб с использованием уже имеющихся дубликатов рядовых геохимических проб.

Интерпретация геохимических аномалий предусматривает последовательное решение ряда задач: 1) определение формационной природы аномалий, 2) оценка уровня эрозионного среза аномалий, 3) разбраковка зон рассеянной рудной минерализации, 4) оценка масштаба оруденения.

Вопросы методики интерпретации геохимических аномалий в коренных рудовмещающих породах будут рассмотрены на примере геохимических аномалий, оконтуренных в результате детального (в масштабе 1:10 000—1:5 000) опробования коренных рудовмещающих пород или же перекрывающих их автохтонных рыхлых (элювиально-делювиальных) отложений. В пределах закрытых площадей, где коренные рудовмещающие породы перекрыты аллохтонными отложениями, поиски перекрытых рудных тел проводятся с помощью наложенных ореолов рассеяния элементов-индикаторов данного типа оруденения.

2. Определение формационной природы аномалий

Интерпретация оконтуренных в результате литогеохимического опробования аномалий начинается с установления типа оруденения, с которым связаны выявленные аномалии. Решение этой задачи возникает, когда в результате совмещения в пространстве проявлений различных по составу рудных формаций образуются сложные по составу геохимические аномалии, по автору полиформационные. Обсуждаемая задача в большинстве случаев решается на основе учета металлогенических и структурно-минералогических особенностей района изучаемого месторождения (типы развитых в районе месторождений), а также структурно-минералогических наблюдений, выполненных в процессе геохимического опробования или последующего полевого осмотра аномалий (наличие характерных для отдельных типов месторождений минеральных ассоциаций и т. д.). Если в пределах выявленных аномалий рудная минерализация не обнаружена (аномалии могут быть надрудными, перспективными на слепое оруденение), то может использоваться метод аналогии — сравнение выявленных аномалий с ореолами известных в районе месторождений. При отсутствии подобных месторождений для указанной цели могут применяться ряды поперечной зональности элементов-индикаторов (см. гл. I).

В ряде случаев достаточно надежным критерием определения типа рудной минерализации служат абсолютные значения средних содержаний элементов-индикаторов в геохимических

аномалиях. Например, среднее содержание Pb — элемента-индикатора почти всех изученных нами рудных месторождений — в первичных ореолах ртутных месторождений на любых сечениях практически не превышает 0,01 %, тогда как в ореолах полиметаллических месторождений его содержание достигает сотых и десятых долей процента. Среднее содержание Hg в ореолах полиметаллических месторождений не превышает $10^{-4}\%$, а на собственно ртутных и сурьмяно-ртутных месторождениях составляет тысячные и сотые доли процента. Приведенные примеры показывают, что такими индикаторами типа минерализации в первую очередь служат элементы, являющиеся основными компонентами руд.

Иногда полиформационная природа геохимических аномалий может быть установлена в результате детальных структурно-минералогических наблюдений, позволяющих выявить на поверхности признаки проявления рудных формаций, в частности их характерные минеральные ассоциации. Однако в тех случаях, когда рудные тела одной из этих формаций слепые, для надежной расшифровки аномалий требуется привлечение 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 рассмотренных (см. гл. 1) полиформационных ореолов.

Ореолы вокруг рудных тел каждой рудной формации в соответствии с составом руд характеризуются специфическим набором элементов-индикаторов. Это означает, что появление аномалий элементов, не свойственных известной рудной формации, должно рассматриваться как признак возможного проявления другой формации. Так, наличие интенсивных аномалий U на полиметаллических, золоторудных и других месторождениях может свидетельствовать о проявлении новой (урановой) рудной формации, поскольку для ореолов этих месторождений U, как правило, не характерен.

3. Оценка уровня эрозионного среза аномалий

Один из важнейших компонентов интерпретации геохимических аномалий — оценка уровня их эрозионного среза. Речь идет об уровне выявленной на поверхности аномалии относительно оруденения, с которым данная аномалия связана. При интерпретации геохимических аномалий следует иметь в виду, что в процессе геохимического опробования обычно обнаруживают сложные по строению аномалии, образовавшиеся в результате совмещения в пространстве ореолов, сопровождающих более или менее изолированные рудные тела. При этом уровень эрозионного среза ореолов каждого из этих тел может быть резко различным, в связи с чем в пределах общей аномалии должны быть выделены вероятные элементарные аномалии (ано-

малии, сопровождающие отдельные рудные тела) с последующей оценкой уровня эрозионного среза каждой в отдельности. Элементарные аномалии обычно легко фиксируются эпицентрами аномалий элементов-индикаторов, в первую очередь основных компонентов данного типа оруденения. Подобный дифференцированный подход к интерпретации геохимических аномалий тем более необходим, так как часто в непосредственной близости от слепого и слабоэродированного оруденения встречаются подрудные ореолы или ореолы, развитые на уровне корневых частей практически полностью эродированных рудных тел.

В качестве критерия оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий используется осевая зональность ореолов (вертикальная — в случае крутопадающего оруденения). Для этой цели обычно используют отношения средних содержаний и продуктивностей ореолов пар элементов, а также отношения параметров частных суммарных ореолов. При этом числителем служит параметр ореолов надрудных элементов, а знаменателем — подрудных или основных промышленно-ценных компонентов руд. Выбор над- и подрудных элементов производится по результатам изучения первичных ореолов известного (эталонного) месторождения (этап опытно-методических работ).

Как уже отмечалось, практическое значение геохимического изучения самого месторождения (основного объекта исследований рудничной геохимии) заключается в установлении особенностей геохимических ореолов данного месторождения с целью использования их в качестве критериев оценки других аномалий, выявленных в районе месторождения. Кроме подобного «эталонного» значения результаты геохимического изучения месторождения имеют прямое поисковое значение, поскольку позволяют оценить перспективы рудоносности глубоких горизонтов месторождения. Конкретные примеры подобной оценки рассматриваются в последующих главах.

Уровень эрозионного среза аномалий оценивается путем сравнения величин указанных выше параметров с ореолами известных рудных тел месторождения, которое в данном случае используется как эталон. При оценке уровня эрозионного среза геохимических аномалий более надежны параметры мультиплексивных ореолов, поскольку их зональность более контрастна.

В строении ореолов выявлена контрастная зональность не только при сопоставлении над- и подрудных сечений, но и при сопоставлении различных срезов ореолов. Это означает, что вертикальная зональность первичных ореолов может быть использована как для отличия надрудных ореолов от подрудных (поиски слепого оруденения), так и для оценки глубины эрозионного среза выведенных на поверхность рудных тел. Последнее — главнейшая компонента оценки перспективности на глубину рудопроявлений, что чрезвычайно важно, так как практически в каждом рудном районе известны многочисленные рудо-

проявления, требующие разбраковки с целью выбора наиболее перспективных из них, т. е. слабоэродированных.

Очевидно, что с помощью геохимической зональности можно не только оценить уровень эрозионного среза аномалий (когда последние выведены на дневную поверхность), но и решить более общие задачи, в частности оценить конкретный срез геохимической аномалии (эрэзионный срез — только частный случай) относительно оруденения, а также тех аномалий, какие-то части которых вскрыты горными выработками или скважинами.

Очевидно, что базовое месторождение может быть эталонным только для оценки «родственных» аномалий, т. е. таких, которые вызваны проявлениями той же рудной формации. В тех случаях, когда выявляют геохимические аномалии рудопроявлений других рудных формаций, для их интерпретации следует пользоваться обобщенными результатами геохимического изучения других по составу и условиям формирования рудных месторождений. Прежде всего имеется в виду использование геохимической зональности в качестве критерия оценки уровня аномалии относительно оруденения. В этой связи трудно переоценить практическое значение рассмотренной ранее единой геохимической зональности первичных ореолов гидротермальных рудных месторождений, а также количественно единой геохимической зональности первичных ореолов месторождений одной или близких по составу рудных формаций.

Очевидно, что возможность использования при интерпретации геохимических аномалий результатов изучения первичных ореолов на примере других эталонных месторождений в значительной степени определяется степенью изученности первичных геохимических ореолов различных типов месторождений. Обобщение имеющихся данных позволило установить неравномерный охват научно-методическими работами месторождений различных промышленно-генетических типов, что иллюстрируется данными табл. 27. При составлении ее использована систематика месторождений полезных ископаемых, предложенная В. И. Смирновым [35]. Достаточно высокой степенью изученности характеризуется ограниченное число типов месторождений: скарново-полиметаллические, галенит-сфalerитовые, оловорудные и колчеданные. Первичные ореолы многих типов месторождений или не изучены совсем, или изучены крайне недостаточно.

Заканчивая рассмотрение вопросов оценки эрозионного среза геохимических аномалий с помощью геохимической зональности, отметим, что первичные геохимические ореолы, оконтуренные по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб, отличаются более контрастной осевой геохимической зональностью.

Основные концентраторы элементов-индикаторов в первичных геохимических ореолах рудных месторождений — минералы и их агрегаты, слагающие рудные тела и рассеянные в окрестностях рудном пространстве. Из-за низких концентраций минералов

(концентраторы элементов-индикаторов в первичных ореолах) в первичных ореолах при изучении последних с помощью валового геохимического опробования как бы происходит существенное разубоживание содержаний элементов-индикаторов в пробах. Как показывают исследования, это разубоживание будет минимальным, если при изучении первичных геохимических ореолов использовать результаты анализа не валовых (рядовых) геохимических проб, а тяжелых фракций проб рудовмещающих пород (рациональное опробование). Для иллюстрации этого положения рассмотрим результаты изучения первичных ореолов по данным анализа тяжелых фракций геохимических проб на кварц-шебелитовом месторождении Богуты [10].

Месторождение представляет собой линейно вытянутый кварцево-жильный штокверк, локализованный в терригенно-осадочных образованиях среднего ордовика. Главный рудный минерал — шебелит. Широко распространены также пирит, встречаются молибденит, галенит, сфалерит, халькопирит, марказит, вольфрамит, арсенопирит, очень редко — висмутин, пирротин, гематит, магнетит. На месторождении по существу развиты полиформационные геохимические ореолы, сформированные в результате совмещения в пространстве продуктов редкометального и сульфидного этапов минералообразования.

Вертикальная зональность в распределении элементов-индикаторов редкометального оруденения выражена следующим рядом зонального отложения элементов-индикаторов (в скобки заключены элементы, взаимоотношения которых в ряду точно не установлены): (W, Bi, Mo) — Be—Sn—As. Слева направо происходит смена подрудных элементов надрудными.

К подрудным относятся элементы, которые накапливаются в нижней части разреза и образуют там наиболее широкие и интенсивные ореолы; надрудные элементы более характерны для верхних частей ореолов. С учетом этого ряда выбрано два варианта мультиплексивного коэффициента вертикальной зональности. В табл. 28 приведены величины мультиплексивных коэффициентов вертикальной зональности, рассчитанные по результатам валового опробования рудовмещающих пород. Как следует из нее, величины обоих индикаторных отношений с глубиной монотонно убывают, фиксируя отчетливую зональность в строении ореолов. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что эта зональность в целом мало контрастна и, следовательно, малоинформационна (для практических целей). Слабая контрастность первичных ореолов и их геохимической зональности вызвала необходимость использования на описываемом месторождении специальных методических приемов «усиления» геохимических ореолов, в частности, метода анализа тяжелых фракций геохимических проб. Для этого из дубликатов геохимических проб выделены тяжелые фракции проб (из навесок в 150—200 г).

Таблица 27

Состояние изученности первичных ореолов месторождений различных типов

Группы	Классы, парагенезисы	Месторождения	Степень изученности			
			не изучено	слабая	удовлетворительная	хорошая
Магматическая	Ликвационный Раннемагматический	Медно-никелевое Алмазные		+	+	
	Позднемагматический	Хромитовые Титаномагнетитовые Апатит-магнетитовые Апатитовые	++ ++ ++	+		
Пегматитовая	Простой Перекристаллизованный Метасоматически замещенный	— — —	+	+	+	
Карбонатитовая	—	—	+			
Скарновая	—	Железные Вольфрамовые Свинцово-цинковые			++	+
Альбитит-грейзеновая	—	Альбититовые Грейзеновые		++		
Гидротермальная	Плутоногенный	Кварцевый	Кварц-золотые Кварц-кассiterитовые Кварц-молибденитовые Кварц-халькопиритовые (медно-порфировые)		+	++ ++ ++
		Сульфидный	Галенит-сфалерит-халькопиритовые Сульфидно-настуранные Касситерит-сульфидные			+
		Карбонатный	Сидеритовые Магнезитовые	++		
		Вулканогенный	Полиметаллические золото-серебряные Молибденит-настуранные		+	+
		Амагматогенный	Медистые песчаники Галенит-сфалеритовые в карбонатных породах Антимонит-киноварные	+	+	
Колчеданная						+
Осадочная		Химический	Железорудные Марганцевые Бокситовые	++ ++ ++		
		Биохимический	Фосфоритовые		+	
Метаморфогенная	—	—	—	+		

Обработка результатов анализа геохимических проб и их тяжелых фракций показала, что ореолы, оконтуренные по результатам анализа тяжелых фракций, по размерам и интенсивности существенно превосходят ореолы, выявленные по результатам валового анализа геохимических проб. Особо следует отметить несравненно более высокую контрастность вертикальной геохимической зональности первичных ореолов, оконтуренных по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб.

Для количественной оценки степени «усиления» первичных ореолов при анализе тяжелых фракций геохимических проб в табл. 29 приведены пределы колебания величин коэффициента аномальности, рассчитанные по всем исследованным пробам как по валовым анализам проб, так и в результате анализа их тяжелых фракций (коэффициент аномальности — содержание элемента, выраженное в единицах геохимического фона). Анализ данных табл. 29 показывает, что наиболее контрастные среолы фиксируются по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб. Ореолы, выявленные по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб, имеют не только более значительные размеры и интенсивность (по сравнению с ореолами, выявленными по результатам валового анализа проб), но и более контрастную геохимическую зональность.

На исследованных участках месторождения развиты полиформационные ореолы, обусловленные проявлением на глубоких горизонтах месторождения полиметаллического этапа минерализации. В связи с этим контрастная вертикальная зональность на месторождении выявляется с помощью мультиплекативных коэффициентов зональности, которые представляют собой отношение произведений содержаний элементов-индикаторов редкометального (числитель) и полиметаллического этапов минерализации (знаменатель). Значения всех мультиплекативных коэффициентов зональности монотонно убывают с глубиной (табл. 30). Отличия разных частей оруденения по отношениям, определенным по тяжелой фракции, становятся более четкими. Контрастность индикаторных отношений возрастает значительно (см. табл. 30). Для всех мультиплекативных коэффициентов вертикальной зональности без исключения по тяжелым фракциям устанавливается существенно более контрастная зональность (см. табл. 30); см. рост контрастности, равный отношению коэффициентов контрастности зональности по тяжелым фракциям (числитель) и валовым пробам.

Аналогичная картина установлена на Мироновском полиметаллическом месторождении в Кыргызстане [10]. Рудные тела этого месторождения представлены рудоносными зонами субвертикального падения, поэтому данные табл. 31 характеризуют осевую геохимическую зональность первичных ореолов, совпадающую в случае рудных тел крутого падения с вертикальной.

На месторождении с помощью мультиплекативного коэффициента более высокого (третьего) порядка выявляется более

Таблица 28

Мультипликативные коэффициенты зональности

Уровень опробования	$\frac{\text{Sn}\cdot\text{Be}}{\text{W}\cdot\text{Bi}}$	$\frac{\text{Sn}\cdot\text{Bi}\cdot\text{As}}{\text{W}\cdot\text{Bi}\cdot\text{Mo}}$
Поверхность	0,007	0,408
Штольня:		
6	0,005	0,106
5	0,004	0,082
7	0,001	0,008
Контрастность	7	51

Таблица 29

Коэффициент аномальности элементов-индикаторов (по результатам анализа валовых проб и их тяжелых фракций)

Элемент-индикатор	Коэффициент аномальности		Увеличение коэффициента аномальности
	валовых проб	тяжелых фракций	
W	37—712	530—6200	4—26
Pb	0,9—17	4—6	1,3—7
Bi	4—64	27—300	1,5—17
Ag	4—30	32—169	3—9
Be	0,5—7,0	2—43	2—29
Mo	2—40	2—343	1—9
Zn	0,5—5	0,6—28	1—7
As	6—37	8—72	0,8—3

контрастная зональность. Тем не менее, контрастность зональности первичных ореолов, выявленной с помощью мультипликативного коэффициента третьего порядка для данного месторождения, оказалась недостаточной; величина мультипликативного коэффициента уменьшается с глубины почти в 200 м всего лишь в 30 раз, что не может обеспечить надежное использование критерия зональности при оценке геохимических аномалий.

Для выявления более контрастной геохимической зональности при изучении первичных ореолов описываемого месторождения был использован метод анализа тяжелых фракций.

Как показывают данные табл. 31, по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб удается выявить существенно более контрастную зональность в строении первичных ореолов.

Таблица 30.

Мультипликативные коэффициенты зональности

Уровень оруденения	W-Bi-Mo-Be Cu-Pb-Zn-As		Bi-Mo-Be Pb-Zn-Cu		Bi-Mo-Be Pb-Zn-As		W-Bi-Mo Cu-Pb-Zn		Be-W Zn-As	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Центральная часть	1,4	53,3	0,13	1,68	0,1	0,66	36,7	1755	8,03	103
Низы Центральной части	0,08	0,36	0,007	0,016	0,009	0,008	1,1	25,1	1,4	1,9
Нижняя часть	0,012 0,0007	0,04 0,006	0,004 0,0003	0,0019 0,0005	0,001 0,0002	0,0016 0,0007	1,4 0,16	3,08 0,34	0,22 0,02	1,2 0,46
Корни	0,0006 0,00002	0,0004 0,000004	0,0002 0,00003	0,00005 0,000004	0,00006 0,000007	0,00001 0,000006	0,09 0,02	0,06 0,005	0,3 0,008	0,29 0,009
Коэффициент контрастности	$7 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$
Рост контрастности		190,4		96,9		77,0		191,0		11,4

Примечание. I — рядовые пробы; II — тяжелые фракции.

Таблица 31

Величины мультипликативных коэффициентов зональности первичных ореолов

Уровень ореолов	Общие пробы		Тяжелые фракции	
	Ag-Pb Co-Mo	Ag-Pb-Zn Co-Mo-W	Ag-Pb Co-Mo	Ag-Pb-Zn Co-Mo-W
Среднерудный (гор. 1640 м)	1,42	7,7	40,6	6666,0
Нижнерудный (гор. 1514 м)	0,64	2,3	1,2	190,0
Подрудный (гор. 1452 м)	0,08	0,25	0,1	3,1
<i>Коэффициент контрастности</i>	17,8	30,8	406	2150

4. Разбраковка зон рассеянной рудной минерализации

Многолетний опыт геологоразведочных работ показывает, что в каждом рудном районе встречаются многочисленные рудопроявления и геохимические аномалии, представленные зонами рассеянной рудной минерализации (ЗРМ). Они представляют собой участки, в пределах которых в результате воздействия рудообразующих флюидов на вмещающие породы образовались зоны повышенных по сравнению с фоном концентраций элементов-индикаторов данного типа оруденения, не содержащие концентрированного оруденения, достаточного для промышленного освоения в данных условиях. Во многих случаях подобные рудопроявления встречаются в геологически благоприятной для локализации промышленного оруденения обстановке, что служит иногда основанием для постановки в пределах этих участков детальных поисковых и разведочных работ.

Особенности состава и строения геохимических аномалий, представленных ЗРМ, рассмотрены в гл. 1. Эти данные позволяют рекомендовать следующие критерии идентификации ЗРМ: 1) аномалии, представленные ЗРМ, отличаются от надрудных ореолов концентрированного оруденения постоянным и более широким кругом элементов-индикаторов; 2) в строении ЗРМ отсутствует контрастная осевая зональность; 3) по величине отношения параметров частных суммарных ореолов любые срезы ЗРМ соответствуют ореолам, развитым на уровне нижних частей промышленного оруденения; ввиду отсутствия отчетливой зональности вариации индикаторного отношения ЗРМ укладываются в сравнительно узкий интервал значений, который соответствует средней и нижней частям промышленного оруденения, ЗРМ отличаются существенно меньшими значениями средних аномальных содержаний (суммарных) основных элементов-индикаторов данного типа оруденения.

5. Оценка масштаба оруденения

Оценка масштаба оруденения представляет собой одну из наиболее сложных задач интерпретации геохимических аномалий. Вопросы оценки масштаба оруденения по параметрам индцирующих его геохимических аномалий рассмотрим применительно к типам оруденения, которые могут быть встречены на практике поисковых работ (рис. 75): вскрытое (оруденение выходит на поверхность); вскрыто-перекрытое (выходящее на поверхность оруденение перекрыто автохтонными рыхлыми отложениями); слепое (вмещающие слепое оруденение породы выходят на поверхность); слепо-перекрытое (слепое оруденение перекрыто автохтонными отложениями); погребенное (вскрытое

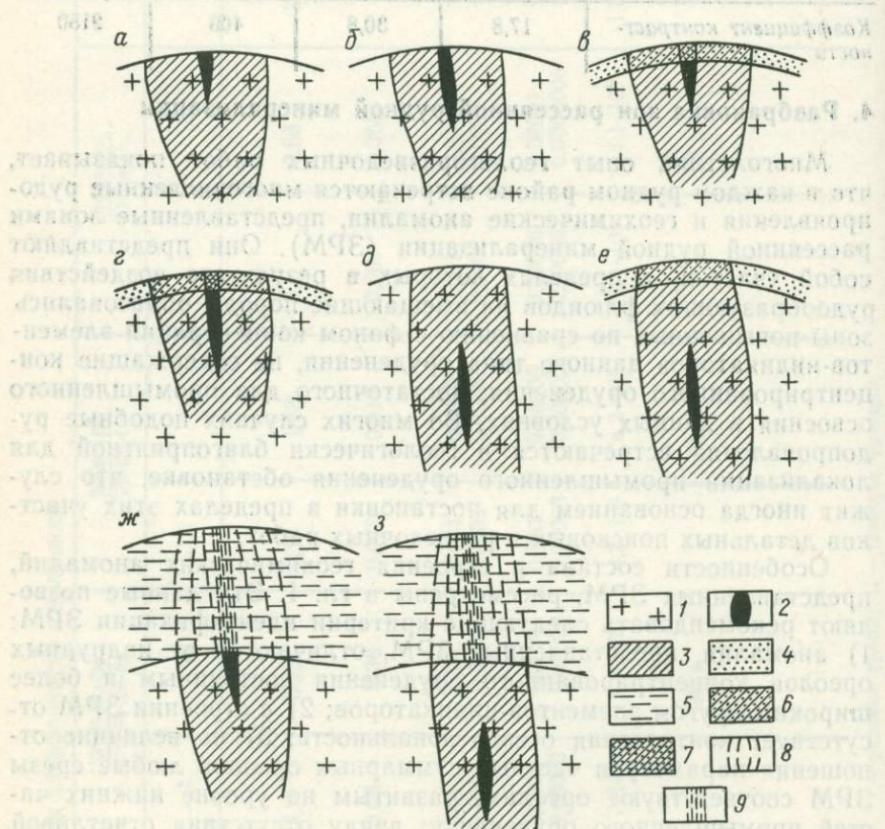


Рис. 75. Типы оруденения (относительно эрозионной поверхности):
а — глубокоэродированное; *б* — слабоэродированное; *в* — перекрытое глубокоэродированное; *г* — перекрытое слабоэродированное; *д* — слепое; *е* — слепо-перекрытое; *ж* — погребенное; *з* — слепо-погребенное; *1* — рудовмещающие коренные породы; *2* — рудное тело; *3* — первичные ореолы; *4* — рыхлые отложения автохтонные; *5* — аллохтонные; *6* — вторичные ореолы; *7* — поля повышенной интенсивности вторичных ореолов; *8* — эпигенетические наложенные ореолы; *9* — поля повышенной интенсивности наложенных ореолов

эрозионной поверхностью оруденение погребено под аллохтонные отложения); слепо-погребенное (вмещающие слепое оруденение породы погребены под аллохтонные отложения).

Масштаб вскрытого оруденения оценивается по общепринятой методике с той лишь разницей, что при этом с помощью критерия геохимической зональности оценивается уровень эрозионного среза оруденения (рудопроявления). Это учитывается при определении протяженности оруденения на глубину. Конкретные примеры подобных оценок будут рассмотрены в последующих главах.

При оценке вероятного масштаба слепого оруденения по параметрам надрудных (перспективных на слепое оруденение) геохимических ореолов может быть использована установленная на примере изучения месторождений ряда рудных формаций закономерная связь параметров рудных тел и окаймляющих их первичных ореолов.

Исследования показывают, что в случае идентичности геолого-структурных условий локализации оруденения вокруг мощных рудных тел, как правило, образуются более широкие и протяженные ореолы. Наиболее тесная связь устанавливается для ореолов элементов, являющихся основными промышленно-ценными компонентами руд (U — для урановых, Sn — для оловорудных месторождений и т. д.). Для элементов-спутников эта связь затушевывается их зональным распределением.

Прямая зависимость между мощностью рудных тел и линейной продуктивностью окаймляющих их ореолов U показана на рис. 76, где каждая точка отражает соотношение мощности рудного тела и линейной продуктивности ореола U по одному линейному пересечению. Аналогичная закономерность установлена и для Pb — одного из основных элементов-спутников U . Сравнение приведенных на рис. 76 графиков (для уранового месторождения в гранитах) позволяет выявить несколько больший разброс точек наблюдений для Pb , что следует объяснить зональным строением ореолов (Pb — индикатор надрудных сечений первичных ореолов урановых месторождений). Симбатная зависимость между продуктивностью рудных тел оловорудного месторождения Зимнее и окаймляющих их ореолов Pb и Sn показана на рис. 77.

Графики на рис. 76 и 77 построены по результатам изучения первичных ореолов, развитых вокруг изолированных рудных тел. Однако подобная зависимость устанавливается и в случае сближенных в пространстве рудных тел, если сравнивать суммарную по данному сечению мощность рудных тел и линейную продуктивность общих ореолов (рис. 78). Графики на рис. 78 построены по результатам детального изучения первичных ореолов уранового месторождения в гранитах. Месторождение представляет собой группу рудных тел, расположенных кулисообразно как в плане, так и в разрезе. Средняя мощность рудных тел (как и средняя продуктивность ореолов) прямо пропорцио-

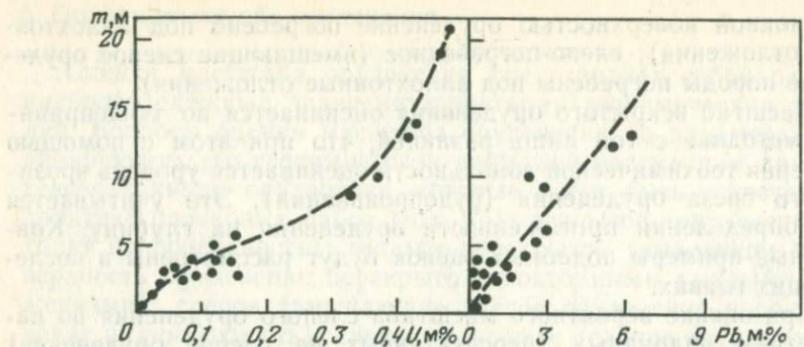


Рис. 76. Соотношение линейной продуктивности ореолов U и Pb и мощности рудных тел m

нальна суммарной площади рудных тел (ореолов) по каждому из исследованных горизонтов. Как следует из рис. 78, кривые средней мощности оруденения и продуктивности ореола U полностью повторяют друг друга, отражая прямую связь между этими параметрами рудных тел и ореолов. Для элементов-спутников U эта связь нарушается: в соответствии с их зональным распределением (они надрудные для уранового оруденения) графики продуктивности данных элементов отчетливо сдвинуты вверх по отношению к графику средней мощности оруденения.

Прямая зависимость параметров ореолов и рудных тел обнаруживается не только на уровне оруденения (см. рис. 76—78), но и для надрудных ореолов, что особенно важно при оценке масштабов слепого оруденения, поскольку и обнаружение, и оценка слепого оруденения проводятся по его надрудным ореолам. На рис. 79 показаны изменения с глубиной линейных производительностей ореолов, развитых вокруг рудных тел уранового месторождения, залегающего в гранитах. Каждая точка соответствует величине линейной производительности, рассчитанной по одному из горизонтальных сечений ореола. Как видно, рис. 79 представляет собой поле беспорядочно разбросанных точек. Картина существенно меняется при отложении по оси абсцисс не абсолютных значений линейной производительности ореолов, а относительных, рассчитанных как частное от деления абсолютных производительностей на мощность (максимальную) соответствующих рудных тел (удельная производительность). В этом случае точки закономерно располагаются на линии, фиксирующей постепенное увеличение производительности ореола по мере приближения к рудному телу, отражая тем самым прямую зависимость производительности надрудных ореолов от мощности соответствующих слепых рудных тел. В отличие от U точки наблюдения Pb (см. рис. 79) характеризуются большим разбросом и резким сдвигом вверх, что отражает вертикальную зональность (интенсивные ореолы Pb развиты выше рудных тел).

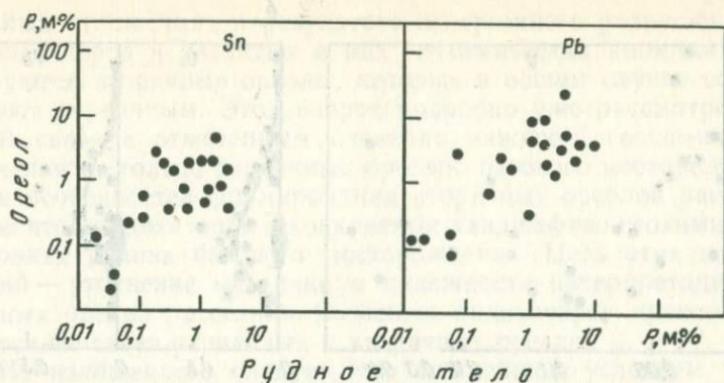


Рис. 77. Соотношение линейной продуктивности ореолов Sn и Pb и мощности (по вертикали m , м) рудных тел оловорудного месторождения

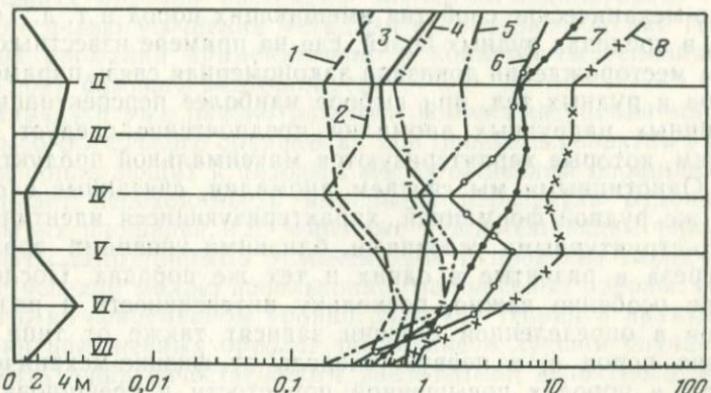


Рис. 78. Изменение по вертикали продуктивностей ореолов, их отношений и приведенной мощности рудных тел:

II-VII — горизонты горных выработок; 1 — Mo; 2 — U; 3 — Mo/U; 4 — Cu; 5 — Zn; 6 — Pb; 7 — Zn/U; 8 — Pb/U

тесной связью характеризуются элементы, представляющие собой основные промышленно-ценные компоненты руд. Для элементов-спутников в результате их зонального распределения эта связь менее закономерна.

Рассмотренный критерий можно использовать при количественной интерпретации аномалий в пределах площадей, прилегающих к базовому (эталонному) месторождению. Следует еще раз отметить, что несмотря на отчетливую зависимость продуктивности ореолов от размеров рудных тел, задача оценки масштабов слепого оруденения по параметрам ореолов чрезвычайно сложна, поскольку помимо масштабов слепого оруденения на развитие первичных ореолов существенно влияют такие факторы, как геолого-структурные условия локализации оруденения,

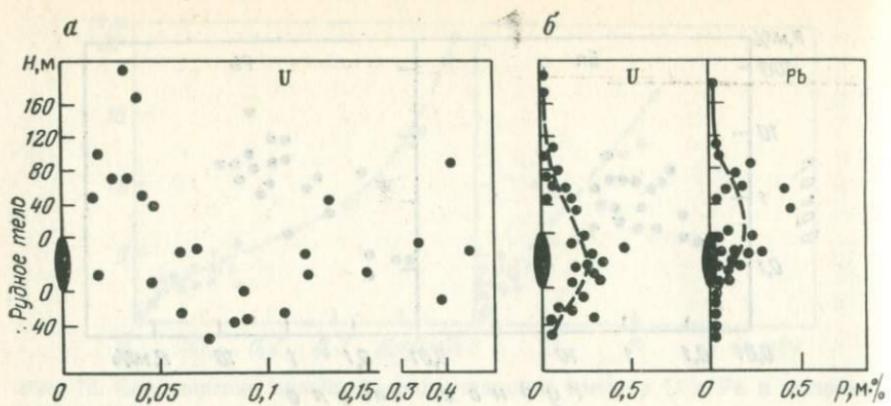


Рис. 79. Изменение с глубиной линейной (а) и удельной (б) продуктивности первичных ореолов слепого оруденения

физико-механические свойства вмещающих пород и т. д. Тем не менее, в пределах рудных полей, где на примере известных (базовых) месторождений доказана закономерная связь параметров ореолов и рудных тел, при выборе наиболее перспективных из однотипных надрудных аномалий предпочтение следует отдавать тем, которые характеризуются максимальной продуктивностью. Однотипными мы считаем аномалии, связанные с одной и той же рудной формацией, характеризующиеся идентичными геолого-структурными условиями, близкими уровнями эрозионного среза и развитые в одних и тех же породах. Последнее условие особенно важно, поскольку интенсивность и размеры ореолов в определенной степени зависят также от типа вмещающих пород и, в первую очередь от физико-механических свойств: в породах повышенной пористости и трещиноватости развиваются более интенсивные и широкие ореолы. Это следует учитывать при количественной интерпретации геохимических аномалий.

Необходимо иметь в виду, что критерий количественной интерпретации геохимических аномалий, основанный на закономерной связи параметров рудных тел и ореолов, является не абсолютным, а относительным, и поэтому его использование эффективно при интерпретации не единичных аномалий, а их групп, когда из ряда однотипных аномалий, признанных надрудными, выделяют самые перспективные. Более точные оценки можно получить сравнивая выявленные аномалии с развитыми вблизи рудных тел базового месторождения первичными ореолами. Оценка масштаба слепо перекрытого оруденения методически аналогична уже рассмотренной методике оценки слепого оруденения. Разница лишь в том, что интерпретации подлежат вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов. При этом также применяется критерий зональности первичных ореолов, поскольку в перекрывающих первичные ореолы автохтонных

рыхлых отложениях в результате гипергенного разрушения коренных пород и развитых в них геохимических аномалий формируются вторичные ореолы, которые в общем случае соответствуют первичным. Этот вопрос подробно уже рассмотрен.

В связи с отмеченным очевидна важность геохимического изучения не только первичных ореолов базового месторождения, но и особенностей формирования вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов в конкретных ландшафтно-геохимических условиях района базового месторождения. Цель этих исследований — уточнение методики и надежности интерпретации вторичных орелов рассеяния элементов-индикаторов прежде всего на основе связи первичных и вторичных ореолов.

Из изложенного следует, что важнейшим условием успешного решения задач рудничной геохимии представляется геохимическое эталонирование базового месторождения, которое должно включать в себя не только изучение первичных, но и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов, прежде всего с целью уточнения методики и критериев оценки геохимических аномалий применительно к конкретным условиям рудного поля базового месторождения.

Наряду с уже рассмотренными вопросами оценки масштаба вскрытого и слепого оруденения при оценке перспектив рудоносности прилегающих к базовым месторождениям площадей часто возникает необходимость выяснения перспектив рудоносности закрытых площадей, где коренные рудовмещающие породы перекрыты аллохтонными отложениями. В пределах таких площадей с успехом можно использовать наложенные ореолы. Очевидно, что на современном уровне развития теории и практики методики наложенных ореолов последние в лучшем случае могут служить лишь качественными указателями вероятного наличия на глубине погребенного и слепопогребенного оруденения, количественная оценка (в том числе определения масштаба) которого потребует выполнения определенного объема дополнительных работ по вскрытию и опробованию коренных рудовмещающих пород.

6. Определение падения рудных тел

Естественно, что в обнаженных районах падение выходящих на поверхность рудных тел достаточно надежно определяется при геологическом картировании и обычно не возникает необходимости в привлечении геохимических критериев. Однако в условиях закрытых районов для определения падения рудных тел может оказаться достаточно эффективным использование особенностей поперечной зональности вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов (при условии их удовлетворительной корреляции с первичными ореолами). В связи с тем, что определить условия залегания слепых рудных тел весьма слож-

но, рассмотрим возможности привлечения для решения этой задачи поперечной зональности первичных ореолов.

Определение направления падения слепых рудных тел по характеру изменения в поперечном направлении только аддитивного (или мультипликативного) показателя не однозначно, поскольку его максимальные значения могут фиксировать как слепое оруденение вертикального падения (эпицентр представляет собой проекцию оруденения на поверхность), так и висячий бок слепого оруденения. В последнем случае возможны два варианта. Однозначное решение можно достичь, если удастся на поверхности проследить рудовмещающую структуру и сопровождающие ее метасоматические изменения рудовмещающих пород. Тогда направление смещения эпицентра индикаторного отношения от рудовмещающей структуры будет соответствовать падению слепого оруденения. Но далеко не всегда удается однозначно установить рудовмещающую структуру. Часто на поверхности она проявлена слабо или же совсем отсутствует. Известны случаи, когда слепые залежи локализуются в слепых структурах. Кроме того, во многих случаях наличие серии разрывных нарушений резко затрудняет выделение среди них рудовмещающей. В подобных случаях существенную помощь может оказать использование особенностей распределения элементов-индикаторов в первичных ореолах.

По результатам изучения различных по составу и условиям формирования месторождений установлено, что рудовмещающие структуры на поверхности фиксируются интенсивными ореолами элементов-основных компонентов руд (Pb и Zn — на полиметаллических месторождениях, Sn — на оловорудных и т. д.), т. е. эпицентры аномалий этих элементов совпадают с рудовмещающей структурой. В случае слепых структур эпицентры аномалий

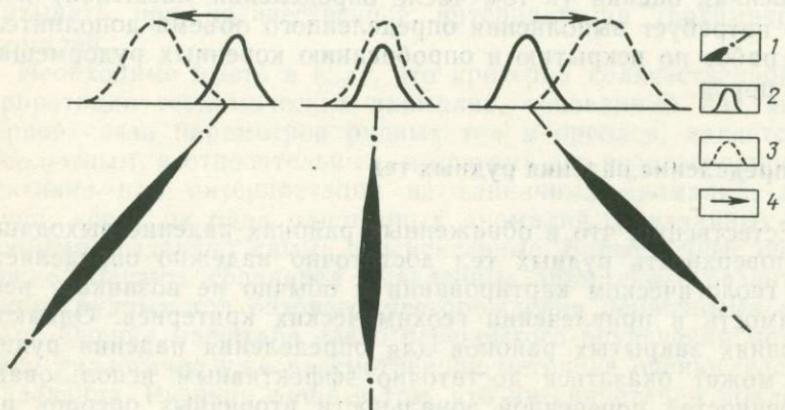


Рис. 80. Особенности развития первичных ореолов над слепым оруденением:
1 — слепое рудное тело; графики распределения элементов-индикаторов: 2 — рудных; 3 — надрудных; 4 — направление склонения оруденения

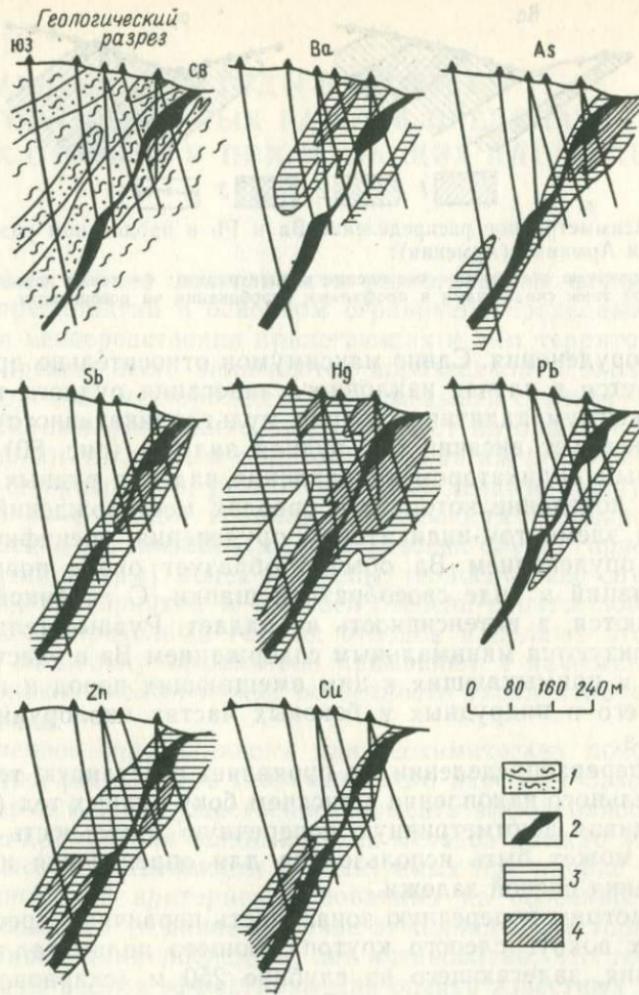


Рис. 81. Первичные ореолы вокруг рудных тел (Сахалинское ртутное месторождение, Северный Кавказ):

1 — терригенно-осадочные рудовмещающие породы; 2 — рудные тела; 3, 4 — первичные ореолы (4 — поля повышенной интенсивности)

также фиксируют рудовмещающие структуры, располагаясь на их продолжении по восстанию. Это обстоятельство позволяет рекомендовать использование при определении условий залегания слепого оруденения правило двух максимумов: а) максимума аномалий элементов-основных компонентов руд; б) максимума полей аномалий, оконтуренных по величине аддитивного (или мультипликативного) показателя.

