

С.В.ГРИГОРЯН

ПЕРВИЧНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ

ПРИ ПОИСКАХ
И РАЗВЕДКЕ
РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ



С.В. ГРИГОРЯН

ПЕРВИЧНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ

ПРИ ПОИСКАХ
И РАЗВЕДКЕ
РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

4958



МОСКВА "НЕДРА" 1987



ВВЕДЕНИЕ

Геохимические методы почти одновременно возникли как в нашей стране (Н. И. Сафронов — метод поисков по вторичным литохимическим ореолам), так и за рубежом (биогеохимический метод).

В последующие годы стали широко развиваться исследования по разработке и внедрению в практику поисковых работ методов поисков рудных месторождений по вторичным литохимическим ореолам (металлометрия) рассеяния элементов-индикаторов.

В СССР внедрение в практику геологоразведочных работ таких методов позволило открыть более 100 рудных месторождений. Открытие этих месторождений — результат планомерного изучения геологического строения исследуемых территорий и применения комплекса геохимических и других методов на различных стадиях геологоразведочных работ. Работы, начатые Н. И. Сафроновым и продолженные Е. М. Квятковским, Е. Д. Миллером, Е. А. Сергеевым, А. П. Солововым, Н. Н. Сочевановым и другими, обеспечили нашей стране приоритет в разработке и широком применении литохимических методов — наиболее эффективных в группе геохимических методов.

В дальнейшем во многих рудных районах страны, особенно в давно освоенных горнорудной промышленностью, было установлено снижение эффективности литохимических поисков, что объясняется резким сокращением фонда легкооткрываемых (имеющих выход на современную эрозионную поверхность) месторождений. В подобных случаях основным резервом прироста запасов минерального сырья остается скрытое оруденение. Перед геологами встала задача существенного повышения глубинности литохимических поисков, адекватных обнаружению скрытого оруденения. Необходимость успешного решения этой весьма сложной проблемы предъявляла повышенные требования к ведению геохимических поисков и прежде всего к геологическим аспектам геохимических работ, т. е. комплексному и взаимодополняющему использованию геологических и геохимических критериев при интерпретации результатов геохимического опробования. Именно поэтому одним из важнейших направлений исследований по разработке эффективных геохимических методов поисков скрытого оруденения явилось изучение особенностей состава и строения первичных геохимических ореолов различных типов месторождений. Большое научное и практическое значение первичных геохимических ореолов определяется следующими их особенностями.

1. Геохимические аномалии в коренных породах по геологическому положению представляют собой изначальный субстрат, первоисточник всего комплекса экзогенных аномалий, используемых при поисках рудных месторождений по литохимическим вторичным ореолам и потокам рассеяния, гидрохимическим, биогеохимическим и газовым аномалиям. Интерпретация любой модификации экзогенных аномалий проводится с целью получения сведений о коренном субстрате. Отсюда ясно, что успешное ведение работ по экзогенным аномалиям немислимо без знания особенностей развития их эндогенного аналога, т. е. геохимических аномалий в коренных рудовмещающих породах.

2. Геохимические аномалии в коренных рудовмещающих породах являются составной частью самих месторождений. Следовательно, особенности состава и строения аномалий в коренных породах наряду с поисковым могут иметь и определенное генетическое значение, т. е. могут служить индикаторами условий локализации оруденения. Именно поэтому включение изучения первичных ореолов в общий комплекс геохимических работ существенно повысило степень «геологичности» геохимических методов, что обеспечило более высокую надежность интерпретации результатов геохимического опробования.

Первые наиболее значительные работы по изучению первичных ореолов рудных месторождений в конце 40-х годов были выполнены американскими исследователями Г. Ловерингом, и др. [48] на свинцово-цинковых месторождениях долины Миссисипи. Они установили на этих месторождениях сопровождающие рудные тела первичные ореолы основных промышленно ценных компонентов руд (свинца, цинка и меди), а также экспоненциальный характер убывания содержаний этих элементов по мере удаления от рудных тел.

В СССР первичные ореолы рудных месторождений начали изучать в 50-х годах. В это же время проводилось изучение первичных ореолов полиметаллических (И. И. Гинзбург, К. М. Муканов, Г. И. Россман) и урановых месторождений (Г. И. Вертепов, А. Д. Каблуков и др.). В последующие годы значительный вклад в изучение особенностей состава и строения рудогенных геохимических аномалий в коренных рудовмещающих породах был сделан Э. Н. Барановым, В. Л. Барсуковым, А. Г. Волосовым, Е. М. Квятковским, Л. Н. Овчинниковым, А. А. Сауковым, Н. И. Сафроновым, А. П. Солововым, Н. Н. Сочевановым, Л. В. Таусоном и др. Такие работы оказались весьма результативными и привели к разработке эффективной методики поисков слепого и слабоэродированного оруденения по первичным ореолам. Основой этой методики является геохимическая зональность первичных ореолов.

Обобщение результатов изучения первичных ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений позволило установить единую для первичных ореолов сульфидсодержащих гидротермальных месторождений геохимическую

зональность, сущность которой заключается в упорядоченном размещении (относительно рудного тела) ореолов элементов от бария (вверху) до вольфрама (внизу).

Практическое значение единой зональности первичных ореолов заключается в том, что с ее помощью производится разбраковка зон рассеянной рудной минерализации, а также определение уровня выявленной аномалии по отношению к оруденению, в частности, оценка уровня эрозионного среза геохимических аномалий, когда интерпретируются аномалии, выявленные в результате опробования рудовмещающих пород на поверхности. Опытно-производственными и производственными работами, выполненными в ряде рудных районов нашей страны и за рубежом, доказана высокая эффективность поисков слепого и слабоэродированного оруденения по первичным геохимическим ореолам. Это позволяет широко внедрять данную методику в производство геологоразведочных работ.

**МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ
ОРЕОЛОВ**

Первичный геохимический ореол химического элемента представляет собой окаймляющую рудное тело зону, обогащенную или обедненную этим элементом в результате его привноса или перераспределения в процессе рудообразования. Известно, что вокруг рудных тел обычно устанавливаются аномальные по сравнению с фоном концентрации многих элементов, и применительно к ним правильнее использовать термин «первичные ореолы», обозначающий совокупность ореолов всех элементов или же группы их.

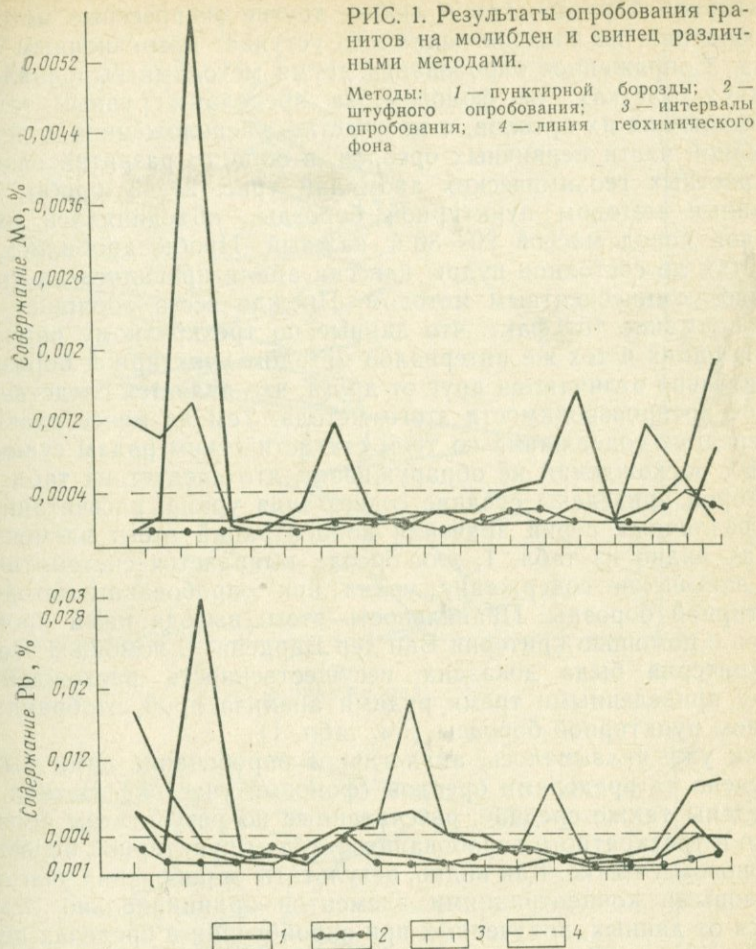
Как отмечалось, вокруг рудных тел формируются ореолы как привноса, так и выноса химических элементов. В настоящее время ореолы привноса химических элементов изучены более детально. Большое практическое значение ореолов привноса определяется тем, что они образуются элементами, типоморфными для рудных тел, и являются тем самым прямыми индикаторами последних, тогда как вынос элементов мог произойти как в собственно рудную стадию, так и в процессе дорудной или послерудной переработки вмещающих пород. В настоящее время отсутствуют надежные критерии определения связи ореолов выноса химических элементов с рудными телами, что, естественно, ограничивает диапазон их практического применения. В связи с этим особенности формирования и вопросы практического использования ореолов привноса составляют основное содержание настоящей работы. Это не означает отказ от изучения ореолов выноса элементов; напротив, подобные работы представляются весьма перспективными. Однако исследования в этом направлении только начаты, и их результаты не позволяют пока конкретизировать различные аспекты практического использования ореолов выноса химических элементов.

Одна из причин слабой изученности ореолов выноса заключается в недостаточной чувствительности экспрессных методов анализа, наиболее широко используемых при геохимических поисках. Напомним, что для изучения первичных ореолов выноса порог чувствительности анализа на тот или иной элемент должен быть на несколько порядков ниже его фонового содержания. В отличие от этого ореолы привноса могут быть обнаружены и оконтурены удовлетворительно при пороговом значении аналитического метода, равном минимально аномальному содержанию интересующего элемента.

При геохимических поисках проводится массовый отбор проб, поэтому весьма важен выбор экономически оптимальных методов опробования. Производительность отбора проб имеет также большое значение. Она обычно достигается путем применения менее трудоемких методов опробования, отличающихся в ряде случаев меньшей точностью и воспроизводимостью. Приведенные в этой книге данные об особенностях первичных ореолов рудных месторождений получены в результате применения при опробовании рудовмещающих пород метода пунктирной борозды. При этом методе через равные интервалы опробования отбиваются пять-шесть мелких кусочков (сколков) породы, которые объединяются в одну пробу массой 150—200 г. При смене пород в опробуемом интервале из каждой разновидности пород берется отдельная проба. Тектонические трещины и зоны нарушения пород опробуются отдельно. Геохимическое опробование сопровождается детальной документацией опробуемого интервала.

При геохимических поисках для опробования коренных пород широко применяется также штупное опробование. Для выяснения возможностей обоих методов проводилось сравнение результатов совместного опробования коренных пород. При этом опробовался керн вертикальной скважины, пробуренной на западном фланге редкометального месторождения за пределами зон гидротермально измененных пород. Скважина была пройдена в кварцевых порфирах на значительном удалении от рудных тел, и это позволило предполагать, что на участке первичные ореолы химических элементов либо будут отсутствовать, либо будут выявлены ореолы, незначительные по размерам и интенсивности. Опробованию подвергался керн из интервала 100—200 м, выход керна по которому составлял 75 %. Из каждого пятиметрового интервала опробования отбирались четыре геохимические пробы: одна штупным методом и три методом пунктирной борозды. Причем повторное опробование по методу пунктирной борозды проводилось разными исполнителями. На рис. 1 приведены графики распределения молибдена и свинца по результатам опробования, из которых следует, что ни в одной из проб, отобранных штупными методами, содержание как молибдена, так и свинца не превышает фонового. При опробовании же по методу пунктирной борозды во всех случаях обнаруживаются неширокие, но достаточно контрастные аномальные поля молибдена и свинца, причем аномальные концентрации свинца и молибдена в целом удовлетворительно коррелируются. Эти данные показывают, что метод пунктирной борозды по сравнению со штупным является более чувствительным. Аномалии молибдена и свинца, выявленные методом пунктирной борозды, были бы пропущены при штупном опробовании.

РИС. 1. Результаты опробования гранитов на молибден и свинец различными методами.



Метод опробования коренных пород пунктирной бороздой сравнивался также с наиболее представительным бороздовым способом опробования, широко применяемым при подсчете запасов месторождений полезных ископаемых. Во избежание возможного влияния на результаты анализов процессов гипергенного окисления опробование коренных пород (гранитов) проводилось в подземных горных выработках на глубине 150—200 м по стенке вкрест простирания рудоносных структур.

Методика опробования заключалась в следующем. С одного и того же интервала (длина 1 м) отбирались четыре пробы: одна бороздой, а три — методом пунктирной борозды. Трехкратное опробование методом пунктирной борозды было выполнено с целью исключения возможного 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 выполнялось на двух участках: на фоновом, за пределами рудных тел и окаймляющих их ореолов, и на участке, расположенном в периферийной части первичных ореолов, в области развития слабоконтрастных геохимических аномалий (рис. 2). В пробы, отобранные методом пунктирной борозды, объединялись пять сколков пород массой 20—30 г каждый. Пробы дробились, и истертая до состояния пудры навеска анализировалась на уран химико-люминесцентным методом. Прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что данные по трехкратному опробованию одних и тех же интервалов методом пунктирной борозды значительно отличаются друг от друга, что является следствием низкой воспроизводимости этого метода. Тем не менее сравнение средних содержаний по трем статистическим рядам существенных расхождений не обнаруживает, что следует из табл. 1, в которой приведены средние содержания урана, рассчитанные для различных серий значений концентраций этого элемента.

Как видно из табл. 1, для ореола выявляется систематическое завышение содержания урана при опробовании методом пунктирной борозды. Правильность этого вывода нами проверялась с помощью критерия Ван дер Вардена. С помощью этого же критерия была доказана несущественность расхождений между приведенными тремя рядами анализа проб, отобранных методом пунктирной борозды (см. табл. 1).

Как уже указывалось, аналогичное опробование нами было проведено за пределами ореолов (фоновый участок). В табл. 1 приведены также средние, рассчитанные по результатам бороздового и трехкратного опробования методом пунктирной борозды на фоновом участке. Как видно, результаты опробования участка с фоновыми концентрациями элементов принципиально отличаются от данных, полученных при опробовании в пределах первичного ореола. Здесь не наблюдается значительных расхождений между данными сравниваемых двух методов опробования. Проверкой по критерию также не установлено существенных расхождений как между рядами опробования пунктирной бороз-

Таблица 1

Средние содержания урана, млн⁻¹

Объект опробования	Бороз- двое опро- бование	Опробование методом пунктир- ной борозды		
		1	2	3
Фоновые участки	1,16	1,3	1,4	1,4
Ореол оруденения	1,01	3,01	3,37	3,57

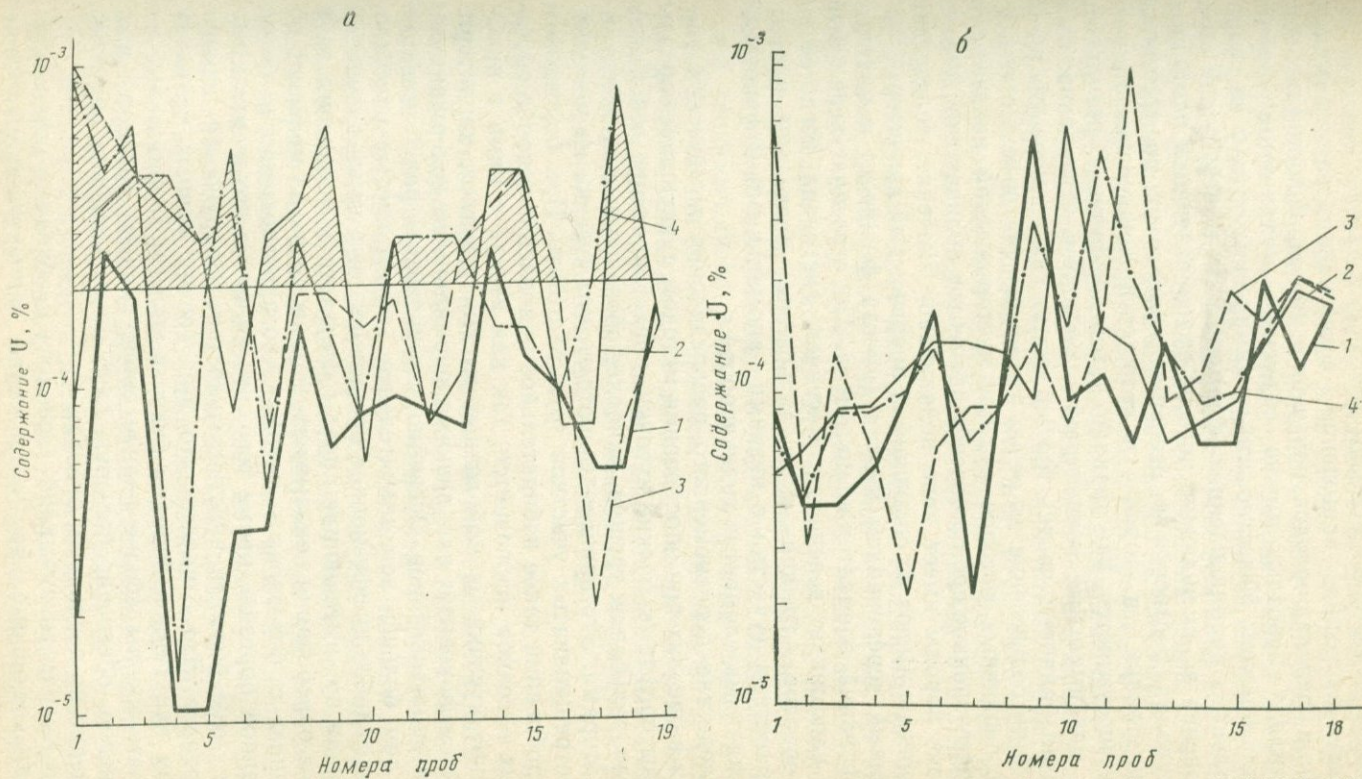


РИС. 2. Результаты опробования гранитов на уран различными методами в пределах слабоконтрастных первичных ореолов (а) и на фоновом участке (б).

Методы: 1 — бороздового опробования; 2, 3, 4 — пунктирной борозды. Штриховкой показаны аномальные концентрации элемента-индикатора

дой, так и между данными опробования бороздовым методом и методом пунктирной борозды (см. рис. 2, б).

Систематическое завышение содержания элемента-индикатора в пределах ореолов, полученное при опробовании методом пунктирной борозды, можно объяснить механизмом формирования ореолов. Известно, что геохимические ореолы на гидротермальных месторождениях формируются в результате проникновения во вмещающие породы рудообразующих растворов. Циркуляция растворов в основном происходит по трещинам (инфильтрация), в стороны от которых проникновение элементов осуществляется, как правило, путем диффузии. В результате этого максимальные концентрации элементов устанавливаются в призальбандовых частях трещин, тогда как по мере удаления от трещин содержание их резко падает до фоновых. Опыт изучения первичных ореолов рудных месторождений показывает, что диффузионное проникновение элементов-индикаторов во вмещающие породы имеет явно подчиненное значение, вследствие чего ореолы имеют 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 пустым пространством (участки с низкими аномальными и фоновыми содержаниями элементов-индикаторов).

Вследствие неравномерного распределения химических элементов в ореолах при опробовании методом пунктирной борозды в пробы попадают мелкие кусочки, представляющие собой, как правило, зальбанды трещин, наиболее обогащенные элементами-индикаторами. Это происходит потому, что кусочки из монолитных нетрещиноватых участков труднее отбить. При бороздовом же опробовании такое избирательное накопление в пробе обогащенных кусочков исключается, так как вместе с ними в пробу попадают кусочки из монолитных пустых участков, характеризующихся фоновыми или низкими аномальными содержаниями элементов-индикаторов. Очевидно, что указанное разубоживание будет тем больше, чем значительнее объем пустых участков, т. е. чем слабее диффузионное проникновение рудных элементов из трещин во вмещающие породы. Результаты сравнения двух методов опробования показывают, что, несмотря на меньшую по сравнению с бороздовым методом воспроизводимость, метод пунктирной борозды, кроме того, что он менее трудоемкий, обладает еще большей чувствительностью обнаружения первичных ореолов. Это означает, что при прочих равных условиях методом пунктирной борозды будут выявлены значительные по размерам ореолы (более полное оконтуривание ореолов), что, естественно, обеспечит большую глубину поисков скрытого оруденения по первичным ореолам.

Для выделения аномалий (ореолов) необходимо определить минимальное аномальное содержание элементов-индикаторов.

Статистической обработкой данных анализа проб, отобранных на фоновом участке, было установлено, что минимально аномальное содержание урана для уровня значимости 0,05 равно $2,81 \text{ млн}^{-1}$. По данным бороздового опробования аномальные концентрации, а следовательно, и ореолы урана отсутствуют (см. рис. 2, а), тогда как по данным опробования этого же участка методом пунктирной борозды почти половина всех отобранных проб фиксирует аномальные содержания урана. Отмеченное выше завышение содержаний элементов-индикаторов при опробовании методом пунктирной борозды по сравнению со штучным также обусловлено разубоживанием материала пробы, так как при штучном опробовании в пробу кроме околотрещинных кусков пород также попадают куски монолитных пород. Степень разубоживания обогащенных участков рудовмещающих пород при штучном опробовании по сравнению с бороздовым меньше, поскольку такое опробование близко к методу пунктирной борозды.

Приведенные выше данные наряду с неоспоримыми преимуществами (экспрессность и пр.) выявляют один весьма важный недостаток метода пунктирной борозды, заключающийся в его низкой воспроизводимости. Это обстоятельство должно быть учтено 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, а также интегральные показатели (например, различные модификации суммарных аномалий и др.).

АНАЛИЗ ПРОБ

При изучении первичных геохимических ореолов рудных месторождений используются разнообразные аналитические методы, которые совершенствуются в направлении повышения чувствительности, точности, а также производительности. Последнее особенно важно при геохимических поисках, сопряженных с отбором и анализом большого числа проб различного назначения. Характеристика комплекса используемых при геохимических поисках аналитических методов представляет собой предмет специальной работы и поэтому здесь не приводится. Исключение сделано только для эмиссионного спектрального анализа, широко используемого при изучении первичных геохимических ореолов. Автором при изучении геохимических аномалий в основном использовался экспрессный спектральный анализ в модификации сильноточной дуги, разработанной А. А. Гусельниковым [8]. В табл. 2 приведены данные о чувствительности обнаружения наиболее чувствительных линий, полученные в спектральной лаборатории ИМГРЭ при следующих условиях. Источник

Чувствительность спектрального анализа

Определяемый элемент	Аналитическая линия, 10^{-10}	Порог обнаружения, млн^{-1}	Определяемый элемент	Аналитическая линия, 10^{-10}	Порог обнаружения, млн^{-1}
B	2497,73	3,0	Hg	2536,52	100,0
Be	3130,42	1,0	Pb	2833,07	1,0
Ba	3071,59	100,0	Sr	3464,46	30,0
V	3183,40	1,0	Sb	2598,06	30,0
Bi	3067,72	1,0	Ag	3382,89	0,05
W	2946,98	3,0	Sc	3353,70	1,0
Hf	2916,46	30,0	Ti	3168,52	10,0
Ge	3039,06	1,0	Th	2692,42	300,0
Ga	2943,64	1,0	Ta	2714,67	100,0
Au	2675,90	3,0	Tl	2767,87	3,0
Y	3327,88	3,0	U	2865,68	300,0
Yb	3289,37	1,0	P	2534,01	1000,0
In	3039,39	3,0	Cr	3015,19	3,0
Co	3453,51	0,5	Zr	3279,27	10,0
Cd	3261,06	3,0	Zn	3345,02	10,0
Li	3232,61	10,0	Ce	3201,71	100,0
La	3245,12	30,0	Al	2660,39	10,0
Mo	3170,35	0,5	Fe	3018,98	10,0
Mn	2933,06	10,0	K	3446,40	10000,0
As	2860,45	100,0	Ca	3179,33	3,0
Cu	3273,96	1,0	Si	2506,90	10,0
Ni	3050,82	1,0	Mg	2776,69	30,0
Nb	3163,40	3,0	Na	3302,32	30,0
Sn	3175,05	1,0			

возбуждения спектров — дуга трехфазного тока с напряжением между фазами 380 В; сила тока — 30 А на фазе; время экспозиции — 20 с; скорость вдувания — 8 мг/с. Спектрограф ДФС-13 с решеткой 600 шт/мм, освещение щели осуществлялось с помощью трех линз, ширина щели 10 мкм. Фотопластинка тип II чувствительностью 15 ед. ГОСТа.

Ниже приводятся результаты оценки качества анализа, определяемые по одной из партий контрольных анализов. Оценка проведена по методике, предложенной в Инструкции по геохимическим методам поисков. Систематическую $\Delta_{\text{сист}}$ и среднюю случайную погрешности $\Delta_{\text{ср}}$ рассчитывали по формулам

$$\Delta_{\text{сист}} = (1/n) \sum_{i=1}^n (\lg C_{i_1} - \lg C_{i_2}) = (1/n) \sum_{i=1}^n \lg (C_{i_1}/C_{i_2}),$$

$$\Delta_{\text{ср}} = (1/\sqrt{2}n) \sum_{i=1}^n |\lg C_{i_1} - \lg C_{i_2}| = (1/\sqrt{2}n) \times \\ \times \sum_{i=1}^n \lg (C_{\text{большее}}/C_{\text{меньшее}}),$$

где n — число пар контрольных проб; C_{i_1} , C_{i_2} — результаты анализа. Систематическое расхождение $\delta_{\text{сист}}$ ($\delta_{\text{сист}} = 10 \Delta_{\text{сист}}$),

Величина погрешностей спектрального анализа

Контролируе- мый элемент	Интервал содержаний элемента, %	Выборка	Средняя погрешность	
			Системати- ческая	Случайная
Ba	0,01—0,099	796	0,97	1,29
	0,1—0,99	126	0,96	1,27
Be	0,0001—0,00099	771	1,02	1,27
	0,001—0,0099	105	1,03	1,23
B	0,0001—0,00099	108	0,90	1,21
	0,001—0,0099	231	1,05	1,25
	0,01—0,099	116	1,03	1,27
V	0,0001—0,00099	303	0,97	1,26
	0,001—0,0099	935	1,05	1,26
	0,01—0,099	442	1,04	1,20
Bi	0,0001—0,00099	180	0,96	1,20
W	0,0003—0,00099	162	0,96	1,21
	0,001—0,0099	52	1,11	1,38
Ga	0,0001—0,00099	469	1,06	1,32
	0,001—0,0099	789	1,05	1,19
Ge	0,0001—0,00099	201	1,00	1,20
Yb	0,0001—0,00099	715	0,95	1,25
Y	0,0003—0,00099	387	1,00	1,28
	0,001—0,0099	459	1,03	1,28
Co	0,00005—0,000099	81	1,02	1,37
	0,0001—0,00099	326	1,01	1,18
	0,001—0,0099	309	0,97	1,22
Mn	0,01—0,099	365	1,01	1,27
	0,1—0,99	287	1,05	1,20
Cu	0,001—0,0099	510	0,93	1,25
	0,01—0,099	317	0,97	1,20
Mo	0,00005—0,000099	306	1,01	1,20
	0,0001—0,00099	998	0,98	1,30
	0,001—0,0099	109	0,94	1,23

выходящее за пределы 0,95—1,05, подлежит устранению, случайное среднее отклонение ($\sigma_{\text{ср}} = 10\Delta_{\text{ср}}$) должно быть не более 1,5.

Результаты подсчета погрешностей по элементам и интервалам содержаний приведены в табл. 3. из которой следует, что случайная погрешность анализа для подавляющего большинства элементов лежит в интервале 1,15—1,35 и удовлетворяет требованиям, которые предъявляются Инструкцией по геохимическим методам поисков.

Несмотря на очевидные преимущества, рассмотренный выше экспрессный спектральный анализ не полностью удовлетворяет потребности геохимических поисков прежде всего из-за недостаточной точности определений. Поэтому проблема повышения точности анализа при одновременном сохранении экспрессности определений остается актуальной. В этой связи представляется весьма перспективным развиваемое А. А. Гусельниковым направление разработки методов совместного количественного спектрального определения содержаний групп химических элементов.

Методика, разработанная А. А. Гусельниковым, дает возможность совместного количественного определения содержаний свинца, цинка, никеля, кобальта, хрома, молибдена, олова, меди, ванадия, висмута, германия, кадмия, мышьяка, марганца, серебра, титана, вольфрама, бора — наиболее важных элементов-индикаторов рудных месторождений.

Анализ проводится по методу воздушного дутья на приборе ДФС-13 с решеткой 600 шт/мм. Осветительная система 3-линзовая с круглой диафрагмой на промежуточной линзе. Экспозиция 25 с, пластинки типа II, чувствительность 16 ед. ГОСТа. Источником возбуждения спектра служит сильноточная 3-фазная дуга переменного тока с силой тока на каждой фазе 30 А. В качестве дозирующего устройства используется дозатор с принудительной подачей пробы. В состав буферной смеси входит 90 % Al_2O_3 , 10 % Na_2CO_3 , 0,17 % Sb_2O_3 . В качестве внутреннего стандарта используется сурьма. Спектрограмма каждой пробы и эталона снимается на фотопластинке дважды. Градуировочные графики строятся в координатах $\Delta S - I g C$. Эталоны готовятся путем введения окислов соответствующих элементов в основу, приготовленную искусственно и имитирующую по своему составу алюмосиликатные породы. Содержания элементов в эталонах приведены в табл. 4. Пробы и эталоны готовятся в соотношении 1 : 1 с буферной смесью и перемешиваются в агатовой ступке со спиртом.

Аналитические пары линий определяемых элементов, рекомендуемые с учетом мешающих элементов, приведены в табл. 5.

Была проведена оценка правильности определения элементов по Международным стандартам «гранит» и «сланец». Результаты проверки для некоторых элементов представлены на рис. 3. Из графиков следует, что определенные содержания элементов в стандартах по рабочим эталонам совпадают с паспортными.

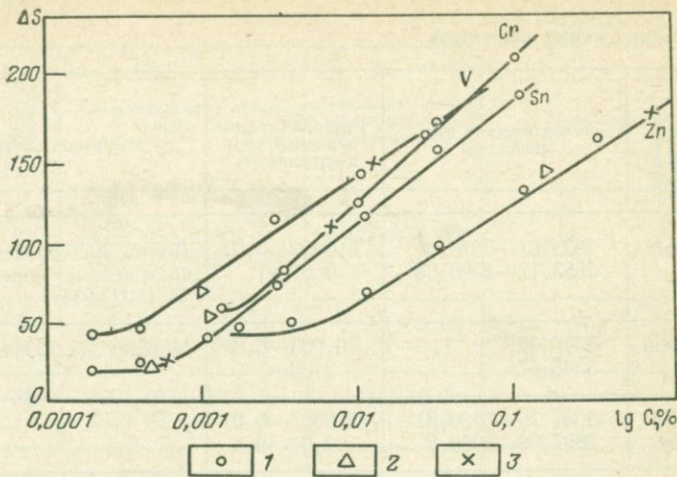


РИС. 3. Градуировочные графики искусственных эталонов и стандартов:

1 — искусственные эталоны; 2 — гранит; 3 — глинистый сланец

Таблица 4
Содержание элементов на групповой количественный анализ (в %)

Эталон	Cu	Mn	Ti	Zn	As	Ni	Cr	W
1	0,0002	0,007	0,0005	0,002	—	0,0003	0,0005	—
2	0,0005	0,0073	0,0008	0,003	0,003	0,0004	0,0008	0,0001
3	0,0012	0,008	0,0015	0,005	0,01	0,0006	0,0015	0,0003
4	0,0032	0,01	0,0035	0,012	0,03	0,0013	0,0035	0,001
5	0,01	0,017	0,01	0,032	0,1	0,0033	0,01	0,003
6	0,03	0,037	0,03	0,1	0,3	0,01	0,03	0,01
7	0,1	0,1	0,1	0,3	1	0,03	0,1	0,03
8	0,3	0,3	0,3	1	3	0,1	0,3	0,1
9	1	1	1	3	—	0,3	1	—
10	3	3	3	—	—	1	—	—

Продолжение табл. 4

Эталон	Mo	B	Co	Sn, V	Cd	Ge, Bi	Ag	Pb
1	0,00002	0,0006	0,0001	0,0001	—	—	0,000005	0,0004
2	0,00012	0,0007	0,0002	0,0002	0,0003	0,0001	0,000008	0,0005
3	0,00032	0,0009	0,0003	0,0004	0,001	0,0003	0,000015	0,0007
4	0,001	0,0016	0,0011	0,0011	0,003	0,001	0,000035	0,0014
5	0,003	0,0036	0,0032	0,0031	0,01	0,003	0,0001	0,0034
6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,0003	0,01
7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,1	0,03	0,001	0,03
8	0,1	0,1	0,1	0,1	—	—	0,003	0,1
9	—	—	0,3	0,3	—	—	0,01	0,3
10	—	—	—	—	—	—	1	—



Аналитические линии элементов

Определяе- мый элемент	Элемент сравнения	Аналитические пары линий, нм	Интервал опре- деляемых кон- центраций, %	Мешающие линии
Pb	Sb	2833,07—3029,8 2663,17—2598,06	0,0005—0,01 0,01—1	Линии 3029,83 мешает повышенное содержание Ti (3029,93)
Zn	Фон	3345,02 3345,57	0,003—0,3 0,03—1	Мешает Ca (3344,5)
Bi	Sb	3067,72—3029,8 2897,98—3029,8	0,0003—0,01 0,01—0,3	—
Ni	Sb	3031,9—3029,8 3458,47—3267,5 3315,66—3267,5	0,03—1 0,0005—0,01 0,003—0,3	Линии Sb (3267,5) ме- шает повышенное содер- жание V (3267,7) и Mn (3267,79)
Co	Sb	3453,5—3267,5 3044,0—3029,8	0,0003—0,03 0,003—0,3	—
V	Sb	3183,4—3267,5 2952,07—3029,8	0,0005—0,01 0,01—0,3	—
Cr	Sb	3014,76—3029,8 2678,8—2598,06	0,0005—0,03 0,01—1	—
Mo	Sb	3170,35—3267,5	0,0001—0,01	Линии Mo (3170,35) ме- шает Fe (3170,50) при содержании Fe > 10 %
Sn	Sb	3175,02—3267,5 2839,99—2877,9	0,0003—0,1 0,001—0,3	—
Cu	Sb	3274,0—3267,5 2824,4—3029,8 3010,8—3029,8	0,0005—0,1 0,01—0,3 0,3—3	—
Ti	Sb	3168,5—3267,5 2841,9—3029,8 2877,9	0,003—0,03 0,01—3	—
Mn	Sb	2801,064—3029,8 2933,1—3029,8 2877,9	0,001—0,1 0,005—1	—
Ag	Sb	3382,89—3267,5	0,00001—0,03	—

Определяемый элемент	Элемент сравнения	Аналитические пары линий, нм	Интервал определяемых концентраций, %	Мешающие линии
Ge	Sb	3039,064—3029,8 2691,354—2598,06	0,0003—0,03 0,01—0,1	—
W	Sb	2947,0—3029,8 2896,0—3029,8	0,001—0,03 0,01—0,3	—
Cd	Sb	3261,057—3267,5 3403,653—3267,5	0,003—0,3 0,01—0,3	—
B	Sb	2496,78—2598,06	0,001—0,03	—
As	Sb	2860,45—2877,9 2898,71—3029,8	0,01—0,3 0,03—1	—

Данные о погрешностях анализа рядовых геохимических проб приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты оценки ошибок анализа (в относительных %)

Определяемый элемент	Число			Коэффициент вариации		$V = \sqrt{V_B^2 + V_f^2}$	Границы определения, %
	проб	дубликатов	параллельных определений	воспроизведения V_B	временной V_f		
Марганец	13	2	2	18,73	15,8	24,4	0,001—0,3
Хром	25	2	2	28,09	24,5	37,2	0,0007—1,0
Ванадий	28	2	2	10,23	17,0	19,8	0,0005—0,01
Никель	29	2	2	20,22	18,2	27,2	0,0005—0,03
Медь	26	2	2	15,32	14,2	20,6	0,0001—1,0
Серебро	26	2	2	12,58	30,5	32,9	0,0001—0,3
Цинк	14	2	2	9,31	17,5	19,8	0,003—1,0
Свинец	26	2	2	13,13	24,8	28,0	0,0005—1,0
Висмут	11	2	2	10,94	17,3	20,4	0,0003—0,01
Олово	26	2	2	21,15	22,5	30,8	0,0005—0,1
Молибден	24	2	2	14,77	16,6	22,2	0,0003—0,01

Сущность геохимических поисков рудных месторождений, как известно, заключается в обнаружении и оценке геохимических аномалий, обусловленных процессами рудообразования, в том числе и первичных ореолов, развитых в коренных рудовмещающих породах.

Оконтуривание первичных геохимических ореолов производилось по общеизвестной методике, основанной на сравнении исследованных участков с параметрами фонового распределения элементов. Для расчета этих параметров и определения на этой основе минимально аномальных концентраций химических элементов для каждой разности рудовмещающих пород были использованы результаты геохимического опробования коренных пород на специально выбранных фоновых участках, удаленных от рудных тел и месторождений и не несущих следов проявления рудной минерализации.

Известно, что первичные ореолы обычно используются на стадии детальных геохимических работ, которые, как правило, проводятся в пределах рудных полей, где по причине широкого проявления рудогенных процессов выбор действительно фоновых участков затруднен. Обычно участки для расчета параметров фонового распределения элементов-индикаторов выбираются за пределами окolorудных изменений рудовмещающих пород. Однако этот критерий недостаточно надежен, так как первичные ореолы многих элементов по размерам существенно превосходят ореолы измененных пород, в связи с чем нередко на фоновых участках обнаруживаются аномалии, исключающие использование подобных выборок для расчета параметров фонового распределения элементов-индикаторов. Во избежание подобных ошибок фоновое опробование должно осуществляться не на одном, а на нескольких участках (двух-трех) 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 %-ным уровнем значимости. Методика и примеры расчетов параметров распределения и на этой основе минимально аномальных содержаний детально изложены в работах [3, 11].

«УСИЛЕНИЕ» ОРЕОЛОВ

Успехи в изучении и практическом использовании первичных геохимических ореолов (частности, возможность поисков по первичным ореолам залегающих на значительных глубинах «слепых» рудных тел и месторождений) существенно повысили эффективность геохимических методов в целом. Рудные тела и месторождения, как известно, фиксируются надрудными орео-

лами элементов-индикаторов, характеризующимися низкими субкларковыми концентрациями соответствующих элементов-индикаторов. При этом содержание 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, а также других особенностей оруденения формируются различные по размерам первичные ореолы элементов-индикаторов. Так, если на скарново-полиметаллических месторождениях верти-

кальная протяженность первичных ореолов превышает сотни метров (в отдельных случаях достигает 1 км), то на некоторых месторождениях другого состава (например, золоторудных) первичные ореолы элементов настолько незначительны по размерам и интенсивности, что надежное их обнаружение при геохимических поисках представляет значительные трудности. В связи с этим приобретают особую актуальность методы «усиления» слабых первичных ореолов.

В этой связи представляет существенный методический интерес рассмотрение факторов, контролирующих размеры первичных геохимических ореолов и прежде всего протяженность надрудных ореолов. Важность этого вопроса станет очевидной, если учесть, что вертикальная протяженность надрудных ореолов определяет глубинность поисков слепого оруденения по его первичным ореолам. Анализ особенностей строения первичных ореолов позволил установить, что убывание параметров элементов-индикаторов по их восстанию над слепыми рудными телами происходит в логарифмической пропорции, т. е. в геометрической прогрессии [3]. На рис. 4 графически определена протяженность ореола подвижного урана над слепым рудным телом, залегающим на глубине 200 м. Как видно, кривая изменения по вертикали линейной продуктивности P ореола подвижного урана, построенная в полулогарифмической системе координат, представляет собой практически прямую линию. Для определения вертикальной протяженности ореола урана над рудным телом линейная продуктивность ореола продолжена до пересечения с осью ординат, соответствующей минимальной аномальной продуктивности. Такой продуктивностью обладает ореол, характеризующийся

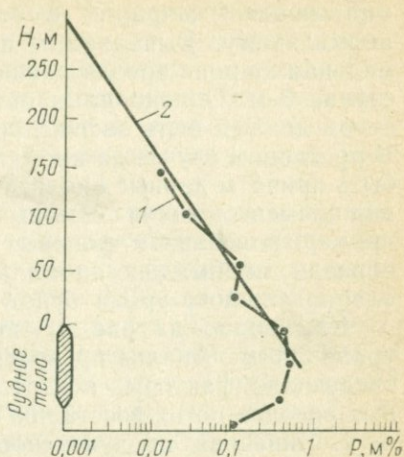


РИС. 4. Кривые изменения в разрезе линейной продуктивности первичного ореола P :

1 — эмпирическая; 2 — усредненная

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 содержания 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 урана будет $0,0002 \cdot 10 = 0,002$ м%.

Как видно из рис. 4, протяженность ореола подвижного урана 300 м. Анализ приведенного графика позволяет выделить следующие факторы, контролирующие протяженность надрудных ореолов по их восстанию (как и размеры ореолов в целом).

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 кривой 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 40 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.

Из изложенного следует, что фоновое распределение химических элементов в рудовмещающих породах является помехой выявлению первичных геохимических ореолов (как и любых других аномалий), и поэтому усиление аномалий прежде всего требует применения таких приемов опробования, анализа проб и обработки аналитических данных, которые способствуют уменьшению мешающего влияния геохимического фона. Существует ряд методов «усиления» геохимических аномалий [7], из которых ниже рассматриваются 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 влияние сингенетического рассеяния элемента (фон) можно свести

к минимуму, используя рациональный химический анализ геохимических проб [7]. На примере одного из урановых месторождений рассмотрим эффективность использования рационального анализа геохимических проб для достижения большей полноты оконтуривания первичных ореолов на примере свинца — одного из наиболее типоморфных элементов-индикаторов рудных месторождений.

Установлено, что основным носителем свинца в его первичных ореолах является галенит. Рудовмещающими на месторождении являются аляскитовые граниты. В гранитах основная часть свинца, по данным Л. В. Таусона [3], находится в виде изоморфной смеси в калиевых полевых шпатах. Для избирательного перевода в раствор галенита был использован метод обработки проб, рекомендованный Л. В. Таусоном. Растворителем служила соляная кислота концентрации 1:50 (по объему), содержащая поваренную соль концентрации 1 г/л. Экспериментально установлено, что кислота такой концентрации практически не разрушает кристаллическую решетку породообразующих минералов, но хорошо растворяет галенит. Содержание свинца определялось дитизиновым методом (аналитик Б. М. Елов).

Статистическая обработка результатов анализа фоновой выборки позволила определить минимально аномальное содержание легкоизвлекаемого свинца, равное $1 \cdot 10^{-3} \%$, что на порядок меньше минимально аномального содержания по общему содержанию свинца, равному $1 \cdot 10^{-2} \%$ (минимально аномальные содержания определены с 5 %-ным уровнем значимости). Изучение особенностей развития ореолов свинца по ряду разрезов показало, что ореолы, выявленные по результатам рационального анализа, более чем в 3 раза шире и протяженнее ореолов, оконтуренных в результате определения в пробах валового содержания свинца (спектральный анализ). Метод рационального анализа геохимических проб с успехом был использован также для увеличения глубинности поисков слепого оруденения по первичным ореолам так называемого «подвижного» урана [7].

Наряду с отмеченной повышенной «чувствительностью» к обнаружению слабоконтрастных геохимических аномалий (первичных ореолов) методам рационального химического анализа присущи определенные недостатки, препятствующие их широкому внедрению в практику геохимических поисков. Это прежде всего необходимость привлечения более чувствительных методов анализа.

Для рассмотренного выше примера применения рационального анализа для обнаружения слабоконтрастных ореолов свинца потребовалось повышение чувствительности анализа на порядок, что сопряжено с существенным удорожанием анализа. Последнее усугубляется тем, что в отличие от широко применяемого экспрессного спектрального анализа при рациональном анализе мы лишены возможности одновременного определения

в одной навеске проб содержаний большого числа химических элементов. Рациональный анализ для каждого элемента-индикатора является специфическим, что, естественно, резко повышает трудоемкость и стоимость аналитических работ. Следует также отметить, что существенным ограничением для эффективного применения рационального анализа является также то обстоятельство, что возможность его применения определяется прежде всего формами нахождения интересующего элемента в ореолах и на фоне: во многих случаях наблюдается идентичность этих форм (или их растворимости), не позволяющая использовать методы рационального анализа вообще.

Метод анализа тяжелых фракций геохимических проб. Методической основой использования этого способа для усиления первичных 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.).

В табл. 7 приведены размеры ореолов, выявленных методом анализа тяжелых фракций, в единицах, кратных размерам (ширине) ореолов, выявленных методом анализа общих проб. Приведенные данные показывают, что во всех случаях с помощью метода анализа тяжелых фракций выявляются ореолы, по размерам существенно превосходящие ореолы, оконтуренные по результатам анализа валовых геохимических проб.

Исследования показывают, что по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб удастся обнаружить ореолы, более значительные не только по размерам, но и по интенсивности [7].

Метод суммарных ореолов. Установлено, что вокруг рудных тел могут быть выявлены более контрастные геохимические ореолы, если производить суммирование содержаний группы элементов-индикаторов. Существуют две модификации суммарных ореолов: аддитивные и мультипликативные.

Построение аддитивных ореолов производится путем простого сложения содержаний элементов-индикаторов нормиро-

Таблица 7

Соотношение размеров ореолов, выявленных методом тяжелых фракций

Элементы-индикаторы	Класс крупности, мм					Представительный класс*
	+0,6	-0,6+0,4	-0,4+0,25	-0,25+0,1	-0,1	
Свинец	2,5	2,4	2,6	2,2	3,8	-0,1
Молибден	2,1	2,3	1,8	1,5	4,1	-0,1
Цинк	2,7	2,9	3,8	2,0	2,8	-0,4+0,25
Медь	6,6	6,6	6,8	5,6	8,6	-0,1

* Представительным называется класс, по которому выявляется максимальный по размерам ореол.

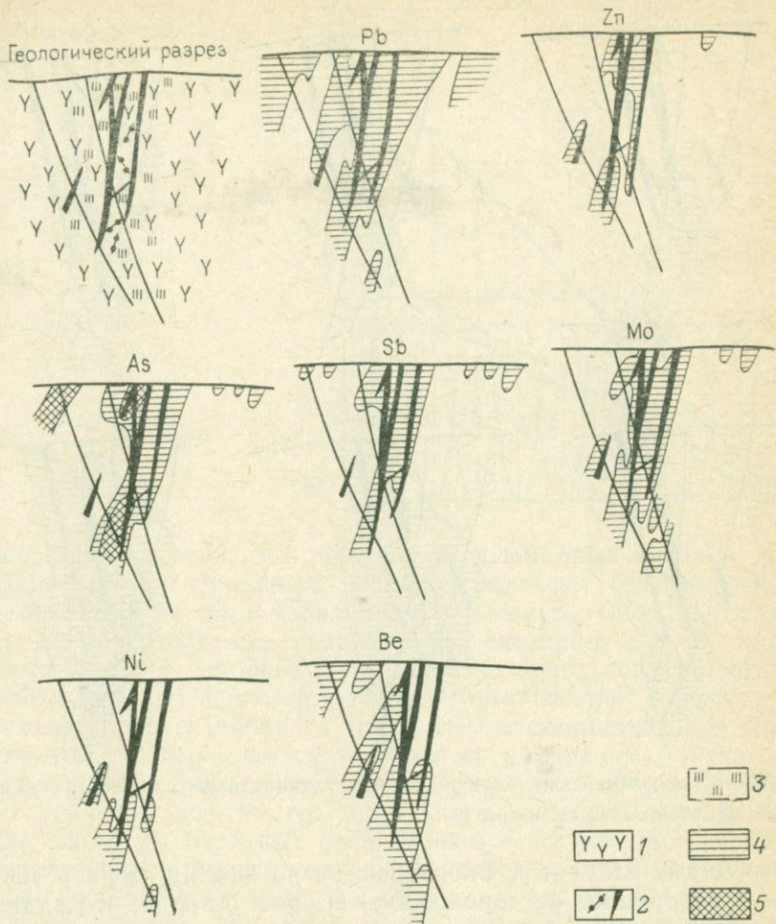


РИС. 5. Первичные ореолы в разрезе:

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

ванных через средние фоновые их содержания в рудовмещающих породах. Оконтуривание ореолов в этом случае производится по величине минимально аномального (суммарного) содержания элементов-индикаторов, рассчитанной по результатам геохимического опробования «фоновых» участков. Аддитивные ореолы по сравнению с моноэлементными являются более значительными по размерам и интенсивности. Направленное суммирование коррелирующихся полезных сигналов сводит к минимуму влияние случайных ошибок и прежде всего помех фона. В результате этого аддитивные ореолы проявляют более тесную связь с геологоструктурными особенностями рудных тел и месторождений, что, в свою очередь, существенно повышает надежность их интерпретации. На рис. 5 и 6 приведены первичные ореолы ряда

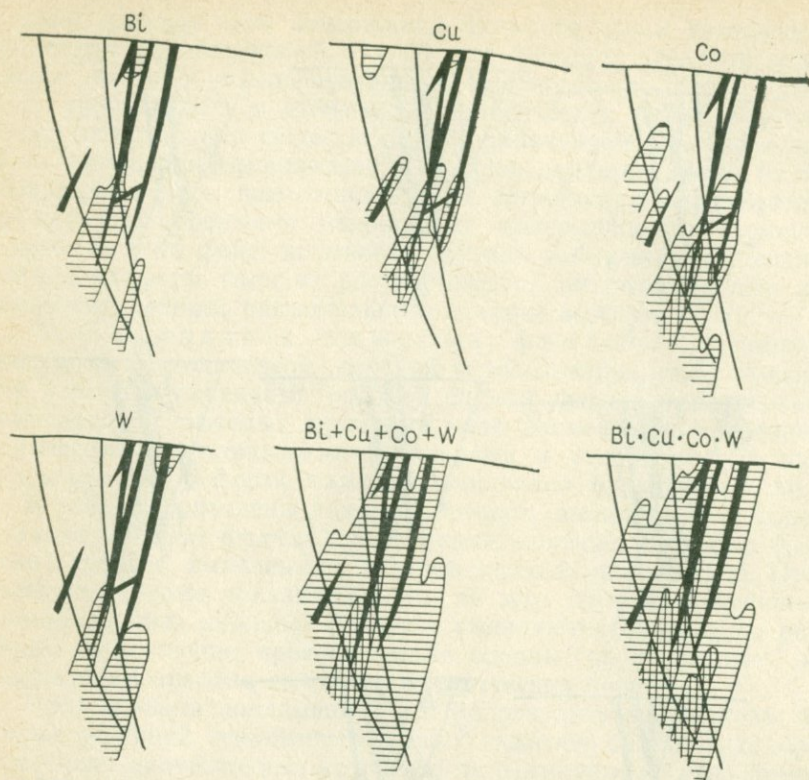


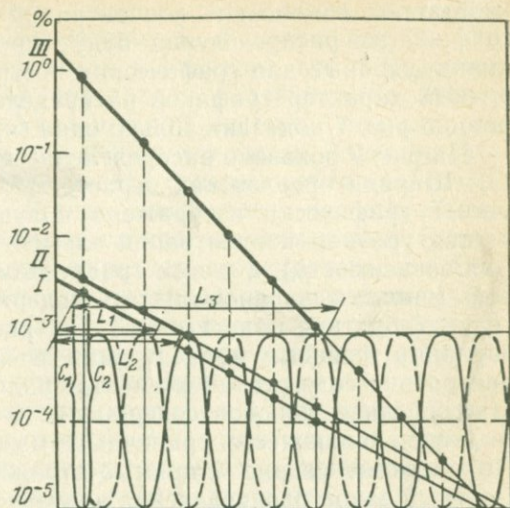
РИС. 6. Моноэлементные, аддитивные и мультипликативные ореолы в разрезе.
Условные обозначения см. на рис. 5

химических элементов, оконтуренные по одному из разрезов через золоторудное месторождение. Из рис. 5 видно, что аддитивные ореолы как по размерам, так и по интенсивности существенно превосходят любой из моноэлементных.

Аналогичные результаты будут получены, если вместо сложения произвести перемножение содержаний элементов-индикаторов в каждой пробе и построить по этим данным ореолы, названные мультипликативными. Метод мультипликативных ореолов по сравнению с аддитивным менее трудоемок в вычислениях, поскольку отпадает необходимость в определении фоновых содержаний каждого из элементов-индикаторов и нормировании значений их концентраций во всех отобранных пробах. Если из-за недостаточной чувствительности анализа значимые содержания тех или иных элементов не обнаруживались, при построении суммарных ореолов содержания элементов мы условно приравнивали к половине порога чувствительности анализа.

Методы рационального анализа геохимических проб и анализа тяжелых фракций по сравнению с построением суммарных ореолов более трудоемки, поэтому их использование целесооб-

РИС. 7. Идеализированные кривые распределения содержаний элементов вокруг рудного тела



разно в тех случаях, если построение суммарных ореолов (по результатам спектрального анализа рядового геохимического опробования) не дает удовлетворительных результатов (выявлены слабоконтрастные, разрозненные аномалии и т. д.). В подобных случаях наиболее целесообразно использование метода анализа тяжелых фракций, поскольку он позволяет существенно «усилить» ореолы широкого круга элементов-индикаторов (всех элементов, содержащихся в тяжелых минералах), тогда как с помощью рационального (фазового) анализа общих проб эффект усиления достигается для одного элемента, что при изучении многокомпонентных ореолов явно недостаточно. Очевидно, что построение суммарных ореолов по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб даст максимальный эффект усиления слабых аномалий. Опыт, однако, показывает, что в большинстве случаев построение суммарных ореолов по рядовым анализам оказывается достаточным, в связи с чем этот метод рекомендуется в качестве основного при обработке результатов геохимического опробования.

Как уже отмечалось, мультипликативные аномалии отличаются от моноэлементных не только повышенной интенсивностью, но и большими размерами. Известно, что в поперечном к рудному телу направлении убывание концентрации элементов-индикаторов в первичных ореолах происходит экспоненциально: в соответствии с этим графики распределения, построенные в полулогарифмическом масштабе, будут представлены прямыми линиями, как это показано на рис. 7. По оси абсцисс в линейном масштабе отложено расстояние от рудного тела (или поля максимальной интенсивности), совпадающего с началом координат. По оси ординат в логарифмическом масштабе содержания элементов: в этом случае, вследствие экспоненциального

характера изменения концентраций химических элементов, графики их распределения будут представлять собой прямые линии, удобные для графических построений. Учитывая симметричный характер графиков распределения элементов-индикаторов, на рис. 7 показана только одна (правая) половина графика.

На рис. 7 показано распределение двух элементов (прямые *I*, *II*). Ширина ореолов как первого, так и второго элемента (на рис. 7 графически изображена полуширина ореолов) определяется уровнем концентрации элементов в рудных телах (прямая зависимость), а также градиентом концентрации и величиной минимально аномального содержания элементов-индикаторов (обратная зависимость). На рис. 7 условно изображены вариации фоновых концентраций и основные параметры распределения содержаний элементов-индикаторов на фоновом участке: среднее фоновое содержание, а также минимально аномальное, являющееся граничным между аномалией и фоном. Приведенные на рис. 7 прямые отражают логарифмически нормальный закон распределения элементов, наиболее характерный для микроэлементов в первичных ореолах.

Фоновые содержания существенно препятствуют выявлению достаточно значительных по размерам геохимических аномалий (ореолов). Естественно, эта «дискриминация» будет тем существенней, чем выше минимально аномальное содержание, определяемое основными параметрами фонового распределения содержаний данного элемента — его средним и стандартом распределения.

На рис. 7 графически изображены мультипликативные ореолы (прямая *III*) для элементов *I* и *II*. Часто возникает вопрос о геохимическом смысле мультипликативных ореолов и необходимости перемножения содержаний химических элементов. При этом модификация суммарных аномалий — аддитивная — подобных сомнений не вызывает, поскольку при построении производится простое и понятное сложение (суммирование) содержаний группы элементов-индикаторов. Представляется, что мультипликативные аномалии можно считать разновидностью аддитивных, если при построении мультипликативных аномалий в качестве первичной цифровой геохимической информации использовать не содержания элементов-индикаторов, а значения логарифмов содержаний, что вполне корректно, так как распределение микроэлементов в первичных ореолах, как, впрочем, и на фоновых участках, обычно удовлетворительно аппроксимируется логнормальным законом.

Линия мультипликативного ореола L_3 построена путем сложения отрезков, пропорциональных логарифмам содержаний элементов в данной точке (см. рис. 7). Мультипликативный ореол существенно отличается от каждого из исходных моноэлементных как повышенной интенсивностью, что естественно, поскольку производилось перемножение содержания (сложение логарифмов содержаний), так и размерами: в рассматриваемом

примере мультипликативный ореол L_3 по ширине более чем в 2,5 раза превышает моноэлементные L_1 и L_2 (см. рис. 7). Нетрудно убедиться, что «выигрыш» в размерах при построении мультипликативных ореолов обусловлен различиями в характере корреляционных связей содержаний элементов-индикаторов в первичных ореолах и на фоновых участках. Известно, что в пределах первичных ореолов между содержаниями элементов-индикаторов практически всегда выявляется положительная корреляционная связь. В данном случае имеются в виду только ореолы привноса, для которых характерна приуроченность максимальных содержаний элементов-индикаторов к рудовмещающей структуре (рудному телу) с более или менее синхронным убыванием концентраций элементов по мере удаления от рудовмещающих структур в стороны, особенно контрастно (с максимальным градиентом) вкrest простираия рудовмещающих структур. Вследствие существования положительной корреляционной связи между содержаниями элементов-индикаторов при построении суммарных аномалий (как аддитивных, так и мультипликативных) происходит направленное суммирование содержаний элементов-индикаторов, что и обеспечивает резкое усиление аномалий.

В отличие от первичных ореолов на фоновых участках характер корреляционных связей между содержаниями элементов-индикаторов не столь однозначен, поскольку они определяются геохимическими особенностями рудовмещающих пород. Разнообразие вмещающих пород в свою очередь определяет резкую изменчивость в характере корреляционных связей между содержаниями даже одних и тех же элементов-индикаторов.

Опыт показывает, что по характеру корреляционных связей между содержаниями элементов-индикаторов фоновые участки рудовмещающих пород обычно существенно отличаются от первичных ореолов: нередки случаи, когда для элементов-индикаторов с тесной положительной корреляцией в первичных ореолах на фоне устанавливается существенная отрицательная связь. Именно такой случай, наиболее благоприятный для существования выигрыша в размерах при построении мультипликативных ореолов, показан на рис. 7, где графически изображена отрицательная корреляция в фоновом распределении элементов-индикаторов. Этот характер корреляции отражен соответствующим сдвигом относительно друг друга синусоидальных по виду кривых распределения элементов-индикаторов на фоновых участках. Именно благодаря наличию отрицательной корреляции между содержаниями элементов-индикаторов на фоне (асинхронность кривых распределения элементов-индикаторов) при построении мультипликативных ореолов минимально аномальное значение произведений содержаний (сумма логарифмов содержаний) практически не меняется, поскольку из-за сдвига кривых фоновых содержаний они при суммировании «гасят» друг друга. В результате слабые «подфоновые» концентрации

элементов, суммируясь, преодолевают барьер фона и оказываются «надфоновыми», т. е. аномальными. Именно поэтому мультипликативные аномалии по сравнению с исходными моноэлементными становятся более значительными по размерам. Как уже отмечалось, для рассматриваемого примера мультипликативные ореолы, построенные всего лишь для двух элементов, по ширине (а следовательно, по объему в целом) более чем в 2,5 раза превосходят моноэлементные (см. рис. 7). Выигрыш в размерах при построении мультипликативных ореолов особенно значителен для слабоконтрастных ореолов, тогда как для более интенсивных ореолов этот выигрыш менее значителен.

Отметим еще раз, что существенное расширение аномальных полей (по сравнению с моноэлементными аномалиями) достигается только при отсутствии положительной корреляционной связи между содержаниями принимающих участие в суммировании элементов-индикаторов, и это обстоятельство должно быть учтено как при выборе для построения суммарных ореолов оптимальной группы элементов-индикаторов, так и при интерпретации выявленных геохимических аномалий. Известно, что отсутствие положительной корреляции между фоновыми содержаниями элементов является наиболее распространенным, но не единственно возможным случаем, поэтому при построении и интерпретации суммарных аномалий должен быть учтен характер корреляционного анализа и прежде всего характер корреляционных связей фоновых содержаний элементов-индикаторов в конкретных типах рудовмещающих пород.

При использовании методов построения интегральных аномалий следует также иметь в виду, что многие химические элементы образуют в околорудном пространстве отчетливые зоны выноса. Объединение этих элементов в одну группу с элементами привноса не только не приведет к существенному усилению мультипликативных аномалий, но и может их существенно ослабить в силу своеобразного гашения повышенных концентраций одних элементов (аномалии привноса) пониженными концентрациями других (аномалии выноса). В этой связи особую «опасность» представляют элементы-индикаторы, поведение которых отличается своеобразной геохимической инверсией; характерным представителем этой группы элементов-индикаторов является барий, для которого на многих месторождениях выявлен отчетливый вынос из рудовмещающих структур на уровне нижнерудных и подрудных сечений с формированием широких и интенсивных ореолов привноса на уровне верхнерудных и надрудных частей околорудных ореолов.

Суммарные аномалии могут быть построены для различных групп элементов-индикаторов. В практике геохимических поисков наиболее часто используются следующие разновидности суммарных аномалий: общие суммарные аномалии, при построении которых используются все элементы-индикаторы, образующие или аномалии привноса, или аномалии выноса. Частные

суммарные аномалии строятся по меньшему числу элементов-индикаторов, выделяемых по определенному признаку. Наиболее часто практикуется дифференциация элементов-индикаторов по принципу геохимической зональности: обычно строятся частные суммарные аномалии для групп надрудных и подрудных элементов, которые достаточно контрастно фиксируют геохимическую зональность в строении аномалий.

ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРЕОЛОВ

В строении первичных ореолов существует зональность, обусловленная закономерными изменениями в пространстве различных характеристик ореолов. Зональность ореолов — понятие векторное, поэтому в зависимости от направления рассматриваются три основных типа зональности (рис. 8). Осевая 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 простиранию, а поперечная — вкрест простирания. Для рудных тел субгоризонтального залегания осевая и продольная зональности совпадают с горизонтальной, а поперечная — с вертикальной зональностью (в случае согласного развития ореолов).

Осевая зональность первичных ореолов является наиболее важной как в теоретическом, так и в практическом отношении. Во избежание многочисленных повторений осевая зональность в дальнейшем изложении будет именоваться «зональностью», а продольная и поперечная — отмечены специально.