При этом можно пользоваться следующим правилом. Совмещение обоих максимумов и симметричное расположение кривых свидетельствует о вертикальном (субвертикальном) падении

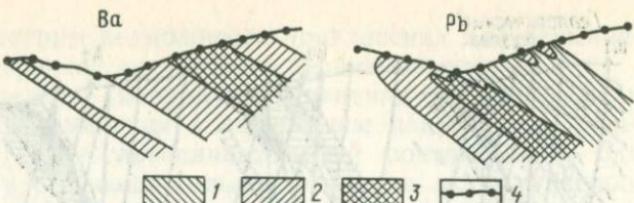


Рис. 82. Асимметричное распределение Ва и Pb в продольном разрезе рудо-проявления Арманис (Армения):

1, 2, 3 — первичные ореолы (3 — повышение концентрации); 4 — точки пересечения плоскости рудной зоны скважинами и профилями опробования на поверхности

слепого оруденения. Сдвиг максимумов относительно друг друга наблюдается в случае наклонного залегания рудного тела, при этом максимум аддитивного (или мультиплекативного) показателя фиксирует висячий бок рудной залежи (рис. 80). Иногда отчетливым индикатором направления падения рудных тел служит Ва, поведение которого в ореолах месторождений, где он является элементом-индикатором оруденения, специфично. Над слепым оруденением Ва обычно образует ореол повышенных концентраций в виде своеобразной шапки. С глубиной ореолы Ва сужаются, а интенсивность их падает. Рудные тела обычно характеризуются минимальным содержанием Ва в участках рудных тел и примыкающих к ним вмещающих пород и переотложением его в надрудных и боковых частях околоврудного пространства.

При перераспределении Ва проявляет отчетливую тенденцию избирательного накопления в висячем боку рудных тел (рис. 81), обусловливая асимметричную поперечную зональность ореолов, которая может быть использована для определения направления падения слепой залежи.

Рассмотрим поперечную зональность первичных ореолов, выявленных вокруг слепого крутопадающего полиметаллического оруденения, залегающего на глубине 250 м (скарново-полиметаллическое месторождение Северный Курусай II, Средняя Азия). Как следует из рис. 38, ореолы Ва развиты практически только в надрудной части околоврудного пространства. В отличие от ореолов элементов основных компонентов руд (Pb, Zn, Ag), ореол Ва отчетливо сдвинут в сторону висячего бока слепой залежи, несмотря на слабый наклон последней. Смещение максимумов Ва относительно остальных элементов иллюстрируется кривыми распределения последних, построенными по результатам опробования коренных пород на поверхности.

Рис. 82 отражает избирательное накопление Ва в висячем боку выходящих на поверхность рудных тел рудо-проявления Арманис (Армения).

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СОСТАВЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ ГОРНЫХ ОТВОДОВ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ПЛОЩАДЕЙ

В нашей стране деятельность геологических служб горно-рудных предприятий в основном ограничена пределами горных отводов и непосредственно прилегающих к ним территорий. Эти службы прежде всего занимаются доразведкой и эксплуатационной разведкой месторождений и в меньшей степени — поисковыми работами. Последние, как отмечают авторы работы [32], осуществляются главным образом на флангах и глубоких горизонтах месторождений, реже — за их пределами. Следует отметить, что за рубежом границы деятельности государственных геологических организаций и геологических служб горно-рудных предприятий (фирм) менее очерчены: геологические службы добывающих предприятий в большей степени заняты поисковыми работами за пределами горных отводов и делают это весьма успешно, поскольку эффективно применяют в качестве поисковых признаков геологические особенности эксплуатируемых месторождений.

Отмеченное справедливо и для геохимических поисков: использование результатов геохимического изучения базового месторождения может существенно повысить эффективность практического применения геохимических методов прежде всего благодаря высокой надежности используемых при оценке геохимических аномалий критерии, основанных на особенностях изученного базового (в данном случае эталонного) месторождения.

Исследованиями последних лет установлено, что геохимические методы весьма эффективны для оценки известных в районе базового месторождения рудопроявлений, а также поисков новых слепых рудных тел как на глубоких горизонтах базового месторождения, так и на его флангах и прилегающих к ним площадях. Как уже отмечалось, рудничная геохимия — новый раздел прикладной геохимии и поэтому в этой книге особое внимание уделяется рассмотрению конкретных примеров применения геохимических методов для решения таких важных задач рудничной геохимии, как поиски слепых рудных тел на глубоких горизонтах и флангах месторождения и оценка рудопроявлений на глубину. Будут рассмотрены примеры обнаружения с помощью геохимических ореолов слепого и слабоэродированного оруденения. Эти данные получены в результате специализированных геохимических работ, выполненных автором в различных рудных районах совместно с Г. Я. Абрамсоном, Л. Н. Бельчанской, С. А. Григоровым, Р. Г. Оганесяном, Н. Пиловой и Г. Э. Федотовой.

ПОИСКИ СЛЕПОГО ОРУДЕНЕНИЯ

1. Примеры положительной оценки

Зоны «Новые» обнаружены на глубоких горизонтах гидротермального уранового месторождения, залегающего в кислых эфузивах [17]. Изучение первичных геохимических ореолов вокруг известных рудных тел описываемого месторождения позволило установить, что сравнительно маломощным рудным телам отвечают весьма широкие и достаточно интенсивные первичные ореолы U и ряда его элементов-спутников.

Как видно на рис. 83, в строении первичных ореолов установлена отчетливая вертикальная зональность: ореолы Pb, Mo, Ag и Zn избирательно накапливаются в надрудных частях ореолов. В отличие от этого, ореолы основного полезного компонента — U отчетливой асимметрией по вертикали не обладают: максимальной интенсивностью и шириной они характеризуются на уровне рудных тел, от которых они вверх и вниз убывают примерно с одинаковым градиентом. Из перечисленных элементов наиболее интенсивные и широкие ореолы образуют U, Mo и Pb, являющиеся основными индикаторами данного типа оруденения. Они могут быть успешнее всего использованы для решения конкретных практических задач поисков новых рудных тел и месторождений. В соответствии с описанной зональностью для рассматриваемого месторождения в качестве количественных оценок зональности использованы коэффициенты, в которых в качестве элементов-индикаторов надрудных частей первичных ореолов были выбраны U и Mo.

На описываемом месторождении геохимическое опробование квершлагов позволило, наряду с первичными ореолами известных рудных тел (рис. 84, 85), выявить геохимические аномалии без видимой связи с рудными телами. На рис. 84 изображены первичные ореолы основных элементов-индикаторов описываемого месторождения — U, Pb и Mo, развитые вокруг известного рудного тела (Зона меридиональная, ореолы которой в разрезе приведены на рис. 84). Как видно на рис. 84 и 85 вокруг Зоны меридиональной высокая интенсивность только у ореолов U: интенсивность ореолов Pb и Mo (индикаторы надрудных сечений ореолов) весьма слабая. Это обстоятельство, а также расчет величины коэффициента геохимической зональности позволили прийти к выводу, что на гор. VI вскрыты корневые части Зоны меридиональной. Данный вывод был подтвержден последующими работами: гор. ниже VI зафиксировано полное выклинивание этой зоны. Как видно на рис. 84 и 85, на гор. VII и VIII (подрудные ореолы) ореолы надрудных элементов Pb и Mo практически не проявлены, тогда как ореолы U интенсивные и широкие.

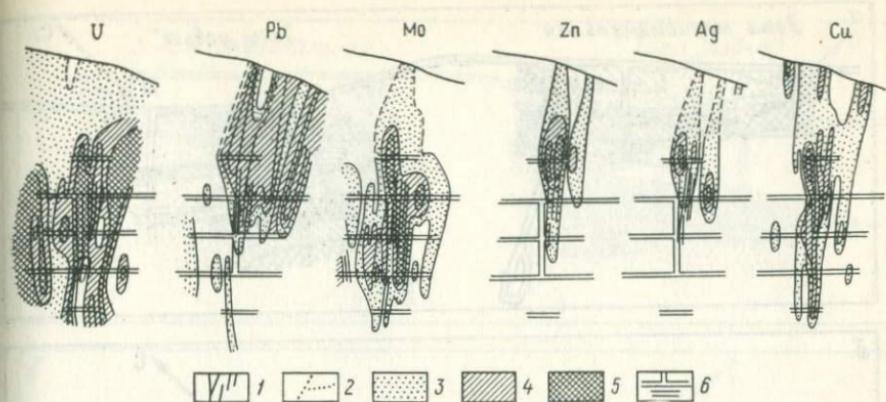


Рис. 83. Первичные ореолы в разрезе (по Г. И. Вертепову):

1 — рудничные тела; 2 — предположительные границы ореолов; 3, 4, 5 — первичные ореолы (по возрастающей интенсивности); 6 — подземные горные выработки

Совершенно другая картина установлена на северо-восточном фланге описываемой зоны. Здесь обнаружены интенсивные и широкие аномалии и U, и его спутников, в частности Pb и Mo. Эти особенности выявленных аномалий, а также величина коэффициента геохимической зональности свидетельствуют, что развитые на северо-западном фланге зоны меридиональной аномалии представлены надрудными ореолами залегающего на глубине нового слепого оруденения. Квершлагами на гор. VII в результате проверки данной рекомендации был вскрыт ряд сближенных (параллельных) тел, прослеженных также на гор. VIII.

На участке Золоторудном слепое оруденение выявлено в результате проверки аномалий, признанной надрудной после расшифровки сложных аномалий, сформировавшихся вокруг сближенных в пространстве кулисообразно расположенных рудных тел.

Золотое оруденение базового месторождения, находящегося на Северо-Востоке нашей страны, локализуется в интенсивно дислоцированных терригенных породах триаса, прорванных позднемеловыми дайками кислого состава. На участке Золоторудном установлено выклинивание с глубиной рудного тела, выходящего на поверхность. Для оценки перспектив этого участка на слепое оруденение проводилось геохимическое опробование керна скважин. В результате ниже ореолов, окаймляющих известное рудное тело, выявлены новые аномальные поля основных элементов-индикаторов надрудных частей ореолов оруденения (Sb, Ag, Pb) и установлено отчетливое расширение с глубиной аномалии As (индикатор нижних частей ореолов). Это позволило сделать вывод о надрудной природе выявленных аномалий и считать участок перспективным на слепое оруденение. Скважины, пробуренные в соответствии с данной рекомендацией, вскрыли слепое рудное тело (рис. 86). Особенности соста-

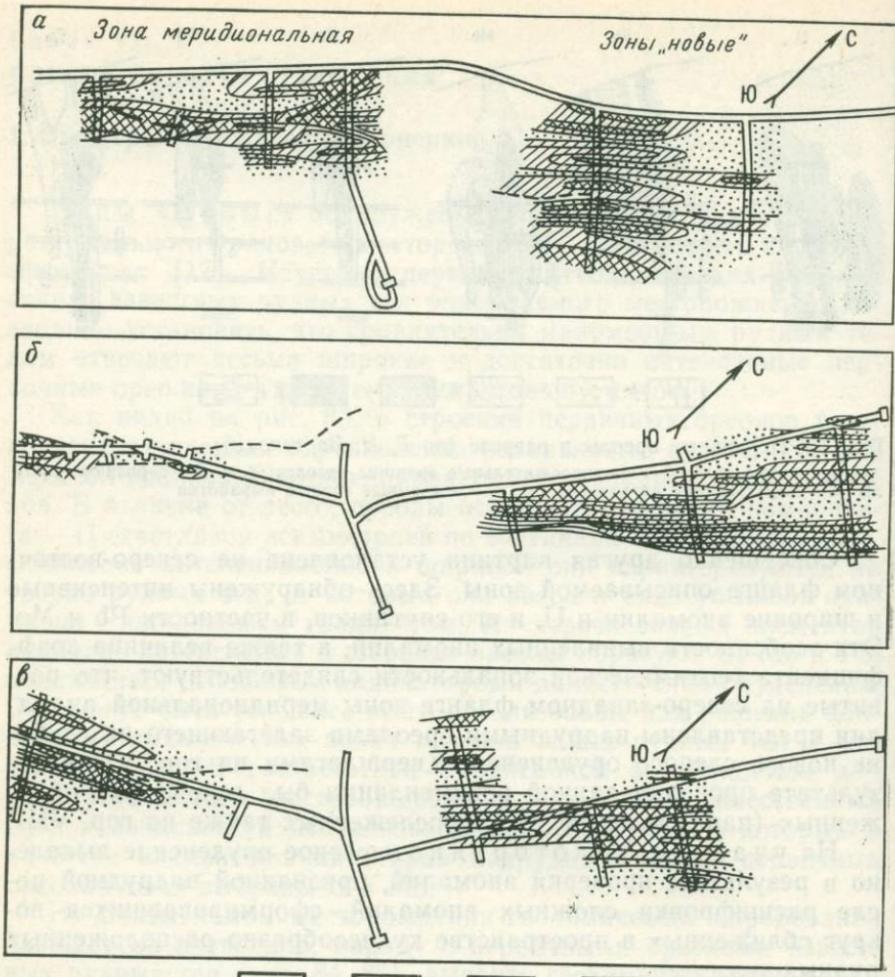


Рис. 84. Первичные ореолы в плане на VI (а), VII (б) и VIII (в) горизонтах горных выработок (по Г. И. Вергепову):

1 — рудные тела; 2 — проекция рудных тел; 3 — рудоносные тектонические зоны; 4 — горные выработки; остальные условные обозначения см. рис. 83

ва и строения первичных ореолов, использованные для интерпретации геохимических аномалий, выявленных на участке Золоторудном, установлены в результате изучения базового золоторудного месторождения распространенной в этом районе золото-серебряной формации.

Опишем некоторые результаты использования особенностей первичных геохимических ореолов при поисках в Швеции в пределах Гарпенбергского рудного поля слепых рудных тел полиметаллического состава. Цель этих исследований — оценка возможности и практической эффективности применения для по-

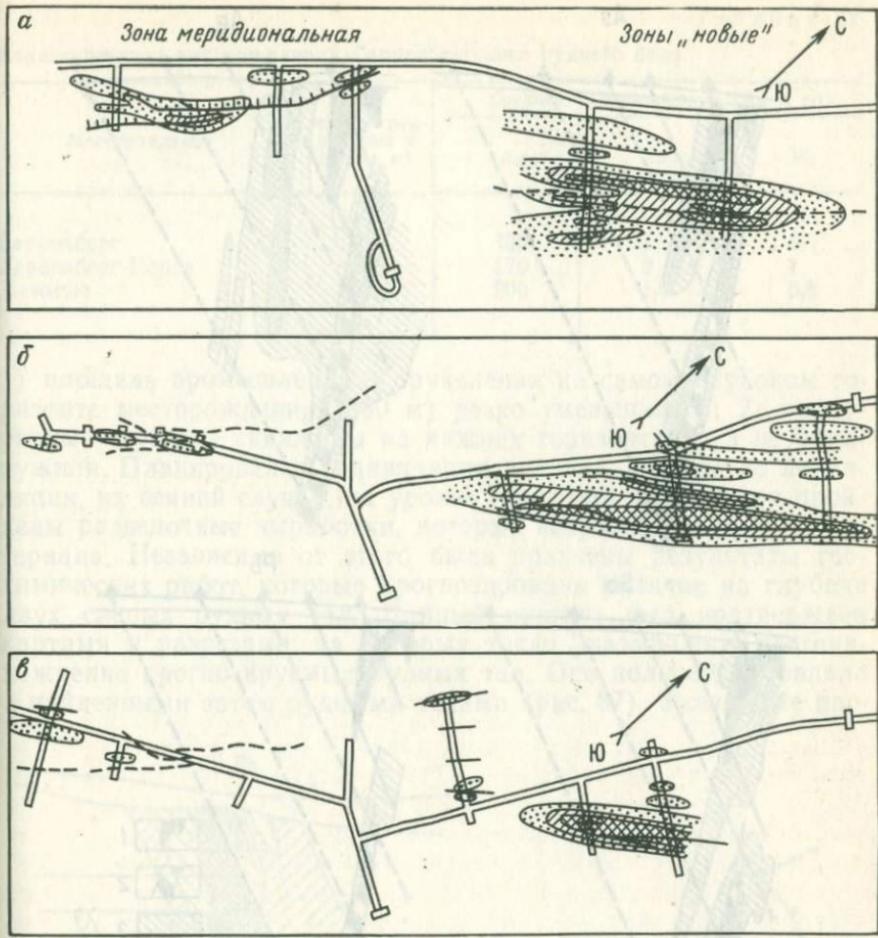


Рис. 85. Первичные ореолы Pb (по Г. И. Верепову).

Усл. обозн. см. на рис. 84

исков слепого докембрийского оруденения (возраст $\sim 2,0$ млрд лет) методики первичных ореолов, разработанной автором на примере изученных им в нашей стране молодых рудных объектов.

В качестве геохимических критерий оценки перспектив рудоносности конкретных участков на полиметаллическое оруденение использовались особенности состава и строения первичных геохимических ореолов месторождения Гарпенберг, выбранного в качестве эталонного. Рудные тела Гарпенбергского рудного поля локализованы в пределах 4-х километрового карбонатного пояса, где к настоящему времени выявлены следующие месторождения: 1) Гарпенберг (известно более 1000 лет); 2) Гарпенберг-Норра (открыто в 1962 г.); 3) Даммше (слепое

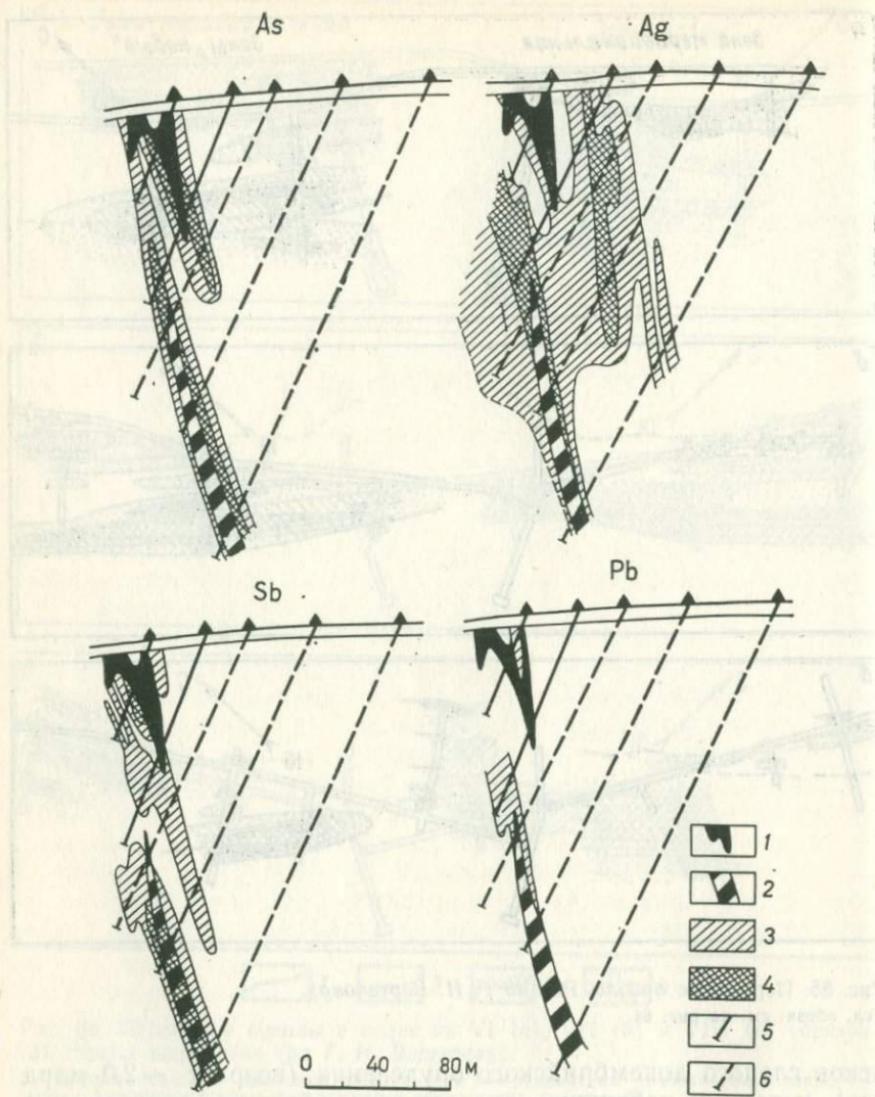


Рис. 86. Первичные ореолы в разрезе:

1 — известное рудное тело; 2 — слепое рудное тело, открытое в результате проверки геохимического прогноза; 3, 4 — ореолы элементов-индикаторов (4 — поля повышенных содержаний); скважины, пробуренные: 5 — до геохимического опробования; 6 — для проверки геохимического прогноза

месторождение, обнаружено в 1980 г.). Некоторые данные о размерах и составе этих месторождений приведены в табл. 32. Первичные геохимические ореолы месторождения изучены путем опробования горных выработок и керна скважин.

В 60-е годы на месторождении Гарпенберг создалось критическое положение, обусловленное следующими причинами:

Таблица 32

Характеристика месторождений Гарпенбергского рудного поля

Месторождение	Площадь рудных тел в плане, м ²	Средние содержания, % (Ag в г/т)		
		Ag	Zn	Pb
Гарпенберг	7000	130	5	4
Гарпенберг-Норра	4000	170	2	1
Даммше	13000	200	1,5	0,8

1) площадь промышленного оруденения на самом глубоком горизонте месторождения (880 м) резко уменьшилась; 2) пробуренные глубокие скважины на нижних горизонтах руд не обнаружили. Планировалась ликвидация рудника. Однако до ликвидации, на всякий случай, на уровне горизонта 470 м были пройдены разведочные выработки, которые вскрыли два рудных интервала. Независимо от этого были получены результаты геохимических работ, которые прогнозировали наличие на глубине двух слепых рудных тел. Данный прогноз был подтвержден картами и разрезами, на которых точно указывалось местонахождение прогнозируемых рудных тел. Оно полностью совпало с найденными затем рудными телами (рис. 87). Указанные про-

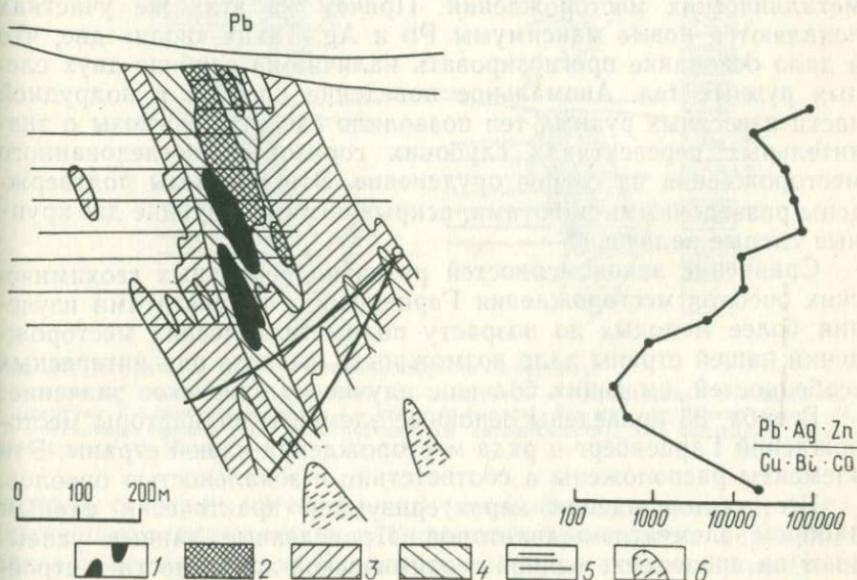


Рис. 87. Первичные ореолы Pb и график коэффициента геохимической зональности:

1 — первичные руды; 2 — окисленные руды; 3, 4 — первичные ореолы (4 — поля максимальных содержаний); 5 — подземные горные выработки; 6 — слепые рудные тела, обнаруженные в результате проверки геохимического прогноза

гнозы сделаны на основе анализа особенностей состава и пространственной изменчивости (зональности) выявленных на месторождении первичных ореолов.

Для количественной характеристики вертикальной зональности первичных ореолов по исследованным разрезам рассчитали отношения линейных продуктивностей частных мультиплекативных ореолов для следующих групп элементов-индикаторов: Ag, Pb, Zn (типоморфный комплекс для верхних сечений ореолов) и Cu, Bi, Co (индикаторы глубоких срезов ореолов). Как следует из рис. 87, с глубиной резко уменьшается величина указанного отношения (более чем в тысячу раз на глубину до 400 м). Однако на глубине, уже в подрудной части, картина резко меняется, и график на уровне самой глубокой скважины фиксирует новый максимум индикаторного отношения.

Как показывает опыт поисков скрытого оруденения по первичным ореолам, такое поведение графика отношений параметров ореолов могло быть обусловлено наличием на глубине слепого оруденения, надрудные ореолы которого обнаружены на склонными скважинами, пробуренными из подземных выработок. Этот вывод подтверждается особенностями развития ореолов ряда элементов. В частности, как следует из рис. 88, 89: после практически полного выклинивания ореолов Cd, связанных с известными рудными телами, на уровне самой нижней скважины появляется новая «волна» аномальных концентраций этого элемента — типичного индикатора надрудных срезов ореолов полиметаллических месторождений. Причем на этих же участках появляются новые максимумы Pb и Ag. Таких « волн» две, что и дало основание прогнозировать наличие на глубине двух слепых рудных тел. Аномальное поведение ореолов в подрудной части известных рудных тел позволило сделать прогнозы о значительных перспективах глубоких горизонтов исследованного месторождения на слепое оруденение. Эти прогнозы подтверждены разведочными работами, вскрывшими на глубине две крупные слепые залежи.

Сравнение закономерностей развития первичных геохимических ореолов месторождения Гарпенберг с результатами изучения более молодых по возрасту полиметаллических месторождений нашей страны дало возможность выявить ряд интересных особенностей, имеющих большое научно-методическое значение.

В табл. 33 приведены основные элементы-индикаторы месторождений Гарпенберг и ряда месторождений нашей страны. Эти элементы расположены в соответствии с зональностью ореолов.

Все месторождения характеризуются практически единым набором элементов-индикаторов. Приведенные данные указывают на проявление единой геохимической зональности в строении первичных ореолов гидротермальных полиметаллических месторождений, несмотря на резкие различия условий их формирования. Последующее изучение зональности первичных ореолов, в частности исследование особенностей проявления зональ-

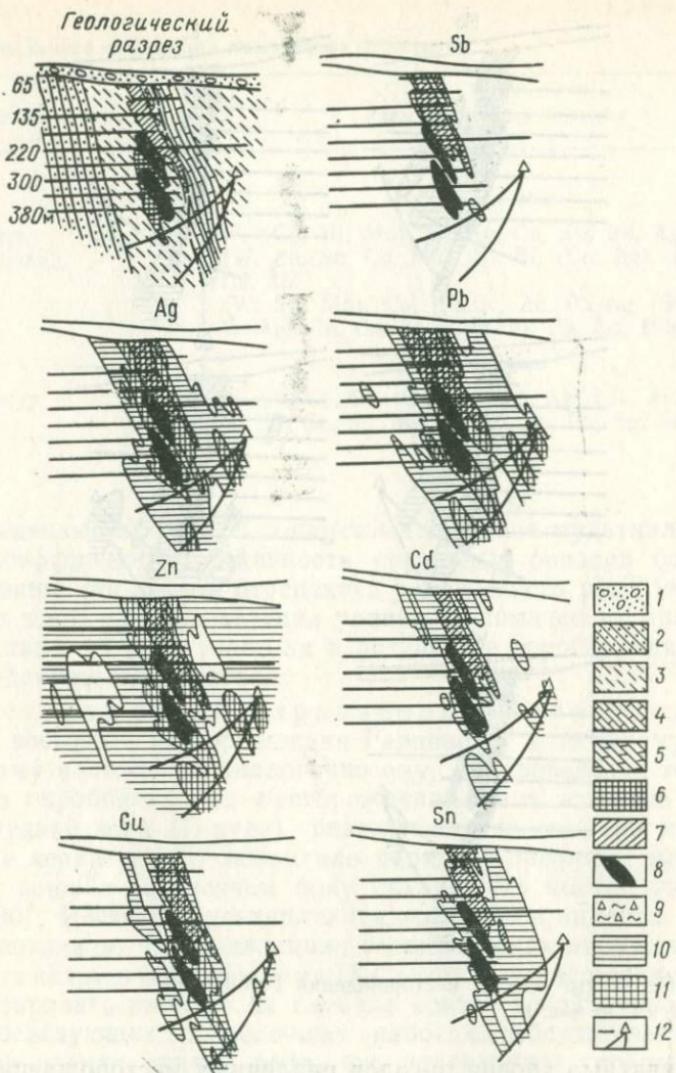


Рис. 88. Первичные ореолы месторождения Гарпенберг:

1 — моренные отложения; 2 — лептиты; 3 — кварциты; 4 — известняки; 5 — доломиты; 6 — скарны; 7 — окисленные руды; 8 — первичные руды; 9 — зоны дробления пород; 10, 11 — первичные ореолы (11 — поля повышенной интенсивности); 12 — подземные горные выработки и скважины

ности в строении интегральных (мультиплекативных) ореолов, также позволило выявить идентичность зональности первичных ореолов месторождения Гарпенберг и других полиметаллических месторождений. Причем зональность в строении первичных ореолов единая не только качественно (идентичные ряды зональности), но и количественно. Последнее устанавливается только в строении мультиплекативных ореолов и выражается в том,

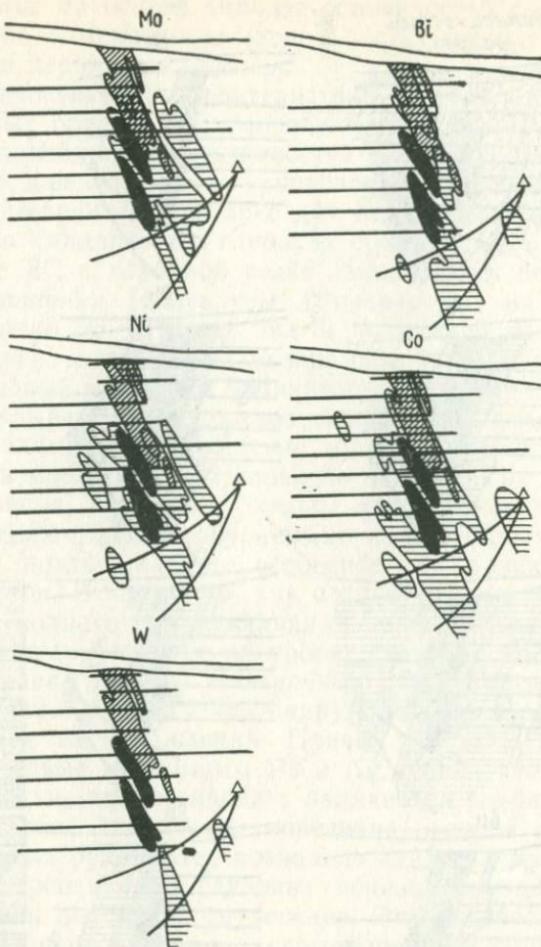


Рис. 89. Первичные ореолы месторождения Гарненберг.
Усл. обозн. см. на рис. 88

что адекватные уровни ореолов различных месторождений фиксируются чрезвычайно близкими значениями отношений параметров частных мультиплексивных ореолов при значительном их градиенте по вертикали (см. рис. 19).

Несмотря на резкие различия в геологических условиях локализации этих месторождений, графики изменения отношений мультиплексивных ореолов имеют монотонный характер (см. рис. 19). Они весьма близко и достаточно контрастно отражают вертикальную зональность в строении первичных ореолов, выражющуюся в закономерной смене с глубиной элементов-индикаторов верхнерудных сечений (Ag , Pb , Zn) индикаторами более глубоких уровней ореолов (Cu , Bi , Co). Описанная количественно единая геохимическая зональность первичных ореолов

Ряды зонального отложения химических элементов

Месторождение	Ряды химических элементов
<i>Скарновые</i>	
Гарпенберг Алтын-Топкан	W, (Co, Ni, Mo), Bi, Sn, Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Sb (W, Be, Sn, Co, Mo), Ni, Bi, (Cu, Zn), (Pb, Ag), Cd, Sb
Курусай Акташ	(W, Sn, Mo), Co, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, (Sb, As), Ba W, Mo, Sn, Co, Bi, (Cu, Zn), Pb, Ag, (Sb, As)
<i>Жильные</i>	
Канимансур Садон	W, Sn, Co, Bi, (Cu, Zn), Pb, Ag, (Sb, As) W, Ni, Co, Sn, Mo, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb

и приведенные на рис. 19 конкретные значения мультиплекативного коэффициента зональности первичных ореолов были использованы для оценки перспектив рудоносности ряда участков, прежде всего для определения уровня геохимических аномалий, выявленных на этих участках в результате опробования коренныхрудовмещающих пород.

Месторождение Гарпенберг-Норра расположено в 3 км восточнее месторождения Гарпенберг и по своему геологическому положению аналогично ему. До проведения геохимического опробования на месторождении была известна только одна рудная зона (В-руды), разведанная до гор. 150 м. Опробование керна скв. 57 позволило наряду с ореолами известной рудной зоны в ее висячем боку обнаружить новую аномалию (рис. 90). Расчеты мультиплекативного коэффициента зональности показали, что выявленная геохимическая аномалия представлена надрудными ореолами ($K_3 > 10^5$). Это дало возможность прогнозировать наличие на глубине новой слепой рудной зоны: при последующих разведочных работах действительно была вскрыта слепая рудная зона, что подтвердило геохимический прогноз (см. рис. 90).

Месторождение Даммше открыто в 1980 г. в результате планомерного разбуривания 3-х километрового карбонатного пояса между месторождениями Гарпенберг и Гарпенберг-Норра. В пределах этого участка еще до обнаружения месторождения в 1970 г. был опробован керн двух пробуренных ранее скв. 39 и 40 (рис. 91). По обеим скважинам были выявлены интенсивные геохимические аномалии элементов-индикаторов полиметаллического оруденения. Расчеты мультиплекативного коэффициента зональности первичных ореолов свидетельствовали о надрудной природе выявленных аномалий. В результате опробования керна скв. 39 и 40 сделаны следующие прогнозы:

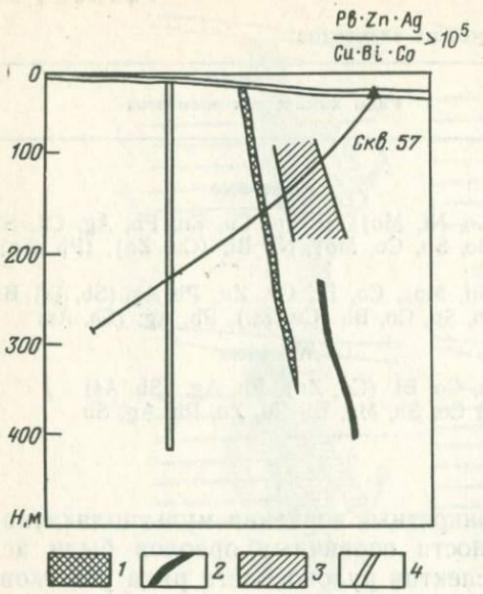


Рис. 90. Первичные ореолы в разрезе:

1 — известное рудное тело; 2 — рудное тело, обнаруженное в результате проверки геохимического прогноза; 3 — надрудные ореолы; 4 — шахта

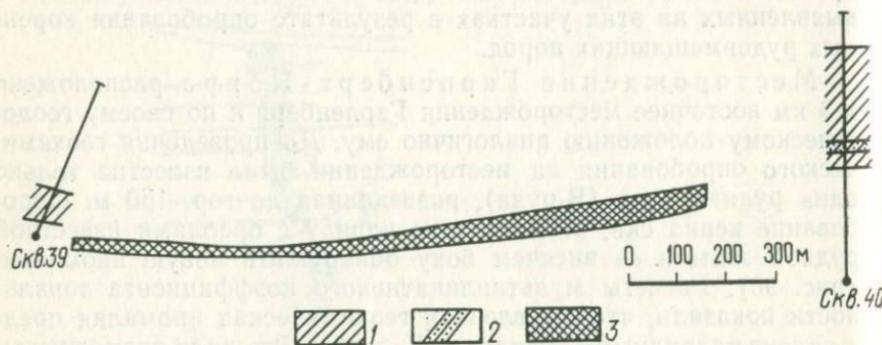


Рис. 91. Проекция геохимических аномалий скв. 39 и 40 на поверхность (месторождение Даммше):

1 — надрудные геохимические аномалии, выявленные по скважинам; 2 — поле максимальной интенсивности; 3 — слепая залежь (проекция на поверхность); угол наклона скважины равен 53°

скв. 39 — аномалия указывает на наличие руды ниже уровня аномалии; скв. 40 — выявленная интенсивная аномалия является надрудной, переходящей в нижней части в рудную. Прогнозируемое оруденение расположено недалеко от ствола скважины. В итоге был сделан вывод о наличии на глубине богатого слепого оруденения. Хотя эти геохимические рекомендации в свое время не были реализованы и даже были забыты, тем не менее, они иллюстрируют высокую эффективность практического применения первичных ореолов: открытое через десять лет крупное месторождение Даммше полностью подтвердило правильность геохимического прогноза, сделанного по результатам геохимического опробования только двух скважин.

Приведенные данные свидетельствуют о чрезвычайно высокой эффективности использования первичных ореолов при по-

исках полиметаллических месторождений в районах широкого развития докембрийских образований. Полиметаллические гидротермальные месторождения в докембрийских толщах — не исключение и к ним в полной мере применимы методические принципы литохимических поисков полиметаллических месторождений более молодого возраста.

История открытия месторождения Даммше по существу представляет собой убедительный пример своеобразной геохимической «ревизии» горно-буровых работ, выполненных в пределах рудных полей и районов известных (базовых) месторождений: геохимическое опробование пробуренных «пустых» скважин позволило выявить первичные ореолы неизвестного ранее слепого месторождения. Высокую эффективность подобной геохимической ревизии выполненных ранее горно-буровых работ иллюстрируют также результаты работ на месторождениях Курусай и Тырныауз.

На участке Промежуточный Курусайского рудного поля (Таджикистан) проведенной ранее разведкой обнаружено и в последующем отработано одиночное слепое рудное тело промышленного значения. При геохимическом опробовании поверхности и скважин, выполненных много лет спустя после разведки, над этим рудным телом были выявлены и оконтурены интенсивные ореолы Ba, As, Pb, Zn и Ag, значительной вертикальной протяженности (для большинства элементов протяженность ореолов над слепым телом превышает 500 м, рис. 92).