Особого внимания заслуживает вертикальная зональность первичных ореолов, имеющая решающее значение при оценке уровня эрозийного среза геохимических аномалий. Вертикальная зональность первичных ореолов гидротермального оруденения впервые была установлена А. Д. Каблуковым и Г. И. Вертеповым в 1960 г. на примере изучения одного из урановых месторождений, где ими отмечался отчетливый сдвиг вверх ореола свинца по отношению к полю аномальных содержаний урана.

Ряды зональности. Исследованиями последних лет доказано большое практическое и теоретическое значение геохимической

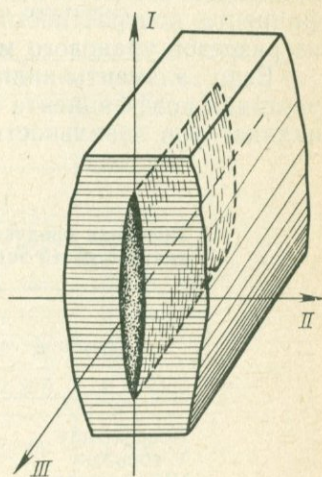


РИС. 8. Направления осевой (I), поперечной (II) и продольной (III) зональности

зональности рудных тел, месторождений и их первичных ореолов. Геохимическая зональность отражает особенности распределения различных химических элементов в пространстве, и поэтому при ее описании обязательно учитывается вектор зональности. Для характеристики зональности в различных направлениях обычно используются ряды элементов-индикаторов, ранжированных по закономерным изменениям тех или иных показателей.

Для сравнительной оценки зональности ореолов различных элементов и выбора на этой основе наиболее эффективных элементов-индикаторов предложен ряд методов составления рядов элементов-индикаторов зональности. В настоящей работе эти методы рассматриваются весьма детально как в связи с большим методическим и практическим значением зональности первичных ореолов, так и с учетом возможности использования этих методов при составлении любых ранжированных по определенному признаку рядов элементов-индикаторов и, в частности, при составлении рядов, последовательность расположения элементов в которых определяется подвижностью химических элементов не только в эндогенных, но и в гипергенных условиях. Методика составления рядов зональности рассматривается на примере осевой геохимической зональности первичных ореолов гидротермальных месторождений, вектор которой совпадает с направлением движения рудообразующих растворов.

Из существующих методов наиболее простым является метод коэффициента контрастности зональности, который представляет собой отношение значений параметров ореола данного элемента на верхнем и нижнем сечениях исследуемого разреза. В табл. 8 приведены значения линейных продуктивностей ореолов и коэффициента контрастности зональности, рассчитанные по одному из разрезов уранового месторождения в гранитах.

Если элементы-индикаторы расположить по порядку возрастания коэффициента контрастности, получим ряд элементов-индикаторов зональности, где слева направо происходит смена

Таблица 8

Линейная продуктивность и коэффициент контрастности зональности ореолов

Уровни ореолов	Линейная продуктивность, м%			
	U	Cu	Zn	Pb
Поверхность	0,3	1,2	3,0	12,0
V горизонт	0,45	1,3	1,6	5,0
VII горизонт	0,5	0,7	0,2	0,26
Коэффициент контрастности зональности	0,6	1,7	15,0	46,0

подрудных индикаторов надрудными. Для рассмотренного примера будем иметь: уран—медь—цинк—свинец. Практическое значение подобных рядов заключается в том, что с их помощью удастся определить наиболее контрастные, а следовательно, наиболее надежные для оценки уровня эрозионного среза индикаторные отношения, какими будут пары элементов, максимально удаленных в рядах зональности. Для рассмотренного примера такой является пара свинец—уран.

Использование коэффициента контрастности зональности дает однозначные результаты только при условии монотонного характера изменения по вертикали продуктивностей ореолов. Однако часто это условие нарушается, в связи с чем более надежно использование показателя зональности элемента-индикатора, который представляет собой отношение продуктивности ореола одного элемента к сумме продуктивностей ореолов всех элементов-индикаторов данного типа оруденения.

Результаты обработки данных геохимического опробования рудных тел и коренных пород по одному из вертикальных поперечных разрезов скарново-полиметаллического месторождения Акташ приведены в табл. 9. Нетрудно убедиться, что показатель зональности количественно отражает относительное накопление элемента на каждом из горизонтов конкретного разреза. Из табл. 9 следует, что максимальное относительное накопление мышьяка и сурьмы наблюдается на верхнем горизонте, свинца — на втором, меди и висмута — на третьем, а молибдена — на самом нижнем уровне ореолов. Таким образом, по результатам расчета показателя зональности можно составить

Таблица 9

Показатель зональности элементов на различных уровнях ореолов

Элементы-индикаторы	Горизонты опробования			
	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>	0,055	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>
Сумма . .	1,004	0,997	0,997	1,005

Примечание. Подчеркнуты максимальные значения.

следующий ряд элементов (снизу вверх): молибден—(медь, висмут) — свинец—(сурьма, мышьяк).

В скобки заключены элементы, взаимоотношения которых между собой неясны, поскольку максимальные значения их показателя зональности установлены на одних и тех же горизонтах ореолов. Для дальнейшего уточнения местоположения подобных элементов в ряду зональности можно пользоваться градиентом показателя зональности по вертикали. В случае, если сравняются элементы, максимальное накопление которых установлено на крайних уровнях ореолов (верхний или нижний), для оценки этой изменчивости можно пользоваться формулой

$$G = \left(\sum_1^n \frac{D_{\max}}{D_i} \right) / n,$$

где G — градиент 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 мышьяка и сурьмы по данным табл. 9 получим:

$$\begin{aligned} G_{As} &= (0,148/0,006 + 0,148/0,036 + 0,148/0,04)/3 = \\ &= (24,7 + 4,1 + 3,7)/3 = 10,8; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{Sb} &= (0,574/0,056 + 0,574/0,184 + 0,574/0,139)/3 = \\ &= (10,2 + 3,1 + 4,1)/3 = 5,8. \quad G_{As} > G_{Sb}, \end{aligned}$$

что позволяет в ряду зональности расположить мышьяк после сурьмы.

Если максимальные значения показателя зональности элементов установлены на крайнем нижнем горизонте, в ряду зональности элементы будут расположены по убыванию градиента. В тех случаях, когда максимальное относительное накопление нескольких элементов наблюдается на уровне средних горизонтов, можно пользоваться разностью градиентов $G_1 - G_2$, где G_1 — градиент по направлению вверх, G_2 — вниз от уровня горизонта максимального накопления элемента. Последовательность этих элементов в ряду зональности будет определяться указанной разностью градиентов: чем больше величина этой разности, тем левее место элемента в ряду зональности, и наоборот. Рассмотрим взаимоотношение меди и висмута, максимальное накопление которых установлено на уровне II горизонта (см. табл. 9): для меди

$$G_1 = (0,158/0,071 + 0,158/0,084)/2 = (2,23 + 1,88)/2 = 2,06,$$

$$G_2 = 0,158/0,156 = 1,01, \quad G_1 - G_2 = 2,06 - 1,01 = 1,05;$$

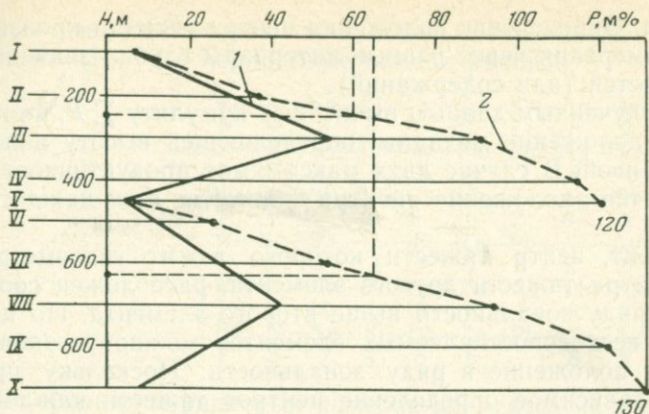


РИС. 9. График центра тяжести продуктивности ореола:

I—X — номера горизонтов; 1 — линейная продуктивность; 2 — кумулятивная продуктивность

для висмута

$$G_1 = (0,211/0,027 + 0,211/0,061)/2 = (7,54 + 3,46)/2 = 5,05,$$

$$G_2 = 0,211/0,177 = 1,19, \quad G_1 - G_2 = 5,05 - 1,19 = 3,86.$$

Разность градиентов показателя зональности висмута больше, что позволяет расположить в ряду зональности висмут левее меди.

Таким образом, для рассмотренного выше примера мы получили следующий ряд элементов-индикаторов зональности ореолов: молибден—висмут—медь—свинец—сурьма—мышьяк. Правильность вычислений при расчете показателя зональности может быть проверена суммой значений по каждому сечению, которая должна быть равна единице. Как следует из табл. 9, эта сумма отличается от единицы только в третьем знаке (за счет округлений). По сравнению с методом составления ряда зональности по коэффициенту контрастности (отношение продуктивностей пар элементов) метод показателя зональности обладает большей точностью: суммирование продуктивностей ореолов широкого круга элементов позволяет уменьшать влияние случайных ошибок определения исходных данных.

Н. Н. Сочевановым предложен способ составления рядов зональности по положению «центра тяжести», сущность которого сводится к построению графика изменения с глубиной продуктивности ореола каждого из элементов-индикаторов (рис. 9). Площадь всей фигуры, ограниченной с левой стороны осью глубин, с правой — кривой продуктивностей (или средних содержаний), адекватна запасу рассматриваемого элемента по данному разрезу в пределах изученного интервала ореола. Горизонтальная линия, разделяющая эту фигуру на две равные площади, характеризует глубину (отметку) центра тяжести данного

элемента. Определение положения центра тяжести производится путем измерения через равные интервалы глубин значений продуктивностей (или содержаний).

По полученным данным вычисляют кумуляту $\sum P$, по которой находят положение медианы, определяющей высоту центра тяжести кривой. В случае двух максимумов продуктивности устанавливается положение центра тяжести для каждого (см. рис. 9).

Элемент, центр тяжести которого лежит гипсометрически выше центра тяжести другого элемента, расположен соответственно в ряду зональности выше второго элемента. По центрам тяжести всех сопоставляемых элементов можно установить их взаимное положение в ряду зональности. Поскольку производится независимое определение центров тяжести каждого элемента, исключение из ряда зональности какого-либо элемента не приводит к необходимости пересчета, в чем заключается существенное преимущество этого способа. Расчеты будут упрощены, если аналитические расчеты заменить предложенным автором графическим построением кривых кумулятивной продуктивностью (см. рис. 9). Специальные расчеты показали, что методы показателя зональности и центра тяжести дают практически идентичные результаты и одинаково успешно могут быть использованы при обработке данных геохимических исследований.

Первичные ореолы обычно изучаются по разрезам, и по ним устанавливают ряды элементов-индикаторов зональности, различия между которыми обычно несущественны: элементы перемещаются на одну, редко две и более ячейки в рядах, что, вероятнее всего, является результатом не столько «нарушения» геохимической зональности по соседним разрезам, сколько дискретным характером изучения зональности, причем эти различия будут тем существеннее, чем дискретнее изучена зональность, т. е. чем меньше число опробованных горизонтов (гипсометрических уровней). На практике, как известно, редко удастся выполнить геохимическое опробование по представительному числу горизонтов: обычно при изучении особенностей первичных ореолов и в том числе их зональности приходится довольствоваться результатами геохимического опробования двух-трех (редко больше) горизонтов, в связи с чем часто наблюдаются определенные расхождения между рядами элементов-индикаторов зональности, установленными по одному и тому же рудному телу на соседних разрезах. В подобных случаях целесообразно пользоваться усредненными для каждого месторождения рядами элементов-индикаторов зональности, составленными способом расчета среднего порядкового номера.

Сущность этого способа заключается в том, что по сравниваемым рядам определяется средний порядковый номер каждого элемента, который рассчитывается как среднее арифметическое из его номеров в рядах. Усредненным будет ряд, составленный по возрастанию средних порядковых номеров. Ниже приведены

ряды элементов-индикаторов зональности, установленные по шести разрезам (I—VI — порядковые номера рядов).

I	W	Be	Sn	Bi	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Ba
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
II	Be	W	Sn	Cu	Bi	Pb	Zn	Ag	Sb	As	Ba
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
III	W	Be	Bi	Sn	Cu	Pb	Zn	Ag	Sb	As	Ba
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IV	W	Be	Sn	Cu	Bi	Zn	Pb	As	Ag	Ba	Sb
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	W	Sn	Be	Bi	Cu	Zn	Ag	Pb	Sb	As	Ba
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
VI	Be	W	Sn	Bi	Cu	Zn	Pb	As	Ag	Ba	Sb
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Расчет средних порядковых номеров элементов-индикаторов: $(1+2+1+1+1+2)/6=1,33$ (вольфрам); $(2+1+2+2+3+1)/6=1,83$ (бериллий). Аналогично получим для остальных элементов-индикаторов. Усредненный ряд, в котором элементы расположены по возрастанию среднего порядкового номера, будет: W (1,33) — Be (1,83) — Sn (3,0) — Bi (4,17) — Cu (4,67) — Zn (6,3) — Pb (7,17) — Ag (8,17) — As (9,17) — Sb (9,83) — Ba (10,67).

Усредненные ряды элементов-индикаторов зональности по рассмотренной методике могут быть составлены также для месторождений одной или даже разных по составу рудных формаций, когда исходными являются ряды по отдельным месторождениям. Опыт, однако, показывает, что в подобных случаях обычно приходится иметь дело с рядами, различающимися как по числу элементов-индикаторов, так и по элементному составу. Это определяется как различиями в вещественном составе руд месторождений, так и тем обстоятельством, что при обобщениях часто приходится пользоваться результатами исследований с различным аналитическим обеспечением: геохимические пробы анализировались на различный набор химических элементов.

Для обработки подобных «усеченных» как по числу, так и по элементному составу рядов элементов-индикаторов рассмотренная выше методика должна быть соответствующим образом видоизменена. Прежде всего необходимо выбрать общую для частных рядов основу, которая должна представлять собой ряд с максимальным числом элементов, включающий в свой перечень всевозможные элементы-индикаторы. Каким может быть максимальное число элементов-индикаторов? Опыт изучения первичных ореолов показывает, что в принципе элементами-индикаторами разнообразнейших месторождений являются практически все распространенные в природе химические элементы. При изучении и практическом применении первичных ореолов мы пользуемся только ограниченным числом элементов (обычно 15—20), что обусловлено несовершенством технических средств изучения геохимических аномалий и прежде всего недостатками аналитических возможностей. Не подлежит

сомнению, что в дальнейшем по мере разработки новых и коренного усовершенствования существующих аналитических методов (в основном направленного на существенное повышение чувствительности и экспрессности) перечень элементов-индикаторов будет неуклонно расширяться и приближаться к числу известных в природе химических элементов. Учитывая это обстоятельство, а также для простоты вычислений число элементов в общем ряду принимается равным 100. Методику составления усредненного (обобщенного) ряда элементов-индикаторов по признаку вертикальной (осевой) зональности рассмотрим на примере составления подобного ряда для первичных ореолов некоторых гидротермальных рудных месторождений Родопского рудного района (НРБ), исследованных А. И. Панайотовым и автором. В табл. 10 приведены ряды элементов-индикаторов тринадцати месторождений, резко отличающихся друг от друга как по числу, так и по перечню элементов-индикаторов.

Едиственное, что объединяет приведенные в табл. 10 ряды, — это практически одинаковая последовательность расположения элементов-индикаторов. По этому признаку сравниваемые ряды отличаются несущественно: перемещение элементов происходит обычно на одну-две ячейки. Отсутствуют более значительные перемещения, такие как переход элемента из надрудных в подрудные, и именно это позволяет составлять усредненные ряды, по которым можно судить о выдержанных закономерностях строения первичных геохимических ореолов, поскольку при составлении усредненных рядов по рассмотренной выше методике влияние случайных отклонений сводится к минимуму.

Следует отметить, что если в исходных рядах наблюдаются резкие перемещения элементов, составление усредненных (обобщенных) рядов недопустимо. В подобных случаях необходимо обязательно выяснить причину подобных «аномалий» и учесть их при последующем обобщении.

В табл. 10 приведены коэффициенты перехода, представляющие собой частное от деления числа 100 (число элементов в общем ряду) на число элементов в каждом конкретном ряду. Произведение порядкового номера данного элемента в ряду на коэффициент перехода есть порядковый номер этого элемента в метрике общего ряда. Среднее значение порядкового номера элемента, рассчитанное как среднее арифметическое порядковых номеров этого элемента по всем исходным рядам, и определит место элемента в усредненном (обобщенном) ряду элементов-индикаторов зональности.

На примере молибдена рассмотрим методику расчета среднего порядкового номера элементов-индикаторов. Ниже даны порядковые номера этого элемента по рядам.

Номер ряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Порядковые номера	. . . 16,6	25	44,4	14,3	28,6	14,3	16,7	20	25	12,5	нет	11,1	28,6

Ряды элементов-индикаторов месторождений

Рудная формация	Месторождение	Номера рядов	Ряды зональности и порядковые номера элементов-индикаторов												Коэффициент перехода
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сфалерит-галени- товая	Каламината	1	8,3 Sn	16,6 Mo	24,9 Ni	33,2 Co	41,5 As	49,8 Cu	58,1 Zn	66,4 Pb	74,7 Ag	83 Cu ²	91,3 As ²	99,6 Ba	8,3
	Осоговское	2	12,5 Sn	25 Mo	32,5 Cu	50 As	62,5 Pb	75,0 Ag	87,5 Zn	100 As					12,5
	Маданское	3	11,1 W	22,2 Ni	33,3 Co	44,4 Mo	55,5 Cu	66,6 Zn	77,7 Pb	88,8 Ag	99,9 Ba				11,1
	Лькинское	4	14,3 Mo	28,6 Ni	42,9 Co	57,2 Cu	71,5 Zn	85,8 Pb	100,1 Ag						14,3
	Бакаджик	5	14,3 W	28,6 Mo	42,9 Zn	57,2 Cu	71,5 Pb	85,8 Ba	100,1 Ag						14,3
	Маджаровское	6	14,3 Mo	28,6 Co	42,9 Ni	57,2 Cu	71,5 Zn	85,8 Pb	100,1 Ag						14,3
	Лозен	7	16,7 Mo	33,4 Zn	50,1 Pb	66,8 Ag	83,5 As	100,2 Ba							16,7
	Пчелояд	8	20 Mo	40 Cu	60 Zn	80 Pb	100 Ag								20
Халькопирит-сфалерит-галени- товая	Зидерово	9	12,5 Bi	25 Mo	37,5 Ni	50 Cu	62,5 Co	75 Ag	87,5 Zn	100 Pb					12,5
		10	12,5 Mo	25 Sn	37,5 Bi	50 Cu	62,5 Ag	75 Zn	87,5 As	100 Pb					12,5
Халькопиритовая	Асаргк	11	14,3 Ni	28,6 Co	42,9 Cu	57,2 Zn	71,5 Ag	85,8 Pb	100,1 Ba					14,3	
	Синя бара	12	11,1 Mo	22,2 Sn	33,3 Co	44,4 Ni	55,5 Cu	66,6 Bi	77,7 Zn	88,8 Ag	99,9 Pb			11,1	
Пирит-халькопирит- товая	Елшица	13	14,3 W	28,6 Mo	42,9 Bi	57,2 Be	71,5 As	85,8 Zn	100,1 Pb					14,3	

Среднее арифметическое значение приведенных данных будет равно $257,5/12=21,5$. Напомним, что сумма номеров делится не на общее число исходных рядов (13), а только на число рядов, содержащих данный элемент (см. табл. 10). После аналогичных расчетов получим следующий обобщенный ряд элементов-индикаторов, в котором слева направо происходит смена подрудных элементов надрудными в порядке возрастания среднего порядкового номера: W (13,2) — Sn (17,0) — Mo (21,4) — Ni (30,7) — Co (37,5) — Bi (40,0) — As¹ (45,8) — Cu¹ (50,2) — Zn (67,3) — Pb (80,5) — Cu² (83,0) — Ag (83,6) — As² (86,8) — Ba (97,6). В приведенном ряду медь и мышьяк указаны дважды, что отражает проявление в первичных ореолах исследованных месторождений минеральной зональности. Этот вопрос более подробно будет рассмотрен в последующих главах данной работы.

Уровни обобщения и усреднения первичных данных могут быть различными, и на каждом из них решаются свои определенные задачи. Выше рассмотрен пример составления усредненного ряда по результатам изучения первичных ореолов одного месторождения по серии разрезов. Установлена полная идентичность исходных и обобщенного рядов. Практическое значение обобщенного ряда заключается в том, что с его помощью будут выбраны соответствующие коэффициенты, которые могут быть использованы для оценки перспектив рудоносности глубоких горизонтов данного месторождения, а также прилегающих к нему площадей.

Следующий уровень обобщения — составление обобщенного ряда уже для группы месторождений огромного по площади рудного региона, каким являются Родопы (НРБ). Этот ряд может быть использован в пределах более значительных территорий, в том числе и на новых площадях, поскольку в известных рудных полях и месторождениях более надежно использование рядов зональности самих месторождений (первый уровень обобщения). Отметим, что приведенные в табл. 10 ряды, несмотря на разнообразие в формационной принадлежности исследованных месторождений, весьма близки (идентичны) по последовательности элементов-индикаторов, что свидетельствует о едином характере геохимической зональности первичных ореолов различных по составу гидротермальных месторождений описываемого региона.

Следует отметить, что составление различных по назначению ранжированных рядов (в том числе и по признаку зонального распределения элементов-индикаторов) по единой методике позволит избежать многих недоразумений, возникающих часто на субъективной основе, т. е. когда различные характеристики геохимических аномалий, в том числе и ряды зональности, прикидываются «на глазок».

Ряды зональности используются для выбора надежных коэффициентов геохимической зональности первичных ореолов.

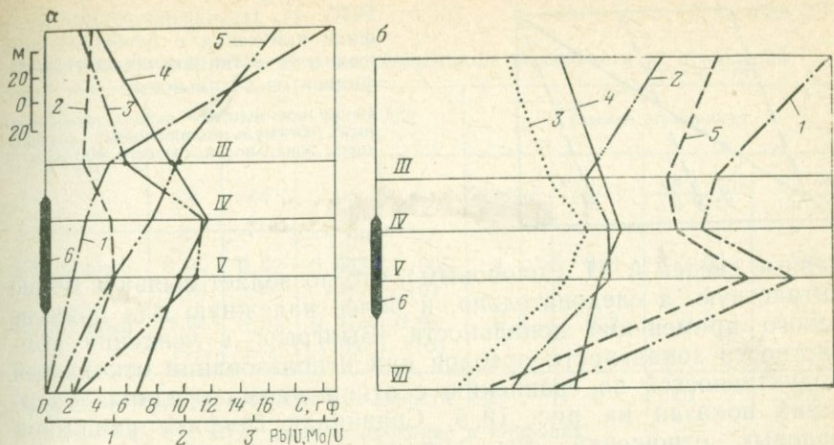


РИС. 10. Графики изменения с глубиной средних содержаний элементов-индикаторов и их отношений (а) и продуктивностей первичных ореолов (б): 1 — Pb/U; 2 — Mo/U; 3 — Mo; 4 — U; 5 — Pb; 6 — рудное тело; III, IV, V, VII — горизонты

Оценки зональности. Существует ряд способов количественной оценки зональности ореолов, используемых как при изучении первичных ореолов, так и при интерпретации геохимических аномалий. А. Д. Каблуков и Г. И. Вертепов [3] предложили использовать в качестве оценки вертикальной зональности ореолов величину отношения средних аномальных содержаний пар элементов. Для урановых месторождений они предложили свинцово-урановое отношение и установили закономерное уменьшение с глубиной указанного индикаторного отношения, что обусловлено сдвигом ореолов свинца вверх по отношению к ореолам основного компонента руд — урана.

На рис. 10, а показано изменение с глубиной параметров первичных ореолов слепого уранового оруденения в фельзитах, где видно, что свинцово-урановое отношение монотонно убывает с глубиной, отчетливо дифференцируя различные уровни первичных ореолов. Так, по величине отношения надрудные ореолы отличаются от подрудных в десятки раз. Очевидно, что, 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 являются бесперспективными и должны быть исключены из сферы последующих детальных поисковых и разведочных работ.

В последующем Н. Н. Сочеванов предложил использовать в качестве оценки вертикальной зональности парные отношения не средних содержаний элементов, а продуктивностей их ореолов (этот параметр в практику геохимических исследований

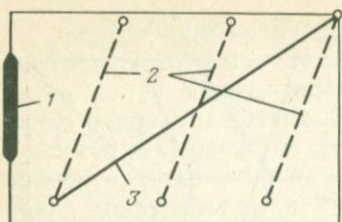


РИС. 11. Идеализированные графики изменения с глубиной парных и мультипликативного коэффициентов зональности:

1 — рудное тело; 2 — парные коэффициенты; 3 — мультипликативный коэффициент зональности третьего порядка

впервые введен А. П. Солововым), что позволяет выявить более контрастную, а следовательно, и более надежную для практического применения зональность. Выигрыш в усилении контрастности зональности ореолов при использовании отношений продуктивностей по сравнению с отношениями средних содержаний показан на рис. 10, б. Сравнивая графики свинцово-урановых отношений, мы видим, что отношение средних содержаний с глубиной меняется в 40 раз, а отношение продуктивностей ореолов — в 150, т. е. существенно повышается контрастность. Следует, однако, отметить, что в ряде случаев, когда размеры ореолов не установлены (профили опробования не вышли за пределы ореолов), приходится пользоваться отношениями средних содержаний химических элементов, рассчитанных по опробованным сечениям.

Результаты изучения особенностей развития первичных ореолов различных типов месторождений показывают, что на многих месторождениях первичные ореолы являются небольшими по размерам и чрезвычайно слабоконтрастными. Это обстоятельство резко затрудняет использование для оценки уровня эрозионного среза первичных ореолов парных индикаторных отношений: флуктуации этих отношений значительны вследствие слабой контрастности моноэлементных ореолов и являются существенной помехой для выявления выдержанной зональности, поскольку из-за слабой интенсивности ореолов их зональность также слабоконтрастна и, следовательно, недостаточно надежна для практического применения. В связи с этим при изучении первичных ореолов рекомендуется в качестве оценки геохимической зональности использовать мультипликативные коэффициенты, так как с помощью этих коэффициентов удастся выявить более контрастную геохимическую зональность (по сравнению с парными индикаторными отношениями).

На рис. 11 схематично показаны изменения с глубиной величин коэффициентов геохимической зональности. Кривые 2 характеризуют изменение с глубиной парных индикаторных отношений; кривая 3 отражает изменение мультипликативного коэффициента зональности и представляет собой простое перемножение трех парных коэффициентов. Очевидно, что контрастность этого коэффициента будет существенно больше: его градиент равен произведению градиентов трех парных индикаторных отношений. Из изложенного следует, что чем больше число

Изменение по вертикали средних содержаний элементов и их отношений

Уровни ореолов	Средние содержания элементов, %				Оценки зональности			
	Pb	Zn	Cu	Co	Pb/Cu	Zn/Co	$\frac{Pb + Zn}{Cu + Co}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Cu \cdot Co}$
Надрудный	0,06 (12)	0,02 (4)	0,003 (3)	0,005 (5)	4	0,8	2,0	80
Подрудный	0,01 (2)	0,01 (2)	0,01 (10)	0,01 (10)	0,2	0,2	0,2	1
Коэффициент контрастности зональности					20	4	10	80

Примечание. В скобках содержание в геофонах.

элементов, тем контрастнее зональность, выявленная с помощью мультипликативных коэффициентов зональности. При этом следует учесть, что существенное повышение контрастности зональности первичных ореолов достигается только с помощью мультипликативных коэффициентов. Аддитивные коэффициенты в этом отношении менее эффективны, поскольку при суммировании происходит усреднение контрастности зональности, выявляемой парными коэффициентами.

Как показывают приведенные в табл. 11 данные, с помощью мультипликативного коэффициента выявлена зональность максимальной контрастности (80), тогда как по аддитивному коэффициенту контрастность зональности составляет всего лишь 10, что существенно меньше контрастности зональности, выявленной с помощью отношения свинец—медь (20). Отметим также, что увеличение числа элементов приводит к усилению контрастности только в мультипликативном варианте, поскольку при суммировании происходит только усреднение градиентов парных отношений.

Расчет коэффициента геохимической зональности частных мультипликативных ореолов производится как по площади, так и по линии путем деления продуктивностей (площадной и линейной) аномалий надрудных элементов на продуктивность аномалий подрудных элементов. Если аномалии, участвующие в подсчетах элементов-индикаторов, не оконтурены (профили опробования не вышли за пределы аномальных полей), вместо продуктивностей могут быть использованы средние содержания. При расчете коэффициента зональности частных мультипликативных аномалий можно также рассчитать средние арифметические произведений содержаний элементов по каждой пробе или же среднее арифметическое содержание каждого элемента (по аномальным пробам) с последующим перемножением для групп надрудных и подрудных элементов. Последний способ

Мультипликативные коэффициенты зональности первичных ореолов

Уровни ореолов (абсолютная отметка горизонта, м)	Анализ			
	общих проб		тяжелых фракций	
	Ag · Pb Co · Mo	Ag · Pb · Zn Co · Mo · W	Ag · Pb Co · Mo	Ag · Pb · Zn Co · Mo · W
Среднерудный (1640)	1,42	7,7	40,6	6666,0
Нижнерудный (1514)	0,64	2,3	1,2	190,0
Подрудный (1452)	0,08	0,25	0,1	3,1
Коэффициент контрастности зональности	17,8	30,8	406	2150

более удобен, ибо позволяет судить о влиянии и значении отдельных элементов-индикаторов, оценить «пай» каждого из них в контрастности зональности.

Очевидно, что чем контрастнее зональность ореолов, тем надежнее ее практическое использование. Контрастная зональность менее подвержена искажающему влиянию различных флуктуаций. В связи с этим приобретают важное значение методические приемы изучения первичных ореолов, позволяющие выявить более контрастную зональность. Прежде всего, как уже отмечалось выше, с помощью мультипликативных коэффициентов удастся выявить более контрастную (по сравнению с парными индикаторными отношениями) зональность. При этом чем выше порядок мультипликативного коэффициента, т. е. чем больше число используемых в коэффициенте зональности элементов-индикаторов, тем выше контрастность зональности, и наоборот. В табл. 12 приведены мультипликативные коэффициенты зональности первичных ореолов Мироновского полиметаллического месторождения (Киргизская ССР), исследованных Г. Г. Гулиевым и автором.

Рудные тела описываемого месторождения представлены рудоносными зонами субвертикального падения, и поэтому приведенные в табл. 12 данные характеризуют осевую геохимическую зональность первичных ореолов, совпадающую в случае рудных тел крутого падения с вертикальной.

На месторождении с помощью мультипликативного коэффициента высокого (третьего) порядка выявляется более контрастная зональность. Тем не менее контрастность зональности первичных ореолов, выявленная с помощью мультипликативного коэффициента третьего порядка, для данного месторождения оказалась недостаточной; величина мультипликативного коэффициента на глубину почти в 200 м уменьшается 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 использовали метод анализа тяжелых фракций: из дубликатов рядовых геохимических проб (крупность зерен от $-0,25$ до $+0,11$ мм), отобранных из коренных рудовмещающих пород методом пунктирной борозды (общая масса проб 200 г), были выделены тяжелые фракции в бромформе с плотностью $2,8$ г/см³.

По результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб удается выявить существенно более контрастную зональность в строении первичных ореолов (см. табл. 12).

ГЛАВА II
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ
ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ

Особенности состава и внутреннего строения первичных геохимических ореолов имеют важное практическое значение, поскольку используются в качестве критериев оценки перспектив рудоносности геохимических аномалий и рудопроявлений различного типа.

Под элементарным составом первичных ореолов подразумевается перечень элементов, образующих первичные ореолы вокруг рудных тел месторождений того или иного типа. Установлено, что ореолы рудных месторождений во всех случаях являются многокомпонентными. Ниже приведен элементный состав первичных ореолов различных по составу и условиям локализации рудных месторождений.

Апатитовые (Хибины)	P, Sr, Ce, La, Y, Yb, Zr, Nb, Mo, Pb, Ba, Sn Ni, Co, Zn, Cr, V, Sc, Ga, Mn
Кимберлиты	Co, Ni, Cr, Pb, Zn, Ag, Cu, B, Mo, Sn
Редкометалльные пегматиты	Li, Pb, Cs, Nb, Sn, Ta, W, Be, As
Медно-никелевые	Cu, Ni, Co, Ba, Pb, Zn, Ag, Bi, Sn, Be, W, Zr
Медноколчеданные	Ba, Ag, Pb, Cd, Zn, Bi, Cu, Co, Mo
Железорудные в скар- нах	Mn, Pb, Cu, Zn, Ni, V, Sn, Sr, B, Zr, Mo, Co, Fe, Ti, Cr, Y, Sc
Вольфрам-молибденовые в скарнах	Ba, Ag, Pb, Zn, Sn, Cu, 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
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
Стратиформные свинцо- во-цинковые	Ba, As, Cu, Ag, Pb, Zn, Co, Ni, Be, V
Медистые песчаники	Cu, Ag, Pb, Ba, Bi, W, Cr, Zn, Mo
Общий перечень элемен- тов-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

Примечание. Подчеркнуты элементы, требующие специальных методов анализа, так как приближенно-количественный спектральный метод, применяемый для остальных элементов, не дает удовлетворительных результатов.

Следует, однако, отметить, что приведены только элементы, ореолы которых удается обнаружить, применяя в основном экспрессный спектральный анализ. В табл. 2 перечислены 46 элементов, однако более или менее реально можно говорить о «пригодности» этого метода только для 40 элементов, поскольку чувствительность спектрального анализа на золото, ртуть, торий, тантал, уран и сурьму является крайне неудовлетворительной. Поэтому для анализа проб на эти элементы используются другие (специальные) методы анализа. Из изложенного следует, что хотя установленный в настоящее время элементный состав первичных ореолов достаточно обширен (см. табл. 2), тем не менее он не полностью отражает действительную картину. Безусловно, по мере разработки новых и совершенствования существующих высокочувствительных и экспрессных методов анализа проб на элементы, «трудных» для современных модификаций экспрессного спектрального анализа, привлечения других прецизионных методов анализа перечень элементов-индикаторов рудных месторождений будет существенно расширен, что приведет к повышению эффективности геохимических поисков.

РАЗМЕРЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬ

Первичные ореолы по размерам обычно существенно превосходят рудные залежи, вокруг которых они развиты. Особенно значительна вертикальная протяженность надрудных ореолов, чем, собственно, и обусловлено большое практическое значение первичных геохимических ореолов как эффективных индикаторов слепого оруденения. Вертикальная протяженность надрудных ореолов, определяющая глубинность поисков слепого оруденения по первичным ореолам, обычно составляет сотни метров, превышая в отдельных случаях 1 км. 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 несколько десятков метров, согласно с подошвой вулканогенной толщи погружается в северо-восточном и северо-западном направлениях под углами около 30° . Месторождение является слепым 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 порфиритов, небольшой штокообразной интрузией сложного состава (габбро-диориты, гранит-порфиры, фельзиты) и интенсивно изменены: песчаники и седиментационные брекчии фундамента хлоритизированы, серицитизированы, известняки мраморизованы, а на контакте

Геологический разрез

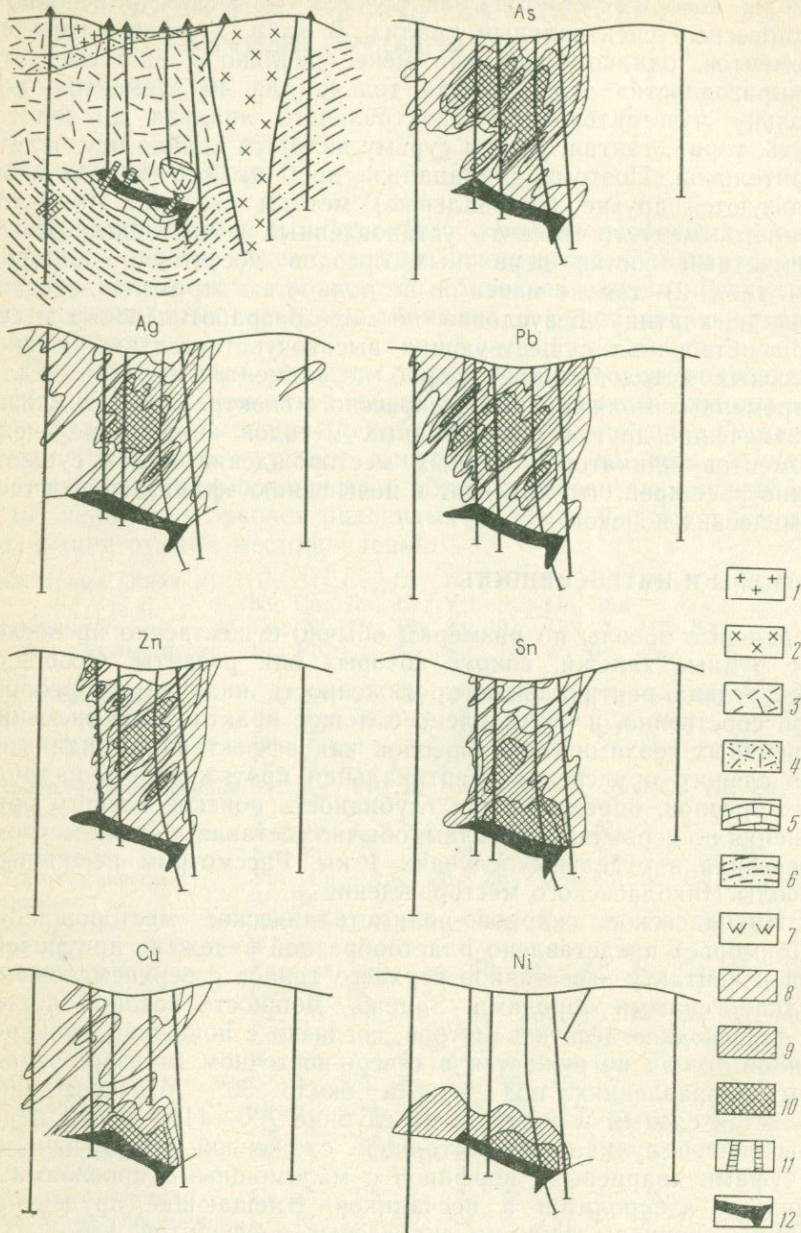


РИС. 12. Первичные ореолы элементов-индикаторов:

1 — кварцевые порфиры; 2 — габбро-диориты; 3 — туфы и туфобрекчии кварцевых порфиров; 4 — туффиты; 5 — известняки; 6 — алевролиты; песчаники; 7 — кремнистые породы; 8—10 — первичные ореолы (10 — поля максимальных содержаний); 11 — дайки порфиритов; 12 — рудные тела

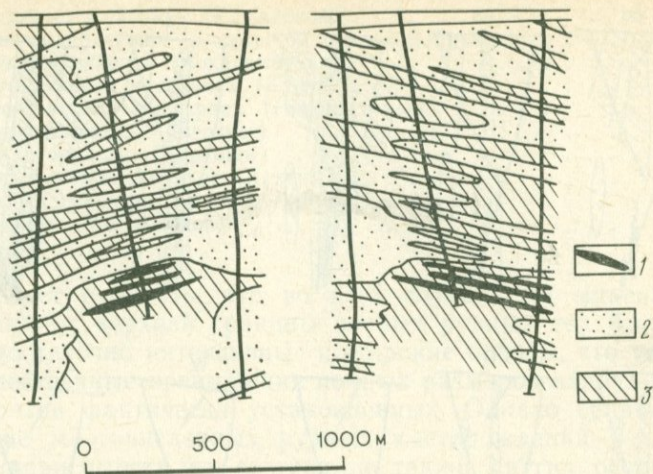


РИС. 13. Мультипликативные ореолы элементов-индикаторов в разрезе.
По Г. П. Павлову.

1 — рудное тело; 2, 3 — мультипликативные ореолы (3 — поля повышенных значений)

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 керн буровых скважин на месторождении установлены первичные геохимические ореолы многих химических элементов, типоморфных для скарново-полиметаллического оруденения. 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 являются еще достаточно широкими и интенсивными (рис. 12).

На рис. 13 изображены первичные ореолы, оконтуренные по двум разрезам через слепые рудные залежи Кужайского скарново-магнетитового месторождения, расположенного в Куржункульском рудном поле Тургайского пояса железорудных месторождений. Описываемое месторождение локализовано в довольно однообразной толще туфов на глубине, превышающей 1000 м. Вмещающие породы интенсивно альбитизированы и частично скаполитизированы. Около рудных тел развиты скарны, а в удаленных надрудных сечениях — окварцевание, серицитизация с вкрапленностью пирита и реже — халькопирита. Вокруг рудных залежей развиты широкие и интенсивные первичные ореолы марганца, свинца, меди, цинка, никеля, ванадия, олова, стронция, бора, циркония, молибдена, кобальта и ряда других

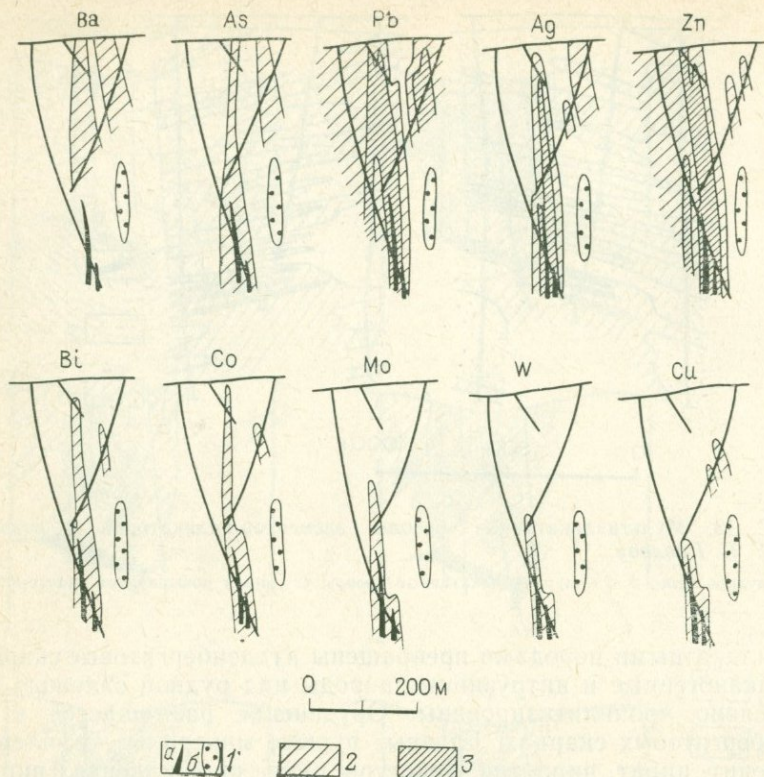


РИС. 14. Первичные ореолы в разрезе:

1 — рудное тело (*a* — известное, *b* — обнаруженное по геохимическим данным); 2, 3 — первичные ореолы (3 — поля повышенной интенсивности)

элементов. Как видно на рис. 13, окаймляющие слепые рудные залежи первичные ореолы достигают эрозионной поверхности, т. е. вертикальная протяженность надрудных первичных ореолов в данном случае превосходит 1000 м. Это означает, что глубинность поисков слепого скарново-магнетитового оруденения по его первичным ореолам превосходит (и, по-видимому, существенно) 1000 м.

Однако и вокруг мелких тел также устанавливаются значительные по вертикальной протяженности надрудные ореолы. На рис. 14 приведены первичные ореолы слепых рудных тел полиметаллического состава (скарново-полиметаллическое месторождение Курусай, Средняя Азия), залегающих на глубине 400—500 м и небольших по размерам. Протяженность надрудных ореолов здесь, по-видимому, существенно превышает 400 м, поскольку на поверхности выявлены интенсивные ореолы. Ниже приведена вертикальная протяженность (в м) надрудных ореолов (прослеженная), установленная на различных месторождениях.

Железородное в скарнах (Кужайское)	1000
Вольфрам-молибденовое в скарнах (Чорух-Дайрон)	200
Висмутовое в скарнах (Чокадамбулак)	200
Свинцово-цинковое в скарнах (Курусай)	450
Свинцово-цинковое в скарнах (Николаевское)	850
Оловянно-сульфидное (Верхнее)	270
Медно-золоторудное (Парковое)	300
Жильное полиметаллическое (Архон)	130
Урановое (в гранитах)	200
Флюоритовое (Мышшиккол)	100

Следует отметить, что во всех случаях на максимальном удалении от верхней границы слепых рудных тел были выявлены достаточно интенсивные и широкие ореолы, что указывает на существенные превышения полных размеров надрудных ореолов против фактически установленных. Однако сравнительное изучение многочисленных рудных месторождений показывает, что в зависимости от состава, а также других особенностей оруденения формируются различные по размерам первичные ореолы элементов-индикаторов. Так, если на скарново-полиметаллических месторождениях вертикальная протяженность первичных ореолов ряда элементов превышает сотни метров, то на некоторых месторождениях другого состава (например, золоторудные) первичные ореолы элементов настолько незначительны по размерам и интенсивности, что надежное их обнаружение при геохимических поисках представляет определенные трудности. В связи с этим приобретает особую актуальность рассмотренные выше специальные методы усиления и надежного оконтуривания слабых геохимических аномалий.

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. Рассмотрим первичные ореолы ряда элементов вокруг полиметаллических жил месторождения Архон (Северный Кавказ). Полиметаллические жилы локализируются в крутопадающих трещинах северо-восточного простирания. Наиболее распространенными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит, пирротин, халькопирит, арсенипирит, в меньших количествах встречаются тетраэдрит, аргентит, джемсонит и другие минералы. Обработка данных геохимического опробования показала, что вокруг рудных жил, несмотря на их незначительные мощности, развиты весьма широкие и протяженные ореолы свинца, цинка, меди, серебра, кобальта и висмута (рис. 15). Надрудные части ореолов построены по данным опробования коренных пород на поверхности над рудной жилой на различных гипсометрических горизонтах с последующей проекцией ореолов на вертикальную

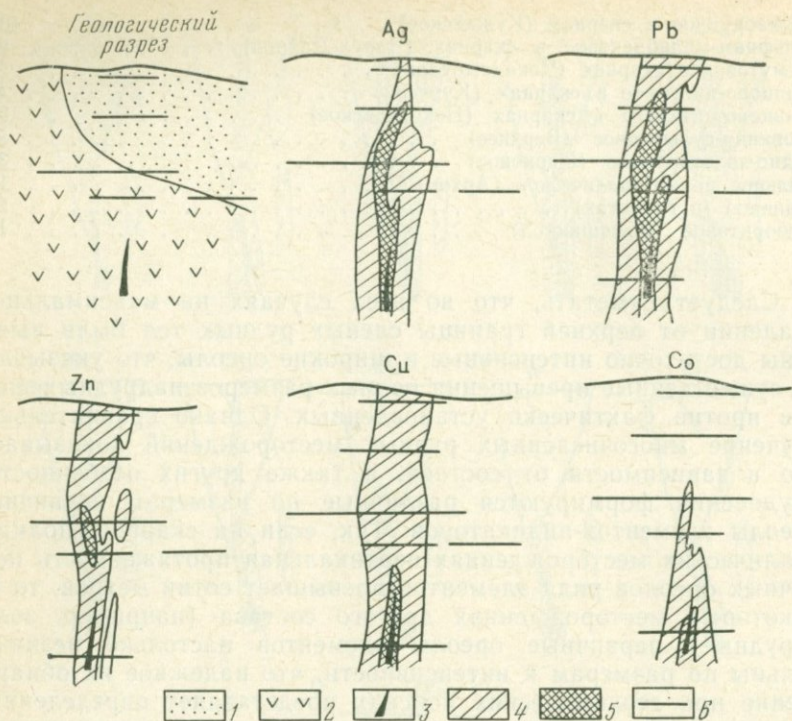


РИС. 15. Первичные ореолы в разрезе:

1 — песчаники; 2 — альбитофиры; 3 — рудное тело; 4, 5 — первичные ореолы (5 — поля повышенной интенсивности); 6 — опробованные сечения

плоскость (крутизна склона над жилой составляет 35—40°). Как видно из рис. 15, ореолы этих элементов по размерам намного превосходят рудное тело и подобно ему резко вытянуты по вертикали. Обращает на себя внимание значительная (более 150 м) вертикальная протяженность ореолов серебра, меди, свинца и цинка над рудным телом.

Первичные ореолы, развитые вокруг рудных жил медного месторождения Кафан (Армянская ССР), также резко вытянуты согласно с рудными жилами, существенно превосходя их по ширине (рис. 16). Обращает на себя внимание развитие вокруг маломощных рудных жил весьма широких и интенсивных первичных ореолов элементов-индикаторов.

Согласное развитие ореолов устанавливается и на месторождениях, где рудные тела представлены штокверками (рис. 17). На рис. 17 показаны первичные ореолы, выявленные на медно-порфировом месторождении Северо-Западный Балакты (Алмалыкское рудное поле, Средняя Азия). Отметим, что в отличие от рассмотренных выше жильных месторождений, ореолы вокруг штокверковых тел в соответствии с мор-

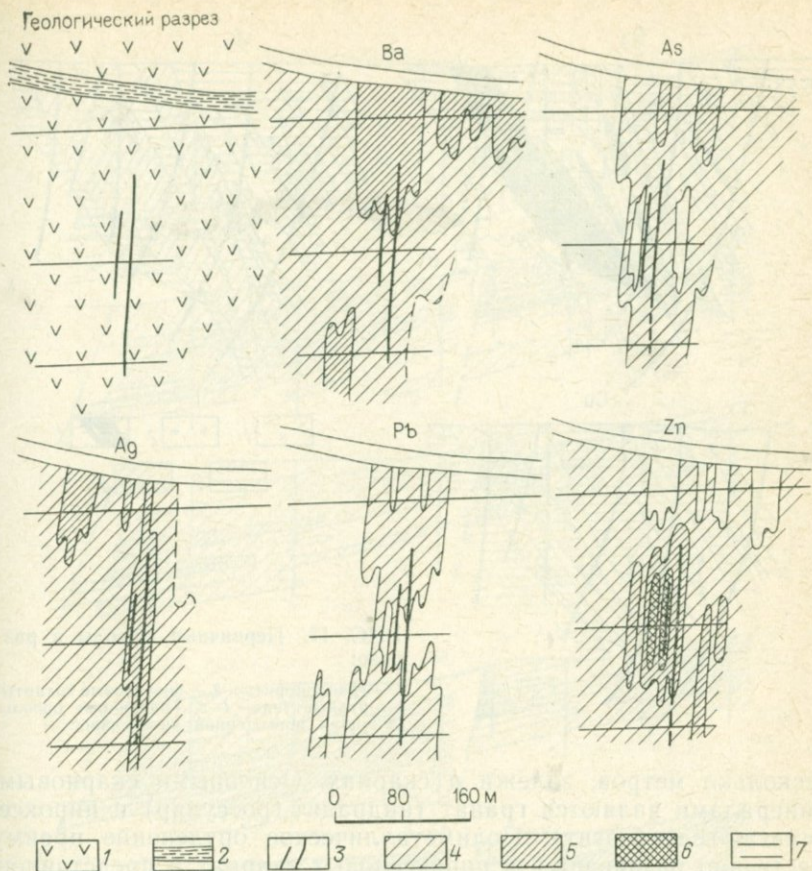


РИС. 16. Первичные ореолы вокруг рудных жил в разрезе:

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

фологическими особенностями рудных тел более изометричны.

Ореолы пологого залегания. Рассмотрим первичные ореолы, выявленные вокруг рудных тел скарново-полиметаллического месторождения Тутлы-I (Курусайское рудное поле, Средняя Азия). Рудные тела месторождения Тутлы-I располагаются в пределах толщи известняково-аркозовых конгломератов акчинской свиты (C_{2-3}), залегающих на размытой поверхности андезито-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, мощностью

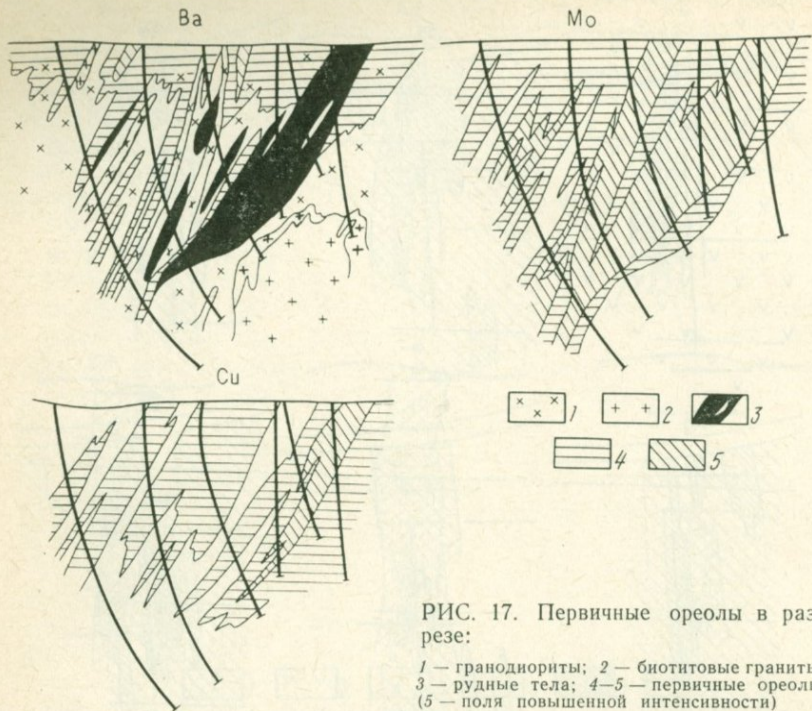


РИС. 17. Первичные ореолы в разрезе:

1 — гранодиориты; 2 — биотитовые граниты;
3 — рудные тела; 4—5 — первичные ореолы
(5 — поля повышенной интенсивности)

несколько метров, залежи в скарнах. Основными скарновыми минералами являются гранат (андрадит-гроссуляр) и пироксен (манган-геденбергит). Полиметаллическое оруденение преимущественно развивается в пироксеновых скарнах и представлено следующими основными рудными минералами: галенит, сфалерит, пирит, блеклые руды, халькопирит.

Локализация оруденения происходила в наиболее ослабленных зонах, в местах отслоения отдельных пропластков конгломератов друг от друга. Этим объясняется согласное вмещающей толще залегание рудных тел и закономерное увеличение их мощности вблизи тектонических нарушений.

Первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения были изучены по нескольким разрезам. Наиболее интенсивные и значительные — ореолы свинца, цинка, серебра, мышьяка и сурьмы (рис. 18). Характерной особенностью этих ореолов является то, что они, как и ореолы крутопадающих тел, резко вытянуты вдоль рудных тел, но в горизонтальной плоскости и существенно превышают 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). Примером ореолов пологого залегания

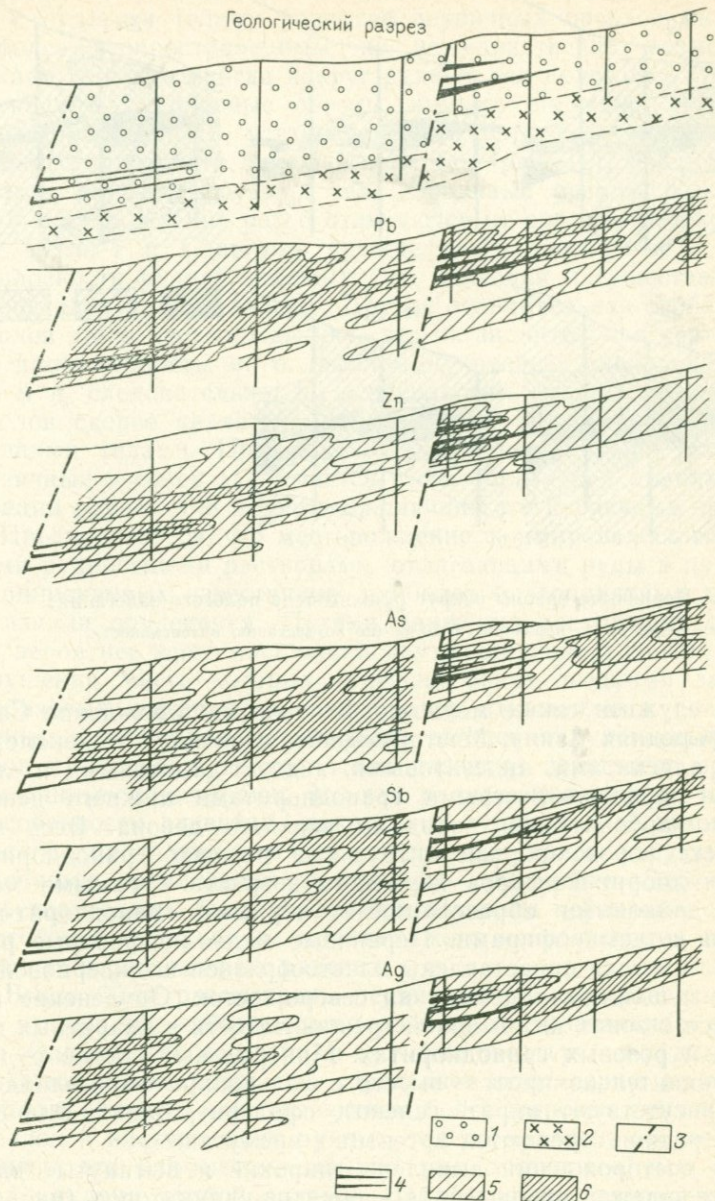


РИС. 18. Первичные ореолы в разрезе:

1 — известково-аркозовые конгломераты; 2 — андезито-дацитовые порфиры; 3 — дизъюнктивные нарушения; 4 — рудные тела; 5, 6 — первичные ореолы (6 — поля повышенных содержаний)

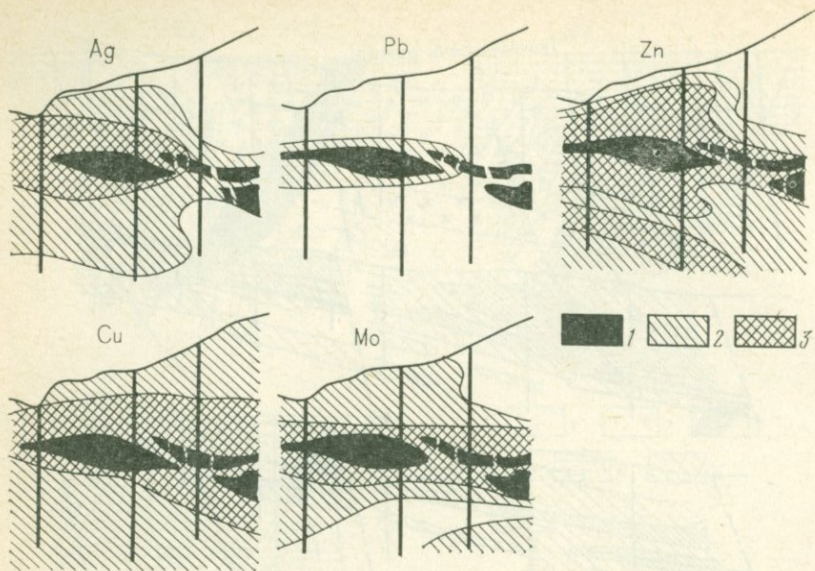


РИС. 19. Первичные ореолы вокруг рудного тела пологого залегания:
 1 — рудное тело; 2, 3 — первичные ореолы (по возрастанию интенсивности)

может служить также медно-порфировое месторождение Сарычеку (Средняя Азия). Месторождение сложено позднекаледонскими аляскитами, андезитовыми, андезит-дацитовыми и кварцевыми порфирами, серыми гранодиоритами нижнего девона, песчано-карбонатными породами верхнего девона. Весь этот комплекс пород прорван интрузиями розовых гранодиоритов, сиенито-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 развивается в зонах интенсивной трещиноватости в кварцевых порфирах и розовых гранодиоритах. Минеральный состав рудных тел сравнительно прост — вместе с халькопиритом, 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. 19). И в этом случае особенности строения рудных тел нашли отражение в морфологии ореолов. В отличие от месторождения Тутлы-1, где ореолы резко вытянуты вдоль маломощных, по существу жильных рудных тел, на месторождении Сарычеку ореолы менее вытянуты; они, как и рудные тела, более изометричны.

Несогласные ореолы. Исследования показывают, что согласное с рудными телами развитие первичных ореолов является наиболее распространенным, но не единственно возможным случаем, так как иногда вокруг рудных тел пологого залегания развиваются первичные ореолы крутого падения. Подобные ореолы, в частности, установлены на скарново-полиметаллическом месторождении Николаевское (см. рис. 12). Несмотря на пологое залегание рудных тел, первичные ореолы Николаевского месторождения резко отличаются от ореолов месторождений Тутлы-I и Сарычеку прежде всего размерами в плане (в плоскости рудной залежи): они невелики и существенно не превосходят рудную залежь. Другая отличительная особенность ореолов этого месторождения — это их значительная вертикальная протяженность: по описываемому разрезу она превосходит 850 м и, следовательно, по особенностям развития первичных ореолов скорее является аналогом месторождений с крутопадающими телами. Причина подобного несогласного развития первичных ореолов заключается в своеобразных условиях локализации оруденения и сопровождающих его первичных ореолов.

Предполагается, что месторождение формировалось восходящими рудоносными растворами, отлагающими руды в пределах скарнированных известняков, наиболее благоприятных для локализации оруденения. Пути движения восходящих растворов вероятнее всего послужили 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. Это обстоятельство должно быть учтено при изучении первичных ореолов и особенно в случае их практического использования при поисковых и разведочных работах.

Выше были рассмотрены первичные ореолы, развитые вокруг рудных тел субвертикального и субгоризонтального залегания. Однако, как известно, в большинстве случаев рудные тела являются наклонными, что определяет асимметрию в строении ореолов, обусловленную развитием более широких и интенсивных ореолов висячем боку рудных тел по сравнению с лежащим. Причем эта асимметрия обычно тем отчетливее, чем больше угол наклона рудной залежи. Избирательное накопление элементов-индикаторов в висячем боку рудных тел может быть использовано при интерпретации геохимических аномалий для определения вероятного направления падения рудных тел.

Осевую геохимическую зональность первичных ореолов рассмотрим на примере некоторых месторождений. Месторождение *Восточное* расположено на южном склоне Кураминского хребта. Рудное поле в основном сложено эффузивными породами верхнего палеозоя. Рудовмещающие вулканогенные породы верхнепалеозойского возраста представлены туфолатами, туфобрекчиями кварцевых порфиров, флюидалными фельзит-порфирами, андезитовыми порфиритами, кварцевыми порфирами. Эти породы прорваны большим количеством даек фельзит-порфиров, кварцевых порфиров и диабазовых порфиритов.

В структурном отношении месторождение приурочено к юго-восточному крылу Тавакской антиклинали, осложненной серией разломов северо-восточного либо широтного простирания с падением на юго-юго-восток под углами 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 приурочены к Главному разлому, разлому Южная ветвь, к оперяющим их трещинам и имеют линзообразные формы с многочисленными апофизами.

Минеральный состав медно-висмутовых руд: халькопирит, пирит, висмутин, козалит, айкинит, в меньших количествах — арсенопирит, блеклая руда, сфалерит, галенит, сульфосоли серебра; жильные минералы представлены кварцем и флюоритом. Основными минералами свинцово-серебряных руд являются галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит, халькопирит, блеклая руда, стефанит, а из жильных — кварц, барит, флюорит.

Как показали результаты обработки данных опробования, вокруг рудных тел месторождения развиваются ореолы большого круга химических элементов. На рис. 20 изображены первичные ореолы, оконтуренные вокруг зоны Главной. В этой зоне рудные тела серебрино-свинцового состава (группа сближенных рудных тел) залегают близко к поверхности и с глубиной переходят в медно-висмутовое оруденение.

Первичные ореолы большинства элементов-индикаторов по ширине намного превосходят рудные тела. О вертикальной протяженности ореолов трудно судить, поскольку из-за неглубокого залегания рудных тел особенности распределения элементов-индикаторов выяснены только на уровне рудных тел. Тем не менее в строении первичных ореолов проявляется отчетливая вертикальная зональность. Такие элементы, как барий, серебро и частично свинец, образуют весьма широкие и контрастные ореолы только в верхних частях разреза — на уровне свинцово-серебряных рудных тел и выше. Вниз по падению рудных тел ореолы этих элементов резко сужаются. Наиболее резко вы-

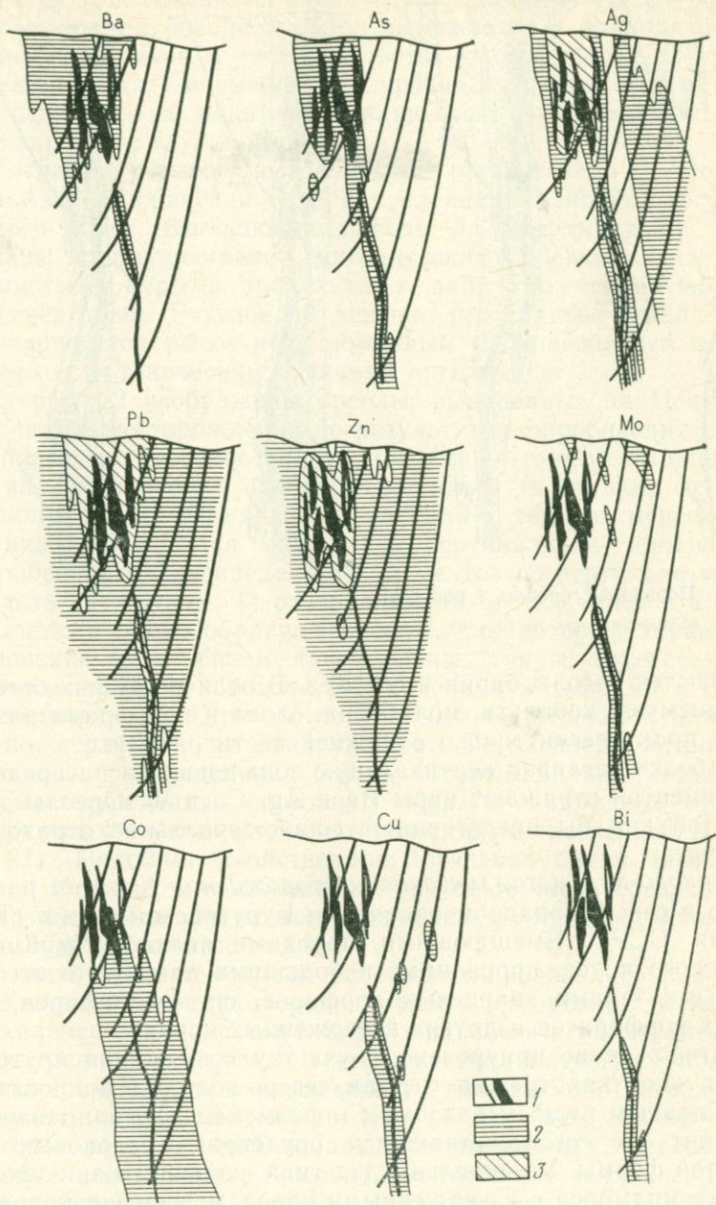


РИС. 20. Первичные ореолы в разрезе:
 1 — рудные тела; 2, 3 — первичные ореолы (3 — поля повышенной интенсивности)

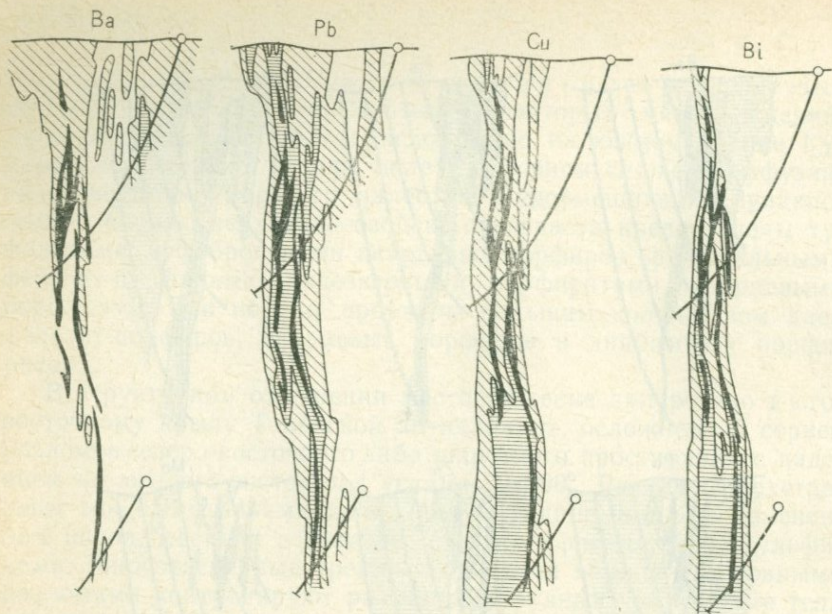


РИС. 21. Первичные ореолы в разрезе.

Условные обозначения см. на рис. 20

клиниваются ореолы бария и серебра. В отличие от них ореолы меди, висмута, кобальта, молибдена, олова и вольфрама развиваются практически только в нижней части разреза.

Наиболее наглядно вертикальную зональность в распределении элементов отражают пары Ba и Ag, Co и W. Ореолы этих элементов как бы представляют собой зеркальное отражение друг друга.

Скарново-полиметаллическое месторождение Курусай расположено в северо-западном окончании Курусайской гряды (Таджикская ССР). Вмещающими породами являются мраморы турнейского яруса, прорванные небольшими дайками и штокообразными телами кварцевых порфиров, сиенит-порфиров, авгитовых порфиритов и других изверженных пород.

Месторождение приурочено к участку сопряжения крутопадающих 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: возникшие на контакте мраморов с изверженными породами и инфильтрационного типа в мраморах. Последние представлены гранатами андрадитовой и андрадит-гроссуляровой группы и пироксеном.

На рис. 21 изображены первичные ореолы, развитые вокруг слепого рудного тела месторождения Курусай-1. По этому разрезу, как и по многим другим, выявлены первичные ореолы ши-

рокого круга элементов, из которых ореолы бария, свинца, меди и висмута прослежены на значительную глубину (более 600 м). Зональность в строении ореолов выражается в накоплении бария исключительно в верхних частях околорудного пространства, а висмута — в нижней, на уровне выклинивания рудного тела. Для ореола меди устанавливается отчетливое усиление и расширение с глубиной.

Агятагское ртутное месторождение расположено в восточной части Азербайджанской ССР в пределах Севано-Карабахского ртутного пояса. Вмещающие породы на месторождении представлены преимущественно тектоническими брекчиями, частично кремнистыми бурыми аргиллитами, дацитами, серпентинитами и листовенитами. Ртутное оруденение прожилково-вкрапленное, характеризуется резко неравномерным распределением и приурочено к тектоническим брекчиям аргиллитов.

На рис. 22 изображены ореолы, выявленные на Центральном участке месторождения по результатам опробования коренных пород на поверхности и в подземных горных выработках. Они являются весьма слабоконтрастными (в отличие от ореолов полиметаллических месторождений), тем не менее в их строении наблюдается отчетливая вертикальная зональность. По особенностям распределения элементов по вертикали можно выделить две группы: 1) ртуть, мышьяк, медь, свинец и в меньшей степени олово образуют ореолы, для которых характерно уменьшение с глубиной как ширины, так и интенсивности; 2) ореолы никеля, кобальта, молибдена и вольфрама с глубиной расширяются. Цинк отчетливого избирательного накопления по вертикали не обнаруживает. Установлена интересная особенность распределения бария, который на полиметаллических месторождениях постоянно образует надрудные ореолы, а на ртутных — установлены его отчетливые ореолы выноса (см. рис. 21). Подобное двойственное поведение бария (вынос из нижних горизонтов и привнос в надрудные части ореолов) выявлено и на ряде других месторождений. Этот вопрос более подробно будет рассмотрен ниже.

Выше были рассмотрены особенности зонального распределения элементов-индикаторов в первичных ореолах в разрезе. Для количественного выражения зональности используются парные и групповые (прежде всего мультипликативные) коэффициенты геохимической зональности, для выбора которых используются ряды зональности (см. гл. I). Ряды элементов-индикаторов вертикальной зональности первичных ореолов, как уже отмечалось, имеют большое практическое значение. На их основе определяются наиболее важные 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.

С целью сравнительной характеристики зональности ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений ниже приведены ряды элементов-индикаторов осевой зональности, составленные по рассмотренной выше методике.

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	Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Ba
Норильского района	Co, Ni, Cu, (Ag, Mo), Ba, Pb, (Ti, Sn, Zr)
Редкометалльные пегматиты	W, Nb, Ta, Sn, Cs, Rb, Li, As
Гидротермальные	
1. Вольфрамовые:	
скарново-шеелитовые	W, Ba, Sn, (Bi, Mo), Zn, (Pb, Ag)
грейзеновые	Mo, Be, Sn, Bi, W, (Zn, Pb, Cu)
кварц-форстеритовые	Bi, (Sn, Be), (Co, W, Zn)
кварц-шеелитовые	(W, Mo, Bi), Be, (Sn, Ag)
2. Оловорудные:	
касситерит-кварцевые	(As, Be, W), B, Sn, Cu, (Zn, Ag, Pb)
касситерит-сульфидные	(W, Mo, Co), (Sn, Cu), (Zn, Ag, Pb)
3. Медноколчеданные	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	(Be, W, Au, As ¹ , Ni, Co), Bi, Mo, Cu, Zn, (Pb, Ag, As ² , Sb)
среднетемпературные	(Co, W, Be), Bi, (Sn, Mo), Cu, Au, Zn, Pb, (Ag, Sb)
низкотемпературные	(W, Bi, Sn), Mo, (Cu, Zn), Pb, Au, Ag, (As, Sb), Ba, Hg
6. Меднопорфиоровые	(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** (наступран-сульфидной формации)	V, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag
9. Ртутные	(Sn, W, Ni, Co), (Bi, Mo), Cu, Zn, Pb, Ag, (Hg, As, Sb)
10. Сурьмяно-ртутные	(Ni, Co, W), Mo, Cu ¹ , Zn, Pb, Sn, Ag, Cu ² , (Sb, As), Hg
11. Стратиформные свинцово-цинковые	Be, Ni, Bi, Co, Zn, Pb, Ag, Cu, As, Ba

В этих рядах слева направо происходит смена подрудных элементов надрудными для ореолов рудных тел крутого паде-

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

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

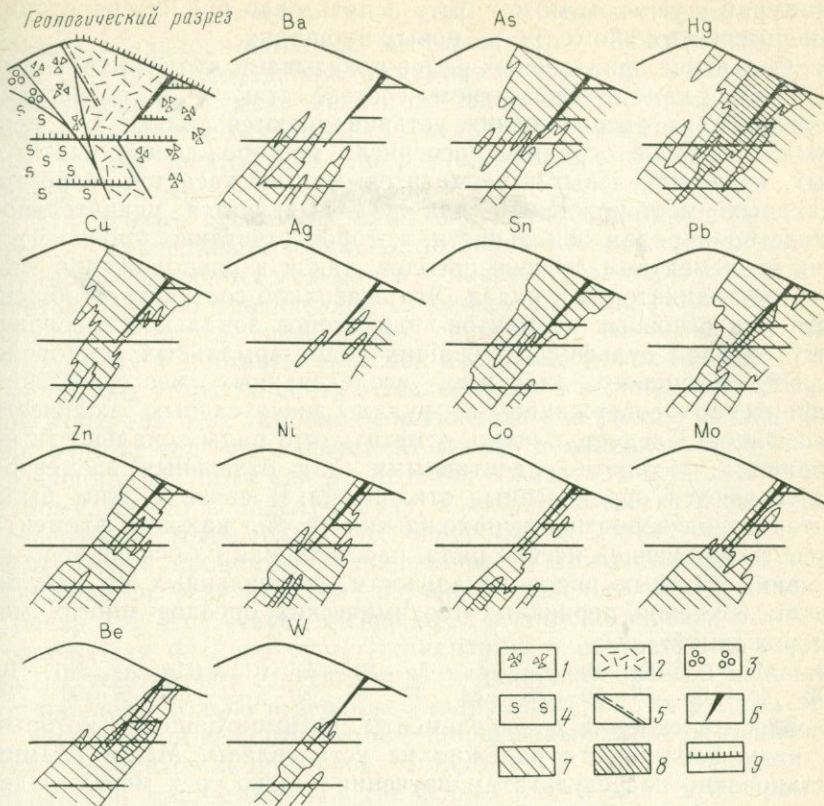


РИС. 22. Первичные ореолы в разрезе:

1 — брекчи; 2 — дациты; 3 — лигниты; 4 — габброидные породы; 5 — дизъюнктивные нарушения; 6 — рудное тело; 7, 8 — первичные ореолы (8 — поля повышенной интенсивности); 9 — интервалы опробования

ния, а в случае пологого залегания — смена элементов-индикаторов корневых частей ореолов индикаторами головных частей. Сравнение приведенных данных выявляет практически полную идентичность рядов зональности месторождений одной или нескольких близких по составу рудных формаций (ртутные, полиметаллические и др.). Это обстоятельство имеет большое практическое значение, поскольку предоставляет возможность использовать при интерпретации геохимических аномалий единые индикаторные отношения. Существование единой зональности создает условия для применения критерия зональности ореолов на качественно новом уровне. До недавнего времени использование зональности ореолов по существу ограничивалось ближайшими флангами известных месторождений, для оценки рудоносности которых применялась зональность ореолов, изученных вокруг расположенных недалеко известных рудных тел. Сейчас, когда установлена единая зональность, этот

критерий с успехом может быть использован при интерпретации геохимических аномалий на новых площадях.

Сравнение приведенных рядов показывает, что существенные различия как в элементном составе, так и в последовательности их расположения устанавливаются только для первичных ореолов ограниченного числа месторождений: апатитовых, медно-никелевых и пегматитов. Что же касается гидротермальных месторождений, для них выявляется удивительное сходство в рядах зональности, которое отчетливо проявляется как в элементном составе ореолов, так и в расположении элементов-индикаторов в рядах. Это позволило составить обобщенный ряд основных элементов-индикаторов зональности первичных ореолов сульфидсодержащих гидротермальных месторождений, поскольку для всех исследованных месторождений характерно содержание в рудах значительных количеств сульфидов. Следует, однако, отметить, что ряды зональности не являются абсолютно идентичными: для отдельных элементов наблюдаются определенные отклонения. В связи с этим была установлена вероятность нахождения (в %) каждого элемента в соответствующей ячейке ряда, рассчитанная на основе использования частных рядов зональности, составленных по результатам изучения первичных геохимических ореолов многих месторождений:

U	—	Mo	—	Co	—	Ni	—	Bi	—	Cu	—	Au	—	Zn	—	Pb	—	Ag	—	Cd	—	(Hg, As, Sb)	—	Ba	
100		48		55		50		72		86		84		87		84		80		—		100	87	100	93

Здесь в скобках даны элементы, взаимоотношения которых в ряду зональности надежно не установлены. Место кадмия установлено по результатам изучения только трех месторождений, поэтому его вероятность не рассчитана.

Как видно, некоторые элементы обладают сравнительно низкой вероятностью, обусловленной их перемещением в рядах зональности отдельных месторождений. Однако подобные перемещения несущественны: в большинстве случаев на одну и крайне редко на две и более ячейки. Низкой вероятностью в основном обладают элементы-примеси, образующие на большинстве исследованных месторождений незначительные по размерам и интенсивности ореолы (никель, кобальт, молибден и др.). Это позволяет считать, что низкая вероятность в определенной степени является следствием влияния таких помех, как флуктуация фоновых содержаний этих элементов, усиливающаяся при их перераспределении, относительно невысокая точность анализа и другие причины, поскольку слабоконтрастные ореолы более чувствительны к влиянию помех.

Обращает на себя внимание необычное расположение меди в рядах зональности ореолов стратиформных месторождений. На этих месторождениях в отличие от остальных ореолов меди занимает более высокие уровни — выше свинца и серебра (см. ряды зональности элементов-индикаторов). Развитие наиболее широких и интенсивных ореолов меди в надрудной части околорудного

пространства установлено по одному из разрезов через стратиформное свинцово-цинковое месторождение Сумсар (Киргизская ССР). Исследования показывают, что в рудах и ореолах месторождения Сумсар медь в основном содержится в блеклых рудах. На месторождениях, где медь представлена халькопиритом, в ряду зональности она располагается значительно левее (перед цинком).

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 следует объяснить также своеобразное поведение мышьяка на золоторудных и полиметаллических месторождениях, где интенсивные ореолы этого элемента выявлены как в верхних частях рудной зоны, так и на глубоких горизонтах — на уровне выклинивания рудных тел, что следует объяснить появлением с глубиной арсенопирита, тогда как на верхних горизонтах мышьяк, по-видимому, входит в блеклую руду, а также в галенит и сфалерит (содержание мышьяка в этих минералах достигает сотых и десятых долей процента). Справедливость этого положения подтверждается результатами изучения ореолов месторождения Сумсар, где отсутствует арсенопирит и широко развита мышьяк-содержащая блеклая руда (теннантит). В соответствии с этим на месторождении интенсивные и широкие ореолы мышьяка установлены только в верхних (надрудных) частях рудных зон.

Эти данные показывают, что приведенный выше обобщенный ряд элементов-индикаторов зональности будет справедлив только для месторождений, где формы нахождения этих элементов постоянны или же представлены минералами с одинаковым распределением в пространстве. В тех случаях, когда существенным развитием пользуются минеральные формы, распределение которых в ореолах неодинаково, один и тот же элемент в ряду зональности может занимать различные места, как это было показано для меди и мышьяка.

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

Исследованиями последних лет установлена отчетливая минеральная зональность в строении первичных ореолов вольфрама. Если вольфрам шеелита постоянно является первым в рядах зональности, то вольфрам вольфрамита и гюбнерита обычно развивается на более высоких уровнях первичных ореолов. С учетом отмеченной минеральной зональности обобщенный ряд зональности элементов-индикаторов примет следующий вид: $W^1 - Be - As^1 - Sn^1 - U - Mo - Co - Ni - Bi - W^2 - Cu^1 - Au - Sn^2 - Zn - Pb - Ag - Cd - Cu^2 - (Hg, As^2, Sb) - Ba$. Естественно, что случаи дифференциации элементов в пространстве по формам их нахождения не исчерпываются рассмотренными выше примерами. Безусловно, дальнейшие исследования позволят выявить новые особенности минеральной зональности и на этой основе уточнить и расширить обобщенный ряд зональности элементов.

Обычно зональность ореолов повторяет зональность самих рудных тел. Примером этого могут служить широко известные случаи смены на полиметаллических месторождениях с глубиной свинцовых руд собственно цинковыми. И в первичных ореолах не только свинцово-цинковых, но и других по составу гидротермальных месторождений постоянно наблюдается уменьшение с глубиной свинцово-цинкового отношения. Однако зональность геохимических ореолов по сравнению с рудными телами более универсальна и контрастна. Причина здесь, по-видимому, в том, что околорудное пространство, значительное по размерам, характеризуется более однородным по сравнению с рудными телами строением и соответственно более стандартными условиями минералообразования тогда как рудные тела 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 широкого круга химических элементов — 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, характеризующихся близким распределением в пространстве.

Выяснение причин существования единообразной зональности ореолов исследованных месторождений представляет собой чрезвычайно трудную задачу, затрагивающую теорию эндогенного рудообразования в целом, многие вопросы которой в настоящее время являются нерешенными. Такое положение усугубляется и отсутствием специальных исследований по экспериментальному моделированию процессов формирования первичных ореолов широкого круга химических элементов.

Зональность ореолов — 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 выше месторождения являются многостадийными и, несмотря на это, для их ореолов устанавливается единая вертикальная зональность. Это позволяет считать, что существенный разрыв во времени проявления отдельных стадий минерализации отсутствует и что их смена является результатом скорее пространственной, а не временной дифференциации единого рудообразующего раствора, поступающего непрерывно. Наблюдающиеся же взаимные пересечения продуктов различных стадий могут быть обусловлены внутрирудными подвижками, происходящими в различных частях окологрудного пространства.

Зональность суммарных ореолов. В строении суммарных ореолов также может быть установлена отчетливая зональность, если построить частные суммарные ореолы (аддитивные или мультипликативные), 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 надрудных и подрудных элементов. Выбор этих групп производится с учетом особенностей зональности первичных ореолов, в частности, на основе рядов элементов-индикаторов зональности. Именно в этом заключается большое методическое значение рассмотренных выше рядов элементов-индикаторов зональности первичных ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений.

В качестве примера рассмотрим частные суммарные ореолы одного из золоторудных месторождений, при изучении которого автором впервые была предложена методика построения частных аддитивных и мультипликативных ореолов. Рудное поле месторождения сложено вулканогенными породами верхнеакчинской подбиты среднего карбона, представленными излившимися и пирокластическими образованиями. Это в основном агломератовые туфы, андезитовые порфириды, лавобрекчии андезитовых порфиритов. Вулканогенные породы прорваны дайками и субвулканическими телами различного состава (дацитовые порфиры, андезитовые, сиенит-диоритовые и диабазовые порфириды). Для руд месторождения характерны пирит, галенит, блеклая руда и халькопирит, сфалерит, самородное золото, серебро, висмут, теллуриды серебра, золота и висмута. Эти минералы образуют неравномерную, гнездообразную и прожилковую вкрапленность. Кварц является основным жильным минералом рудных тел.

На рис. 23 изображены первичные ореолы химических элементов, развитые вокруг выклинивающихся с глубиной сближенных в пространстве кварц-золоторудных жил крутого падения. Как следует из рис. 23, только ореолы золота и серебра

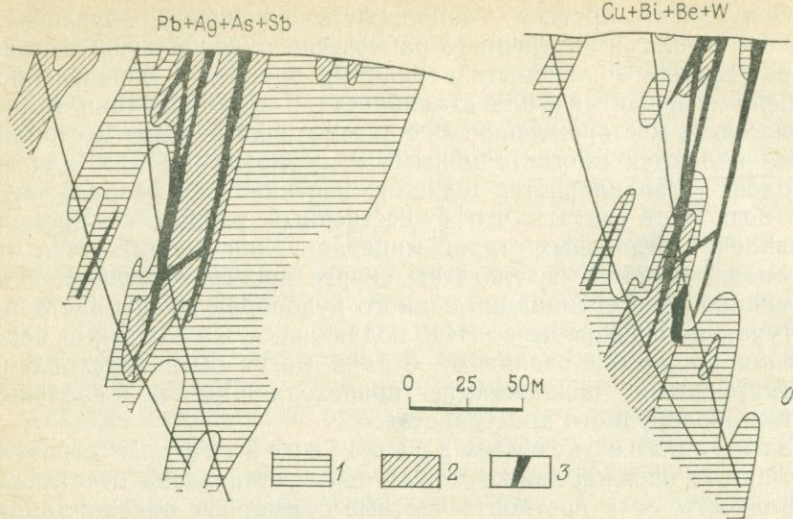


РИС. 23. Частные аддитивные ореолы в разрезе:

1, 2 — аддитивные ореолы (2 — поля повышенной интенсивности); 3 — рудные тела

обладают значительными размерами и интенсивностью. Ореолы остальных элементов характеризуются минимальной интенсивностью и редко выходят за пределы рудоносной зоны. Отмеченное не относится к сурьме и мышьяку, небольшие размеры ореолов которых следует объяснить недостаточной чувствительностью анализа на эти элементы. В строении ореолов устанавливается вертикальная зональность: ореолы сурьмы, свинца и серебра обладают максимальной шириной и интенсивностью в верхней части разреза и проявляют отчетливо выраженную тенденцию к выклиниванию с глубиной. В отличие от них ореолы вольфрама, кобальта, никеля 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, являются небольшими по размерам и чрезвычайно слабоконтрастными. Это обстоятельство резко затрудняет использование для оценки уровня эрозионного среза первичных ореолов парных индикаторных отношений: флуктуации этих отношений значительны из-за слабой контрастности моноэлементных ореолов (см. рис. 6), 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. Как видно из рис. 23, частным аддитивным ореолам свойственна контрастная вертикальная зональность, обусловленная противоположным поведением ореолов надрудных (выкли-

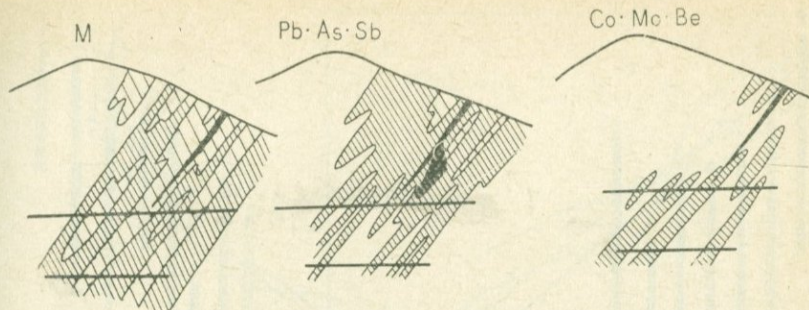


РИС. 24. Общие (М) и частные мультипликативные ореолы в разрезе. Условные обозначения см. на рис. 22.

нивание с глубиной) и подрудных (резкое расширение с глубиной) элементов. Аналогичная картина получается при построении мультипликативных ореолов (см. рис. 6, б). Величина отношения линейных продуктивностей этих ореолов на глубину в 130 м убывает более чем в 1500 раз.

Контрастная вертикальная зональность в строении суммарных ореолов установлена также на ртутном месторождении Агятаг. На рис. 24 изображены частные мультипликативные ореолы, построенные по разрезу через Центральный участок месторождения Агятаг. На этом же рисунке показаны изменения с глубиной отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов, иллюстрирующие контрастную вертикальную зональность. Моноэлементные ореолы по этому разрезу, как уже отмечалось, отличаются слабой контрастностью (см. рис. 22).

Следует отметить, что зональность суммарных ореолов по сравнению с моноэлементными (парные индикаторные отношения) является не только более контрастной, но и более стабильной. На рис. 25 приведены графики изменения с глубиной отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов ($K = \text{Ag} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Zn} / \text{Cu} \cdot \text{V} \cdot \text{Co}$) скарново-полиметаллических месторождений Гарпенберг (Швеция) и Алтын-Топкан, Курусай, Акташ, Кансай, залегающих в кислых вулканитах полиметаллического месторождения Восточное (Средняя Азия) и жильного полиметаллического месторождения Садон*. Кривые построены по опорным (наиболее представительным) разрезам через рудные тела указанных месторождений. Поскольку не во всех случаях удалось достаточно полно проследить надрудные и подрудные ореолы, графики построены практически для ореолов, развитых на уровне рудных тел (от верхнерудных сечений к нижнерудным).

Как следует из рис. 24, кривые всех месторождений тесно совмещены; они практически повторяют друг друга и обладают значительным градиентом по вертикали (индикаторное отношение

* Данные по месторождению Садон (Северный Кавказ) представлены А. И. Рычковым.

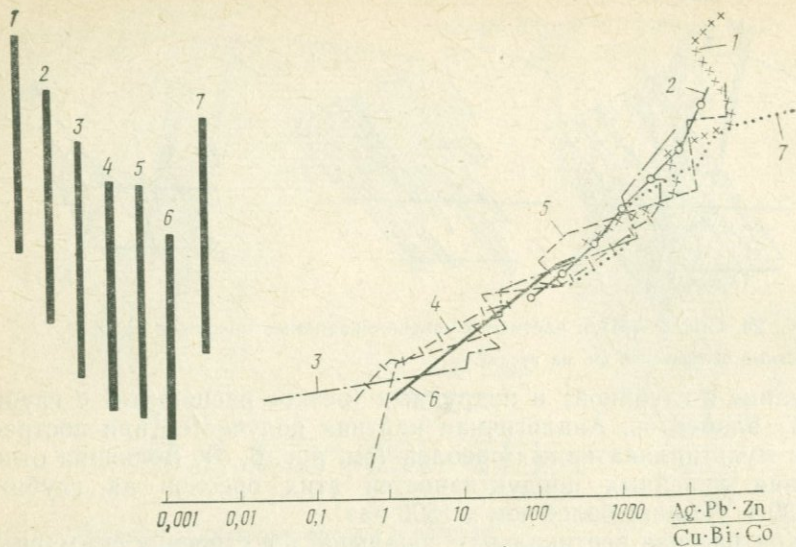


РИС. 25. Совмещенные графики изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности первичных ореолов полиметаллических месторождений.

Месторождения: 1 — Гарпенберг; 2 — Алтын-Топкан; 3 — Курусай; 4 — Восточное; 5 — Кансай; 6 — Акташ; 7 — Садон

с глубиной меняется в десятки тысяч раз). Приведенные данные показывают, что в строении мультипликативных 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 зональности ореолов. В данном случае в качестве такой оценки использовано отношение линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов. Большое практическое значение этой особенности суммарных ореолов станет очевидным, если учесть, что существование количественно единой зональности ореолов предоставляет возможность оценки уровня выявленных аномалий относительно оруденения как в пределах известных месторождений и рудных полей, так и далеко за их пределами — на новых площадях, где эталонные месторождения отсутствуют. В отличие от этого парные индикаторные отношения из-за значительных флуктуаций позволяют производить только относительную оценку уровня эрозионного среза ряда однотипных (по составу) аномалий.

В связи с этим становится очевидной актуальность дальнейшего изучения зональности суммарных ореолов с целью построения подобных графиков для других рудных формаций и получения таким образом табулированных для разных уровней орео-

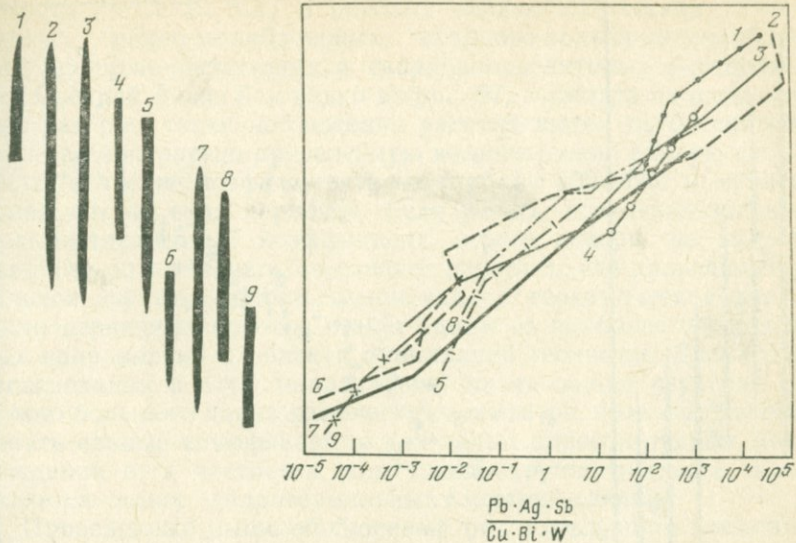


РИС. 26. Совмещенные графики изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности первичных ореолов оловорудных месторождений Дальнего Востока. По А. Ф. Миронюку.

1 — Южное; 2 — Смирновское; 3 — Зимнее; 4 — Верхнее; 5 — Ветвистое; 6 — Ивановское; 7 — Дальнетаежное; 8 — Трудное; 9 — Обычное

лов значений индикаторных отношений, используемых в качестве оценок зональности первичных ореолов.

Совмещенные графики изменения с глубиной линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов были составлены также по результатам изучения оловорудных месторождений Якутии (рис. 26), Приморья и Дальнего Востока. Во всех случаях в строении мультипликативных 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 отношение линейных продуктивностей ореолов.

При построении приведенных на рис. 26 совмещенных кривых расчет мультипликативных коэффициентов геохимической зональности производился путем перемножения средних аномальных содержаний, участвующих в коэффициенте элементов-индикаторов без предварительного нормирования этих содержаний через геохимический фон (деление содержания на среднее фоновое содержание). На примере ряда рудных формаций автором установлено, что в случае нормирования средних аномальных содержаний элементов-индикаторов зональности через их фоновые содержания в рудовмещающих породах удается

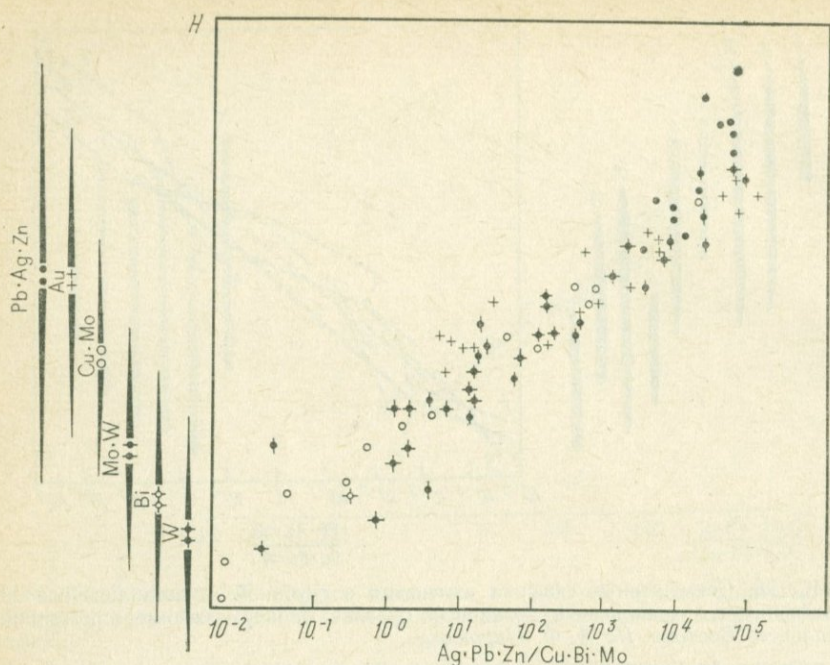


РИС. 27. График зависимости мультипликативного коэффициента зональности от уровня H первичных ореолов относительно различных по составу рудных тел

выявить количественно единую зональность как в строении первичных ореолов месторождений одной рудной формации, так и отличающихся по составу месторождений различных формаций, несмотря на то, что в коэффициентах зональности ореолов различных по составу месторождений использованы разные элементы-индикаторы. Установлено, что абсолютные величины мультипликативных коэффициентов геохимической зональности первичных ореолов по адекватным сечениям последних одинаковы не только для месторождений одной рудной формации, но и для месторождений различных рудных формаций (например, полиметаллических и оловорудных). Отмеченное справедливо только для коэффициентов одинакового порядка (в коэффициент входит одинаковое число элементов-множителей). Это означает, что существует реальная возможность расчета и практического использования значений мультипликативных коэффициентов зональности, табулированных для адекватных сечений ореолов месторождений как одной, так и различных по составу рудных формаций, возможно, гидротермальных месторождений вообще.

На рис. 27 приведен составленный совместно с М. А. Зубовым график изменения с глубиной значений единого мультипликативного коэффициента зональности третьего порядка

(Pb·Ag·Zn/Cu·Bi·Mo) в ореолах полиметаллических, золото-рудных, медно-молибденовых, скарново-вольфрам-молибденовых, скарново-висмутовых и скарново-шеелитовых месторождений Средней Азии. Как видно из рис. 27, несмотря на определенный разброс, точки наблюдения располагаются по биссектрисе, отражая контрастно проявленную количественно единую зональность: значение коэффициента на глубину 500—600 м меняется более чем на семь порядков. Если учесть, что использованный мультипликативный коэффициент, строго говоря, не является наиболее оптимальным, то следует признать, что дальнейшее детальное изучение количественно-единой геохимической зональности первичных ореолов станет одним из наиболее перспективных направлений в области прикладной геохимии. Дальнейшие исследования в этом направлении, включающие изучение возможно большого числа химических элементов, позволят рекомендовать единые коэффициенты для целых классов рудных месторождений и, в частности, для такого крупного класса, каким является класс гидротермальных месторождений.

Приведенный выше обобщенный ряд зональности элементов-индикаторов составлен эмпирически — путем обобщения результатов изучения первичных ореолов большого числа различных по составу и условиям формирования гидротермальных месторождений. При изучении первичных ореолов для ускорения широкого внедрения методики первичных ореолов в практику геологоразведочных работ в основном применялся экспрессный эмиссионный спектральный анализ, и поэтому в приведенном выше ряду в основном числятся элементы, первичные ореолы которых удовлетворительно выявляются с помощью указанного метода. Такой подход позволил составить годные для практического использования ряды зональности элементов-индикаторов, но, с другой стороны, оставил «за бортом» многие элементы, индикаторное значение которых изучено явно недостаточно. В связи с отмеченным представляется весьма важным изучение особенностей состава и строения первичных ореолов новых для геохимических поисков элементов (селен, теллур, таллий, тантал, редкие земли и др.) с целью расширения рядов зональности и выбора для практических целей наиболее эффективных индикаторов.

Вопрос о существовании единой геохимической зональности в первичных ореолах гидротермальных месторождений обычно вызывает оживленные дискуссии.

Не рассматривая в деталях различные аспекты этой проблемы, отметим, что часто эта зональность отождествляется с зональностью В. Эммонса (назовем ее «рудной»). Несмотря на очевидные черты сходства, рассмотренная выше геохимическая зональность первичных ореолов принципиально отличается от описанной В. Эммонсом. Геохимическая зональность первичных ореолов отражает закономерную смену в пространстве в определенном направлении (вектор движения рудоносных растворов)

полей аномальных концентраций химических элементов. В отличие от этого В. Эммонс рассматривал зональность в размещении месторождений руд различных металлов. Если эммонсовский ряд металлов рассмотреть как ряд последовательной смены в пространстве не месторождений и руд металлов (богатых и их концентраций), а их геохимических аномалий (ореолов), то получим ряд, практически идентичный ряду геохимической зональности первичных ореолов. Другими словами, геохимическая сторона ряда Эммонса является более понятной, и именно поэтому вряд ли следует считать случайным признание этого ряда А. Е. Ферсманом, который как бы предвидел существование единой геохимической зональности в пространственном распределении типоморфных элементов-индикаторов рудных месторождений. Как показывают результаты детального изучения первичных ореолов большого числа рудных месторождений, в направлении движения рудоносных растворов происходит дифференциация элементов, что выражается в закономерной смене в направлении движения рудоносных растворов ореолов одних элементов другими. При этом содержании элементов в их ореолах низкие (околокарковые) и поэтому промышленной ценности обычно не представляют. Опыт показывает, что из множества элементов, образующих первичные ореолы, высокие концентрации (в эпицентрах ореолов), достигающие промышленных, образует крайне ограниченное число элементов, обычно один (основной промышленно ценный компонент данного месторождения) и гораздо реже — несколько. Если дифференциация химических элементов приводит к формированию промышленных концентраций (руд) нескольких элементов, мы обычно имеем дело с комплексными рудами. Подобное наблюдается и тогда, когда высокая степень дифференциации реализуется для элементов, близко расположенных в ряду зональности. Примером такой дифференциации могут служить свинцово-цинковые месторождения, в рудных телах которых в промышленных концентрациях содержатся как свинец, так и цинк, стоящие рядом в ряду зональности.

Гораздо реже встречается случай, когда в пределах одной рудоносной зоны наблюдается высокая степень концентрации (до промышленной значимости) для двух или более элементов, значительно удаленных в ряду зональности. В подобных случаях формируются различные по составу руды, расположенные в пространстве зонально, в соответствии с рядом зональности. Характерным примером подобной зональности могут служить некоторые полиметаллические месторождения, где с глубиной происходит смена свинцово-серебряных руд медно-висмутовыми.

Очевидно, что ряд зональности металлов по В. Эммонсу полностью может быть проявлен только при условии реализации высокой (промышленной) степени дифференциации для всех перечисленных в ряду металлов. Возможность этого теоретически не исключается, однако практически реализации промышленной дифференциации наблюдается только для крайне ограниченного

числа элементов, и то обычно для элементов, близко расположенных в ряду зональности. Вот почему ряд зональности В. Эммонса, как справедливо указывал С. С. Смирнов, в природе не встречается. В отличие от этого геохимическая зональность с различной степенью контрастности проявляется более широко практически на каждом месторождении.

Для иллюстрации более стабильного характера геохимической зональности (по сравнению с рудной) ниже рассматриваются некоторые особенности полиметаллических месторождений Центрального Карамазара (Таджикская ССР). В этом районе широко развиты свинцово-серебряные и медно-висмутовые руды. В размещении руд обычно устанавливается отчетливая вертикальная зональность, обусловленная сменой с глубиной свинцово-серебряных руд медно-висмутовыми. Наряду с этим в районе известны также случаи «изолированной» локализации рудных тел свинцово-серебряного и медно-висмутового составов. На рис. 28 в разрезе схематично показаны три случая встречающейся в рудном районе локализации промышленного оруденения: *I* — присутствуют рудные тела обоих типов оруденения; *II* — рудное тело только свинцово-серебряного состава; *III* — рудное тело только медно-висмутового состава.

Детальное изучение первичных ореолов позволило установить в их строении отчетливую геохимическую зональность. На рис. 28 изображены аддитивные ореолы основных типоморфных для описываемых месторождений элементов-индикаторов: свинца и серебра, а также меди и висмута. Как следует из рис. 28, геохимическая зональность первичных ореолов отражает рудную зональность: с глубиной параллельно со сменой типов руд происходит выклинивание ореолов свинца и серебра при одновременном расширении и усилении ореолов меди и висмута. Аналогичная геохимическая зональность устанавливается и при «отсутствии» рудной зональности, т. е. на месторождениях, представленных одним типом руд. При этом «отсутствующие» рудные тела (см. рис. 28, *II*, *III*) фиксируются полями повышенных концентраций типоморфных элементов, отчетливо отражая геохимическую дифференциацию, по каким-то причинам не достигшую степени «рудной» (промышленной) дифференциации. Эти поля повышенных концентраций типоморфных элементов как бы представляют собой не «дошедшие» до кондиций рудные тела. Приведенный пример показывает более универсальный характер геохимической зональности по сравнению с рудной.

Естественно, было бы ошибкой утверждать, что геохимическая зональность первичных ореолов является строго универсальной и в природе не могут быть встречены отклонения от нее. Подобные нарушения, безусловно, существуют, и речь может идти только о необходимости тщательного изучения причин подобных «нарушений» с целью уточнения характера и рядов зональности и обеспечения на этой основе более эффективного использования критерия зональности при решении как

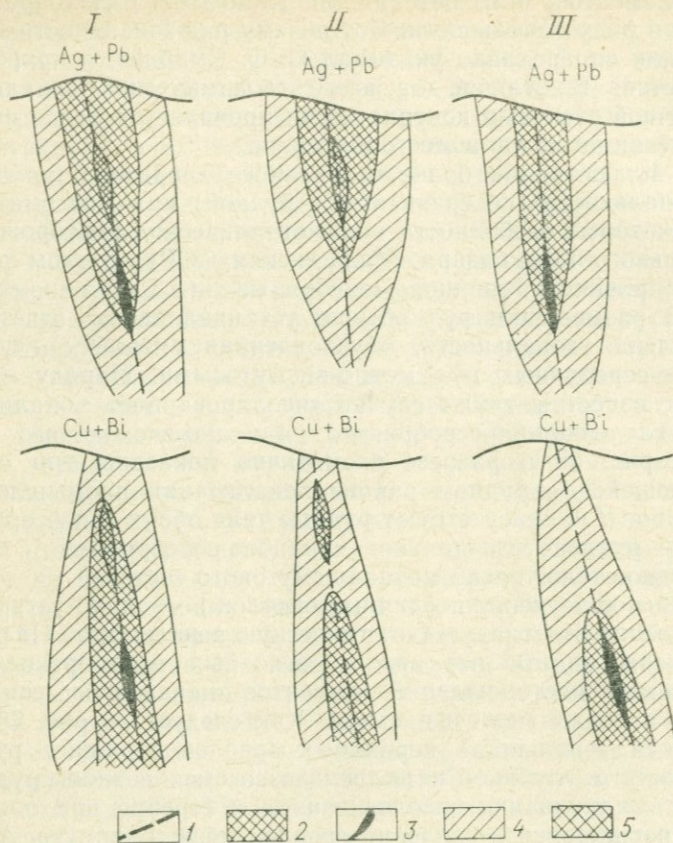


РИС. 28. Аддитивные ореолы в разрезе:

1 — рудовмещающая структура; 2, 3 — рудное тело (2 — свинцово-серебряного состава, 3 — медно-висмутового); 4, 5 — аддитивные ореолы (5 — поля повышенной интенсивности)

практических задач, так и некоторых вопросов генезиса рудных месторождений.

Анализ известных примеров «нарушения» единой зональности первичных ореолов гидротермального оруденения позволяет выделить две причины:

1. Кулисное расположение рудных тел, когда наложение ореолов сближенных рудных тел «нарушает» зональность. Отметим, что анализ причин подобного нарушения единой зональности во многих случаях позволил успешно прогнозировать наличие на глубине известных рудных тел. В данном случае «нарушение» зональности кажущееся. Конкретные примеры прогнозирования на глубине новых кулис слепых рудных тел на основе «нарушения» осевой зональности будут описаны в последующих главах настоящей работы.

2. Нарушение геохимической зональности первичных ореолов происходит также в случае образования так называемых «полиформационных» ореолов, когда происходит совмещение в пространстве ореолов различных по времени формирования месторождений. И в этом случае «нарушение» зональности кажущееся, ибо в строении первичных ореолов каждого из совмещенных в пространстве типов оруденения, как будет показано ниже, выявляется нормальная зональность. Особенности состава, строения и критериям идентификации и расшифровки полиформационных геохимических ореолов посвящена специальная глава.

Как известно, одним из важнейших аспектов практического использования первичных ореолов является оценка уровня эрозионного среза геохимических аномалий на основе геохимической зональности первичных ореолов. В настоящее время наиболее детально изучены первичные ореолы рудных тел. При этом установлено, что зональность первичных ореолов рудных тел одного месторождения является идентичной, автономно повторяющейся в строении ореолов каждого из группы рудных тел месторождения, и в качестве ее оценки используются одни и те же коэффициенты. Именно поэтому критерий описанной выше геохимической зональности первичных ореолов обычно используется для оценки уровня эрозионного среза только одного конкретного рудного тела и его ореолов, тогда как в практическом отношении важнее оценивать уровень эрозионного среза рудоносной зоны в целом. Это особенно важно для месторождений цветных и редких элементов, характеризующихся кулисным расположением рудных тел по вертикали. Речь по существу идет о значительном увеличении глубинности путем перехода от оценки ореолов единичного рудного тела к оценке в целом рудоносной зоны, представляющей собой группу рудных тел, сменяющих друг друга по вертикали.

Как следует из рис. 29, для самых удаленных друг от друга уровней оценка перспектив рудоносности участка на глубину на основе зональности первичных ореолов будет одинаковой: и в том и в другом случае будет установлен верхнерудный срез (слабоэродированное рудное тело), хотя в первом случае эрозионный срез затрагивает только верхнюю часть рудоносной зоны (месторождения), а во втором — вскрыты корневые части рудоносной зоны, т. е. оруденение практически уничтожено эрозией.

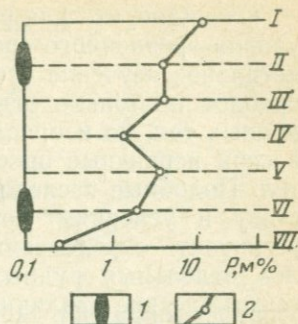


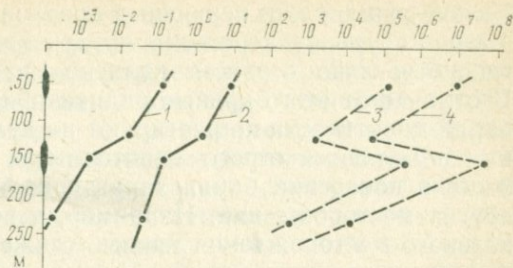
РИС. 29. График изменения с глубиной линейной продуктивности первичного ореола свинца:
1 — рудное тело; 2 — кривая линейной продуктивности;
I—VII — номера горизонтов опробования

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 ореолов самой рудоносной зоны, включающей в себя первичные ореолы слагающих рудоносную зону рудных тел. Подобные исследования, выполненные на различных по составу и условиям формирования месторождениях, позволили установить определенные различия в строении первичных ореолов отдельных рудных тел и рудоносных зон в целом. Эти геохимические различия могут быть использованы для выбора надежных коэффициентов зональности для оценки уровня эрозионного среза рудоносных зон и на этой основе увеличения глубинности прогноза по геохимической зональности. Так, для некоторых надрудных элементов была выявлена определенная связь между интенсивностью их надрудных ореолов и гипсометрическим положением соответствующего рудного тела в пределах рудоносной зоны: чем выше рудное тело, тем интенсивнее их надрудные ореолы, и наоборот (при прочих равных условиях). Эта зональность показана на рис. 29, где приведен разрез через залегающее в гранитах гидротермальное урановое месторождение, представленное двумя слепыми рудными телами, расположенными одно над другим. Надрудная часть каждого из рудных тел характеризуется отчетливым максимумом линейной продуктивности ореола свинца (горизонты I и V). При этом продуктивность надрудного ореола верхнего (меньшего по размерам) рудного тела существенно больше (по сравнению с нижним телом). Эти данные показывают, что зональность первичных ореолов каждого из рудных тел развивается на фоне геохимической зональности рудоносной зоны, которая в данном случае может быть использована для оценки уровня эрозионного среза рудоносной зоны в целом. Существование зональности двух порядков (рудных тел и рудоносной зоны в целом) отчетливо отражено на рис. 29; общая тенденция монотонного уменьшения продуктивности ореола свинца с глубиной нарушается резким перегибом над нижним рудным телом, что фиксирует проявление «автономной» зональности первичных ореолов конкретного рудного тела.

Естественно, что наиболее эффективными индикаторами оценки уровня эрозионного среза рудоносных зон будут элементы, в строении ореолов которых проявляется только геохимическая зональность рудоносных зон (зональность первого порядка), ибо проявление более локальной зональности (второго порядка) затрудняет практическое использование критерия зональности из-за нарушения монотонного характера изменения с глубиной параметров ореолов. Таким элементом, как показали исследования, является барий — один из важнейших элементов-индикаторов зональности первичных ореолов различных типов эндогенных рудных месторождений.

РИС. 30. Графики изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности. Стрежанское месторождение:

1 — Ba·Ag·Pb/Cu²·Zn; 2 — Ba·Pb/Cu·Zn;
 3 — Ag·Pb×
 ×Zn/Co·Ni·Mo; 4 — Pb·Zn×
 ×Cu/Co·Ni·Mo



Барий проявляет отчетливую тенденцию преимущественного накопления в верхних частях рудоносных зон в отличие от остальных надрудных элементов (сурьма, серебро и др.), которые образуют «шапки» над каждым рудным телом и не проявляют отчетливо выраженной зональности первого порядка. Вследствие этого изменение с глубиной коэффициентов зональности, включающих барий (в сочетании с другими элементами), является более монотонным (однонаправленным). Исключение бария из коэффициента приводит к возникновению резких перегибов в графиках коэффициента зональности, фиксирующих зональность первичных ореолов каждого из группы рудных тел. На рис. 30 и 31 приведены графики изменения с глубиной мультипликативных коэффициентов зональности по ряду типоморфных разрезов через полиметаллические месторождения Рудного Алтая. Особенности состава и строения первичных ореолов этих месторождений изучены Г. Э. Федотовой и автором. Как следует из рис. 30, кривые мультипликативного коэффициента геохими-

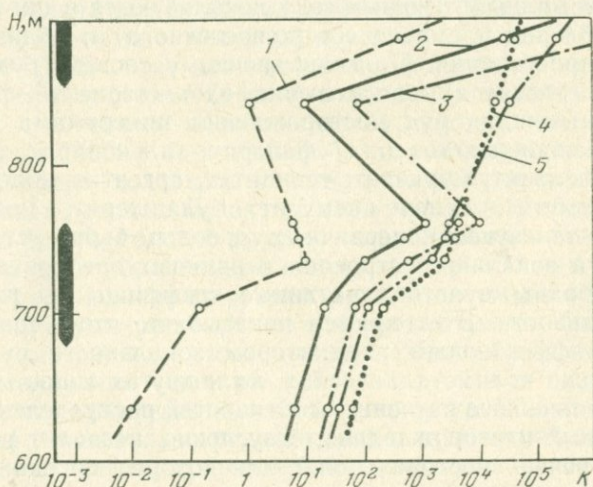


РИС. 31. Графики изменения значений мультипликативного коэффициента зональности первичных ореолов. По И. В. Гольдмахеру.

1 — Ag·Zn·As/Ni·Mo·F; 2 — Ag·Zn·As/Cu·Sn·Mo; 3 — Zn·Ag·As/Sn·Mo²; 4 — Zn×
 ×Ba·Mn/Ni·Mo·F; 5 — Zn·Ba²/Ni·Mo·F

ческой зональности первичных ореолов Стрежанского месторождения на уровне пережима оруденения образуют резкий перегиб, отчетливо отражая кулисное расположение рудных тел. В отличие от этого кривые индикаторных отношений с участием бария практически не реагируют на кулисный характер оруденения и являются строго монотонными. Аналогичная закономерность в поведении бария характерна и для первичных ореолов других месторождений. Например, в первичных ореолах Гуляковского месторождения кривые также фиксируют строго монотонное уменьшение с глубиной этого коэффициента, несмотря на сложное кулисное строение рудоносной зоны. Обращает на себя внимание исключительно высокая контрастность рассматриваемого коэффициента зональности: на глубину не более 500 м величина коэффициента монотонно уменьшается более чем в 10 млн. раз, что обеспечивает высокую надежность его использования для оценки уровня эрозийного среза рудоносной зоны в целом. Кривые любых вариантов коэффициента зональности без участия бария характеризуются резкими перегибами, фиксирующими появление с глубиной новых рудных кулис. Аналогичные особенности бария И. В. Гольдмахером и автором установлены на некоторых золоторудных месторождениях. На рис. 31 показаны кривые различных вариантов мультипликативного коэффициента зональности, иллюстрирующие геохимическую зональность в строении первичных ореолов рудоносной зоны, включающей два сменяющих друг друга с глубиной рудных тела. Описываемое месторождение залегает в глубоко метаморфизованных архейских породах. Последние в северной части рудного поля прорваны гранитоидами позднечуковского амуджиканского комплекса. Рудные тела локализованы в протяженных зонах дробления и смятия северо-восточного и близмеридионального простиранья. По вещественному составу руды месторождения относятся к золото-сульфидно-кварцевой формации. Типоморфными для руд месторождения минералами являются пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин, магнетит, гематит, марказит, теннантит, аргентит, золото, халькозин, висмутит, галено-висмутит, буланжерит, молибденит. В результате изучения первичных ореолов были установлены особенности зонального строения первичных ореолов и на этой основе выбраны мультипликативные коэффициенты геохимической зональности. Этот пример показывает, что барий может оказаться эффективным индикатором зональности рудоносных зон не только полиметаллических, но и других типов месторождений и дальнейшее изучение особенностей распределения бария на различных месторождениях, безусловно, позволит резко расширить перечень месторождений, для которых он окажется эффективным индикатором зональности рудоносных зон.

Барий, как известно, является практически универсальным элементом-индикатором рудных месторождений: первичные ореолы его установлены на месторождениях самых различных

как по составу, так и по геологическим условиям локализации оруденения. Именно поэтому установленная впервые на примере ряда полиметаллических месторождений и кратко описанная выше специфическая особенность зонального строения ореолов бария резко повышает интерес к этому элементу как к важному индикатору зональности рудоносных зон не только полиметаллических, но и других типов месторождений. Для реализации, по всей вероятности, значительных потенциальных возможностей бария как индикатора геохимической зональности необходимо детальное изучение особенностей пространственного распределения этого элемента на различных месторождениях с целью определения методики использования бария в качестве индикатора зональности ореолов.

Приведенные выше данные о существовании в первичных ореолах зональности двух порядков соответствующим образом расширяют возможности геохимических критериев при оценке геохимических аномалий. Методика этой оценки должна включать оценку уровня эрозионного среза как первичных ореолов ближайшего к исследованному срезу рудного тела, так и ореолов рудоносной зоны в целом (в последнем случае с помощью бария).

Описанное выше специфическое распределение бария не является случайным и, возможно, определяется тем, что его единственный распространенный в рудных месторождениях и их первичных ореолах минерал представлен баритом, который обладает ретроградной растворимостью в воде. По данным И. Штрубеля, начало ретроградной растворимости барита приходится на 250°C . Это означает, что поведение бария в первичных ореолах не будет отличаться от других элементов только на месторождениях, формирование которых происходило при температурах ниже 250°C . Если же месторождения формировались при более высоких температурах (к таким относится подавляющее большинство эндогенных месторождений), с понижением температуры (ниже 250°C) барит вновь будет растворяться и переотлагаться в более холодных участках околорудных пород, т. е. в первичных ореолах. В связи с этим представляется, что первоначально барий, подобно другим надрудным элементам (сурьма, серебро и др.), образовывал надрудные ореолы над каждым из кулисно расположенных рудных тел, но потом по мере понижения температуры растворялся и переотлагался в более удаленных верхних частях рудоносных зон, образуя над ними своеобразные надрудные «шапки».

Важность дифференциальной оценки уровня геохимических аномалий относительно рудного тела и рудоносной зоны определяет необходимость сравнительного изучения особенностей зонального строения первичных ореолов рудоносных зон и отдельных рудных тел на примере различных типов рудных месторождений с целью выявления новых эффективных индикаторов зональности различных порядков.

Поперечная зональность отражает различия в величинах параметров ореолов элементов, расположенных вкрест простираения рудных тел и окаймляющих их ореолов. Эта зональность определяется концентрацией элементов в рудных телах и ореолах, их подвижностью и фоновым содержанием во вмещающих породах. Ниже приведены ряды элементов, отражающие поперечную зональность первичных ореолов различных по составу месторождений. В этих рядах элементы расположены

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

в порядке убывания линейных продуктивностей их ореолов, развитых на уровне верхних частей рудных тел и выше. При расчете продуктивностей были использованы средние аномальные содержания элементов в единицах геохимического фона.

В отличие от вертикальной (осевой) зональности, единообразной для различных по составу месторождений, поперечная зональность в силу отмеченной выше зависимости от состава руд специфична для каждого из месторождений. Первыми в рядах, как правило, располагаются элементы — основные промышленно ценные компоненты 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. Следует отметить, что для этой цели могут быть также использованы ряды поперечной зональности, составленные по величинам средних содержаний, выраженных в единицах геохимического фона. Эти ряды принципиально не отличаются от рядов, приведенных выше, и используются в тех случаях, когда по каким-либо причинам размеры ореолов в поперечном направлении не установлены (ореолы полностью не оконтурены из-за ограниченной протяженности профилей опробования и т. д.).

Возможности использования поперечной зональности первичных ореолов для определения состава предполагаемого на глубине оруденения рассматривается на примере таких близких по составу (соответственно по набору элементов-индикаторов) месторождений, какими являются месторождения кварц-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций. Сравнение при-

веденных рядов элементов-индикаторов поперечной зональности позволяет выделить элементы, положение которых в сравниваемых рядах отличается существенно. Такими являются мышьяк и вольфрам, что позволило выбрать следующий мультипликативный показатель формационной принадлежности оловорудных аномалий — $\text{Sn}^2/(\text{As} \cdot \text{W})$ (олово в квадрате для обеспечения безразмерности показателя). Используемые в показателе элементы в ряду элементов-индикаторов вертикальной геохимической зональности стоят рядом, поэтому величина этого показателя в ореолах одной рудной формации по вертикали существенных изменений не будет претерпевать, тогда как ореолы двух сравниваемых формаций по этому показателю отличаются весьма существенно: для ореолов месторождений сульфидно-касситеритовой формации величина рассматриваемого показателя всегда больше 0,1, тогда как в ореолах месторождений кварцево-касситеритовой формации она не превышает 0,005.

Исследования показывают, что в зависимости от элементов залегания рудных тел поперечная зональность первичных ореолов может быть *симметричной* и *асимметричной*. Симметричной поперечной зональностью характеризуются первичные ореолы, развитые вокруг рудных тел вертикального падения. В тех случаях, когда рудные тела являются наклонными, как правило, наблюдается более интенсивное развитие первичных ореолов в всячем боку рудных тел, что обуславливает асимметрию поперечной зональности. Следует отметить, что избирательное накопление элементов в всячем боку рудных тел особенно характерно для индикаторов надрудной группы, что позволяет по отношению содержаний надрудных и подрудных элементов выявить более отчетливую асимметрию поперечной зональности. При этом максимальный эффект достигается, если использовать отношение произведений (мультипликативный показатель) содержаний надрудных и подрудных элементов, выбор которых производится на основе рядов элементов-индикаторов зональности данного типа оруденения. Эта особенность поперечной зональности первичных ореолов может быть использована для определения условий 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 представляет собой важнейшее условие успешной разведки рудопроявлений, признанных перспективными. Естественно, что асимметрия горизонтальной зональности может быть использована для определения условий залегания только рудных тел, залегающих в однородной среде. В тех случаях, когда рудные тела локализованы на контакте различных по составу или физико-механическим свойствам пород, асимметрия горизонтальной зональности первичных ореолов может быть

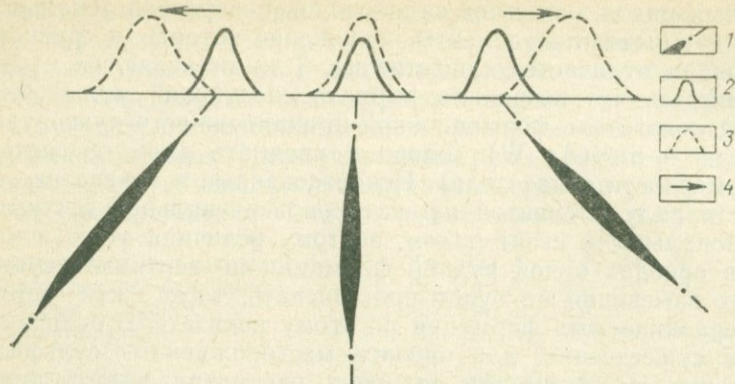


РИС. 32. Особенности развития первичных ореолов различных элементов-индикаторов над слепым оруденением:

1 — слепое рудное тело; 2—3 — кривые элементов-индикаторов (2 — рудных, 3 — надрудных); 4 — направления склонения слепой рудной залежи

обусловлена и этой причиной, что должно быть учтено при интерпретации геохимических аномалий.