В результате обработки данных геохимического опробования на некотором удалении от известного рудного тела обнаружена самостоятельная полоса с аномальными содержаниями этих же элементов, во многом сходная с ореолами, развитыми над известным рудным телом. По результатам опробования установлено расширение аномалии с глубиной и увеличение ее интенсивности (рис. 92).

Как видно из табл. 34, величины отношений линейных продуктивностей ореолов над известным рудным телом и обнаруженной аномалией для пар As—Cu, Ag—Cu и Bi—Cu исключительно близки. Существенные расхождения устанавливаются только для пар Pb—Cu (завышение по новой аномалии) и Zn—Cu (затухание). В ореолах обеих полос с глубиной намечается уменьшение продуктивности для As и увеличение продуктивности для остальных элементов. Эти данные позволили сделать вывод о надрудной природе выявленной аномалии и рекомендовать ее к проверке для обнаружения слепого рудного тела. Близость известного рудного тела способствовала определению глубины залегания предполагаемой (с допущением об идентичности геологического-структурных условий) локализации рудных тел и окаймляющих ореолов.

Следует однако отметить, что при интерпретации аномалии существенное затруднение вызывало «аномальное» поведение ореолов Pb и Zn, которое могло быть обусловлено или меньшей

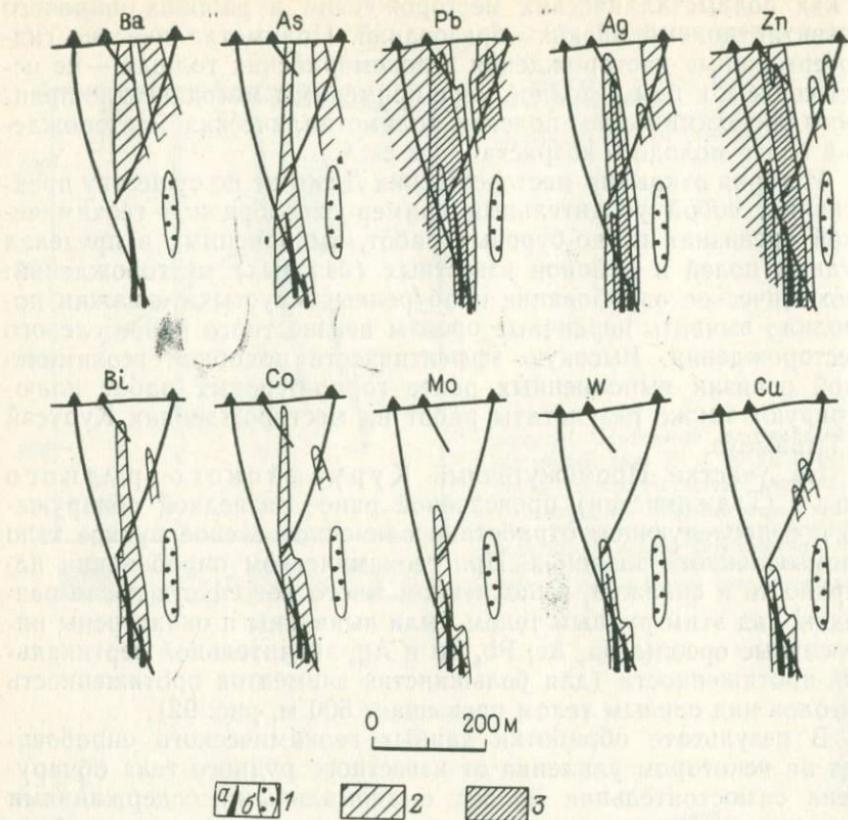


Рис. 92. Первичные ореолы в разрезе:

1 — рудные тела (а — известное, б — обнаруженное по геохимическим данным); 2, 3 — первичные ореолы (3 — поля повышенной интенсивности)

глубиной залегания предполагаемого рудного тела по сравнению с известными, или же его относительной обогащенностью Pb. Второе предположение более вероятно, так как в случае неглубокого залегания слепого оруденения наблюдались бы расхождения в величинах отношений продуктивностей ореолов всех пар элементов, а не только двух. Проведенные впоследствии разведочные работы подтвердили справедливость этого вывода: примерно на глубине 460 м на небольшом (50 м) удалении от известного рудного тела обнаружено слепое рудное тело промышленного значения с высоким содержанием Pb (10,7 %) и Zn (8,8 %).

Другим характерным примером эффективной геохимической ревизии выполненных ранее разведочных работ служат результаты исследований на месторождении Тырныауз, где на одном из участков горными выработками, пройденными на ряде горизонтов, а также скважинами установлено отсутствие

Таблица 34

Линейная продуктивность первичных ореолов над известным рудным телом, выявленной аномалии и их отношения (участок Промежуточный)

Элемент	Среднее содержание, %	Линейная продуктивность, м-%	Отношение к продуктивности ореола Cu
As	$\frac{0,001^*}{0,001}$	$\frac{0,0125}{0,013}$	$\frac{0,25}{0,25}$
Ba	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,125}{0,13}$	$\frac{2,5}{2,5}$
Ag	$\frac{0,00004}{0,00005}$	$\frac{0,0005}{0,00065}$	$\frac{0,01}{0,013}$
Pb	$\frac{0,003}{0,004}$	$\frac{0,0375}{0,206}$	$\frac{0,75}{4,0}$
Zn	$\frac{0,004}{0,004}$	$\frac{0,42}{0,2226}$	$\frac{8,4}{4,3}$
Cu	$\frac{0,004}{0,004}$	$\frac{0,05}{0,052}$	—
Bi	$\frac{0,00015}{0,00015}$	$\frac{0,0019}{0,00195}$	$\frac{0,038}{0,033}$

* В числителе приведены параметры ореола известного рудного тела; в знаменателе — выявленной аномалии.

рудных тел в пределах скарнов, благоприятных на шеелитовое оруденение. Это послужило основанием для прекращения на данном участке разведочных работ.

Последующее геохимическое опробование горных выработок и керна позволило выявить усиливающиеся с глубиной аномалии W, Mo, Be, Sn и других элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения (рис. 93). Это обстоятельство (особенно наличие интенсивных аномалий Sn и Be — типичных индикаторов надрудных ореолов данного типа оруденения) позволило считать глубокие горизонты исследованного участка перспективными на слепое оруденение и рекомендовать продолжение разведки. С помощью скважины, пробуренной в соответствии с данной рекомендацией, на глубине 400 м было обнаружено слепое оруденение.

Мы рассмотрели примеры, когда слепые рудные тела обнаружены в результате проверки признанных перспективными геохимических аномалий, выявленных в результате геохимического опробования подземных горных выработок и керна скважин. Наряду с этим, особенности геохимических ореолов базовых месторождений с успехом могут использоваться также для оценки

Геологический разрез

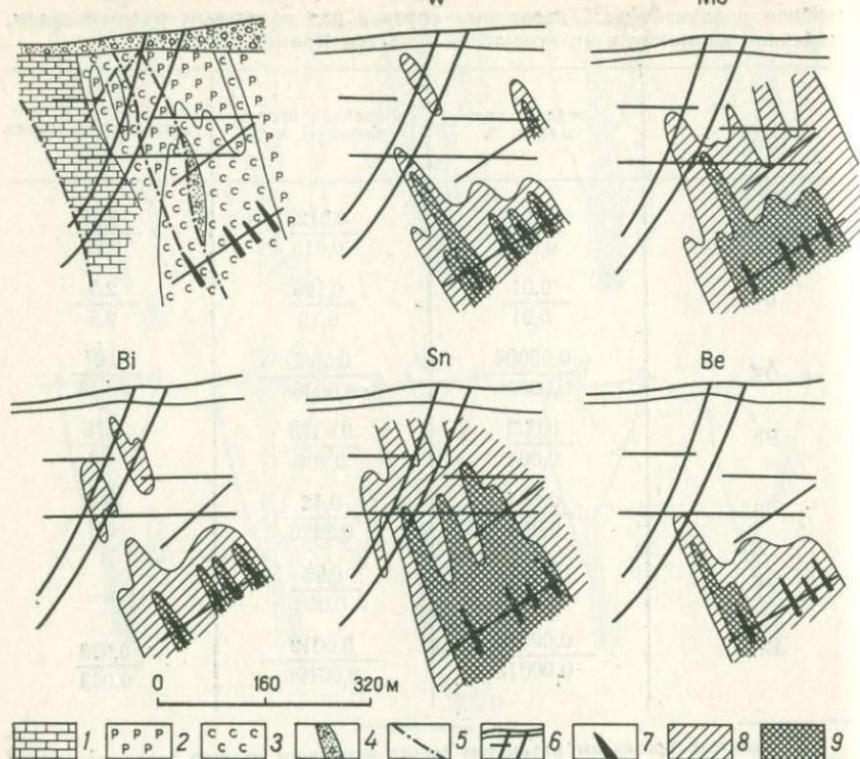


Рис. 93. Первичные ореолы элементов-индикаторов (разрез III—III месторождения Тырныауз):

1 — мраморы; 2 — роговики и биотитовые; 3 — скарны; 4 — зоны дробления; 5 — дисъюнктивные нарушения; 6 — скважины и горные выработки; 7 — слепые рудные тела, вскрытые в результате проверки геохимического прогноза; 8, 9 — первичные ореолы (9 — поля повышенных содержаний элементов)

перспектив рудоносности тех или иных участков рудного поля путем геохимического опробования коренных пород (или перекрывающих их рыхлых отложений) на поверхности. Рассмотрим некоторые примеры.

Участок Северо-Запад II расположен в западной части Канимансурского рудного поля. По результатам геохимического опробования коренных пород (кварцевые порфиры, сферолит-порфиры) в масштабе 1:10 000 на участке выявлены контрастные геохимические аномалии характерных индикаторов полиметаллического (свинцово-серебряного) оруденения, обычно переходящего с глубиной в медно-висмутовое. На рис. 94 показаны частные аддитивные ореолы надрудных (Ba, Pb, Ag) и подрудных элементов (Cu, Bi, Co), которые выбирались исходя из ряда зональности элементов-индикаторов, установленного по результатам изучения особенностей развития первичных орео-

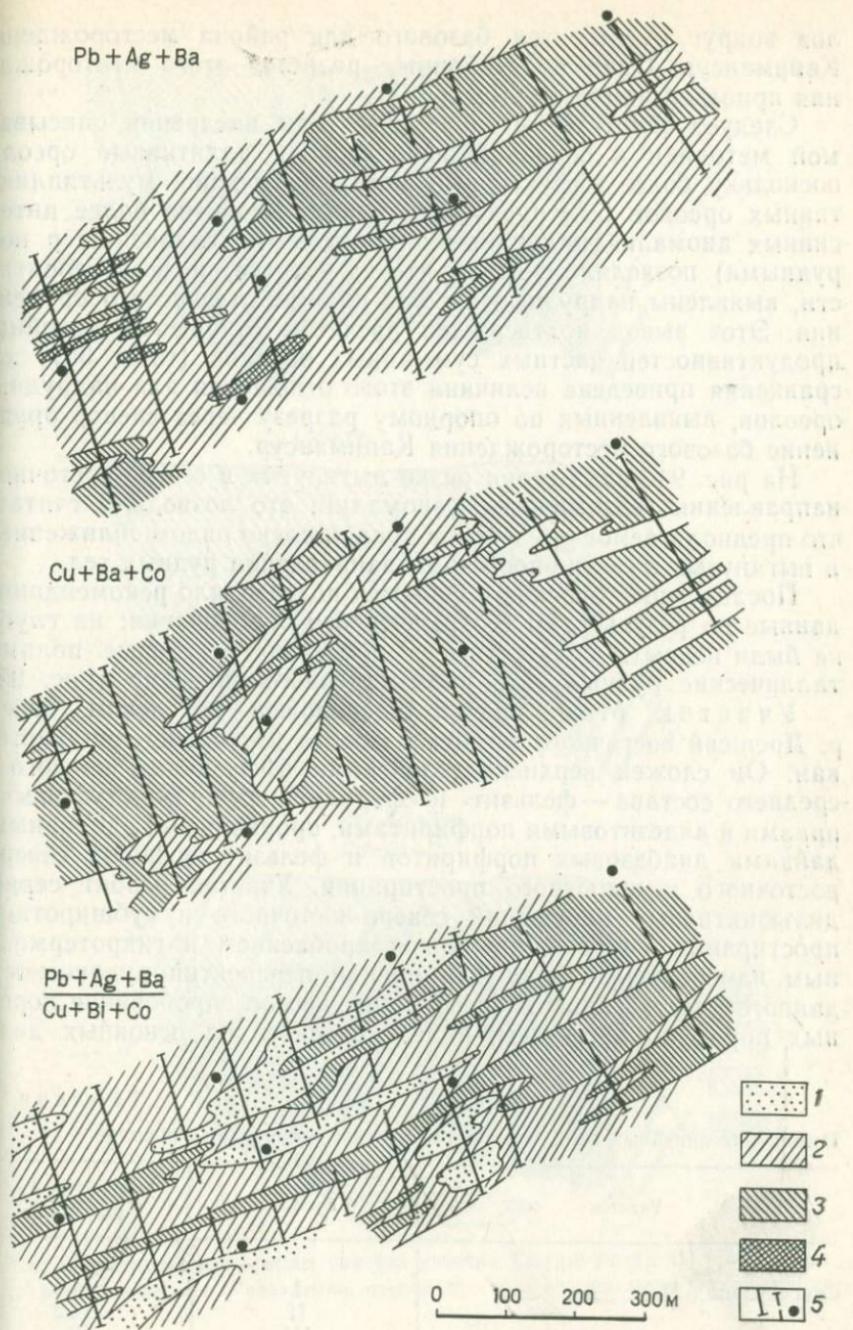


Рис. 94. Аддитивные аномалии (поверхность участка Северо-Запад II):
 1—4 — первичные ореолы (4 — поля максимальной интенсивности ореолов); 5 — профили опробования

лов вокруг рудных тел базового для района месторождения Канимансур. Один из эталонных разрезов этого месторождения приведен на рис. 12 (см. гл. I).

Следует отметить, что в первые годы внедрения описываемой методики в основном использовали аддитивные ореолы, поскольку более эффективный метод построения мультиплексивных ореолов был предложен позже. Развитие более интенсивных аномалий надрудных элементов (по сравнению с подрудными) позволило считать, что на участке, по всей вероятности, выявлены надрудные ореолы полиметаллического оруденения. Этот вывод подтвержден расчетом отношений линейных продуктивностей частных суммарных ореолов (табл. 35); для сравнения приведена величина этого отношения для надрудных ореолов, выявленных по опорному разрезу через слепое орудение базового месторождения Канимансур.

На рис. 94 видна серия резко вытянутых в северо-восточном направлении геохимических аномалий; это позволило считать, что предполагаемое оруденение представлено рядом сближенных и вытянутых в северо-восточном направлении рудных тел.

Последующее бурение полностью подтвердило рекомендации, данные по результатам геохимического опробования: на глубине были вскрыты сближенные в пространстве слепые полиметаллические рудные тела промышленного значения (рис. 95).

Участок Майдантал расположен на левом берегу р. Дрешай восточного фланга базового месторождения Тарызкан. Он сложен верхнепалеозойскими эфузивами кислого и среднего состава — фельзит- и сферолит-порфирами, туфопесчаниками и андезитовыми порфиритами, прорваными единичными дайками диабазовых порфиритов и фельзит-порфиров северо-восточного и широтного простирания. Участок разбит серией дизъюнктивных нарушений северо-восточного и субширотного простирания, сопровождающихся дроблением и гидротермальным изменением пород. Для оценки перспектив рудоносности данного участка проводилось геохимическое опробование коренных пород по профилям, вкрест простирания основных дизъ-

Таблица 35

Отношение линейных продуктивностей частных аддитивных ореолов

Участок	Профиль		
		Ba + Pb + Ag	Cu + Bi + Co
Северо-Запад II	I	14,4	
	II	14,3	
	III	19	
	IV	16,1	
Месторождение Канимансур (эталонный разрез)	I	16,8	

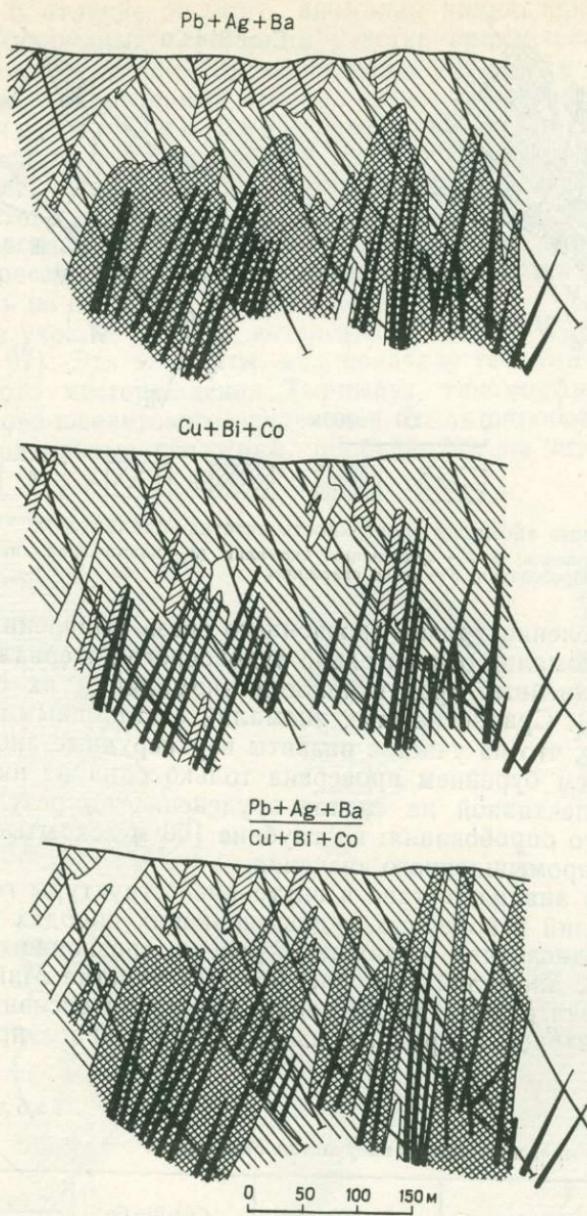


Рис. 95. Аддитивные ореолы (разрез участка Северо-Запад II):
1 — рудные тела; 2—4 — аддитивные ореолы (4 — поля максимальной интенсивности)

ионктических нарушений. В результате обработки данных опробования на участке выявлено несколько геохимических аномалий, три из которых признаны перспективными на слепое оруденение (рис. 96).

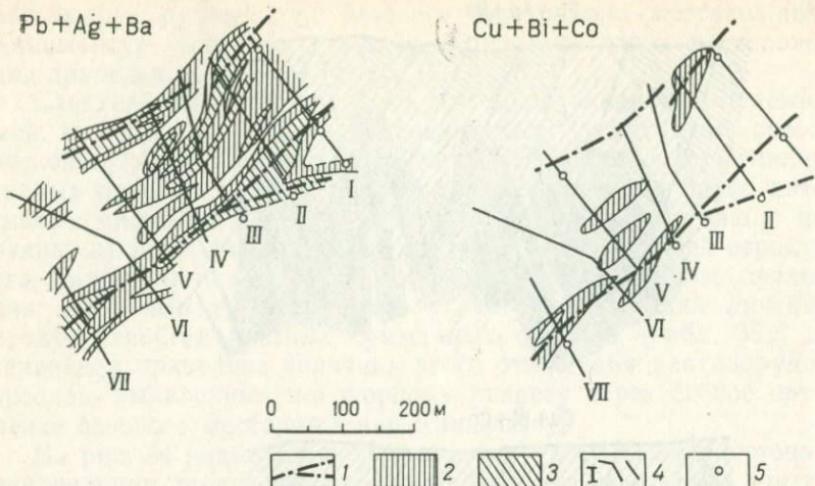


Рис. 96. Аддитивные аномалии (поверхность участка Майдантал):
1 — разрывные нарушения; 2—3 — аддитивные аномалии (3 — повышенной интенсивности); 4 — профили опробования; 5 — устье скважины

Для определения уровня эрозионного среза выявленных геохимических аномалий относительно рудоносного интервала были рассчитаны линейные продуктивности аномалий и их соотношения (табл. 36). Сравнение этих аномалий с эталонными разрезами показало, что на участке развиты верхнерудные аномалии. В последующем бурением проверена только одна из них, признанная перспективной на слепое оруденение по результатам геохимического опробования: на глубине 100 м вскрыты слепые рудные тела промышленного значения.

Детальный анализ состава и внутренней структуры геохимических аномалий в коренных рудовмещающих породах обычно достаточно однозначно отражает уровень эрозионного среза геохимических аномалий (см. рис. 96). На участке Майдантал выявлены значительные по размерам весьма интенсивные аномалии индикаторов надрудных частей окорудного простран-

Таблица 36

Параметры геохимических аномалий участка Майдантал

Аномалия	Профиль	$Ba + Pb + Ag$	$Cu + Bi + Co$	$\frac{Ba + Pb + Ag}{Cu + Bi + Co}$
I	I	242	62,75	3,8
I	II	1927	123,4	8,9
I	VII	6601	1556,2	4,3
II	III	11235	109,3	10,2
III	V	765,5	60,8	12,6

ства. В отличие от этого, аномалии индикаторов более глубоких (подрудных) срезов на участке практически отсутствуют. Такая контрастная дифференциация указанных двух групп элементов — характерный признак слепого оруденения.

Участок Пик Веры расположен в западной части Тырныаузского рудного поля, к югу от Центрального разлома, и сложен массивными мраморами, пироксен-плагиоклазовыми и биотитовыми роговиками. На поверхности участка выявлены контрастные аномалии ряда химических элементов. Из-за сильно пересеченной местности коренные породы на участке опробовались не по сети, а по водоразделам.

На участке развиты интенсивные ореолы W, Mo, Bi, Sn и Be (рис. 97). Эти элементы, как показало геохимическое изучение базового месторождения Тырныауз, типоморфные индикаторы скарново-шеелитового оруденения. Были опробованы подземные горизонтальные скважины, пробуренные на штольневом гори-

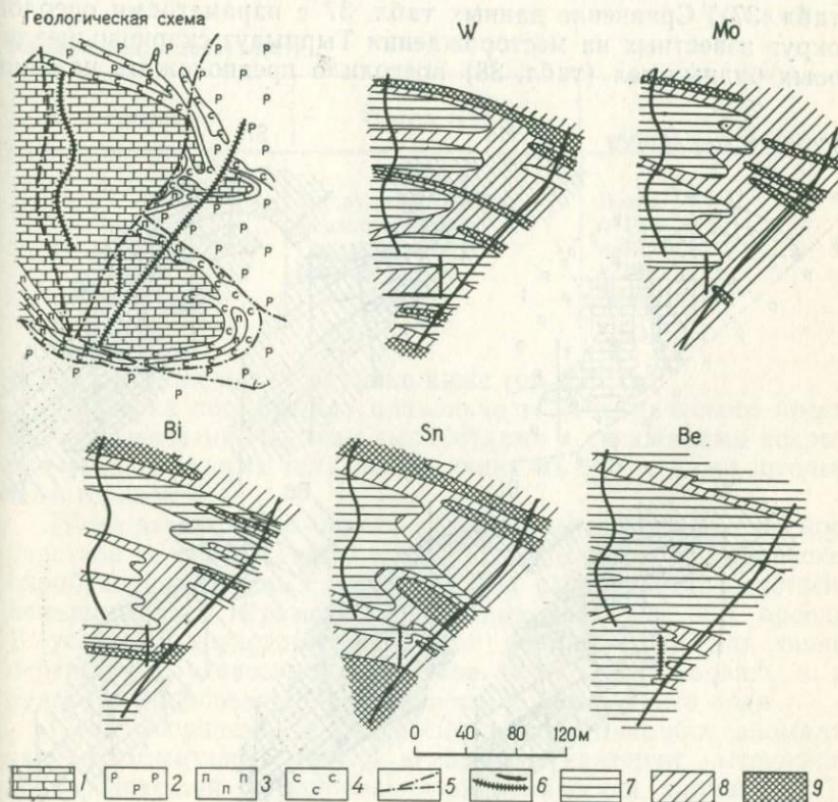


Рис. 97. Первичные ореолы по данным опробования поверхности участка Пик Веры:

1 — мраморы; 2 — роговики биотитовые и биотит-амфиболовые; 3 — роговики пироксен-плагиоклазовые; 4 — скарны; 5 — тектонические нарушения; 6 — линии опробования; 7—9 — концентрации элементов-индикаторов в ореолах (9 — максимальные)

зонте, вскрывшем участок на глубине 200 м. На этом горизонте рудные тела не обнаружены. При документации разреза, которая сопровождала геохимическое опробование, установлено, что мраморы в разной степени скарнированы, причем интенсивность скарнирования значительно возрастает с глубиной (от 10 до 60 %). Из скарновых минералов встречены гранат, пироксен (геденбергит), везувиан, эпидот. В строении скарнов выявлена вертикальная зональность: на верхних горизонтах преобладают гранатовые скарны, на нижнем — гранат-пироксеновые (известно, что шеелитовая минерализация чаще всего приурочена к пироксеновым скарнам).

Ореолы W, Mo, Sn, Bi, Be резко расширяются и усиливаются с глубиной (рис. 98). На разведочном гор. 2767 м четко выделяются две основные аномальные зоны (см. рис. 98), разделенные между собой фоновыми концентрациями. Для определения выявленных аномалий рассчитаны геохимические параметры ореолов на обоих горизонтальных сечениях участка Пик Веры (табл. 37). Сравнение данных табл. 37 с параметрами ореолов вокруг известных на месторождении Тырныауз скарново-шеелитовых рудных тел (табл. 38) позволило предположить наличие

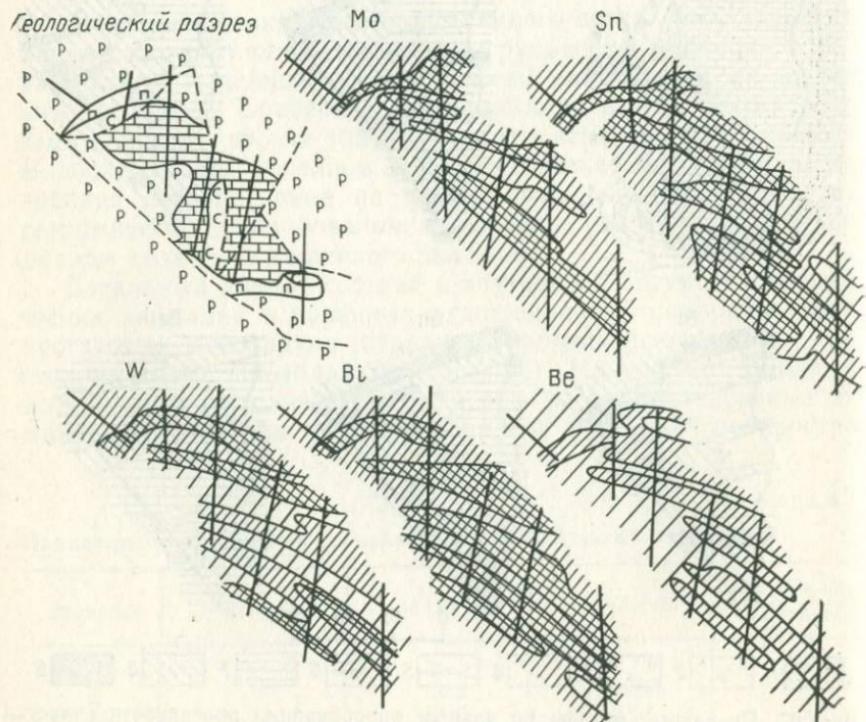


Рис. 98. Первичные ореолы на штольневом горизонте 2767 м.
Усл. обозн. см. на рис. 97,

Таблица 37

Продуктивности ореолов элементов на разных уровнях

Элемент	Уровень сечений ореолов, м	
	2940	2767
W	31,8	210,6
Mo	8,8	55,8
B	16,9	94,4
Be	2,5	36,9
Sn	280	758
Коэффициент зональности $\frac{Be \cdot Sn}{W \cdot Bi}$	1,3	1,4

Таблица 38

Коэффициенты зональности

Горизонт	Уровень сечения	$\frac{Be \cdot Sn}{W \cdot Bi}$
I	Надрудный	Более 1
II	Верхнерудный	$n \cdot 10^{-2}$
III	Среднерудный	$n \cdot 10^{-3}$
IV	Нижнерудный	$n \cdot 10^{-4}$
V	Подрудный	Менее $n \cdot 10^{-4}$

слепых рудных тел на глубине ниже гор. 2767 м.

Проверка подтвердила правильность геохимического прогноза — подземными горными выработками и скважинами вскрыты два слепых рудных тела, залегающих на 150 м ниже штольневого горизонта.

Нами рассмотрены примеры оценки перспектив рудоносности участков по результатам интерпретации данных геохимического опробования коренных пород. В этих случаях непосредственно использовались параметры первичных геохимических ореолов. В условиях неудовлетворительной обнаженности для оценки перспектив рудоносности участков можно использовать и результаты опробования гипергенного геохимического поля.

При интерпретации гипергенных геохимических аномалий, как уже отмечалось в гл. 3, используют критерии, вытекающие из особенностей формирования геохимических аномалий. При этом, чем теснее связь между гипергенными и гипогенными аномалиями, тем надежнее интерпретация гипергенных аномалий. Вот почему предпочтительнее использование параметров суммарных аномалий, отличающихся от моноэлементных более тес-

ной корреляцией первичных и вторичных (гипергенных) литохимических ореолов рассеяния элементов-индикаторов.

При поисках слепого оруденения основная задача интерпретации геохимических аномалий заключается в выделении аномалий, отвечающих надрудным ореолам данного типа оруденения. Для этой цели как уже отмечалось, применяется вертикальная зональность первичных ореолов. Отметим, что здесь более надежно применение зональности частных мультиплексивных ореолов, поскольку такая зональность по сравнению с зональностью моноэлементных ореолов существенно более контрастна и поэтому ее можно использовать даже при больших расхождениях в величинах параметров гипергенных и гипогеных аномалий. Кроме того характер корреляции парных индикаторных отношений гипергенных и гипогеных аномалий в основном определяется поведением выбранных пар в гипергенных условиях, что увеличивает вероятность погрешности при интерпретации аномалий.

Тем не менее, в особо благоприятных условиях использование парных индикаторных отношений также дает положительные результаты. В качестве примера рассмотрим результаты геохимических работ, выполненных на одном из участков уранового рудного поля.

В пределах исследованного района по результатам геологической съемки в масштабе 1:50 000, сопровождаемой геохимическим опробованием донных отложений, выявлен ряд перспективных на урановое оруденение участков. На одном из перспективных участков, сложенном экструзивными кварцевыми порфирами в результате опробования элювиально-делювиальных отложений в масштабе 1:10 000 установлены геохимические аномалии U, Pb и Mo. Интенсивное развитие элементов-спутников U—Mo и особенно Pb при подчиненном значении U [17], позволило считать выявленные аномалии надрудными ореолами уранового оруденения и рекомендовать участок для разведки с целью обнаружения предполагаемого на глубине слепого оруденения. При этом учитывалась зональность первичных ореолов уранового оруденения, которая выражается в избирательном накоплении Pb в надрудных частях ореолов.

Надрудная природа выявленных аномалий подтверждена соответствующими расчетами. Установлено, что величина коэффициента геохимической зональности Pb/U соответствует его значениям, рассчитанным по надрудным сечениям первичных ореолов известных руд. Для уточнения полученных данных в пределах выделенных аномалий в последующем были опробованы коренные породы (на обнаженных участках, а также по каналам). Сопоставление результатов опробования коренных пород и элювиально-делювиальных отложений позволило установить тесную корреляцию между первичными и вторичными ореолами, а также подтвердить оценку перспектив рудоносности аномалий, данную на основе определения уровня их эрозионного

среза путем приложения критерия зональности первичных ореолов к их гипергенным аналогам.

Опробование коренных пород дало возможность определить достоверность вторичных ореолов, локализовать аномалии и увязать их с геолого-структурными условиями участка. Следует отметить, что при детальных структурно-минералогических наблюдениях, сопровождающих геохимическое опробование коренных пород, в пределах аномалий признаков урановой минерализации установлено не было. Последующая проверка подтвердила оценку, данную по результатам геохимических работ: на глубине было обнаружено слепое промышленное оруденение.

С целью выяснения особенностей развития первичных ореолов, их увязки с геолого-структурными условиями участка и уточнения на этой основе оценки перспектив его рудоносности в пределах признанных перспективными на слепое оруденение гипергенных аномалий проводят геохимическое опробование коренных пород по единичным разрезам. Эти данные необходимы для рационального направления разведочных работ.

Сведения об особенностях распределения элементов-индикаторов в коренных породах особенно цены в следующих случаях: 1) первичные ореолы полиформационны и образовались в результате совмещения в пространстве ореолов рудных тел различных рудных формаций (в гипергенных аномалиях из-за перераспределения элементов полиформационная природа первичных ореолов не всегда может быть установлена достаточно надежно); 2) первичные ореолы развиты вокруг сближенных в пространстве рудных тел различного эрозионного среза и эта неоднородность в первичных ореолах может быть «смазана» в гипергенных аномалиях; 3) значительные по размерам вторичные ореолы рассеяния связаны с небольшими первичными ореолами, не представляющими практического интереса. Такое несоответствие размеров первичных и вторичных ореолов может привести к ошибке, если перспективность рудоносных участков оценивать только на основе анализа гипергенного поля рассеяния элементов-индикаторов.

Например, на одном из флангов уранового месторождения, залегающего в экструзивных кварцевых порфирах, проводились геохимические исследования, по результатам которых были неправильно интерпретированы гипергенные аномалии. Эти исследования осуществлялись в начальный период разработки литохимических методов поисков слепого оруденения и представляют собой первый опыт опробования данной методики. Участок работ расположен на крутом склоне ($20-25^\circ$). В результате площадного геохимического опробования (сеть 100×10 м) выявлены значительные по размерам вторичные ореолы рассеяния основных элементов-индикаторов уранового оруденения — U, Pb, Mo.

Сравнение отношений линейных продуктивностей ореолов пары Pb—U (оценка эрозионного среза ореолов данного типа

оруденения) с эталонными месторождениями позволило признать выявленные аномалии надрудными, перспективными на слепое оруденение и рекомендовать их для проверки. Опробование пройденной на глубине 100—130 м горной выработки, керна горизонтальных скважин и канав способствовало выявлению мелких разрозненных первичных ореолов уранового оруденения. При сравнении оконтуренных на поверхности первичных и вторичных ореолов установлено существенное обеднение гипергенных аномалий U, что и определило высокое Pb-U отношение. Очевидно, что изучение в пределах выявленной гипергенной аномалии особенностей распределения элементов-индикаторов в коренных породах позволило бы избежать столь оптимистичной оценки перспектив ее рудоносности.

Вероятность ошибочной оценки перспектив рудоносности гипергенных аномалий существенно возрастает на участках развития полиформационных аномалий. На одном из подобных участков также в начальный период разработки данной методики проводились геохимические исследования. В результате опробования элювиально-делювиальных отложений обнаружены широкие и весьма контрастные аномалии Pb, Ag, Zn и слабые аномалии U и Mo. Использование Pb-U отношения позволило считать выявленные аномалии надрудными ореолами уранового оруденения и рекомендовать их в качестве перспективных на слепое урановое оруденение. Затем в процессе разведки действительно обнаружили слепые рудные тела, но только не уранового, а полиметаллического состава. Последующими детальными исследованиями, в том числе и опробованием подземных выработок и коренных пород на поверхности, установлено, что на участке развиты полиформационные ореолы, образовавшиеся в результате наложения на полиметаллическое оруденение более молодой по возрасту непромышленной урановой минерализации.

Сравнение особенностей развитых на поверхности участка эндогенных (первичных) и гипергенных (вторичных) геохимических аномалий показало, что их полиформационная природа отчетливо проявляется только в эндогенных аномалиях и выражается прежде всего в разобщенности полей повышенных концентраций (эпицентров аномалий) элементов-индикаторов урановой (U, Mo) и полиметаллической (Pb, Ag, Zn) минерализации. В гипергенных аномалиях подобная дифференциация эпицентров аномалий не установлена. Причина этого, вероятно, заключается в существенном перераспределении U в гипергенных аномалиях (U весьма подвижен в гипергенных условиях). Другой элемент-индикатор урана — Mo — также оказался малоинформативен: поля его максимальных концентраций в основном совпадали с эпицентрами аномалий Pb, что как установлено минералогическим анализом проб рыхлых отложений, обусловлено развитием вульфенита (по галениту). Все это создало неправильное представление о совмещении в пространстве эпи-

центров аномалий элементов-индикаторов, что и послужило основанием положительной оценки перспектив рудоносности участка в целом.

Заканчивая описание примеров обнаружения слепых рудных тел с помощью геохимических ореолов, следует отметить, что геохимическое опробование не должно ограничиваться только выявлением перспективных на слепое оруденение аномалий: оно органично должно входить в состав работ по проверке аномалий с целью оперативной корректировки проверочных работ по результатам оперативного геохимического опробования горных выработок и керна скважин. Для иллюстрации эффективности подобной организации работ рассмотрим пример обнаружения слепых рудных тел на фланге скарново-полиметаллического месторождения Курусай (Таджикистан).

На поверхности описываемого участка наряду с первичными ореолами выходящих на поверхность рудоносных зон выявлена аномалия элементов-индикаторов данного типа оруденения. Эта аномалия развита в пределах доломитов, не несущих признаков скарнирования и рудной минерализации. В пределах аномалии установлены повышенные содержания в основном элементов-индикаторов надрудных сечений ореолов (Ba, As, Sb и Ag). Разрез через эту аномалию приведен на рис. 38. Развитие интенсивных ореолов надрудных элементов позволило признать аномалию перспективной на слепое оруденение и рекомендовать ее проверку. Для вскрытия предполагаемых слепых рудных тел из ближайшей к аномалии подземной горной выработки (глубина 100 м) пробурена скважина, которая рудных тел на этой глубине не обнаружила: вслед за этой скважиной на той же глубине пробурили еще две скважины, которые также не дали положительного результата. При геохимическом опробовании керна этих скважин выявлено резкое расширение с глубиной ореолов Pb, Zn и Ag — основных промышленно-ценных компонентов руд, что позволило сделать вывод о более глубоком залегании предполагаемого оруденения. Скважина, пробуренная в соответствии с этой рекомендацией, на глубине 200 м вскрыла два богатых слепых рудных тела (см. рис. 38).

2. Примеры отрицательной оценки

Мы рассмотрели некоторые примеры проверки горными и буровыми работами геохимических аномалий, признанных перспективными на слепое оруденение. Подобных примеров гораздо больше: были выбраны только наиболее характерные, иллюстрирующие те или иные аспекты рассматриваемой методики. В процессе геохимических работ наряду с перспективными аномалиями, естественно, обнаружены и аномалии, перспективы рудоносности которых оценивались отрицательно. Этот аспект применения разработанного автором комплекса геохимических критериев имеет большое практическое значение, поскольку по-

зволяет весьма оперативно и с небольшими затратами (по экспрессности и дешевизне геохимические методы поисков вне конкуренции) выявить и исключить из сферы дальнейших более детальных и, следовательно, более дорогих геологоразведочных работ многочисленные геохимические аномалии и рудопроявления. Таким образом можно сэкономить не только значительные денежные и материальные ресурсы, но и достигнуть природоохранного эффекта, народнохозяйственное значение которого невозможно переоценить: известно, что оценка перспектив рудносности участков с помощью горных и буровых работ наносит окружающей геологической среде значительный ущерб.

Были приведены примеры оценки перспектив глубоких горизонтов известных месторождений на слепое оруденение. Эта задача особенно актуальна для большинства месторождений цветных, редких и благородных металлов, характеризующихся эшелонированным расположением рудных тел по вертикали, когда с глубиной происходит выклинивание одних и появление других (уже слепых) рудных тел. Причем главное внимание следует уделить правильной оценке перспектив глубоких горизонтов на промышленное оруденение. В решении этой важной и весьма сложной задачи трудно переоценить значение первичных ореолов. Примеры успешного решения этой задачи, в частности, опыт геохимических работ, выполненных на месторождении Гарпенберг, уже рассмотрены нами. На этом месторождении по первичным ореолам прогнозировалось появление на глубине в несколько сотен метров слепого оруденения промышленного значения (см. рис. 87). По результатам геохимического опробования успешно фиксируются полное выклинивание с глубиной известного оруденения и отсутствие там новых слепых рудных тел. Именно такой случай установлен на урановом месторождении, где по поведению первичных ореолов было прогнозировано выклинивание ниже гор. VI Зоны меридиональной (см. рис. 84, 85).