Выше нами был рассмотрен пример асимметричной поперечной зональности первичных ореолов вскрытой эрозией золото-рудной жилы. Естественно, что в условиях обнаженных районов 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, когда рудные тела и сопровождающие их первичные ореолы перекрыты элювиально-делювиальными отложениями, 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 определение условий залегания слепых рудных тел весьма сложно, интересно рассмотреть 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 является однозначным, поскольку максимальные значения (эпицентр) этого показателя могут фиксировать как слепое оруденение вертикального падения (эпицентр представляет собой проекцию слепого оруденения на поверхность), так и висячий бок слепого оруденения, причем и в этом случае возможны два варианта, как это схематически показано на рис. 32. Однозначное решение может быть достигнуто, если удастся на поверхности проследить рудовмещающую структуру и сопровождающие ее метасоматические изменения рудовмещающих пород. Тогда на-

правление смещения эпицентра индикаторного отношения от рудовмещающей структуры будет соответствовать падению слепого оруденения. Но далеко не всегда удается однозначно установить рудовмещающую структуру: часто на поверхности они проявлены слабо или же отсутствуют. Известны случаи, когда слепые залежи локализируются в слепых структурах. Кроме того, часто наличие серии разрывных нарушений резко затрудняет выделение среди них рудовмещающей. В подобных случаях при установлении рудовмещающих структур и определении на этой основе вероятного направления падения предполагаемого слепого оруденения существенную помощь может оказать использование особенностей распределения элементов-индикаторов в первичных ореолах.

По результатам изучения различных месторождений установлено, что рудовмещающие структуры на поверхности фиксируются интенсивными ореолами элементов — основных компонентов руд (свинца и цинка на полиметаллических месторождениях, олова — на оловорудных и т. д.), т. е. максимумы аномалий этих элементов совпадают с рудовмещающей структурой. В случае слепых структур центры аномалий также фиксируют рудовмещающие структуры, располагаясь на их продолжении по восставанию. Это обстоятельство позволяет рекомендовать использование при определении условий залегания слепого оруденения правила 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 слепого оруденения; сдвиг максимумов друг относительно друга наблюдается в случае наклонного залегания рудного тела, при этом максимум аддитивного (или мультипликативного) показателя фиксирует всякий бок рудной залежи (см. рис. 32).

Заканчивая рассмотрение поперечной зональности первичных ореолов, отметим, что в ряде случаев отчетливым индикатором направления падения рудных тел служит барий, поведение которого как наиболее характерного надрудного элемента различных по составу месторождений является специфичным. Над слепым оруденением барий обычно образует своеобразную шапку повышенных содержаний: вниз по вертикали ореолы бария сужаются, интенсивность их падает. Рудные тела обычно характеризуются минимальным содержанием бария. Наблюдаются выносы бария из участков рудных тел и примыкающих к ним вмещающих пород и переотложение его в надрудных и боковых частях околорудного пространства.

При перераспределении барий проявляет отчетливую тенденцию избирательного накопления в всячем боку рудных тел, обуславливая асимметричную поперечную зональность ореолов, которая также может быть использована для определения

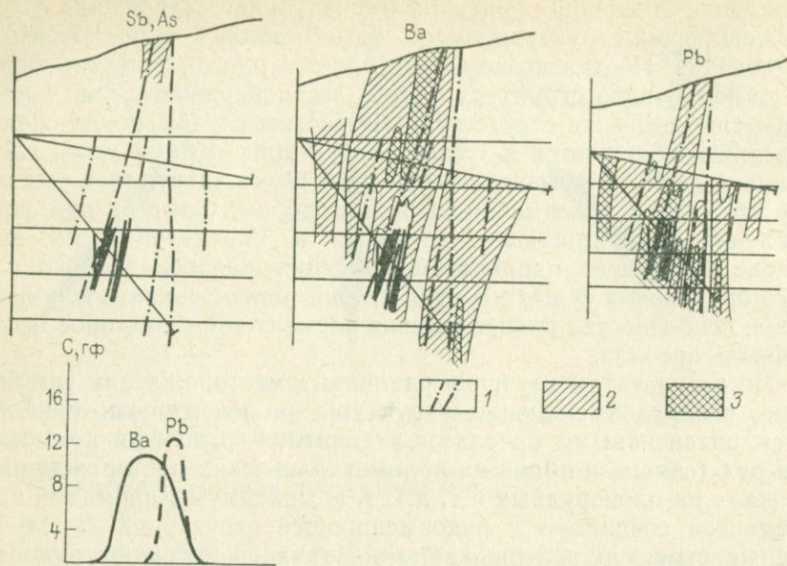


РИС. 33. Первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения Курусай:

1 — разрывные нарушения; 2, 3 — первичные ореолы элементов (3 — поля повышенных концентраций)

направления падения слепой залежи. Рассмотрим поперечную зональность первичных ореолов, выявленных вокруг слепого круто падающего полиметаллического оруденения, залегающего на глубине 250 м (Курусайское скарново-полиметаллическое месторождение, Средняя Азия). Как следует из рис. 33, ореолы бария практически развиты только в надрудной части околорудного пространства. В отличие от ореолов элементов — основных компонентов руд (свинца, цинка, серебра) ореол бария отчетливо сдвинут в сторону висячего бока слепой залежи, несмотря на слабый наклон последней. Это хорошо видно на графиках распределения бария и свинца по профилю опробования на поверхности. Смещение максимумов бария относительно остальных элементов иллюстрируется кривыми распределения этих элементов, построенными по результатам опробования коренных пород на поверхности.

Продольная зональность первичных ореолов выражается в закономерном изменении величин различных параметров ореолов в направлении простирания рудоносных зон, включающих в себя как рудные тела, так и окаймляющие их первичные ореолы. Продольная зональность первичных ореолов также может быть симметричной (отсутствует склонение рудных тел и сопровождающих ореолов) и асимметричной, когда в продольном направлении в соответствии со склонением рудных тел происходит дифференциация в распределении элементов-индикаторов. Эта зональность также отражает направление движения

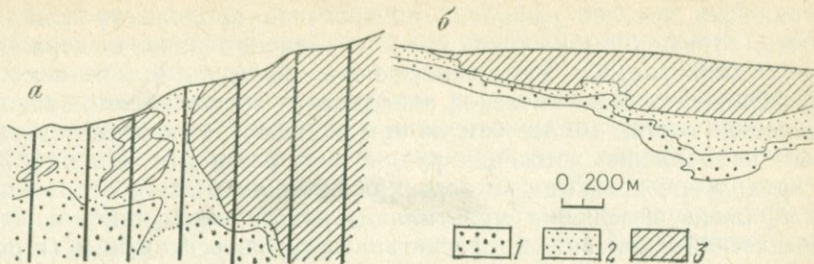


РИС. 34. Изменение мультипликативного и аддитивного коэффициентов в продольном разрезе через месторождения Садон (а) и Восточное (б):

1—3 — величины коэффициента по возрастанию

рудоносных растворов в плоскости рудоносных зон и поэтому согласуется с рассмотренными выше рядами элементов-индикаторов осевой зональности первичных ореолов.

Продольная геохимическая зональность в строении первичных ореолов Садонского жильного свинцово-цинкового месторождения (Северный Кавказ) показана на рис. 34, а. Выполненными на ряде месторождений этого региона исследованиями М. З. Кайтукова и автора установлено, что состав первичных ореолов Садонского и других полиметаллических месторождений Северного Кавказа (Архон, Холст и др.) сходен и представлен многими элементами-индикаторами, наиболее информативными из которых являются свинец, цинк, медь, серебро, висмут, сурьма и мышьяк. Размеры ореолов колеблются в широких пределах. Их протяженность как в плане, так и по вертикали составляет первые сотни метров и в отдельных случаях в зависимости от масштаба оруденения может достигать километра и более.

Наиболее интенсивными, выдержанными и значительными по падению и простиранию являются ореолы свинца, цинка и меди. Вертикальная (осевая) зональность первичных ореолов этих месторождений выражается рядом, приведенном выше. Продольная геохимическая зональность на месторождении Садон проявляется в том, что вектор максимального градиента концентрации элементов-индикаторов совпадает с направлением от нижних горизонтов юго-западного фланга месторождения, примыкающего к региональному рудоконтролирующему Садоно-Унальскому разлому общекавказского простираня, к верхним горизонтам северо-восточного фланга месторождения. В этом направлении происходит увеличение содержаний таких ореолообразующих элементов, как серебро, свинец, цинк, медь, и уменьшение содержаний кобальта, олова и молибдена. Наиболее четко вектор продольной зональности фиксируется по изменению величин мультипликативного коэффициента зональности вида: $Pb \cdot Zn \cdot Cu \cdot Ag / Co \cdot Mo^2 \cdot Sn$ в продольной плоскости ореолов Садонского месторождения. Как видно на рис. 34, а, в строении

первичных ореолов выявлена контрастная продольная зональность, отражением которой является закономерное, выдержанное и контрастное увеличение значений мультипликативного коэффициента геохимической зональности ореолов с юго-запада на северо-восток (более чем на три порядка), фиксируя тем самым направление движения рудоносных растворов. На рис. 34 в продольной проекции на вертикальную плоскость в изолиниях изображены изменения мультипликативного коэффициента геохимической зональности, рассчитанных по пересекающим (в поперечном направлении) рудоносную зону скважинам, горным выработкам, а также профилям опробования коренных пород на поверхности и отнесенных к точкам пересечения или плоскости рудоносной зоны. Отмеченная продольная зональность подтверждает мнение тех исследователей, которые считают, что поперечный к рудовмещающим структурам полиметаллических месторождений Центральной части Горной Осетии Садоно-Унальский разлом является рудоконтролирующим и, по всей вероятности, рудоподводящим.

На рис. 34, б в продольном разрезе через главную рудную зону полиметаллического месторождения Восточное изображено изменение величины аддитивного коэффициента геохимической зональности. В разрезе проявлена как вертикальная (уменьшение коэффициента с глубиной), так и продольная зональность: последняя фиксируется резким уменьшением вертикального размаха полей повышенных значений коэффициента зональности в юго-западной части разреза.

Отчетливая продольная геохимическая зональность первичных ореолов А. Ф. Миронюком и автором установлена также на сульфидно-касситеритовом месторождении Зимнее (Дальний Восток). Рудное поле описываемого месторождения сложено юрскими и меловыми песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами, смятыми в крутые складки северо-восточного простирания. Осадочные породы прорваны небольшой гранитоидной интрузией, вокруг которой развит ореол интенсивного ороговения и биотитизации. Основные рудные тела месторождения расположены к югу от массива гранитоидов, имеют протяженность сотни метров и представлены близмеридиональными крутопадающими минерализованными зонами дробления и жилами выполнения.

На месторождении детально изучены первичные ореолы четырех рудных зон, сложенных различными типами руд и разведанных на значительную глубину. В результате геохимического опробования вокруг всех зон установлены четкие ореолы олова, свинца, цинка, серебра, мышьяка, меди, висмута, сурьмы и вольфрама.

В строении ореолов установлена контрастная вертикальная зональность, которая выражена в увеличении с глубиной продуктивностей ореолов меди, висмута и вольфрама при уменьшении этих же параметров в ореолах сурьмы, серебра и свинца.

Наряду с вертикальной зональностью в строении первичных ореолов установлена контрастная продольная зональность, обусловленная отчетливым сдвигом ореолов друг относительно друга в направлении простираения рудоносных зон. Продольная зональность в распределении элементов-индикаторов ярко проявляется в строении первичных ореолов, выявленных на поверхности месторождения (рис. 35): ореолы серебра, свинца и цинка усиливаются с севера на юг; ореолы мышьяка (арсенопирит), меди, висмута и вольфрама — с юга на север. Аналогичная картина продольной зональности устанавливается и в вертикальном продольном разрезе. На рис. 35 в продольной 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 плоскости рудоносной зоны.

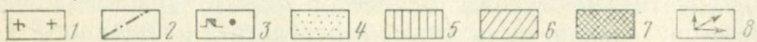
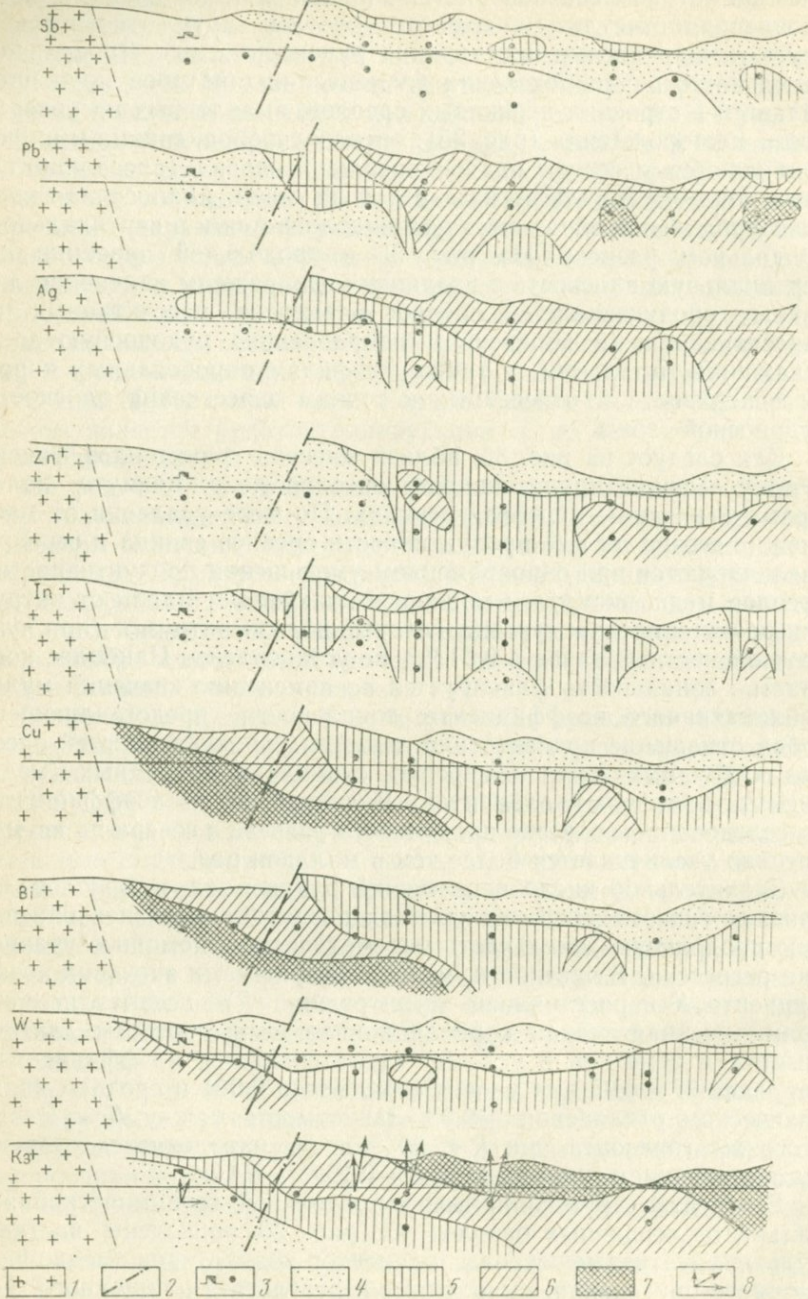
Как следует из рис. 35, вблизи массива гранитоидов фиксируются высокие продуктивности ореолов меди, висмута, вольфрама и низкие — серебра и свинца. По мере удаления от массива (с севера на юг) продуктивности ореолов свинца и серебра увеличиваются при одновременном уменьшении продуктивностей ореолов меди, висмута, мышьяка и вольфрама. Вдали от интрузии развиты ореолы сурьмы, которые вблизи интрузии (при чувствительности анализа в 0,01 %) не установлены. Наиболее контрастно зональность фиксируется по изменению значений мультипликативного коэффициента зональности, представляющего собой отношение произведений линейных продуктивностей ореолов надрудных (свинец, серебро, сурьма) и подрудных (медь, висмут, вольфрам) элементов. Величина этого коэффициента в исследованном отрезке продольного разреза с севера на юг монотонно увеличивается более чем в миллион раз.

Значительное число пересечений рудных тел и ореолов на близких гипсометрических уровнях позволяет выразить описанную продольную зональность математически с помощью уравнения регрессии. В частности, между логарифмами значений коэффициента K и расстоянием от интрузии (R) устанавливается прямолинейная тесная корреляционная связь, которая для горизонта с отметкой 8 усл. ед. характеризуется коэффициентом корреляции $+0,95$ при уровне значимости $0,001$ и среднем квадратическом отклонении $\mp 0,03$. Зависимость между K и R для этого же горизонта при $R < 50$ усл. ед. определяется следующим уравнением регрессии: $\lg K = 0,16 R - 5,41$.

В качестве другого примера продольной геохимической зональности первичных ореолов на рис. 36 приведены частные мультипликативные ореолы элементов-индикаторов медно-висмутового оруденения, выявленные в результате площадного геохимического опробования коренных пород на поверхности одного из месторождений Средней Азии. Оруденение на этом место-

Фестивальная

Комплексная



рождении 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 ореолов, которая выражается в несовпадении в пространстве максимумов ореолов надрудных и подрудных элементов, что, в свою очередь, фиксируется резким сдвигом полей повышенных значений мультипликативного показателя на запад в полном соответствии с западным склонением оруденения.

Более сложный характер продольной геохимической зональности установлен М. А. Абатуровой и автором на одном из золоторудных месторождений. Месторождение залегает в вулканогенных породах среднего состава. По вещественному составу руды месторождения относятся к типу умеренно сульфидных. Вокруг рудных тел месторождения выявлены первичные геохимические ореолы широкого круга элементов. На рис. 37 в продольном разрезе через одну из крутопадающих рудных залежей изображены частные мультипликативные ореолы основных надрудных (свинец, серебро) и подрудных (олово, висмут) элементов-индикаторов оруденения, а также ореолы, оконтуренные по величинам мультипликативного коэффициента геохимической зональности, рассчитанным по каждому пересечению (в поперечном направлении) рудоносной зоны, включающей рудное тело и окаймляющие его первичные ореолы. Как следует из рис. 37, первичные ореолы в продольном сечении представляют собой своеобразные по форме фигуры, вытянутые не по вертикали, как предполагалось в начале, а под углом к горизонту. Ореолы, имеющие северо-восточное склонение, в своей верхней части разветвляются на две ветви с сохранением основного направления склонения. Характерно, что отчетливая зональность в поведении элементов устанавливается только при рассмотрении первичных ореолов по длинным осям двух ветвей фигуры.

Аналогичная продольная зональность установлена и по другим рудоносным зонам рассматриваемого золоторудного месторождения. Как следует из рис. 38, наиболее контрастно геохимическая зональность фиксируется с помощью мультипликативного коэффициента зональности. Изменения коэффициента отражают как продольную (северо-восточное склонение полей различных значений коэффициента), так и вертикальную

РИС. 35. Изменение линейных продуктивностей первичных ореолов элементов-индикаторов и мультипликативного коэффициента геохимической зональности K_3 (продольный разрез зон Фестивальная и Комплексная):

1 — биотитовые граниты; 2 — линия сочленения проекций рудных зон; 3 — точки пересечения плоскости рудной зоны с буровыми скважинами и горными выработками; 4—7 — линейная продуктивность элементов (в порядке возрастания) и мультипликативный коэффициент (4 — менее 0,01; 5 — 0,01—1,0; 6 — 1,0—1000; 7 — более 1000); 8 — векторы зональности

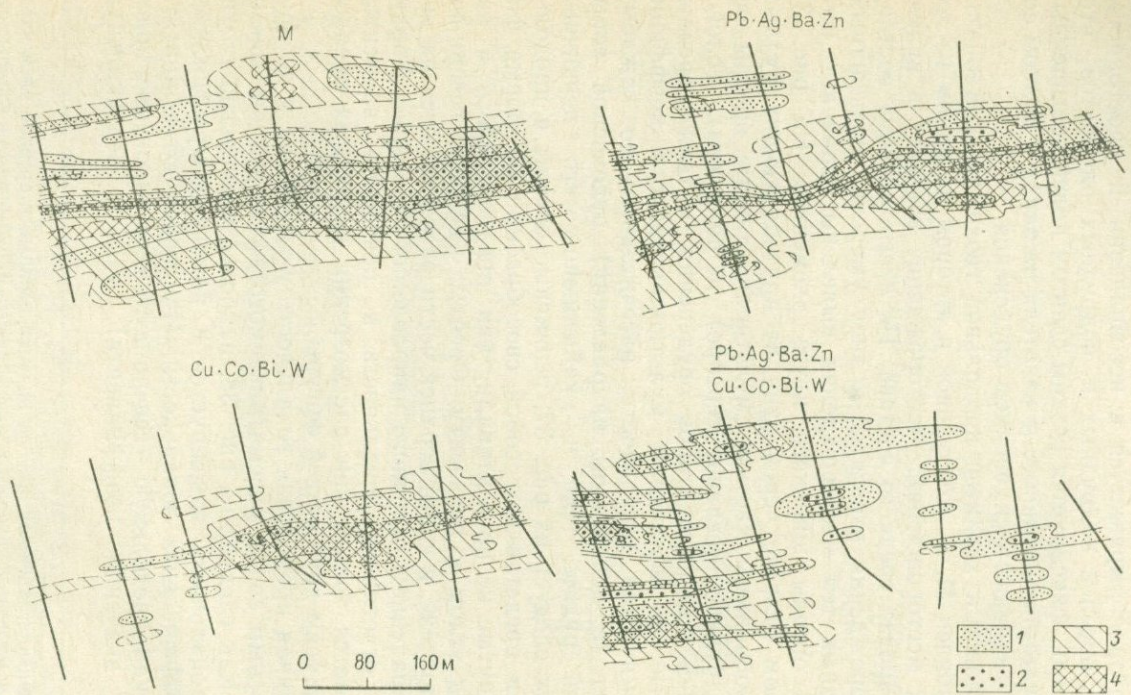


РИС. 36. Общие (М) и частные мультипликативные первичные и вторичные ореолы:
 1, 2 — первичные ореолы (2 — поля повышенных концентраций); 3, 4 — вторичные ореолы (4 — поля повышенных кон-
 центраций)

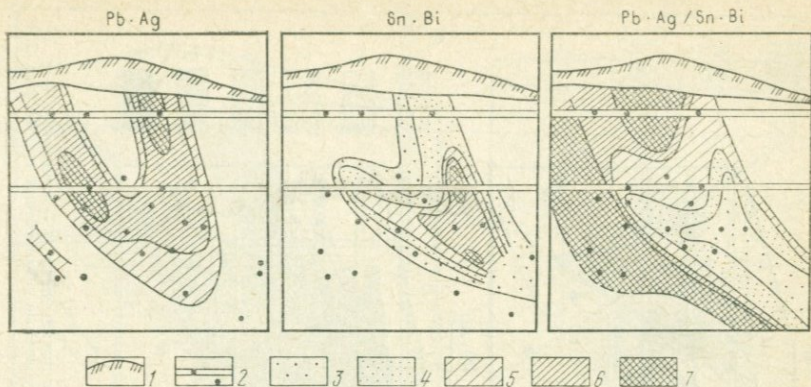


РИС. 37. Первичные ореолы в продольном разрезе рудной зоны:

1 — четвертичные отложения; 2 — точки пересечения плоскости зоны подземными выработками и буровыми скважинами; 3—7 — частные мультипликативные ореолы (по возрастанию интенсивности) и значения мультипликативного коэффициента (3 — менее 1; 4 — от 1 до 10; 5 — 10—100; 6 — от 100 до 1000; 7 — более 1000)

зональность. Последняя ярко выражена в приуроченности полей максимальных значений коэффициента зональности исключительно к верхним частям разреза.

При геохимических поисках в основном проводится геохимическое опробование поверхности, поэтому в практическом отношении наиболее важно изучение продольной зональности ореолов, выявленных в плане. Продольную геохимическую зональность первичных ореолов в плане можно показать с помощью графика изменения по простиранию рудных зон коэффициента геохимической зональности, рассчитанного по данным геохимического опробования ближайшей к поверхности штольни (рис. 39). Как видно из рис. 39, этот график имеет V-образную форму с областью минимальных значений коэффициента в интервале оруденения (максимальных концентраций золота). Характерно также, что висячий бок l_1 рудной залежи по сравнению с лежащим l_2 характеризуется более высокими значениями коэффициента зональности, а также большим размахом соответствующей ветви графика.

Приведенные выше данные показывают, что продольная геохимическая зональность первичных ореолов имеет большое практическое значение: она может быть использована для определения склонения рудных тел при оценке аномалий и рудопроявлений. Не исключено, что многие рудопроявления, показавшие промышленные содержания полезных компонентов на поверхности, не дадут положительных результатов при проверке их на глубину, так как скважины, обычно закладываемые под самую богатую часть рудного тела, могут попасть в его лежащую (по склонению) безрудную часть, т. е. проверка будет проведена без учета склонения рудных тел.

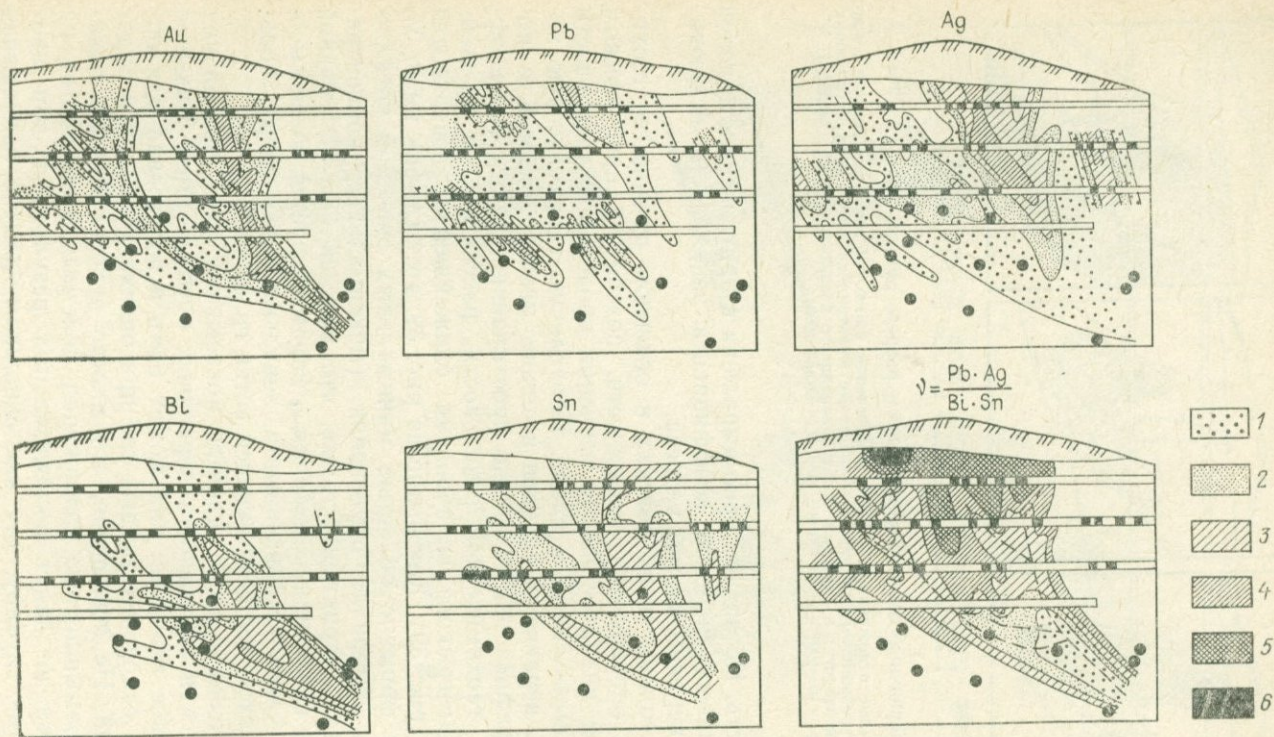


РИС. 38. Первичные ореолы в продольном разрезе рудной зоны:

1—6 — первичные ореолы (по возрастанию интенсивности) и мультипликативные коэффициенты зональности (1 — менее 1; 2 — от 1 до 10; 3 — от 10 до 100; 4 — от 100 до 1000; 5 — от 1000 до 10 000; 6 — более 10 000). Остальные условные обозначения см. на рис. 37

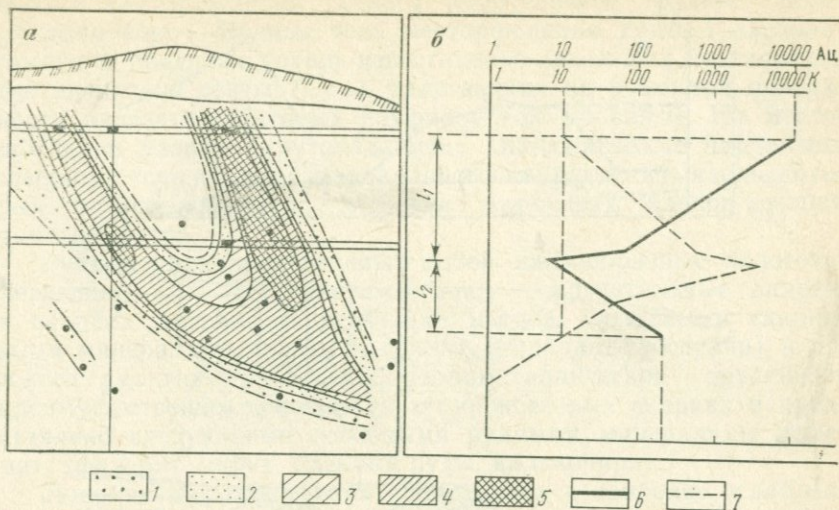


РИС. 39. Первичный ореол золота в продольном разрезе рудной зоны (а) и изменения с глубиной концентрации золота и коэффициента зональности (б): 1—5 — поля ореолов золота (по росту интенсивности); 6—7 — кривые изменения (6 — мультипликативного коэффициента зональности, 7 — концентрации золота). Остальные условные обозначения см. на рис. 37

Учитывая важность отмеченного выше аспекта практического применения продольной геохимической зональности первичных ореолов, рассмотрим пример определения наличия вероятного направления склонения крутопадающей рудной залежи по характеру продольной геохимической зональности первичных ореолов.

На одном из участков рудного поля описываемого золото-рудного месторождения были установлены промышленные концентрации золота. Для оценки перспектив этого рудопроявления на глубину проводилось геохимическое опробование коренных пород на поверхности по канавам, пройденным вкрест простирания рудоносной зоны. В северной части участка рудоносная зона перекрыта рыхлыми отложениями значительной мощности, и поэтому опробование рудовмещающих пород в этой части участка выполнено по керну короткометражных картировочных скважин. На рис. 40 приведен график изменения мультипликативного коэффициента геохимической зональности K первичных ореолов $Pb \cdot Ag / Sn \cdot Bi$ вдоль рудоносной зоны рассмотренного выше золоторудного месторождения. Исходя из отчетливой асимметрии кривой коэффициента зональности (правая ветвь выше), был сделан вывод о северном склонении оруденения (см. рис. 40, а), а по значениям коэффициента геохимической зональности в интервале оруденения (около 1000), соответствующим верхним частям рудных тел, установлен неглубокий уровень эрозионного среза.

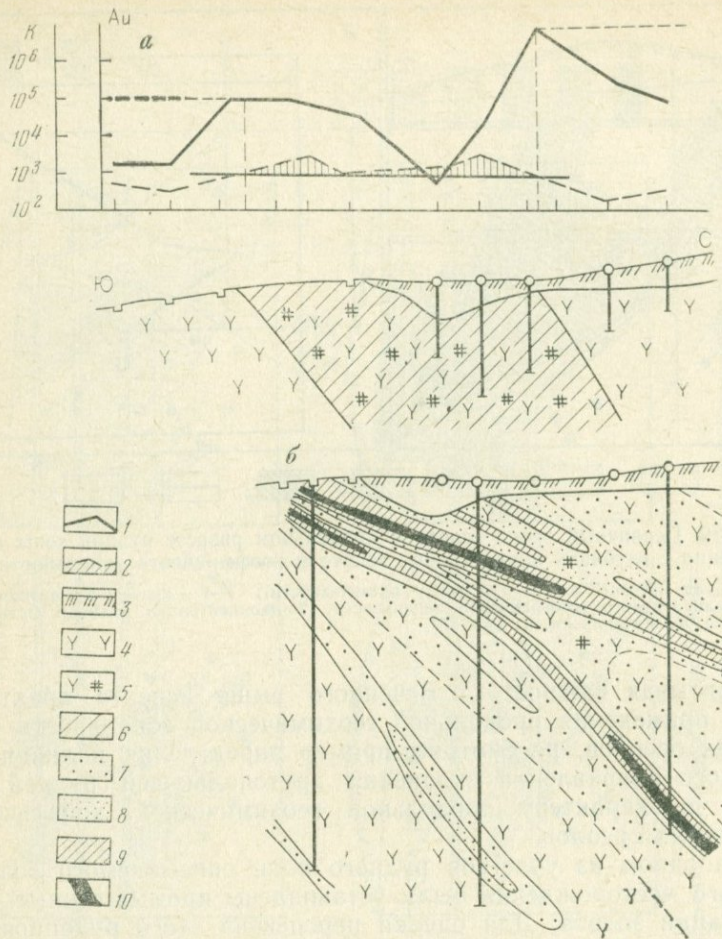


РИС. 40. Определение направления склонения оруденения по геохимическим данным:

a — прогноз; *б* — проверка. 1 — кривая мультипликативного коэффициента зональности; 2 — изменение средних содержаний золота на поверхности (в условных единицах); 3 — четвертичные отложения; 4 — андезитовые порфириты; 5 — гидротермальные изменения; 6 — предполагаемое (по геохимическим данным) склонение оруденения; 7–10 — поля различных содержаний золота (по росту концентрации)

Выполненное на участке впоследствии бурение полностью подтвердило правильность интерпретации данных геохимического опробования, т. е. перспективы на глубину были подтверждены, а склонение оруденения оказалось действительно северным (см. рис. 39).

Ореолы пологого залегания. Ореолы этого типа, как правило, развиваются согласно вокруг рудных тел пологого залегания. Типичным примером являются первичные ореолы, выявленные вокруг рудных тел скарново-полиметалли-

ческого месторождения Тутлы-I (Курусайское рудное поле, Средняя Азия). Рудные тела месторождения Тутлы-I располагаются в пределах толщи известняково-аркозовых конгломератов акчинской свиты (S_{2-3}), залегающих на размытой поверхности андезито-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 мощностью несколько метров. Основными скарновыми минералами являются гранат (андрадит-гроссуляр) и пироксен (манган-геденбергит). Полиметаллическое оруденение преимущественно развивается в пироксеновых скарнах и представлено следующими основными рудными минералами: галенит, сфалерит, пирит, блеклые руды, халькопирит.

Локализация оруденения происходила в наиболее ослабленных зонах, в местах отслоения отдельных пропластков конгломератов друг от друга. Этим объясняются согласное залегание рудных тел и закономерное увеличение их мощности вблизи тектонических нарушений.

Первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения были изучены путем геохимического опробования керн скважин по ряду разрезов. Наиболее интенсивными и значительными являются ореолы свинца, цинка, серебра, мышьяка и сурьмы (см. рис. 18). Характерной особенностью этих ореолов является то, что они, как и ореолы крутопадающих тел, резко вытянуты вдоль рудных тел, но в горизонтальной плоскости, и существенно превышают их по размерам. Горизонтальная протяженность рудных тел месторождения в среднем составляет десятки метров, тогда как протяженность ореолов, как следует из рис. 18, значительно превосходит 200 м (ореолы по этим размерам полностью не оконтурены из-за ограниченной протяженности исследованных разрезов).

Как следует из рис. 18, в строении первичных ореолов проявлена контрастная зональность, которая выражается в усилении ореолов сурьмы и мышьяка по мере удаления от рудных тел. Наиболее контрастно отмеченная зональность проявляется в строении мультипликативных ореолов (рис. 41).

Зональность первичных ореолов медно-молибденового месторождения Сарычеку выражается в отчетливом смещении относительно рудного тела ореолов серебра (см. рис. 19). Для описываемых месторождений вектор осевой зональности первичных ореолов также совпадает с направлением движения рудоносных растворов, поэтому дифференциация элементов согласуется с приведенными выше рядами осевой зональности, составленными в результате изучения первичных ореолов, развитых вокруг рудных тел крутого падения.

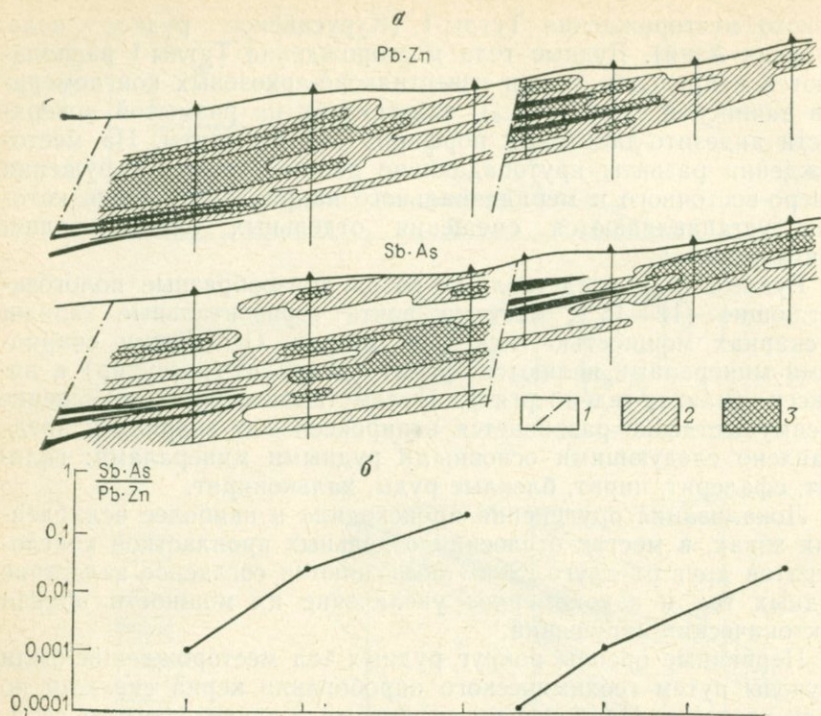


РИС. 41. Частные мультипликативные ореолы (а) и изменение мультипликативного коэффициента зональности (б):

1 — дизъюнктивные нарушения; 2, 3 — первичные ореолы (3 — поля повышенной интенсивности)

Использование первичных ореолов и зональности их строения позволит повысить эффективность буровых работ 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 те участки, на которых бурением вскрыты рудные тела или по результатам опробования керна буровых 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 скважин является обязательным, поскольку полученные данные могут оказать существенную помощь в рациональном размещении скважин, а также в оперативной корректировке направления бурения. В послед-

нем случае особенно важно использование зональности ореолов по направлению движения рудоносных растворов.

Другим примером первичных ореолов рудных тел пологого залегания является пологая рудоносная зона, расположенная в пределах описанного выше золоторудного месторождения. Для межформационных структур типа указанной зоны характерно интенсивное проявление гидротермальных процессов, большая мощность и протяженность гидротермально-измененных пород. Но, несмотря на это, в балансе распределения золотого оруденения описываемого месторождения они значительно уступают рассмотренным выше секущим структурам.

Для изучения геохимических особенностей зоны был использован керн скважин, пробуренных по нескольким профилям, ориентированным вкрест простирания рудной зоны. Обработка результатов геохимического опробования керна скважин позволила выявить первичные ореолы по элементному составу, аналогичные описанным выше ореолам вокруг крутопадающих рудных тел.

Ширина ореолов основных элементов-индикаторов достигает 20—30 м, что значительно превосходит мощность рудных тел. Внешний контур ореолов выходит в стороны лежащего и особенно висячего боков рудной зоны. Поля максимальных концентраций элементов в ореолах совпадают с контурами рудных тел.

На рис. 42 показаны первичные ореолы, выявленные по одному из разрезов через рудоносную зону. Как видно из разреза, рудоносная зона пересекается крутопадающим секущим разломом. Именно по отношению к этому разлому и проявляются определенные закономерности в распределении элементов-индикаторов. По особенностям ореолов можно выделить следующие три группы элементов-индикаторов: 1) золото, сурьма, серебро, цинк; характерны достаточно широкие (до 30 м) интенсивные ореолы, тесно коррелирующиеся с рудным телом; 2) мышьяк и свинец; несколько более узкие ореолы, имеют тенденцию к увеличению ширины и интенсивности по мере удаления в восточном направлении; ореолы этих элементов дают картину факелообразного расширения в направлении от секущего разлома; 3) медь, олово, висмут; характерно увеличение концентраций вблизи секущего разлома и уменьшение или полное выклинивание ореолов в восточном направлении.

Таким образом, даже простое сравнение морфологии первичных ореолов позволяет выявить зональность ореолов и высказать предположение, что секущий разлом, вскрытый отдельными скважинами в лежащем боку рудоносной зоны является рудоподводящим. Этот вывод подтверждается приведенными на рис. 43 графиками изменения средних содержаний элементов по скважинам. Как следует из рис. 43, наибольшая способность накапливаться в удаленных от рудоподводящего канала частях ореолов характерна для Pb и As: средние содержания этих элементов возрастают по мере удаления от рудоподводящего

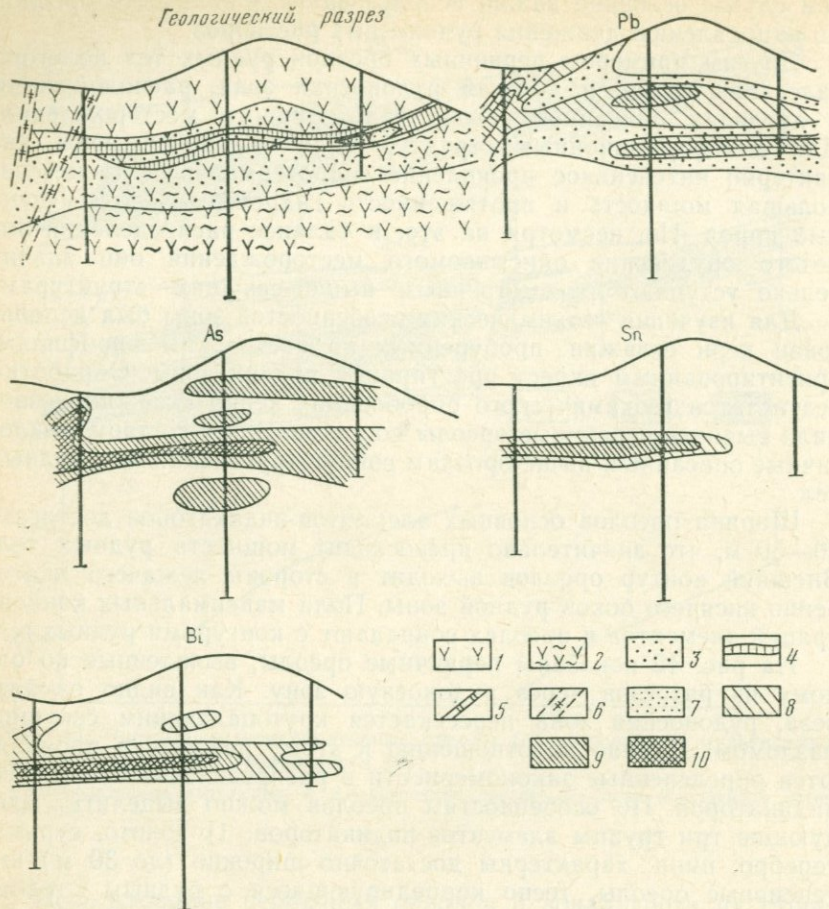


РИС. 42. Первичные ореолы вокруг рудного тела пологого залегания:
 1 — андезит-дацитовые порфиры; 2 — туфы; 3 — гидротермально-измененные породы; 4 — кварц-золоторудные тела; 5 — кальцитовые тела; 6 — зоны дробления; 7-10 — первичные ореолы (по возрастанию интенсивности)

канала (примерно с одинаковым градиентом). В противоположность этому, для Sn и Bi рост средних содержаний происходит в обратном направлении. В качестве количественной оценки описанной геохимической зональности (по простиранию рудных тел) выбран мультипликативный коэффициент следующего вида: $Pb \cdot As / Bi \cdot Sn$.

Для получения более полной информации о характере геохимической зональности первичных ореолов описываемой рудоносной зоны значения коэффициента, рассчитанные по каждой из скважин, вынесены на горизонтальную проекцию рудоносной зоны. Эти данные вскрывают проявленную в плане контрастную геохимическую зональность (рис. 44): по мере удаления от рудо-

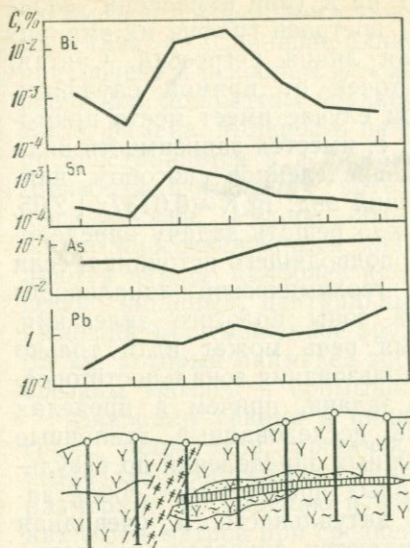


РИС. 43. Графики изменения средних содержаний элементов-индикаторов в разрезе.

Условные обозначения см. на рис. 42

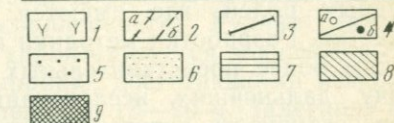
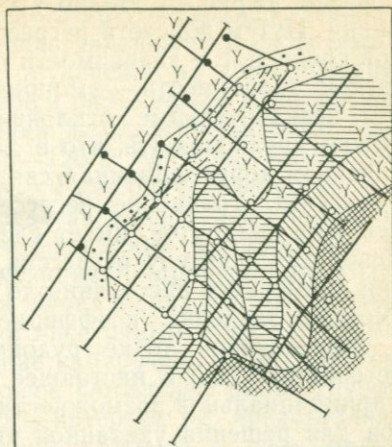
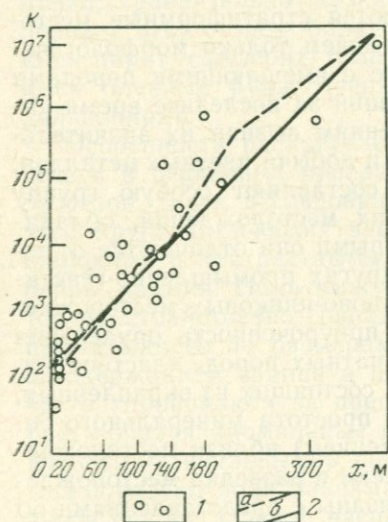


РИС. 44. Изменение мультипликативного коэффициента зональности Pb·Ag/Bi·Sn:

1 — андезито-дацитовые порфиры; 2 — зоны дробления и лимонитизации (a) и дизъюнктивные нарушения (b); 3 — линии разрезов; 4 — скважины, вскрывшие пологую (a) и крутого падения (b) рудную зону; 5—9 — значения коэффициента зональности (5 — 10—100; 6 — 100—1000; 7 — 1000—10 000; 8 — 10 000—100 000; 9 — более 100 000)

РИС. 45. График зависимости мультипликативного коэффициента зональности ($K = Pb \cdot As / Bi \cdot Sn$) от расстояния x до рудоподводящей структуры:

1 — точки наблюдений; 2 — линии регрессии эмпирическая (a) и теоретическая (b)

подводящего разлома крутого падения значение коэффициента зональности монотонно возрастает, что отчетливо фиксирует юго-восточное направление движения (от подводящего канала) рудоносных растворов. Выдержанный характер зональности

показан на рис. 45. Видно, что точки группируются около прямой линии. Путем подсчета регрессии Y на X (или изменения условной средней Y в зависимости от x) построен график их эмпирической зависимости — эмпирическая линия регрессии. Считая, что незначительные отклонения точек от прямой случайны, можно предположить, что в данном случае имеет место прямолинейная корреляционная связь, т. е. имеется зависимость вида $Y_x = ax + b$. Уравнение регрессии, определенное способом наименьших квадратов, имеет следующий вид: $\lg K = 0,0137x + 2,05$. Используя формулу регрессии, можно решать задачу определения примерного расстояния до рудоподводящего источника, если имеется значение коэффициента геохимической зональности в определенной точке рудоносной зоны пологого залегания. Естественно, что в настоящее время речь может идти только о принципиальной возможности использования зональности ореолов для решения указанной выше задачи, причем в пределах рудных полей, где имеются уже исследованные эталонные участки. Разработка методики подобных определений по результатам более представительных данных представляет собой задачу дальнейших исследований, актуальность и очевидная перспективность которых подтверждаются приведенными выше конкретными примерами проявления пространственной геохимической зональности в строении первичных ореолов рудоносных зон субгоризонтального залегания.

Другой важной группой месторождений с рудными телами субгоризонтального залегания являются стратиформные месторождения. В этот термин мы вкладываем только морфологический смысл, подразумевая согласное с вмещающими породами залегание рудных тел. Резко возросший за последнее время интерес к стратиформным месторождениям вызван их значительной ролью в общем балансе запасов и добычи цветных металлов.

Стратиформные месторождения составляют особую группу свинцово-цинковых, медных и других месторождений, обладающих множеством общих черт, которыми они отличаются от подобных минеральных образований других промышленно-генетических типов. В частности, для свинцово-цинковых месторождений отмечаются преимущественная приуроченность оруденения к пологозалегающим пластам карбонатных пород, пластообразная, линзовидная форма рудных тел, состоящих из вкрапленных, реже массивных руд, относительная простота минерального состава, отсутствие (за редким исключением) вблизи месторождений магматических пород и т. д. Поиски и разведка месторождений подобного типа весьма тесно связаны с представлениями об условиях их образования.

Ниже в качестве примера описываются особенности зонального строения первичных ореолов месторождения Шалкия, приуроченного к наиболее осложненной части северо-западного замыкания герцинской Акуюкской синклинали с областью выходов фаменских отложений хр. Каратау. Участок месторождения сло-

жен породами франского и фаменского ярусов верхнего девона и перекрывается породами турне, представленными доломитами и известняками. Свинцово-цинковое оруденение на месторождении приурочено в основном к темно-серым окремнелым карбонатизированным доломитам верхней пачки джиллаганетинского горизонта фамена. Мощность пачки 80—120 м. Частично оруденение распространяется и в нижнюю пачку верхнего жанкурганского горизонта фаменского яруса, представленного темноцветными известняками. Рудное поле месторождения раздроблено на блоки многочисленными дизъюнктивными нарушениями. Выделяются четыре наиболее крупных блока пород месторождения: северо-западный, центральный, юго-восточный и юго-западный. Основное промышленное оруденение приурочено к центральному блоку, который наименее эродирован. Остальные блоки глубоко срезаны эрозией и промышленного интереса не представляют.

Минералы свинца и цинка распространены в виде мелких гнезд, прожилков, просечек, вкрапленности. Рудная залежь имеет пластообразную форму и характеризуется значительными размерами по падению и простиранию, достигающими нескольких сотен метров при средней мощности 15—20 м. Залегание пологое и согласное с общим залеганием вмещающих пород. По своему минеральному составу месторождение Шалкия является типичным представителем месторождений миргалимсайского типа, отличаясь от последних повышенными концентрациями цинка, сравнительно низкими содержаниями свинца и почти полным отсутствием барита. Главными минералами руд являются пирит, сфалерит, галенит, в меньших количествах встречаются блеклые руды (теннантит), мельниковит, буланжерит, халькопирит.

Особенности распределения химических элементов в рудном теле и в первичных ореолах изучались по ряду геологических разрезов. Были исследованы особенности распределения широкого круга химических элементов. Установлено, что наиболее широкими и контрастными являются ореолы цинка, свинца, серебра, кадмия. Поля максимальных концентраций этих элементов пространственно совпадают с рудной залежью, значительно превосходя ее по размерам. Характерно, что аномальные поля с содержанием свинца и цинка 0,01—0,1 % и более довольно часто «проникают» за пределы рудоконтролирующей пачки пород, образуя аномальные концентрации во вмещающих, считающихся «стерильными» породах. Ореолы меди, серебра и кадмия образуют поля максимальных концентраций в пределах контуров рудной залежи, распространяясь, однако, в пределах всей рудоносной пачки и даже за ее пределами.

На рис. 46, 47 в плане изображены первичные ореолы ряда элементов месторождения Шалкия. Для оконтуривания этих ореолов были использованы результаты геохимического опробования керн буровых скважин: по каждой скважине были рассчитаны средние аномальные содержания элементов, отнесенные

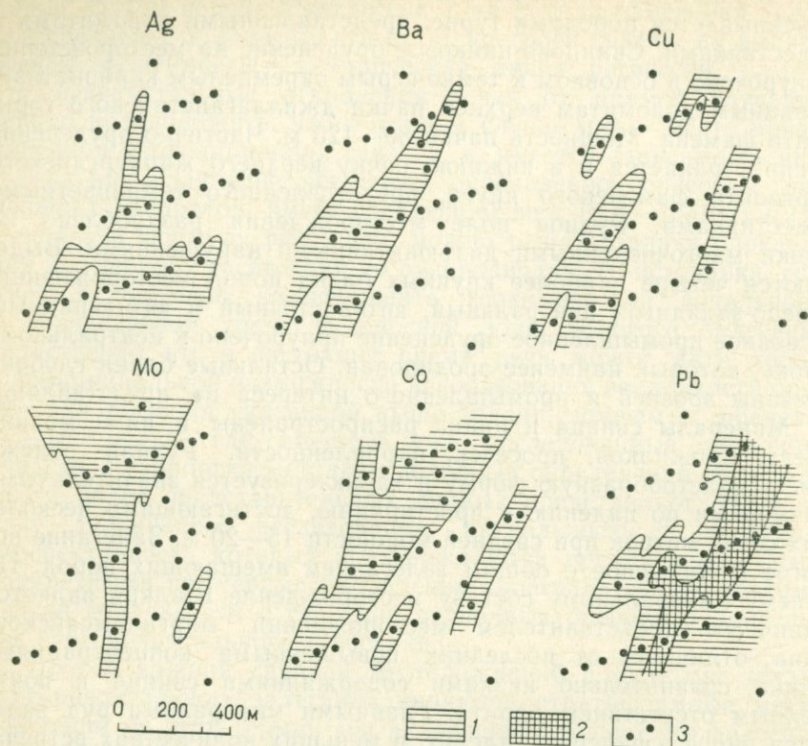


РИС. 46. Распределение содержаний элементов-индикаторов:

1—2 — поля различных содержаний элементов (2 — повышенных содержаний); 3 — скважины

к точке проекции пересечения рудной залежи и ее ореолов на горизонтальную плоскость.

Рис. 46, 47 иллюстрируют вытянутость полей ореолов элементов-индикаторов с севера на юг. В этом же направлении проявляется зональность в строении ореолов, свидетельствующая о движении рудообразующих растворов с севера на юг. Именно в этом направлении происходит смена элементов-индикаторов корневых частей ореолов (молибден, кобальт) элементами, более характерными для головных частей ореолов (медь, барий). Отметим, что, как и на стратиформном месторождении Сумсар, в рудах месторождения Шалкия основной минеральной формой меди является блеклая руда, поэтому этот элемент является индикатором головных («надрудных» в случае крутопадающего оруденения) частей ореолов.

В качестве другого характерного примера первичных ореолов рудных тел пологого залегания рассмотрим медно-молибденное оруденение месторождения Коунрад (Центральный Казахстан). На рис. 48 изображены первичные ореолы южной апофизы главного рудного тела месторождения. Апофиза сложена сульфид-

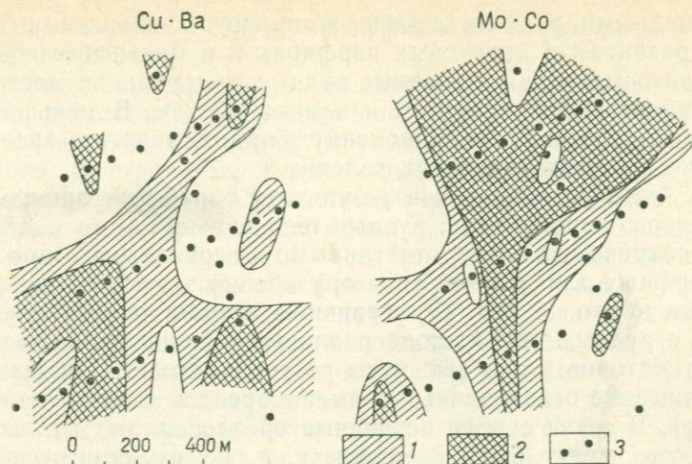


РИС. 47. Частные мультипликативные аномалии месторождения Шалкия:
 1—2 — мультипликативные аномалии (2 — поля повышенных содержаний); 3 — скважины

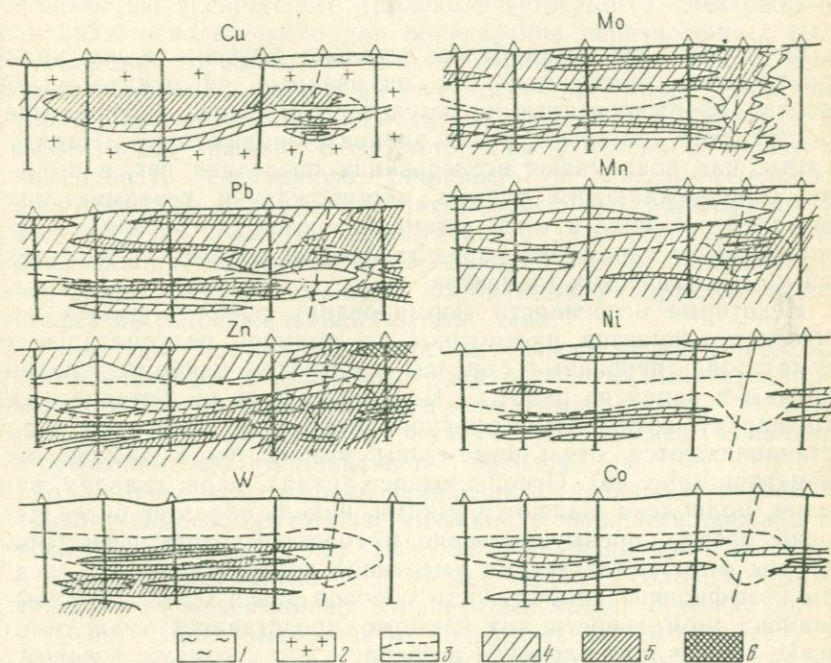


РИС. 48. Первичные ореолы вокруг рудных тел пологого залегания (южный фланг месторождения Коунрад):

1 — наносы; 2 — дацитовые порфиры; 3 — контуры рудных тел; 4—6 — первичные ореолы (по возрастанию интенсивности)

ными медными рудами, локализованными в кварцевом штокверке, развитом в дацитовых порфирах и в меньшей степени — в фельзитовых лавах. Основные рудные минералы на месторождении представлены пиритом и халькопиритом. В меньших количествах встречаются молибденит, борнит, энаргит, арсенопирит, блеклые руды, сфалерит, галенит.

Как было установлено в результате обработки данных геохимического опробования, рудные тела описываемого месторождения сопровождаются отчетливыми первичными ореолами типоморфных для данного типа оруденения элементов-индикаторов. Как видно на рис. 48, первичные ореолы развиваются согласно с рудным телом: поля различных концентраций элементов-индикаторов резко вытянуты по горизонтали. Обращают на себя внимание ограниченные размеры ореолов по вертикали (по ширине). В связи с этим первичные ореолы слепых рудных тел сами тоже могут быть слепыми, т. е. не имеющими выхода на эрозионную поверхность. Из приведенных на рис. 48 ореолов только ореолы свинца и цинка уверенно достигают поверхности.

ОРЕОЛЫ ВЫНОСА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

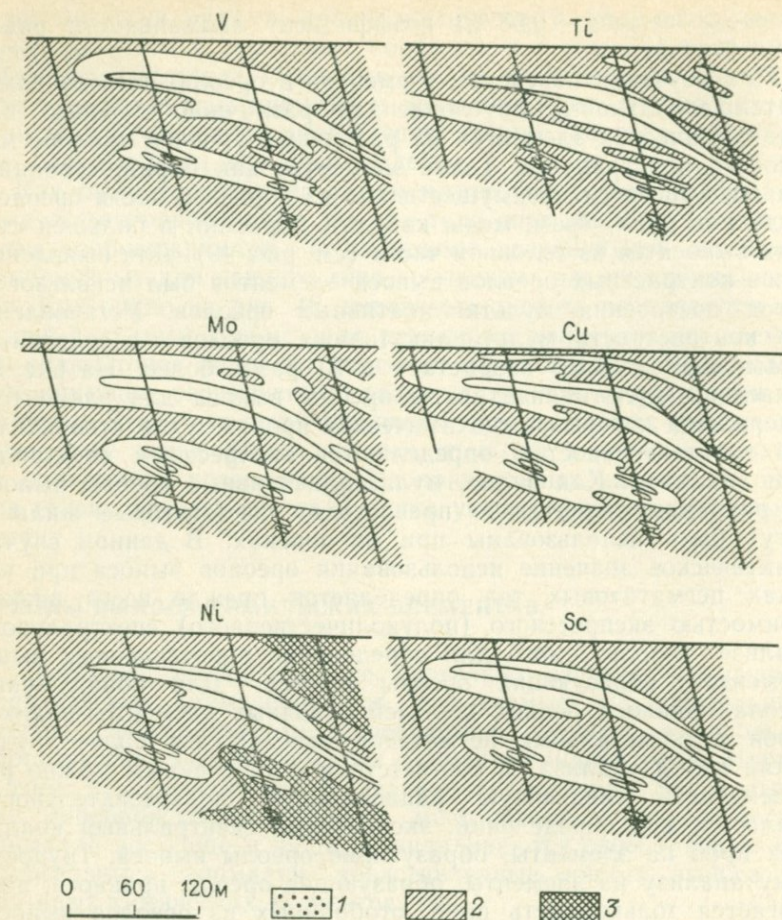
В настоящее время наиболее детально изучены и получили практическое применение так называемые «положительные» ореолы, сформированные в результате привноса в ореольное пространство соответствующих элементов-индикаторов. Наряду с этим, как показывают исследования последних лет, в строении сопровождающих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

Некоторые особенности формирования ореолов выноса химических элементов рассмотрим на примере редкометалльных пегматитов, первичные ореолы которых наиболее полно описаны в одной из работ С. В. Григоряна и др. Установлено, что наряду с ореолами привноса вокруг пегматитовых жил устанавливаются отчетливые зоны выноса ряда химических элементов (рис. 49). Ореолы выноса титана, меди, скандия, ванадия, молибдена являются узкими, никель образует более широкий ореол — преимущественно в головной части пегматита. Ореолы отличаются весьма умеренной контрастностью; в среднем коэффициент аномальности ореолов равен 0,5—0,25. Коэффициент аномальности, как известно, представляет собой отношение содержания элемента в ореоле к его среднему фоновому содержанию. Для аномалий привноса коэффициент аномальности всегда будет больше 1, а в аномалиях выноса — меньше 1. Так, фоновое содержание титана во вмещающих пегматиты гранодиоритах в среднем равно 0,3 %; среднее содержание

в ореоле выноса — 0,08 %; коэффициент аномальности равен $0,08/0,3=0,27$.

При изучении поведения элементов в ореолах выноса намечается зональность, обусловленная различной степенью выноса химических элементов из различных уровней околопегматитового пространства. Такие элементы, как барий, стронций, свинец, выносятся преимущественно из корневой части ореолов, тогда как цинк, хром, медь, кобальт, цирконий в большей степени выносятся из головной части (см. рис. 49). Для выявления более контрастных ореолов выноса элементов был использован метод построения мультипликативных ореолов. Установлено, что контрастность мультипликативных ореолов по сравнению с моноэлементными возрастает в 10 раз и более. На рис. 50 приведены мультипликативные ореолы выноса для элементов, содержания которых в геохимических пробах с удовлетворительной чувствительностью определяются экспрессным спектральным анализом. Как видно, мультипликативные ореолы выноса по размерам значительно превосходят пегматитовые жилы и могут быть использованы при их поисках. В данном случае практическое значение использования ореолов выноса при поисках пегматитовых тел определяется прежде всего низкой стоимостью экспрессного (полуколичественного) спектрального анализа, используемого для определения перечисленных выше элементов, образующих ореолы выноса. Для обнаружения ореола привноса редких щелочей основных элементов-индикаторов редкометалльных пегматитов используется более трудоемкий метод анализа. В соответствии с отмеченным можно рекомендовать следующую рациональную последовательность аналитических определений: экспрессный спектральный анализ всех проб на элементы, образующие ореолы выноса. Трудоемкому анализу на элементы, образующие ореолы привноса, подвергается только часть проб, отобранных из ореолов выноса, постоянно сопровождающих рудные тела.

Как уже упоминалось, в ореолах выноса пегматитовых жил устанавливается зональность: одни элементы выносятся преимущественно из корневой части пегматитов; другие — из головной. Эта закономерность четче и контрастнее выявляется в строении мультипликативных ореолов (см. рис. 50). На рис. 51 приведены графики изменения с глубиной мультипликативного коэффициента геохимической зональности ореолов выноса $Ba \cdot Sr \cdot Pb / Zn \cdot Zr \cdot Cr$ (Ba, Sr, Pb — надрудные элементы, в основном выносимые из глубоких частей ореолов, поэтому их содержания максимальны в надрудных частях ореолов, Zn, Zr, Cr — интенсивно выносятся из подрудных частей ореолов). Эти графики построены для редкометалльных пегматитов Украины и двух пегматитовых полей Сибири. Для сравнения на них же приведены кривые изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности в строении ореолов привноса редких щелочей ($Li^2/Rb \cdot Cs$).



Как следует из рис. 51, отношение произведений средних содержаний групп надрудных и подрудных элементов с глубиной закономерно уменьшается по всем изученным разрезам. Исключение составляют графики, построенные по разрезу П-70, для которых наблюдается резкий перегиб, который был интерпретирован как признак наличия новых пегматитовых жил в вышем боку известного тела. Позднее этот вывод был подтвержден буровыми работами.

Анализ графиков мультипликативного коэффициента зональности ореолов выноса (см. рис. 51) показывает, что зональность в строении ореолов выноса является единой только качественно, т.е. для сравниваемых пегматитовых тел установлен постоянный набор надрудных и подрудных элементов. Об этом свидетельствует нисходящий характер всех графиков. Разброс кривых свидетельствует об отсутствии в строении ореолов выноса

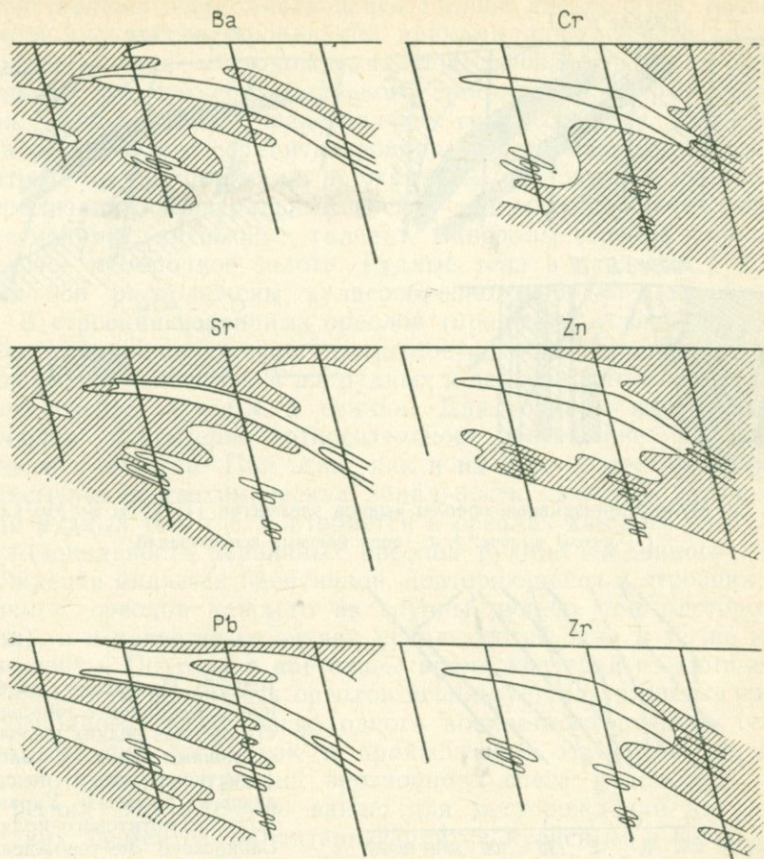


РИС. 49. Отрицательные ореолы группы химических элементов по разрезу I—70, Украинское пегматитовое поле.

Содержание (в %): 1 — 0,01 V; 0,0001 Mo, Sc; 0,001 Ni, Cu; 0,1 Ti; 2 — 0,01 V, 0,01 Mo, Sc; 0,001—0,01 Ni; 0,01 Ti; 0,001 Cu; 0,05 Ba; 0,01 Sr; 0,001 Pb, Cr; 0,005 Zn; 0,003 Zr; 3 — 0,01 Ni

зональности, единой количественно, когда адекватные уровни ореолов различных месторождений характеризуются близкими (практически едиными) значениями коэффициента (обычно мультипликативного) зональности. Примеры проявления подобной зональности в ореолах привноса элементов подробно рассмотрены выше на примере ряда гидротермальных месторождений (см. рис. 25). В данном случае отсутствие в строении ореолов выноса количественно единой зональности, по-видимому, следует объяснить специфическим механизмом формирования ореолов выноса: под воздействием рудообразующих флюидов фоновые количества химических элементов частично выносятся из определенных участков околорудного пространства. Интенсивность этого выноса в значительной степени будет

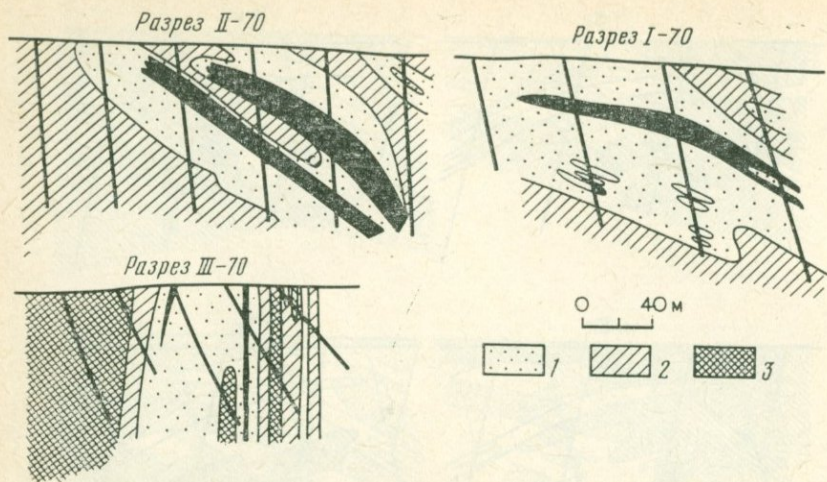


РИС. 50. Мультипликативные ореолы выноса элементов (Ti·V·Ni·Sc·Mo·Cu):
1 — ореолы выноса; 2, 3 — поля фоновых концентраций

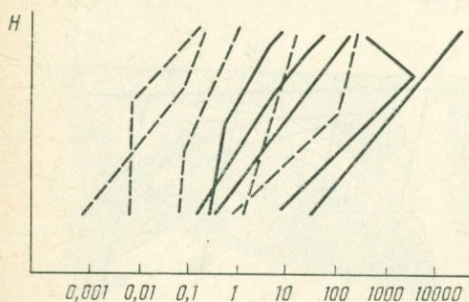


РИС. 51. Изменения с глубиной коэффициента зональности ореолов редких щелочей (сплошные линии) и выноса (пунктирные линии) по различным разрезам Украинского пегматитового поля и Сибирского месторождения

определяться типом рудовмещающих пород и прежде всего уровнем концентраций (фоновых) химических элементов, а также формами их нахождения. Естественно, что вариации состава рудовмещающих пород приводят к существенному «разбросу» значений коэффициента геохимической зональности ореолов выноса, и это в свою очередь обуславливает несоответствие приведенных на рис. 51 кривых, отражающих характер изменения с глубиной коэффициентов геохимической зональности ореолов выноса химических элементов.

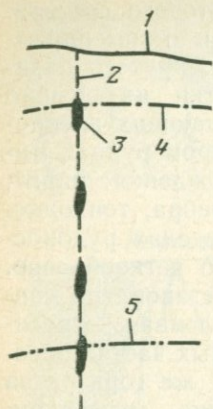
Выше в качестве примера были рассмотрены ореолы выноса ряда химических элементов из околопегматитового пространства. Подобные ореолы характерны и для гидротермальных сульфидсодержащих месторождений. Г. Я. Абрамсоном и автором на одном из золоторудных месторождений золото-кварцевой формации пирит-арсенопиритового типа установлено отчетливое обеднение некоторыми химическими элементами рудоносных зон. Рудовмещающие породы на описываемом месторождении

представлены переслаивающейся толщей алевролитов, песчаников и аргиллитов, прорванной дайками липаритового состава. Оруденение на месторождении локализовано в серии параллельных зон субмеридионального простирания и крутого падения. Рудные тела представляют собой участки интенсивно окварцованных и серицитизированных 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 кулисообразно, нередко четкообразно.

В строении первичных ореолов (привноса) установлена контрастная геохимическая зональность, обусловленная относительным накоплением в надрудных и верхнерудных частях ореолов серебра, сурьмы и свинца. Для нижних же горизонтов ореолов характерно относительное обогащение мышьяком, медью и золотом. При этом, как и на других месторождениях, описываемая геохимическая зональность является автономной 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), и в качестве ее оценки используются одни и те же коэффициенты. Поэтому в настоящее время критерий геохимической зональности первичных ореолов используется 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 кулисным и четкообразным расположением рудных тел в пределах общего рудоносного интервала.

Как следует из рис. 52, для наиболее удаленных друг от друга уровней эрозионного среза рудной зоны оценка перспектив рудоносности участка на глубину на основе зональности первичных ореолов будет одинаковой: и в том, и в другом случае будет установлен верхнерудный срез (слабоэродированное рудное тело), хотя в первом случае эрозионный срез затрагивает только верхнюю часть рудоносной зоны (месторождения), а во втором — вскрыты корневые части. 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

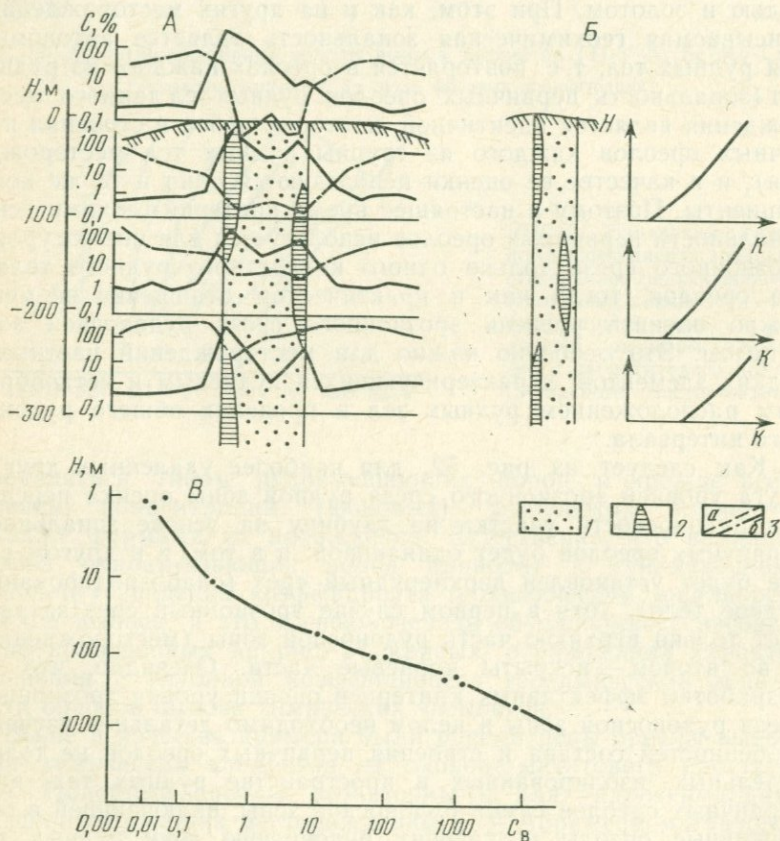
РИС. 52. Схематический разрез рудоносной зоны:



1 — линия поверхности во время локализации оруденения; 2 — рудовмещающая структура; 3 — рудное тело; 4—5 — эрозионные поверхности, вскрывшие верхнюю (4) и нижнюю (5) части рудоносной зоны

РИС. 53. Графики распределения элементов вокруг рудоносной зоны (А), изменение с глубиной H мультипликативного коэффициента зональности K первичных ореолов Pb·Ag·Sb/Cu²·As (Б) и произведений содержаний Co, Ni и Mn (В):

1 — рудоносная зона; 2 — рудные тела; 3 — распределение мышьяка (а) и произведений содержаний Co, Ni и Mn (б)



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 этих зон.

Исследованиями, выполненными на описываемом золоторудном месторождении, установлено, что в строении ореолов выноса (например, для таких элементов, как Co, Ni, Mn) в отличие от ореолов привноса можно выявить геохимическую зональность первичных ореолов рудоносной зоны, которая индифферентна к каждой рудной кулисе и специфична для всей рудоносной зоны. Наиболее рельефно обеднение рудоносной зоны этими элементами проявляется в строении мультипликативных ореолов выноса. На рис. 53 показаны изменения (вкрест простирания рудоносной зоны) произведения содержаний этих элементов на различных уровнях рудоносной зоны и содержания мышьяка — характерного элемента, образующего ореол привноса. Как видно из рис. 53, распределение мышьяка и элементов, образующих ореолы выноса, существенно различно, и, кроме того, тенденция выноса элементов из рудоносной зоны с глубиной явно ослабевает. При этом с глубиной намечается контрастное и монотонное возрастание произведения содержаний элементов выноса, причем кривая «не реагирует» на смену с глубиной одного рудного тела другим в отличие от кривых мультипликативного 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 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 используются мультипликативный 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 выдержана для простых случаев, когда рудоносная зона представлена единой рудной залежью. В табл. 13 приведены некоторые геохимические параметры рудоносных зон золоторудного месторождения, содержащих рудные тела различных масштабов. Данные табл. 13 характеризуют параметры первичных ореолов, развитых вокруг различных по масштабу рудных тел.

Параметры первичных ореолов золоторудного оруденения

Рудоносная зона	Уровень ореолов	As · Ag · Pb	Co · Ni · Mn	As · Ag · Pb
				Co · Ni · Mn
Богатая	Надрудный	$4 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$
	Среднерудный	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-12}$	$9 \cdot 10^{-5}$
Бедная	Надрудный	$5 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	13,8
	Среднерудный	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-10}$	355,5

В табл. 13 не приведены данные по нижнерудным и подрудным уровням первичных ореолов, так как подобные аномалии по причине глубокого эрозийного среза заведомо относятся в разряд бесперспективных и уже не нуждаются в оценке масштаба оруденения. Как видно из табл. 13, по значениям мультипликативного коэффициента, представляющего собой отношение произведений средних содержаний элементов приноса (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 сложной является проблема определения масштаба предполагаемого на глубине слепого оруденения (по выявленному 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. Естественно, пока только можно говорить о принципиальной возможности использования рассмотренного выше принципа при решении такой сложной задачи, какой является оценка масштаба слепого оруденения по параметрам его надрудных ореолов. Это позволяет ставить вопрос об усилении исследований в этом направлении с целью разработки надежных критериев количественной оценки литохимических аномалий на основе использования закономерной связи между масштабом оруденения и параметрами связанных с ним околорудных ореолов, в том числе ореолов выноса.

Выше рассмотрены ореолы выноса, т. е. те случаи, когда отчетливо фиксируются и оконтуриваются участки рудовмещающих пород, где содержания тех или иных элементов ниже фоновых. Очевидно, что ореолы выноса фиксируются в результате перераспределения элементов, происходящего в процессе рудообразования. В ряде случаев детальное объемное изучение околорудных ореолов позволяет установить не только участки вы-

носа фоновых количеств тех или иных элементов, но и выявить их отчетливое переотложение, т.е. зоны, в пределах которых происходило накопление элементов, вынесенных из других участков. Примером перераспределения ряда элементов служит установленный на стратиформном свинцово-цинковом месторождении Сумсар факт перераспределения цинка и некоторых других элементов в процессе локализации оруденения. Этот вопрос более подробно будет рассмотрен в гл. VII.

Обобщение результатов изучения первичных ореолов многих месторождений позволило установить, что наиболее часто ореолы выноса устанавливаются для такого распространенного элемента-индикатора рудных месторождений, каким является барий. В тех случаях, когда можно проследить поведение бария на значительном удалении от рудных тел по их восстанию, обычно удается выявить в ореолах не только вынос, но и отчетливое перераспределение этого элемента (см. рис. 33). В нижних частях разреза установлен отчетливый вынос бария (содержания ниже фоновых), а в наиболее удаленных надрудных частях — интенсивное накопление, приведшее к образованию контрастной надрудной «шапки» бария над слепым оруденением (см. рис. 31).

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

ЗОНЫ РАССЕЯННОЙ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Известно, что в каждом рудном районе встречаются многочисленные рудопроявления и геохимические аномалии, представленные так называемыми зонами рассеянной рудной минерализации (ЗРМ). Последние представляют собой участки, в пределах которых в результате воздействия рудообразующих флюидов на вмещающие породы были образованы зоны повышенных по сравнению с фоном концентраций элементов-индикаторов данного типа оруденения, не содержащих концентрированного оруденения, по масштабам 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.

Условность выделения ЗРМ определяется прежде всего характером самого понятия «промышленное оруденение». Речь по существу идет о широко распространенных в пределах различных рудных полей зонах минерализации слабой интенсивности, развитых по системе рудоподводящих нарушений вследствие

циркуляции по ним рудообразующих растворов, которые формируют рудные концентрации только в определенных наиболее благоприятных для рудоотложения структурах. Следует отметить двойственное положение зон рассеянной рудной минерализации. По отношению к первичным ореолам отдельных рудных тел эти зоны представляют собой самостоятельные образования, тогда как совокупность их и первичных ореолов рудных тел формирует первичный ореол самого месторождения — аномальное геохимическое поле, окаймляющее месторождение. Если при детальном поиске рудных тел ЗРМ осложняют обнаружение и идентификацию первичных ореолов рудных тел, то при мелкомасштабных поисках они служат поисковыми признаками, поскольку представляют собой составную часть ореолов месторождений. ЗРМ особенно «опасны» при геохимических поисках слепого оруденения, так как важнейшие геохимические индикаторы слепого оруденения — надрудные первичные ореолы по элементному составу, уровню концентрации элементов-индикаторов (обычно субкларковые содержания) и ряду других особенностей практически не отличаются от ЗРМ.

В настоящее время мы не располагаем апробированными для всех типов рудных месторождений геохимическими критериями разведки ЗРМ. Рассматриваемые ниже критерии установлены в результате начатого недавно изучения ЗРМ только некоторых рудных формаций и в последующем могут быть уточнены и дополнены. Сравнительное изучение геохимических особенностей ЗРМ и первичных ореолов промышленного оруденения некоторых типов месторождений позволило установить следующие их геохимические различия, которые могут быть использованы в качестве критериев разведки геохимических аномалий и рудопроявлений, представленных ЗРМ.

1. Аномалии, представленные ЗРМ, отличаются от надрудных ореолов концентрированного оруденения постоянным и более широким кругом элементов-индикаторов. Установлено, что в любом срезе ЗРМ присутствуют аномалии всех характерных для данного типа оруденения элементов-индикаторов — как надрудных, так и подрудных. В отличие от этого в надрудных частях околорудного пространства концентрированного оруденения аномалии типичных подрудных элементов обычно отсутствуют (рис. 54, 55, 56).

Как установлено детальным изучением поверхности, а также бурением ряда скважин, рудопроявление Кызылташ не содержит промышленного оруденения и представляет собой типичную ЗРМ, в пределах которой на исследованных срезах установлены отчетливые аномалии всех элементов-индикаторов полиметаллического оруденения. В надрудных ореолах концентрированного оруденения (см. рис. 54) аномалии висмута, кобальта, молибдена и вольфрама (индикаторы подрудных ореолов) полностью отсутствуют.

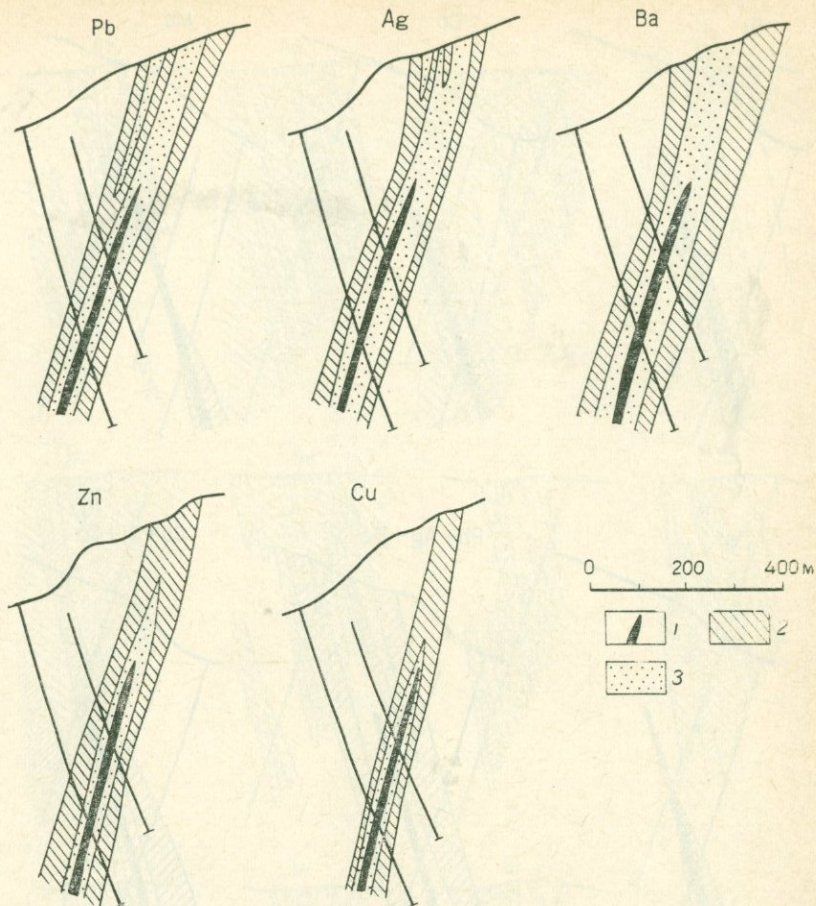


РИС. 54. Первичные ореолы вокруг слепого рудного тела (месторождение Ямансай, Таджикская ССР):

1 — рудное тело; 2—3 — первичные ореолы (3 — поля повышенных содержаний)

Иногда отмечается сокращение числа элементов-индикаторов в ЗРМ, и это нередко дает основание рекомендовать своеобразный «усеченный» (по сравнению с первичными ореолами концентрированного оруденения) элементный состав в качестве одного из геохимических критериев идентификации геохимических аномалий, представленных ЗРМ. Следует, однако, иметь в виду, что это сокращение числа элементов-индикаторов кажущееся: вследствие общего снижения концентрации элементов-индикаторов в ЗРМ ряд элементов, чувствительность анализа на которые недостаточна, в аномалиях ЗРМ не фиксируются. Однако эти элементы, несмотря на недостаточную чувствительность, в ореолах рудных тел фиксируются на участках избирательного накопления в соответствии с геохимической

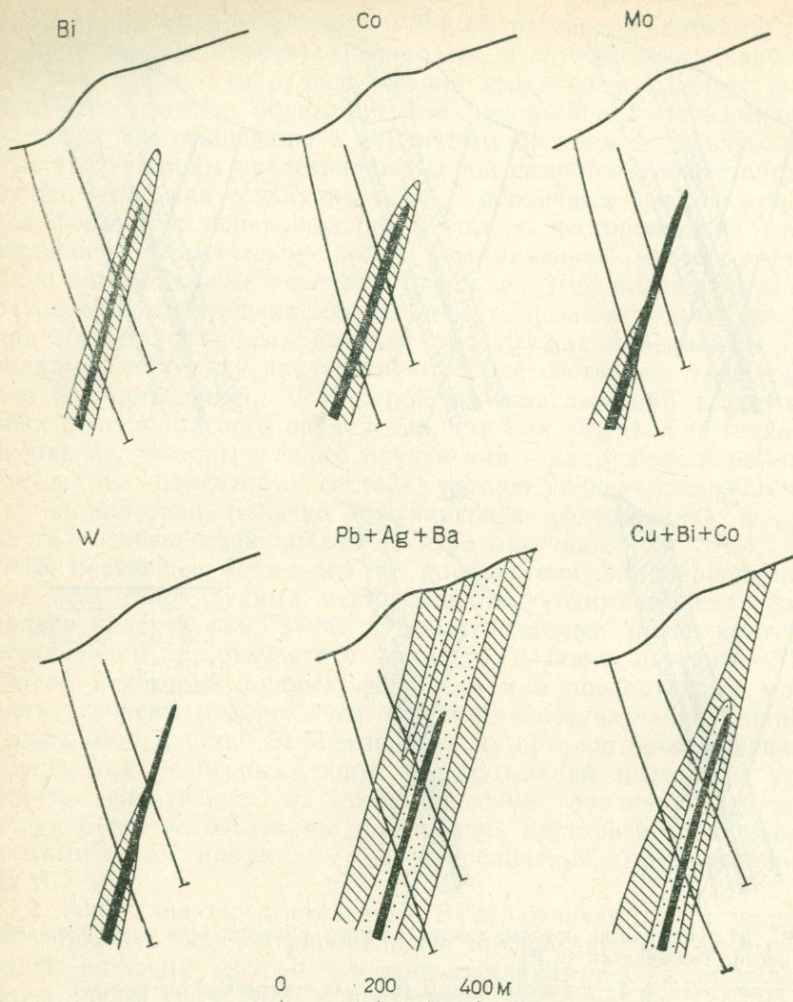


РИС. 55. Моноэлементные и аддитивные ореолы вокруг слепого рудного тела.
Условные обозначения см. на рис. 54

зональностью. Это обстоятельство должно быть учтено при интерпретации результатов геохимического опробования.

2. В строении ЗРМ отсутствует контрастная осевая зональность. Как видно из рис. 56, по разрезу не выявлена сколько-нибудь заметная дифференциация в распределении надрудных и подрудных элементов. Отличие ЗРМ от ореолов промышленного оруденения по характеру геохимической зональности подтверждается данными соответствующих расчетов (табл. 14). Как следует из табл. 14, изменение аддитивного коэффициента зональности на глубине более 150 м по существу не выходит за пределы точности расчетов.

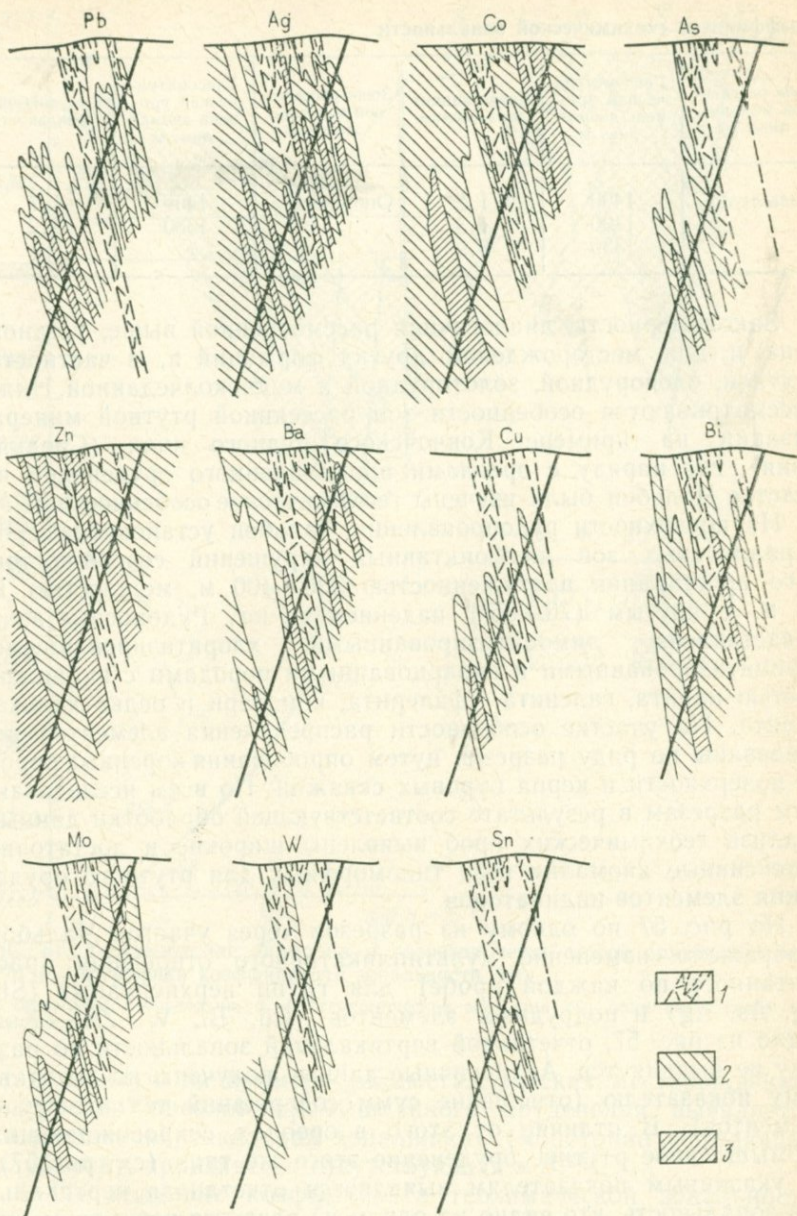


РИС. 56. Геохимические аномалии рудопроявления Кызылташ в разрезе (Центральный Кармазар):

1 — зоны дробления; 2, 3 — геохимические аномалии (3 — поля повышенных содержаний)

Коэффициент геохимической зональности

Зоны рассеянной минерализации	Гипсометрический уровень аномалии, м	Коэффициент зональности	Зоны рассеянной минерализации	Гипсометрический уровень аномалии, м	Коэффициент зональности
Кызылташ	1490	1,2	Оперяющее	1450	1,7 2,2
	1400	1,3			
	1330	0,9			

Закономерность, аналогичная рассмотренной выше, установлена и для месторождений других формаций и, в частности, ртутной, оловорудной, золоторудной и медноколчеданной. Ниже рассматриваются особенности зон рассеянной ртутной минерализации на примере Кончочского рудного поля (Средняя Азия), где наряду с ореолами промышленного оруденения на участке Чальбой были изучены геохимические особенности ЗРМ.

На поверхности рудопроявления Чальбой установлена серия параллельных зон дизъюнктивных нарушений северо-восточного простирания протяженностью 300—400 м, мощностью до 10 м, с крутым (70—85°) падением на юг. Рудоносные зоны представлены лимонитизированными, хлоритизированными, серицитизированными и окварцованными породами с вкрапленностью пирита, галенита, сфалерита, киновари и редко халькопирита. На участке особенности распределения элементов исследованы по ряду разрезов путем опробования коренных пород на поверхности и керна буровых скважин. По всем исследованным разрезам в результате соответствующей обработки данных анализа геохимических проб выявлены широкие и достаточно интенсивные аномалии всех типоморфных для ртутного оруденения элементов-индикаторов.

На рис. 57 по одному из разрезов через участок Чальбой изображено изменение мультипликативного отношения (рассчитанного по каждой пробе) для групп верхнерудных (Sb, Hg, As, Ag) и подрудных элементов (Cu, Bi, W, Zn). Как видно из рис. 57, отчетливой вертикальной зональности по разрезу не выявляется. Аналогичные данные получены по аддитивному показателю (отношение сумм содержаний тех же групп элементов). В отличие от этого в ореолах, сопровождающих промышленное ртутное оруденение этого же типа (см. рис. 57), по указанным показателям выявляется отчетливая вертикальная зональность, что видно на одном из разрезов через промышленные рудные тела месторождения Кончоч.

Графики изменения с глубиной отношения линейных продуктивностей частичных мультипликативных ореолов промышленного оруденения (по разрезу месторождения Кончоч) и ЗРМ (участок Чальбой) наглядно иллюстрируют закономерность,

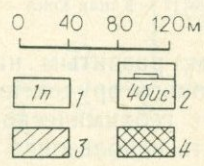
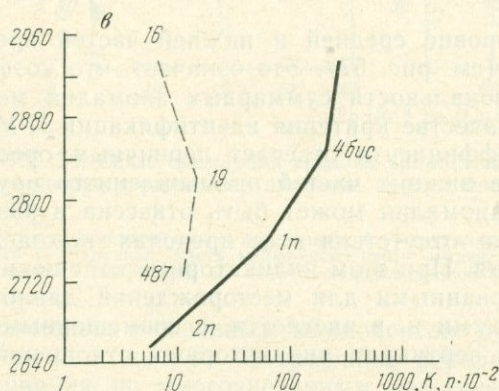
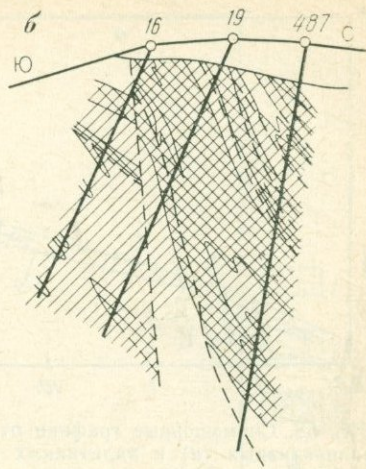
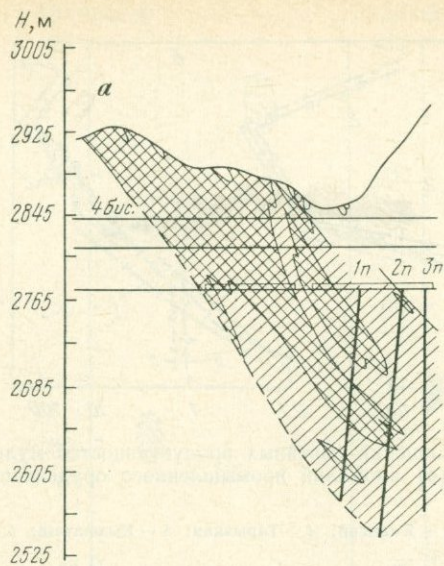


РИС. 57. Геохимические аномалии в разрезах через слепое оруденение (а), ЗРМ (б) и графики коэффициента зональности (в):

1 — скважины; 2 — штольни; 3, 4 — геохимические аномалии (4 — поля повышенной интенсивности)

установленную на примере полиметаллических месторождений: в строении ореолов промышленного оруденения выявляется контрастная вертикальная зональность (монотонно убывающая с глубиной), практически отсутствующая в ЗРМ.

3. По величине коэффициента геохимической зональности (отношение параметров частных суммарных ореолов) любые ЗРМ соответствуют ореолам, развитым на уровне нижних частей промышленного оруденения. Вследствие отсутствия отчетливой зональности вариации значений коэффициента геохимической зональности в пределах ЗРМ укладываются в сравнительно узкий интервал значений, который соответствует первичным

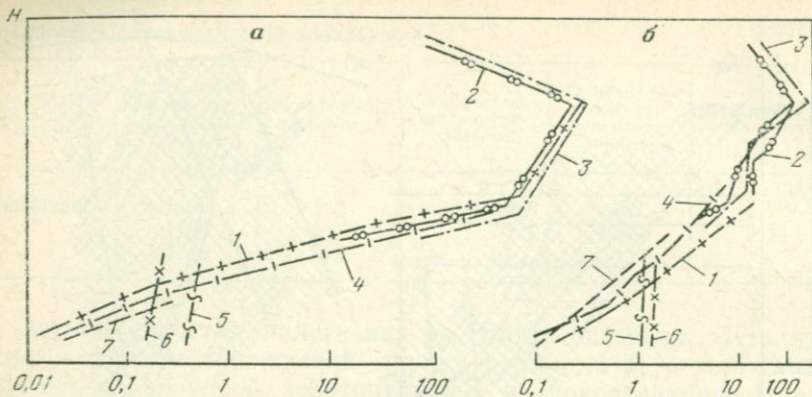


РИС. 58. Совмещенные графики отношений линейных продуктивностей мультипликативных (а) и аддитивных (б) аномалий промышленного оруденения и зон рассеянной минерализации:

1 — Канмансур; 2 — Северо-Западное; 3 — Ямансай; 4 — Тарыэкан; 5 — Кызылташ; 6 — Оперяющее; 7 — Капар-Хона

ореолам, развитым на уровне средней и нижней частей промышленного оруденения (см. рис. 57). Это означает, что коэффициент геохимической зональности суммарных аномалий может быть использован в качестве критерия идентификации ЗРМ. Если значение этого коэффициента отвечает первичным ореолам, развитым на уровне нижних частей промышленного оруденения, то выявленная аномалия может быть отнесена в ряд ЗРМ только в случае отсутствия в ее пределах выходов промышленного оруденения. При этом индикаторные отношения сравниваются с табулированными для месторождений данной рудной формации значениями и, в частности, с совмещенными графиками изменений по вертикали индикаторных отношений, рассмотренными выше.

4. От первичных ореолов, развитых на уровне промышленного оруденения, ЗРМ отличаются также существенно меньшими значениями средних аномальных содержаний (суммарных) основных элементов-индикаторов данного типа оруденения (рис. 58). По оси ординат отложены суммарные средние аномальные содержания основных элементов-индикаторов полиметаллического оруденения (Pb и Ag для свинцово-серебряного оруденения, Cu и Bi — медно-висмутового), а по оси абсцисс — отношения линейных продуктивностей частных аддитивных ореолов надрудных (Ba, Pb, Ag) и подрудных (Cu, Bi, Co) элементов-индикаторов полиметаллических месторождений Центрального Карамазара. На рис. 59 показана резкая дифференциация перспективных на слепое оруденение надрудных ореолов от ЗРМ прежде всего по величине коэффициента геохимической зональности. В отличие от этого ореолы, развитые на уровне оруденения, отличаются от ЗРМ по суммарному содержанию

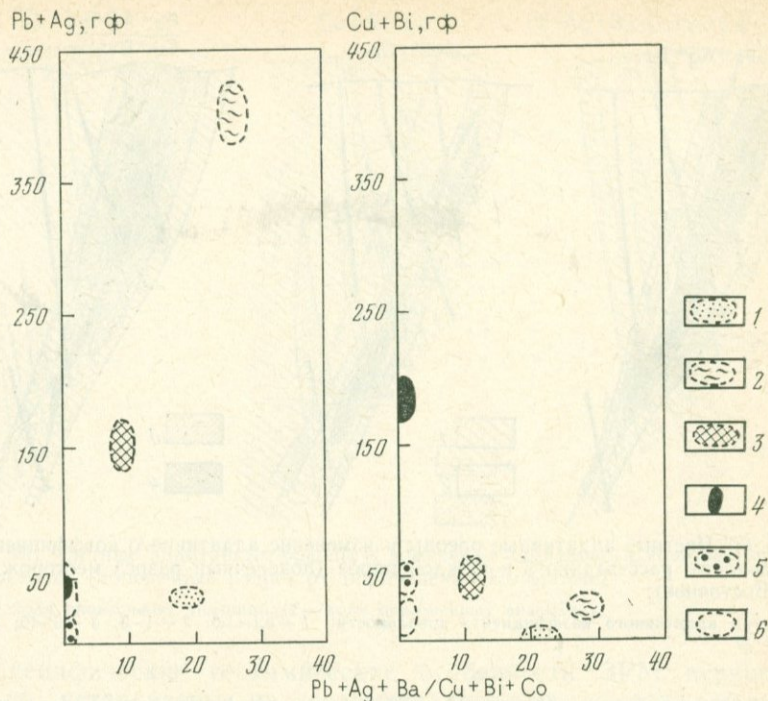


РИС. 59. Связь суммарных средних аномальных содержаний основных компонентов руд и отношений линейных продуктивностей ореолов, По Р. Г. Оганесянцу.

Часть полиметаллического оруденения: 1 — надрудная; 2 — верхняя околорудная; 3 — нижняя и подрудная; часть медно-висмутового оруденения: 4 — верхняя околорудная; 5 — нижняя и подрудная; 6 — зоны рассеянной рудной минерализации

элементов — основных компонентов руд. При построении приведенных на рис. 59 графиков использованы результаты опробования по многочисленным пересечениям первичных ореолов промышленного оруденения и зон рассеянной полиметаллической минерализации на примере месторождений Центрального Карамазара.

Практическое значение этого критерия определяется сложностью идентификации в определенных условиях рудных уровней первичных ореолов. Как уже отмечалось, отсутствие в пределах исследованной аномалии выходов концентрированного оруденения (при коэффициенте зональности, равном уровню промышленного оруденения) должно рассматриваться как вероятный признак рассеянной природы выявленной аномалии. Если из-за недостаточной обнаженности участков исследований (или когда закрытые более молодыми отложениями аномалии выявлены редкой сетью картировочных скважин или шурфов) не удастся однозначно установить наличие или отсутствие в пределах аномалии промышленного оруденения, может быть

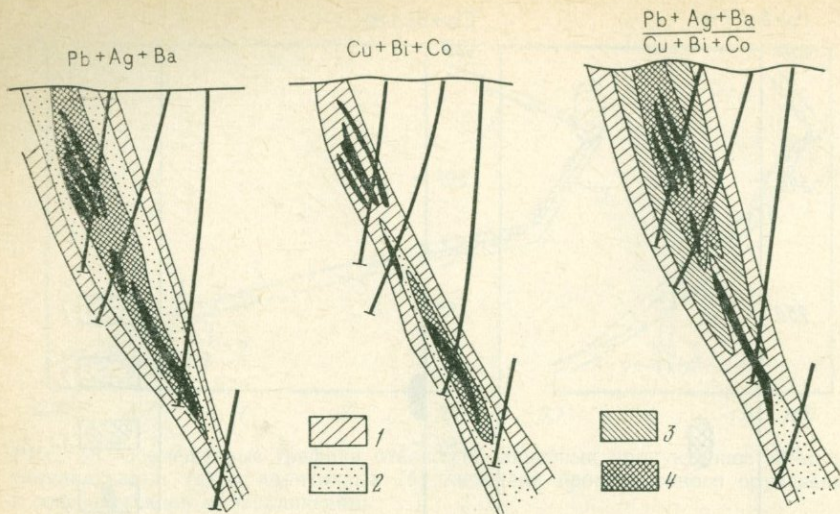


РИС. 60. Частные аддитивные ореолы и изменение аддитивного коэффициента зональности, рассчитанного в каждой пробе (поперечный разрез месторождения Восточное).

Значения аддитивного коэффициента зональности: 1 — 0,1—1,0; 2 — 1—3; 3 — 3—10; 4 — более 10

использован рассмотренный выше критерий определения природы аномалий, основанный на описанной выше закономерной связи суммарного среднеаномального рудного содержания основных промышленно ценных компонентов руд и величины коэффициента геохимической зональности частных суммарных ореолов.

5. В строении аномалий, представленных ЗРМ, отсутствует контрастная поперечная зональность. В отличие от первичных ореолов промышленного оруденения в ЗРМ не наблюдается совпадения полей повышенных концентраций с зонами нарушения (см. рис. 56). Это отличие наиболее отчетливо выявляется в аномалиях, оконтуренных по значениям аддитивного (мультипликативного) показателя, представляющего собой отношение в каждой пробе сумм (произведений) содержаний групп элементов-индикаторов.

На рис. 60, 61 в изолиниях изображено изменение аддитивного показателя в разрезе через промышленное свинцово-серебряное оруденение месторождения Восточное (Рудный Кармазар) и зону рассеянной минерализации (рудопроявление Кызылташ). Как видно, промышленное оруденение (в отличие от зоны рассеянной минерализации) фиксируется полем максимальных значений аддитивного показателя: отчетливо проявлена контрастная поперечная зональность, которая выражается в резком уменьшении величины аддитивного показателя по мере удаления от рудоносной зоны. Аналогичная картина установлена для ртутного оруденения (см. рис. 57).

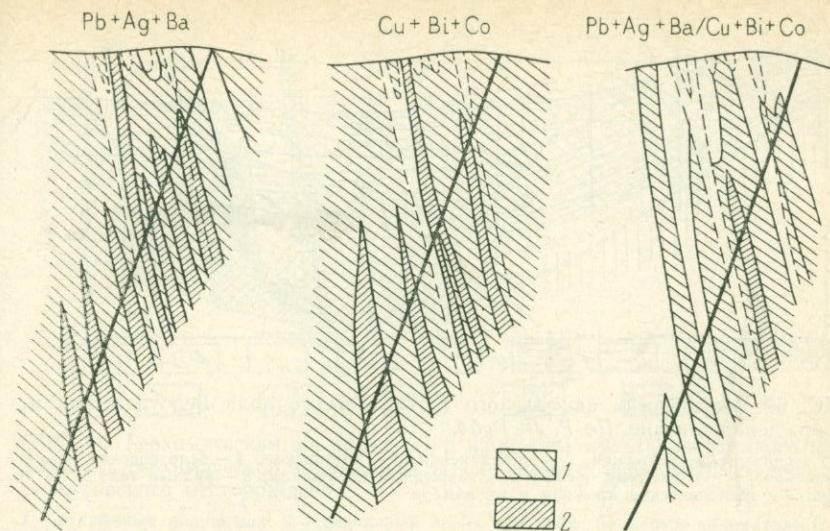


РИС. 61. Частные аддитивные ореолы и изменение аддитивного коэффициента зональности (поперечный разрез рудопоявления Кызылташ):

1, 2 — поля аномальных значений (2 — поля повышенных значений)

Специфические геохимические особенности ЗРМ первоначально установлены на полиметаллических месторождениях Центрального Кармазара, а затем на разных типах месторождений в других рудных районах.

Рассмотрим особенности ЗРМ, изученные Г. Л. Рубо, на Белоусовском месторождении (Рудный Алтай). Район месторождения расположен в северо-восточной части Иртышской зоны смятия. В месте пересечения этой зоны и одной из ветвей Лениногорско-Семипалатинской зоны глубинных разломов участок сложен нижнепалеозойскими метаморфическими сланцами, вулканогенно-осадочными образованиями среднего и верхнего палеозоя, герцинскими интрузивными породами нескольких комплексов и кайнозойскими отложениями.

В структурном отношении Белоусовское месторождение приурочено к своеобразному наклоненному на юго-западе к горсту моноклинально залегающих пород глубочанской подсвиты, которые относительно более пластичных пород белоусовской свиты подняты по Глубочанскому разлому, а с северо-запада ограничены зоной «Прогресс». В висячем боку Глубочанского разлома развита серия субпараллельных межпластовых срывов, зон рассланцевания пород шипулинской свиты, проявляющихся по всей ее мощности. Помимо этого к описываемому разрыву приурочены также многочисленные крутопадающие нарушения, сопровождающиеся гидротермальными изменениями (хлоритизация, серицитизация, окварцевание, карбонизация) пород. Крутопадающие нарушения, рассекая породы

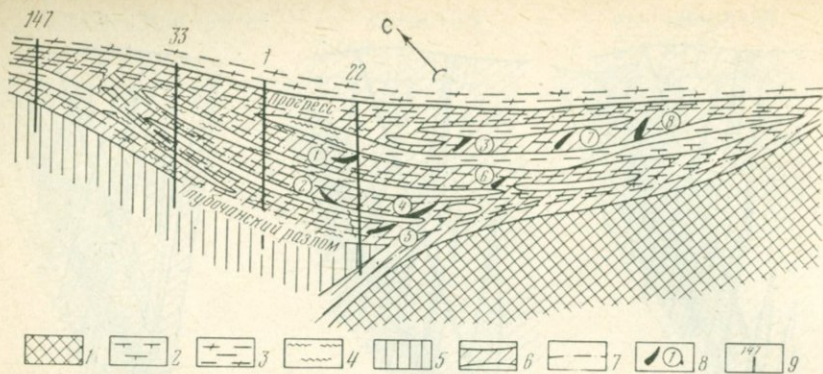


РИС. 62. Морфология аномального геохимического поля Белоусовского месторождения в плане. По Г. Л. Рубо.

1—5 — свиты (1 — орловская, 2 — шипулинская, 3 — иртышская, 4 — белоусовская, 5 — потаповская); 6 — первичные ореолы; 7 — разрывные нарушения; 8 — рудные тела и их номера; 9 — геологические профили и их номера

Глубочанской свиты на пластины, имеют важное рудоконтролирующее значение.

Особенностью месторождения является ярусное размещение рудных тел: в верхнем горизонте расположены рудные тела 3, 7 и 8 (цифры в кружках). В среднем — рудные тела 1 и 6, а в нижнем, на контакте шипулинской свиты и глубочанской подсвиты, — залежи 2, 4 и 6 (рис. 62). Лишь залежи 3, 7 и 8 локализируются непосредственно в породах глубочанской подсвиты вблизи зоны (но не в самой зоне) «Прогресс». Рудные тела месторождения локализованы в пределах тектонических пластин и в соответствии с протяженностью этих пластин прослеживаются на несколько километров. Такие рудные тела получили название лентообразных залежей.

Высокая степень детальности изучения месторождения густой сетью подземных горных выработок (7 горизонтов) и буровых скважин позволила произвести детальное геохимическое опробование рудовмещающих пород и получить представительные данные о составе и строении аномальных полей. Установлено, что наиболее значительные по размерам поля аномальных концентраций элементов-индикаторов развиты вдоль главных дизъюнктивных нарушений. Так, крупное аномальное геохимическое поле, прослеженное более чем на 1000 м по падению и при мощности более 100 м, вытянуто вдоль Глубочанского разлома. Меньшие по размерам аномалии установлены вдоль сопряженных с Глубочанским разломом крутопадающих нарушений (от первых метров до 40), ограничивающих рудные тела по падению и восстанию. Даже простое сопоставление объемов аномальных полей, сопровождающих рудные залежи и безрудные дизъюнктивные нарушения, однозначно показывает, что доля первичных ореолов концентрированного оруденения в общем

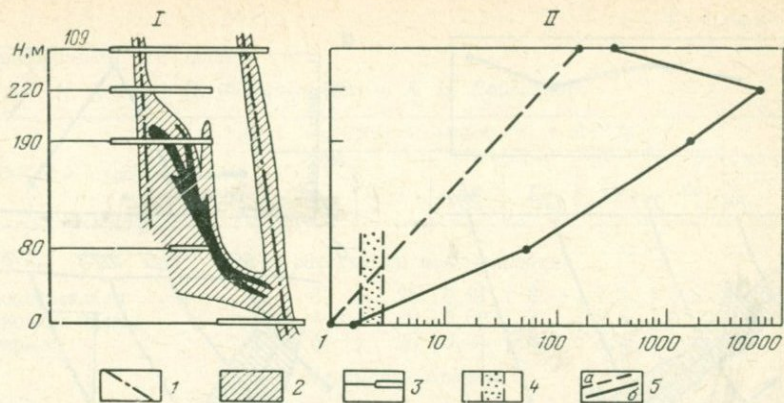


РИС. 63. Геохимическая аномалия (I) и изменение мультипликативного коэффициента геохимической зональности (II) по разрезу через пятое рудное тело Белоусовского месторождения:

I — разрывные нарушения; 2 — первичный ореол (комплекс элементов-индикаторов); 3 — подземные горные выработки; 4 — ЗРМ; 5 — мультипликативные коэффициенты аномальных полей, включающих рудное тело (а) и не включающих (б)

объеме аномального геохимического поля незначительна, т. е. большую часть этого поля занимают аномалии, представленные зонами рассеянной рудной минерализации. Тем актуальнее разработка надежных критериев дифференциации ЗРМ от первичных ореолов концентрированного оруденения.

Детальное изучение особенностей развития первичных ореолов рудных залежей Белоусовского месторождения позволило установить, что геохимическая зональность первичных ореолов наиболее контрастно проявляется в строении частных мультипликативных ореолов надрудных (Pb, Ag, Zn) и подрудных (Cu, Co, Mo) элементов. На рис. 63 в вертикальном поперечном разрезе показаны поля повышенных содержаний элементов-индикаторов в первичных ореолах вокруг рудной залежи 5. Первичные ореолы отчетливо трассируют оба ограничивающих оруденение крутопадающих нарушения, при этом квершлаг 109 вскрывает оба рудоограничивающих нарушения: первое ограничивает рудное тело по его восстанию (в 50 м выше оруденения), а второе — по падению.

В строении первичных ореолов, непосредственно окаймляющих рудную залежь, выявлена контрастная вертикальная зональность: мультипликативный коэффициент геохимической зональности с глубиной резко убывает. Аналогичная картина характерна и для второй зоны. В отличие от первичных ореолов концентрированного оруденения в строении ЗРМ выдержанной и сколько-нибудь контрастной зональности не удалось выявить. В аномалиях, развитых в зонах разломов «Глубочанский» и «Прогресс», геохимической зональности не установлено, о чем свидетельствуют кривые изменения мультипликативного коэффициента зональности, фиксирующие небольшие случайные

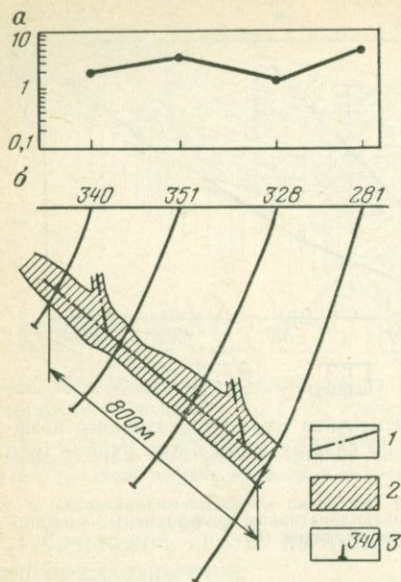


РИС. 64. Изменение мультипликативного коэффициента геохимической зональности (а) и геохимическая аномалия (б) по зоне Глубочанского разлома (зона рассеянной минерализации):

1 — разрывные нарушения; 2 — геохимическая аномалия (комплекс элементов-индикаторов); 3 — скважины и их номера

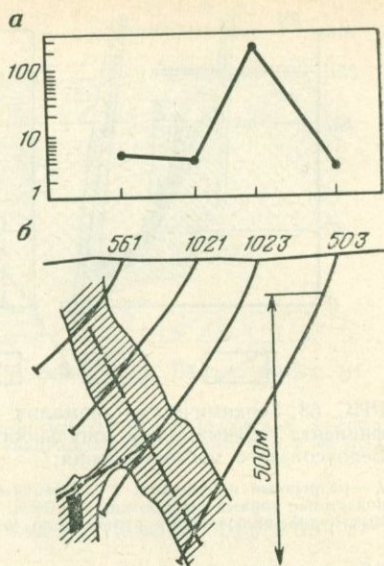


РИС. 65. Изменение мультипликативного коэффициента геохимической зональности (а) и геохимическая аномалия (б) по зоне «Прогресс» и сопряженному с ней рудоконтролирующему нарушению.

Условные обозначения см. на рис. 63

вариации значений коэффициента (рис. 64). Следует отметить, что характер кривых коэффициента зональности резко меняется, как только к зоне причленяются рудоограничивающие нарушения с первичными ореолами концентрированного оруденения. Как видно из рис. 65, по скв. 1023, вскрывшей зону «Прогресс» на участке ее сопряжения с рудоограничивающим нарушением, значение мультипликативного коэффициента зональности резко отличается от соседних скважин и однозначно фиксирует надрудные первичные ореолы концентрированного оруденения. В данном случае первичные ореолы рудной залежи локально развиваются на фоне обширных полей геохимических аномалий, представленных зонами рассеянной рудной минерализации. Таким образом, результаты геохимических работ на Белоусовском месторождении полностью подтверждают вывод об отсутствии в ЗРМ выдержанной геохимической зональности и о том, что по величине мультипликативного коэффициента геохимической зональности ЗРМ отвечают первичным ореолам, развитым на уровне корневых частей концентрированного оруденения (см. рис. 63).

Коэффициент зональности

По Г. И. Хорину, И. Ф. Мясникову и А. Н. Сайгакову

Объекты и уровень ореола	Среднее содержание, $n \cdot 10^{-3}$ %						Pb · Zn · Ag Cu · Co · Mo
	Pb	Zn	Ag	Cu	Co	Mo	
<i>Зоны рассеянной минерализации</i>							
Леонтьевская	5	25	0,01	8	1,3	0,6	$2 \cdot 10^{-1}$
Ивочкин Ключ	4,5	20	0,02	7	2,8	0,25	$3 \cdot 10^{-1}$
Ферма	5	20	0,01	8	3,4	0,2	$2 \cdot 10^{-1}$
<i>Первичные ореолы</i>							
Петровский, надрудный	12	100	0,1	5	1	0,04	$6 \cdot 10^2$
Белоглинский, верхне-рудный	20	800	0,2	20	1,2	0,5	$2,6 \cdot 10^2$
Леонтьевский, рудный	52	52	0,02	7	1,9	0,09	$4,5 \cdot 10^2$
Семеновское месторождение, всячий бок	11	230	0,04	3	0,5	0,1	$6,7 \cdot 10^2$
Аргунихинское рудопроявление, надрудный	10	90	0,1	2	0,3	0,3	$5 \cdot 10^2$
подрудный	1,6	16	0,006	13	3	0,4	$9 \cdot 10^{-3}$
Петровское барито-полиметаллическое, надрудный	506,5	1268	0,54	81,4	2,16	3,04	$6,6 \cdot 10^2$
рудный	1690	3183	1,6	1,14	2,5	1,4	$2,1 \cdot 10^4$
подрудный	8,9	42	0,03	47	2,8	0,38	$1,1 \cdot 10^{-1}$

Аналогичные результаты получены Г. И. Хориным, И. Ф. Мясниковым и А. Н. Сайгаковым, изучавшими на Рудном Алтае зоны рассеянной рудной минерализации и первичные ореолы концентрированного колчеданного оруденения, которые отчетливо дифференцируются по значению мультипликативного коэффициента геохимической зональности (табл. 15).

Специальное изучение геохимических особенностей зон рассеянной рудной минерализации только начато и выполнено пока на примере ограниченного числа рудных месторождений: полиметаллических, золоторудных, ртутных, оловорудных и медноколчеданных. По этим типам месторождений установлены единые геохимические особенности ЗРМ, что позволяет считать их характерными для эндогенного рудообразования в целом и использовать в качестве критериев идентификации ЗРМ при геохимических поисках рудных месторождений. Тем не менее эти критерии, выявленные на примере изучения ограниченного числа месторождений, должны быть использованы с известной осторожностью, с обязательным учетом конкретных условий и после апробации для новых типов месторождений.

Отметим, что зоны рассеянной рудной минерализации изучены еще недостаточно, и поэтому в настоящее время мы еще

не располагаем представительными данными о геолого-структурных особенностях этих образований. Имеющиеся большей частью фрагментарные данные позволяют сделать только ряд общих замечаний о геологической природе зон рассеянной рудной минерализации. Очевидно, ЗРМ в основном развиваются по системе дизъюнктивных нарушений в результате циркуляции по ним рудоносных растворов. Следует выделить две основные группы зон рассеянной минерализации. К первой группе мы относим зоны рассеянной минерализации, развитые по рудоподводящим и рудораспределяющим структурам, т. е. по каналам поступления рудоносных растворов. Вторая группа представлена зонами, развитыми в рудовмещающих структурах, где локализация оруденения по каким-то причинам не «дошла» до кондиций, т. е. не были сформированы рудные тела промышленного значения («недоразвитые» рудные тела).

Необходимо отметить, что идентификация зон первой группы (по сравнению с разбраковкой зон второй группы) представляет собой менее сложную задачу, поскольку зоны этой группы существенно отличаются от рудных тел промышленного значения не только геохимически, но и геологически (специфическое структурное положение). Это обычно позволяет при интерпретации геохимических аномалий производить альтернативную дифференциацию зон рассеянной минерализации первой группы и ореолов промышленного оруденения, используя как геохимические, так и геолого-структурные критерии.

В отличие от этого критерии разбраковки зон рассеянной минерализации второй группы менее надежны, хотя бы потому, что деление развитых по рудовмещающим структурам геохимических аномалий на первичные ореолы промышленного оруденения и зоны рассеянной минерализации в значительной степени условно, так как параметры рудных тел, определяющие их промышленную ценность, не являются постоянными — они меняются от месторождения к месторождению. Это обуславливает существование значительного диапазона комбинаций параметров рудных тел, в пределах которых как бы «сосуществуют» зоны рассеянной минерализации (второй группы) и промышленные рудные тела, т. е. в этом диапазоне параметров оруденения рудоносные зоны в одних случаях будут являться промышленными, в других — зонами рассеянной минерализации. При оценке геохимических аномалий этой «переходной» группы от промышленного оруденения к зонам рассеянной минерализации необходимы критерии не альтернативной оценки (зона рассеянной минерализации или промышленное оруденение), а количественной, т. е. когда по параметрам геохимических аномалий можно определить примерные масштабы прогнозируемого оруденения.