Аналогичные работы, выполненные на ртутном месторождении Агятаг, позволили установить полное выклинивание месторождения с глубиной: по данным геохимического опробования коренных рудовмещающих пород на поверхности и в подземных горных выработках зафиксировано отчетливое выклинивание с глубиной ореолов надрудных элементов — Sb, As и Pb (рис. 18). Эти данные позволили в свое время (при детальной разведке месторождения) воздержаться от проходки четвертого штольневого горизонта подземных горных выработок. Последующая разработка месторождения подтвердила правильность геохимической оценки поведения месторождения на глубину.

Такие же результаты геохимических работ получены на месторождении Эге-Хая. Одноименное рудное поле расположено в средней части Яна-Борулахского междуречья, которое в тектоническом отношении является северным окончанием Адычанской складчато-глыбовой подзоны Яно-Индигирской зоны

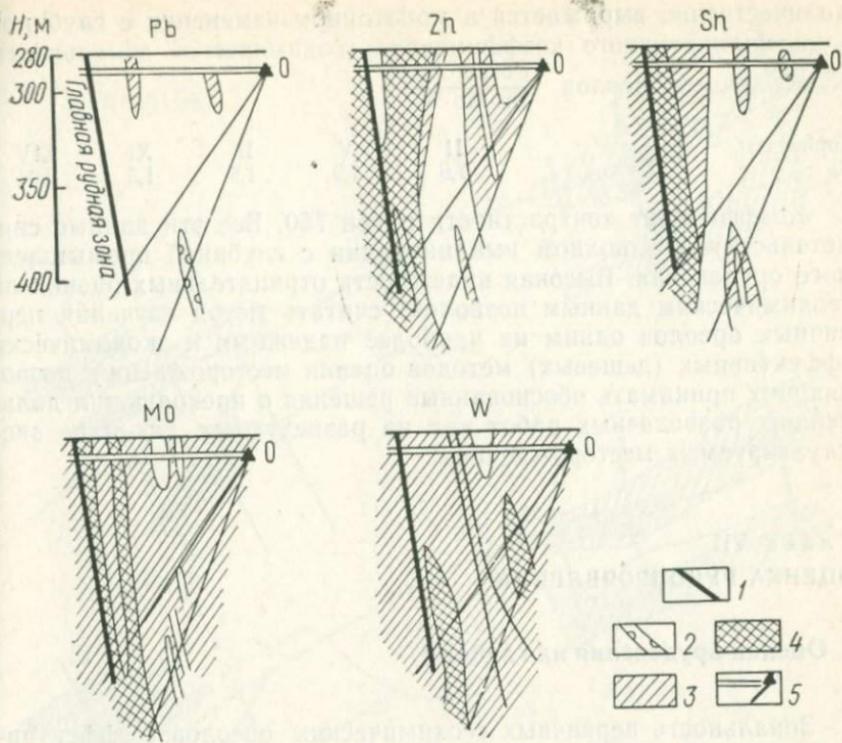


Рис. 99. Первичные ореолы элементов-индикаторов в разрезе (месторождение Эге-Хая):

1 — рудное тело; 2 — дайки долеритовых порфиритов; 3, 4 — содержания элементов (4 — максимальные); 5 — опробованные подземные горные выработки и скважины

Верхояно-Чукотской складчатой области. Участок месторождения сложен породами карнистского яруса верхнего триаса, представленными сланцами с редкими прослойками и линзами тонкозернистых песчаников.

Основное рудное тело месторождения — зона Главная, примыкающая с северо-восточной части к дорудному разлому — главному структурному элементу месторождения. Рудное тело представлено брекчияй, состоящей из обломков сланцев и диоритовых порфиритов, цементированных кварцем, хлоритом, сульфидами и карбонатами. Рудные минералы представлены кассiterитом, пирротином, пиритом, самородным серебром и висмутом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, висмутином.

На рис. 99 в разрезе изображены первичные ореолы основных элементов-индикаторов месторождения. Обращает на себя внимание отчетливая тенденция выклинивания с глубиной ореолов Pb и Zn — типичных надрудных элементов оловянного оруднения (см. гл. I, табл. 7). Одновременно с глубиной усиливаются ореолы подрудных элементов — Mo и W. Эта зональность

количественно выражается в монотонном изменении с глубиной мультиликативного коэффициента геохимической зональности К_з первичных ореолов $\frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag}}{\text{Sn} \cdot \text{Mo} \cdot \text{W}}$

Горизонты	II	V	IX	XI	XIV
K _з	7,6	1,9	1,5	1,5	0,01

Коэффициент контрастности равен 750. Все эти данные свидетельствуют о полном выклинивании с глубиной промышленного оруденения. Высокая надежность отрицательных оценок по геохимическим данным позволяет считать метод изучения первичных ореолов одним из наиболее надежных и экономически эффективных (дешевых) методов оценки месторождений, позволяющих принимать обоснованные решения о прекращении дальнейших разведочных работ как на разведуемых, так и на эксплуатируемых месторождениях.

Глава VII ОЦЕНКА РУДОПРОЯВЛЕНИЙ

1. Оценка оруденения на глубину

Зональность первичных геохимических ореолов — эффективный критерий оценки уровня эрозионного среза рудопроявлений, позволяющий исключить из сферы последующих разведочных работ малоперспективные (глубокоэродированные) рудопроявления. Рассмотрим результаты геохимических работ, выполненных на полиметаллических рудопроявлениях Камазак-Булак и Мараз-Булак.

Медно-висмутовые рудопроявления расположены в Центральном Карамазаре и приурочены к одноименному разлому и определяющим его разрывным нарушениям. Рудовмещающие породы на участке представлены верхнепалеозойскими эфузивами. Камазак-Мараз-Булакский разлом — главная рудовмещающая структура. Разлом прослеживается в северо-восточном направлении на протяжении 5,5 км, пересекает площади рудопроявлений Камазак-Булак, Мараз-Булак и на восточном фланге ограничивается Железным разломом. На поверхности участков установлены выходы рудных тел с промышленными содержаниями полезных компонентов.

Для оценки перспектив рудоносности глубоких горизонтов этих рудопроявлений проводилось геохимическое опробование коренных пород по профилям, направленным вкрест простирания зоны основного разлома (рис. 100). В результате был выявлен ряд аномалий комплекса элементов, параметры которых приведены в табл. 39 (за исключением Ba, ореолы которого практи-

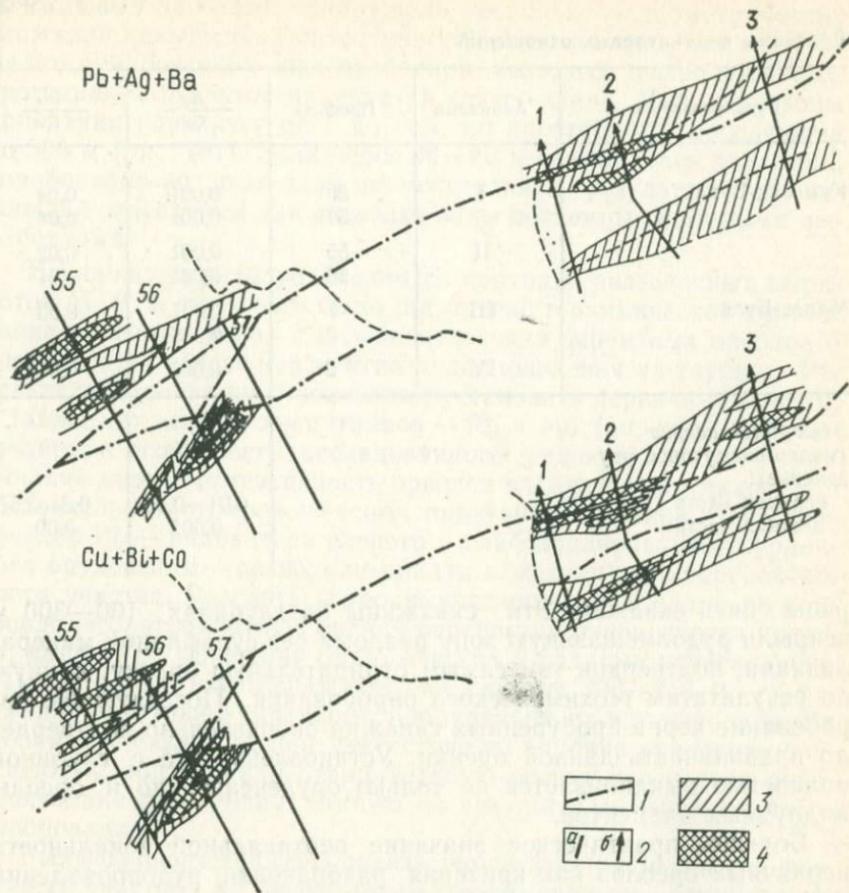


Рис. 100. Аддитивные аномалии на поверхности (участки Камазак-Булак, Мараз-Булак):

1 — разрывные нарушения; 2 — профили опробования (а — Камазак-Булак; б — Мараз-Булак); 3, 4 — аддитивные аномалии (4 — поля высокой интенсивности)

чески отсутствуют). Сравнение параметров выявленных аномалий с данными изучения ореолов вокруг известных (базовых) месторождений показало, что по всем профилям отношения линейных продуктивностей ореолов основных элементов-индикаторов оруденения по величине соответствуют отношениям в коренных частях данного типа оруденения. На основании этих материалов дана рекомендация о прекращении на этих участках разведочных работ, предусмотренных в больших объемах (18 скважин со средней глубиной 300 м). Поскольку рудопроявления отличались благоприятной геолого-структурной обстановкой и, кроме того, на поверхности установлены промышленные содержания полезных компонентов, разведочной партией были пробу-

Величины индикаторных отношений

Рудопроявление	Аномалия	Профиль	$\frac{Ag}{Cu}$	$\frac{Pb}{Cu}$	
Камазак-Булак	I	56	0,001	0,04	
		57	0,001	0,04	
	II	55	0,001	0,02	
		56	0,001	0,01	
Мараз-Булак	III	1	0,001	0,03	
		2	0,003	0,1	
	IV	2	0,002	0,016	
<i>Эталонный разрез</i> (медио-висмутовое оруденение):					
верхняя часть			0,01—0,04	0,3—2,5	
нижняя часть			0,002	0,09	

рены пять скважин. Эти скважины на глубинах 100—300 м вскрыли рудовмещающую зону разлома без сульфидной минерализации, подтвердив тем самым отрицательную оценку, данную по результатам геохимического опробования. Последующее опробование керна пробуренных скважин окончательно подтвердило правильность данной оценки. Установлено, что с глубиной полностью выклинивается не только оруденение, но и ореолы надрудных элементов.

Большое практическое значение вертикальной зональности первичных ореолов как критерия разбраковки рудопроявлений станет очевидным, если учесть, что значительная часть рудопроявлений представляет собой корневые части вскрытых эрозией месторождений и их надежная разбраковка является обязательным условием повышения эффективности геологоразведочных работ. Очевидно, что критерий оценки уровня эрозионного среза рудопроявлений на основе вертикальной зональности первичных ореолов должен найти широкое практическое применение. Подобная рекомендация подкреплена результатами его производственной апробации, выполненной под руководством автора. С помощью критерия вертикальной зональности первичных ореолов перспективы многих участков на глубину были оценены отрицательно. Из них на 37 участках, несмотря на отрицательную оценку, была проведена проверка (в основном бурением), так как на поверхности были известны промышленные руды: во всех случаях вывод о глубоком эрозионном срезе был полностью подтвержден. Одним из таких примеров может служить урановое рудопроявление Джиллан (Узбекистан), расположенное в северной части массива гранит-порфиров. На этом участке

поисковыми работами обнаружено несколько радиометрических аномалий повышенной интенсивности. Установлено, что эти аномалии приурочены к зоне дробления, имеющей северо-восточное простиранье и крутое падение на северо-запад. Мощность зоны дробления варьирует от 1 до 8 м, по простиранью прослежена до 500 м (рис. 101). Зона через 30—40 м вскрывалась канавами, опробование которых дало положительные результаты, послужившие основанием для разведки зоны подземными горными выработками.

На площади рудопроявления до проходки разведочных выработок М. В. Кутенковым было выполнено геохимическое опробование коренных пород с целью выявления первичных ореолов и оценки на их основе перспектив рудопроявления на глубину. Результаты анализа проб позволили установить первичные ореолы, а также его элементов-спутников — Pb и Mo (см. рис. 101). Характерная особенность исследованного рудопроявления — чрезвычайно низкая интенсивность ореолов элементов-спутников. Это обстоятельство и, прежде всего, практически полное отсутствие ореолов Pb — индикатора слепого и слабоэродированного уранового оруденения — позволило прийти к выводу о бесперспективности участка. Результаты геохимического опробования не подтвердили благоприятную оценку перспектив рудоносности участка, данную на основании геологических и радиометрических данных. Штольня, вскрывшая зону на глубине 200—250 м от поверхности, а также скважины, пробуренные из штольни вниз и в стороны, показали полное отсутствие на глубине уранового оруденения и подтвердили отрицательную оценку перспектив рудопроявления на глубину, данную по результатам геохимического опробования.

Были описаны примеры оценки перспектив рудоносности различных участков по результатам геохимического опробования коренных рудовмещающих пород. В условиях недостаточной для представительного изучения первичных ореолов обнаженности участков, при оценке перспектив рудоносности рудопроявлений на глубину могут быть использованы результаты опробования рыхлых отложений. При этом, естественно, учитываются конкретные ландшафтно-геохимические условия исследуемых площадей, в первую очередь степень соответствия первичных и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов.

Опыт показывает, что гипергенные аномалии, фиксирующие рудопроявления (в условиях полузакрытых районов), с помощью критерия зональности базового месторождения могут быть достаточно надежно разбиты на три группы.

1. Слабоэродированные — по уровню соответствуют верхнерудным сечениям оруденения. Эти аномалии перспективны на глубину и должны быть вскрыты канавами в эпицентрах для обнаружения выходящего на поверхность оруденения. Коренные породы на всю длину пройденных канав подвергаются опробованию как для определения состава руд (концентрации полезных

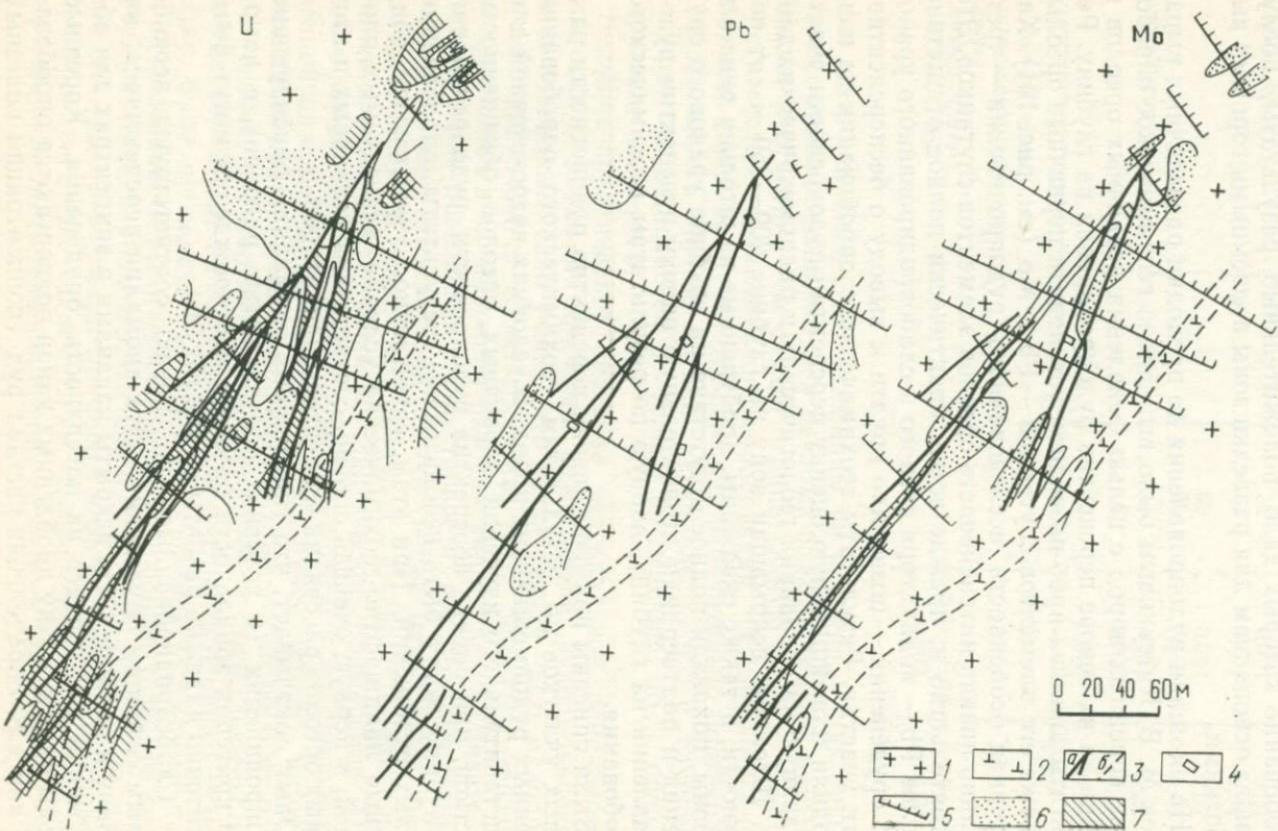


Рис. 101. Геохимические аномалии в коренных породах (поверхность участка):

1 — гранит-порфиры; 2 — диабазовые порфириды; 3 — разрывные нарушения: а — прослеженные, б — предполагаемые; 4 — шурфы; 5 — профили с интервалами опробования; 6, 7 — содержания элементов (7 — максимальные)

компонентов и т. д.), так и для уточнения уровня эрозионного среза первичных ореолов. Глубину распространения оруденения можно принять равной средней глубине вертикальной протяженности данного типа оруденения.

2. Среднеэродированные — по уровню отвечают средним частям данного типа оруденения. При оценке перспектив рудоносности подобных аномалий решающее значение приобретают параметры вскрытого эрозией оруденения (масштаб, содержания полезных компонентов), которые могут быть установлены как непосредственно по параметрам аномалии, так и по результатам ее вскрытия канавами. По результатам опробования коренных пород необходимо также уточнить оценку уровня эрозионного среза коренного оруденения. Для подобных аномалий при подсчете прогнозных запасов глубина распространения, естественно, должна быть равна половине средней вертикальной протяженности оруденения данного типа с учетом того обстоятельства, что на поверхность выведены средние части оруденения, характеризующиеся обычно максимальными значениями параметров.

3. Глубокоэродированные по уровню соответствуют корневым частям оруденения. Подобные аномалии исключаются из сферы последующих работ как бесперспективные. В сомнительных случаях (сложная морфология аномалий) целесообразны вскрытие и опробование коренных пород единичными выработками для более надежной оценки перспектив рудоносности исследованных участков.

В качестве примера рассмотрим результаты интерпретации гипергенных геохимических аномалий U и его спутников, выявленных на одном из ближайших флангов уранового месторождения, залегающего в экструзивных кварцевых порфирах.

Участок разбит многочисленными дизъюнктивными нарушениями, среди которых выделяют крупные трещины северо-восточного и оперяющие их более мелкие трещины субмеридионального простирания. Известные на поверхности выходы рудных тел тяготеют к местам сочленения дизъюнктивных нарушений разного направления. На участке с целью оценки перспектив его рудоносности Н. Н. Сочевановым было выполнено опробование элювиально-делювиальных отложений. Были выявлены весьма интенсивные и широкие ореолы U и небольшие по размерам ореолы Pb — основного индикатора верхнерудных сечений ореолов уранового оруденения данного типа (рис. 102, аномалия 1). Сравнение величин отношения продуктивностей ореолов парами Pb—U с эталонными разрезами через известные рудные тела данного месторождения показало, что по уровню эрозионного среза выявленная аномалия отвечает корневым частям уранового оруденения. Эти данные были полностью подтверждены результатами выполненного автором опробования коренных пород, что позволило отрицательно оценить перспективы рудопроявления на глубину. Несмотря на это, рудопроявление в последую-

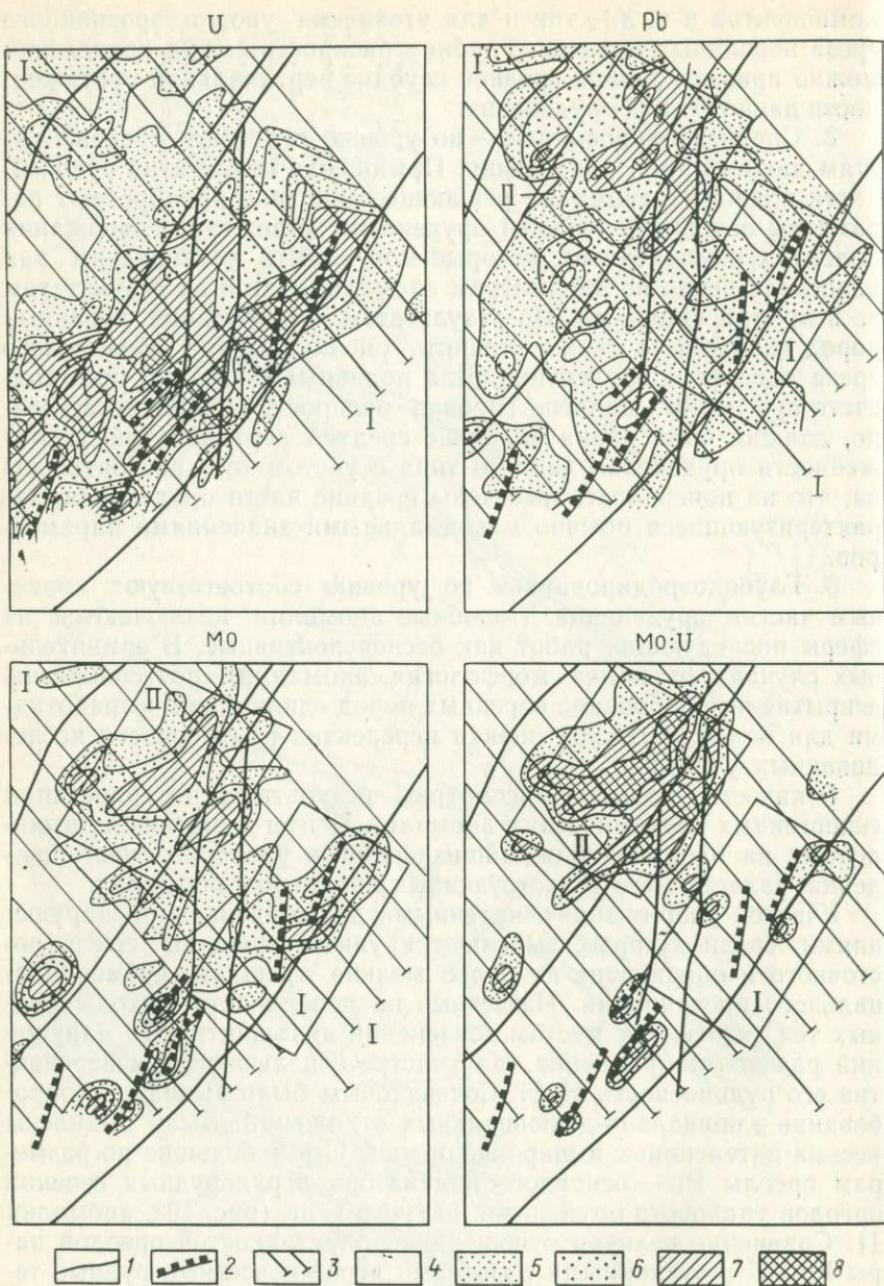


Рис. 102. Вторичные ореолы рассеяния химических элементов на поверхности (по Н. Н. Сочеванову):

1 — дизъюнктивные нарушения; 2 — зоны минерализации; 3 — профили опробования; 4 — поля фоновых содержаний элементов; 5—8 — ореолы (по возрастающей интенсивности)

щем было разведано. Пройденные горные выработки зафиксировали полное выклинивание оруденения с глубиной, подтвердив тем самым оценку, данную по результатам геохимического опробования (см. рис. 102, рис. 103, аномалия 1).

Уже было отмечено, что в некоторых случаях при интерпретации геохимических аномалий использовались параметры моногалогенных, а не суммарных ореолов, хотя применение последних более надежно. Дело в том, что эти исследования проводились, когда методика построения частных суммарных ореолов еще не была разработана. Указанное обстоятельство, однако, не меняет существа предложенных методических рекомендаций.

Раздельное рассмотрение примеров оценки рудопоявления и поисков слепого оруденения обусловлено только определенными различиями в методике интерпретации геохимических данных. На практике же весьма часто в процессе геохимического опробования выявляют как рудопоявления, так и надрудные геохимические аномалии, фиксирующие слепые рудные тела. Именно таким является уже рассмотренный пример геохимического опробования на фланге известного уранового месторождения. Рядом с известным рудопоявлением (см. рис. 102, аномалия 1), признанным глубокоэродированным, установлена другая аномалия (см. рис. 102, аномалия 2), которая по результатам опробования элювиально-делювиальных отложений и коренных пород признана перспективной на слепое оруденение. Проверка этого заключения горными выработками привела к обнаружению на глубине слепых рудных залежей промышленного значения (см. рис. 103, аномалия 2).

При рассмотрении вопросов интерпретации гипергенных аномалий основное внимание уделялось оценке уровня эрозионного среза гипергенных аномалий с помощью критерия зональности первичных ореолов. Это не случайно, поскольку успешное решение задачи — важнейший и в большинстве случаев решающий компонент оценки перспектив рудоносности обнаруженных аномалий. Наряду с этим, как показывает опыт, исходя из особенностей распределения элементов-индикаторов в их гипергенных аномалиях, может быть решен и ряд других задач, в частности определение вероятных условий залегания прогнозируемого оруденения. Для иллюстрации этого положения рассмотрим медно-висмутовое месторождение Каптархона (см. рис. 27). Известно, что используя асимметрию в строении продольной зональности первичных ореолов, можно определить склонение оруденения. Западное склонение медно-висмутового оруденения четко фиксируется первичными и вторичными ореолами элементов-индикаторов данного типа оруденения.

Рассмотрим еще один пример определения склонения рудоносной зоны по результатам геохимических исследований, выполненных В. И. Морозовым и автором на месторождении Арманиц (Армения). На одном из участков этого рудопоявле-

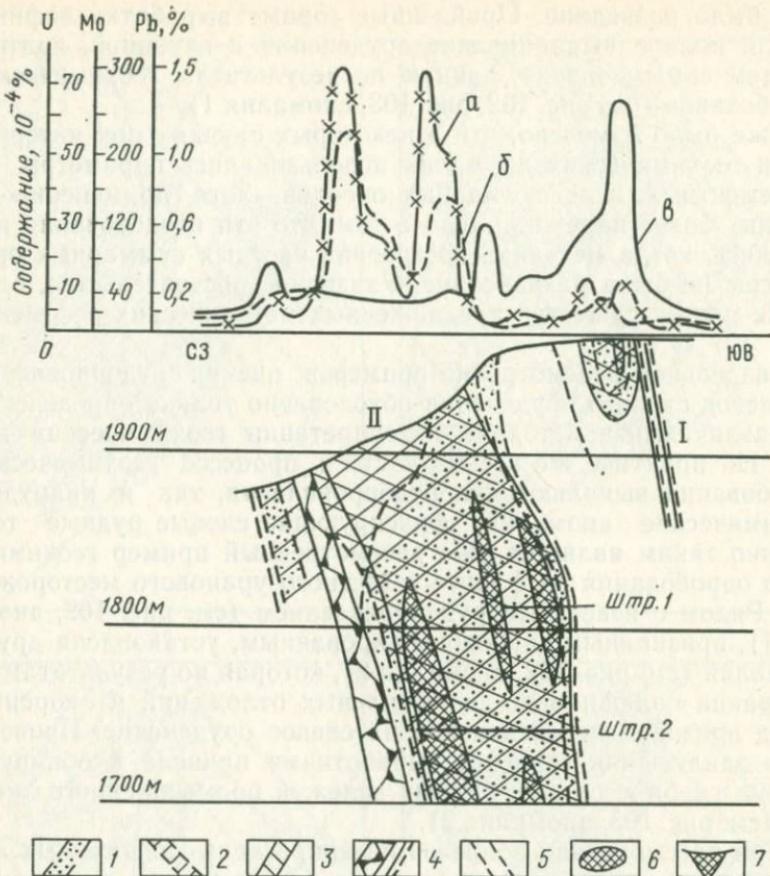


Рис. 103. Разрез ореолов по линии I—I; I, II — участки аномалий (см. рис. 102):

графики распределения элементов на поверхности: *a* — U; *b* — Pb; *c* — Mo; первичные ореолы: 1 — U; 2 — Pb; 3 — Mo; 4 — дисъюнктивные нарушения; 5 — рудные тела, вскрытые горными выработками; 6 — рудные тела; 7 — рудные тела, вскрытые эрозией

ления в результате геохимического опробования элювиально-делиювиальных отложений выявлены резко вытянутые по зоне дисъюнктивного нарушения аномалии элементов-индикаторов золото-сульфидного оруденения. Оценка уровня эрозионного среза этих аномалий (с помощью критерия зональности первичных ореолов, изученных вокруг известных рудных тел) позволила признать их надрудными и считать участки перспективными на слепое оруденение. Наряду с этим была установлена асимметрия продольной зональности, обусловленная отчетливым сдвигом полей повышенных значений мультиплекативного показателя на север, что свидетельствовало о вероятном склонении рудоносной зоны в этом направлении. Последующее опробование коренных пород на поверхности, а также керна пройденных на участке единичных скважин, подтвердило этот вывод.

Следует, однако, отметить, что даже в условиях, самых благоприятных для корреляции первичных и вторичных ореолов, разведке признанных перспективными гипергенными геохимических аномалий должно предшествовать вскрытие и опробование коренных пород по ряду профилей с целью уточнения результатов интерпретации гипергенных аномалий, а также увязки выявленных аномалий с геолого-структурной позицией конкретного участка. Очевидно, что результаты изучения вторичных ореолов существенно помогут рациональному размещению профилей опробования коренных пород, что особенно важно при вскрытии коренных пород канавами.

2. Оценка зон рассеянной рудной минерализации

Проблема распознавания зон рассеянной минерализации (ЗРМ) с целью исключения их из сферы последующих более детальных работ особенно актуальна для рудничной геохимии, поскольку ЗРМ широко распространены в пределах рудных полей и обычно служат помехой для выявления действительно перспективных (особенно на слепое оруденение) геохимических аномалий.

Учитывая актуальность проблемы разбраковки ЗРМ и необходимость широкого внедрения критериев разбраковки ЗРМ в практику рудничной геохимии, рассмотрим некоторые примеры разбраковки ЗРМ с помощью геохимических критериев.

Рудопроявление Акпет расположено на северо-восточном фланге полиметаллического месторождения Тарыэкан (Таджикистан). Участок сложен фельзит-порфирами, туфобрекциями и сферолит-порфирами ояской свиты.

Для оценки перспектив рудоносности глубоких горизонтов проводилось геохимическое опробование, которое позволило выявить аномалии элементов-индикаторов данного типа оруденения, прослеживающиеся вдоль зоны Акпетского разлома (рис. 104). В табл. 40 приведены параметры аномалий, выявленных на этом участке, а также на рудопроявлении Кызылташ (для сравнения), представленном ЗРМ. Как видно из табл. 40, рассматриваемая аномалия по геохимическим параметрам — аналог ЗРМ. На это указывает близость значений параметров геохимических аномалий исследованного участка и рудопроявления Кызылташ, представленного ЗРМ. На основании этих данных перспективы рудопроявления были оценены отрицательно и рекомендовано не проводить предусмотренные ранее разведочные работы. В последующем на участке были пробурены три скважины в местах наиболее интенсивного проявления рудной минерализации. Все они на различных глубинах вскрыли зону без оруденения, подтвердив оценку, данную при интерпретации результатов геохимического опробования.

Участок Южный Тарыэкан находится в 1—1,5 км к югу от месторождения Тарыэкан. На участке широко развиты

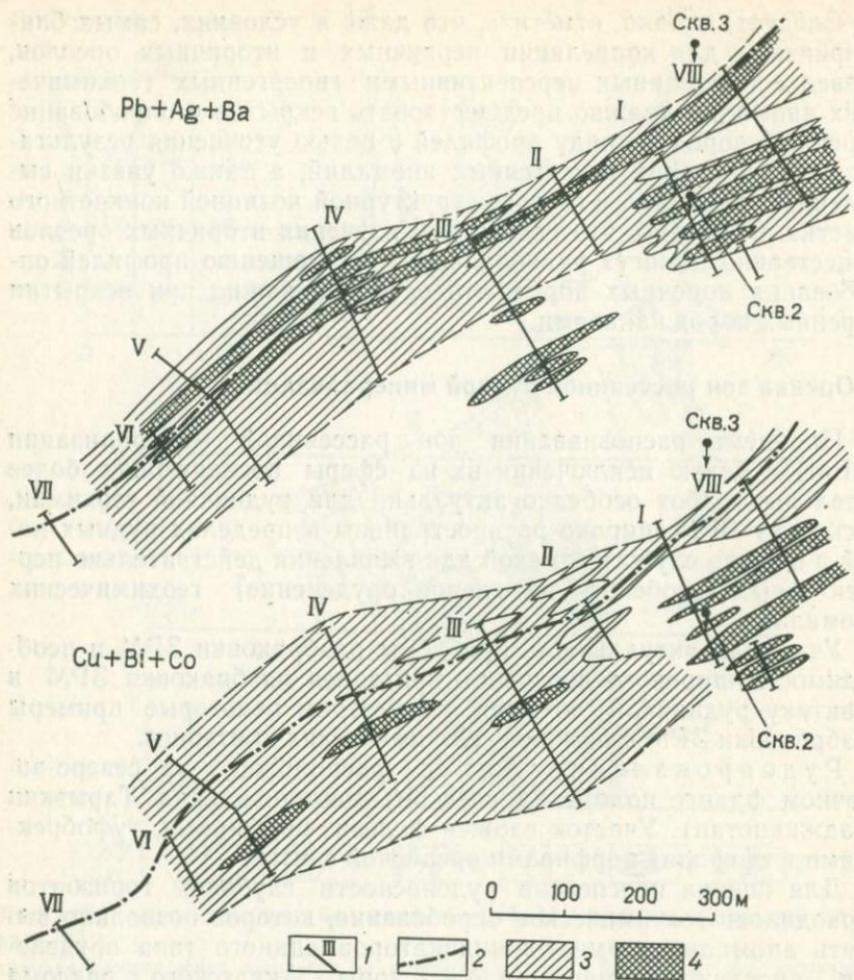


Рис. 104. Аддитивные аномалии на поверхности участка Акпет:
1 — профили опробования; 2 — разрывные нарушения; 3, 4 — аддитивные аномалии (4 — поля высокой интенсивности)

туфы и туфолавы фельзит-порфиров оясайской свиты, прорванные дайками диабазовых порфиритов. Основная рудоносная зона участка Южная тектоническая зона северо-восточного простирания общей протяженностью около 1,5 км. Она представлена окварцованными, хлоритизированными и серицитизированными породами, пронизанными кварцевыми прожилками с вкрапленностью халькопирита, пирита, висмутина и гематита. Местами установлены также повышенные содержания Pb и Ag.

Для оценки перспектив рудоносности данного участка проводилось геохимическое опробование коренных пород. В результате были выявлены аномалии типоморфных элементов-индикаторов. По величинам индикаторного отношения уровень эрозион-

Таблица 46

Параметры геохимических аномалий

Участок	Профиль	Среднее аномальное содержание элементов, г/т		Отношение линейных продуктивностей $\frac{Pb+Zn+Ag}{Cu+Bi+Co}$
		Pb+Ag+Ba	Cu+Bi+Co	
Акпет Южный Тарыэкан	I	31,5	14	0,4
	II	14	19	0,26
	III	28	24	0,67
	IV	17	44	0,61
	Скв. 9	33	22	1,3
	II-II	6,1	12,4	1,14
Сары-Курган	II-II	12	7	2,7
	—	27	15	1,1
Кызылташ (эталонный разрез)	—	—	—	—

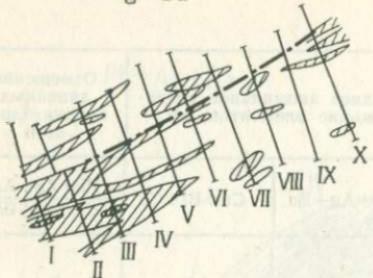
Примечание. Все аномалии представлены ЗРМ.

ногого среза выявленных аномалий отвечал средним частям промышленного оруденения. Однако отсутствие на участке выходов промышленных руд и низкие значения средних аномальных содержаний элементов-индикаторов (см. табл. 40) указывали, что выявленные аномалии вероятнее всего представлены ЗРМ и малоперспективны на глубину. Учитывая эти данные, на участке была пробурена только одна скважина, которая на глубине 370 м вскрыла зону Южную без оруденения, подтвердив правильность интерпретации результатов геохимического опробования.

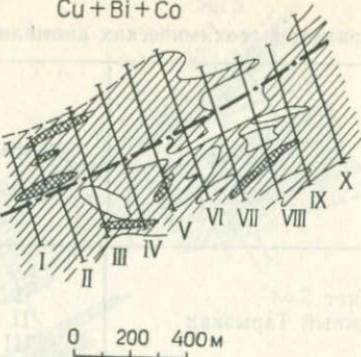
Участок Сары-Курган расположен в Центральном Карамазаре и сложен кварцевыми порфирами, фельзит-порфиратами и туфами оясайской свиты. На участке развиты сближенные разрывные нарушения, образующие мощные зоны гидротермального изменения пород, выразившегося в их интенсивной хлоритизации, серicitизации и окварцевании. Рудная минерализация на участке представлена гематитом, пиритом, реже халькопиритом и висмутином. Из минералов зоны окисления установлены гидрогетит, лимонит, малахит, азурит и базовисмутит.

На рис. 105 показаны частные аддитивные аномалии над- и подрудных элементов. Расчеты показали, что все выявленные аномалии отличаются невысокими значениями аддитивного коэффициента зональности, которые по величине соответствуют уровню средних частей промышленного оруденения. Низкие значения индикаторного отношения отчетливо фиксируются на карте изменениями величин аддитивного показателя. Отсутствие в пределах исследованного участка выходов промышленного оруденения

Pb + Ag + Ba



Cu + Bi + Co



Pb + Ag + Ba
Cu + Bi + Co

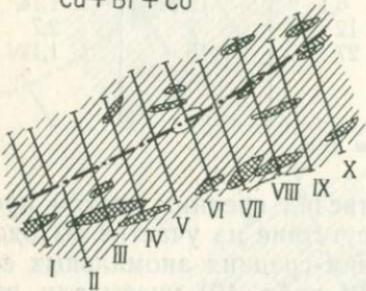


Рис. 105. Аддитивные аномалии на поверхности участка Сары-Курган.
Усл. обозн. см. на рис. 104

денения, а также низкие значения средних аномальных содержаний элементов-индикаторов (см. табл. 40) позволили считать, что выявленные аномалии представляют собой ЗРМ.

В последующем геохимическое опробование было проведено на площади, расположенной к юго-востоку от участка Сары-Курган, где единичные скважины вскрыли слепые рудные тела полиметаллического состава. Цель опробования оценка рудоносности участка, заключенного между вскрытым скважинами оруденением и участком Сары-Курган. Здесь были выявлены широкие и протяженные надрудные ореолы полиметаллического оруденения, о чем свидетельствовали, в частности, повышенные значения аддитивного показателя. Эти данные позволили считать исследованный участок перспективным на слепое полиметаллическое оруденение и рекомендовать продолжение буровых работ в северо-западном направлении до границы участка Сары-Курган.