В заключение отметим, что геохимическое изучение ЗРМ отстает от работ по исследованию особенностей состава и строения первичных ореолов промышленных рудных тел и месторо-

ждений. Это привело к разработке методики интерпретации геохимических аномалий, которая в настоящее время еще не является адекватной проблеме разбраковки зон рассеянной минерализации. Повсеместное распространение зон рассеянной минерализации обуславливает актуальность резкого расширения работ по детальному их изучению с целью дальнейшего совершенствования методики интерпретации геохимических аномалий, в том числе и аномалий, представленных ЗРМ.

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Медно-никелевые месторождения

Особенности первичных геохимических ореолов медно-никелевого оруденения рассматриваются на примере месторождений Печенги (на Кольском п-ове) и Норильского района, исследованных В. В. Рябовым, О. П. Разгоновым и автором.

Месторождения Печенги. В породах, вмещающих рудоносные интрузивы и рудные тела Печенгской рудной зоны, отчетливо установлены аномальные концентрации Ni, Cu, Co, Cr, Ag, Pb, Zn, Ba, Sn, Mo, Ti, V, B, Mn и ряда других элементов.

Зоны повышенных содержаний химических элементов во вмещающих породах носят линейный характер, распространяясь по восстанию рудоконтролирующих зон в виде серии полос над рудными телами и рудоносными интрузивами или параллельно их контактам.

Ниже описываются геохимические особенности сложно построенной рудоносной зоны месторождения Семилетка. Описываемая зона имеет пологое залегание и вскрыта рядом буровых скважин глубиной до 627 м (рис. 66). В пределах зоны развиты четыре довольно крупных интрузивных тела (I—IV),

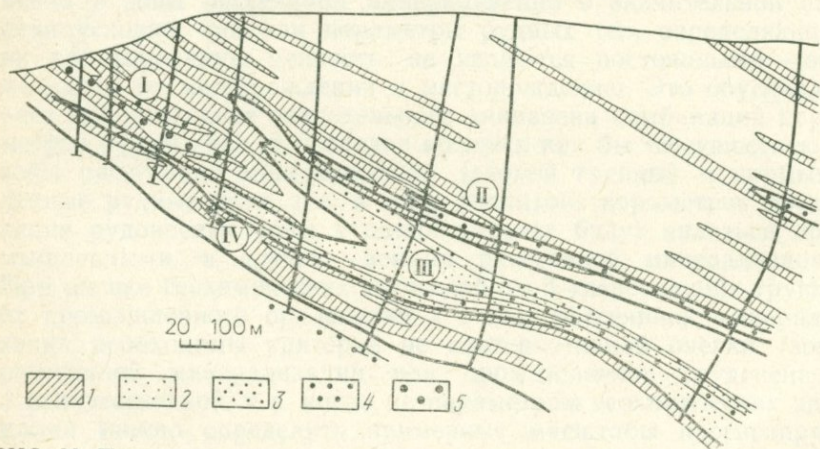


РИС. 66. Первичные геохимические ореолы (I) и распределение никеля в интрузивах ультраосновного состава (2—5).

Содержание никеля (в %): 1—0,0029—0,07; 2—0,03—0,1; 3—0,1—0,3; 4—0,3—1; 5—более 1

несущих медно-никелевое оруденение. Все они имеют линзовидную форму и вытянуты по падению зоны. Наиболее крупное интрузивное тело (III), мощность которого достигает 180 м, по падению зоны прослежено более чем на 1000 м. Интрузия сложена тремя разновидностями пород. Верхний дифференциат представлен габбро, средний — пироксенитами и нижний — перидотитами. Среди последних, характеризующихся относительно повышенными содержаниями никеля и меди, прослеживается зона, более насыщенная вкрапленностью минералов меди и никеля, в связи с чем среднее содержание основных рудных компонентов в ней достигает промышленного. Над этим крупным интрузивным телом на незначительном расстоянии располагается другое интрузивное тело (II) линзовидной формы, представленное интенсивно серпентинизированными ультраосновными породами с более богатым прожилково-вкрапленным оруденением. Оруденелые интрузивные тела такого же типа залегают близ выхода зоны на эрозионную поверхность (I). Кроме этих рудоносных интрузий двумя скважинами вскрыты два мелких рудных тела с массивным медно-никелевым оруденением. Одно из них залегают в филлитах, а другое — в перидотитах.

Наличие в рудовмещающей зоне группы сближенных в пространстве рудных тел разного типа и размера весьма затруднило изучение особенностей первичных ореолов каждого из рудных тел. В связи с этим в основном исследованы поля аномальных концентраций элементов, образующиеся около группы рудных тел.

Как следует из рис. 66, аномальные концентрации никеля — основного рудообразующего элемента — развиты в виде линейно вытянутых часто сближенных субпараллельных полос. Мощность таких полос от первых метров до 40 м. Наблюдается увеличение их количества в верхней части рудовмещающей зоны, вблизи выхода ее на эрозионную поверхность. Полосы аномальных концентраций распространяются как в лежачем, так и висячем боках интрузий, а также и на удалении от рудных тел и рудоносных интрузий.

В плоскости изученного разреза, за пределами рудовмещающей зоны, также выявляется несколько зон аномальных концентраций никеля. Они, как правило, приурочиваются к тектонически нарушенным и ослабленным зонам, в которых иногда залегают маломощные и малопротяженные интрузивные тела основных или ультраосновных пород. Зоны аномальных концентраций серебра окаймляют рудоносные образования и в виде маломощных сближенных полос распространяются над ними. Наблюдается увеличение количества таких зон в верхней части рудовмещающей зоны (рис. 67). Содержание серебра в пределах аномальных полос увеличивается в направлении восстания рудоносных зон. Аномальные концентрации остальных элементов (Cu, Pb, Co, Zn, Cr, Ti, V) также образуют линейно вытянутые зоны. В пределах рудовмещающей зоны они

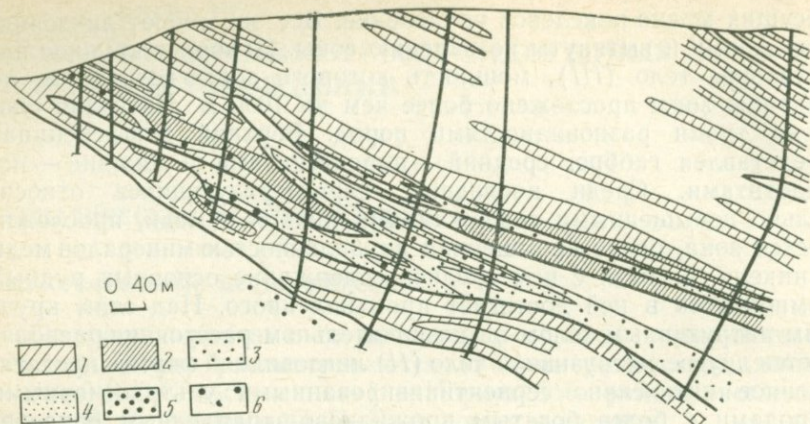


РИС. 67. Первичные геохимические ореолы (1, 2) и распределение серебра в интрузиях ультраосновного состава (3—6).

Содержание серебра (в %): 1 — $0,5 \cdot 10^{-5}$ — $0,1 \cdot 10^{-4}$; 2 — $0,1 \cdot 10^{-4}$ — $0,2 \cdot 10^{-4}$; 3 — $0,5 \cdot 10^{-5}$ — $0,1 \cdot 10^{-4}$; 4 — $0,1 \cdot 10^{-4}$ — $0,3 \cdot 10^{-4}$; 5 — $0,3 \cdot 10^{-4}$ — $0,3 \cdot 10^{-3}$.

фиксируются в виде малопротяженных и маломощных полос, местами приобретающих линзовидную форму.

Таким образом, устанавливается преимущественно линейная форма аномальных зон элементов, обусловленная их приуроченностью к межслоевым разрывным нарушениям. Определяющее влияние разрывных нарушений на структуру геохимических аномалий установлено также в результате детального геолого-геохимического картографирования на Котсельваарском карьере, где широко развиты разрывные нарушения нескольких направлений. Установлено, что в зонах практически всех разрывных нарушений вблизи рудных залежей фиксируются повышенные концентрации рудогенных элементов. Это обуславливает весьма сложную конфигурацию аномалий в зависимости от структурной обстановки, определяемой сочетанием разнонаправленных разрывных нарушений.

Анализ пространственного распределения элементов-индикаторов показывает, что поля повышенных концентраций во вмещающих породах ряда химических элементов тесно связаны с рудоносными интрузиями или рудными телами, в которых элементы имеют высокие содержания. При этом содержания элементов уменьшаются по мере удаления от интрузива. К таким элементам относится никель, хром, кобальт, медь, серебро, свинец. Изучение участков аномальных содержаний указанных элементов во вмещающих интрузивы породах показывает, что в них, как правило, развиты сульфидная вкрапленность или кварц-карбонатные прожилки с сульфидами (халькопирит, пирротин, пентландит, пирит), т.е. те же минеральные формы, в которых элементы устанавливаются и в рудных телах. Эти данные позволяют рассматривать выявленные аномальные поля в качестве первичных геохимических ореолов рудных тел, а эле-

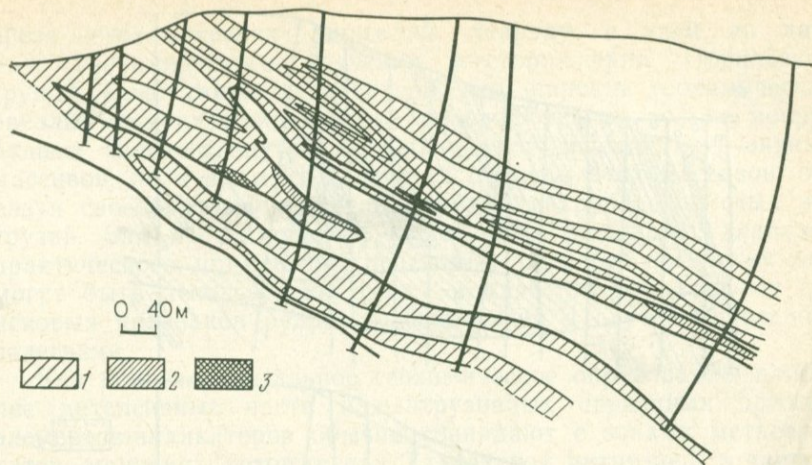


РИС. 68. Изменение мультипликативного показателя.

Филлиты: 1 — $0,3 \cdot 10^{-3}$; 2 — $0,3 \cdot 10^{-3} - 1$; 3 — 1; диабазы: 1 — $0,2 \cdot 10^{-3}$; 2 — $0,2 \cdot 10^{-3} - 0,2$; 3 — 0,2

менты, их образующие, считать индикаторами медно-никелевого оруденения. С целью уточнения индикаторной роли отдельных элементов-индикаторов исследовалась связь состава ореолов от типов руд.

Медно-никелевые руды Печенгского рудного поля, как известно, разделяются на несколько типов — бедные вкрапленные в серпентинитах, богатые прожилково-вкрапленные, брекчиевидные и сплошные сульфидные руды. Изучение зональности первичных ореолов медно-никелевого оруденения месторождений Печенги крайне затруднено в связи с тем, что в пределах рудовмещающих зон обычно развито несколько рудных тел разного типа и размера, располагающихся кулисообразно. При этом выявляются поля аномальных концентраций элементов около группы рудных тел и исследуется зональность геохимических аномалий, сопровождающих зону в целом. Несмотря на сложный характер развитых вокруг сближенных в пространстве кулисно расположенных рудных тел удастся установить определенные закономерно выдержанные смещения друг относительно друга аномальных полей отдельных элементов. Установлено, что первичные ореолы имеют зональное строение, которое выражается в постепенной смене областей относительного накопления элементов по падению рудоносных зон в следующей последовательности: Ba, Ag, Pb, Ti, Zn, V, Cu, Ni, Cr, Co.

Определенно устанавливается группа элементов, характерных для надрудных сечений (Ba, Pb, Ag, Zn), и группа элементов, образующих максимальные концентрации на уровне рудных залежей и ниже (Ni, Co, Cr, Cu).

На рис. 68 изображено изменение мультипликативного показателя, рассчитанного по каждой пробе, как частное от

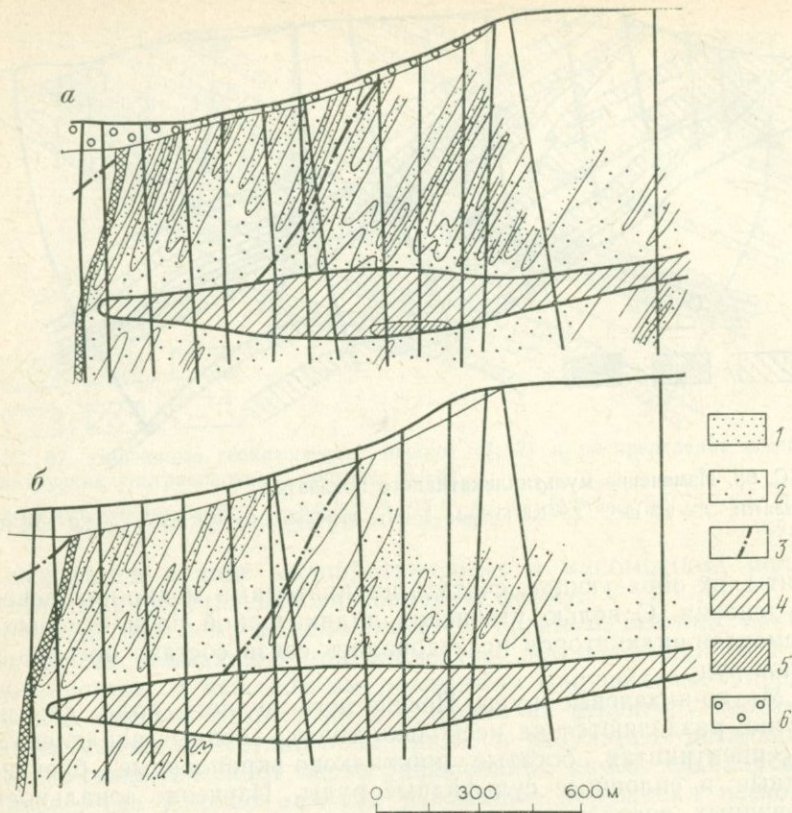


РИС. 69. Распределение меди (а) и бария (б) в породах интрузии и сопровождающих ее первичных ореолах.

1—2 — первичные ореолы интрузии; 3 — разломы; 4 — интрузия; 5 — рудная залежь; 6 — наносы

деления произведений содержаний надрудных элементов (Ag, Pb, Ba, Zn) на произведение содержаний подрудных (Ni, Co, Cu, Cr). С помощью этого показателя можно выявить отчетливую геохимическую зональность в строении первичных ореолов, несмотря на сложный их характер, обусловленный наложением друг на друга ореолов сближенных в пространстве группы рудных залежей. Каждое из рудных тел сопровождается расширяющимися и усиливающимися по восстанию оруденения ореолами, оконтуренными по величине мультипликативного показателя.

Месторождения Норильского района. Выше были рассмотрены особенности первичных ореолов рудных тел и рудоносных ультраосновных интрузий, выходящих на эрозионную поверхность. Установлено, в частности, что зональность первичных ореолов может быть использована для оценки эрозионного

среза геохимических аномалий. Наряду с этим по данным геохимического изучения месторождений Норильской группы было также установлено, что широкие геохимические ореолы элементов-индикаторов развиваются не только вокруг рудных залежей внутри вмещающих оруденение интрузивных массивов, но и выходят далеко за пределы этих массивов, образуя своеобразные первичные ореолы вокруг рудоносных интрузий. Это обстоятельство, естественно, расширяет диапазон практического применения первичных ореолов, поскольку они могут быть использованы также в качестве эффективных поисковых признаков рудоносных интрузий в случае их слепого залегания.

Как показало детальное геохимическое опробование, наиболее интенсивные части надинтрузивных первичных ореолов элементов-индикаторов обычно совпадают с зонами метасоматитов, мощность которых над Талнахской интрузией, в частности, достигает 200 м, в среднем составляя 60 м. За пределами метасоматитов ореолы носят ярко выраженный инфильтрационный характер и имеют более прерывистое строение: в них повышенные аномальные концентрации элементов-индикаторов обычно приурочены к узким зонам разнонаправленных тектонических нарушений.

На рис. 69 в вертикальном поперечном разрезе показаны первичные ореолы меди и бария, развитые в надинтрузивной части северо-восточной ветви Талнахской интрузии. Ореолы этих элементов как бы «пробивают» на сотни метров перекрывающие рудоносную интрузию породы и достигают эрозионной поверхности. Очевидно, что подобные ореолы могут быть использованы для обнаружения глубокозалегающих слепых рудоносных интрузий по результатам геохимического опробования поверхности.

Месторождения алмазов

Коренные месторождения алмазов, как известно, связаны с ультраосновной формацией кимберлитов. Вопросы использования геохимических методов при поисках алмазоносных кимберлитов в настоящее время разработаны недостаточно, прежде всего из-за слабой изученности сопровождающих кимберлитовые тела геохимических аномалий, в том числе и первичных ореолов. Именно поэтому в настоящее время в опубликованной литературе отсутствуют сколько-нибудь определенные данные об особенностях состава и строения первичных ореолов алмазоносных кимберлитов. В данной книге этот вопрос рассматривается по результатам исследований особенностей состава и строения первичных ореолов ряда алмазоносных кимберлитов Якутии, проведенных С. В. Григоряном, М. В. Заиченко и А. М. Свиридовым.

На известных кимберлитовых трубках отбор геохимических проб проводился по стенкам карьеров и буровым скважинам. Во всех случаях применялся метод пунктирной борозды. В карьерах интервал опробования составлял, как правило, 5—10 м, в скважинах 1—5 м в зависимости от сложности геологического разреза. Ниже приводится описание первичных ореолов двух кимберлитовых трубок Якутии. Первая трубка залегает в осадочных породах верхоленской (нижняя) и илгинской (верхняя) свит. Верхоленская свита представлена главным образом красочветными мергелями, аргиллитами и алевролитами с прослоями гипсов. Мощность свиты около 180 м. Илгинская свита отличается от верхоленской увеличением карбонатных разностей пород и более пестроцветным составом. Она сложена пестроцветными мергелями, известняками, доломитистыми и известковистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами. Мощность свиты около 180 м.

Распределение химических элементов в околотрубочном пространстве исследовано по данным литохимического опробования стенок карьера. Ореолообразующими элементами во вмещающих породах первой трубки являются: Cr, Ni, Co, V, Ti, Sc, Ga, Mn, Sr, Ba, Li, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Sn, Bi, Zr. По положению максимальных концентраций относительно трубки перечисленные элементы делятся на три группы. Первую группу составляют элементы, содержания которых имеют наибольшие значения в самой трубке и в непосредственной близости от нее и постепенно уменьшающиеся по мере удаления от трубки (центростремительный тип распределения). Сюда входят хром, никель, кобальт, ванадий, титан, скандий, стронций и барий. Хром, никель и кобальт максимально концентрируются в трубке и ее ближайшем экзоконтакте, где они достигают содержания 0,05 %. Аномальные концентрации распространяются от контакта на значительные расстояния.

Мультипликативный ореол группы Cr·Ni·Co по сравнению с моноэлементными является более контрастным и значительным по размерам. На рис. 70 показаны мультипликативные ореолы перечисленных выше элементов. Ореолы построены по результатам геохимического опробования трубки и вмещающих пород по уступам карьера с последующей проекцией мест пробоотбора (точка середины интервала опробования) на горизонтальную плоскость. При этом, естественно, не учитывается вертикальная составляющая возможной геохимической зональности первичных ореолов кимберлитовых тел, детальное изучение которой является задачей дальнейших исследований.

Ко второй группе относятся элементы, образующие вокруг кимберлитовых тел кольцеобразные аномалии (центробежный тип распределения). Такими являются ореолы Li, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Sn, B, Zr. На рис. 71 изображены первичные ореолы серебра и меди, для которых характерен центробежный характер размещения полей повышенных содержаний элементов

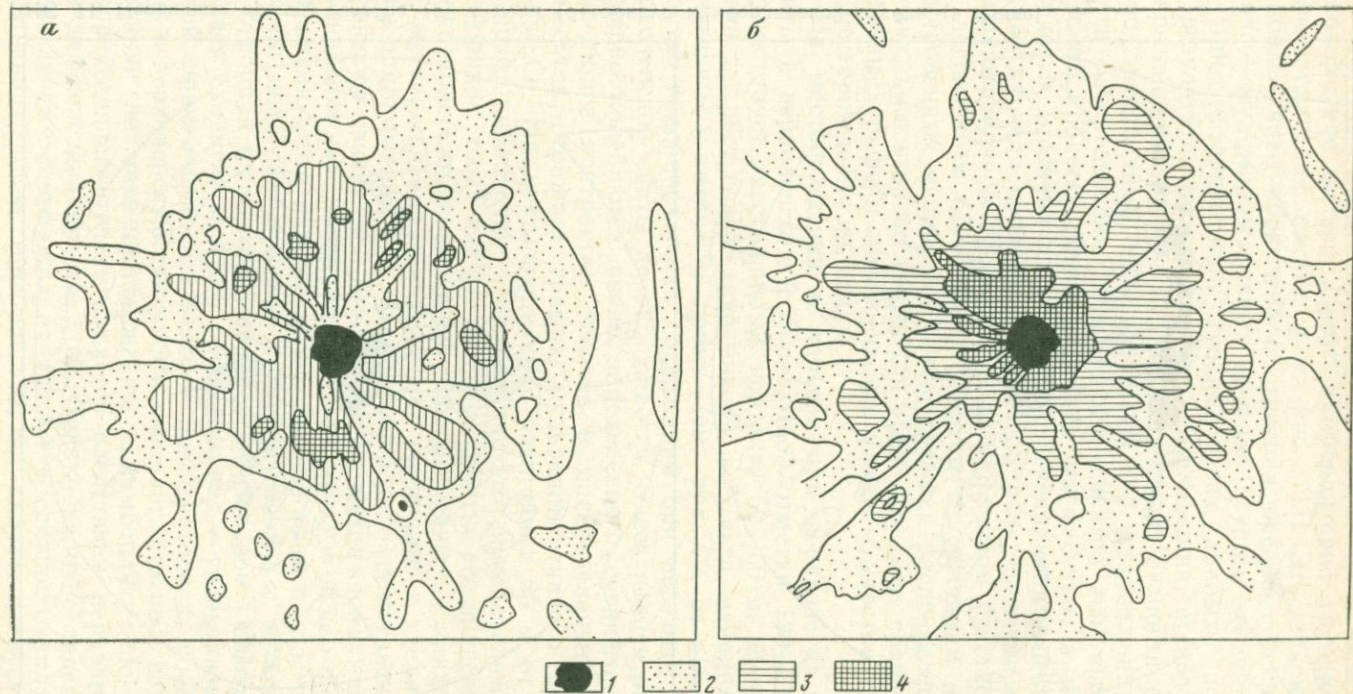


РИС. 70. Мультипликативные ореолы Mo, Sn, Ag, Cu, V и Zn (а), Cr, Ni и Co (б) вокруг кимберлитовой трубки (в плане):
 1 — трубка; 2—4 — первичные ореолы (4 — поля максимальной интенсивности)

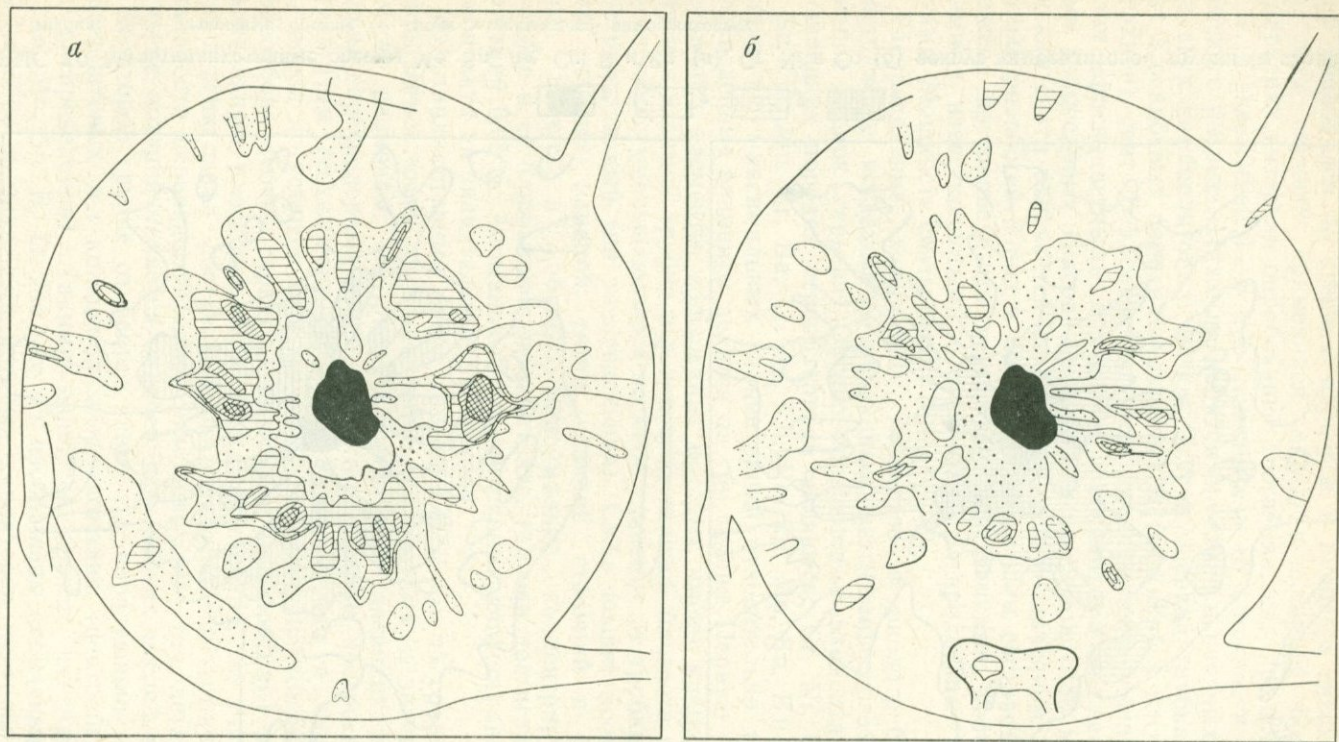


РИС. 71. Первичные ореолы серебра (а) и меди (б) вокруг кимберлитовой трубки (в плане)

Поля максимальных концентраций этих элементов образуют закономерное кольцо вокруг кимберлитовой трубки на некотором удалении от нее (см. рис. 71). Эта закономерность наиболее ярко проявлена в строении ореола серебра, и особенно — мультипликативных ореолов группы элементов.

При интерпретации геохимических данных, полученных в результате литохимического опробования стенок карьера, вскрывающего различные литологические разности осадочных пород, необходимо было убедиться, что установленные особенности распределения химических элементов действительно отражают процессы кимберлитового магматизма, а не закономерности первично-осадочной дифференциации вещества. С этой целью провели сравнение характера распределения элементов в околотрубочном пространстве и на фоновом участке, для чего по абсолютным отметкам карьера и содержаниям элементов, приуроченных к ним, построили графики распределения химических элементов по вертикали (рис. 72). Для сравнения аналогичные графики построены на фоновом участке, удаленном от месторождения на 1050 м.

На месторождении в карьере при переходе из илгинской свиты в верхоленскую с абсолютной отметки 190—200 м, что соответствует расстоянию от контакта 50—60 м, начинается отчетливый рост содержаний никеля, кобальта, ванадия и менее отчетливый — титана и хрома (см. рис. 72, а). На фоновом участке подобного роста содержаний при переходе в породы верхоленской свиты не наблюдается. Здесь концентрации равномерно колеблются около определенного среднего значения. Еще более контрастно отличие в распределении указанных элементов отражает график мультипликативного показателя $Cr \cdot Ni \cdot Co$. На месторождении с расстояния 60 м от контакта по мере приближения к кимберлиту этот показатель возрастает на порядок, тогда как на фоновом участке его значения равномерно колеблются около некоторого среднего. Скандий в районе месторождения обнаруживает тенденцию к увеличению по мере приближения к трубке (при переходе из илгинской в верхоленскую свиту), а с 20—30 м от контакта вновь уменьшается. На фоновом участке график скандия имеет в общем форму прямой линии. Это означает, что отмеченное выше возрастание скандия по мере приближения к трубке связано с ее внедрением.

Стронций на месторождении и на фоновом участке обнаруживает сходную картину распределения — увеличивается с глубиной, причем наиболее резко — при переходе из пород илгинской в верхоленскую свиту. Это означает, что рост содержания стронция по мере приближения к кимберлиту (по карьере) в определенной степени является следствием первично-осадочной дифференциации вещества. Однако наличие линейных ореолов, лучами отходящих от трубки и секущих напластование вмещающих пород (см. рис. 72, б), свидетельствует о перераспределении первично-осадочного стронция под влиянием

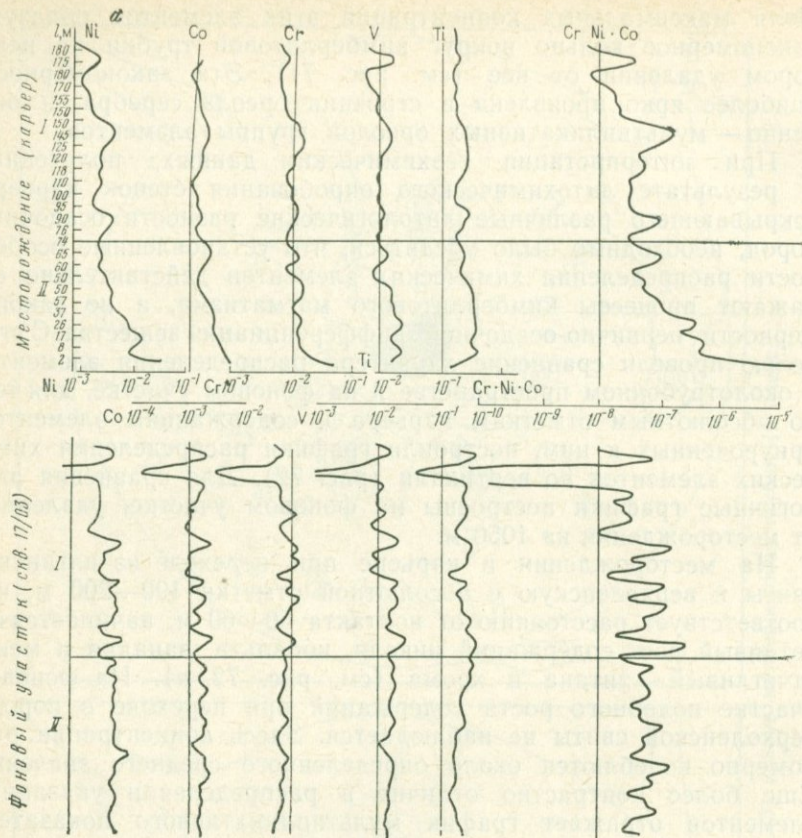


РИС. 72. Распределение содержаний Ni, Co, Cr, V, Ti и Cr·Ni·Co (а), Sc, Sr, Ba, Li, Ag, Cu, Pb (б) и Zn, Mo, Sn, B, Zr, Ga, Mn (в) по разрезу пород вмещающих кимберлитовые тела.

Свиты: I — илгинская; II — верховенская; l — расстояние до контакта трубки

тектонно-магматического процесса — внедрения кимберлитового тела.

Серебро и свинец вполне определенно концентрируются на контакте двух свит, и это позволяет считать, что выявленные по результатам опробования уступов карьера аномалии в значительной степени могут быть следствием первично-осадочной дифференциации вещества.

Литий, медь, молибден на месторождении концентрируются в районе контакта свит, тогда как на фоновом участке существенного увеличения на контакте не обнаруживается. Из этого можно предположить, что литий, медь и молибден участвуют в процессах, сопровождающих кимберлитовый магматизм, и занимают внешнее положение в зональном геохимическом поле околотрубного пространства, т.е. центробежные ореолы этих элементов представляют собой эпигенетические образования.

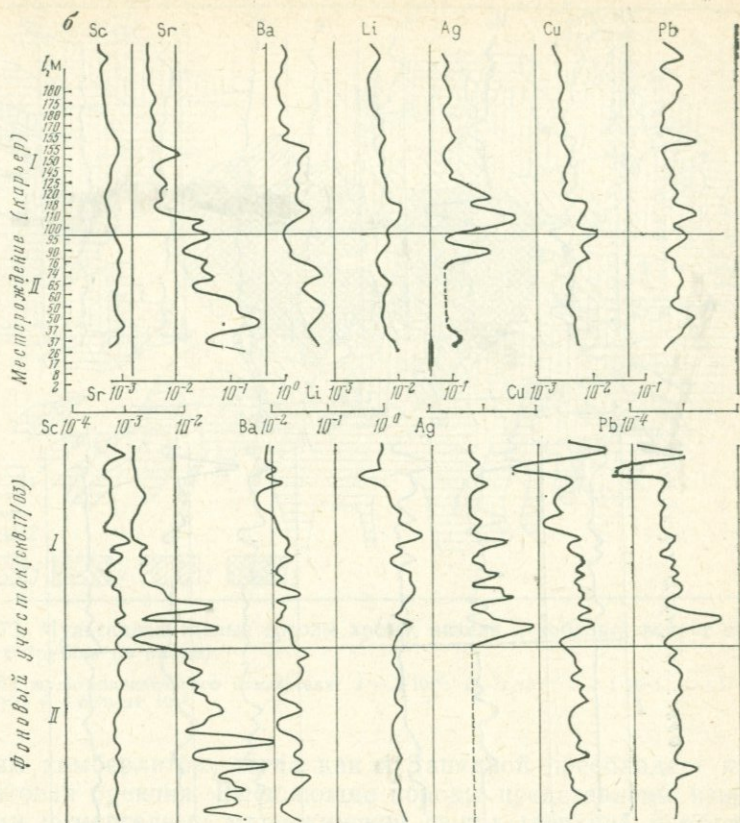


РИС. 72. Продолжение.

Цинк и олово на месторождении и на фоновом участке распределяются по-разному. На месторождении содержания этих элементов в 2—3 раза выше и распределение их более неравномерное, чем на фоновом участке. Это означает, что цинк и олово также формируют эпигенетические ореолы и поэтому должны быть отнесены к числу элементов-индикаторов кимберлитов.

Цирконий увеличивается по мере приближения к трубке (в верхоленской свите), а с 30 м от контакта вновь начинает уменьшаться. На фоновом участке средние содержания циркония в целом несколько выше, но увеличения в верхоленской свите не наблюдается, т. е. этот элемент также является индикатором кимберлитов (см. рис. 72, в).

Отмеченные особенности распределения элементов в околотрубочном пространстве и сравнение их распределения по вертикали на месторождении и на фоновом участке позволяет сделать некоторые выводы. Образование кимберлитовой трубки сопровождалось формированием в околотрубочном пространстве

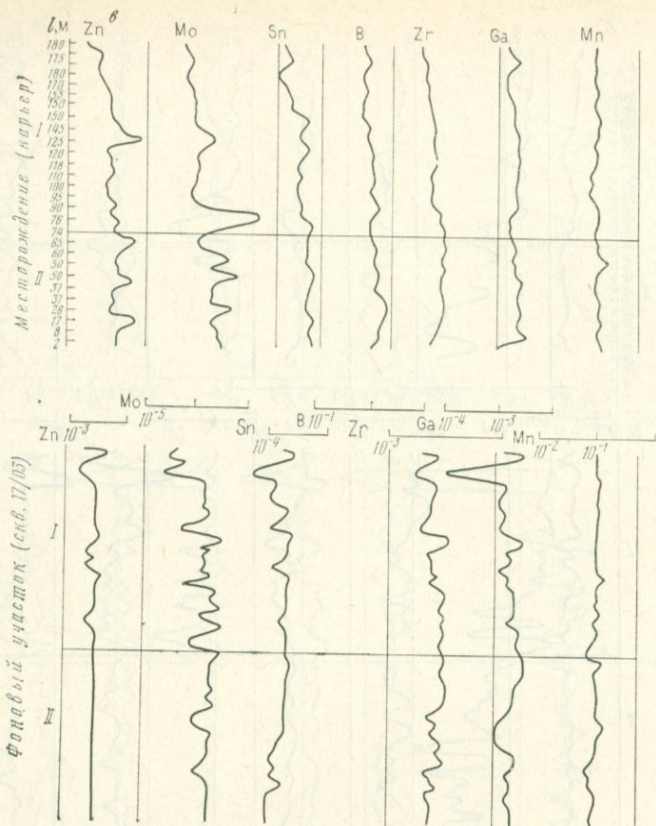


РИС. 72. Продолжение.

первичных геохимических ореолов. Геохимические ореолы явились следствием как привноса элементов кимберлитовой магмы (Cr, Ni, Co, V, Ti, Sc и др.), так и перераспределения первично-осадочных элементов (Sr) под влиянием тектоно-магматических процессов. Такие халькофильные элементы, как серебро и свинец, представляют промежуточную группу элементов, для которых возможен как привнос, так и перераспределение первично-осадочных количеств. Геохимическое поле вокруг кимберлитовой трубки имеет зональное строение. Ближе всех к кимберлиту располагаются сидерофильные элементы: хром, никель, кобальт. Далее к периферии располагаются ванадий, титан, скандий. Еще дальше по радиусу контакта концентрируются литий, медь, цинк, молибден, олово, бор и цирконий. Таким образом, аномальная геохимическая область исследованной трубки распространяется на значительное расстояние от ее контакта.

Второе месторождение состоит из двух сближенных трубок — Западной и Восточной. Восточная трубка сложена мас-

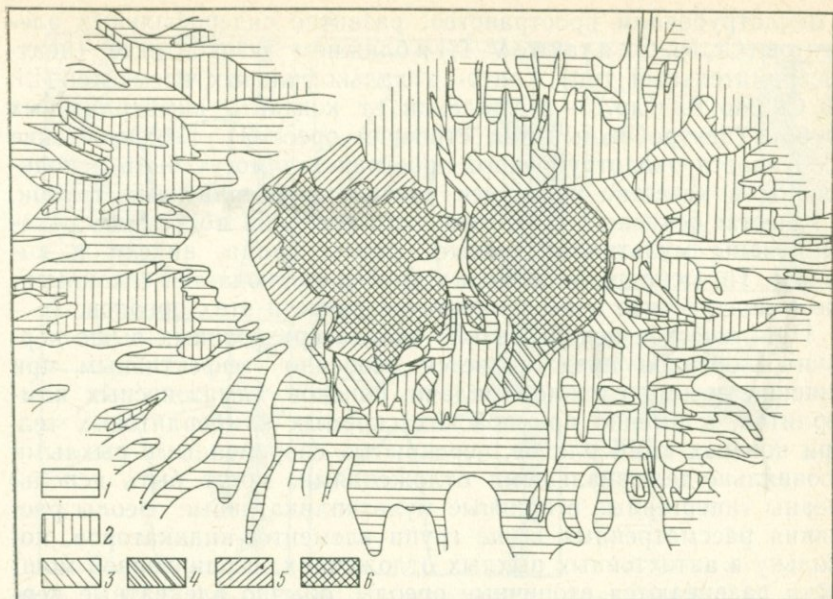


РИС. 73. Мультипликативные ореолы хрома, никеля и кобальта вокруг сближенных трубок (в плане).

Значения мультипликативного показателя: 1 — $3 \cdot 10^{-6}$; 2 — $1 \cdot 10^{-5}$; 3 — $1 \cdot 10^{-4}$; 4 — $1 \cdot 10^{-3}$; 5 — $1 \cdot 10^{-2}$; 6 — больше 10^{-2} .

сивным кимберлитом, тогда как в Западной преобладает кимберлитовая брекчия. Вмещающие породы представлены известняками и мергелями маркокинской свиты (верхний кембрий).

Геохимические особенности околотрубочных ореолов на этом месторождении также были изучены по результатам геохимического опробования вмещающих пород на уступах карьера. На месторождении вокруг труб выявлены ореолы Cr, Ni, Co, V, Ti, Mn, Ba, Li, Cu, Pb и Zn. Так же, как и на первом месторождении, ореолообразующие элементы по положению максимальных концентраций можно разделить на две группы.

В первую группу входят сидерофильные элементы: хром, никель, кобальт, ванадий, титан, марганец. Их концентрации в общем случае увеличиваются по мере приближения к трубке, достигая своих максимальных значений в экзоконтакте и в самом кимберлите (центростремительный тип развития ореолов). Мультипликативные ореолы Cr·Ni·Co являются более контрастными и значительными по размерам (рис. 73).

Во вторую группу следует включить халькофильные элементы: барий, медь, свинец и литофильный — литий. Максимумы концентраций этих элементов развиваются во вмещающих породах вокруг трубки (центробежный тип распределения).

На изученных трубках повторяется одна важная особенность первичных ореолов — зональное распределение элементов

в околотрубочном пространстве. развитие сидерофильных элементов (Сг, Ni, Со, а также V, Ti) в ближнем экзоконтакте (центростремительный тип), а лито- и халькофильных элементов (Li, Pb, Cu, Mo, Ba и др.) — в удалении от контакта кимберлитовых трубок (центробежный тип строения ореолов). Геохимические особенности околотрубочного пространства могут быть использованы в качестве критериев поисков кимберлитовых трубок. В качестве основного геохимического критерия могут быть рекомендованы мультипликативные ореолы хрома, никеля и кобальта. По мере приближения к трубке наблюдается закономерное и контрастное повышение интенсивности этих ореолов.

Практическое использование охарактеризованных выше первичных ореолов представляется особенно эффективным при решении весьма сложной задачи поисков алмазоносных кимберлитов, а именно при поисках скрытых кимберлитовых тел. При поисках кимберлитов, перекрытых современными рыхлыми элювиально-делювиальными отложениями, могут быть использованы гипергенные вторичные мультипликативные ореолы рассеяния рассмотренных выше групп элементов-индикаторов, поскольку в автохтонных рыхлых отложениях ограниченной мощности развиваются вторичные ореолы, обычно адекватные первичным (в мультипликативном варианте).

Данные по первичным ореолам могут быть эффективно использованы также при решении наиболее сложной задачи поисковых работ — поиск кимберлитовых трубок, перекрытых более молодыми образованиями значительной мощности и, в частности, траппами. В подобных условиях поиски скрытых кимберлитовых тел, как известно, производятся с помощью буровых скважин: использование в этом случае значительных по размерам первичных ореолов даст возможность резко расширить радиус информационного действия каждой скважины, что, в свою очередь, позволит разредить сеть буровых скважин.

При поисках перекрытых месторождений иногда в качестве эффективного элемента-индикатора используется ртуть, отличительной особенностью которой является способность формировать как литохимические ореолы (первичные и вторичные), так и атмосферические (газовые) ореолы рассеяния. Последние, как известно, «генерируются» первичными ореолами и являются эффективными индикаторами перекрытых и погребенных месторождений.

Вокруг кимберлитовых тел по ряду разрезов В. А. Бородиным установлены повышенные по сравнению с фоном концентрации ртути. Анализ геохимических проб на ртуть производился атомно-абсорбционным и атомно-флюоресцентным методами, отличающимися высокой чувствительностью и возможностью определения не только валовых содержаний, но и концентраций различных форм нахождения ртути.

Повышенные содержания ртути установлены в кимберлитах и их экзоконтактах по результатам изучения 12 трубок Якутии.

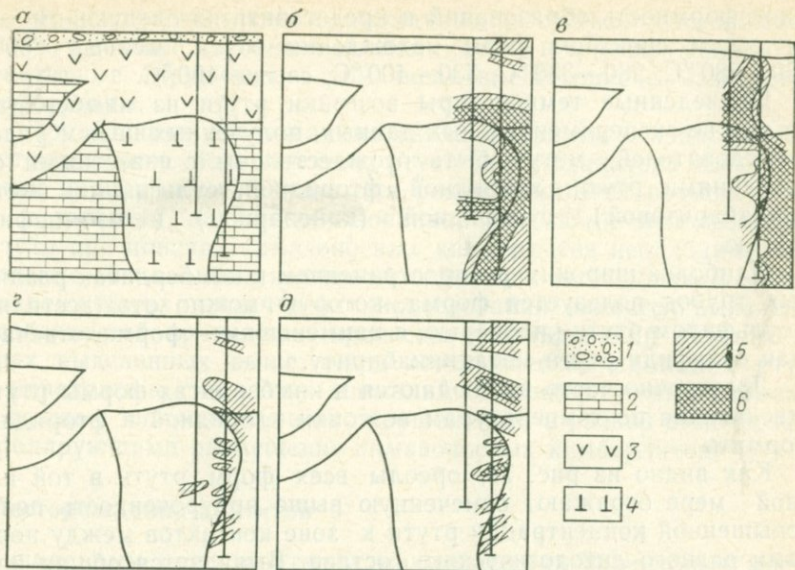


РИС. 74. Распределение ртути в разрезе кимберлитовой трубки:

a — геологический разрез; первичные ореолы ртути: *б* — по валовому содержанию, *в* — по результатам возгонки при температурах 180—230 °С (*г*), 330—400 °С (*д*), и более 400 °С (*е*); 1 — четвертичные отложения; 2 — известняки; 3 — траппы; 4 — кимберлиты; 5, 6 — ореолы ртути (5 — повышенных содержаний)

Наиболее интенсивные ореолы ртути (анализ валовых концентраций) четко локализируются вдоль контактов кимберлитов с вмещающими породами. В самих кимберлитах отмечаются повышенные содержания ртути лишь в непосредственной близости от контакта с перекрывающими траппами либо в зоне крутопадающего контакта их с вмещающими карбонатными породами (рис. 74). Ширина ореола ртути вдоль крутопадающего контакта кимберлита достигает 50 м при значительно большей вертикальной протяженности.

Результаты валового атомно-абсорбционного анализа в дальнейшем использовались для определения точной навески пробы, анализировавшейся на формы нахождения ртути. Из-за различия энергии связи разрушение различных форм нахождения ртути (минералов либо ее соединений) происходит при разных температурах. Несмотря на то, что полуширина температурных интервалов отдельных соединений (описываемых законом распределения, близким к нормальному) относительно велика (30—50 °С), можно достаточно точно различить основные формы нахождения ртути, поскольку обычно число одновременно наблюдаемых форм невелико (1—3), а температура максимума импульса определяется с достаточно высокой точностью (± 10 °С).

Результаты изучения форм нахождения ртути в кимберлитах из различных трубок на рис. 74 представлены типичными графиками возгонки ртути. Они позволяют отметить

многоформность образований и представить их следующим термическим спектром форм нахождения ртути: меньше 230°C, 230—280°C, 280—330°C, 330—400°C, свыше 400°C.

Приведенные температуры возгонки ртути из кимберлитов на основе экспериментальных данных, полученных целым рядом исследователей, могут быть отождествлены с известными соединениями ртути: хлоридной, фторидной, сульфидной (метациннабаритовой), сульфидной (киноварной) и изоморфной ртутью.

Наиболее широким распространением в кимберлитах различных трубок пользуется форма, которую можно отождествлять с сульфидом ртути киноварью, а наименьшим — форма, отвечающая сульфиду ртути метациннабариту.

Достаточно часто наблюдаются в кимберлитах формы ртути, отвечающие по температурам возгонки хлоридной и фторидной формам.

Как видно из рис. 74, ореолы всех форм ртути в той или иной мере отражают отмеченную выше приуроченность полей повышенной концентрации ртути к зоне контактов между породами разного литологического состава. Выявляется общая картина геохимической зональности, выражающаяся в накоплении сульфидной формы ртути на флангах трубки и во вмещающих породах с некоторым смещением центра тяжести в лежащий бок трубки. Подобным же образом ведет себя форма, отвечающая изоморфной ртути, аномалии которой практически отсутствуют в центральной части кимберлитового тела. Характерно, что низкотемпературные формы ртути накапливаются в кимберлитах и перекрывающих их траппах. Причем форма ртути с низкой температурой возгонки в интервале 180—230°C четко локализуется в вышележащих траппах до современной поверхности. Это обстоятельство определяет большое практическое значение низкотемпературной формы ртути как индикатора перекрытых траппами алмазоносных кимберлитов.

Установленный факт проникновения низкотемпературных форм ртути в перекрывающие алмазоносные кимберлиты более молодые по возрасту траппы свидетельствует о сложной природе ореолов ртути. Очевидно, что в данном случае ореолы ртути не являются строго первичными по отношению к кимберлитовым телам. В составе ореолов ртути следует выделить по крайней мере две составляющие: 1) собственно первичные ореолы, сформированные одновременно с кимберлитовыми телами; можно предположить, что в этих ореолах преобладающей формой нахождения ртути будут высокотемпературные формы; 2) вторичные ореолы рассеяния ртути, образованные в результате проникновения ртути в газообразном состоянии в перекрывающие кимберлитовые породы, в частности траппы; как уже отмечалось, эти по существу наложенные ореолы рассеяния ртути представлены ее легковозгоняемыми (низкотемпературными) формами.

Не исключено также и существование третьей составляющей ртути, имеющей глубинное происхождение и трассирующей дизъюнктивные нарушения, в том числе вмещающие алмазоносные кимберлиты.

Приведенные выше данные свидетельствуют о значительных потенциальных возможностях ртути как индикатора алмазоносных кимберлитов. Однако для реализации этих возможностей и разработки научно обоснованной методики использования ртути при поисках алмазоносных кимберлитов необходимо проведение специальных научно-методических исследований. Одной из важнейших задач этих исследований является выяснение особенностей проявления процессов формирования каждого из трех выделенных выше типов геохимических аномалий ртути и определение связи этих аномалий с кимберлитовыми телами, а также с дизъюнктивными нарушениями, в разной степени контролируемыми размещением алмазоносных кимберлитов.

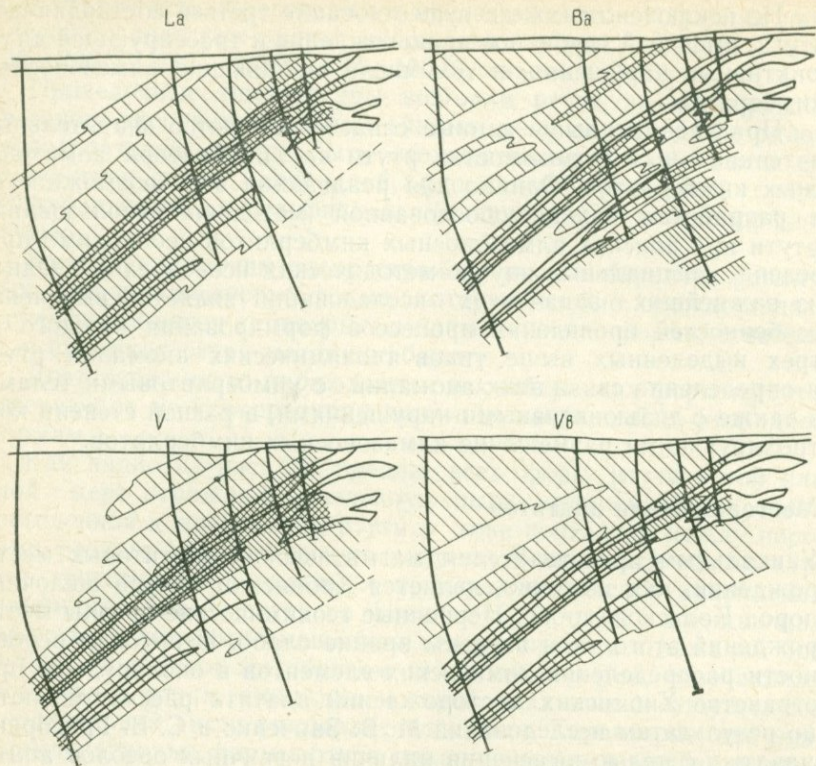
Месторождения апатитов

Уникальным представителем магматических апатитовых месторождений, как известно, является Хибинский массив щелочных пород Кольского п-ова. Первичные геохимические ореолы месторождений этого типа изучены крайне слабо. Некоторые особенности распределения химических элементов в окколорудном пространстве Хибинских месторождений апатита рассматриваются по результатам исследований М. В. Заиченко и С. В. Григоряна, начатых с целью выяснения наличия первичных ореолов апатитовых месторождений и возможности их практического применения.

На месторождениях Хибинского массива изучались особенности распределения следующих элементов; P, Sr, Ce, La, Y, Yb, Ba, Mn, Cr, Ni, Co, V, Cu, Pb, Zn, Sn, Nb, Mo, Sc, Ca, Ti и Zr. В результате обработки результатов геохимического опробования по ряду разрезов были выделены три группы химических элементов, отличающихся по характеру распределения в окколорудном пространстве.

К первой группе относятся элементы, наиболее характерные для верхних частей рудоносных зон (P, Zr, Ce, Zr, Y, Yb и Ba). Максимумы концентраций этих элементов приурочены к рудным телам, преимущественно к их верхним частям. Из перечисленных элементов надрудный характер особенно ярко проявлен для бария, о чем свидетельствуют контрастные поля повышенных содержаний его в надрудных частях рудоносных зон.

На рис. 75 показано распределение по разрезу VIII месторождения Коашва лантана, бария, иттрия и иттербия — наиболее характерных представителей элементов-индикаторов. Несмотря на сложное строение рудоносных зон, наличие группы сближенных рудных залежей, перечисленные элементы проявляют отчетливую тенденцию накопления в верхних частях



рудноносных зон, обуславливая геохимическую зональность в строении первичных ореолов.

Ко второй группе относятся элементы, поля повышенных концентраций которых обычно приурочены к нижним частям рудоносных зон (Cu, Pb, Sn, Ni, Co, Zn, Cr, V, Mo, Sc, Ga и Mn). Максимумы концентраций этих элементов, как правило, приурочены к вмещающим породам. Приуроченность полей повышенных содержаний элементов второй группы к нижним частям рудоносных зон показана на рис. 75.

К третьей группе отнесены элементы, в распределении которых выдержанных закономерностей не установлено; они обычно протягиваются в виде узких зон как в рудных телах, так и во вмещающих породах и однозначной приуроченности к определенным частям изученных разрезов не проявляют. Характерными представителями этой группы являются титан, цирконий и ниобий.

Расчет показателя зональности позволил установить, что геохимическая зональность в распределении элементов на исследованных месторождениях Хибинского массива может быть выражена следующим рядом (от подрудных к надрудным): (Cu, Cr)—(Ni, Pb, Zn, Co)—Sn—(Sc, V, Ti, Mo)—(Nb, Zr)—

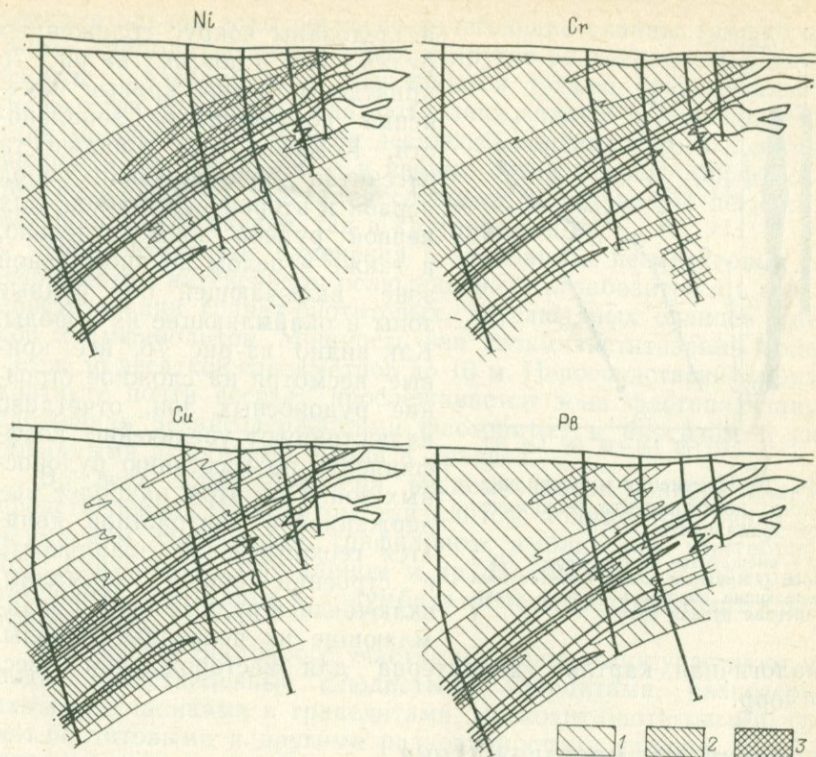


РИС. 75. Распределение элементов-индикаторов по разрезу VIII месторождения Кошва.

Содержание (в %): 1 — 0,05—0,1 La; 0,03—0,1 Ba; 0,0005—0,001 Y, 0,0001—0,0003 Yb; 0,0001—0,0003 Ni и Cr, 0,003—0,1 Cu; 0,0003—0,001 Pb; 2 — 0,01—0,1 La, 0,1—0,3 Ba, 0,001—0,05 Y, более 0,003 Yb, более 0,001 Ni и Cr, 0,0001—0,03 Cu, 0,001—0,003 Pb; 3 — более 0,1 La, 0,005—0,01 Y, более 0,03 Cu

P—(Ga, Mn)—Ce—(Sr, Yb)—(La, Y)—Ba. В связи с тем, что некоторые элементы (Mn, Ga, Zr, Nb, Mo, Ti, V, Sc) не имеют четкого дифференцированного распределения на изученных месторождениях, можно рекомендовать следующий упрощенный ряд: (Cu, Cr)—(Ni, Pb, Zn, Co)—Sn—P—Ce—(Sr, Yb)—(La, Y)—Ba. Исходя из этого ряда, в качестве оценки геохимической зональности выбрано мультипликативное индикаторное отношение: $Ba \cdot Y \cdot La \cdot Yb / Cu \cdot Cr \cdot Ni \cdot Pb$, которое представляет отношение произведений средних содержаний надрудных и подрудных элементов, рассчитанное по каждому из сечений.

Затем были построены графики изменения по падению рудноносных зон приведенного индикаторного отношения — мультипликативного коэффициента геохимической зональности, значения которого откладывались по оси абсцисс в логарифмическом масштабе; по оси ординат — расстояние между сечениями по разрезу с привязкой к рудным телам (рис. 76). По описываемому разрезу особенности распределения химических элементов

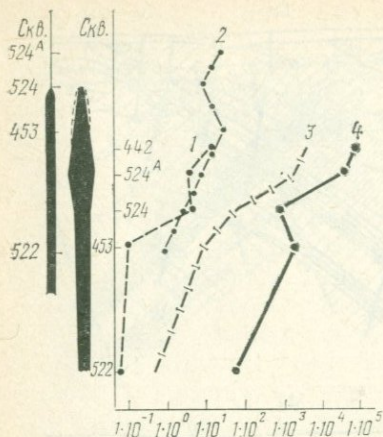


РИС. 76. Изменения мультипликативного коэффициента геохимической зональности.

1—2 — вмещающие породы первой (1) и второй (2) рудных зон; 3 — общая зона (вмещающие породы и рудные тела); 4 — первая рудная зона

исследованы вокруг сближенных рудных зон, и поэтому на рис. 76 приведены четыре кривые изменения коэффициента зональности. Коэффициент зональности рассчитан для вмещающих пород первой и второй рудных зон, для первой рудной зоны отдельно, а также в целом по аномальной зоне, включающей обе рудные зоны и окаймляющие их породы. Как видно из рис. 76, все кривые, несмотря на сложное строение рудоносных зон, отчетливо иллюстрируют увеличение коэффициента по восстанию рудоносных зон. При этом наиболее выдержанной и контрастной является геохимическая зональность в строении общей аномалии, включающей рудные зоны и окаймляющие их первичные ореолы.

Аналогичная картина характерна для месторождения Эвеслогчорр.

ПЕГМАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Особенности состава и строения первичных ореолов пегматитовых месторождений рассматриваются на примере двух редкометальных пегматитов. Выбор этого типа пегматитов не является случайным: редкометальные пегматиты являются источником многих элементов, и задача повышения эффективности их поисков путем включения в комплекс поисковых работ высокоэффективных методов, в том числе и геохимических, продолжает оставаться актуальной.

Первичные геохимические ореолы редкометальных пегматитов ниже рассматриваются на примере двух месторождений, изученных Н. А. Виноградовой и автором.

Редкометальные пегматиты Украины. Редкометальная зона сложена среднепротерозойской толщей сланцев, мета- и ультрабазитов, метаморфизованных в меньшей степени, чем метаморфические толщи остальной части массива. В разрезе этой площади развиты биотитовые, гранатовые, ставролитовые, амфиболитовые и хлоритовые сланцы, амфиболиты, ультрабазиты (пироксениты, тремолиты, актинолититы), гравелиты и конгломераты. Редкометальные пегматиты и вмещающие их породы наиболее детально изучены в центральной части пегматитового поля. Первичные ореолы редкометальных пегматитов на этом месторождении изучены на двух участках. На Западном участке

редкометальной зоны согласно залегающие сланцы (амфиболитовые, тремолит-актинолитовые и другие разновидности), амфиболиты и ультрабазиты прорываются телами редкометальных пегматитов. Последние слагают линзовидные и жилоподобные тела мощностью от первых десятков сантиметров до десятков метров и протяженностью в первые сотни метров. Морфология тел и условия их залегания сложные. Установлены пегматиты как пологозалегающие, так и крутопадающие.

Экзоконтактовые изменения в зальбандах пегматитовых тел выражены в интенсивном ослюденении ультрабазитов и в гольмквиститизации гранат-биотитовых, двуслюдяных сланцев, гнейсов и амфиболитов. Мощность зон гольмквиститизации колеблется до десятков сантиметров до 10 м. Непосредственно в экзоконтакте почти всегда прослеживается зона флогопитизации, сложенная цезийсодержащими флогопитом и биотитом и сноповидными агрегатами шера и дравита.

Во всех зонах отмечена редкометальная минерализация, представленная тапиолитом, танталитом, колумбитом, бериллом, изумрудом, сподуменом, трифилином, амблигонит-монтебразитом, циртолитом, турмалином и др. Наибольшие концентрации тапиолита, танталита и колумбита отмечены в мусковит-альбитовых зонах.

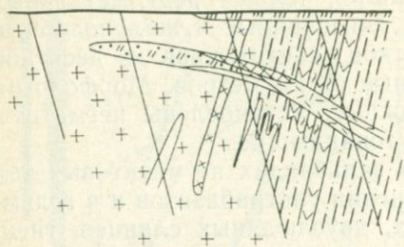
В строении Восточного участка месторождения участвуют породы, представленные слюдистыми кварцитами, разнозернистыми песчаниками и гравелитами, мусковит-биотитовыми, гранит-биотитовыми и другими разновидностями сланцев. Породы имеют близкое к широтному простирание и крутое ($70-80^\circ$) падение на юг. Южная часть сложена метаморфизованными ультрабазитами.

Изучение первичных геохимических ореолов проводилось на разведанном месторождении, пегматитовые тела и первичные ореолы которого вскрыты скважинами и горными выработками. Ореолы изучались по разрезам, ориентированным вкрест простирания пегматитовых тел. Исследованы первичные ореолы не только слепых, но и выходящих на эрозионную поверхность рудных тел.