Последующее бурение подтвердило правильность геохимических прогнозов: в пределах участка вскрыта группа сближенных в пространстве слепых рудных тел. При этом северо-западным окончанием бурового профиля был охвачен и участок Сары-Курган, где пробурили две скважины вопреки отрицательной рекомендации, данной по результатам геохимического опробования. Обоснованием для бурения скважин послужили благоприятные

для локализации оруденения геолого-структурные условия участка (по аналогии с известными в рудном поле месторождениями). В пределах участка Сары-Курган, признанного ЗРМ, рудных тел не обнаружено. Геохимическое опробование керна показало, что выявленные на участке геохимические аномалии действительно представляют собой ЗРМ, о чем свидетельствовало отсутствие отчетливой вертикальной и контрастной продольной зональности в строении аномалий, выявленных по величине аддитивного показателя.

Мы рассмотрели примеры разбраковки по описанной методике ЗРМ, проверенные последующим бурением. Малочисленность подобных примеров объясняется не только тем, что геохимические критерии разбраковки ЗРМ выявлены недавно и еще не получили должного распространения, но и тем, что многие ЗРМ с помощью этих критериев были признаны глубокоэродированными рудопроявлениями и исключены из последующих детальных работ, поскольку отличались низкими значениями коэффициента геохимической зональности. Очевидно, что по мере внедрения в практику геохимических поисков рассмотренной методики разбраковки ЗРМ будут получены более представительные данные для оценки ее эффективности, которые в свою очередь послужат основой для дальнейшего совершенствования методики.

Данная работа посвящена геохимическим методам и поэтому при рассмотрении вопросов оценки перспектив рудоносности исследованных участков основное внимание уделяется геохимическим критериям, что не означает принижения значения и роли других критериев (геологических, геофизических и т. д.). Вряд ли следует доказывать, что при оценке перспектив рудоносности любых участков в комплексе с геохимическими следует использовать другие признаки, в первую очередь геолого-структурные.

Известны случаи, когда увлечение одними лишь геохимическими методами (особенно после ряда удачных рекомендаций) приводило к ошибкам при оценке перспектив рудоносности выявленных при поисках геохимических аномалий. Показательны в этом отношении результаты работ, выполненных А. В. Жуковой и автором на одном из участков Акташского рудного поля (Рудный Карамазар, Средняя Азия). В результате геохимического опробования коренных пород на участке обнаружены небольшие по размерам аномалии элементов-индикаторов, типоморфных для района скарново-полиметаллического оруденения, приуроченные к скарнированным известнякам. Оценка уровня эрозионного среза аномалий с помощью критерия зональности первичных ореолов данного типа оруденения позволила установить, что эти аномалии представляют собой надрудные ореолы скарново-полиметаллического оруденения, перспективные на слое оруденение.

Для проверки рекомендаций на участке пробурили одну скважину, которая на глубине рудных тел не вскрыла. Отсутствие оруденения объясняется тем, что благоприятные для лока-

лизации оруденения скарнированные известняки с глубиной выклиниваются. Опробование керна скважины на глубине позволило выявить отчетливые подрудные ореолы, из чего было сделано заключение, что предполагаемое слепое оруденение, возможно, заключено в блоке между поверхностью и стволом скважины, но из-за небольших размеров вряд ли может представлять практический интерес. В последующем установили, что учет геолого-структурной позиции участка позволил бы избежать положительной оценки перспектив его рудоносности: детальными геолого-структурными наблюдениями установлено выклинивание с глубиной блока вмещающих оруденение скарнированных известняков, на что, в частности, указывало противоположное падение контактов известняков с гранодиоритами.

Глава VIII

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КАРТЫ РУДНЫХ ПОЛЕЙ

Результаты геохимического опробования базового месторождения и прилегающих к нему площадей удобнее всего выносить на геологическую карту рудного поля. Опыт показывает, что многое эффективнее использовать особенности геохимических ореолов базового (эталонного) месторождения для оценки не одной отдельно взятой аномалии, а их группы. Известно, что надежность, а следовательно и эффективность практического применения геохимических критериев в значительной степени определяется числом подлежащих интерпретации аномалий: чем больше аномалий, тем выше надежность, поскольку оценка перспектив рудоносности аномалий не абсолютная, а относительная, так как из группы аномалий с помощью критерия зональности и путем сравнения с базовым месторождением выбирается наиболее перспективная, заслуживающая первоочередной проверки. В данном случае положительная оценка, будучи относительной, не может гарантировать наличия промышленного оруденения. Она только гарантирует большую перспективность данной аномалии (или аномалий) по сравнению с остальными. Это означает, что отрицательные результаты проверки наиболее перспективной аномалии (или аномалий, если их несколько равноценных) могут служить основанием для отнесения остальных аномалий (признанных менее перспективными) к бесперспективным и исключения их из сферы дальнейших проверочных работ. Естественно, что при этом наличие базового месторождения существенно повышает надежность оценки благодаря возможности сравнения подлежащей оценке аномалии с геохимическим эталоном — базовым месторождением. Для интерпретации выявленных аномалий на основе сравнения их между собой и с базовым месторождением и составляется геохимическая карта рудного поля (точнее карта геохимических аномалий рудного поля). Как показывает опыт, для месторождений цветных,

благородных и редких металлов оптимальными масштабами геохимических карт рудных полей являются 1 : 50 000—1 : 25 000.

В качестве примера рассмотрим геохимические карты рудных полей, расположенных в открытом и полузакрытом районах.

1. Открытые районы

К открытым относятся районы, в которых степень обнаженности коренныхрудовмещающих пород достаточна для обнаружения и оконтуривания в заданном масштабе геохимических аномалий, развитых в коренных породах. Рассмотрим карту геохимических аномалий масштаба 1 : 50 000, составленную Р. Г. Оганесяном и автором по результатам опробования коренныхрудовмещающих пород Канимансурского рудного поля в Центральном Карамазаре (Таджикистан). Основная структурная единица описываемого района — Тавакская синклиналь, сложенная верхнепалеозойскими эфузивно-осадочными образованиями, объединенными в шурабсайскую, равашскую и кызылнуринскую свиты (снизу вверх). Ядро синклиналии выполнено породами кызылнуринской свиты (риолиты, туфы, туфоловы, с горизонтами туфопесчаников, туфоконгломератов и песчаников), которые сменяются на крыльях породами шурабсайской (переслаивающиеся флюидальные фельзит-порфиры, сферолит-порфиры, туфоконгломераты и туфопесчаники с андезитовыми порфиритами) и равашской (сферолит-порфиры с прослоями туфов, лавобрекции кварцевых порфиров, тонкослоистые туфоловы, туфы и туффиты) свит. Породы равашской свиты залегают на шурабсайских отложениях с незначительным угловым несогласием.

Тавакская синклиналь, ось которой прослеживается в восточно-северо-восточном направлении, осложнена структурами более высокого порядка — брахисинклиналями и брахиантектиналями, к которым приурочены полиметаллические месторождения Тарыэкан, Замбарак и др.

Район характеризуется интенсивным развитием дизъюнктивной тектоники. Наиболее крупные нарушения — Канимансур-Алмадонский и Тарыэканский разломы (рис. 106). Размещение оруденения определяется оперяющими эти разломы разрывными нарушениями близширотного и северо-восточного направлений, а также узлами сопряжения нарушений. Рудные залежи представлены линзами, жилами и столбообразными телами полиметаллического состава.

Геохимическое опробование, результаты которого использовались для составления карты, проводилось по маршрутам, направленным вкрест простирания основных рудовмещающих и рудоконтролирующих структур района. В соответствии с масштабом геологической съемки (1 : 50 000) расстояние между маршрутами принималось равным 0,5 км. По маршрутам, используя готовую геологическую основу, проводились наблюдения

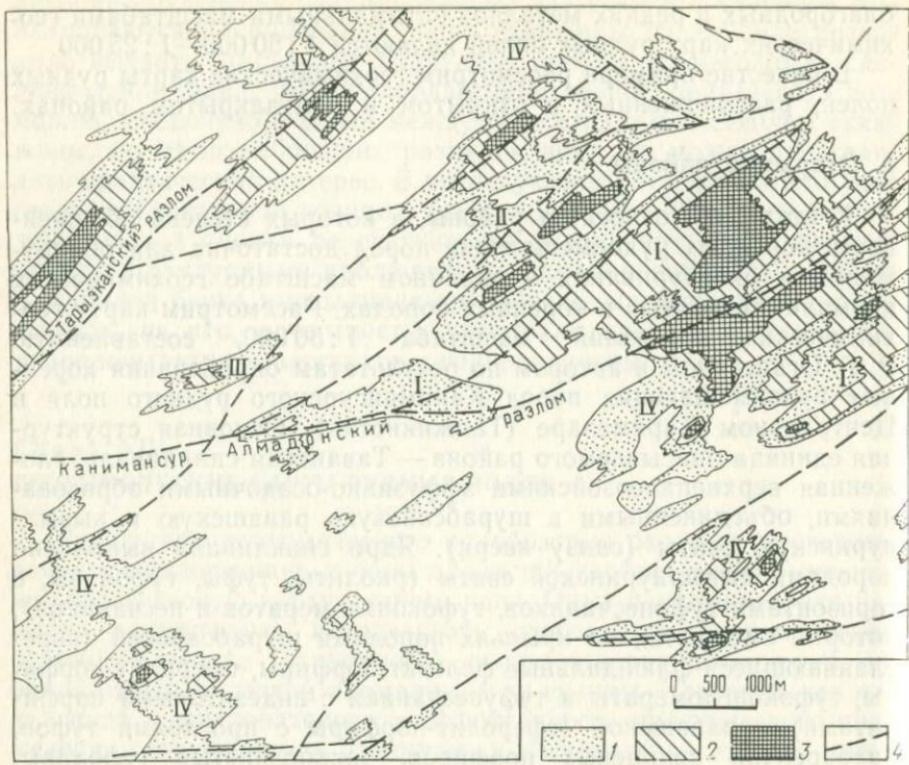


Рис. 106. Карта геохимических аномалий в коренных породах:
аномалии: I — известных месторождений; II — перспективные на свинцово-серебряное
оруденение; III — перспективные на медно-висмутовое оруденение; IV — фиксирующие
корневые части оруденения и зоны рассеянной рудной минерализации; 1—3 — поля раз-
личных значений коэффициентов геохимической зональности (по возрастанию); 4 — зо-
ны разломов

ния и геохимическое опробование коренных пород, в основном, в пределах потенциально рудоносных геологических образований (зоны тектонических нарушений, измененные породы и др.). Интервал опробования определялся из расчета фиксации этих образований не менее, чем двумя-тремя пробами. Пробы отбирались методом пунктирной борозды.

За пределами измененных пород по маршрутам отбирались единичные пробы, которые в последующем объединялись в выборки по разностям пород для расчета параметров фонового распределения и на этой основе — величин минимально аномальных содержаний элементов-индикаторов оруденения. Геохимическое опробование коренных пород по описанной методике проведено на площади 140 км² (см. рис. 106), где было отобрано около 1500 проб (средняя плотность — 10 проб на 1 км²).

Как показала обработка данных геохимического опробования коренных пород, тектонические нарушения, зоны измененных пород и примыкающие к ним участки четко фиксируются

аномальными содержаниями элементов, образующих вокруг рудных тел отчетливые первичные геохимические ореолы. Поэтому интерпретация всех выявленных аномалий проведена с учетом особенностей состава и строения первичных ореолов характерных для описываемого района полиметаллических месторождений. В гл. I подробно описаны первичные ореолы наиболее типоморфного для описываемого района месторождения Восточный Канимансур (см. рис. 12).

Приводимая карта (см. рис. 106) отражает в плане основные закономерности в строении развитых в коренных породах геохимических аномалий элементов, типоморфных для месторождений данного района. Эти закономерности, как уже отмечалось, заключаются в том, что основные элементы-индикаторы полиметаллического оруденения образуют вокруг рудных тел протяженные и широкие ореолы, по размерам значительно превосходящие соответствующие рудные тела. Основная геохимическая нагрузка иллюстрируемой карты — поля, дифференцированные по значениям коэффициента геохимической зональности, рассчитанным для каждой геохимической пробы как отношение сумм (нормированных через геохимический фон) содержаний надрудных (Pb , Ag , Ba) и подрудных элементов (Cu , Bi , Co).

Методическим обоснованием подобного подхода послужили результаты изучения особенностей состава первичных ореолов базового для данного рудного поля месторождения Восточный Канимансур: при рассмотрении геохимической зональности первичных ореолов (гл. I) были приведены совмещенные графики изменения с глубиной аддитивного коэффициента геохимической зональности, построенные по результатам изучения первичных ореолов как базового для описываемого района месторождения Восточный Канимансур, так и ряда других более мелких месторождений (см. рис. 21). Совмещенные графики показали, что по величине коэффициента геохимической зональности околоврудные первичные ореолы отчетливо дифференцируются по уровням относительно рудных тел свинцово-серебряного (верхние части рудоносного интервала) и медно-висмутового (нижние части рудоносного интервала) состава. В соответствии с этими графиками выделены следующие градации коэффициента зональности: более 10 (надрудные ореолы свинцово-серебряного оруденения); от 3 до 10 (надрудные срезы медно-висмутовых рудных тел); менее 3 — корневые и подрудные части месторождений (следовательно, и ЗРМ). Таким образом, использование указанного коэффициента для построения геохимической основы прогнозной карты позволяет с высокой степенью надежности оценить перспективы всех выявленных в пределах исследуемой площади геохимических аномалий.

На карте (см. рис. 106) достаточно четко проявляются фрагменты геохимической «структурь» аномалий рудного поля. Так, ореолы промышленного свинцово-серебряного и медно-висмутового оруденения (значение коэффициента геохимической зональ-

ности соответственно более 10 и от 3 до 10) представляют собой как бы центры максимальных концентраций элементов-индикаторов верхней половины ореолов, которые к периферии аномальных полей постепенно затухают, а ореолы сменяются широко развитыми полями рассеянной рудной минерализации (значение указанного отношения менее 3). Нетрудно заметить, что поля, оконтуренные значением коэффициента зональности более 3 (по существу ореолы промышленного оруденения или, точнее, ореолы месторождений), занимают площадь, измеряемую, как правило, первыми квадратными километрами. Если рассматривать площадь аномального поля в пределах значений коэффициента более 1, т. е. в пределах общего ареала рудного поля, то можно убедиться, что даже в неоконтуренном варианте (см. рис. 106) она измеряется многими квадратными километрами.

Эти результаты дают основание утверждать, что геохимическое опробование в масштабе 1 : 50 000 в открытых (хорошо обнаженных) районах позволяет исключить возможность пропуска аномалий рудных полей, а также ореолов отдельных месторождений. Даже самые мелкие аномалии (например, Кызыл-Унгур, Алмалык, Карагаш-Катан и др.) одним-двумя геохимическими профилями будут зафиксированы.

При интерпретации изображенных на описываемой карте аномалий использовался аддитивный коэффициент геохимической зональности первичных ореолов. Зональность в строении аддитивных ореолов, как известно, существенно менее контрастна по сравнению с предложенными мультипликативными ореолами (см. рис. 21). Тем не менее, с помощью даже аддитивного коэффициента в данном случае удалось дифференцировать выявленные аномалии по степени их перспективности. Высокая надежность подобной оценки аномалий подтверждена дальнейшими работами: проверено одиннадцать аномалий и во всех случаях оценка, данная по результатам интерпретации материалов геохимического опробования, оказалась верной.

2. Полузакрытые районы

К полузакрытым относятся площади, на которых коренныерудовмещающие породы перекрыты автохтонными отложениями ограниченной мощности (обычно первые метры), в которых в результате разрушения рудных тел и геохимических аномалий в коренных породах формируются открытые (остаточные) вторичные литохимические ореолы рассеяния элементов-индикаторов, тесно сопряженные в пространстве с аномалиями в коренных породах. Аномалии в рыхлых отложениях, как уже отмечалось (см. гл. III), могут быть использованы в полузакрытых районах для обнаружения и оценки аномалий в коренных породах. Это означает, что и результаты опробования полей гипергенного рассеяния элементов-индикаторов будут с достаточной

полнотой отражать особенности развитых в коренных породах геохимических аномалий, прежде всего первичных геохимических ореолов рудных тел и месторождений, в том числе и слепых.

Рассмотрим опыт составления геохимической карты рудного поля по вторичным литохимическим аномалиям. В качестве опытного полигона выбран лист номенклатуры масштаба 1 : 50 000 в старейшем и хорошо изученном оловянно-полиметаллическом рудном районе Восточного Забайкалья, где И. Н. Резниковым и автором проводились опытно-методические исследования по составлению карты литохимических аномалий. Детальное изучение района началось еще в 20-х годах в связи с открытием С. С. Смирновым оловянно-полиметаллического месторождения Хапчеранга. За прошедший период в этом же районе открыты Тарбальджейское, Харатуйское и Курултыкенское месторождения, а также многочисленные проявления олова и полиметаллов.

Изучение первичных ореолов базового оловорудного месторождения Хапчеранга позволило выявить основные особенности ореолов, прежде всего установить их геохимическую зональность, что определило оптимальный для исследованного месторождения мультиплекативный коэффициент геохимической зональности — $\frac{\text{Pb} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Zn}}{\text{Cu} \cdot \text{Bi} \cdot \text{Mo}}$. Величина этого коэффициента по вертикали от над- к подрудным сечениям первичных ореолов уменьшается почти в 1 млн (от 10^6 до 1) раз и позволяет надежно идентифицировать различные уровни ореолов относительно промышленного оруднения. Очевидно, что наиболее надежно оценить уровень эрозионного среза геохимических аномалий можно по результатам опробования коренных рудовмещающих пород, как это было показано при описании карты геохимических аномалий одного из районов Центрального Карамазара. Однако в условиях Хапчерангинского рудного района из-за неудовлетворительной обнаженности представительное опробование коренных рудовмещающих пород невозможно, в связи с чем при составлении карты геохимических аномалий использовались исключительно результаты опробования гипергенного поля расщепления химических элементов.

Выполненное сопряженное опробование коренных рудовмещающих пород и перекрывающих их автохтонных рыхлых отложений позволило установить, что значения мультиплекативного коэффициента зональности, рассчитанные для коренных пород и почв, весьма близки. Практически по всем исследованным профилям значения коэффициента зональности по первичным и вторичным ореолам отличаются не более, чем на половину порядка.

Применение в полузакрытых районах мультиплекативных коэффициентов геохимической зональности при оценке уровня эрозионного среза коренного оруднения в отличие от аддитивного, способствует выявлению более контрастной геохимической

зональности, обеспечивая тем самым определенный «запас прочности», который особенно желателен при оценке перспектив интересующих участков по параметрам гипергенных полей рассеяния элементов-индикаторов.

Поскольку выбранный район относится к полузакрытым, основная информация для составления геохимических карт базируется на результатах анализов геохимических проб из рыхлого покрова, мощность которого составляет 2—3 м, а на отдельных участках возрастает до 12 м. Геохимическое опробование почв проводилось в масштабе 1 : 50 000.

В геологическом строении района и его рудоносности определяющую роль играют два крупных близширотных региональных разлома — Тарбальджейский и Илэгерский (рис. 107), разделяющие исследованную площадь на три блока: 1) центральный — позднепротерозойский, сложен глинисто-углистыми филлитовидными и кварц-слюдистыми сланцами с прослойями кварцитовидных песчаников (агуцинская свита); 2) северный (к северу от Илэгерского разлома) — нижнесреднекарбоновый, сложен песчаниками, алевролитами, сланцами и гравелитами (ангдинская серия); 3) южный (южнее Тарбальджейского разлома) — триасовый, сложен песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами (хапчерангинская серия, подразделенная на несколько свит).

Тарбальджейский региональный разлом оперяется с юга и пересекается многочисленными сколовыми трещинами наиболее высоких порядков, в основном в северо-западных и северо-восточных румбах, которые контролируют положение всех известных в районе рудных объектов (оловянно-полиметаллические месторождения Хапчеранга, Тарбальджей, Харатуй, Правый Курултыкен и полиметаллическое месторождение Курултыкен). Этот разлом с падением плоскости смесятеля на север под углом 70—85° фиксируется серией зон дробления, мощной зоной окварцевания и многочисленными дайками.

Илэгерский разлом представлен зонами рассланцевания и трассируется дайками лампрофиров. Процессы гидротермальной переработки здесь проявлены слабо. Зона разлома практически не сопровождается оперяющими и секущими трещинами северо-западного направления, играющими в районе роль рудовмещающих. Все известные в районе месторождения вскрыты эрозией.

На рис. 107 приведена карта изменения в пределах исследованной площади мультиплекативного коэффициента геохимической зональности, рассчитанного по каждой из проб почвы. Поля различных величин мультиплекативного коэффициента геохимической зональности выделены в пределах общих мультиплекативных аномалий, построенных для группы основных элементов-индикаторов данного типа оруденения, включающей в себя наряду с элементами, использованными в мультиплекативном коэффициенте зональности, основной ценный компонент

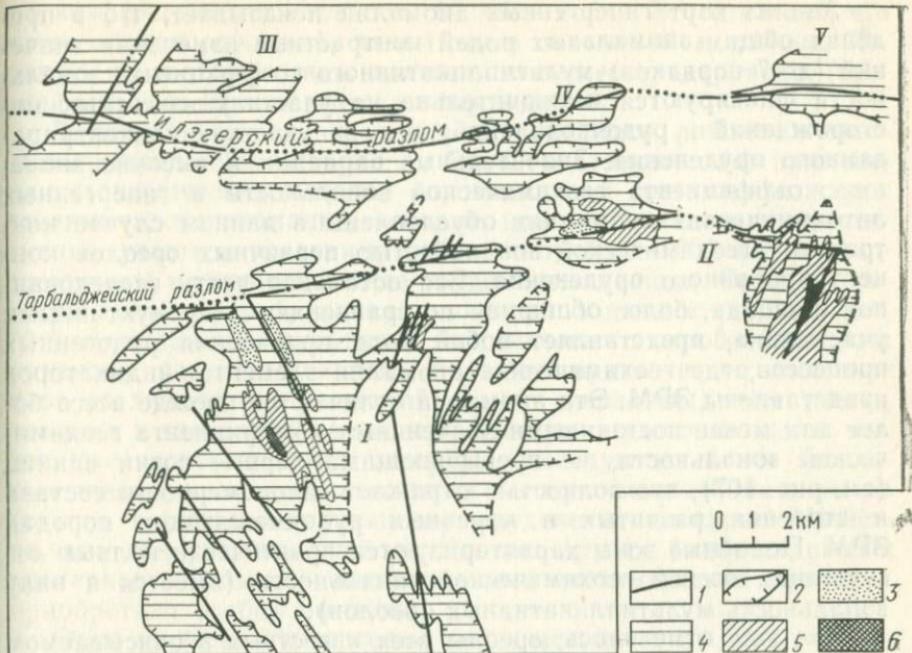


Рис. 107. Карта геохимических аномалий, оконтуренных в результате опробования элювиально-делювиальных отложений:

аномалии: I — Хапчаргинско-Курултыкенского рудного поля; II — Тарбальджай-Харатуйского рудного поля; III—V — поля рассеянной рудной минерализации; 1 — зоны тектонических нарушений; 2 — контур комплексной мультиплексной аномалии; 3—6 — коэффициент зональности (3 — менее 1, 4 — от 1 до 500; 5 — от 501 до 50 000; 6 — более 50 000)

руд — Sn. Карта отчетливо показывает, что в строении аномальных полей наблюдается весьма выдержанная закономерность, заключающаяся в том, что контрастно дифференцированные по величине коэффициента зональности поля приурочены исключительно к участкам известных месторождений и рудопроявлений. Такие участки занимают центральные области общих мультиплексных аномалий, и именно здесь коэффициент зональности принимает значения до 50 000 и более. За их пределами значения коэффициента зональности варьируют в более узком диапазоне — десятки, редко сотни.

Такая «структуря» геохимических аномалий наблюдается в пределах двух аномальных полей — I и II, названных нами Хапчаргинско-Курултыкенским и Тарбальджай-Харатуйским (по названиям находящихся здесь известных месторождений и рудопроявлений). Остальные аномальные поля, приуроченные к зоне Илэгерского разлома (III—V), характеризуются узким диапазоном величин коэффициента зональности, не превышающих первые сотни. Отметим, что в аномальных полях, локализующихся в зоне Илэгерского разлома, месторождений не обнаружено.

Анализ карт гипергенных аномалий показывает, что в пределах общих аномальных полей контрастные изменения значений (до 7 порядков) мультиплекативного коэффициента зональности фиксируются исключительно на участках известных месторождений и рудопроявлений, т. е. на участках концентрированного оруденения. Значительные вариации и высокие значения коэффициента геохимической зональности в гипергенных литохимических аномалиях обусловлены в данном случае контрастной геохимической зональностью первичных ореолов концентрированного оруденения. Вся остальная часть исследованной площади, более обширная по сравнению с «продуктивными участками», представляет собой поле проявления рудогенных процессов, где геохимические аномалии элементов-индикаторов представлены ЗРМ. Эти аномалии отличаются прежде всего более или менее постоянными значениями коэффициента геохимической зональности, не превышающими первые сотни единиц (см. рис. 107), что полностью отражает закономерности состава и строения развитых в коренных рудовмещающих породах ЗРМ. Подобные зоны характеризуются практически полным отсутствием осевой геохимической зональности (имеется в виду зональность мультиплекативных ореолов).

Как уже отмечалось, ореолы всех известных в описываемом районе месторождений (Хапчеранга, Курутыкен, Тарбальджей и Харатуй) занимают небольшую часть аномальной площади: именно на таких участках установлены интенсивные и сплошные ореолы основного рудообразующего элемента — Sn (0,001 % и более) и его спутников, а также, что особенно важно, контрастная геохимическая зональность. Периферийным частям этих ореолов, в отличие от центральных «продуктивных» участков, свойственны более низкая интенсивность аномального поля, а также практически полное отсутствие признаков вертикальной геохимической зональности. Подобным образом выглядят все «илэгерские» аномальные поля, а это означает, что выявленные в пределах зоны Илэгерского разлома значительные по площади геохимические аномалии фиксируют развитые в коренных рудовмещающих породах ЗРМ.

Более детальное рассмотрение карты показывает, что для месторождений Хапчеранга, Курутыкен, Правый Курутыкен и Тарбальджей характерны широкие, сплошные и интенсивные ореолы Sn, контрастно дифференцированные по коэффициенту зональности. При этом наиболее развиты здесь поля со значениями коэффициента зональности до 500. Аномалии, характеризующиеся значениями коэффициента более 500, небольшие по размерам. Эти данные позволяют утверждать, что перечисленные месторождения вскрыты эрозией в среднерудном интервале.

Определенное отличие наблюдается в строении ореола месторождения Харатуй. Несмотря на то, что здесь на поверхности имеются рудные выходы, практически вся площадь месторождения отличается развитием интенсивного ореола со значения-

ми коэффициента зональности 50 000 и более. Это означает, что из всех месторождений, известных в описываемом районе, Харатуй, по геохимическим данным, наименее эродировано (эрзиеи вскрыты верхние части месторождения).

Дифференцированная оценка описываемого района площадью примерно 350 км² вряд ли была бы возможна без применения геохимических методов опробования и составления карты геохимических аномалий, которые помимо выявления перспективных участков позволили отбраковать более 250 км² бесперспективной на промышленное оруденение площади. Отметим высокую степень «разбраковки» площадей: в данном случае более 70 % площади по результатам геохимического опробования почв признано бесперспективной. Большое практическое значение карт геохимических аномалий станет очевидным, если учесть, что речь в данном случае идет о скрытом оруденении, когда выделяются и исключаются из сферы последующих более детальных поисковых и оценочных работ бесперспективные на скрытое (слепое и слабозеродированное) оруденение площади. Известно, что для решения этой задачи нет других более надежных критериев и поэтому рассмотренные геохимические критерии приобретают особое значение.

Один из весьма интересных как в методическом, так и практическом отношении вопросов, решаемых с помощью карт геохимических аномалий, — вопрос о выявлении роли разрывной тектоники в локализации прогнозируемого оруденения. Геохимические данные позволяют отличить рудоконтролирующие структуры от безрудных: к первым приурочены комплексные геохимические аномалии — признаки рудогенного процесса, вторые характеризуются исключительно фоновыми концентрациями элементов-индикаторов.

Относительно простой выглядит и задача идентификации собственно рудоносных структур: возможность выделения (дифференциации) по геохимическим данным рудоподводящих и рудовмещающих структур можно проиллюстрировать на примере Хапчерангинского района. Анализ размещения геохимических аномалий на описываемой карте однозначно показывает, что рудоподводящие разломы фиксируются как типичные ЗРМ, которые развиваются вдоль структур в результате циркуляции по ним рудообразующих растворов. Особенно наглядно это прослеживается по аномалиям, развитым вдоль Илэгерского разлома (см. рис. 107). Аномалии, фиксирующие собственно рудовмещающие структуры, довольно контрастно отличаются от аномалий, развитых вдоль рудоподводящих структур. Такие различия наиболее отчетливо проявлены в характере геохимической зональности аномальных полей: рудовмещающие структуры характеризуются высокими значениями и резкой пространственной дифференциированностью величин коэффициента зональности, достигающей в данном случае шести порядков (от 0,1 до $n \cdot 10^5$).

Анализ карты показывает, что несмотря на опробование по достаточно редкой сети применение основного методологического принципа сопряженного изучения первичных и вторичных литохимических ореолов позволяет составлять карты геохимических аномалий, которые являются весьма информативной геохимической основой как для выявления в пределах рудного поля перспективных на промышленное оруденение геохимических аномалий, так и для разбраковки многочисленныхrudопроявлений и геохимических аномалий, представленных глубокоэродированным оруденением и ЗРМ, подлежащими исключению из сферы последующих детальных работ.

3. Закрытые районы

На практике встречаются случаи, когда рудное поле базового месторождения полностью или частично закрыто мощным (десятки и сотни метров) чехлом рыхлых аллохтонных или стратифицированных пород. В подобных условиях оценка перспектив рудоносного фундамента возможна исключительно на основе выявления признаков перекрытого (выходящего на древнюю эрозионную поверхность) или слепо-перекрытого оруденения.

При геологической съемке таких районов изучение фундамента проводится по редкой сети картировочных скважин, обеспечивающих по сравнению с открытыми районами плотность геохимического опробования поверхности в масштабах 1 : 1 000 000—1 : 500 000, реже 1 : 200 000.

Очевидно, что при такой детальности изучения площадей вероятность обнаружения перекрытых и слепо-перекрытых рудных тел очень низка, так как мощность рудных тел не превышает десятков, а протяженность — сотен метров, в то время как расстояние между картировочными скважинами измеряется километрами. В подобных случаях с помощью геохимического опробования керна можно резко расширить размеры «мишени», поскольку объектом изучения будут сопряженные с оруденением широко развитые по площади геохимические аномалии перекрытых рудных тел и месторождений. Использование информации о геохимических ореолах месторождений в таких условиях равноценно сгущению сети дорогостоящих скважин и резкому увеличению радиуса прогнозного действия каждой картировочной скважины.

Как показывает опыт, критерии, основанные на особенностях геохимических ореолов месторождений, могут быть использованы и при интерпретации результатов геохимического опробования коренных рудовмещающих пород перекрытого фундамента (по данным картировочного бурения). При геологической съемке закрытых районов данные о распределении элементов-индикаторов в породах рудоносного фундамента могут быть получе-

ны только по результатам опробования керна в основном картировочных скважин, которые бурят по редкой сети. В связи с этим получить полное представление о площадном распределении элементов-индикаторов рудогенных процессов трудно. Естественно, что низкая плотность геохимических наблюдений не может не сказаться на надежности выявления и интерпретации геохимических аномалий.

Исследования показали, что геохимическое опробование при съемке закрытых районов позволяет надежно выделять площади развития рудогенных процессов, которые и подлежат дальнейшему более детальному изучению, поскольку именно в их пределах целесообразно выполнение дорогостоящих буровых работ с целью выявления ореолов отдельных месторождений и даже рудных тел.

В закрытых районах из-за ограниченного числа скважин наиболее сложная задача — исключение пропуска рудогенных аномалий, особенно слабоконтрастных. Как уже отмечалось, один из наиболее эффективных методов выявления значительных по размерам и интенсивности аномальных полей — построение интегральных геохимических аномалий. Если для открытых и полузакрытых районов подобный подход себя вполне оправдывает, то для закрытых районов очевидна необходимость дальнейшей разработки и внедрения в практику работ более эффективных методов «усиления» геохимических аномалий. Один из наиболее перспективных путей решения этой задачи — комбинированное применение мультиплективного и описанных выше минералого-геохимических методов усиления геохимических аномалий (в частности, метод анализа тяжелых фракций).

Дороговизна картировочного бурения ограничивает его широкое применение, в связи с чем следует рекомендовать внедрение в практику рудничной геохимии рассмотренные в гл. IV методы поисков погребенного оруденения по наложенным ореолам элементов-индикаторов, в том числе ионометрическим. Особенно перспективно комбинированное применение этих методов с картировочным бурением, когда выявленные наложенные геохимические аномалии проверяются картировочным бурением.

К сожалению, в настоящее время рано рассматривать примеры использования наложенных ореолов для обнаружения погребенных месторождений и оценивать эффективность применяющихся методов, поскольку они еще находятся в стадии экспериментальных разработок.

4. Оценка аномалий без эталона

Типоморфные аномалии. Как уже отмечалось, результаты изучения первичных ореолов базового месторождения (геохимического моделирования) имеют существенное значение при оценке перспектив рудоносности прилегающих площадей, поскольку

аномалии оцениваются по аналогии с эталоном — базовым месторождением. Однако на практике часто при оценке геохимических аномалий не удается использовать близрасположенный типоморфный для данной аномалии геохимический эталон. Подобная ситуация возникает в двух случаях. Рассмотрим их.

1. Базовое месторождение геохимически не изучено, т. е. отсутствует геохимический эталон, с которым сравниваются подлежащие оценке геохимические аномалии (согласно методу аналогии — основного методологического принципа интерпретации и оценки геохимических аномалий). Подобные случаи обычно имеют место, когда базовое месторождение по причине многолетней разработки (или ее завершения) недоступно для представительного геохимического изучения (моделирования).

2. В пределах рудного поля выявлены геохимические аномалии, по составу отличные от базового месторождения и обусловленные проявлением в пределах рудного поля известного месторождения другой рудной формации.

В тех случаях, когда базовое месторождение геохимически не изучено, при интерпретации геохимических аномалий в качестве геохимических критериев могут быть использованы особенности состава и строения первичных геохимических ореолов аналогичных по составу (т. е. той же рудной формации) месторождений, расположенных в других рудных районах. Естественно, что речь идет об использовании так называемых сквозных закономерностей, свойственных всем месторождениям конкретной рудной формации, к которой принадлежит и конкретное базовое месторождение. Важнейшими критериями оценки геохимических аномалий, как отмечалось в гл. V являются поперечная и вертикальная (осевая) геохимическая зональность первичных ореолов. Поперечная зональность идентична (универсальна) для всех месторождений конкретной рудной формации, и это обстоятельство позволяет использовать ее для интерпретации геохимических аномалий в любом районе. Поперечная зональность, как уже отмечалось, позволяет идентифицировать тип рудной формации. Для этой цели используют ряды поперечной зональности (см. табл. 8). После того, как определена формационная принадлежность аномалий, оценивается уровень их эрозионного среза с помощью осевой геохимической зональности (для рудных тел крутого падения — вертикальной зональности). И в этом случае применение критерия осевой геохимической зональности для оценки геохимических аномалий без геохимического эталона базового месторождения возможно только благодаря тому, что и осевая геохимическая зональность месторождений каждой рудной формации универсальна. Для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий используют ряды зонального отложения элементов-индикаторов, которые приведены в гл. I (см. табл. 7). На основе ряда зонального отложения элементов-индикаторов конкретного типа месторождений выбирается наиболее оптимальный коэффициент геохимиче-

ской зональности; напомним, что такими будут только полиэлементные (мультиплекативные) коэффициенты, с помощью которых устанавливается максимально контрастная, а следовательно, и максимально надежная геохимическая зональность.

Для иллюстрации методологического принципа подбора коэффициента геохимической зональности вернемся к рассмотренному ранее опыту составления карты геохимических аномалий Канимансурского рудного поля.

В результате изучения первичных ореолов ряда известных полиметаллических месторождений установлен следующий ряд зонального отложения основных элементов-индикаторов, заимствованный из табл. 7 (гл. I): Ni, Mo, W, As¹, Sn, Co, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, As², Ba, Sb. На основе этого ряда был выбран полиэлементный коэффициент всего лишь третьего порядка: по три надрудных (Ba, Pb, Ag) и подрудных (Cu, Bi, Co) элемента, хотя, как отмечалось, чем больше элементов в коэффициенте, тем лучше. Однако не всегда удается использовать максимальное число элементов. Из приведенного ряда в коэффициент зональности не включены Ni, W, Sn и Sb, так как ореолы этих элементов в выявленных геохимических аномалиях (как, впрочем, и в первичных ореолах базового месторождения Восточный Канимансур) имеют небольшие размеры и невысокую интенсивность. Включение их в коэффициент исказило бы реальную картину зональности. Исключен As, так как в ряду он появляется дважды в соответствии с минеральной зональностью: подрудный мышьяк (As¹) в ореолах представлен арсенопиритом, а надрудный (As²) — блеклыми рудами. Очевидно, что включение этого элемента в коэффициент зональности также приведет к неподдающимся оценке искажениям. В коэффициенте не использован Mo, так как этот элемент — индикатор не только полиметаллического оруденения, но и развитых в рудном поле рудопроявлений и геохимических аномалий настуртан-сульфидной формации.

Рассмотренный пример показывает, что при определении перечня элементов, используемых в мультиэлементном коэффициенте геохимической зональности, следует пользоваться приведенными в работе двумя рядами элементов-индикаторов. С помощью ряда поперечной зональности определяют основные элементы-индикаторы, образующие наиболее широкие и интенсивные ореолы: такими будут элементы, расположенные в левой части ряда. Из этих элементов исключают элементы, образующие минеральную зональность, а также «сквозные», являющиеся индикаторами других типов месторождений. Из оставшихся элементов с помощью ряда осевой геохимической зональности выбирают группы надрудных (элементы правой части ряда) и подрудных (элементы левой части ряда) элементов-индикаторов.

Следует иметь в виду, что когда отсутствует геохимический эталон базового месторождения, оценка уровня эрозионного

среза выявленных в пределах рудного поля геохимических аномалий будет только относительной, т. е. выявленные аномалии могут быть только ранжированы по глубине эрозионного среза без определения их положения относительно оруденения, поскольку нет возможности привязать полученные данные к конкретному эталону. Очевидно, что и относительная оценка уровня эрозионного среза имеет большое практическое значение, поскольку позволяет обоснованно выявить наименее эродированные, а следовательно, наиболее перспективные на глубину геохимические аномалии. Неопределенность относительной оценки уровня эрозионного среза в ряде случаев может быть преодолена, если в изучаемом рудном поле среди выявленных геохимических аномалий встречаются рудопроявления с промышленным оруденением, выходящим на поверхность. Это рудопроявление может быть использовано в качестве своеобразного ре-пера: очевидно, что тогда геохимические аномалии с существенно более высокими (по сравнению с рудопроявлением) значениями коэффициента геохимической зональности достаточно надежно могут быть отнесены к надрудным ореолам, перспективным на слепое оруденение и наоборот: аномалии со значениями коэффициента зональности существенно ниже (по сравнению с рудопроявлением) на том же основании могут быть отнесены к подрудным бесперспективным ореолам данного типа оруденения. Мы имеем в виду аномалии, лишенные рудных выходов, что достаточно надежно устанавливается их полевым осмотром.

В условиях пересеченного рельефа в качестве подобного ре-пера могут быть использованы и величины коэффициента зональности ЗРМ, которые характеризуются постоянным значением коэффициента зональности. Сами ЗРМ легко идентифицируются — в пределах ЗРМ значения коэффициента зональности не реагируют на рельеф и остаются постоянными. И в этом случае аномалии с существенно более высокими значениями коэффициента зональности (по сравнению с ЗРМ) будут отвечать надрудным ореолам и наоборот, поскольку ЗРМ отвечает низнерудному срезу.

Если для месторождений данной рудной формации установлена количественно единая геохимическая зональность, то оценка уровня эрозионного среза геохимических аномалий будет уже не относительной, а привязанной к оруденению, так как в данном случае вместо эталона базового месторождения используются конкретные числовые значения мультиплекативного коэффициента геохимической зональности, соответствующие строго определенным уровням первичных ореолов: над-, верхне-, средне-, нижне- и подрудным. Методику подобного подхода можно проиллюстрировать на примере оловорудных месторождений.

Как уже отмечалось (см. гл. I), в строении мультиплекативных ореолов оловорудных и некоторых других типов месторождений установлена количественно единая геохимическая зональ-

ность. Эта важнейшая в практическом отношении особенность первичных ореолов характерна для оловорудных месторождений Якутии, Приморья и Дальнего Востока. На рис. 108 приведены совмещенные графики изменения с глубиной мультиплексивного коэффициента зональности — $\frac{\text{Ag} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Zn}}{\text{Cu} \cdot \text{Bi} \cdot \text{Mo}}$. Как видно, значения указанного коэффициента для всех изученных месторождений с глубиной закономерно уменьшаются более чем на 6 порядков (от $n \cdot 10^4$ в надрудных до $n \cdot 10^2$ в подрудных сечениях ореола месторождения). Закономерно изменяются и размеры площадей ореола. В первичном ореоле для надрудных частей характерны широкие поля со значениями коэффициента зональности более $n \cdot 10^4$. При этом площадь ореола со значениями коэффициента зональности более $n \cdot 10^4$ занимает центральную часть ореола и по размерам близка к площади ореола Sn (имеются в виду поля, оконтуренные по величине мультиплексивного коэффициента зональности, рассчитанного в каждой пробе).

На уровне верхних частей рудных тел преобладают поля со значениями коэффициентов зональности $n \cdot 10^2$. Уровень корневых частей месторождения характеризуется величиной коэффициента, равной первым единицам. Ореол в подрудном срезе представлен, главным образом, полем со значениями коэффициента зональности 1—0,1.

Приведенные на рис. 108 данные полностью соответствуют результатам изучения базового месторождения Хапчеранга: тот же коэффициент геохимической зональности, те же величины коэффициента для однотипных сечений первичных ореолов.

Полиформационные аномалии. Уже рассмотрены вопросы интерпретации геохимических аномалий, типоморфных для базового месторождения. Однако, как отмечалось в гл. V в ряде случаев в пределах рудных полей известного (базового) месторождения встречаются геохимические аномалии иного состава, связанные с другими типами месторождений. Эти аномалии прежде всего отличаются от типоморфных для базового месторождения аномалий по элементному составу (присутствие в этих аномалиях элементов, не свойственных базовому месторождению), а также по соотношениям размеров ореолов и средних содержаний элементов-индикаторов, т. е. по характеру поперечной геохимической зональности.

Основная задача интерпретации нового для рудного поля типа геохимических аномалий — определение их формационной принадлежности. Для этого используют приведенные в гл. I ряды поперечной зональности. Последующая оценка этих аномалий проводится аналогично методике, рассмотренной на примере оловорудного месторождения Хапчеранга.

Следует однако иметь в виду, что «чуждые» базовому месторождению геохимические аномалии оцениваются достаточно легко при условии их изолированного (в пространстве) разви-

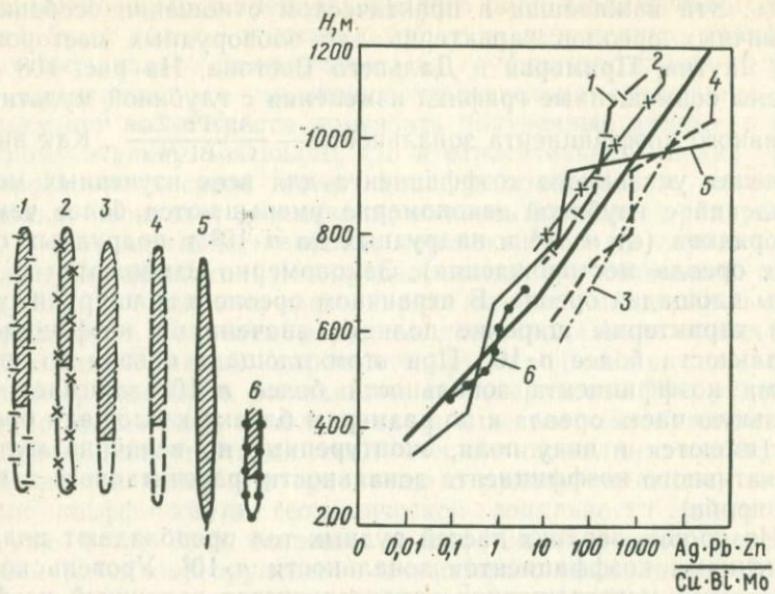


Рис. 108. Совмещенные графики изменения с глубиной величины мультиплексивного коэффициента зональности первичных ореолов оловорудных месторождений Приморья (по Э. С. Кравченко):

месторождения: 1 — Верхние; 2 — Верхнекендухинское; 3 — Хрустальное; 4 — Арсеньевское; 5 — Дубровское; 6 — Перевальное; толстой линией показан усредненный график

тия. Методика оценки существенно усложняется в случае полиформационных аномалий, когда в пространстве совмещаются геохимические аномалии различных типов. Для иллюстрации методологических принципов расшифровки и последующей оценки подобных сложных аномалий рассмотрим результаты геохимических работ, выполненных в ряде рудных полей Таджикистана.

На рис. 32 приведены геохимические аномалии, оконтуренные на одном из участков Канимансурского рудного поля. В результате, наряду с типоморфными для района аномалиями полиметаллического оруденения (базовое месторождение Восточный Канимансур, см. рис. 31), были выявлены аномалии U и его характерного спутника — Mo. Оценка этих данных показала, что на слепое медно-висмутовое оруденение наложена непромышленная урановая минерализация.

Полиформационные геохимические аномалии выявлены также на участке Центральная Орлиная горка, расположенным на восточном фланге Курусайского рудного поля. В процессе геохимических исследований на описываемом участке обнаружены аномалии, существенно отличные от ореолов, развитых вокруг рудных тел базового для рудного поля месторождения Курусай скарново-полиметаллической формации. Кроме аномалий основных элементов-индикаторов полиметаллических

руд установлены резко повышенные по сравнению с ореолами полиметаллических месторождений содержания Mo и As (табл. 41). Это позволило сделать вывод о вероятной полиформационной природе выделенных на описываемом участке аномалий, образовавшихся в результате совмещения в пространстве ореолов полиметаллической (на участке известны рудные тела полиметаллического состава) и другой неизвестной рудной формации.

Полиформационный характер описываемых ореолов наиболее отчетливо проявлен в разрезе. На рис. 109 приведены ореолы ряда элементов, оконтуренные по результатам опробования коренных пород на поверхности, а также штолни и керна скважин, пройденных при разведке полиметаллического оруденения. Видно, что с глубиной известняки выклиниваются. По-видимому, именно этим следует объяснить ограниченные перспективы участка на скарново-полиметаллическое оруденение, что подтверждается отчетливым выклиниванием с глубиной ореолов типоморфных для этого типа оруденения элементов-индикаторов.

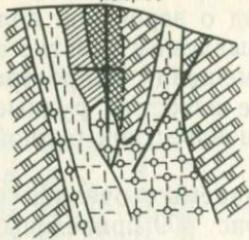
При определении типа новой для данного района рудной формации учитывались элементный состав выявленных аномалий и особенности распределения элементов в плане и по разрезам. На рис. 109 видно, что с глубиной аномальные поля Au и Mo резко расширяются. Молибден не может быть отнесен к характерным индикаторам свинцово-цинкового оруденения, поскольку на этих месторождениях он образует весьма узкие и слабые по интенсивности ореолы с содержанием менее 0,001 % (см. табл. 41). На описываемом участке ширина аномального поля с содержанием Mo более 0,001 % превышает 40—50 м. Друг-

Таблица 41

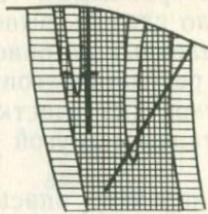
Средние содержания (%) элементов-индикаторов и их отношения в геохимических аномалиях

Элементы-индикаторы и их отношения	Ореолы свинцово-цинкового месторождения		Центральная Орлинская горка	Надрудные ореолы месторождения Ак-Чеку
	надрудные	верхнерудные		
Cu	0,01	0,02	0,1	0,07
Mo	0,0002	0,0003	0,004	0,007
As	Не обн.	Не обн.	0,006	0,002
Ag	0,00005	0,0008	0,0004	0,00013
As	—	—	0,06	0,03
Cu	—	—	—	—
Ag	—	—	1	0,03
Mo	—	—	—	—
Cu	50	66	25	0,3
Mo	—	—	—	—

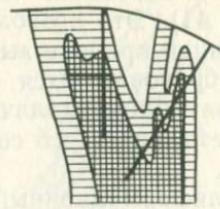
Геологический
разрез



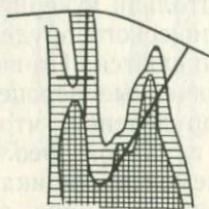
Cu



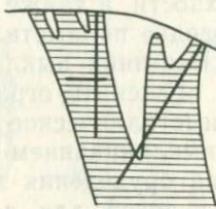
Mo



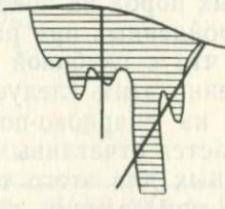
Au



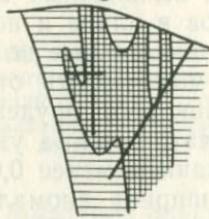
As



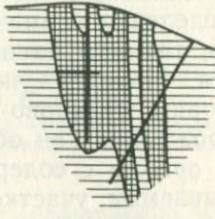
Sb



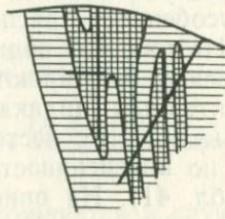
Ag



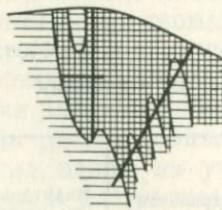
Pb



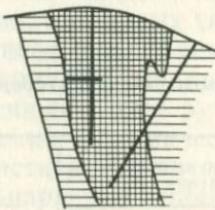
Zn



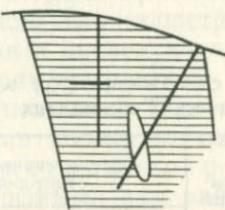
Co



Bi



Sn



0 50 100 м

1 2 3 4 5

6 7 8 9

Рис. 109. Первичные ореолы в разрезе элементов-индикаторов (участок Центральная Орлиная Горка; по Г. Э. Федотовой):

1 — известняки; 2 — гранодиорит-порфиры; 3 — скарнированные гранодиорит-порфиры; 4 — диабазовые порфириты; 5 — гранат-пироксеновые скарны; 6 — рудные свинцово-цинковые тела; 7 — разрывные нарушения; 8, 9 — первичные ореолы (9 — поля повышенных концентраций элементов)

гой элемент, поведение которого также аномально для ореолов полиметаллического оруденения, — Си, которая образует самые широкие и интенсивные аномалии. Содержание Си во всех пробах, отобранных по разрезам, превышает минимально-аномальное. Ширина аномального поля с содержанием Си более 0,1 % превышает 80 м. В разрезе намечается отчетливый сдвиг ореола Си вверх по отношению к ореолу Мo.

Таким образом, по особенностям распределения в вертикальном разрезе отчетливо выделяют две группы элементов-индикаторов: 1) элементы, ореолы которых проявляют отчетливую тенденцию выклинивания с глубиной — Sb, Pb, Zn, Ag и Co; 2) элементы, ореолы которых с глубиной расширяются, а их интенсивность возрастает — Си, Mo и Au. Именно эти элементы являются основными компонентами новой рудной формации.

Сравнение выявленных аномалий с ореолами месторождений других рудных формаций показало их идентичность первичным ореолам месторождений медно-порфировой формации. Ряд поперечной зональности описанных аномалий (Си, Mo, Zn, Pb, Co, Sn, Bi, As, Ba), как показало его сравнение с приведенными в табл. 8 (см. гл. I) данными, практически полностью соответствует ряду медно-молибденовых месторождений. Эти результаты позволили прийти к выводу, что в рассматриваемом случае описываемые полиформационные аномалии образованы в результате совмещения в пространстве первичных ореолов типоморфного для данного рудного поля полиметаллического оруденения и ранее в рудном поле неизвестного медно-молибденового оруденения.

Для месторождений медно-молибденовой формации в силу их слабой геохимической изученности недостаточно материалов для выявления количественно единой геохимической зональности, поэтому для оценки уровня эрозионного среза медно-молибденового оруденения в качестве геохимического эталона использовалось медно-молибденовое месторождение Ак-Чеку (Узбекистан). Сравнение параметров выявленных аномалий и первичных ореолов месторождения Ак-Чеку указывает на надрудную природу выявленных аномалий. Этот вывод подтверждается близостью величин коэффициентов зональности аномалий участка Центральная Орлинская горка и надрудных ореолов медно-порфирового месторождения Ак-Чеку (см. табл. 41).

Что же касается перспективрудоносности участка на полиметаллическое оруденение, то проведенные ранее разведочные работы не дали положительных результатов, поскольку было установлено полное выклинивание с глубиной известных на поверхности рудных тел. Данные геохимического опробования подтвердили этот вывод: ореолы типоморфных для полиметаллического оруденения элементов-индикаторов выклинивания с глубиной (см. рис. 109). Очевидно, что при наличии на глубине слепых рудных тел полиметаллического состава подобного выклинивания ореолов не было бы. Можно предположить, что вы-

клинивание ореолов полиметаллического оруденения с глубиной было более резким, если бы отсутствовало наложение ореолов медно-порфировой минерализации, поскольку для последней также характерны ореолы Pb, Zn и Ag. Однако благодаря более высоким концентрациям этих элементов в ореолах полиметаллического оруденения последние как бы «подавили» ореолы, связанные с медно-порфировой формацией, фиксируя отчетливое выклинивание с глубиной полиметаллов. Все эти данные позволили считать участок перспективным на слепое медно-порфировое оруденение и рекомендовать постановку на нем детальных работ. В соответствии с рекомендацией выполнена ревизия ранее пройденных разведочных выработок, включая их бороздовое опробование. Полученные результаты полностью подтвердили вывод о проявлении на участке медно-порфирового оруденения: установлены пропущенные ранее минерализованные интервалы с типичным для медно-порфировых руд парагенезисом минералов и промышленными содержаниями меди.

Рассмотренный пример убедительно показывает, что во всех случаях при оценке перспектив рудоносности глубоких горизонтов базовых месторождений надо учитывать возможность появления с глубиной оруденения нового типа, ранее в районе неизвестного, как это имело место, например, на рассмотренном участке Орлиная горка.

Другой случай появления с глубиной минерализации новой рудной формации установлен на месторождении Шурале (Чорух-Дайронское рудное поле, Таджикистан), где с глубиной редкометальное оруденение (шеелит-молибденовое) сменилось полиметаллическим. На описываемом месторождении рудное тело представляет собой зону альбитизированных пород, содержащую кварцевые жилы различной мощности. Простирание зоны северо-восточное ($35-40^\circ$) с крутым падением на юго-восток. В северо-восточном направлении наблюдается смена зон альбитизации пироксеновыми скарнами, а шеелитового оруденения — молибденитовым.

На рис. 34 приведены первичные ореолы химических элементов, оконтуренные вокруг рудоносной зоны Шурале-1 в ее центральной части, где рудные минералы представлены шеелитом, халькопиритом, в меньших количествах — молибденитом. По особенностям распределения по вертикали химические элементы дифференцируются в следующие группы: ореол Mo имеет максимальную ширину и интенсивность в верхней части разреза и вниз по падению рудных тел постепенно сужается; W и Co образуют ореолы, расширяющиеся с глубиной; ореол Ni с глубиной существенных изменений не претерпевает; ореолы Ag, Pb и частично Zn с глубиной сужаются, а затем резко расширяются на уровне самой глубокой скважины.

Распределение элементов последней группы для редкометального оруденения аномально и обусловлено появлением на глубине другой рудной формации. Сравнение ореолов элементов

этой группы с особенностями формирования первичных ореолов месторождений других рудных формаций показывает, что нижней скважиной вскрыты надрудные ореолы скарнового свинцово-цинкового оруденения. Полное выклинивание с глубиной ореолов W, Mo, Ni и Co указывает на отсутствие на глубине слепых тел редкометального состава. Глубокие горизонты месторождения перспективны на полиметаллы, о чем свидетельствует появление с глубиной широких и интенсивных надрудных ореолов этого типа оруденения.

Изучение полиформационных геохимических ореолов и разработка на этой основе надежных критериев их расшифровки — чрезвычайно актуальная задача в связи с тем, что подобные ореолы, как показывают исследования последних лет, распространены шире, чем считалось ранее. Исследования в этом направлении весьма важны еще и потому, что они позволяют получать более определенную информацию о зональности первичных геохимических ореолов, так как иногда нарушение зональности ореолов гидротермальных месторождений (появление «обратной» зональности) является следствием формирования полиформационных ореолов.

Примером подобной обратной геохимической зональности может служить описанное месторождение Шурале-1, где с глубиной происходит смена элементов-индикаторов высокотемпературного редкометального оруденения (W, Mo и др.) типичными индикаторами полиметаллического оруденения — Pb, Zn и Ag. Очевидно, что зональность полиформационных ореолов прежде всего будет определяться пространственными взаимоотношениями рудных тел совмещенных месторождений различных рудных формаций. Так, если на месторождении Шурале-1 наблюдается обратная зональность, то на месторождении Тутлы-III (Курусайское рудное поле) с глубиной скарново-полиметаллическое оруденение сменяется скарново-шебелитовым, и в соответствии с этим в ореолах выявляется уже «прямая» зональность.

Другой характерный пример сложной геохимической зональности установлен автором на скарново-полиметаллическом месторождении Льюснесберри (Швеция). На этом месторождении установлено выклинивание с глубиной полиметаллического оруденения, которое к моменту постановки геохимических работ практически уже было отработано. Предстояло с помощью геохимических критериев оценить возможность появления на глубине новых слепых рудных тел полиметаллического состава для продолжения эксплуатации. Обработка результатов геохимического опробования подтвердила выклинивание с глубиной полиметаллического оруденения, но одновременно выявила расширяющиеся на глубине ореолы элементов-индикаторов новой скарново-шебелитовой минерализации: соответствующие расчеты подтвердили перспективность глубоких горизонтов этого месторождения на промышленное скарново-шебелитовое оруденение. Для оценки использовалась единая геохимическая зональность пер-

вичных геохимических ореолов скарново-шеелитового оруденения (поскольку в описываемом рудном районе подобных базовых месторождений нет), в частности ряд зонального отложения элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения (см. табл. 7, гл. I).

На глубоких горизонтах описываемого месторождения наличие геохимических аномалий элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения было установлено на основе количественно единой геохимической зональности, выявленной по результатам изучения особенностей состава и строения первичных геохимических ореолов месторождений Тырныауз и Восток II — двух наиболее известных скарново-шеелитовых месторождений.

Месторождение Тырныауз расположено на Северном Кавказе. Промышленное оруденение на этом месторождении представлено двумя типами: скарново-шеелитовым и кварц-молибденовым. Для выяснения характера геохимической зональности скарново-шеелитового оруденения изучены скарново-шеелитовые залежи месторождения, приуроченные к метасоматически измененным разностям скарнов, а также к скарнированным пироксен-плагиоклазовым, биотит-амфиболовым и биотитовыми роговикам, подвергшимся последующим метасоматическим изменениям.

Месторождение Восток-II (Приморье) приурочено к контактовой зоне штока меловых гранодиоритов, прорывающих верхнепермские песчано-алевролит-кремнистые породы с невыдержаными горизонтами и линзами известняков. Рудные тела представлены крутопадающими залежами скарново-шеелитового состава. Изучение особенностей зонального распределения элементов-индикаторов показало, что на обоих месторождениях наиболее характерные надрудные индикаторы — Be и Sn, а подрудные — Bi и W. Сравнение аддитивного и мультиплекативного коэффициентов показывает, что второй имеет более выдержанное изменение с глубиной и способствует выявлению более контрастной зональности (табл. 42).

Таблица 42

Коэффициенты геохимической зональности первичных ореолов месторождения Восток-II

Сечение	$\frac{Sn+Be}{Bi+W}$	$\frac{Sn+Be}{Bi-W}$
I	0,31	0,06
II	0,02	0,05
III	0,01	0,0004
Коэффициент контрастности	31	150

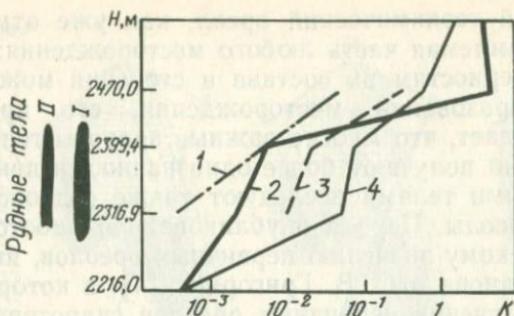


Рис. 110. Совмещенные графики изменения величины аддитивных и мультипликативных коэффициентов зональности первичных ореолов скарново-шебелитового оруденения:

коэффициенты: 1 — мультипликативный (Восток-II); 2 — мультипликативный (Тырнаус); 3 — аддитивный (Восток-II); 4 — аддитивный (Тырнаус)

При сравнении первичных ореолов скарново-шебелитового оруденения месторождений Тырнаус и Восток-II установлена их практически полная идентичность, которая проявляется в одинаковых элементах-индикаторах, схожих рядах зональности (см. табл. 7, гл. I), а также в существовании количественно единой геохимической зональности, когда адекватные сечения первичных ореолов различных месторождений характеризуются близкими значениями коэффициента геохимической зональности (рис. 110).

Глава IX

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1. Первичные ореолы — индикаторы генезиса месторождений

Изучение сопровождающих рудные месторождения геохимических аномалий выполняется прежде всего с целью разработки методики поисков. Однако, как показывают результаты обобщения данных геохимического изучения различных по условиям формирования месторождений, геохимические аномалии несут и ценную генетическую информацию. Отмеченное в первую очередь относится к первичным геохимическим ореолам, из группы геохимических аномалий наиболее тесно связанных с рудными месторождениями. Очевидно, что вопросы генезиса месторождений представляют значительный интерес на ранних стадиях изучения месторождений. Вместе с тем, и для давно известных месторождений, в том числе находящихся на стадии эксплуатации, во многих случаях существуют различные, часто резко противоположные представления о механизме локализации оруденения.

Первичный геохимический ореол, как уже отмечалось (см. гл. I), неотъемлемая часть любого месторождения: по выявленным закономерностям их состава и строения можно судить об условиях образования месторождения, его происхождении. Опыт показывает, что многие важные вопросы генезиса рудных месторождений получают более однозначное решение, когда наряду с рудными телами исследуют также сопровождающие их первичные ореолы. Первой опубликованной работой, посвященной генетическому значению первичных ореолов, является работа Э. Н. Баранова и С. В. Григоряна [4], в которой на основе детального изучения первичных ореолов гидротермальных урановых месторождений сделан ряд выводов о вероятном механизме формирования гидротермальных рудных месторождений.

Возможность использования результатов изучения первичных геохимических ореолов для расшифровки условий формирования месторождений спорного генезиса будет рассмотрена нами на примере стратиформного свинцово-цинкового и колчеданного месторождений. Многие вопросы генезиса стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах, несмотря на многолетнюю историю их изучения, все еще остаются нерешенными. Отсутствие единых взглядов на генезис подобных месторождений затрудняет разработку эффективных методов их поисков, в связи с чем исследования по уточнению некоторых вопросов генезиса этих месторождений весьма актуальны, тем более если учесть возросшее за последние годы значение месторождений этого типа как важнейшего источника полиметаллов.

Генетическое значение первичных геохимических ореолов свинцово-цинковых стратиформных месторождений рассматривается по результатам изучения месторождения Сумсар.

Сумсарское рудное поле расположено на южном склоне Чаткальского хребта в Кыргызстане. Свинцово-цинковое месторождение локализовано в пределах верхнего горизонта живетских доломитов, повсеместно обогащенных Pb и Zn. Рудовмещающие карбонатные пласти смяты в складки и местами разбиты разрывными нарушениями. Рудные тела месторождения имеют пластообразную форму с нечеткими границами, устанавливаемыми по данным опробования. Руды прожилковые, вкрашенные и массивные. Основные рудные минералы месторождения — галенит и сфалерит. В меньших количествах встречаются пирит, марказит, блеклая руда и халькопирит. Распределение ряда химических элементов по одному из типоморфных разрезов через слепое рудное тело 8 месторождения Сумсар показано на рис. 111.

В оклорудном пространстве в пределах рудовмещающего продуктивного горизонта известняков и доломитов в распределении элементов-индикаторов устанавливается отчетливая вертикальная зональность: одни элементы (As, Ba, Ag) образуют наиболее широкие и контрастные ореолы в надрудных частях

Геологический разрез

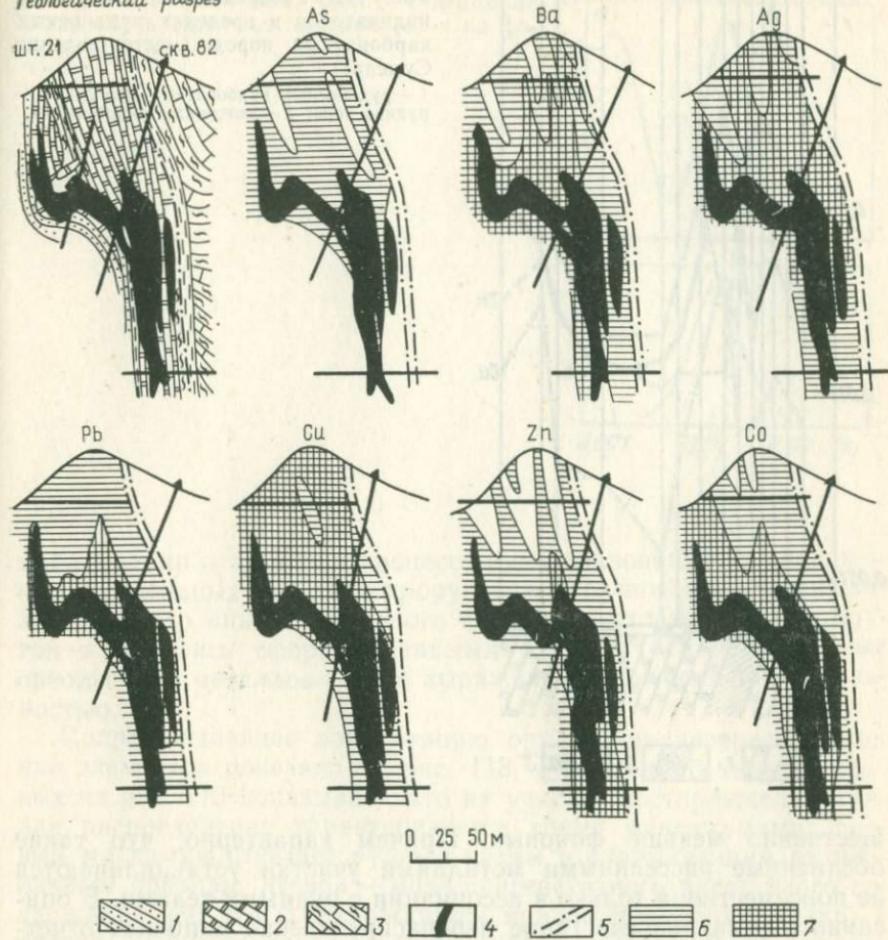


Рис. 111. Первичные ореолы элементов-индикаторов в разрезе (месторождение Сумсар):

1 — песчаники; 2, 3 — рудоносные карбонатные породы; 4 — рудное тело; 5 — дизъюнктивные нарушения; 6, 7 — первичные ореолы (7 — поля повышенных содержаний элементов)

околорудного пространства и на уровне верхних частей рудных тел, другие (Zn, Co, Cu) — на уровне нижних частей разреза.

Геохимическая зональность месторождения Сумсар является аналогом зональности первичных ореолов описанных ранее гидротермальных месторождений (см. табл. 7, гл. I).

Наряду с этим установлены и отличия: прежде всего отчетливый стратиграфический контроль не только свинцово-цинкового оруденения, но и окаймляющих его первичных ореолов, которые практически не выходят за пределы продуктивной пачки карбонатных пород, а также наличие в пределах рудовмещающей пачки участков с содержанием элементов-индикаторов, су-

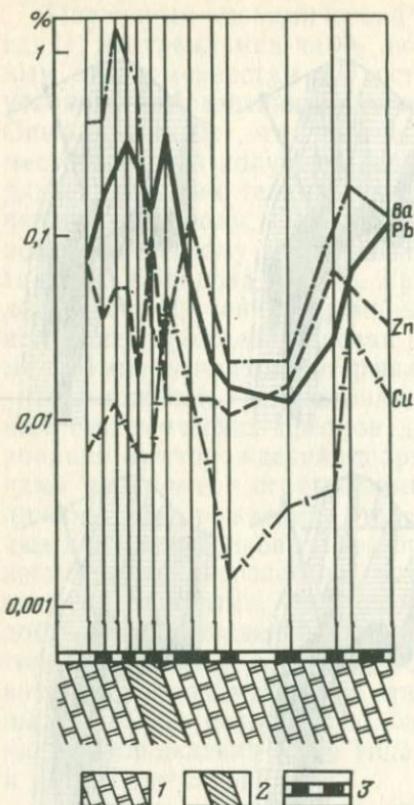


Рис. 112. Распределение элементов-индикаторов в пределах рудоносных карбонатных пород (месторождение Сумсар):

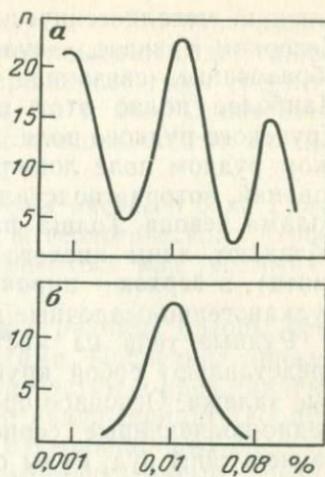
1 — рудоносные карбонатные породы; 2 — рудное тело; 3 — интервалы опробования

щественно меньше фоновых. Причем характерно, что такие обедненные рассеянными металлами участки устанавливаются не повсеместно, а только в ассоциации с рудными телами. В описанном нами разрезе такое перераспределение наиболее отчетливо для Zn. На рис. 112 в зоне, прилегающей к рудному телу, наблюдается резкое падение содержаний рудных элементов в продуктивной пачке и дальнейшее повышение на удалении от рудного тела.

Приведенные данные позволяют считать, что при формировании рудных тел имело место перераспределение рудных компонентов, в частности Pb и Zn в пределах продуктивной пачки карбонатных пород, первоначально обогащенных этими элементами. Соседство участков выноса Pb, Zn и других элементов с рудными телами дает возможность высказать предположение о заимствовании этих элементов из вмещающих пород при локализации оруденения.

Таким образом, вероятно в пределах изученного стратиграфического месторождения наблюдается отчетливое эпигенетическое перераспределение в карбонатных пластах как рудообразующих металлов, так и их спутников. С одной стороны, в результате

Рис. 113. Распределение частот содержаний цинка (n) в первичных ореолах (a) и на фоновом участке (b)



мобилизации и выноса в процессе рудообразования их содержание в отдельных участках продуктивной толщи резко уменьшилось и стало ниже стабильного фонового содержания, а с другой — оказались сформированными рудные тела и первичные ореолы этих металлов с ярко выраженной вертикальной зональностью.

Сопровождающее локализацию оруденения перераспределение элементов показано на рис. 113. Анализ особенностей криевых на рис. 113 показывает, что на участке месторождения кривая распределения характеризуется тремя максимумами: первый максимум отвечает рудным телам и окаймляющим их первичным ореолам, второй — моде сингенетического рассеянного содержания Zn, что подтверждается кривой фонового участка, а третий — фиксирует зоны интенсивного «выноса» Zn из продуктивных карбонатных пород. Если учесть, что зоны выноса рудоносных элементов встречаются исключительно в связи с концентрированным оруденением, то можно сделать вывод о диплогенетическом (по Т. Ловерингу) генезисе месторождения Сумсар, сущность которого сводится к гидротермальной мобилизации в рудные залежи металлов из карбонатных пород, сингенетично обогащенных этими элементами.

Другая группа месторождений, генезис которых постоянно вызывает споры, представлена колчеданными рудными залежами сложного генезиса. Первичные геохимические ореолы месторождений этого типа имеют ярко выраженные и обусловленные специфическим генезисом оруденения черты, которые в необходимых случаях также могут быть использованы как индикатор генезиса этой группы месторождений.

В качестве примера рассмотрим медно-колчеданное месторождение Уруп (Северный Кавказ). Основной процесс, опреде-

ляющий металлогенический облик зоны Передового хребта на Северном Кавказе, — вулканогенно-осадочное колчеданное рудообразование, связанное со спилит-кератофировой формацией. Наиболее полно этот процесс проявлен на месторождениях Урупского рудного поля. Медно-колчеданное оруденение в Урупском рудном поле локализовано в толще вулканогенных образований, которая подстилается и перекрывается осадочными породами девона. Толща фациально неоднородна, в низах ее преобладают лавы кислого и основного состава (кизильская свита), в верхах — пирокластические и тесно связанные с ними вулканогенно-осадочные породы (картджюртская свита).

Рудные тела на месторождениях Урупского рудного поля представляют собой крупные согласные линзы и пластообразные залежи. Основное промышленное значение имеют сплошные медно-колчеданные, серно-колчеданные и медно-цинково-колчеданные типы руд. Руды сложены пиритом, халькопиритом, сфalerитом, борнитом, галенитом. Все рудные тела сопровождаются гидротермальными изменениями вмещающих пород (окварцевание, серicitизация, хлоритизация, пиритизация). Вокруг главной залежи Урупского месторождения интенсивное гидротермальное изменение пород наблюдается только со стороны лежачего бока. Геохимические особенности месторождения изучены Н. В. Резниковым и автором. В распределении основных компонентов руд на месторождении установлена концентрическая геохимическая зональность. От центральной части залежи (серно-колчеданные руды) к западному флангу установлен следующий ряд элементов: Co—Mo—(Cu, Zn)—(As, Ag).

В породах надрудной толщи четко выделяют ореолы двух морфологических типов. Первый представлен группой ореолов линзовидной формы, расположенных параллельно главной залежи и удаленных от нее в среднем на 150 м («обособленные» ореолы), второй — узкой ореольной полосой, тесно примыкающей к кровле главной залежи (см. рис. 64). Оба типа ореолов характеризуются незначительными размерами (мощность 10—50 м, длина 100—200 м, редко 600 м), неполным набором элементов-индикаторов и их низким содержанием. Наиболее значительные размеры имеют первичные ореолы Cu, Pb и Zn, внутри которых располагаются ореолы Ag и Mo. Аномальные содержания Co и As отмечаются в единичных пробах. Средние содержания элементов-индикаторов в ореолах превышают фоновые в 2—5 раз.

Детальное изучение пород, вмещающих обособленные ореолы, позволило установить, что аномальные содержания элементов-индикаторов, как правило, приурочены к прослойям туффитов, туфопесчаников, кварцитовидных пород, филлитовидных сланцев, к kontaktам пород различного состава (см. рис. 64). Породы часто окварцовены, эпидотизированы, гематитизированы и содержат сульфиды. При этом отмечено, что гематитизированные туфы кислого состава характеризуются повсеместными

аномальными содержаниями Pb, реже — Cu и Zn, окварцованные и окремненные участки пород — аномальными содержаниями Mo, эпидотизированные, а пиритизированные туфы среднего состава — повышенными содержаниями Co и Mo. Отмеченные изменения пород с зонами дробления и трещиноватости не связаны.

Таким образом, «обособленные» ореолы висячего бока Главной залежи по отсутствию зональности и геологическому строению вмещающих пород могут рассматриваться как геохимические аномалии, обусловленные ЗРМ.

В подрудной толще главной залежи первичные ореолы пространственно совмещены с метасоматитами. Последние образовались по различным литологическим разностям и представлены рассланцованными кварц-серicitовыми, кварц-серийт-хлоритовыми и кварц-хлоритовыми породами с неравномерно рассеянной вкрапленностью сульфидов. Мультиплекативные ореолы элементов-индикаторов мощной полосой (до 200 м) окаймляют главную залежь со стороны лежачего бока и весьма узкой (5—20 м) — со стороны висячего бока (см. рис. 64).

Наиболее контрастная зональность первичных ореолов проявляется в плане рудной залежи. По простирации месторождения, как показано на рис. 64, в ореоле на флангах залежи наблюдается возрастание роли Zn, Pb, Ag, а в центре — Cu, Co и Mo. В соответствии с этой зональностью мультиплекативный коэффициент зональности возрастает с удалением от рудного тела в стороны, фиксируя контрастную концентрическую геохимическую зональность первичных ореолов относительно рудной залежи: графики изменения (в плоскости рудной залежи) мультиплекативного коэффициента геохимической зональности с закономерным «провалом» в центральной части рудной залежи фиксируют рудопроводящие каналы, по мере удаления от которых в стороны коэффициент монотонно и достаточно контрастно возрастает, отражая тем самым сложный гидротермально (вулканогенно)-осадочный генезис месторождения. Очевидно, что если бы описываемое месторождение своим возникновением было бы обязано только гидротермальному процессу, то график коэффициента геохимической зональности имел бы монотонно восходящий вид.

Эти специфические особенности первичных ореолов, обусловленные вулканогенно-осадочным генезисом месторождения, определяют и специфику геохимических поисков в районе данного месторождения.

2. Первичные ореолы при изучении геологического строения месторождений

Опыт показывает, что результаты изучения первичных ореолов во многих случаях могут быть использованы для решения

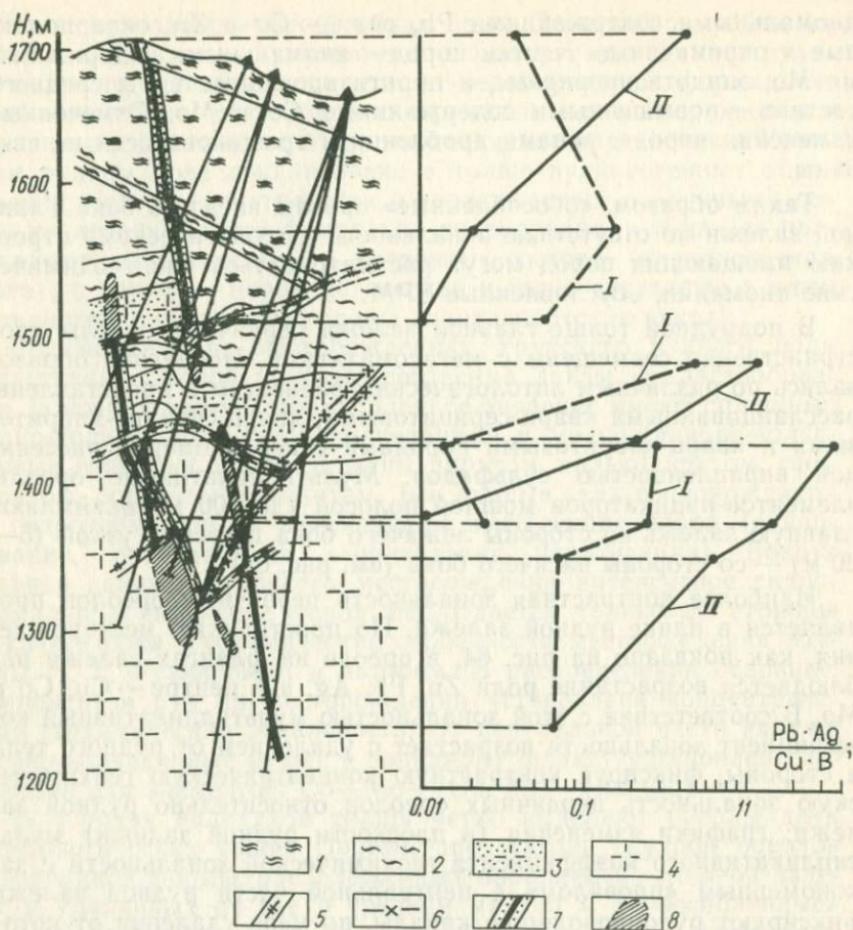


Рис. 114. Геологический разрез и графики изменения с глубиной коэффициентов зональности:

графики: I — парных отношений Pg/Cu ; II — мультиплакативного коэффициента; 1 — фальзит-порфирь; 2 — туфолованы фельзит-порфиров; 3 — туфы андезито-дацитовые; 4 — андезит-дацитовые порфириты; 5 — дайки диабазовых порфиритов; 6 — зона разломов; 7 — рудные тела; 8 — контуры рудных зон в новой интерпретации

и более частных задач, обычно возникающих при расшифровке условий формирования тех или иных месторождений.