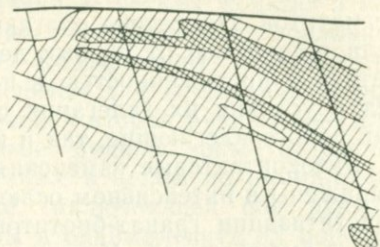
Ниже описываются первичные геохимические ореолы по трем наиболее типичным разрезам месторождения (рис. 77, 78). В разрезе I—70 вскрыто пегматитовое тело микроклин-альбитового состава со сподуменом, которое залегаёт в гранодиоритах, биотит-гранатовых, гранат-биотитовых и амфибол-гранат-биотитовых сланцах. Под основной жилой в нижней части разреза подсечены мелкие пегматитовые прожилки.

При изучении первичных ореолов редкометальных пегматитов наряду с экспрессным спектральным анализом были использованы и некоторые специальные прецизионные методы для исследования особенностей распределения в околорудном пространстве ряда типоморфных для пегматитов, но «неудобных» для экспрессного спектрального анализа элементов (неудовлетво-

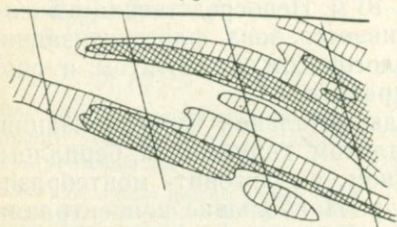
Геологический разрез



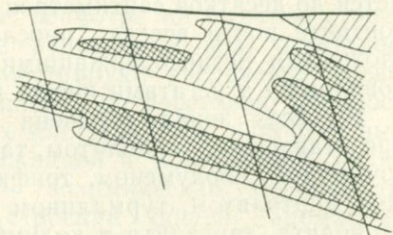
Pb



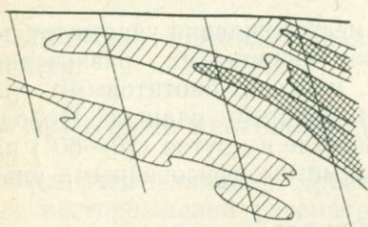
Li



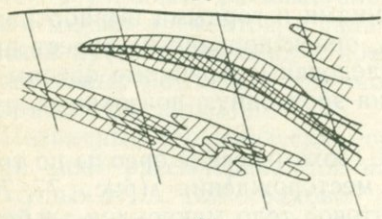
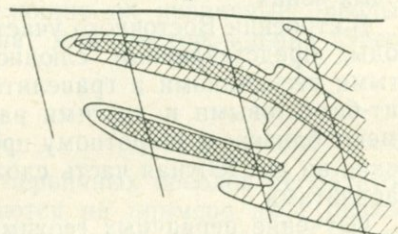
B



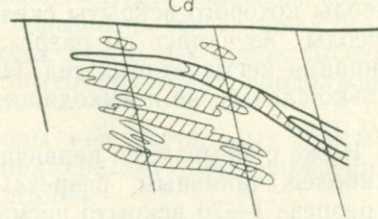
Cs



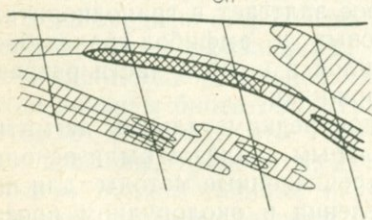
Ta



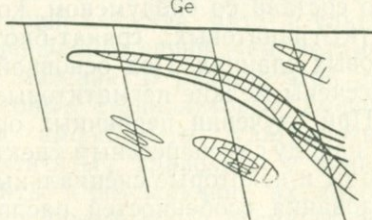
Be



Cd



Sn



Ge

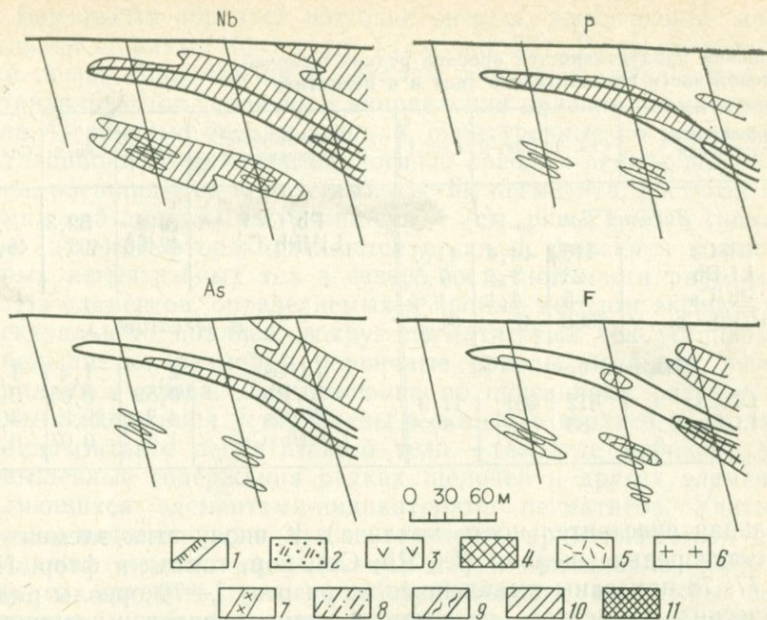


РИС. 77. Первичные ореолы по разрезу I-70:

1 — почвенно-растительный слой и суглинки; 2 — кварц-мусковитовый пегматит; 3 — кварц-альбит-микроклиновы пегматит; 4, 5 — зоны блокового микроклина (4) и сахаровидного альбита (5); 6 — гранодиориты разнейсованные; 7 — амфиболиты; 8 — сланцы биотит-гранатовые, гранат-биотитовые, амфибол-биотит-гранатовые; 9 — оливин-серпентин-тремолитовые породы; 10, 11 — первичные ореолы (11 — поля максимальных значений)

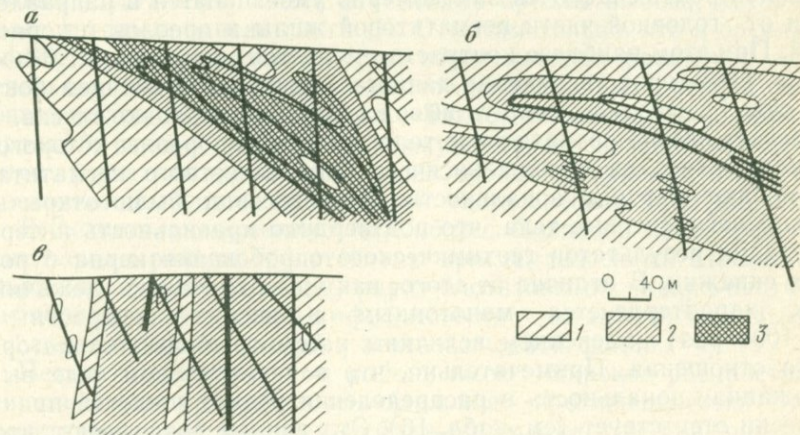


РИС. 78. Мультипликативные ореолы редких щелочных металлов по разрезам II-70 (а), I-70 (б) и III-70 (в).

Содержание Li·Rb·Cs (в %): 1 — $3 \cdot 10^{-11}$ — $1 \cdot 10^{-8}$; 2 — $1 \cdot 10^{-8}$ — $1 \cdot 10^{-6}$; 3 — более $1 \cdot 10^{-6}$

Отношения продуктивностей ореолов редких щелочей
в боковой части пегматитового тела и в пегматите

Индикаторные отношения	Скв. 3	Скв. 2	Скв. 1	Индикаторные отношения	Скв. 3	Скв. 2	Скв. 1
<i>Висячий бок</i>				Pb/Cs Li²/Pb·Cs	6,2 42496	52,3 1405	3,1 46,5
Li/Cs	116	14,4	11,6				
Li/Pb	23	3,3	7,5				
Pb/Cs	5	4,4	1,6				
Li ² /Pb·Cs	2668	42	81,2	<i>В пегматите</i>			
<i>Лежачий бок</i>				Li/Cs Li/Pb Pb/Cs Li²/Pb·Cs	2,7 0,59 4,7 1,6	1,4 0,05 29,5 0,07	1,5 0,43 3,3 0,6
Li/Cs	512	281	11,9				
Li/Pb	83	5,4	3,9				

рительная чувствительность анализа). К числу этих элементов относятся редкие щелочи (Li, Rb, Cs), бор, тантал и фтор. На рис. 77, 78 показаны выявленные по разрезу I—70 ореолы ряда химических элементов, развитые в гранодиоритах и сланцах. Наиболее широкие ореолы образуют редкие щелочи: ширина ореола лития превышает мощность пегматитового тела в 3—8 раз. Рубидий и цезий образуют более узкие ореолы (см. рис. 77, 78). В отличие от рубидия и цезия, которые концентрируются в пегматите, литий преимущественно концентрируется во вмещающих породах, где его содержание в 2—4 раза выше, чем в пегматите.

Как следует из табл. 16, парные отношения продуктивностей ореолов редких щелочей закономерно уменьшаются в направлении от головной части пегматитовой жилы и ореолов к корневой. При этом наиболее контрастно меняется отношение $Li^2/Pb \times Cs$. Некоторое увеличение данного отношения в висячем боку по скв. 1 позволило сделать вывод о том, что недалеко от скв. 1 залегает слепое пегматитовое тело, надрудные ореолы которого, накладываясь на ореолы висячего бока известного пегматита, нарушают картину зональности. Впоследствии были открыты новые пегматитовые тела, что подтвердило правильность интерпретации результатов геохимического опробования керна буровых скважин. В отличие от этого, как уже отмечалось, лежачий бок характеризуется монотонным и весьма контрастным (≈ 1000 раз) изменением величины рассмотренного индикаторного отношения. Примечательно, что в пегматитовом теле выдержанная зональность в распределении редких щелочей практически отсутствует (см. табл. 16). Эти данные показывают, что в отношении геохимической зональности первичные ореолы по сравнению с пегматитовыми телами являются более информативными.

Бор также образует широкие ореолы, достигающие максимальной ширины (40 м) в скв. 1 (см. рис. 77). По своим параметрам ореол бора близок к ореолам редких щелочей: для него устанавливается усиление в направлении падения пегматитового тела. Первичные ореолы тантала, оконтуренные по результатам активационного анализа, аналогично ореолам редких щелочей и бора, расширяются к корневым частям пегматита, достигая максимальной ширины на уровне скв. 1 (см. рис. 77, 78). Аномальные значения фтора появляются в скв. 1, фиксируя появление новых пегматитовых тел в северо-восточной части разреза.

Из элементов, определяемых в пробах методом экспрессного спектрального анализа, вокруг пегматитовых тел установлены небольшие по размерам первичные ореолы мышьяка, ниобия, бериллия и олова. Для мышьяка по описанному разрезу значимые содержания установлены в скв. 1 (в верхней ее части) и в эндоконтакте пегматитового тела — там, где зафиксированы повышенные содержания редких щелочей и других элементов, являющихся элементами-индикаторами пегматитов. Учитывая весьма недостаточную чувствительность применявшегося спектрального анализа на мышьяк (0,010 % при кларке 0,0002 %), следует признать, что в действительности возможны более широкие и интенсивные ореолы этого элемента, а нами выявлены только поля наиболее высоких концентраций. Это обстоятельство позволяет считать, что мышьяк может оказаться одним из наиболее эффективных элементов-индикаторов данного оруденения, если использовать более высокочувствительные методы анализа геохимических проб на этот элемент.

Такие элементы, как ниобий, бериллий, олово, образуют более узкие ореолы по сравнению с ореолами редких щелочей.

Характерно, что вокруг пегматитовых жил наряду с ореолами привноса устанавливаются отчетливые ореолы выноса, которые более детально описаны в гл. II. Отметим только, что в ореолах выноса намечается зональность, обусловленная различной степенью выноса химических элементов из различных уровней околопегматитового пространства. Такие элементы, как барий, стронций, свинец, выносятся преимущественно из корневой части жилы, тогда как цинк, хром, медь, кобальт, цирконий и другие в основном выносятся из головной части ореолов (см. рис. 49).

Редкометалльные пегматиты Сибири. Осадочно-метаморфические породы района представлены кристаллическими сланцами: кварц-биотитовыми, кварц-гранат-биотитовыми, кварц-биотит-амфиболитовыми, кварц-амфиболитовыми, метаморфизованными в условиях амфиболитовой и зеленокаменной фаций.

Пегматиты в изученном районе имеют широкое распространение и характеризуются значительной протяженностью. Они представляют собой системы сближенных жил, группирующихся в жильные зоны, часто ветвятся, наблюдаются раздувы и пережимы. Со вмещающими породами пегматиты залегают согласно. Экзоконтактовые изменения вмещающих пород выражены

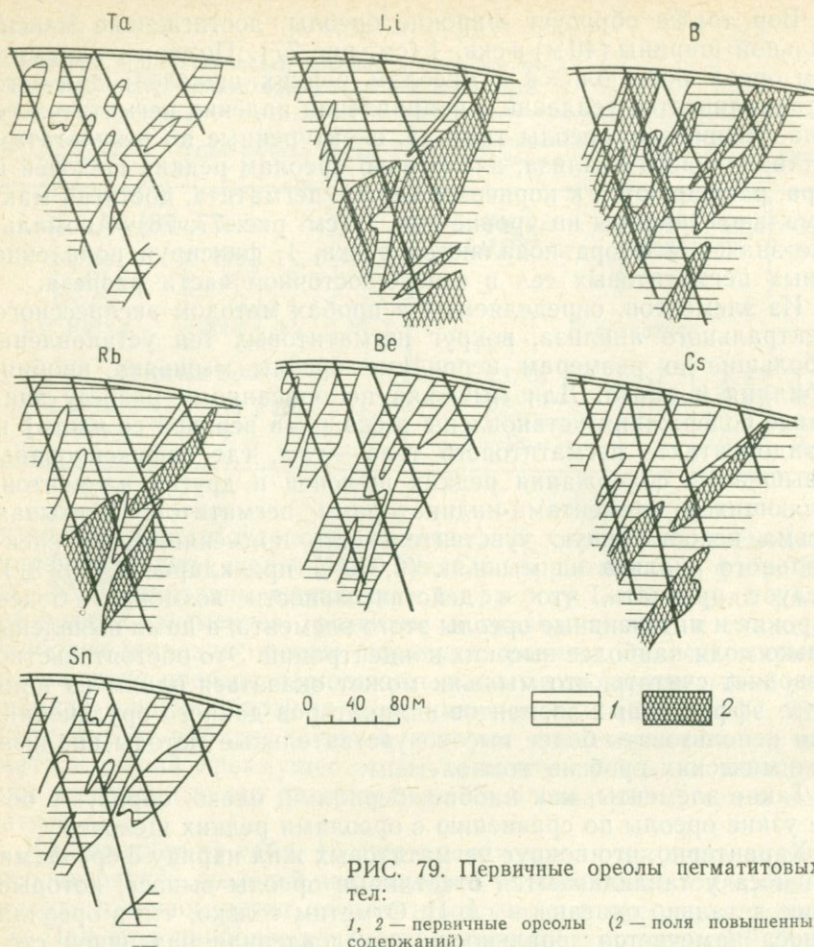


РИС. 79. Первичные ореолы пегматитовых тел:

1, 2 — первичные ореолы (2 — поля повышенных содержаний)

в появлении биотита, турмалина, кварца, гольмквистита, мусковита, карбоната, цоизита и сульфидов.

Большинство пегматитовых тел имеет сложное строение и характеризуется отсутствием четкой зональности, непостоянством развития структурно-минералогических комплексов, невыдержанностью их как по простиранию, так и по падению. Границы между комплексами четкие, но часто неровные. Известны следующие типы пегматитов: микроклин-сподуменовый, микроклин-альбитовый со сподуменом и поллучитом, альбит-сподуменовый.

Приведенный на рис. 79 разрез вскрывает группу пегматитовых жил, в основу сложенных двумя структурно-минералогическими комплексами: мелкозернистым или аплитовидным кварц-альбит-сподуменовым и средне- или крупнозернистым микроклин-альбит-сподуменовым. Жилы залегают преимущественно

в кварц-биотитовых и биотит-амфиболовых сланцах, в милонитах и амфиболитах и характеризуются сложноветвящимся строением. Пегматитовые жилы пересекаются дайкой диабазов.

Первичные ореолы лития, рубидия и цезия практически занимают всю площадь разреза, для цезия характерно несколько большее количество фоновых «окоп» (см. рис. 79). Из-за того, что в данном разрезе наблюдается очень частое переслаивание пегматитовых жил с вмещающими породами, размеры ореолов определить практически невозможно. Но ореол цезия несколько уже по сравнению с ореолами лития и рубидия. Бор также образует широкое аномальное поле в отличие от других элементов (бериллий, олово, ниобий, фосфор, таллий и др.), ширина ореолов которых составляет не более первых метров.

Наряду с ореолами привноса по описываемому разрезу установлены ореолы выноса тех же элементов, что и на описанном выше месторождении Украины. Идентичным является не только элементный состав ореолов выноса, но и их зональность. Как следует из рис. 77, моноэлементные ореолы слепого пологозалегающего пегматитового тела обычно также являются слепыми: они не достигают верхней границы коренных рудовмещающих пород. Очевидно, что использование подобных ореолов при поисках слепых тел затруднительно, поскольку они не могут быть выявлены путем опробования коренных пород на поверхности (открытые районы) или же керн картировочных скважин при поисках в пределах площадей, перекрытых аллохтонными отложениями. С целью усиления этих ореолов был использован метод построения мультипликативных ореолов. Даже мелкие пегматитовые жилы крутого падения сопровождаются мощными и контрастными мультипликативными ореолами редких щелочей (см. рис. 78).

В случае с пологозалегающими слепыми пегматитовыми телами мультипликативные ореолы редких щелочей достигают верхней границы рудовмещающих пород. Очевидно, что по сравнению с моноэлементными использование мультипликативных ореолов при поисках слепых пегматитовых жил будет более эффективным. Наряду с более высокой контрастностью и значительными размерами мультипликативные ореолы обладают еще одним существенным преимуществом, а именно: более равномерным распределением, практически полным отсутствием в пределах ореолов «пустых» (фоновых) участков. Это обстоятельство особенно важно при поисках по первичным ореолам перекрытых аллохтонными отложениями рудных тел и месторождений, когда картировочные скважины бурятся по редкой сети и на ограниченную глубину.

Зональное строение первичных ореолов исследованных пегматитовых месторождений отражено на графиках изменений с глубиной (по падению рудных тел) различных мультипликативных индикаторных отношений (рис. 80, а также см. рис. 51). Как видно из рис. 51, для редких щелочей и ореолов выноса

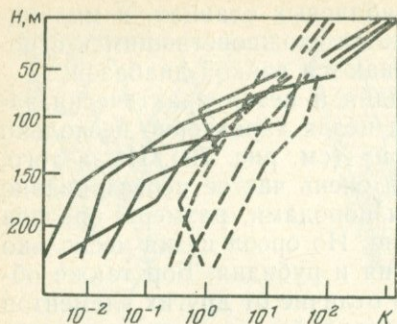


РИС. 80. Изменения с глубиной значений индикаторных отношений мышьяка и вольфрама по различным разрезам Украинского пегматитового поля и Сибирского месторождения.

Сплошные линии — по линейным продуктивностям, пунктирные — по средним содержаниям

выявляется зональность, единая только качественно: графики по отдельным разрезам резко растянуты по оси абсцисс, отражая значительные вариации значений на одинаковых уровнях. Диапазоны этих значений существенно перекрываются, что практически исключает возможность надежной оценки с помощью этих индикаторных отношений уровня аномалий относительно оруденения по одному пересечению. В отличие от этого отношения средних содержаний мышьяка и вольфрама разных разрезов и месторождений весьма сближены по оси абсцисс и благодаря значительному градиенту монотонных изменений позволяют однозначно дифференцировать различные уровни первичных ореолов.

Как следует из рис. 65, 105, адекватные сечения ореолов пегматитовых тел как одного, так и другого месторождения характеризуются весьма близкими значениями указанного индикаторного отношения, т. е. в строении ореолов этих элементов выявляется зональность, единая не только качественно, но и количественно. Это означает, что рассматриваемое индикаторное отношение (As/W) может быть использовано в качестве оценки геохимической зональности не только в пределах исследованных пегматитовых полей, но и далеко за их пределами на новых площадях, где «эталонные» месторождения еще не выявлены и геохимически не изучены.

КАРБОНАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Некоторые особенности первичных геохимических ореолов этого типа месторождений рассматриваются на примере Ковдорского массива. Геохимические ореолы этого типа месторождений практически не изучены, и поэтому приводимые ниже данные Б. С. Зеликсона и автора представляют собой результаты первого опыта подобных работ и в последующем могут быть существенно дополнены.

Ковдорский массив расположен в восточной части Балтийского щита, входит в состав Салмагорско-Ковдорского пояса

каледонских щелочно-ультраосновных интрузий и залегает в толще биотито-олигоклазовых гнейсов и гранитогнейсов беломорской серии архея. Он является многофазной интрузией центрального типа и в плане имеет концентрически зональное строение, обусловленное последовательным внедрением вдоль кольцевых разломов различных по возрасту и составу интрузий, сопровождающихся мощным метасоматозом вмещающих пород. Центральная часть массива сложена гипербазитами, периферическая — щелочными породами. В промежуточной зоне располагаются различные по составу метасоматиты. Гнейсы в зоне экзоконтакта интенсивно фенитизированы. Мощность ореола фенитизации от 0,5 км в северной части массива до 1,5 км в южной его части. В формировании массива четко устанавливаются четыре этапа: гипербазитовый, щелочной (мельтейгит-турьяитовый), сиенитовый и карбонатитовый.

Ядро массива сложено оливинитами и их фациальными аналогами — рудными оливинитами. Рудные оливиниты распространены в центральной части оливинитового ядра. Типы оруденения: прожилковое и вкрапленное. Участок с прожилковым оруденением расположен в северо-западной части. Оливиниты рассечены множеством крутопадающих жил форстерит-магнетитового состава северо-западного, северо-восточного простирания. Падение жил крутое 70—75°. Оливиниты с вкрапленным оруденением распространены в юго-восточной части ядра. В северной и северо-западной частях массива выявлены крупные тела оливинсодержащих метасоматитов, также обладающих повышенным содержанием никеленосного магнетита.

В первую фазу щелочного этапа сформировалась интрузия якупирангитов, расположенная в юго-восточной части массива и образующая в плане подковообразную зону. Якупирангиты пространственно расположены между слюдяно-пироксеновыми породами и ийолитами. Слюдиты и слюдяно-пироксеновые породы с титаномagnetитом приурочены к зоне контакта якупирангитов с гипербазитами. Внедрение интрузии якупирангитов сопровождалось метасоматозом оливинитов, превратившихся при этом в слюдяно-пироксеновые породы и слюдиты с титаномagnetитом.

Во вторую фазу щелочного этапа по коническим разломам, окаймляющим массив, произошло внедрение щелочной магмы мельтейгит-турьяитового состава. Эти породы в виде прерывистой полосы, не выдержанной по мощности, слагают внешнюю краевую зону массива. Участками щелочные породы выклиниваются, и в непосредственном контакте с фенитами наблюдаются якупирангиты или измененные гипербазиты. К эндоконтакту щелочной интрузии приурочены своеобразные фациальные аналоги ийолитов — турьяиты, которые располагаются в северной и восточной частях массива. Переходы между ийолитами и турьяитами постепенные. Внедрение щелочной интрузии сопровождалось еще более мощным метасоматозом вмещающих

гипербазитов и кислых пород. По гнейсам возникли разнообразные фениты, образующие сплошной ореол вокруг массива.

Сиенитовый этап представлен преимущественно дайками различного состава, структуры, текстуры, возраста. Выделяются дайки полевошпатовых ийолитов, ювитов и нефелиновых сиенитов, нефелинитов. Трахитоидными нефелиновыми сиенитами сложен Малый Ковдорский массив, расположенный во вмещающих фенитизированных гнейсах на северо-востоке массива. Эти дайки отмечаются среди гипербазитов, щелочных пород и метасоматитов магматических стадий. Они пересекают дайки ранних ийолитов, прорывают все разновидности скарноподобных флогопитовых пород, апатит-форстерит-магнетитовые руды. Нефелиниты из них являются наиболее молодыми магматическими породами, рвущими форстерит-кальцитовые карбонатиты.

Карбонатитовый этап — наиболее сложный и многостадийный. К породам первой стадии карбонатитового этапа относят скарноподобные гранат-амфибол-монтчеллитовые породы, пространственно тесно связанные с турьянтами, монтчеллитовыми и мелилитовыми породами, а также эгирин-диопсид-кальцитовые карбонатиты. Последние развиты главным образом на крайнем юге массива и располагаются в пределах крупной линейно вытянутой зоны дробления субширотного простирания длиной до 2 км при мощности 250—300 м.

Ко второй стадии карбонатитового этапа относится образование пород и руд флогопитового и железорудного комплексов и сопряженных с ними существенно карбонатных пород — карбонатитов. Породы флогопитового комплекса, представленные флогопит-диопсидовыми и флогопит-диопсид-оливиновыми среднезернистыми породами, образуют широкую подковообразную зону, охватывающую с севера оливинитовое ядро. Руды железорудного комплекса развиты в юго-западной части массива, где они образуют крутопадающий шток — главную залежь, сопровождающуюся рядом мелких боковых тел — сателлитов жиллообразной формы. Строение залежи весьма сложное, что обусловлено большим разнообразием слагающих ее типов и разновидностей руд.

К этой же стадии карбонатитового этапа относится образование апатит-кальцитовых карбонатитов с форстеритом, магнетитом, флогопитом. Карбонатиты представлены сотнями линзо- и жиллообразных тел мощностью от первых метров до сотен метров, залегающих практически во всех породах массива. Наиболее крупные тела карбонатитов располагаются в фенитовом ореоле на юго-западе массива.

В третью стадию образовались кальцит-флогопитовые разновидности с амфилобом, тетрафлогопитом, сульфидами, редкометальными минералами. Они метасоматически замещают образование второй стадии. Доломитовые карбонатиты четвертой стадии образуют маломощные секущие жилы и развиты преимущественно в пределах железорудного месторождения.

В Главной залежи месторождения сосредоточены основные его запасы. Внутреннее строение Главной залежи весьма сложное, что обусловлено разнообразием слагающих ее типов руд. Апатитовые руды слагают периферическую часть залежи, сплошным кольцом окаймляя ее снаружи, а также образуя неправильные тела — ксенолиты, отторженные от периферической каймы во внутренней части залежи. Бадделейт-апатит-магнетитовые руды распространены по всей площади залежи и занимают в ее составе доминирующую роль. Разновидности этих руд особенно многочисленны. Выделяются также форстерит-магнетитовые, апатит-форстерит-магнетитовые, апатит-кальцит-магнетитовые, кальцит-форстерит-магнетитовые, доломит-форстерит-магнетитовые, карбонат-тремолит-магнетитовые и другие разновидности руд. Такой сложный состав и строение массива, естественно, обуславливают исключительно сложный характер и первичных геохимических ореолов.

Детальное геохимическое опробование керн буровых скважин и анализ отобранных проб позволили установить наличие вокруг рудных тел массива отчетливых многокомпонентных первичных геохимических ореолов и исследовать некоторые особенности их состава и внутренней структуры.

В экзоконтактной зоне Ковдорского массива ультраосновных — щелочных пород и карбонатитов установлены геохимические ореолы многих химических элементов. Формирование геохимических ореолов — сложный многостадийный процесс, отражающий основные этапы становления массива. Внедрение щелочной интрузии сопровождалось образованием ореолов, в основном, ниобия, бария, ванадия и меди. Процессы метасоматического преобразования ультраосновных пород фиксируются отчетливыми ореолами никеля, хрома, кобальта, марганца и циркония. Формирование карбонатитов сопровождалось контрастными ореолами фосфора, стронция и редких земель. Изучение особенностей фонового распределения элементов-индикаторов в различных частях массива позволило установить для некоторых элементов отчетливое перераспределение фоновых (сингенетических) количеств. Такое перераспределение в процессе формирования карбонатитов, в частности, наблюдается для молибдена. Установлено, что наибольшей контрастностью характеризуются мультипликативные геохимические ореолы элементов, типоморфных для щелочных пород ($Nb \cdot Ba \cdot V$) и ультрабазитов ($Cr \cdot Ni \cdot Co$). Ширина мультипликативных ореолов в породах северного обрамления массива не превышает 400 м, в то время как на западе она достигает 2,5 км. Относительно большую мощность имеют ореолы, сопряженные с участками развития больших масс карбонатитов.

Продуктивные в отношении флогопита средне- и крупнозернистые флогопит-оливин-диопсидовые породы по сравнению с вмещающими породами обогащены ниобием, цирконием, фосфором, ванадием, оловом и скандием. Пегматондные

флогопит-оливин-диопсидовые породы (руды) сопровождаются привнесением свинца, цинка, меди, марганца и выносом бария, титана, хрома. Породы продуктивной флогопитоносной толщи надежно выделяются по максимально высоким значениям мультипликативного показателя ($Nb \cdot Zr \cdot P \cdot V \cdot Sn \cdot Sc$). Пегматоидные флогопит-оливин-диопсидовые породы (руды) четко выделяются полями максимальных значений мультипликативного коэффициента $Pb \cdot Cu \cdot Mn \cdot Zn / Ba \cdot Ti \cdot Cr^2$. Привнос в процессе образования пегматоидных флогопит-оливин-диопсидовых пород (руд) таких не характерных для щелочного комплекса элементов, как Pb и Zn , свидетельствует о многоэтапном характере этого процесса.

В экзоконтактных зонах карбонатитовых тел установлены геохимические ореолы фосфора, стронция и редких земель. Размеры и интенсивность этих ореолов находятся в прямой зависимости от мощности карбонатитовых тел. Максимальной контрастностью отличаются мультипликативные геохимические ореолы стронция, фосфора, лантана и церия. Ширина этих ореолов вокруг наиболее мощных тел превышает 500 м. Из других геохимических особенностей карбонатитов следует отметить обогащение ранних разновидностей карбонатитов барием, никелем, хромом, ванадием, а поздних — ниобием, цирконием, медью, серебром.

С целью выяснения особенностей формирования вторичных литохимических ореолов и выяснения возможности и надежности использования этих ореолов для обнаружения и интерпретации адекватных им геохимических аномалий в коренных породах на описываемом месторождении проводилось сравнительное изучение геохимических особенностей первичных ореолов и коры выветривания рудоносного массива. В результате установлено, что в процессе формирования коры выветривания на карбонатитах в ней накапливаются фосфор, цирконий, титан, марганец, хром, никель, кобальт, медь, цинк и ряд других элементов. Вынос установлен только для стронция. Существенное накопление в коре выветривания карбонатитов и в измененных гипергенными процессами вмещающих породах широкого круга элементов-индикаторов приводит к образованию весьма контрастных вторичных геохимических ореолов, которые позволяют локализовать поиски как экзогенных, так и эндогенных месторождений. Установлена вертикальная геохимическая зональность коры выветривания, обусловленная закономерным и достаточно контрастным уменьшением с глубиной величин мультипликативного коэффициента зональности $Cr^2 \cdot Ni \cdot Pb \cdot Zr / Sr \times Mn \cdot Y \cdot La \cdot Zr$. В наиболее глубинных частях коры выветривания на границе с зоной дезинтеграции отмечается резкое увеличение этого коэффициента.

В околорудном пространстве месторождения комплексных апатит-магнетит-редкометалльных руд установлены первичные геохимические ореолы фосфора, циркония, ниобия, марганца, стронция, кобальта, хрома, никеля, бария. Фосфор, цирконий,

марганец, стронций и ниобий характеризуются накоплением в рудах и последовательным снижением концентраций по мере удаления от рудной залежи. В отличие от этого барий, никель и хром концентрируются в рудовмещающих толщах, образуют зоны максимальных концентраций на значительном удалении от рудного тела. В соответствии с этим построены характеризующиеся максимальной контрастностью и размерами мультипликативные геохимические ореолы: Sr·P·Mn·Zr·Nb и Ba·Ni·Cr. Эти ореолы наиболее четко отражают зональное в плане строение ореолов, обусловленное развитием наиболее интенсивных ореолов элементов первой группы в пределах внутренней, граничащей с Главной рудной залежью экзоконтактной зоны вмещающих пород шириной до 300 м, на периферии которой развиты наиболее интенсивные ореолы бария, никеля и хрома. Ширина мультипликативных ореолов Sr·P·Mn·Zr·Nb превышает 500 м. Над одним из боковых рудных тел, залегающим на глубине 200 м, установлены аналогичные по составу и строению ореолы, достигающие дневной поверхности. Это означает, что мультипликативные ореолы перечисленных выше элементов-индикаторов могут быть с успехом использованы для фиксации слепых рудных тел комплексного апатит-магнетит-редкометалльного состава. При этом глубинность поисков в данном случае превышает 200 м, по-видимому, существенно, так как в удалении от рудного тела на 200 м первичные ореолы остаются достаточно широкими и интенсивными.

Установлена вертикальная геохимическая зональность первичных ореолов Главной рудной залежи, выраженная в дифференцированном расположении максимумов концентраций элементов в направлении ее падения. Ряд зональности имеет следующий вид (снизу вверх): Sr—Cu—Nb—La—(Y, Zr)—Pb—Ba—Ti—Mn—V—Co—Cr—Ni—Zn. Учитывая сложное строение и многостадийную историю формирования описываемого массива, при изучении геохимической зональности первичных ореолов Главной рудной залежи расчеты проводились для зоны, включающей рудную залежь и непосредственно прилегающие к ней участки соседних образований: основной объем этой зоны занимает рудная залежь, поэтому выявленный ряд зональности прежде всего отражает геохимическую зональность распределения химических элементов непосредственно в самой рудной залежи. Исходя из приведенного ряда, был рассчитан ряд коэффициентов зональности.

Наиболее контрастная вертикальная геохимическая зональность Главной залежи выявляется с помощью приведенного ниже мультипликативного коэффициента геохимической зональности: $K_3 = Cr^2 \cdot Ni \cdot Co \cdot Zn / Sr \cdot Cu \cdot Y \cdot La \cdot Nb$. Расчеты этого коэффициента для различных уровней Главной рудной залежи показали, что верхнерудные горизонты преимущественно бескарбонатных рудных тел характеризуются значениями коэффициента зональности более $n \cdot 10^1$, нижнерудные — менее $n \cdot 10^{-3}$. Для

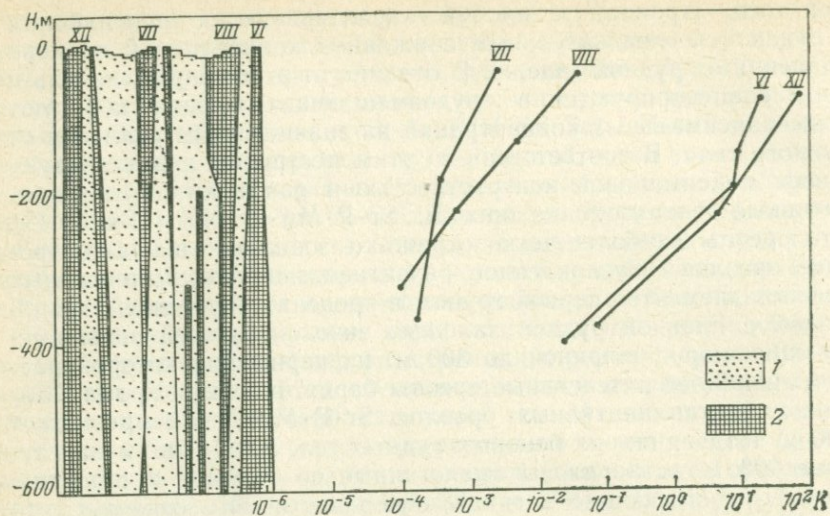


РИС. 81. Изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности:

1 — апатит-кальцитовые руды; 2 — форстерит-магнетитовые и апатит-форстерит-магнетитовые руды. Римскими цифрами обозначены номера разрезов

рудных тел более сложного (апатит-форстерит-магнетитового и апатит-кальцит-магнетитового) состава они меняются от 10^{-2} для верхнерудных горизонтов до $n \cdot 10^{-6}$ для нижнерудных (рис. 81).

Высокая контрастность геохимической зональности описываемой рудной залежи, выявляемая с помощью предложенного мультипликативного коэффициента, может быть использована при оценке уровня эрозионного среза подобных рудных залежей.

Распределение значений коэффициента зональности четко отражает геохимическую зональность не только по вертикали, но и в плане: зональность проявляется в приуроченности к центру рудного тела полей, характеризующихся минимальными ($n \cdot 10^{-7}$ — $n \cdot 10^{-8}$) величинами коэффициента. По мере удаления от центра рудного тела по направлению к периферии залежи наблюдается увеличение значения коэффициента (до 10).

Описанные особенности стереогеохимической зональности, установленные по результатам начального этапа геохимического изучения рассматриваемого типа месторождений, свидетельствуют о целесообразности продолжения детального изучения геохимических особенностей подобных месторождений с целью разработки оптимальной методики использования геохимических методов при поисках и разведке.

СКАРНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Особенности состава и строения первичных геохимических ореолов скарновых месторождений рассматриваются на примере

скарново-полиметаллического, скарново-шеелитового, скарново-железорудного и золоторудного месторождений.

Месторождение Гарпенберг. Скарново-полиметаллическое месторождение Гарпенберг расположено в Средней Швеции и локализовано в докембрийских породах. Рудообразующий процесс на этом месторождении связывается со становлением позднепротерозойских гранитных интрузивов, прорывающих дислоцированную толщу лептитов, содержащих слои доломитов. Здесь выделяются три группы минеральных ассоциаций: скарновая, грейзеновая и сульфидная. Рудные тела залегают в скарново-доломитовых или кварц-серпичитовых породах. Они в основном сложены галенитом, сфалеритом, халькопиритом, пиритом, пирротинном, молибденитом, содержат блеклые руды, антимонит, а также сульфоантимониты свинца и самородное серебро. Жильные минералы представлены кварцем, кальцитом и флюоритом. На верхних горизонтах месторождения руды сильно окислены и нередко образуют скопления в карстовых полостях. Морфология рудных тел сложная. Большей частью они залегают в зонах послонных, крутопадающих разрывов и образуют серии сближенных линз, склоняющихся в направлении поперечных разрывов. Некоторые из них имеют выходы на современную поверхность, другие относятся к группе скрытых тел, что создает определенные трудности при их поисках.

В результате обработки данных геохимического опробования подземных горных выработок и керна буровых скважин вокруг рудных тел исследованного месторождения были выявлены первичные ореолы следующих химических элементов: Pb, Zn, Ag, Cu, Bi, Sn, Co, Mo, Cd, Sb, W. Наиболее широкими и контрастными являются ореолы серебра, свинца, цинка, меди и кадмия. Первичные ореолы основных элементов-индикаторов этого месторождения, выявленные по одному из исследованных разрезов, где первичные ореолы по вертикали прослежены более чем на 500 м, показаны на рис. 82. В разрезе распределение химических элементов в рудных телах и вмещающих их породах изучено по результатам опробования горных выработок и керна скважин на девяти горизонтах.

Сравнительное изучение пространственного положения ореолов отдельных элементов выявляет отчетливую вертикальную зональность в строении общего околорудного геохимического ореола. Ореолы таких элементов, как сурьма, а также кадмий, практически развиты только на уровне верхних частей разреза. В противоположность им ореолы вольфрама, кобальта, никеля и молибдена развиваются на уровне выклинивания рудных тел и ниже. Наиболее ярким представителем последней группы элементов является вольфрам, аномальные концентрации которого установлены только в подрудных частях разреза (см. рис. 82).

Рассмотренная выше вертикальная зональность первичных геохимических ореолов может быть выражена следующим рядом элементов-индикаторов: W—(Co, Ni, Mo)—Bi—Sn—Cu—Zn—

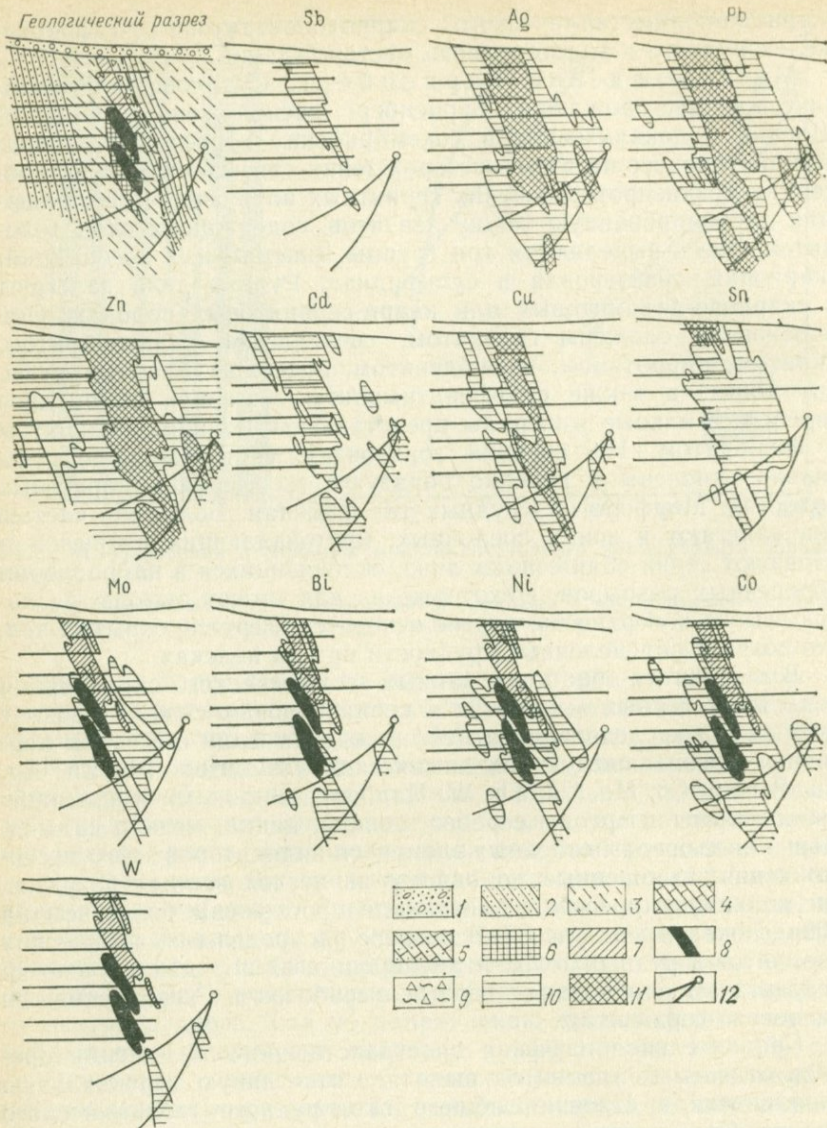


РИС. 82. Первичные ореолы месторождения Гарпенберг:

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

Pb—Ag—Cd—Sb (снизу вверх). Отчетливые «сдвиги» ореолов никеля, кобальта и молибдена относительно друг друга по вертикали не установлены, поэтому в приведенном ряду эти элементы заключены в скобки.

Для количественной характеристики вертикальной зональности первичных ореолов по описываемому разрезу рассчитаны отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов для следующих групп элементов-индикаторов: серебро, свинец, цинк (типоморфный комплекс для верхних сечений ореолов) и медь, висмут, кобальт (индикаторы глубоких срезов ореолов). Как будет показано в гл. XII, с глубиной происходит резкое убывание величины указанного отношения (более чем в 1000 раз на глубину в 400 м). Однако на глубине уже в подрудной части картина резко меняется, и график на уровне самой глубокой скважины фиксирует новый максимум величины индикаторного отношения, фиксирующее появление на глубине новых слепых рудных тел, о чем подробнее будет сказано в заключительной главе этой книги.

Месторождение Баян находится в Северном Казахстане и располагается на северо-восточном крыле антиклинальной складки, сложенной глубоко метаморфизованными породами ранне- и среднепротерозойского возраста, представленными биотитовыми и амфиболовыми гнейсами и сланцами, амфиболитами, гранитогнейсами. Метаморфизованные породы прорваны серией даек аплитовидных гранитов, аплитов, реже спессартитов. Часто встречаются пегматитовые и кварцевые жилы. К северо-востоку от месторождения располагается гранитоидный массив раннесилурийского возраста. На юго-востоке метаморфизованные породы контактируют со среднедевонским гранитным массивом. На площади широкое развитие получили нарушения северо-восточного и северо-западного простирания, менее развиты разломы субмеридионального направления.

Рудные тела на описываемом месторождении локализованы в скарновых зонах эпидот-амфибол-пироксенового, кварц-эпидот-амфиболового, реже гранат-эпидот-амфиболового состава. Они имеют северо-западное простирание с падением на северо-восток под углом 40—60°. На месторождении выделены три метасоматические рудоносные зоны: Северная, Центральная, Южная. Каждая из них сложена серией сближенных рудных тел. Минеральный состав руд месторождения приведен в табл. 17.

Таблица 17

Минеральный состав руд

Главные минералы	Сопутствующие минералы	
	Рудные	Нерудные
Шеелит	Висмутин, самородный висмут, молибденит, галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, самородная медь, арсениопирит, пирротин, киноварь, рутил	Эпидот, диопсид, полевые шпаты, кварц, апатит, гранат, флюорит

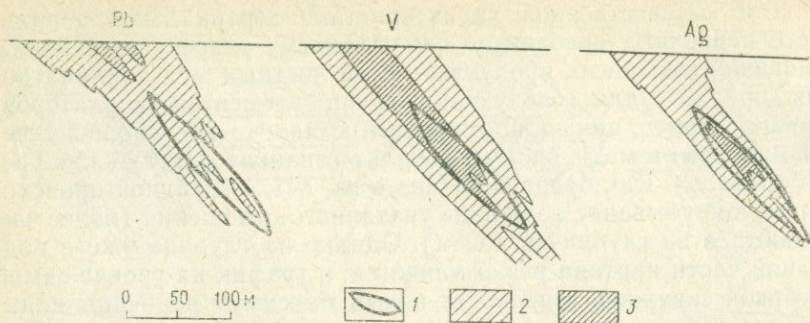


РИС. 83. Первичные ореолы месторождения Баян:

1 — рудное тело; 2, 3 — первичные ореолы (3 — поля повышенной интенсивности)

Первичные геохимические ореолы исследованы Г. Э. Федотовой и автором на Северной метасоматической зоне, находящейся на стадии разведки. Обработка результатов анализа геохимических проб, отобранных из керна скважин и коренных пород на поверхности Северной зоны, позволила установить наличие первичных ореолов целого ряда элементов. Наиболее широкие и интенсивные ореолы вокруг рудных тел и во вмещающих измененных породах образуют W, Cu, Bi, V, Be, Sn, Cr, Mn, Ag, Zn, Pb, Ni, Mo, Co.

Первичные ореолы химических элементов имеют ярко выраженный линейный характер, распространяясь по восстанию и по простиранию рудных тел в виде вытянутых зон: ширина их изменяется от первых до десятков метров. По характеру зональности первичных ореолов выделяются три группы элементов.

Свинец, ванадий и серебро образуют широкие ореолы в надрудно-верхнерудных горизонтах (рис. 83). Хром, молибден, никель, кобальт образуют широкие и интенсивные ореолы на уровне средних частей рудных тел; бериллий, медь, вольфрам — интенсивные ореолы с максимумами на уровне подрудных и нижнерудных сечений. Ряд зональности имеет следующий вид: W—Be—Cu—(Ni, Mo)—Bi—Sn—Zn—Ag—V—Pb (снизу вверх).

Для количественного выражения зонального строения первичных ореолов на основании положения элементов в ряду зональности рассчитан геохимический коэффициент зональности, представляющий собой отношение произведения линейных продуктивностей верхнерудных элементов к произведению линейных продуктивностей нижнерудной группы элементов.

Ниже приведены значения коэффициента зональности $K_z = \frac{V \cdot Sn}{Cu \cdot W}$, монотонно убывающего от надрудных сечений к подрудным с контрастностью в 10 000 раз.

Надрудный	$n \cdot 10^{-1}$
Верхнерудный	$n \cdot 10^{-2}$
Рудный	$n \cdot 10^{-3}$
Нижнерудный	$n \cdot 10^{-3}$
Подрудный	$n \cdot 10^{-4}$

Талкульское скарново-магнетитовое месторождение. Особенности первичных ореолов скарново-магнетитового оруденения рассматриваются на примере Талкульского месторождения, изученного Г. П. Павловым.

Талкульское месторождение расположено в пределах Соколовско-Сарбайского рудного поля в Тургайском поясе контактово-метасоматических месторождений Урала. Оно относится к скарновому подтипу магнетитовых месторождений и представлено пластовой магнетитовой залежью мощностью до 300 м, залегающей на глубинах 750—1250 м, в гранатowych и пироксен-гранатowych скарнах. Структура месторождения определяется наличием благоприятного для рудоотложения горизонта известняков и крутопадающих разломов, ограничивающих рудный блок месторождения. Надрудная часть месторождения сложена андезит-базальтовыми порфиритами и их туфами, которые интенсивно альбитизированы, хлоритизированы, эпидотизированы, карбонатизированы и гематитизированы. Эпидотизация и хлоритизация затрагивают также и скарны.

Первичные геохимические ореолы месторождения изучались по вертикальным поперечным разрезам в результате опробования керна буровых скважин, также в плане на эрозионной поверхности палеозойского фундамента путем опробования картировочных скважин. Как показала обработка данных анализа геохимических проб, вокруг рудных залежей месторождения развиты первичные геохимические ореолы многих химических элементов. При этом Mn, Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, Ag и Mo образуют только ореолы привноса (накопления), а Ti, Cr, Ba, Sr, Y, Zr и Sc — как привноса, так и выноса.

Прослеженная вертикальная протяженность общего геохимического ореола на месторождении превышает 1400 м, в том числе над рудным телом — 1000 м. Площадь распространения ореола на поверхности палеозойского фундамента более $4,5 \times 2,3$ км². Морфология общего ореола месторождения и слагающих его ореолов отдельных элементов характеризуется сочетанием пологих полей, развитых согласно с залеганием горизонтов вулканогенных и осадочных пород и крутопадающих полей, приуроченных к зоне разлома.

На месторождении наиболее широко распространены ореолы привноса марганца, цинка и ванадия. Они развиты практически по всем изученным разрезам, включая подрудные сечения, и в пределах всей изученной площади на поверхности палеозойских пород. Максимальные концентрации цинка приурочены к рудам, марганца — к скарнам, а ванадий распределен относительно равномерно.

Близким распределением характеризуются ореолы привноса кобальта, никеля, серебра, свинца, меди и молибдена. Они развиваются преимущественно в висячем боку рудно-скарновой зоны на расстоянии до 350 м от рудной залежи и в зоне крутопадающего нарушения — до верхней границы коренных пород. Максимальные концентрации почти всех этих элементов устанавливаются в рудах, только медь и молибден концентрируются преимущественно в скарнах.

Для хрома характерны ореолы привноса, широко развитые в висячем и лежащем боках рудной залежи и вдоль зоны разлома. В пределах рудной залежи установлены слабоконтрастные ореолы выноса этого же элемента. Цирконий и скандий выносятся из рудной залежи (со стороны лежащего бока) и образуют ореолы привноса преимущественно в надрудной толще пород и в зоне разлома, вдоль которой последние достигают поверхности палеозойских пород.

Из рудно-скарновой зоны интенсивно выносятся с образованием ореолов выноса барий, стронций, бор, иттрий и титан. Их концентрации в скарнах и рудах значительно ниже, чем в исходных породах. Барий, стронций, иттрий и титан образуют ореолы выноса также во вмещающих измененных вулканогенных породах. Ореолы привноса этих элементов имеют в основном низкую интенсивность и пользуются ограниченным распространением на удалении от рудных тел преимущественно в зоне разлома. Исключение из этого составляет бор, ореолы привноса которого развиты на 350—700 м выше рудной залежи во вмещающих порфиритах.

Таким образом, по особенностям распределения в вертикальном разрезе в общем ореоле Талкульского месторождения отчетливо выделяются две группы элементов, проявляющих отчетливо выраженный антагонизм: Mn, Co, Ni, Zn, Ag, Pb, Cu и Mo концентрируются в рудах и скарнах; Ba, Sr, B, Y, Ti, Zr и Cг выносятся из руд и скарнов в процессе их формирования. Ванадий в условиях Талкульского месторождения не обнаруживает отчетливой приуроченности к той или иной группе.

Закономерная дифференциация ореолов элементов двух выделенных групп в общем ореоле получает наглядное выражение в распределении полей различной комплексности состава. Если элементы первой группы образуют поля высокой комплексности состава (совмещение ореолов пяти элементов и более) на расстоянии до 250 м над рудной залежью и в зоне рудоконтролирующего разлома, то ореолы привноса элементов второй группы образуют поля комплексного элементного состава (три элемента и более) за пределами рудно-скарновой зоны, на расстоянии до 1000 м над рудной залежью. Все это позволяет выделять в строении общего ореола по меньшей мере две зоны: внутреннюю и внешнюю. Внутренняя зона охватывает окологрудную часть разреза на расстоянии до 250 м над рудной залежью. Для нее характерны ореолы привноса эле-

ментов первой группы, а также ванадия и хрома и ореолы выноса элементов второй группы. Внешнюю зону общего ореола на удалении от 250 до 1000 м и более над рудной залежью образуют ореолы привноса элементов второй группы, а также марганец, цинк и ванадий. Для внутренней зоны характерны поля более высокой комплексности состава (7—8 элементов и более), чем для внешней зоны (3—4, реже 5—6 элементов).

В пределах внутренней и внешней зон общего ореола элементы распределены также зонально: во внутренней зоне наиболее тесно к рудной залежи тяготеют ореолы свинца, меди и серебра, во внешней зоне более верхнее положение занимают ореолы привноса скандия, бора, иттрия и титана.

Указанные выше особенности распределения элементов в первичных ореолах Талкульского месторождения четко выражены в закономерных изменениях по вертикали мультипликативных показателей элементов внешней и внутренней зон, а также мультипликативного коэффициента зональности, вычисленного как отношение произведений средних концентраций элементов внешней и внутренней зон (рис. 84). Наиболее стабильно и контрастно изменяется по вертикали мультипликативный коэффициент вида: $Ti \cdot V \cdot Cr \cdot B \cdot Ba \cdot Sc \cdot Sr \cdot Zr / Mn \times Co \cdot Ni \cdot Zn \cdot Cu \cdot Pb \cdot Mo \cdot Ag$ — от $9,2 \cdot 10^{-3}$ на уровне рудных тел до $6,7 \cdot 10^7$ в наиболее удаленных надрудных сечениях внешней зоны ореола. Такое возрастание коэффициента зональности по мере удаления от рудных тел обуславливается увеличением мультипликативных показателей элементов внешней зоны и уменьшением внутренней зоны.

Золоторудное месторождение. Оруденение приурочено к юго-западному экзоконтакту гранитного массива — карбонатным породам визе, слагающим южное крыло крупной антиклинальной структуры. В районе месторождения развиты также пермские вулканы, континентальные красноцветные отложения палеогена, неогена и др. Карбонатные породы визе прорваны верхнекарбонным интрузивным комплексом среднего состава и верхнекарбон — нижнепермскими гранитами. Вследствие контактового воздействия последнего карбонатные породы претерпели мраморизацию, а в постмагматический этап образовались различные скарны и сформировались кварц-полевошпатовые, полевошпат-кварцевые и другие золоторудные тела.

Месторождение относится к малосульфидной золото-кварц-полевошпатовой формации, которая локально развита в поле распространения скарнов. Скарновые тела сложены гранатами гроссуляра-андрадитового ряда от светло-коричневого до почти черного цвета; белесоватыми, темно-серыми пироксенами диопсид-геденбергитового ряда; волластонитом, везувианом и магнетитом. Часто встречаются полиминеральные скарновые тела, в строении которых принимают участие почти все скарновые минералы. Магнетитовые скарны развиваются непосредственно на контакте гранитов с известняками, протягиваясь

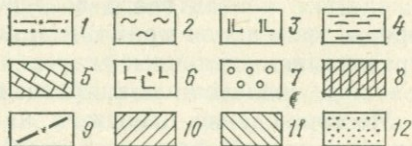
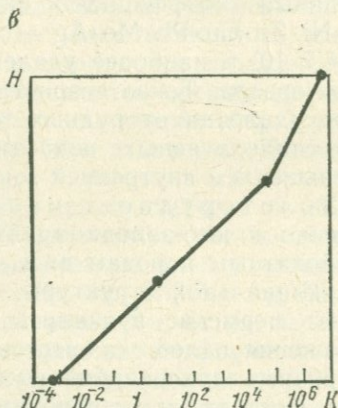
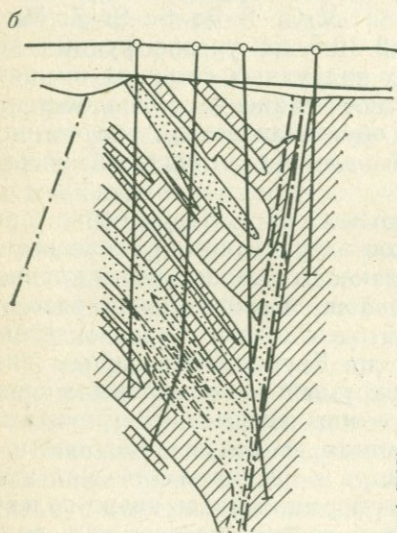
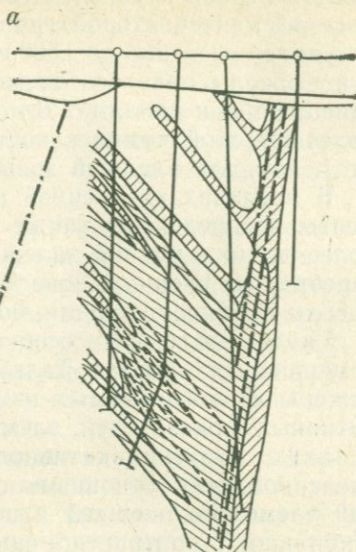
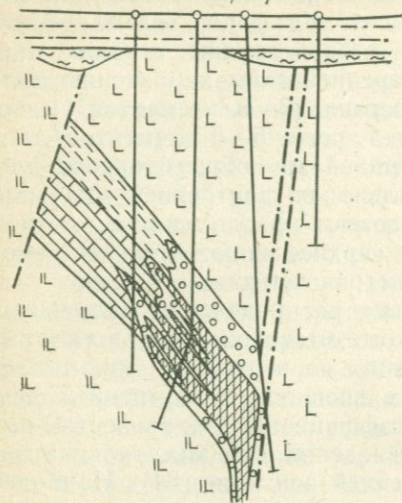


РИС. 84. Первичные ореолы Mn, Co, Ni, Pb, Zn, Ag, Cu и Mo (a), V, Cr, B, Ba, Sr, Zr, Se (б) и изменение мультипликативного коэффициента зональности (в) Талкульского месторождения. По Г. П. Павлову.

1 — покровные отложения; 2 — кора выветривания; 3 — андезитовые порфиры; 4 — базальтовые порфиры; 5 — андезит-базальтовые порфиры; 6 — туфы; 7 — скарны; 8 — рудное тело; 9 — разрывные нарушения; 10, 11 — комплексные ореолы накопления в полях совмещения (10 — 3—4 элемента, 11 — 5 элементов и более); 12 — ореолы выноса 3 элементов и более

в виде прерывистой полосы от восточного фланга месторождения до западного окончания рудного поля.

Все разновидности скарнов испытали метаморфизирующее воздействие послемагматической гидротермальной деятельности, выразившейся в перекристаллизации гранатов и волластонита, а также в интенсивно проявленной флюоритизации магнетитовых скарнов, слабой сульфидизации, окварцевании и эпидотизации гранатовых и волластонитовых скарнов. Основной частью рудоносных зон и рудных тел месторождения являются в различной степени окварцованные волластонитовые скарны и скарнированные известняки (до образования метасоматической брекчии), сложенные существенно кварцевой массой и незамещенными реликтами волластонитовых скарнов. Породы метасоматической брекчии слагают линзообразные тела сложной формы. На месторождении выделяют две минеральные разновидности руд: кварц-волластонитовую и полевошпат-кварцевую. Для первой разновидности руд характерными жильными минералами являются кварц, волластонит, карбонаты, гранат, пироксен и везувиан; для второй — кварц, полевые шпаты и серицит. Они слагают метасоматические брекчии, развивающиеся вдоль дайкообразных тел плагипорфиров.

В результате изучения распределения рудных минералов в пространстве в пределах рудной зоны месторождения установлена следующая вертикальная минеральная зональность (сверху вниз): сульфосоли ртути (ливингстонит); самородное серебро; блеклые руды (теннантит, тетраэдрит, редко энаргит); сульфосоли серебра (прустит, пираргирит); сульфосоли меди (бурнонит); сульфосоли свинца (буланжерит, галеновисмутит); арсенопирит, антимонит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, пирротин, сульфосоли висмута (висмутин, редко тетрадимит); самородное золото, вольфрамит (в серицитизированных гранит-порфирах, измененных плагипорфирах, полевошпат-кварцевых метасоматитах); касситерит, шеелит (встречается редко, в кварц-карбонат-волластонитовых рудах) и молибденит.

Месторождение сформировалось в процессе интенсивного метасоматоза пород карбонатной толщи, обусловившего отложения скарновых залежей с наложенными на них полевошпат-кварцевыми образованиями (метасоматитами).

На месторождении по особенностям распределения концентраций как в рудных телах, так и в рудовмещающих породах из всех обнаруженных спектральным анализом химических элементов только Ag, Sb, As, Pb, Zn, Cu, Bi, Au, Co, Ni, Cr, Sn, W и Mo выделены в качестве основных элементов-индикаторов золотого оруденения. Достаточно интенсивные и значительные по размерам первичные геохимические ореолы этих элементов практически на всех изученных разрезах и горизонтах сопровождают как отдельные изолированные рудные тела, так и

единые рудные зоны с кулисно расположенными в них промышленными рудными телами. Первичные ореолы морфологически повторяют соответствующие рудные зоны и отдельные рудные тела, вокруг которых развиваются: они резко вытянуты по направлению и простираются зон, а также изолированных рудных тел, четко фиксируя контрастные условия залегания последних. При этом следует отметить, что резкая вытянутость ореолов в вертикальном направлении обусловлена крутым и субвертикальным характером залегания практически всех известных рудных зон и тел месторождения, что предопределяет штокообразное строение первичных ореолов.