Особенности развития первичных ореолов могут быть использованы для правильной увязки данных горных и буровых работ при оконтуривании рудных тел. На рис. 114 изображен один из вариантов увязки рудных подсечений на полиметаллическом месторождении Тарыэкан (Центральный Карамазар, Таджикистан): единая кругопадающая рудная зона разбита на три блока, смешенных относительно друг друга пострудными подвижками. Однако, как показали результаты изучения особенностей первичных ореолов (см. рис. 114), рассмотренный вариант увяз-

ки данных разведки не отражает реальную картину локализации оруденения на месторождении. В действительности, месторождение представлено тремя самостоятельными кулисорасположенными рудными телами, каждое из которых сопровождается первичными ореолами с отчетливой вертикальной зональностью, повторяющейся в строении ореолов каждого из рудных тел.

Для иллюстрации особенностей первичных ореолов на рис. 114 приведены графики изменения мультиплекативного коэффициента геохимической зональности вида $\frac{Ag \cdot Pb}{Cu \cdot Bi}$. В данном коэффициенте использованы основные элементы-индикаторы описываемого типа оруденения. Эти графики однозначно указывают на самостоятельный характер рудных тел: мультиплекативные коэффициенты зональности по всем рудным телам укладываются в строго определенный интервал значений — сотые доли единицы в нижних частях тел и десятые — в верхних. Очевидно, что в случае пострудного смещения частей единой рудной зоны близкими значениями коэффициента зональности должна была бы характеризоваться пара следующих сечений рудных зон: нижняя часть верхнего рудного тела и верхняя часть нижнего. Доказательством отсутствия пострудных смещений служит также наличие надрудных ореолов по существу слепого рудного тела (см. рис. 114, ниже рудного тела). Эти ореолы выявлены в результате опробования керна скважин в разрезе, расположенному рядом с описываемым. Как следует из рис. 114, надрудные ореолы, как и следовало ожидать, отличаются максимальным значением коэффициента геохимической зональности. Отметим, что при подобных построениях, связанных с детальным изучением внутренней структуры первичных ореолов, особенно эффективно использование суммарных ореолов, в частности мультиплекативного коэффициента геохимической зональности, с помощью которого, как уже отмечалось неоднократно, удается выявить в строении ореолов более контрастную и, что особенно важно при генетических построениях, более стабильную зональность. Так, парное индикаторное отношение Ag к Cu, использованное в качестве оценки вертикальной зональности, из-за значительных флюктуаций выдержанной зональности в строении первичных ореолов не вскрыло (см. рис. 114).

Особенности пространственной геохимической зональности первичных ореолов гидротермального оруденения могут также использоваться для определения вероятных направлений и путей движения рудоносных растворов в процессе локализации рудных залежей. Знание этих особенностей рудлокализации, естественно, во многом способствует правильной расшифровке условий формирования тех или иных месторождений.

Вероятное направление рудообразующих растворов при локализации оруденения на скарново-свинцово-цинковом месторождении

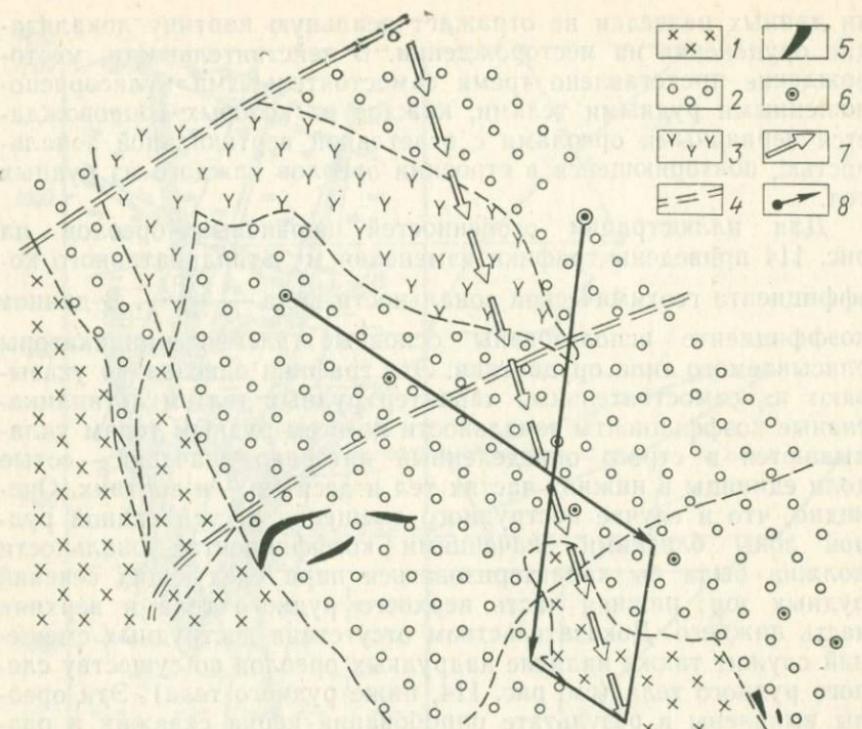


Рис. 115. Определение вероятного направления движения рудообразующих растворов в плане:

1 — андезит-дацитовые порфиры; 2 — известняково-аркозовые конгломераты; 3 — эффузивные диорит-порфирь; 4 — разрывные нарушения; 5 — рудные поля; 6 — скважины и линии разрезов; 7 — вероятное направление движения рудоносных растворов; 8 — направление возрастания мультиплексивного коэффициента зональности

рождении Тутлы-1 показано на рис. 115. Установленная на этом месторождении геохимическая зональность использовалась для определения направления движения рудообразующих растворов. Для решения этой задачи на двух взаимно пересекающихся (наиболее представительных) линиях разрезов отложили отрезки, по длине пропорциональные градиенту в этом направлении мультиплексивного коэффициента геохимической зональности ($Sb \cdot Ag / Pb \cdot Zn$). Направление поступления рудообразующих растворов в процессе локализации рудных тел будет совпадать с направлением результирующего вектора геохимической зональности первичных ореолов, показанного на геологической схеме месторождения (см. рис. 115). Наиболее вероятные рудоподводящие структуры — кругопадающие дизъюнктивные нарушения северо-восточного направления, что, кстати, подтверждает представление исследователей, изучавших это месторождение.

При расшифровке условий формирования тех или иных месторождений во многих случаях возникают трудности в опре-

делении времени формирования оруденения, в частности относительного возраста оруденения, знание которого обычно имеет принципиальное значение как для понимания механизма формирования месторождения, так и для выбора рациональной методики поисков подобных месторождений. Исследования показывают, что результаты изучения первичных ореолов в ряде случаев могут быть привлечены для решения этой задачи. В качестве примера рассмотрим опыт использования особенностей развития первичных ореолов для определения возраста оруденения медного месторождения Кафан, расположенного на юго-востоке Армении. На этом месторождении медное оруденение залегает в толще среднеюрских (байос) вулканогенных пород, представленных кварцевыми, кварц-плагиоклазовыми и плагиоклазовыми порфиритами. В туффогенно-осадочной толще верхней юры (оксфорд — кимеридж) оруденения не встречено.

Несмотря на то, что месторождение известно давно, до сих пор не существует единой точки зрения о возрасте оруденения. Одни исследователи считают возраст промышленного медного оруденения допозднеюрским, другие — неогеновым. Очевидно, что правильное определение возраста оруденения в данном случае имеет не только теоретическое (генезис оруденения), но и жизненно важное для месторождения практическое значение, ибо определяет направление дальнейших поисковых работ. При действительно более молодом неогеновом возрасте не исключено обнаружение промышленного оруденения в толще верхнеюрских пород, занимающих в пределах рудного района обширные площади. Более древний возраст оруденения автоматически исключает эти породы из сферы поисковых и разведочных работ. Знание возраста оруденения существенно влияет и на выбор рациональной методики поисковых работ.

Применительно к условиям Кафанского рудного поля важный вопрос — методика поисков локализованных в среднеюрских породах (наиболее благоприятных для локализации промышленного медного оруденения) рудных тел. Если оруденение доверхнеюрское, то естественно, геохимическое опробование верхнеюрских пород исключается и поиски перекрытых верхнеюрскими породами рудных тел в средней юре должны проводиться по принципиально иной методике.

С целью выяснения возможности использования результатов геохимического опробования для уточнения относительного возраста медного оруденения Кафанского рудного района проводилось геохимическое опробование коренных пород по специально выбранным разрезам. На рис. 116 приведен один из разрезов, по которому скважинами вскрыт достаточно полный для описываемого района разрез средне- и верхнеюрских пород с медной минерализацией в продуктивном горизонте среднеюрских вулканогенных пород. Как видно на рис. 116, ореолы Си и ее элементов-спутников «упираются» в горизонт верхнеюрских туфопесчаников. Эта особенность ореолов наиболее четко прояв-

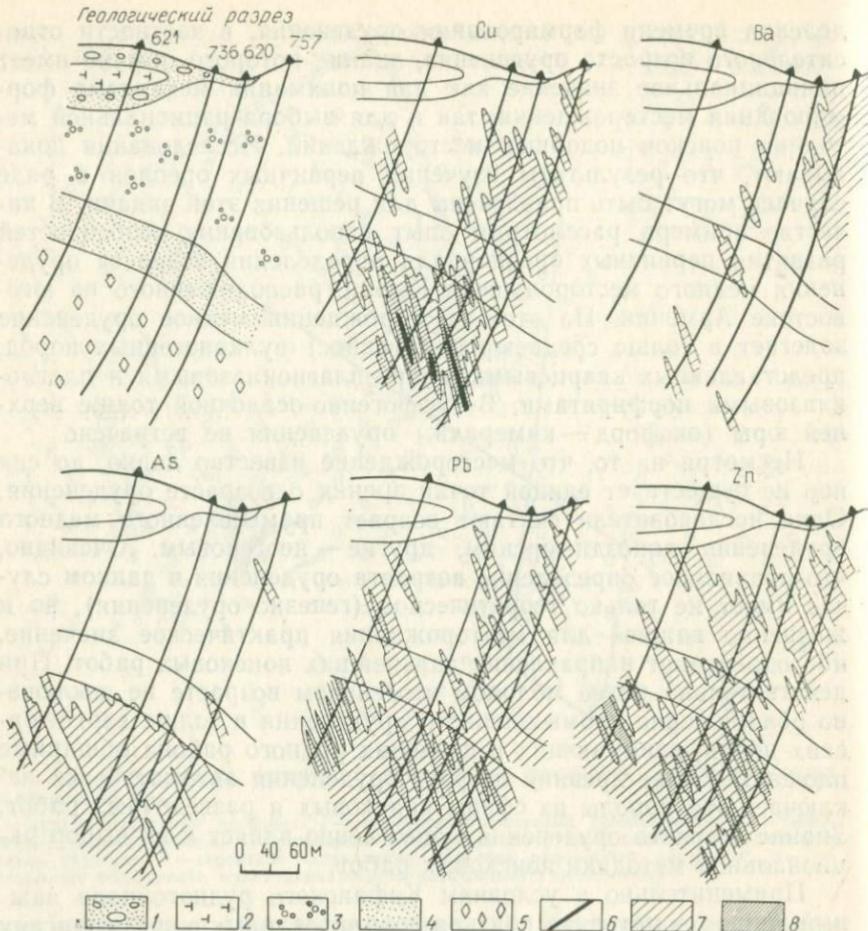


Рис. 116. Первичные ореолы вокруг рудных жил:

1 — четвертичные отложения; 2 — базальты; 3 — туфоконгломераты; 4 — туфопесчаники; 5 — кварцевые порфиры; 6 — рудные тела; 7, 8 — первичные ореолы (8 — поля повышенных содержаний элементов)

лена для Ag и As. Создается впечатление более молодого возраста (относительно оруденения) верхнеюрских отложений. Однако детальное изучение первичных ореолов показало, что при усилении ореолов с помощью метода построения мультиплективных аномалий мультиплективные ореолы отчетливо «проникают» в породы верхней юры, однозначно свидетельствуя о более молодом возрасте оруденения.

Причиной слабого развития ореолов в породах верхней юры, а также отсутствия в них промышленного медного оруденения, вероятно, является то обстоятельство, что верхнеюрские отложения, особенно туфопесчаники, послужили своеобразным экраном для рудоносных растворов прежде всего из-за неблагопри-

ятных для рудоотложения физико-механических свойств: эффективная пористость туфопесчанников по сравнению с породами средней юры существенно меньше. Как показали другие испытания образцов пород, верхнеюрские породы менее склонны к трещинообразованию, а следовательно, и менее благоприятны для рудоотложения. Выводы о более молодом характере оруднения и проникновении первичных ореолов в верхнеюрские породы полностью подтвердились последующим литохимическим площадным опробованием коренных пород позднеюрского возраста: в них были выявлены перспективные геохимические аномалии.

Глава X КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рудные месторождения, как известно, представляют собой одну или несколько сближенных в пространстве рудных залежей, содержащих те или иные полезные компоненты в концентрациях, рентабельных для разработки в данных условиях. Уровень концентраций основных полезных компонентов в ореоле, как правило, ниже, чем в рудной залежи, но запасы значительны: они обычно больше, чем в самой рудной залежи, так как размеры первичных ореолов значительно превосходят размеры рудных залежей.

Изучение первичных ореолов месторождений (установление размеров первичных ореолов, подсчет ресурсов заключенных в них полезных компонентов) позволяет прежде всего определить возможные резервы добычи на этом месторождении полезного ископаемого. Многолетняя практика горнодобывающих работ отчетливо показывает, что в связи с резким ростом объема добываемых из недр Земли полезных ископаемых в разработку вовлекаются более бедные руды, т. е. со временем происходит постоянное снижение в добываемых рудах содержания полезного компонента. Это, в свою очередь, приводит к резкому увеличению количества добываемых из недр горных пород. Вот почему своевременное изучение первичных ореолов и выяснение их параметров имеет важное практическое значение. Оно позволяет надежно прогнозировать перспективный рост объемов добычи полезного ископаемого с вытекающими отсюда последствиями, в том числе и экологическими.

Другой важный аспект изучения на стадии разведки особенностей состава и строения первичных геохимических ореолов — проблема комплексной разработки месторождения, под которой понимается извлечение из руд месторождения не одного, а нескольких типоморфных для данного месторождения полезных компонентов. Геохимическое изучение месторождения, в том числе и исследование первичных ореолов, позволяет установить присутствие на месторождении других полезных компо-

нентов и, что самое главное, определить уровень их концентраций как в рудных залежах, так и в окаймляющих их первичных геохимических ореолах. Именно эти данные являются основополагающими при решении весьма сложных вопросов комплексного освоения месторождения.

Повышение требований к экологической безопасности разработки месторождений полезных ископаемых ставит на повестку дня более детальное, чем это делается сейчас, изучение вещественного состава месторождения, имея в виду прежде всего наличие, уровни концентрации и другие особенности (формы нахождения и др.) широкой гаммы химических элементов, сопровождающих основной извлекаемый компонент данного месторождения.

В настоящее время оценка элементов-спутников проводится в пределах так называемых промышленных контуров руд, под которыми подразумеваются участки, где содержание полезного компонента (обычно одного ведущего) выше какого-то граничного («бортового») содержания, ниже которого при данной конъюнктуре и уровне развития технологии разработка месторождения и технологический передел руд перестают быть рентабельными. Таким образом, мы приходим к выводу о субъективном характере рудных тел, границы которых меняются в зависимости от конъюнктуры на данный компонент, а также от экономического положения месторождения и уровня развития технологии передела руд. В связи с отмеченным возникает необходимость при оценке комплексности руд и планировании способа их отработки и технологии переработки выполнение комплексных исследований привязать к геологическим контурам месторождений, в качестве которых следует принять внешнюю границу окаймляющих месторождения первичных геохимических ореолов.

«Включение» первичных ореолов в состав месторождения не только обеспечивает месторождениям объективные границы, что само по себе уже немаловажно, но и повышает эффективность геологического изучения месторождения, прежде всего благодаря обеспечению высокой информативности результатов изучения вещественного состава месторождений и их достоверных ресурсов, имея в виду не только основной компонент (компоненты), но и широкую гамму элементов-спутников. При оценке комплексности месторождений особенно важен учет геохимической зональности первичных ореолов (см. гл. I).

Детальное геохимическое изучение месторождений, выполненное по результатам опробования на широкий круг химических элементов, позволило установить отчетливую пространственную зональность в распределении различных химических элементов: максимальные концентрации надрудных для данного типа элементов во многих случаях характерны не для рудного тела, а для надрудных участков, удаленных от рудного тела иногда более, чем на сотни метров.

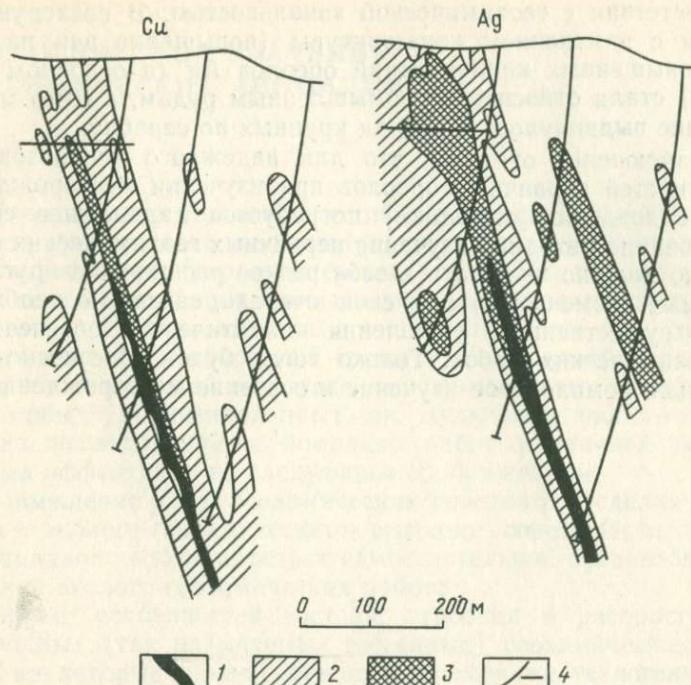


Рис. 117. Первичные ореолы Cu и Ag вокруг слепого полиметаллического оруденения:

1 — слепое рудное тело; 2, 3 — первичные ореолы (3 — поля повышенной интенсивности); 4 — скважины и подземные горные выработки

Приведенные данные о несовпадении участков максимальных концентраций многих элементов с рудными телами (участки скопления основных компонентов месторождения) подтверждают необходимость широкого использования геохимической зональности первичных ореолов в процессе изучения месторождения с целью выбора наиболее оптимальной системы освоения месторождения для обеспечения ее максимальной комплексности. Рассмотренные примеры зональности первичных геохимических ореолов месторождений показывают также, что методика изучения элементов-спутников (или попутных компонентов) только в контурах рудных тел (оконтуренных по основному компоненту) не может обеспечить объективную информацию, поскольку при этом многие элементы могут быть не учтены из-за «отрыва» участков их накопления от рудных тел.

В качестве характерного примера можно сослаться на уже описанное нами полиметаллическое месторождение Канимансур, первоначально изученное как свинцовое (см. рис. 12). Как видно на рис. 117, поле максимальной интенсивности ореола Ag не совпадает с промышленными контурами рудного тела (оконтуренного по Pb), а сдвинуто вверх по восстанию рудного тела

в соответствии с геохимической зональностью. В последующем в связи с изменением конъюнктуры (повышение цен на Ag) поля повышенных концентраций ореолов Ag (в основном надрудные) стали относить к промышленным рудам, а само месторождение выдвинулось в разряд крупных по серебру.

В заключение отметим, что для надежного использования возможностей первичных ореолов при изучении месторождений [по предложенной методике] потребуется дальнейшее совершенствование методики изучения первичных геохимических ореолов. Оно должно включать в себя резкое расширение круга исследуемых элементов, что, в свою очередь, связано с необходимостью существенного улучшения аналитической обеспеченности геохимических работ. Только тогда будет обеспечено действительно комплексное изучение и освоение месторождений.

Часть III

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Рассмотрение техногенных геохимических аномалий определяется, прежде всего, исключительной важностью проблем охраны окружающей природной среды, а также признанием серьезного характера ущерба, наносимого природе разработкой месторождений. Немаловажно и то обстоятельство, что проблема оценки состояния природной среды в основе своей является задачей геохимической не только для горно-рудных районов, но и для любых урбанизированных зон. Включение эколого-геохимических исследований в комплекс работ рудничной геохимии весьма эффективно по следующим соображениям:

совмещение работ геохимических поисков в пределах рудного поля с эколого-геохимическими выгодно экономически, поскольку отпадает необходимость в самостоятельной организации собственно эколого-геохимических работ;

знание особенностей состава, строения и распространения природных (так называемых геогенных) геохимических аномалий, на которые накладываются современные техногенные геохимические аномалии, представляют собой обязательное условие правильной оценки состояния окружающей геологической среды, служащей основой разработки высокоэффективных природоохранных мероприятий;

эколого-геохимические исследования (в комплексе с геохимическим изучением месторождений) в начальной стадии промышленного освоения территорий создает определенную традицию экологического природопользования, большое народнохозяйственное значение которого трудно переоценить.

Поиски, обнаружение и последующая эксплуатация месторождений сопровождаются существенным антропогенным воздействием на окружающую природную среду. В оценке экологических последствий этого воздействия существенную помошь могут оказать геохимические методы, в связи с чем эту задачу следует считать одной из важнейших для рудничной геохимии.

Глава XI

РУДОГЕННЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ

1. Распространенность рудогенных аномалий

С экологических позиций рудные месторождения являются природными геохимическими концентраторами токсичных химических элементов [49]. Зона влияния месторождений на биологи-

гические системы определяется ландшафтно-геохимическими особенностями рудных районов и провинций. Она обусловлена интенсивностью выноса химических элементов при выветривании и условиями их распределения при образовании природных вторичных ореолов и потоков рассеяния. По морфоструктурным особенностям ореолов и потоков в ландшафте можно дифференцировать территории по уровню воздействия на природные биогеоценозы. Характер функционального использования этих территорий определяет степень их влияния на формирование качества среды обитания человека.

Анализ материалов по ряду горно-рудных районов СССР показывает, что экологическая специфика этих территорий в ходе их хозяйственного освоения пока еще почти не учитывается. Так, большинство поселений геологоразведочных партий и экспедиций и многие поселки горно-обогатительных предприятий размещают в непосредственной близости от разведемых и эксплуатируемых месторождений. Во многих случаях оказывается, что формируемые при этом селитебные территории, включающие в себя садово-огородные участки, размещаются в пределах интенсивных вторичных ореолов рассеяния, как правило, концентрирующих широкую ассоциацию токсичных тяжелых металлов. В этих случаях часть используемого населением рациона растительной пищи может быть загрязнена.

В связи с отмеченным особое значение приобретают приведенные в работе данные о развитии в рудовмещающих коренных породах комплексных геохимических аномалий широкой гаммы химических элементов — первичных ореолов месторождений и рудопроявлений, а также пользующихся площадным распространением зон рассеянной рудной минерализации. Установлено, что запасы микроэлементов, большая часть которых токсична, в рудогенных аномалиях значительны: только в первичных ореолах, как показали соответствующие расчеты, они существенно превышают промышленные запасы (см. рис. 43). Это положение подтверждается также многочисленными приведенными графическими материалами, в том числе картой геохимических аномалий Каниманусского рудного поля (см. рис. 106), фиксирующей развитие рудогенных геохимических аномалий на значительной части площади рудного поля. Экологическая опасность этих аномалий определяется как тем, что они являются «поставщиками» в окружающую природную среду огромного количества токсичных элементов, так и тем, что в процессе их гипергенного разрушения формируются изначально загрязненные микроэлементами почвы, произрастающие на которых растения (в том числе и пищевые) также заражены рудогенными элементами. Для иллюстрации этого в табл. 43 приведены содержания наиболее распространенных рудогенных металлов в растениях, произрастающих на фоновом участке, а также в пределах рудогенной и техногенной аномалий (исследованные участки расположены в пределах Алавердского рудного района,

Таблица 43

Содержания металлов в растениях, в мг/кг сухого остатка

Металл	Фоновый участок (с. Дсех)	Аномалия	
		рудогенная (участок Негоц)	техногенная (г. Алаверди)
Cu	20,2	103	45
Pb	22,5	66	48
Zn	4,7	33,4	15,5

Армения). Как следует из данных табл. 43, в пределах рудогенной аномалии степень загрязнения растений металлами существенно выше.

Эти материалы обязательно должны быть учтены при хозяйственном и, прежде всего, сельскохозяйственном освоении территорий.

Справедливость высказанного положения подтверждает анализ карты гипергенных геохимических аномалий Хапчерангинского рудного поля (см. рис. 107), где оконтурены многочисленные гипергенные геохимические аномалии, выявленные в результате геохимического опробования почв.

Таким образом, геохимические карты рудных районов (как впрочем, и карты геохимических аномалий других масштабов), которые до недавнего времени составлялись исключительно для целей прогнозирования и поисков месторождений, имеют большое экологическое значение и должны быть использованы при разработке и реализации различных природоохранных мероприятий. Очевидно, что в этом случае соответствующим образом должны быть модифицированы методы и приемы как составления, так и особенно интерпретации подобных карт: в частности, должно быть усилено внимание к техногенным аномалиям, изучению чуждых для рудогенных аномалий компонентов и др.

Картирование рудогенных геохимических аномалий необходимо не только для оценки экологических последствий их проявления, но и для правильной оценки распространенности техногенных геохимических аномалий, поскольку в пространстве часто совмещаются эти два типа разнородных аномалий. Очевидно, что без учета такой суперпозиции аномалий невозможны разработка и осуществление природоохранных мероприятий.

2. Критерии идентификации рудогенных и техногенных аномалий

Как уже отмечалось, в районах, освоенных промышленностью, особенно горно-рудной, в результате геохимического опро-

бования наряду с рудогенными часто выявляют техногенные геохимические аномалии. Последние обычно во многом сходны с рудогенными и могут быть ошибочно отнесены к ним. Поэтому необходима разработка надежных критериев идентификации и исключения из фронта последующих детальных поисковых и оценочных работ геохимических аномалий техногенного происхождения. В качестве подобных критериев с успехом могут быть использованы выдержаные геохимические различия рудогенных и техногенных аномалий. Техногенные геохимические аномалии представляют собой определенную опасность при интерпретации геохимических аномалий вторичной (гипергенной) группы, поскольку первичные геохимические аномалии, развитые в коренных рудовмещающих породах, «индиферентны» к техногенному загрязнению.

Сравнительное изучение особенностей формирования, состава и строения техногенных и гипергенных рудогенных аномалий различных типов позволяет наметить геохимические различия рассматриваемых типов аномалий, которые могут быть использованы в качестве критериев разбраковки техногенных аномалий.

При поисках рудных месторождений наиболее широко используются литогеохимические методы, поэтому прежде всего следует рассмотреть критерии разбраковки техногенных геохимических аномалий, развитых в почвах территорий, прилегающих к промышленным предприятиям.

Пространственная связь аномалий с промышленными предприятиями. В большинстве случаев техногенная природа многих геохимических аномалий достаточно просто устанавливается при анализе пространственных взаимоотношений выявленных при поисках геохимических аномалий и промышленных предприятий, служащих источником техногенных аномалий. При этом особое внимание должно быть уделено горнодобывающим и геологоразведочным предприятиям, с которыми связаны техногенные аномалии, идентичные рудогенным, поскольку их источником является тот же рудный материал.

Связь аномалий с геологическим строением участка. Рудогенные геохимические аномалии, как известно, тесно связаны с геологическим строением участков, в пределах которых они развиты. Так, в строении и размещении аномалий, связанных с гидротермальными (постмагматическими) месторождениями, четко проявляется структурный контроль: поля максимальной интенсивности аномалий приурочены к рудоконтролирующим (рудовмещающим) структурам. Этот контроль обычно настолько четкий, что даже процессы гипергенного изменения не в силах его стереть. Гипергенное смещение аномалий по отношению к коренному источнику в большинстве случаев также не является существенной помехой для выявления геолого-структурного контроля в развитии рудогенных геохимических аномалий, ибо восстановление «исходных» позиций аномалий с учетом рельефа и

других ландшафтно-геохимических особенностей местности особого труда не представляет.

В отличие от рудогенных аналогов техногенные аномалии отчетливой корреляции с элементами геологического строения участков их развития не проявляют (техногенные поля аномальных концентраций по отношению к элементам геологического строения участков занимают, как правило, незакономерное, большей частью секущее положение). Эти специфические особенности пространственного развития техногенных геохимических аномалий с успехом можно использовать при интерпретации результатов геохимических поисков для определения природы выявленных геохимических аномалий.

Морфология аномалий. По морфологическим особенностям техногенные геохимические аномалии в большинстве случаев существенно отличаются от рудогенных. Последние развиты локальнее, образуя по площади более прерывистые и индивидуализированные аномальные поля, приуроченные к конкретным структурным элементам исследованных территорий.

Структура аномалий в плане. Сравнительное изучение особенностей распределения тех или иных элементов в аномалиях рудной и техногенной природы позволило установить также существенные различия этих двух групп аномалий по внутренней структуре, а также по пространственным взаимоотношениям в пределах единых комплексных аномалий полей моноэлементных аномалий. Отличие касается прежде всего зональности геохимических аномалий. Известно, что рудогенные геохимические аномалии в почвах более или менее полно наследуют морфологию и внутреннюю структуру своего первоисточника — первичных аномалий в коренных породах. По этой причине рудогенные аномалии в почвах обычно характеризуются своеобразной концентрической зональностью (поперечная зональность), обусловленной различиями в размерах (в основном в ширине) аномалий элементов-индикаторов: аномалии одних элементов согласно (концентрически) вписываются в другие, превосходящие их по размерам. Техногенным же геохимическим аномалиям подобная концентрическая зональность не свойственна: соотношение содержаний элементов в пределах аномального поля закономерных и существенных изменений не претерпевает.

Наряду с отмеченной поперечной зональностью, отражающей соотношение размеров моноэлементных аномалий вкрест простирации рудоносных зон, в строении рудогенных геохимических аномалий проявляется также отчетливая продольная зональность. Она отражает направление движения рудообразующих растворов вrudовмещающей структуре и уже рассмотрена нами (см. обобщенный ряд элементов-индикаторов зональности). В структуре вторичных ореолов рассеяния элементов в почвах, в соответствии с продольной зональностью развитых в коренныхrudовмещающих породах первичных ореолов, отчетливо проявляется закономерное смешение по простиранию рудоносной зо-

ны полей моноэлементных ореолов относительно друг друга в полном соответствии с рядами зональности элементов-индикаторов оруденения.

Для техногенных геохимических аномалий подобная продольная зональность не характерна. Повышение содержаний химических элементов к центру техногенных аномалий происходит с градиентом, более или менее одинаковым для всех элементов. В результате этого различные индикаторные отношения, в том числе и коэффициенты геохимической зональности рудогенных аномалий, в пределах аномальных полей техногенной природы существенных и выдержаных по определенным направлениям изменений не претерпевают. Эти различия в строении рудогенных и техногенных аномалий наиболее контрастно выявляются с помощью мультиплекативных коэффициентов геохимической зональности.

Следует, однако, иметь в виду, что по характеру геохимической зональности не во всех случаях удается провести однозначную идентификацию техногенных геохимических аномалий. Как уже отмечалось, отсутствие как поперечной, так и продольной зональности характерно не только для техногенных геохимических аномалий, но и для аномалий, представленных так называемыми ЗРМ. В подобных случаях, естественно, должны быть привлечены другие критерии, хотя в ряде случаев отнесение техногенных аномалий к ЗРМ в единую группу аномалий с практической точки зрения вполне оправдано: и те и другие бесперспективны и подлежат исключению из последующих детальных поисковых и оценочных работ.

Структура аномалий в разрезе. Сравнительное изучение поведения рудогенных и техногенных аномалий на глубину в разрезе почв и почвообразующих элювиально-делювиальных рыхлых отложений позволило выявить для сравниваемых типов аномалий существенные различия. Рудогенные аномалии с глубиной по мере приближения к коренным породам, как правило, становятся более широкими и интенсивными. В техногенных аномалиях установлена обратная картина: наиболее обогащенными («загрязненными») оказываются верхние части перекрывающих коренные рудовмещающие породы рыхлых отложений. Из изложенного следует, что в необходимых случаях для определения природы выявленных геохимических аномалий следует опробовать различные горизонты рыхлых отложений.

Концентрации элементов в аномалиях. В ряде случаев техногенная природа выявленных геохимических аномалий достаточно легко устанавливается по необычным для природных рудогенных аномалий содержаниям тех или иных химических элементов. Так, в зоне влияния предприятий черной металлургии почвы существенно обогащены Sb, Cd и в значительно меньшей степени Pb и Cu (табл. 44). Благодаря этому развитые здесь техногенные аномалии отличаются от любых других рудогенных существенно более высокими значениями от-

Таблица 44

Накопление элементов в почвах в зоне влияния различных производств

Отрасль промышленности	Коэффициент концентрации				
	1—5	5—10	10—50	50—100	Более 100
Черная металлургия	Co, Sr	Mo, Sn, Ni, Cr	W, Pb, Cu	Zn	Sb, Cd
Цветная металлургия	Bi, Cr, Sr	Ni	Mo, Sb	Cu, Cd, Pb	W, Sn, Zn
Приборостроение	Sr, Cr, Ni, Co, Cd, Bi, Mo	W, Cu	Zn, Sn	—	—
Машиностроение	Sr, Cr, Ni, Co, Mo, B	Bi, Cu, Sn	Zn, Pb, W	—	—
Химическая	W, Mo	—	—	—	—

ношения средних содержаний этих пар элементов. Причем наиболее контрастно сравниваемые аномалии разнятся по величине мультиплитативного коэффициента, который для рассматриваемого случая примет вид $\frac{Sb \cdot Cd}{Pb \cdot Cu}$. По величине этого коэффициента техногенные аномалии таких близких по геохимическому спектру производств (по сравнению с другими) как металлургия отличаются более, чем в 100 раз.

Геохимические особенности коренных пород. Природные геохимические аномалии в почвах, используемые в качестве поисковых признаков рудных тел и месторождений, как известно, формируются в результате гипергенного разрушения рудных тел и их первичных ореолов. Такая доказанная многолетней практикой геохимических поисков закономерная связь первичных и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов может быть успешно применена в качестве критерия для определения природы выявленных геохимических аномалий в почвах. Этот критерий из всех рассмотренных — наиболее надежен, однако его использование предполагает выполнение дорогостоящих работ по вскрытию и геохимическому опробованию коренныхрудовмещающих пород, подстилающих почвенные геохимические аномалии. Представительное изучение геохимических особенностей коренных пород в силу дороговизны этих работ, особенно в случае значительной мощности перекрывающих коренной субстрат рыхлых отложений, возможно только в исключительных случаях, поэтому при интерпретации результатов поискового геохимического опробования для разбраковки вероятных техногенных аномалий следует в основном пользоваться другими критериями. На них мы уже останавливались.

Особо следует рассмотреть случай, когда почвенно-геохимическое опробование проводится на площадях, где коренные рудовмещающие породы не повсеместно перекрыты рыхлыми от-

ложениими. Речь идет о площадях с так называемой островной обнаженностью, когда коренные породы обнажаются на поверхности в виде отдельных изолированных друг от друга участков. В связи с тем, что в условиях такой обнаженности невозможно выполнить представительное геохимическое опробование коренных пород по сети, рекомендуется даже на стадии детальных ($1 : 10\,000$ и крупнее) поисков геохимическому опробованию подвергать не коренные породы (что целесообразно в пределах площадей с удовлетворительной обнаженностью), а перекрывающие их рыхлые отложения с целью обнаружения коренного оруденения и его первичных ореолов по их гипергенным аналогам — развитым в почвах вторичным литохимическим ореолам рассеяния элементов-индикаторов.

Обоснованием для подобной рекомендации послужили результаты специальных экспериментальных исследований, показавших, что в условиях островной обнаженности опробование коренных пород дает искаженное представление о развитых в них геохимических аномалиях. Это искажение обычно проявляется в занижении содержаний элементов-индикаторов, ибо наиболее богатые рудной минерализацией зоны приурочены к тектонически ослабленным участкам, сильнее подверженным гипергенному разрушению, приводящему к формированию перекрывающего коренные породы чехла рыхлых отложений. Следовательно, происходит избирательное развитие перекрывающего коренные породы рыхлого почвообразующего чехла, что определяет в таких условиях большую представительность опробования почв.

Результаты опробования коренных пород на площадях с островной обнаженностью — недостаточно представительны для поисков, поскольку для обеспечения высокой эффективности работ необходимо не просто выделение геохимических аномалий. Современные требования к методике геохимических поисков включают в себя необходимость решения задачи поисков слепого и слабоэродированного оруденения, что в свою очередь требует не только решения альтернативной задачи (аномалия выявлена или нет), но и оценки уровня эрозионного среза, а также масштаба предполагаемого оруденения на основе точного определения величин различных параметров геохимических аномалий.

Что же касается рассматриваемой разбраковки техногенных аномалий, то для решения этой проблемы данные опробования коренных пород даже при весьма неудовлетворительной обнаженности могут оказать существенную помощь. Очевидно, что факт наличия или отсутствия геохимических аномалий в коренных породах уже позволит достаточно уверенно определить природу выявленных геохимических аномалий. В связи с этим в районах вероятного развития техногенных аномалий (наличие промышленных предприятий) при поисках по вторичным ореолам рассеяния элементов-индикаторов следует рекомендовать

также опробование коренных пород с целью использования этих данных при определении природы геохимических аномалий, выявленных в процессе поисковых работ. Сопоставление данных опробования коренных пород и почв позволит высказать более или менее обоснованные суждения о природе выявленных геохимических аномалий.

Изложенное свидетельствует об исключительной важности данных геохимического опробования для интерпретации гипергенных геохимических аномалий, обнаруженных в процессе геохимических поисков. При этом имеется в виду, что интерпретация аномалий включает в себя также решение вопроса о природе аномалий, прежде всего дифференциацию рудо- и техногенных аномалий. Это обстоятельство, а также особое по практической значимости положение первичных ореолов в группе рудогенных геохимических ореолов обусловливают исключительную актуальность исследований по изучению связей первичных и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов в условиях типоморфных ландшафтных обстановок.

Нами рассмотрены геохимические критерии идентификации техногенных аномалий в почвах, являющихся помехой для поисков рудных тел и месторождений по вторичным литохимическим ореолам рассеяния элементов-индикаторов. Данный тип техногенных геохимических аномалий — наиболее распространен, но он не единственно возможный. Техногенному загрязнению подвергаются также природные воды и атмосфера, что приводит к формированию техногенных гидро- и атмогеохимических аномалий. Эти аномалии существенно затрудняют, а в ряде случаев практически исключают поиски рудных тел и месторождений по их водным и газовым ореолам рассеяния.

Техногенная природа гидро- и атмогеохимических аномалий обычно достаточно уверенно определяется по закономерной пространственной связи этих аномалий с промышленными предприятиями — источниками техногенного загрязнения вод и воздушного бассейна. В необходимых случаях для уверенной идентификации техногенных гидрогеохимических аномалий могут быть использованы некоторые их специфические особенности. Так эти аномалии по сравнению с природными (рудогенными) аномалиями обычно менее устойчивы во времени. Режимные наблюдения позволяют выявить отчетливо пульсирующий характер изменения в аномалиях содержаний тех или иных компонентов, обусловленный прерывистым характером поставки предприятиями «загрязнителей» воды. В отличие от этого природные гидрогеохимические аномалии характеризуются строго постоянными во времени уровнями концентраций элементов-индикаторов. Весьма ценными при определении природы гидрогеохимических аномалий могут оказаться также сведения о геохимическом спектре (элементном составе) выбросов предприятий, имеющихся в районе поисковых работ.

Идентификация техногенной природы атмогеохимических аномалий в ряде случаев может быть успешно осуществлена на основе учета уровня концентрации тех или иных компонентов в приземной атмосфере. Для иллюстрации этого положения обратимся к опыту газорутутных поисков. Как уже отмечалось, фоновое содержание Hg в приземной атмосфере весьма стабильно для различных районов и это обстоятельство существенно облегчает обнаружение геохимических аномалий Hg (в приземной атмосфере), обусловленных природными объектами. При детальном изучении многих объектов установлено, что рудогенные аномалии Hg в приземной атмосфере обычно слабоконтрастны — коэффициент аномальности редко превышает первые единицы. В отличие от этого в техногенных аномалиях как правило фиксируются более высокие концентрации Hg, превышающие фон более чем на один порядок.

Завершая рассмотрение критериев идентификации техногенных аномалий, отметим, что работы по сравнительному изучению геохимических особенностей техно- и рудогенных аномалий и приведенные выше данные представляют собой первый опыт разработки подобных критериев. Дальнейшие работы, безусловно, позволят обогатить и усовершенствовать арсенал методических критериев и на этой основе существенно повысить надежность и эффективность разбраковки геохимических аномалий.

Одно из наиболее перспективных направлений исследований в рассматриваемой области — сравнительное изучение элементного состава, прежде всего количественных соотношений содержаний элементов в рудо- и техногенных аномалиях, сопровождающееся составлением типоморфных для сравниваемых групп аномалий рядов элементов. Эти ряды служат основой для выбора оптимальных для дифференциации техно- и рудогенных (природных) геохимических аномалий индикаторных отношений. Практика показала, что наиболее эффективны мультиплексные коэффициенты.

Глава XII

ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ

1. Экологическое значение геохимических методов

Особенности состава и распределения техногенных геохимических аномалий были рассмотрены нами исключительно с целью выявления эффективных геохимических критериев идентификации техногенных аномалий с целью повышения надежности оценки данных поискового геохимического опробования в районах повышенной вероятности распространения техногенных аномалий. Однако, как показали специальные исследования, результаты изучения особенностей техногенных геохимических аномалий могут иметь самостоятельное экологическое значение.

Они могут быть с успехом использованы для решения ряда важнейших задач охраны окружающей среды. Установлена высокая эффективность применения уже ставших традиционными методов геохимических поисков рудных месторождений для решения ряда экологических задач. В связи с отмеченным рассмотрим возможности и эффективность привлечения методических приемов рудничной геохимии при экологических исследованиях.

Процессы загрязнения окружающей среды по существу представляют собой процессы формирования техногенных ореолов и потоков рассеяния химических элементов и их соединений. В связи с этим для изучения и картирования этих ореолов вполне применимы приемы и методы, выработанные прикладной геохимией при поисках месторождений полезных ископаемых.

Использование геохимических методов при поисках рудных месторождений, начавшееся в 30-е годы, в настоящее время получило широкое развитие. Высокий научный и методический уровень. Каждый из методов имеет свою теоретическую основу и проверенный практикой набор методических приемов. Для проблемы изучения окружающей среды особенно важна высокая степень дифференциации геохимических методов по объектам опробования. Благодаря этому существующие в настоящее время геохимические методы с успехом можно использовать для адекватного современным требованиям изучения всех компонентов природной среды. Рассмотрим эти методы и их возможное применение при изучении окружающей среды.

Метод первичных геохимических ореолов. Заключается в геохимическом опробовании коренных пород с целью обнаружения сопровождающих рудные тела первичных ореолов типоморфных элементов-индикаторов. Отбираемые пробы коренных пород анализируются на широкий круг тяжелых металлов (более 30—40 элементов). В результате геологами уже сейчас накоплен огромный объем аналитических данных, количественно характеризующих распределение большого числа тяжелых металлов в различных горных породах. Эти материалы можно применять для определения вариаций фоновых содержаний тяжелых металлов, выявления пород с повышенными содержаниями тех или иных элементов, а также рудных скоплений, служащих естественным (первичным) источником поставки в окружающую среду избыточных количеств определенных элементов (так называемые «породные аномалии» и рудные тела с окаймляющими их первичными ореолами).

Изучение первичных ореолов рудных месторождений включает в себя детальное исследование форм нахождения химических элементов в рудах и первичных ореолах. Эти данные также представляют собой большую ценность для эколого-геохимических исследований — экологическая значимость химических элементов определяется не только уровнем концентрации, но и формами их нахождения. Например, повышенные концентрации В могут быть обусловлены как наличием турмалина, так и различ-

ных боратов. Последние благодаря высокой растворимости в природных водах более опасны для загрязнения окружающей среды, чем весьма устойчивый к выветриванию турмалин.

Почвенно-геохимический метод. Основан на использовании для поисков вторичных ореолов, которые представляют собой участки с повышенными (по сравнению с фоном) содержаниями элементов (обычно тяжелых металлов) в почвах. Известно, что в результате площадного опробования почв во многих районах фиксируют геохимические аномалии, обусловленные как минерализованными зонами в коренных породах, так и техногенным загрязнением почв. При интерпретации результатов поискового опробования почв обращается особое внимание на идентификацию техногенных геохимических аномалий, являющихся своеобразной «помехой» для поисков. Наряду с этим, при изучении процессов загрязнения окружающей среды микроэлементами могут быть выявлены вторичные ореолы, представляющие собой результат экзогенного разрушения руд и первичных ореолов, являющихся природными источниками поставки в окружающую среду различных химических элементов.

Из изложенного можно сделать вывод о целесообразности широкого использования почвенно-геохимического метода поисков рудных месторождений для изучения процессов загрязнения почв в связи с урбанизированными зонами. Вместе с тем, результаты геохимического опробования почв, выполненного для поисков рудных месторождений, следует интерпретировать так, чтобы были обнаружены и оконтурены геохимические аномалии техногенной природы. Речь по существу идет о необходимости широкого применения результатов геохимических поисков рудных месторождений для решения задач экологии, прежде всего для оконтуривания площадей техногенного загрязнения окружающей среды различными химическими элементами, а также определения элементного состава, интенсивности и других параметров загрязнения. Актуальность и большое народнохозяйственное значение подобной своеобразной «utiлизации» результатов выполняемого для поисков рудных месторождений почвенно-геохимического опробования станут очевидны, если учесть огромные объемы подобного опробования (ежегодно в нашей стране при поисках рудных месторождений отбирают миллионы проб почв).

Метод литогеохимических потоков рассеяния элементов-индикаторов. В литературе известен как метод донных осадков. Сущность метода сводится к опробованию мелкой фракции донных осадков в гидросети для установления типоморфных элементов-индикаторов, сопровождающих рудные месторождения. Наряду с обнаружением ореолов минерализованных зон (рудных тел, первичных ореолов) по результатам опробования донных осадков водотоков отчетливо фиксируются техногенные источники поступления металлов, и поэтому этот метод с успехом может быть использован и для решения ряда экологических задач.

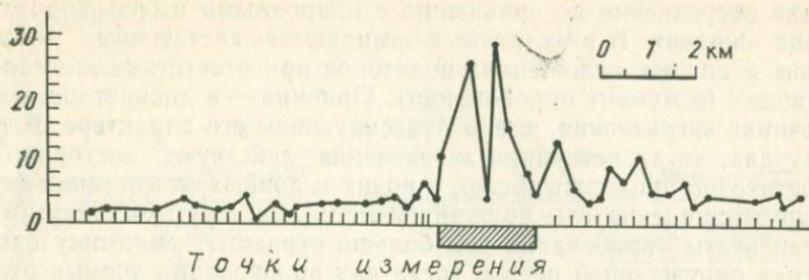


Рис. 118. График аддитивного показателя в донных осадках водотока. Штриховкой показана промышленная зона

Для иллюстрации этого рассмотрим результаты геохимического опробования донных отложений пересекающего промышленную зону водотока (рис. 118). По оси абсцисс отложена протяженность водотока, по оси ординат — величина среднего аддитивного показателя загрязнения водотока, под которым мы подразумеваем аддитивный показатель, представляющий собой сумму содержаний (по каждой пробе) групп химических элементов, нормированных через их фоновые содержания или кларки (в данном случае содержания элементов выражены в единицах кларка). Аддитивный показатель (наряду с мультипликативным) ранее применялся при характеристике рудогенных геохимических аномалий.

Установлено, что горно-рудное производство отличается высокими значениями аддитивного показателя (по сравнению с другими производствами). Как следует из рис. 118, промышленная зона контрастно фиксируется повышенными значениями показателя загрязнения с отчетливыми сдвигом аномалии по направлению движения воды.

Гидрогеохимический метод поисков рудных месторождений. К проблемам экологии имеет самое непосредственное отношение, так как в качестве поисковых признаков используются закономерные изменения в составе вод. Вода — наиболее чувствительный индикатор антропогенного загрязнения, поэтому данные об изменении ее состава успешно могут быть использованы не только при поисках, но и при изучении процессов загрязнения окружающей среды. Опыт геохимических поисков рудных месторождений показывает, что метод донных осадков и гидрогеохимический метод дают в значительной степени аналогичные результаты: оба отчетливыми аномалиями фиксируют «возмущающие» объекты, представленные минерализованными участками в коренных породах, которые длительное время служат источниками поставки в водоток избыточных количеств химических элементов.

Однако при изучении загрязнения окружающей среды результаты указанных двух методов могут существенно отличаться. Причина этого прежде всего в том, что искусственные источ-

ники загрязнения по сравнению с природными имеют короткий срок «жизни». В результате формируются «остаточные аномалии» в донных отложениях водотоков при отсутствии аномалий в водах (в момент опробования). Причина — в дискретности источника загрязнения, т. е. в пульсирующем его характере. В тех случаях, когда источники загрязнения действуют постоянно и достаточно продолжительно, в водах и донных отложениях формируются адекватные друг другу аномалии. Другими словами — результаты опробования вод больше отражают динамику изменения окружающей среды, тогда как опробование донных отложений в большей степени отражает статику этого процесса, его интегральный эффект. Благодаря этому комплексное применение обоих методов при изучении окружающей среды более информативно.

Биогеохимический метод поисков руд. Имеет непосредственное отношение к проблеме охраны окружающей среды, поскольку исследует закономерности накопления растениями различных химических элементов, в том числе и микроэлементов, служащих индикаторами рудных месторождений. За многолетнюю историю развития биогеохимического метода получена ценнейшая информация о пределах вариаций содержаний элементов в различных частях растений в пределах как фоновых, так и аномальных участков. Эти данные, а также методический аппарат биогеохимических поисков с успехом можно использовать при изучении окружающей среды, в частности при оценке влияния загрязнения окружающей среды на растительность.

Атмогеохимический метод поисков рудных месторождений. Основан на использовании в качестве индикаторов рудных месторождений сопровождающих их ореолов рассеяния газов. Существующие модификации атмогеохимического метода поисков месторождений могут быть привлечены для изучения загрязнения воздушного бассейна урбанизированных зон. В качестве примера рассмотрим возможности газорутутного метода, описанного в гл. IV.

На рис. 119 изображены графики изменения содержания Hg по профилю через крупную промышленную зону. Изменения паров Hg проводились под руководством В. З. Фурсова на высоте 0,6 и 2,0 м ртутным атомно-абсорбционным газоанализатором ИМГРЭ-4. Наблюдения велись на стационарных точках и в движении путем накопления Hg на золотых сорбентах при прокачке атмосферного воздуха с последующей десорбицией Hg путем подогрева сорбентов электрическим током и измерением десорбированной Hg газоанализатором. Чувствительность обнаружения Hg определяется объемом прокачанного воздуха и для 30—60 м³ составляла 0,5—1,0 · 10⁻¹⁰ мг/л, что оказалось вполне удовлетворительным для получения надежных значимых результатов измерений на фоновых участках. В данном случае чувствительность анализа (пороговое значение) более чем на порядок меньше среднефонового содержания Hg, что обеспечивает надежное

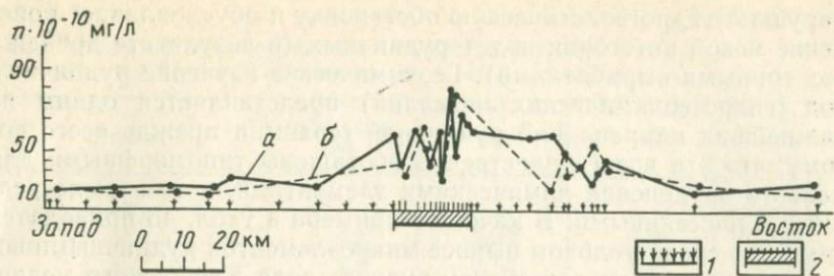


Рис. 119. График распределения Hg в атмосфере (по В. З. Фурсову):
 а — высота измерений 2 м; б — высота измерений 0,6 м; 1 — точки наблюдений; 2 — урбанизированная зона

(достоверное) изучение не только геохимических аномалий, но и особенностей распределения этого элемента на фоновых участках.

Как следует из рис. 119, промышленная зона и значительная по площади прилегающая территория повсеместно «охвачены» интенсивными техногенными аномалиями Hg . Обращает на себя внимание относительно высокая интенсивность техногенных аномалий Hg : на отдельных участках концентрация Hg превышает фон почти в 10 раз.

Резюмируя изложенное, можно отметить, что геохимические методы с успехом могут быть использованы при изучении окружающей среды. С их помощью возможно решение комплекса задач. Среди них:

1) выявление и комплексная характеристика геохимических особенностей стоков, выбросов и неутилизированных отходов горно-рудного производства;

2) прослеживание потоков загрязнителей по всем возможным каналам миграции и оконтуривание вдоль этих каналов зон их возможного влияния на живые организмы;

3) биогеохимическая оценка миграции и концентрации загрязнителей живыми организмами как непосредственно в зонах загрязнения, так и при движении по трофическим цепям;

4) выявление динамики загрязнения окружающей среды.

Результаты первых опытов привлечения геохимических методов для исследования окружающей среды горно-рудных предприятий показывают их высокую эффективность.

2. Гидрогеохимические аномалии

Хорошо известно, что ущерб окружающей природной среде, наносимый разработкой месторождений полезных ископаемых, в значительной степени определяется интенсификацией процессов гипергенного окисления рудных тел и окаймляющих их первичных геохимических ореолов. Вскрытие рудных тел подземными горными выработками (при открытой разработке — карьерами)

нарушает гидрогеологическую обстановку и обуславливает появление новой категории вод — рудничных (в результате дренажа вод горными выработками). Геохимическое изучение рудничных вод (гидрохимических аномалий) представляется одним из важнейших направлений рудничной геохимии прежде всего потому, что эти воды существенно обогащены типоморфными для данного оруденения химическими элементами, в том числе редкими и рассеянными. В качестве примера в табл. 45 приводятся данные о среднегодовом выносе микроэлементов рудничными водами из некоторых выработок рудного поля Кафанского медно-полиметаллического месторождения. Как видно, рудничные воды по сравнению с поверхностными резко обогащены микроэлементами.

Рудничные воды, попадая в общую гидросеть района месторождения, существенно загрязняют окружающую месторождение природную среду. Именно поэтому изучение рудничных вод и количественная оценка степени загрязнения этими водами различных компонентов биосферы — важнейшие задачи рудничной геохимии.

Рудничные воды формируются уже на стадии поисково-оценочных работ, когда начинается проходка первых разведочных выработок. Именно поэтому еще на ранних стадиях разведочных работ должны быть комплексно изучены рудничные воды. Важность подобной постановки трудно переоценить.

Следует отметить, что в любом рудном районе число охваченных поисково-разведочными работами (с проходкой горных выработок) рудопроявлений и месторождений, которые по каким-то причинам (в основном, из-за небольших запасов) не были вовлечены в сферу эксплуатации, намного превосходит число эксплуатируемых месторождений. Именно из-за этого суммарный ущерб от данных рудопроявлений и месторождений окружающей природной среде существенно больше, чем от эксплуатируемых. Несмотря на это, подобные объекты не привлекают внимания природоохранных органов.

Таблица 45

Средний годовой вынос металлов из горных выработок (по П. М. Капланяну)

Элемент	Содержание элементов в водах различных источников, мг/л						Средний годовой вынос, т
	шт. З рудник 7-10	шт. им. Га- гарина	капиталь- ная шт., рудник 7-10	капиталь- ная шт., р. Бара- батум	транспорт- ная шт.	р. Каварт, верхнее течение	
Cu	69,8	66,7	4,6	8,0	43	0,008	42
Zn	16,0	13,0	2,8	7,0	20	0,01	19,9
As	0,04	0,072	0,056	0,06	0,48	Не обн.	0,394
Ag	0,01	0,002	0,0018	Не обн.	0,0014	„	0,0018

Таблица 46

Содержания металлов в рудничных водах Газминского полиметаллического месторождения (по П. М. Капланяну)

Участок	Водоприток, л/с	Pb	Zn	Cu
Центральный:				
шт. 32	8,0*	0,006	0,36	0,011
	1,0	0,035	2,0	0,048
шт. А	4,5	0,008	0,25	0,02
	0,5	0,008	0,7	0,04
Корелиздзор:				
шт. 38	12,0	0,003	0,3	0,008
	6,0	0,008	0,7	0,02
шт. 37	2,5	0,015	0,15	0,01
	0,5	0,012	0,3	0,015
<i>Всего</i>	27,0	0,032	1,06	0,049
	8,0	0,063	3,7	0,0123

* В числителе приведены данные за 1954—1956 гг., в знаменателе — за 1981—1983 гг.

Кроме того, по степени «загрязненности» (содержанию химических элементов — компонентов руд) рудничные воды разведуемого рудопроявления не намного отличаются от рудничных вод месторождений, находящихся на стадии эксплуатации.

Необходимо отметить, что в процессе выполнения поисково-разведочных работ на рудопроявлениях (с применением горных работ) они могут привлекать внимание природоохранных органов лишь на период экспертизы экологических последствий этих работ, тогда как после завершения и консервации рудопроявлений (что происходит с подавляющим их большинством) внимание к ним ослабевает и со временем полностью переключается на другие объекты. При этом забывается, что загрязнение от консервированного объекта продолжается, так как и после прекращения разведочных работ протекают процессы гипергенного окисления и выщелачивания руд и первичных ореолов. Для иллюстрации этого положения в табл. 46 приводятся данные о динамике изменения во времени концентраций микроэлементов в рудничных водах.

Одним из путей если не полной, то хотя бы частичной ликвидации негативных последствий загрязнения окружающей среды рудничными водами является промышленная утилизация этих вод с извлечением полезных компонентов. Однако, как показывает опыт, в большинстве случаев подобная утилизация не осуществляется, так как она не рентабельна. Положительных результатов в этом направлении можно достигнуть за счет разра-

Таблица 47

**Средние содержания химических элементов в донных отложениях
р. Дебед, мг/кг**

Элемент	Участки опробования	
	перед комбинатом	за комбинатом
Cd	Не обн.*	13
As	"	160
Sb	"	35
Bi	"	1,6
Cu	120	1891
Mo	2	22
Zn	200	1600
Pb	40	292
Ag	0,08	0,4

* Порог чувствительности анализа: Cd — 3; As — 100; Sb — 30; Bi — 1.

ботки и внедрения более эффективных и рентабельных технологий и учета экономического ущерба, наносимого окружающей среде. Именно поэтому детальное изучение рудничных вод и наносимого ими ущерба (с экономическими расчетами) — важнейшая задача рудничной геохимии.

3. Аномалии в донных осадках

Техногенное загрязнение окружающей среды в результате деятельности горно-рудных предприятий отчетливо фиксируется также техногенными аномалиями типоморфных для данного типа оруденения химических элементов. В качестве примера в табл. 47 приводятся средние содержания химических элементов в донных отложениях р. Дебед — основной водной артерии Алaverдского рудного поля (Армения). Алавердский горно-металлургический комбинат специализируется на добыче и переработке руд Алавердской группы медно-колчеданных и полиметаллических месторождений и производит медь, серную кислоту и медный купорос.

Обращает на себя внимание весьма высокая концентрация химических элементов в донных осадках техногенной природы: для меди содержание достигает уровня промышленной концентрации. Из практики геохимических поисков хорошо известно, что геохимические аномалии в донных осадках и водах генетически чрезвычайно близки: они формируются в результате одного и того же процесса и между ними постоянно происходит взаимный обмен химическими элементами, особенно теми, которые характеризуются высокой миграционной способностью. Именно поэтому нельзя считать случайным существование другого названия этих двух типов родственных геологических образований: лито-

Таблица 48

**Содержания и коэффициенты концентрации микроэлементов
в почвах поливных участков**

Эталонная площадка	Cu		Zn		Pb		Ni		Cd	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Шиок	292*	28,6	192	8,6	52	6	58	4,2	1,1	0,6
	3,6	7,7	1,4	0,9	1,4	4	1,04	1,7	2,2	3
Чочкан	186	5,2	188	15	50	2,7	50	1,4	0,6	0,19
	2,3	1,4	1,4	1,6	1,3	1,8	0,9	0,56	1,2	0,95
Арчик	728	102	340	39	130	5,3	50	4,8	1,5	1,2
	9,1	27,6	2,5	4	3,4	3,5	0,9	1,9	3	6
Баграташен	630	103,3	463	49,6	122	6,6	40	4,3	2,6	1,2
	7,8	27,9	3,4	4,9	3,2	4,4	0,7	1,7	5,2	6
Аревацаг	80	3,7	138	9,6	38	1,5	56	2,5	0,5	0,2
Осадок по- ливных вод	1000	310	810	72	140	11	40	11	3	1,2
	12,5	84	6	7,5	4	7	0,7	4,4	6	6

* В числителе приведены содержания химических элементов в мг/кг; в знаменателе — коэффициенты концентрации относительно фоновых содержаний.

Примечание. I — валовые содержания; II — содержания подвижных форм.

геохимические (в донных осадках) и водные (гидрохимические) потоки рассеяния химических элементов.

Сравнительный анализ рассматриваемых двух типов потоков рассеяния химических элементов позволяет установить их специфическое различие. В природных потоках рассеяния гидро- и литогеохимическая составляющая находятся в постоянном динамическом равновесии и поэтому при геохимических поисках взаимозаменяемы.

В отличие от этого в техногенных потоках отмеченное динамическое равновесие временное в силу непостоянства самого источника формирования техногенных водных потоков. С прекращением поступления химических элементов в водные артерии (прекращение деятельности соответствующего производства) техногенные гидрохимические потоки перестают существовать. Иначе обстоит дело с литогеохимическими потоками в донных отложениях. Благодаря кумулятивному эффекту техногенные литогеохимические аномалии в донных отложениях существуют и после прекращения функционирования источника техногенного загрязнения водотоков. Более того, эти потоки могут быть источниками загрязнения. Данное обстоятельство следует учитывать при разработке и реализации природоохранных мероприятий.

Один из путей оздоровления экологически сложных ситуаций — утилизация донных отложений, обогащенных теми или иными компонентами.

4. Аномалии в почвах и растениях

В районах действующих горно-рудных предприятий техногенное загрязнение почв и произрастающих на них растений в основном происходит за счет использования для полива техногенно загрязненных вод. В табл. 48 приведены содержания микроэлементов в почвах различных населенных пунктов Алавердского рудного района, где в качестве поливных используются воды р. Дебед. В качестве фоновых использованы почвы участка Аревацаг. Как видно, в большинстве случаев поливные почвы существенно обогащены Cu, Zn, Pb, Ni и Cd. Аналогичное обогащение установлено и для растений (табл. 49).

Таблица 49

Содержание химических элементов в растениях садов, использующих для полива воду р. Дебед

Эталонная площадка	Cu		Zn		Pb		Ni		Cd	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Шнох	61,6 3,1	67 4,1	30,4 1,5	25,4 1,2	10,7 1,2	12 6	2,1 1,2	1,8 2	0,4 13,3	0,1 0,5
Чочкан	8,7 0,4	31,2 2	21,9 1	23,4 1,2	6,9 0,8	8,2 4,1	0,8 0,4	1,1 1,2	0,2 6,6	0,09 0,4
Арчис	54 2,7	30 1,2	89 4,4	18 0,9	25,5 8,2	7 3,5	1,4 0,7	0,7 0,7	0,9 30	0,05 0,2
Баграташен	34 1,7	28 1,7	70,5 3,5	22 1,1	17 1,9	3,4 1,7	0,9 0,5	0,9 1	0,8 26,6	0,08 0,4

* В числителе приведены содержания химических элементов в мг/кг сухого вещества; в знаменателе — коэффициенты концентрации относительно фоновых содержаний.

Примечание. I — сено; II — листья персика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время рудничная геохимия только формируется как самостоятельная научная дисциплина, поэтому пока можно перечислить лишь ограниченный круг задач, при решении которых с успехом могут быть привлечены методы рудничной геохимии. Вне всякого сомнения в практическом отношении наиболее важно поисковое направление работ по рудничной геохимии, где высокую ее эффективность можно считать доказанной.

С помощью разработанных автором методик уже оценены перспективы рудоносности более 2000 участков. Из них по геохимическим данным перспективными на слепое и слабоэродированное оруденение признаны не более 100 аномалий. Обращает на себя внимание достаточно высокая степень разбраковки аномалий (в 20 раз). Из этих аномалий горно-буровыми работами проверено 85. В 75 случаях (88 %) установлено оруденение промышленного значения. Следует также отметить, что последующими горно-буровыми работами было проверено 37 из 2000 участков, признанных по результатам геохимического опробования коренных пород бесперспективными. Эти участки в основном представляли собой рудопроявления с промышленными параметрами оруденения на поверхности. По результатам геохимического опробования эти рудопроявления признаны глубокоэродированными. Последующей проверкой на всех участках без исключения установлено резкое выклинивание с глубиной промышленного оруденения. Полученные данные свидетельствуют об исключительно высокой эффективности применения описываемой методики для идентификации и исключения из сферы последующих детальных работ бесперспективных на глубину геохимических аномалий и рудопроявлений.

Следует однако отметить, что более детальный анализ результатов внедрения методики изучения первичных ореолов в производство вскрывает неравномерный охват существующих типов рудных месторождений. Большинство примеров относится к эпигенетическим месторождениям полиметаллического состава. Крайне редки случаи применения рассматриваемой методики при поисках и оценке стратiformных, осадочных, гидротермально-осадочных и некоторых других месторождений. Такое положение в решающей степени связано с неравномерным охватом научно-методическими работами различных по составу и условиям формирования месторождений. В связи с этим одно из важнейших направлений дальнейших исследований в области совершенствования методов рудничной геохимии — выполнение целенаправленных опытно-методических работ по детальному изучению тех типов месторождений, геохимические особенности которых не изучены или исследованы недостаточно.

К перспективным относится минералого-геохимическое направление исследований, способствующее совершенствованию научных и методических основ геохимических поисков слепого и слабоэродированного оруденения. Возможности минералого-геохимического способа выявления высококонтрастной зональности полиминеральных ореолов практически не ограничены: повышение контрастности геохимической зональности может быть достигнуто за счет увеличения числа как минералов-носителей, так и элементов-примесей, используемых в мономинеральных мультиплекативных коэффициентах зональности.

В последние годы благодаря работам Э. Н. Баранова, В. Л. Барсукова, Л. Н. Овчинникова и других исследователей все очевиднее становится большое генетическое значение результатов изучения геохимии месторождений. Как уже отмечалось, будучи составной частью месторождений первичные ореолы содержат ценную информацию о механизме формирования месторождений. Эффективное выполнение подобных работ возможно только при условии четкого определения места методики изучения первичных геохимических ореолов в общем комплексе методов многоаспектного изучения самих месторождений.

К сожалению, несмотря на многолетнюю историю исследования рудных месторождений, в настоящее время не существует более или менее удовлетворительная общепринятая методика их изучения. Из-за этого возникают большие трудности в обобщении полученных разными исследователями результатов. Именно поэтому одно из наиболее перспективных направлений развития рудничной геохимии — разработка (в тесном взаимодействии со смежными геологическими научными направлениями) рациональной методики комплексного изучения месторождений на базе подробно рассмотренной в этой книге методики пространственного (стереогеохимического) их изучения.

Как уже отмечалось, успешное развитие рудничной геохимии, в частности расширение круга решаемых задач и повышение надежности их решения, невозможно без комплексирования ее с другими разделами геологической науки. Прежде всего целесообразно совмещение геохимического моделирования месторождений с геофизическим, т. е. речь идет о комплексном геолого-геофизическом изучении эталонных месторождений с целью разработки научных основ комплексирования геохимических и геофизических методов при поисках и оценке рудных месторождений. Актуальность выполнения подобных комплексных работ определяется современным состоянием теории и практики геохимических и геофизических методов, специфическая особенность которого — слабая разработанность вопросов рационального комплексирования этих двух групп методов. В настоящее время методы каждой из этих групп активно разрабатываются специализированными научно-исследовательскими и опытно-методическими организациями, однако создание научных основ рационального комплексирования этих двух групп методов существенно от-

стает от развития самих методов, поскольку данным вопросом никто специально не занимается. Именно поэтому, а также по ряду организационных причин (поисковые работы выполняются узко специализированными организациями) при поисках чаще всего геохимические и геофизические методы применяются изолированно друг от друга. Следует также иметь в виду и субъективный фактор: специалисты разного профиля в силу недостаточной компетентности в области конкурирующих методов обычно склонны переоценивать возможности метода, которым они занимаются. Наиболее эффективный способ борьбы с подобным субъективизмом, по нашему мнению, выполнение специалистами разного профиля (в данном случае геохимиками и геофизиками) совместных исследовательских работ на одних и тех же рудных объектах.

Несомненно, однако, что у рудничной геохимии есть значительные потенциальные возможности решения природоохранных задач, и необходимо резко увеличить объем подобных работ в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Албул С. П. Руднопоисковая геохимия. — М.: УДН им. П. Лумумбы, 1969.
2. Антропова Л. В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. — М.: Недра, 1975.
3. Баранов Э. Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. — М.: Наука, 1987.
4. Баранов Э. Н., Григорян С. В. К вопросу о механизме движения гидротермальных растворов. — Атомная энергия. — 1966. — № 6. — С. 498—501.
5. Барсуков В. Л., Григорян С. В., Овчинников Л. Н. Геохимические методы поисков рудных месторождений. — М.: Наука, 1981.
6. Беус А. А., Григорян С. В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. — М.: Недра, 1975.
7. Вострокнутов Г. А., Юшков Ю. Н. Опыт применения частичнофазового анализа при литохимических поисках на Среднем Урале//Литохимические поиски рудных месторождений. — Алма-Ата, 1972. — С. 207—218.
8. Григорян С. В., Гольдман И. В. Элементы-примеси в минералах для оценки геохимических аномалий. — Разведка и охрана недр. — 1983. — № 2. — С. 29—33.
9. Григорян С. В. Рудогенные геохимические аномалии. — М.: Недра, 1982.
10. Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. — М.: Недра, 1981.
11. Григорян С. В., Головин А. А., Федотова Г. Э. Оценка промышленной значимости прогнозируемого скрытого сульфидного оруденения//Оценка прогнозных ресурсов скрытого эндогенного оруденения по данным геохимических работ. — М.: Изд. ИМГРЭ, 1983. — С. 13—14.
12. Григорян С. В., Копин Е. М. Извлечение химических элементов методом ионоприемника с целью выявления геохимических аномалий. Препринт. — М.: Изд. ИМГРЭ, 1985.
13. Григорян С. В., Морозов В. И. Вторичные литохимические ореолы при поисках скрытого оруденения. — М.: Наука, 1984.
14. Геологический словарь. В 2-х томах. — М.: Недра, 1978.
15. Гусельников А. А. Спектральный анализ проб с применением сильно-точной дуги//Материалы VIII совещания работников лабораторий геологических организаций. — М.: Госгеолтехиздат, 1961. — С. 20—31.
16. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. — М.: Недра, 1983.
17. Использование ореолов рассеяния урана и его спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений. — М.: Недра, 1964. — С. 234.
18. Каблуков М. А., Гапон Е. Н., Гриндель Н. А. Физическая и коллоидная химия. — М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, 1949.
19. Квятковский Е. М. Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. — Л.: Недра, 1977.
20. Квятковский Е. М., Крицук И. Н. Количественная интерпретация вторичных литохимических ореолов рассеяния//Литохимические поиски рудных месторождений. — Алма-Ата: Наука, 1972. — С. 114—125.
21. Левинсон А. Введение в поисковую геохимию. — М.: Мир, 1976.
22. Майоров Н. Ф. Методика поисков медно-никелевых месторождений по наложенным солевым ореолам рассеяния в моренных отложениях на Кольском полуострове//Литохимические поиски рудных месторождений. — Алма-Ата: Наука, 1972. — С. 227—237.
23. Миллер А. Д. Применение ускоренного частично-фазового анализа при геохимических поисках//Бюлл. НТИ Мингео СССР. — 1962. — № 1. — С. 3—7.

24. Несвижская Н. И., Саев Ю. Е. Геохимические поиски перекрытых сульфидных месторождений по наложенным ореолам (Методические рекомендации). — М.: Изд. ИМГРЭ, 1975.
25. Овчинников Л. Н., Баранов Э. Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. — Геол. рудн. месторожд. — 1970. — № 2. — С. 10—24.
26. Овчинников Л. Н., Головин А. А., Рыфтин В. М. Особенности первичных ореолов колчеданных месторождений и их практическое значение//Геохимические поиски по первичным ореолам. — Новосибирск: Наука, 1983. — С. 4—10.
27. Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений//Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений. — Иркутск: Изд. СибГЕОХИ, 1970. — С. 3—36.
28. Овчинников Л. Н., Григорян С. В., Баранов Э. Н. Зональность первичных геохимических ореолов гидротермальных месторождений и их поисковое значение — Изв. вузов. Геология и разведка. 1973. — № 10. — С. 76—88.
29. Осипова Г. А. Геохимический метод прогнозирования оловорудных месторождений. — М.: Наука, 1980.
30. Росляков Н. А. Зоны окисления сульфидных месторождений Западного Алтая. — Новосибирск: Наука, 1970.
31. Рослякова Н. А., Росляков Н. А. Эндогенные ореолы месторождений золота. — Новосибирск: Наука, 1975.
32. Рудничная геология. — М.: Недра, 1986.
33. Сафонов Н. И. К вопросу об «ореалах рассеяния» месторождений полезных ископаемых и их использовании при поисках и разведке//Проблемы советской геологии. — 1936. — № 4. — С. 41—53.
34. Сафонов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. — Л.: Недра, 1971.
35. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. — М.: Недра, 1976.
36. Соловьев А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1985.
37. Соловьев А. П., Матвеев А. А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. — М.: Изд. МГУ, 1985.
38. Сочеванов Н. Н., Горелова Е. К. Расчеты и методы изображения геохимической зональности по центрам тяжести продуктивности элементов//Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках. — М.: Изд. ИМГРЭ, 1975. — С. 30—32.
39. Таусон Л. В. Теория геохимических полей и геохимические поиски месторождений полезных ископаемых//Проблемы прикладной геохимии. — Новосибирск: Наука, 1983. — С. 5—19.
40. Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. — М.: Наука, 1961.
41. Федорчук В. П., Никифоров Н. А. Об использовании надрудного пирита в качестве индикатора при поисках низкотемпературных месторождений закрытого типа. — Разведка и охрана недр. — 1958. — № 5. — С. 1—10.
42. Фридман А. И. Природные газы рудных месторождений. — М.: Недра, 1970.
43. Фурсов В. З. Ртуть — индикатор при геохимических поисках рудных месторождений. — М.: Недра, 1978.
44. Boyle R. W. The use of major elementai ratios in detailed geochemical prospecting utilizing primary halos//J. Geochem. Explor. — 1974. — V. — P. 345—369.
45. Govett G. J., Nichol I. Lithogeochemistry in mineral exploration; — In: Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores//Geol. Surv. Canada. Econ. Geol. Rpt. — 31. — 1979.
46. Hawkes H. E. The early days of exploration geochemistry//J. Geochim. — Explor. — 1976. — V. 6 [1/21]. — P. 1—11.
47. Levinson A. A. Introduction to Exploration Geochemistry. [The 1980

Supplement]. Applied Publishing Ltd., Wilmette. — P. 310.
ration. — Academie Press, 1979.

48. Rose A. W., Hawkes K. E., Webb I. S. Geochemistry in mineral explo-
ration. — Academie Press, 1979.

49. Siegel F. R. Applied Geochemistry. A Wiley — interscience. Publ., USA,
1974. — P. 353.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Часть I. Рудогенные геохимические аномалии	6
Глава I. Первичные геохимические ореолы	6
1. Методика изучения	7
2. Элементный состав	23
3. Размеры и интенсивность	25
4. Морфология	26
5. Зональность первичных ореолов оруденения крутого падения	33
6. Зональность ореолов субгоризонтальных рудных залежей	63
7. Полиформационные ореолы	66
8. Ореолы выноса химических элементов	72
9. Зоны рассеянной эндогенной минерализации	80
Глава II. Геохимическая зональность оруденения	83
Глава III. Вторичные и наложенные литогеохимические ореолы	106
1. Вторичные ореолы	106
2. Наложенные ореолы	118
Глава IV. Атмогеохимические ореолы	123
1. Газовые ореолы	123
2. Ионометрические ореолы	125
Глава V. Методика интерпретации рудогенных геохимических аномалий	155
1. Обнаружение геохимических аномалий	155
2. Определение формационной природы аномалий	165
3. Оценка уровня эрозионного среза аномалий	166
4. Разбраковка зон рассеянной рудной минерализации	175
5. Оценка масштаба оруденения	176
6. Определение падения рудных тел	181
Часть II. Геохимические методы в составе геологоразведочных работ в пределах горных отводов и прилегающих площадей	185
Глава VI. Поиски слепого оруденения	186
1. Примеры положительной оценки	186
2. Примеры отрицательной оценки	211
Глава VII. Оценка рудопроявлений	214
1. Оценка оруденения на глубину	214
2. Оценка зон рассеянной рудной минерализации	223
Глава VIII. Геохимические карты рудных полей	228
1. Открытые районы	229
2. Полузакрытые районы	232
3. Закрытые районы	238
4. Оценка аномалий без эталона	239

Глава IX. Геохимические методы при изучении месторождений	251
1. Первичные ореолы — индикаторы генезиса месторождений	251
2. Первичные ореолы при изучении геологического строения месторождений	257
Глава X. Комплексное освоение месторождений	263
Часть III. Экологическое значение геохимических аномалий	267
Глава XI. Рудогенные геохимические аномалии	267
1. Распространенность рудогенных аномалий	267
2. Критерии идентификации рудогенных и техногенных аномалий	269
Глава XII. Техногенные геохимические аномалии	276
1. Экологическое значение геохимических методов	276
2. Гидрохимические аномалии	281
3. Аномалии в донных осадках	284
4. Аномалии в почвах и растениях	286
Заключение	287
Список литературы	290

Григорян С. В. Рудничная геохимия. М.: Недра, 1992. 294 с.: ил.

Г 83 ISBN 5-247-02610-1

Описаны особенности состава и строения рудогенных геохимических аномалий, приведены примеры практического применения геохимических критериев при геологоразведочных работах, проводимых в пределах рудных отводов и непосредственно примыкающих к ним территорий. Рассмотрено рациональное комплексирование геохимических методов на различных по составу и условиям формирования месторождениях, находящихся на стадии эксплуатации.

Для рудничных геологов, специалистов, занимающихся поисками и разведкой минеральных месторождений.

Г 1804020100—289
043(01)—92 50—92

ББК 26.301

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

Григорян Сергей Вагаршакович

РУДНИЧНАЯ ГЕОХИМИЯ

Заведующий редакцией *Н. Е. Игнатьева*
Редактор издательства *Л. С. Дмитриева*
Переплет художника *И. А. Матвеева*
Художественный редактор *В. А. Андросов*
Технический редактор *С. Г. Веселкина*
Корректор *М. В. Дроздова*

ИБ № 9104

Сдано в набор 22.09.92. Подписано в печать 23.12.92. Формат 60×90^{1/16}. Бумага книжно-журналная. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 18,5.
Усл. кр.-отт. 18,75. Уч.-изд. л. 19,72. Тираж 600 экз. Заказ 354/2944—2.

Издательство «Недра»
125047 Москва, Тверская застава, 3.

Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ.
199178 Санкт-Петербург, Средний пр., 72.

5308

НЕДРА