Результаты детального изучения первичных геохимических ореолов по вертикальным разрезам и горизонтам горных работ показали, что в пространственном развитии ореолов выявляется отчетливая геохимическая зональность: серебро, сурьма, мышьяк, медь, свинец и цинк образуют интенсивные ореолы на верхне- и надрудных сечениях околорудного пространства. С глубиной ореолы этих элементов заметно сужаются и ослабевают по интенсивности. В отличие от этого вольфрам, олово, молибден, хром, никель и кобальт образуют широкие и интенсивные ореолы преимущественно в нижней части околорудного пространства. За исключением молибдена, аномальные концентрации перечисленных элементов в верхних частях разрезов фиксируются редко. Это обстоятельство свидетельствует о том, что все упомянутые элементы характерны для нижне- и подрудных уровней околорудного пространства и являются, в отличие от первых, типичными индикаторами подрудных частей ореолов. Характерной особенностью распределения хрома, никеля и кобальта является практическое отсутствие их аномальных концентраций в рудах, а также приуроченность их ореолов к вмещающим породам в некотором (15—20 м) удалении от рудных тел; на основании этого они рассматриваются в качестве элементов, образующих ореолы выноса из рудных полостей. В то же время вследствие отсутствия аномальных концентраций этих элементов в верхних частях практически всех изученных тел и ореолов они отнесены к типичным индикаторам подрудных уровней. Висмут и золото образуют резко вытянутые по вертикали интенсивные ореолы.

Анализ и обобщение результатов изучения особенностей состава и строения первичных геохимических ореолов золотого оруденения по всем опробованным разрезам и горизонтам показали, что зональное распределение химических элементов в околорудном пространстве повсеместно проявлено практически одинаково, что в целом отражает выдержанную единую геохимическую зональность первичных ореолов месторождения. Выделены три группы элементов-индикаторов: серебро, сурьма, мышьяк, медь, свинец, цинк — индикаторы верхне- и надрудных сечений околорудного пространства; висмут, золото характерны для средних частей рудных тел; вольфрам, олово, хром,

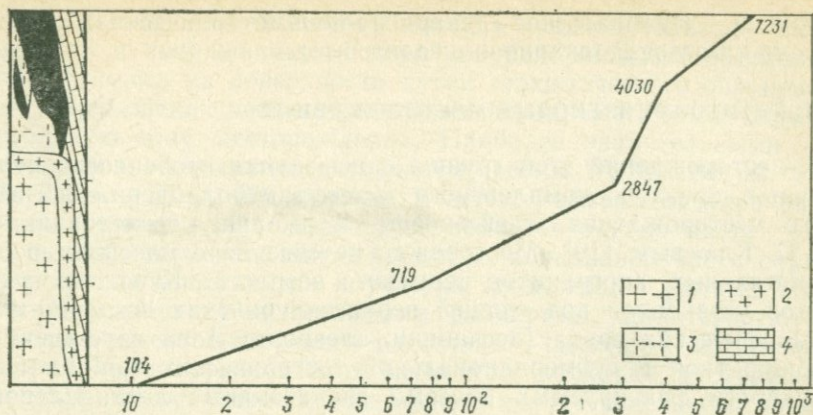


РИС. 85. Изменение с глубиной мультипликативного коэффициента зональности:

1 — граниты порфиroidные; 2 — гранит-аплиты; 3 — гранит-порфиры; 4 — мраморы. Цифрами на графике даны значения коэффициентов

никель, кобальт и молибден — для ниже- и подрудных частей первичных ореолов.

Ряд зональности для данного месторождения имеет следующий вид (снизу вверх): Mo—Co—Ni—Cr—Sn—W—Au—Bi—Zn—Pb—Cu—As—Sb—Ag. Установленный ряд в целом согласуется с обобщенным рядом геохимической зональности первичных ореолов гидротермальных рудных месторождений (см. гл. II). Существенное отличие установлено только для вольфрама, местоположение которого в ряду зональности рассматриваемого месторождения оказалось «необычным». Однако, как показало изучение форм нахождения элементов в рудах и ореолах, изменение местоположения вольфрама обусловлено минеральной зональностью ореолов.

На исследованном месторождении вольфрам преимущественно представлен вольфрамитом (полевошпат-кварцевые, кварц-полевошпатовые руды), что обусловило его нахождение в ряду зональности первичных геохимических ореолов месторождения значительно правее (выше), чем в обобщенном ряду зональности ореолов гидротермальных рудных месторождений. В последнем месте вольфрама, как известно, занимает его другая минеральная форма — шеелит.

Исходя из выведенного ряда зональности первичных ореолов рассматриваемого месторождения был рекомендован мультипликативный коэффициент зональности шестого порядка $Ag \cdot Sb \cdot As \cdot Cu \cdot Pb \cdot Zn / W \cdot Sn \cdot Cr \cdot Ni \cdot Co \cdot Mo$ (рис. 85).

Кроме приведенных выше данных, различные аспекты первичных геохимических ореолов скарновых месторождений с той или иной степенью детальности будут рассмотрены также в последующих главах настоящей работы на примере месторождений

Курусай, Николаевское (скарново-полиметаллические), Тьрынауз и Восток-2 (скарново-шеелитовые).

АЛЬБИТИТО-ГРЕЙЗЕНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Из месторождений этой группы описываются особенности первичных ореолов комплексного вольфрам-молибден-бериллиевого месторождения грейзеновой формации, исследованные О. С. Ключевым [19]. Месторождение связано с массивом редкометалльных апогранитов пермского возраста. Купол апогранитов установлен под толщей верхнесилурийских осадочно-метаморфических пород (песчаники, алевролиты) на пересечении субширотной и субмеридиональной тектонических зон, на поверхности фиксируемых поясами гранитоидных даек. Слепой интрузивный выступ имеет штокообразную форму. Тело гранитов несколько наклонено к западу и по восставанию расчленено на отдельные пластообразные тела (апофизы), секущие песчаники и сланцы. Отдельные апофизы установлены на глубинах 80—100 м от поверхности. В контактовом ореоле интрузии хлоритсодержащие песчаники и сланцы интенсивно биотитизированы, вплоть до образования биотитовых роговиков. Последние вблизи купола апогранитов существенно грейзенизированы.

По характеру проявления метасоматических изменений гранитов в пределах массива выделяются три основных разности пород в виде обособленных по вертикали зон. Глубокие горизонты (200—500 м и более) сложены розовыми порфирированными гранитами мусковит-альбит-кварц-микроклинового состава (зона микроклинизации). Выше, в эндоконтактовой части купола, до 200 м от апикального его окончания, располагаются альбитизированные окварцованные разности гранитов и развитые по ним кварц-мусковитовые грейзены. Во вмещающих метаморфизованных породах со стороны пологого склона купола апогранитов развита серия крутопадающих рудных кварцевых жил и прожилков, сопровождающихся оторочками грейзенизированных сланцев.

Комплексное вольфрам-молибден-бериллиевое оруденение локализовано в грейзенизированных гранитах, кварц-мусковитовых грейзенах и кварцевых жилах. Минеральный состав кварцевых жил и метасоматически измененных гранитов в общем одинаков. Главными полезными компонентами руд являются вольфрамит, берилл, молибденит, висмутин. В подчиненных количествах отмечаются пирит, бертрандит, касситерит, галенит, сфалерит. Из нерудных минералов, кроме кварца, широко распространены мусковит, топаз, флюорит.

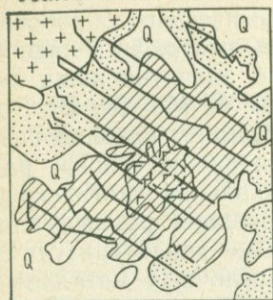
Для месторождения характерно зональное развитие оруденения, отвечающее схеме (снизу вверх): бериллий — (бериллий + молибден) — (висмут + бериллий) — (вольфрам + висмут) — (вольфрам).

Первичные ореолы вокруг массива редкометалльных апогранитов и сопряженных с ними кварцево-жильных образований изучались на поверхности путем геохимического опробования палеозойских песчано-сланцевых пород, слагающих надвзрывную зону месторождения. Наиболее значительными по размерам и интенсивности являются ореолы W, Mo, Be, Bi, Sn, Pb, Zn, Cu, F, Li, Rb, а также K и Na. Размеры ореолов различны, причем для большинства элементов они во много раз превышают горизонтальную проекцию апикальной части скрытого купола апогранитов и участка локализации рудных жил на поверхность. Максимальными размерами характеризуются ореолы элементов широкого рассеяния — щелочных металлов и фтора. Форма ореолов этих элементов сложная и отражает структурные особенности месторождения. Насыщенность жильными образованиями в центральной части рудного поля на участке сопряжения гранитоидных даек, рудных жил и купола апогранитов обусловила высокую трещиноватость пород в этой части месторождения. Для надкупольной части характерны широкие ореолы, по форме приближающиеся к изометричной. На флангах месторождения общая изометричная форма усложнена вследствие развития ореолов вдоль зон мелкой трещиноватости, сопряженных с системами гранитоидных даек (рис. 86).

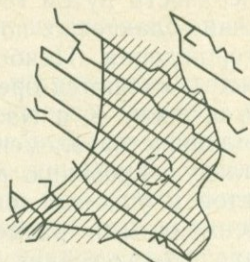
Ореолы основных рудных элементов — вольфрама, бериллия, висмута отличаются меньшими размерами. В общих чертах они повторяют конфигурацию ореолов фтора и лития. Наиболее локальные ореолы образует молибден, свинец, цинк, медь, олово, хотя размеры ореолов этих элементов также значительны (1—1,5 км²). Внутреннее строение первичных ореолов месторождения является сложным. Графики распределения содержаний элементов, построенные по профилям геохимического опробования, осложнены многочисленными пиками и провалами. Общая же закономерность изменения относительных концентраций элементов в ореолах отчетливо выявляется при сопоставлении значений коэффициентов аномальности, рассчитанных для различных зон общего ореола (табл. 18).

Из приведенных данных следует, что концентрации элементов-индикаторов, за исключением натрия, с различным градиентом, но монотонно возрастают от внешней к внутренней части ореола. Внутренняя зона ореола наиболее обогащена молибденом и вольфрамом при резко пониженных содержаниях этих элементов во внешней зоне.

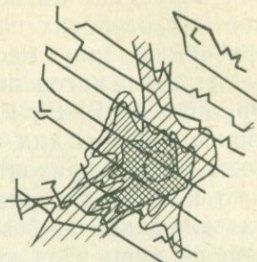
Калий и натрий на месторождении образуют широкие, но мало контрастные ореолы. Коэффициенты аномальности их в целом по ореолу составляют соответственно 3,83 и 5,1. Максимальное накопление калия отмечается во внутренней зоне. В отличие от калия и прочих элементов-индикаторов натрий обнаруживает отчетливую тенденцию уменьшения содержания в направлении от внешних зон к внутренним, что, по всей



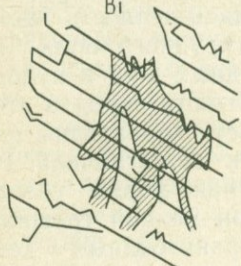
F



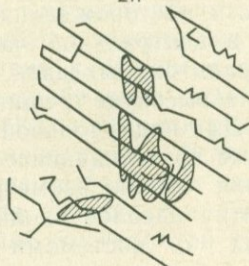
Be



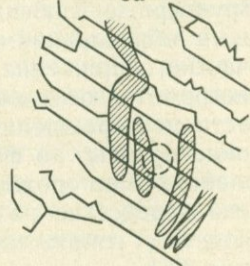
Bi



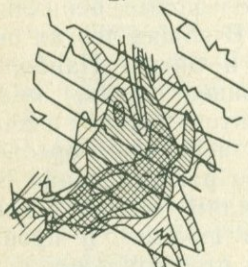
Zn



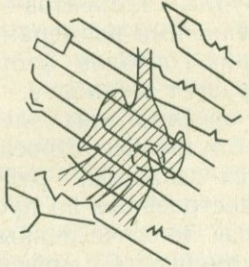
Cu



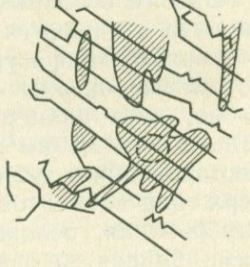
Li



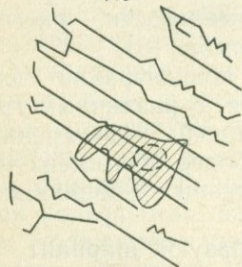
W



Pb



Mo



Sn

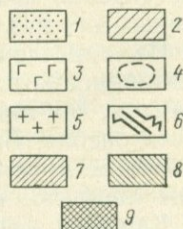
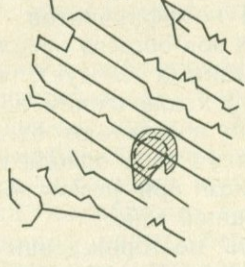


РИС. 86. Первичные ореолы элементов на поверхности месторождения:

1 — метаморфизованные песчаники, алевриты; 2 — хлоритизированные и биотитизированные породы; 3 — грейзенизированные породы; 4 — проекция контура «слепого» купола массива алогранитов; 5 — среднезернистые биотитовые граниты и плагиограниты; 6 — профили геохимического опробования; 7—9 — первичные ореолы (9 — поля максимальных содержаний элементов)

Коэффициенты аномальности элементов-индикаторов

Элементы-индикаторы и коэффициент зональности	Зона ореола			Элементы-индикаторы и коэффициент зональности	Зона ореола		
	Внешняя (хлоритовая)	Средняя (биотитовая)	Внутренняя (грейзеновая)		Внешняя (хлоритовая)	Средняя (биотитовая)	Внутренняя (грейзеновая)
W	11,6	30,0	53,5	Cu	4,9	5,2	5,4
Mo	1,1	4,6	113,9	F	3,8	13,1	22,0
Bi	2,2	3,1	7,0	Li	2,6	5,4	22,1
Sn	1,1	1,3	5,7	Rb	3,03	5,76	24,8
Be	2,5	5,0	22,0	K	2,0	2,37	5,45
Pb	2,7	1,6	2,6	Na	6,1	6,4	3,5
Zn	1,4	2,1	8,8	Cu·Pb·Zn·Bi	11,5	0,39	0,0005
				Sn·Be·Mo ²			

вероятности, обусловлено перераспределением натрия при метасоматических преобразованиях вмещающих пород.

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

Для уточнения особенностей зонального распределения химических элементов в первичном ореоле описываемого месторождения составлен ряд вертикальной зональности элементов-индикаторов по рассмотренной выше методике расчета показателя зональности элементов. При расчете показателя зональности использованы значения линейных продуктивностей ореолов отдельных элементов, вычисленные для различных зон изменения вмещающих пород, так как каждая из зон характеризует определенный уровень ореола: 1) внешний (зона хлоритизированных пород, до границы ореола фтора) — более 500 м; 2) средний (зона хлоритизированных и биотитизированных пород) — 250—500 м; 3) нижний (зоны хлоритизированных, биотитизированных и грейзенизированных пород) — до 250 м.

Ряд зональности элементов-индикаторов в ореоле имеет вид: Mo—Be—Sn—Bi—W—F—Li—Zn—Pb—Cu—Rb—K—Na (от внутренней зоны к внешней). Сравнение этого ряда с зональностью ореолов других месторождений и, в частности, скарново-шеелитовых выявляет существенное отличие только для вольфрама. Этот элемент в ореолах описываемого месторождения занимает более высокий уровень, что, по всей вероятности, обусловлено различиями форм нахождения этого элемента в рудах и ореолах упомянутых месторождений:

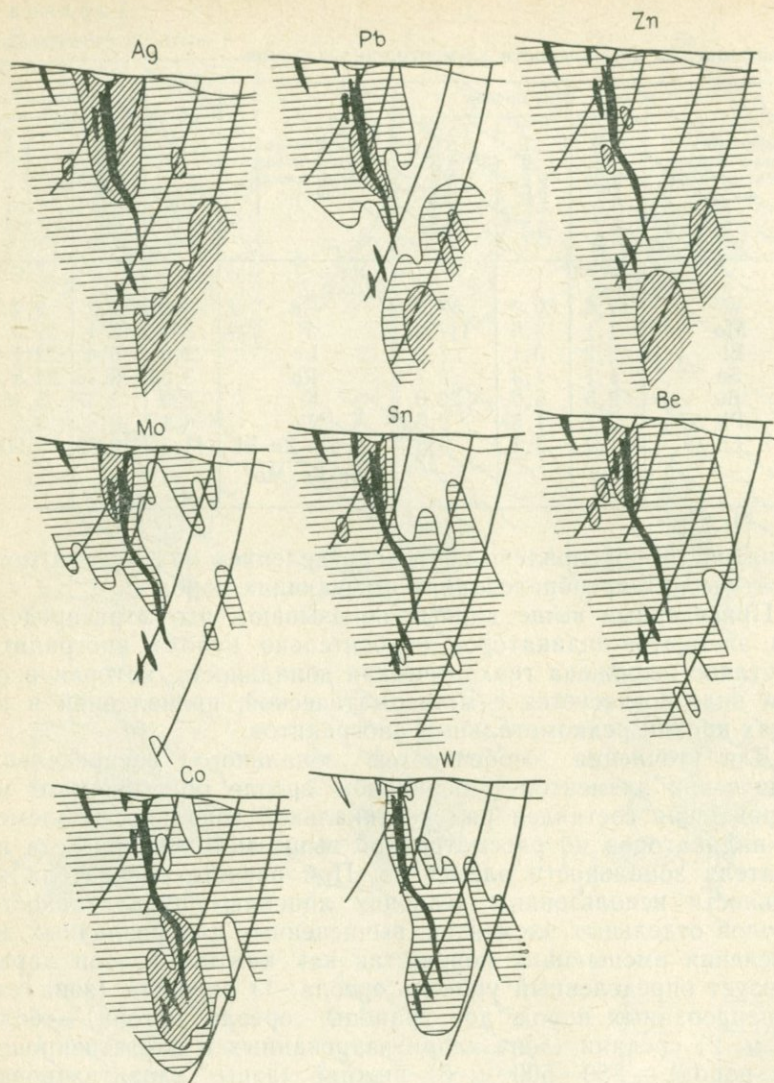


РИС. 87. Первичные ореолы различной интенсивности

в отличие от скарново-шеелитовых месторождений основным минералом-концентратором вольфрама в описываемом месторождении является вольфрамит, который накапливается на более высоких гипсометрических уровнях (по сравнению с шеелитом). Так, на скарново-шеелитовом месторождении Шурале I (Чорух-Дайронское рудное поле, Таджикская ССР) ореолы вольфрама (шеелит) занимают самые глубокие части околорудного пространства, существенно ниже молибдена, бериллия и олова (рис. 87).

Положение каждого элемента в ряду зональности определяет уровень его максимального накопления относительно прочих компонентов и отражает общую тенденцию изменения параметров ореолов по вертикали в соответствии с последовательностью рудоотложения. В частности, из приведенного ряда следует, что образованию первичных ореолов рудных компонентов, вероятно, предшествует вынос во вмещающие породы щелочных металлов (раннещелочные стадии послемагматического процесса), обусловивший образование зон относительного накопления калия, натрия и рубидия в верхних частях зональной колонны. Далее происходит формирование первичных ореолов вольфрама, молибдена, олова, висмута, бериллия, фтора и лития, проявленных гипсометрически ниже уровня относительного накопления свинца, цинка и меди.

Приведенный ряд зональности элементов-индикаторов данного типа оруденения позволяет предложить ряд индикаторных отношений, которые, являясь оценками геохимической зональности ореолов, могут быть использованы для определения уровня эрозийного среза геохимических аномалий. Отметим, что оценка уровня эрозийного среза геохимических аномалий при поисках месторождений данного типа в принципе сводится к определению примерной глубины залегания кровли гранитного массива, поскольку геохимические аномалии в надынтрузивной зоне не вскрытых эрозией гранитных массивов являются надрудными.

Очевидно, что в практическом отношении удобнее пользоваться таким коэффициентом зональности, который включает элементы, анализ на которые экономически наиболее выгоден. Так, калий, натрий, литий, рубидий и фтор требуют привлечения относительно дорогостоящих методов анализа (щелочи — фотометрия пламени, фтор — трудоемкий количественный спектральный анализ). В отличие от этого для рудных элементов удовлетворительные результаты дает экспрессный спектральный анализ, обеспечивающий одновременное определение с достаточной для геохимических поисков точностью и чувствительностью перечисленных в ряду зональности рудных элементов-индикаторов. Помня, что наиболее контрастная зональность выявляется с помощью мультипликативного геохимического коэффициента, можно предложить следующий вариант коэффициента зональности: $Cu \cdot Pb \cdot Zn \cdot Bi / Sn \cdot Be \cdot Mo^2$ (молибден возведен в квадрат для обеспечения безразмерности коэффициента, так как в знаменателе число элементов меньше). По величине этого коэффициента фиксируется контрастная зональность, которая геохимически отчетливо дифференцирует различные зоны ореолов; по мере приближения к рудоносному массиву величина этого коэффициента закономерно уменьшается более чем на четыре порядка (см. табл. 18).

Особенности первичных ореолов гидротермальных месторождений описываются на примере месторождений, представляющих собой наиболее важные в практическом, а также методическом отношении формации важнейшего класса эндогенных рудных месторождений.

Медно-молибденовые месторождения. По сравнению с другими типами месторождений первичные ореолы медно-молибденовых месторождений имеют ряд специфических особенностей: они представляют собой аномальные геохимические поля, значительную часть объема которых занимают рудные залежи.

Медно-молибденовое оруденение имеет рассеянный характер, что существенным образом сказывается и на особенностях первичных ореолов: они, в свою очередь, имеют слабую интенсивность, и это в целом существенно осложняет установление контрастных характеристик геохимических ореолов. Отмеченное прежде всего относится к важнейшей особенности ореолов — их геохимической зональности: слабая интенсивность наряду с изометричными формами ореолов этого типа месторождений обуславливают низкую контрастность геохимической зональности, что требует применения специальных приемов обработки геохимической информации, позволяющих «усиливать» геохимическую зональность ореолов. Кроме того, ограниченные глубины разведки месторождений этого типа также не способствуют детальному изучению вертикальной геохимической зональности первичных ореолов.

Морфологические особенности первичных ореолов медно-молибденовых месторождений Г. М. Дергачевой и автором изучались по результатам геохимического опробования, выполненного на медно-молибденовом месторождении Каратас IV, расположенном в Северном Прибалхашье в зоне Каратасского рудного узла. Участок месторождения сложен в южной части гранодиоритами и гранитами, в центральной и северной — биотитовыми гранитами и гранит-порфирами.

На месторождении в пределах минерализованной площади выделяются четыре рудных тела с промышленной концентрацией молибдена. Простирание рудных тел северо-восточное, падение 70° на северо-запад. Главным рудным минералом на месторождении является молибденит, в меньших количествах встречаются халькопирит, магнетит, гематит, галенит и сфалерит.

Наиболее широкие и интенсивные ореолы образуют молибден и медь (рис. 88). Менее контрастны и широки ореолы других элементов. В строении ореолов выявлена отчетливая геохимическая зональность: свинец, серебро, барий и цинк образуют широкие и достаточно контрастные ореолы в верхних частях исследованных разрезов, с глубиной сокращаются в раз-

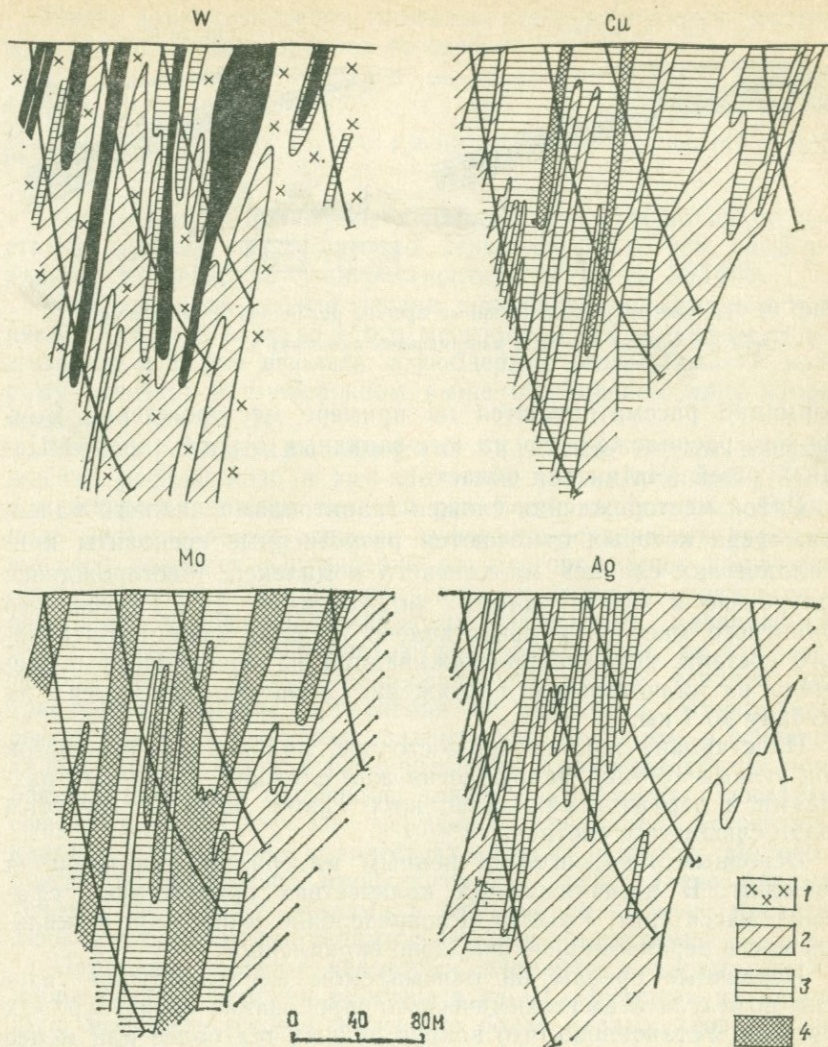


РИС. 88. Первичные ореолы элементов в разрезе:

1 — гранодиориты; 2—4 — первичные ореолы (4 — поля максимальных содержаний)

мерах и слабеют по интенсивности. В противоположность им вольфрам и кобальт более широкие и интенсивные ореолы образуют на глубоких горизонтах. Геохимическая зональность первичных ореолов описываемого месторождения выражается следующим рядом: W—Sn—Co—Mo—Cu—Zn—Pb—Ag (снизу вверх).

Месторождение Бом-Горхон. Особенности развития первичных ореолов вокруг рудных тел кварц-гюбнеритовой

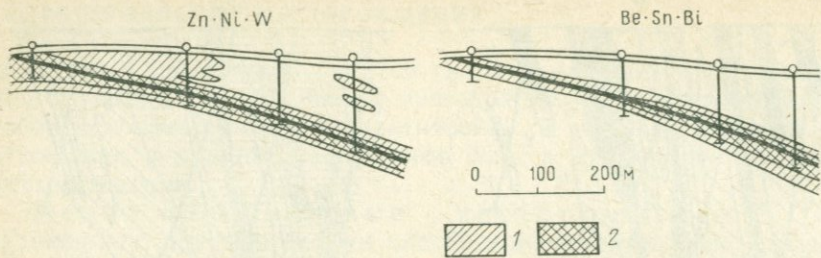


РИС. 89. Частные мультипликативные ореолы различной интенсивности:
1, 2 — первичные ореолы (2 — поля максимальных значений)

формации рассматриваются на примере месторождения Бом-Горхон, расположенного на юго-западных отрогах хребта Цаган-Хуртгей (Читинская область).

Район месторождения сложен гранитоидами нижнего палеозоя, среди которых отмечаются разрозненные ксенолиты кристаллических сланцев малханского комплекса. Месторождение приурочено к юго-западному эндоконтакту Бом-Горхонского гранитного массива и представлено жилами кварц-гюбнеритового состава, которые прослеживаются на поверхности непрерывно на значительном протяжении и распространяются на глубину до 1 км.

Простирание жил северо-восточное, падение на юго-восток под углами 18—35°. Морфология жил сложная, с частыми раздувами и пережимами. Около жил слабо развиты грейзены кварц-слюдистого состава.

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

Первичные ореолы на описываемом месторождении изучены по результатам геохимического опробования керн буровых скважин. Установлено, что вокруг рудных тел более или менее отчетливые ореолы образуют только W, Ni, Co, Zn, Bi, Sn и Be. Ореолы всех этих элементов отличаются небольшими размерами и весьма слабой интенсивностью. Зональность в строении моноэлементных ореолов также проявлена чрезвычайно слабо и выражается в расширении ореолов цинка, никеля и кобальта к верхним частям разреза, а ореолов олова и бериллия — к нижним.

Частные мультипликативные ореолы, построенные для групп верхнерудных (Zn, Ni, W) и нижнерудных элементов (Be, Sn, Bi), отличаются от моноэлементных ореолов более значительными размерами и высокой контрастностью (рис. 89) и, естественно, являются более надежными в практическом отношении.

Ниже даны отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов по сечениям:

Сечения	I	II	III	IV
$\frac{Zn \cdot Ni \cdot W}{Be \cdot Sn \cdot Bi}$	$1,6 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10$	$3,2$

Как видно из приведенных данных, эти отношения по возрастанию рудных тел монотонно меняются более чем на 5 порядков. Коэффициент контрастности I/IV равен 533 000.

Необычное на первый взгляд положение вольфрама объясняется тем, что в рудах этого месторождения вольфрам содержится не в форме шеелита, а гюбнерита (вольфрамита), которому отвечает в приведенном выше обобщенном ряду второй вольфрам (см. гл. II).

Месторождение Кафан. Кафанское медное месторождение расположено в юго-восточной части Армянской ССР в междуречье нижних течений рек Вохчи и Халадж. Рудное поле месторождения сложено туфогенно-осадочными породами юрского возраста. Оруденение на месторождении приурочено исключительно к толще среднеюрских (байос) вулканогенно-осадочных пород, представленных кварцевыми, кварцево-плагноклазовыми и плагноклазовыми порфиритами, их туфами и туфобрекчиями. В туфогенно-осадочной толще верхней юры (оксфорд-кимеридж) оруденения не встречено. Минеральный состав руд месторождения сравнительно прост: это, в основном, халькопирит и пирит с незначительной примесью других менее распространенных сульфидов, таких, как борнит, теннантит, сфалерит, марказит. Из нерудных минералов встречаются кварц и в ничтожных количествах кальцит и диккит. На месторождении оруденение морфологически представлено рудными телами двух типов: жилами и штокверком. Жилы представлены плитообразными телами с четкими контактами.

Первичные ореолы некоторых элементов вокруг рудной жилы крутого падения описаны в гл. II. Несмотря на небольшую мощность рудной жилы (не более первых десятков сантиметров), первичные ореолы имеют значительную ширину (десятки метров) и, развиваясь согласно с рудной жилой, резко вытянуты по вертикали. В строении первичных ореолов отчетливо проявлена вертикальная зональность: ореолы бария и мышьяка обладают максимальными интенсивностью и шириной в надрудной части разреза. С глубиной наряду с постепенным выклиниванием ореолов этих элементов происходит отчетливое усиление ореолов меди, кобальта, висмута.

На месторождении помимо жил известны также штокверки с прожилково-вкрапленным оруденением. Ореолы вокруг штокверковых тел более изометричны и, как следует из рис. 90, также характеризуются отчетливой вертикальной зональностью: частные мультипликативные ореолы надрудных (Ba, As,

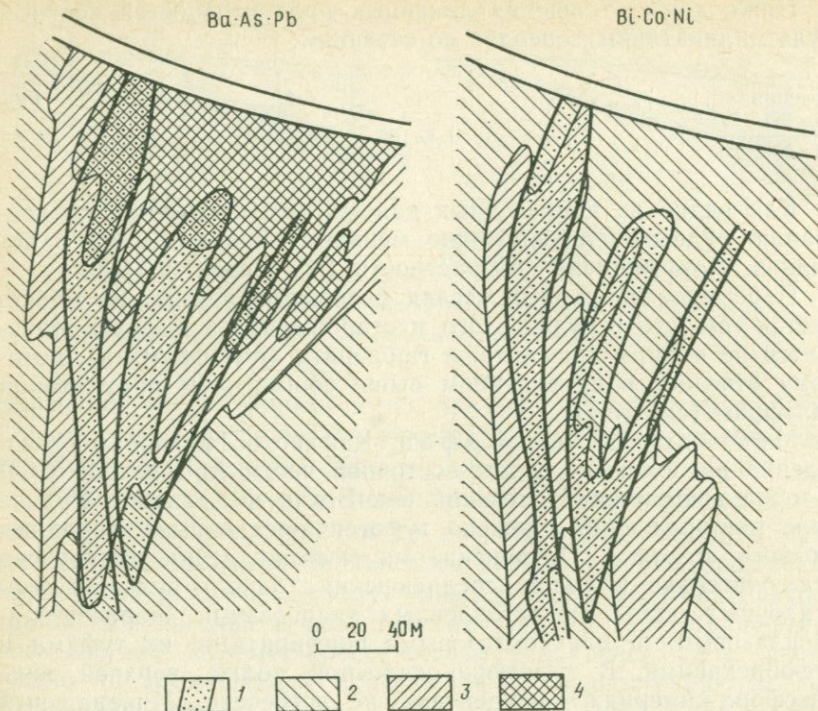


РИС. 90. Частные мультипликативные ореолы вокруг штоковрка рудника Кафанского месторождения:

1 — зоны штоковрка; 2—4 — первичные ореолы (4 — поля максимальных значений произведения содержаний элементов-индикаторов)

Pb) и подрудных (Bi, Co, Ni) элементов представляют как бы зеркальное отражение друг друга.

Оловорудное месторождение. Особенности первичных геохимических ореолов оловорудных месторождений рассматриваются по результатам исследований, выполненных А. А. Шашковым и автором в пределах Комсомольского рудного района. Нижний структурный ярус района сложен терригенными отложениями юрского возраста при незначительном участии диабазов и габбро-диабазов. Верхний ярус с резким несогласием перекрывает юрские отложения и представлен вулканогенно-осадочными образованиями мелового возраста. В низах этого яруса залегает толща переслаивающихся конгломератов, кислых эффузивов и их туфов; верхняя часть яруса сложена андезитами, дацитами и их пирокластами. Образования юры и мела прорываются многочисленными малыми интрузиями гранитоидов.

Минерализованные зоны, локализованные в пределах тектонических зон трещиноватости и дробления, имеют крутое падение и простираются на десятки километров при ширине до

100 м и более. В составе этих зон центральное положение занимают мощные тела кварц-турмалиновых метасоматитов, сопровождаемых внешними зонами серицитизации и окварцевания (в песчаниках, алевролитах, туфах кварцевых порфиров) или пропицитизации (в породах среднего и основного состава). Иногда кварц-турмалиновые метасоматиты вверх по восставанию переходят в кварц-хлоритовые с сульфидами.

На отдельных интервалах описываемых зон развита продуктивная кварц-касситеритовая минерализация, представленная кварц-сульфидными прожилками с пирротинном и халькопиритом, а на более высоких уровнях преимущественно с галенитом, сфалеритом и сульфоантимонитами свинца. Руды имеют комплексный состав: главными минералами являются касситерит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин, пирит, вольфрамит.

По результатам геохимического опробования рудовмещающих пород установлено, что рудные тела Комсомольского рудного района постоянно сопровождаются широкими и интенсивными ореолами большого числа химических элементов: особенно значительна протяженность ореолов над слепыми рудными телами. Так, ореолы олова и ряда других элементов прослежены над слепыми рудными телами по их восставанию более, чем на 500 м. Первичным ореолам свойственна отчетливая вертикальная (осевая) геохимическая зональность. Для надрудных и верхнерудных сечений рудоносных зон характерно развитие высококонтрастных и широких ореолов сурьмы, свинца, серебра и цинка и слабые ореолы висмута, вольфрама, мышьяка и меди. В нижней и подрудной частях ореолов картина обратная. Барий, ванадий и хром образуют в пределах рудоносных зон отчетливые ореолы выноса.

В целом зональность первичных ореолов месторождений Комсомольского рудного района выражается следующим рядом (снизу вверх): W—Sn—Bi—As—Cu—Zn—Pb—Ag—Sb. Исходя из этого ряда, для количественной оценки уровня сечения аномалии относительно рудного тела могут быть рекомендованы мультипликативные коэффициенты зональности. На рис. 91 даны графики различных модификаций этих коэффициентов. Они достаточно близки по своим характеристикам: с их помощью в строении ореолов вскрывается достаточно контрастная геохимическая зональность.

Золоторудные месторождения. Гидротермальные золоторудные месторождения являются одними из наиболее сложных с точки зрения изучения первичных ореолов, если иметь в виду возможность выявления выдержанных и контрастно проявленных закономерностей пространственного распределения химических элементов. Эта сложность определяется прежде всего слабой контрастностью (интенсивностью) первичных ореолов золоторудных месторождений, обусловленной привнесом в процессе эпигенетического рудообразования

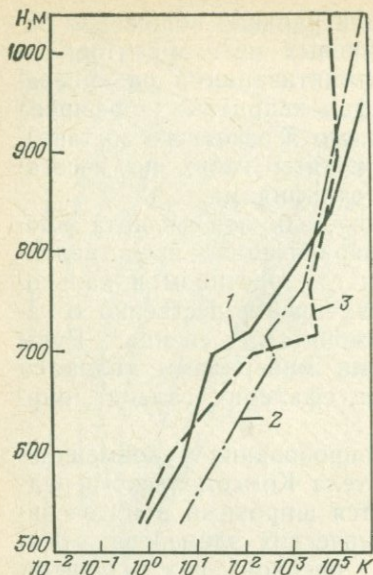


РИС. 91. Изменения с глубиной мультипликативных коэффициентов зональности первичных ореолов:

1 — Pb · Zn · Ag/Cu · Bi · W; 2 — Sb · Pb ×
× Zn/Sn · Cu · Bi; 3 — Sb · Pb/W²

турить, так как они из-за слабой интенсивности не в состоянии «перебороть» фоновый барьер, обусловленный относительно высоким значением фонового содержания данного элемента и его вариации. Это обстоятельство обуславливает особую актуальность применения при изучении золоторудных месторождений специальных методов «усиления» слабokonтрастных аномалий. Не случайно поэтому, что методика построения суммарных аномалий (аддитивных и позже мультипликативных) автором впервые была предложена для обработки результатов геохимического опробования рудных тел и рудовмещающих пород на золоторудном месторождении, ореолы которого изображены на рис. 6.

Методика построения суммарных геохимических аномалий, как уже отмечалось выше, является более информативной и позволяет оконтурить более контрастные аномалии определенных ассоциаций элементов прежде всего благодаря подавлению флуктуаций фона и направленному суммированию коррелирующихся концентраций химических элементов, образующих ореолы привноса в процессе эпигенетического рудообразования. Ниже при описании первичных ореолов золоторудных месторождений обращено особое внимание на особенности распределения в первичных ореолах элементов-спутников золота, содержание которых в пробах с удовлетворительной для геохи-

относительно небольших количеств слагающих рудные тела и их первичные ореолы рудных компонентов. Очевидно, чем слабее эпигенетическая составляющая рудных тел и их первичных ореолов, тем «чувствительнее» мешающее влияние фоновой составляющей и, прежде всего, флуктуаций фоновых концентраций химических элементов. Именно по этой причине в отличие от некоторых других типов месторождений (в частности, полиметаллических) золоторудные месторождения, особенно малосульфидные, характеризуются ограниченным числом надежных элементов-индикаторов, т. е. элементов, образующих вокруг рудных тел значительные по размерам интенсивные первичные ореолы. При этом ореолы многих элементов не удается обнаружить и оконтурить, так как они из-за слабой интенсивности не в состоянии «перебороть» фоновый барьер, обусловленный относительно высоким значением фонового содержания данного элемента и его вариации. Это обстоятельство обуславливает особую актуальность применения при изучении золоторудных месторождений специальных методов «усиления» слабokonтрастных аномалий. Не случайно поэтому, что методика построения суммарных аномалий (аддитивных и позже мультипликативных) автором впервые была предложена для обработки результатов геохимического опробования рудных тел и рудовмещающих пород на золоторудном месторождении, ореолы которого изображены на рис. 6.

мических поисков чувствительностью и точностью определяется методом экспрессного спектрального анализа. Широко применяемый при геохимических поисках химико-спектральный метод анализа проб на золото более трудоемок, поэтому при поисках золоторудных месторождений представляется рациональным опережающий анализ геохимических проб на элементы-спутники золота с последующим анализом на золото проб, отобранных только из геохимических аномалий элементов золота.

Особенности первичных ореолов золоторудных месторождений ниже рассматриваются на примере месторождений различных формаций, исследованных Л. Н. Лисогором и автором. *Месторождение золото-кварцевой формации* залегает в толще сильно дислоцированных осадочных, метаморфических, эффузивных и интрузивных пород верхнего протерозоя и нижнего палеозоя. В пределах площади месторождения наблюдаются многочисленные разрывные нарушения двух основных направлений: северо-западного и северо-восточного. Располагаются они главным образом в кварцевых диоритах. Обе системы нарушений являются близкими по времени заложения (каледонскими).

На месторождении выделяются два типа минерализованных тел: катаклазированные гидротермально переработанные зоны и кварцевые жилы. Первые представлены милонитами или интенсивно катаклазированными кварцевыми диоритами. Гидротермальная переработка этих зон выразилась в окварцевании, карбонатизации, серицитизации и ожелезнении. Кварцевые жилы выполняют зияющие трещины, «оперяющие» зоны разломов в кварцевых диоритах.

В целом кварцевые минерализованные зоны и кварцевые жилы образуют сложный по морфологии изометричный в плане штокверк.

Рудные минералы составляют небольшой процент от всего объема — от 1 до 5. Минеральный состав месторождения: халькопирит, пирит, арсенопирит, висмутин, галенит, сфалерит, блеклые руды, борнит, самородное серебро, самородное золото, молибденит, антимонит, вольфрамит, шеелит. Главным нерудным минералом руд является жильный кварц (от 80 до 95 % объема руд).

В результате геохимического опробования установлено, что вокруг рудных тел месторождения развиты отчетливые ореолы золота, серебра, висмута, молибдена, вольфрама и меди. Остальные элементы (свинец, цинк, сурьма, мышьяк) создают в пределах штокверка кварцевой минерализации небольшие, хаотически разбросанные слабоаномальные поля, которые почти не поддаются какой-либо закономерной увязке.

На месторождении золото и висмут образуют наиболее контрастные и широкие ореолы. Контуры ореолов максимальных градаций этих элементов примерно определяют границы промышленного золоторудного штокверка.

Ореолы молибдена по падению рудной зоны резко расширяются, достигая максимальной ширины на самых глубоких горизонтах месторождения.

Зональность первичных ореолов особенно контрастно проявлена в распределении вольфрама. На верхних горизонтах рудного штокверка ореолы вольфрама практически отсутствуют. Центральная его часть характеризуется узкими и слабыми по интенсивности ореолами вольфрама. Максимальные по ширине и концентрации ореолы вольфрама характерны для самых глубоких частей зоны (рис. 92). Интенсивные ореолы золота и его спутников (висмута, серебра, мышьяка и др.) характерны для более высоких уровней (уровень рудного тела и выше).

В соответствии с отмеченными особенностями распределения элементов в ореолах был выбран ряд коэффициентов зональности. На рис. 92 приведены графики изменения с глубиной величин этих коэффициентов, иллюстрирующие контрастную геохимическую зональность в строении первичных ореолов описываемого месторождения. Вертикальная зональность ореолов достаточно контрастно проявляется также в строении ореолов, построенных по результатам расчета в каждой пробе коэффициента геохимической зональности (см. рис. 92).

Месторождения золото-пирит-арсенопиритовой и золото-серебряной формаций. Ниже описываются первичные геохимические ореолы двух месторождений — собственно золоторудного золото-пирит-арсенопиритовой формации и золотосодержащего кварц-серебряного. Оба месторождения локализованы в единой разрывной структуре и пространственно тесно связаны друг с другом.

Район месторождений расположен в пределах крупного палеозойского (герцинского) складчатого сооружения, в западном окончании его периферической структурно-формационной зоны. В его строении выделяются два структурных этажа: нижний, сложенный дислоцированными толщами нижнего и среднего палеозоя, прорванными гранитоидами, и верхний — мезокайнозойский, платформенный.

В структурном плане оба месторождения приурочены к дислоцированному юго-западному крылу и приосевой части крупной синклинальной структуры, размещаясь в зоне разлома север-северо-восточного простираения на разных его флангах. Вмещающими породами являются терригенно-флишеидные отложения, представляющие собой ритмически чередующиеся песчаники, алевролиты, аргиллиты и их промежуточные разности. Они характеризуются повышенным содержанием углеродистого вещества и вкрапленностью слабозолотоносного диагенетического пирита, не играющего практически никакой роли в формировании рудных тел.

Рудами на месторождениях являются серицитизированные, карбонатизированные или окварцованные алевролиты и песча-

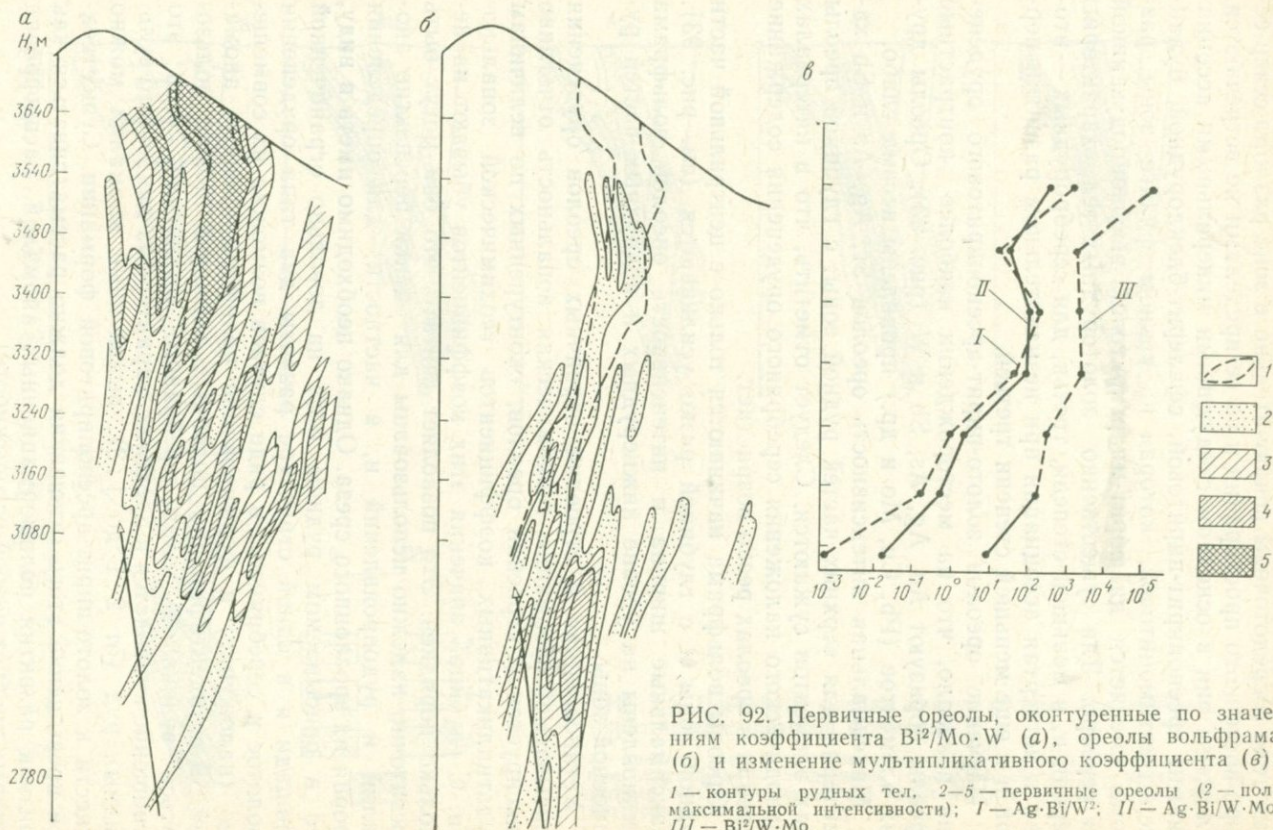


РИС. 92. Первичные ореолы, ооктуренные по значениям коэффициента $Bi^2/Mo \cdot W$ (а), ореолы вольфрама (б) и изменение мультипликативного коэффициента (в):

1 — контуры рудных тел, 2—5 — первичные ореолы (2 — поля максимальной интенсивности); I — $Ag \cdot Bi/W^2$; II — $Ag \cdot Bi/W \cdot Mo$; III — $Bi^2/W \cdot Mo$

ники, обогащенные углеродистым веществом и импрегнированные вкрапленностью арсенопирита и пирита. Выделенные рудные тела сосредоточены исключительно в зоне разлома север-северо-восточного простирания и за ее пределами не встречаются. Сложены они в основном следующими минеральными ассоциациями: арсенопирит-пиритовой, сфалерит-блеклорудной, буланжерит-антимонитовой, которая на южном фланге зоны разлома сменяется диафорит-миаргиритовой высокопродуктивной на серебро. Для существенно золоторудных тел характерны первая и, в меньшей степени, третья, для серебрянорудных — вторая и четвертая ассоциации при незначительном развитии первой и в еще меньшей степени третьей.

Изучение ореолов золото-пирит-арсенопиритового оруденения показало, что на месторождении наиболее контрастные ореолы образуют Au, Ag, As, Sb и W (рис. 93). Ореолы других элементов (Pb, Cu, Mo и др.) проявлены весьма слабо.

Максимальная интенсивность ореолов Sr, Ag, As и Sb характерна для верхних частей рудной зоны: с глубиной ореолы этих элементов сужаются. Следует отметить, что в интервалах эпизодического наложения серебряного оруденения содержание серебра в ореолах резко возрастает.

Ореолы вольфрама начинаются только с центральной части рудной зоны и с глубиной резко усиливаются (см. рис. 93). Максимальные ширина и интенсивность ореолов вольфрама установлены на уровне нижнерудных и подрудных частей рудоносной зоны.

Установленная в строении первичных ореолов оруденения описываемой формации геохимическая зональность отчетливо фиксируется в строении ореолов, оконтуренных по величинам мультипликативных коэффициентов геохимической зональности. С глубиной значения этих коэффициентов убывают на несколько порядков. Это позволяет считать, что они могут быть достаточно надежно использованы для оценки перспектив аномалий и рудопроявлений и, в частности, для определения уровня их эрозионного среза. Однако необходимо иметь в виду, что в описываемом рудном поле на довольно ограниченной площади и в одной структуре развиты два типа оруденения (золотое и серебряное), в ряде случаев возможно их совмещение (наложение) и формирование полиформационных аномалий. Для идентификации подобных аномалий можно пользоваться величиной золото-серебряного отношения: если это отношение колеблется в пределах, характерных для золото-сульфидных руд (от 2:1 до 1:3), выявленные аномалии можно отнести к золото-пирит-арсенопиритовой формации. Существенное превышение этого отношения должно рассматриваться как признак развития полиформационных аномалий, расшифровка которых требует особой осторожности.

В строении первичных ореолов оруденения золото-серебряной формации также установлены выдержанные закономерно-

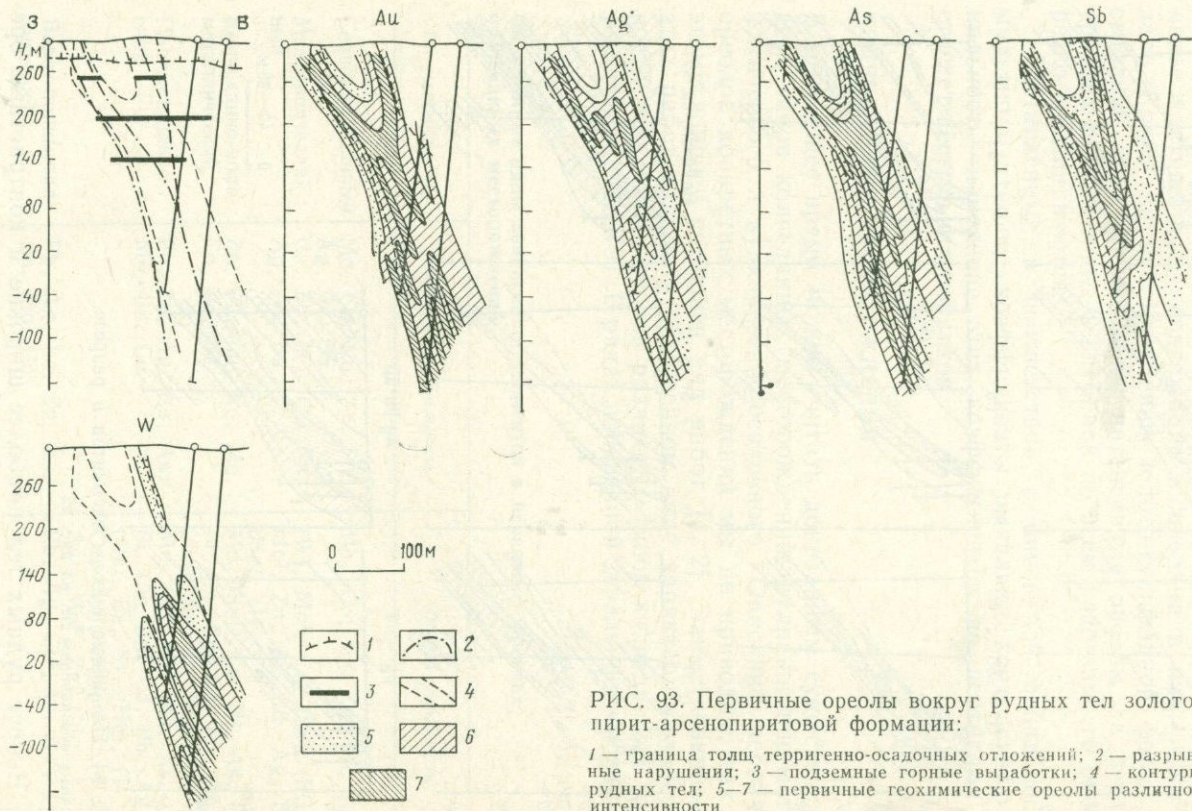


РИС. 93. Первичные ореолы вокруг рудных тел золото-пирит-арсенипиритовой формации:

1 — граница толщ терригенно-осадочных отложений; 2 — разрывные нарушения; 3 — подземные горные выработки; 4 — контуры рудных тел; 5—7 — первичные геохимические ореолы различной интенсивности

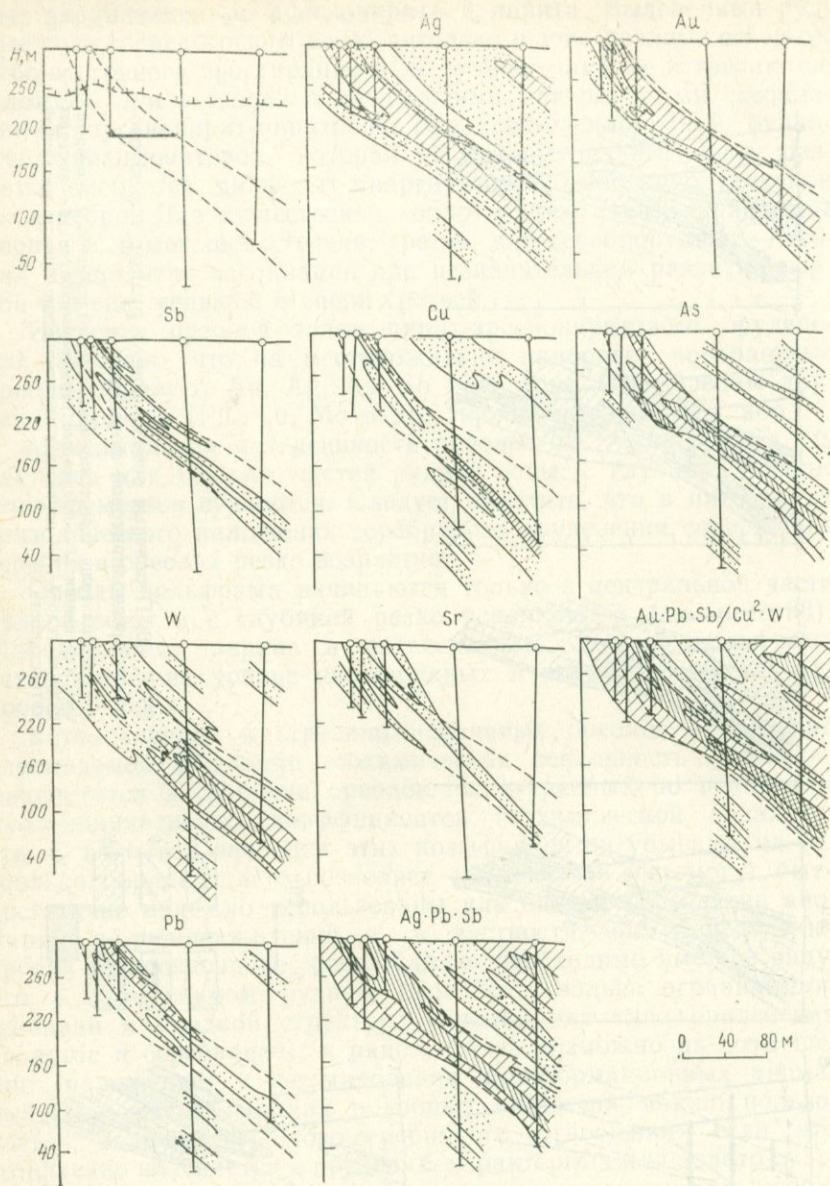


РИС. 94. Первичные ореолы элементов в разрезе.

Условные обозначения см. на рис. 92

сти. Вокруг рудных тел наиболее широкие и контрастные ореолы образует серебро (рис. 94). Ореолы золота и мышьяка по своим морфологическим особенностям и уровням размещения весьма близки между собой. Наблюдаемые по единичным разрезам аномальные ореолы свинца приурочены к верхним,

а меди — к нижним гипсометрическим уровням рудной зоны. Наиболее интенсивные, контрастные ореолы вольфрама занимают самое нижнее положение по падению Главной рудной зоны. По направлению к ее верхним уровням они становятся менее контрастными, содержание вольфрама в них резко падает. Как и на месторождении золото-сульфидной формации, стронций образует наиболее интенсивные ореолы на верхних уровнях рудной зоны. С глубиной по всем разрезам его ореолы резко выклиниваются.

Составленные в соответствии с описанной зональностью мультипликативные коэффициенты выявляют контрастную зональность: изменение этих коэффициентов по вертикали достигает нескольких порядков.

КОЛЧЕДАНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время можно считать доказанным существование двух типов колчеданных месторождений: вулканогенно-метасоматического и вулканогенно-осадочного. Описание первичных ореолов конкретных месторождений мы не приводим, так как этому вопросу посвящен ряд работ [1, 2]. Заимствованные из этих работ данные в обобщенном виде характеризуют особенности первичных ореолов различных типов колчеданных месторождений (табл. 19). В рядах поперечной зональности первичных

Таблица 19

Обобщенные ряды зональности элементов в первичных ореолах колчеданных месторождений

Тип месторождения	Поперечная зональность	Осевая зональность
Серноколчеданный	Mo, Co, Cu, Zn, Pb, Ag, As, Ba	Mo, Co, Cu, Zn, Pb, As, Ba
Медноколчеданный	Cu, Zn, Mo, Co, Pb, Ag, As, Ba	(W), Mo ¹ , Co, (Sn), (Bi), Cu, Mo ² , Zn, As, Pb, Ag, Ba, (Hg), (I)
Колчеданно-полиметаллический	Zn, Pb, Cu, Ag, Mo, Co, As, Ba	Mo, (Sn), Co, Ni, As, (Au), Bi, Cu, Zn, Cd, Pb, Ag, (Ga), Ba, Sr, (Hg), (I)
Полиметаллический	Pb, Zn, Ag, Cu, As, Mo, Ba, Co	Mo, (Sn), Co, Ni, As, (Au), Bi, Cu, Zn, Cd, Pb, Ag, (Ga), Ba, Sr, (Hg), (I) Co, (Sn), (Ni), Mo ¹ , Cu ¹ , Bi, Au ¹ , Mo ² , Zn, Cd, Pb, Ag, Cu ² , As, Au ² , Ba, (I)
Барит-полиметаллический	Pb, Ag, Ba, Zn, As, Cu, Mo, Co	

Примечание. В скобках — элементы, ореолы которых изучены на единичных месторождениях.

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ЭКЗОГЕННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ

Особенности первичных геохимических ореолов месторождений фосфоритов рассматриваются на примере Егорьевского месторождения. В геологическом строении месторождения принимают участие палеозойские, мезозойские и кайнозойские породы. Фосфориты приурочены к верхнеюрским и меловым образованиям. На месторождении они в основном приурочены к волжскому ярусу верхнеюрских отложений и к бериасскому (рязанскому) ярусу нижнего мела.

Сопоставление фосфоритоносных отложений всех стратиграфических горизонтов показывает, что все они характеризуются некоторыми общими особенностями: это их морской генезис, однотипность породообразующих минералов в фосфоритовых конкрециях и фосфатсодержащих породах.

В распределении микроэлементов в породах Егорьевского месторождения фосфоритов Э. К. Буренковым и А. М. Зориним установлены определенные закономерности. Концентрация микроэлементов по стратиграфическим горизонтам месторождения изменяется в широких пределах. Для каждого стратиграфического горизонта можно выделить круг элементов, которым он резко отличается от других: четвертичные отложения характеризуются повышенными содержаниями циркония, валанжинские — цинка и ниобия, породы рязанского горизонта — ванадия и хрома, отложения волжского горизонта — стронция, бора, германия и, наконец, оксфордские глины обогащены бериллием, барием, кобальтом, молибденом, никелем, свинцом, скандием, титаном.

Как следует из отмеченного, рудные горизонты месторождения обогащены ванадием, хромом, стронцием, бором, германием, а нерудные — цирконием, свинцом, скандием, титаном, кобальтом, молибденом, никелем, ниобием, бериллием, цинком, барием.

Исходя из отмеченной геохимической специализации рудных и безрудных горизонтов, Э. К. Буренковым предложен так называемый коэффициент рудоносности, представляющий собой отношение произведений содержаний элементов первой и второй групп (т. е. элементов-индикаторов отложений рудных и безрудных горизонтов). Рассчитанные значения этого мультипликативного коэффициента для отдельных проб из безрудных горизонтов не превышают десятых долей единицы, в основном равняясь тысячным долям, в то время как для проб из

рудных горизонтов они установлены только в целых числах и достигают в пробах с высокими содержаниями фосфора 3500—7000, т. е. различия составляют несколько порядков. Такие контрастные различия в величинах мультипликативного коэффициента рудоносности позволяют использовать его для надежной идентификации рудоносных (фосфоритоносных) горизонтов. Наряду с этим следует отметить, что особенности распределения элементов-индикаторов в пределах самого рудоносного горизонта тоже могут иметь определенное практическое значение.

Н. М. Страховым установлено, что между рудными накоплениями и рассеянными содержаниями элементов в осадочных отложениях существуют постепенные переходы. Кроме того, часты случаи проявления самостоятельных участков с содержаниями рудных компонентов характерными для этих промежуточных зон, являющихся своего рода «ареалами» недоразвитого или вовсе «эмбрионального (зачаточного)» рудообразования. Очевидно, что в данном случае речь по существу идет о первичных геохимических ореолах рудных тел, которые, как и в случае типичных эндогенных месторождений, представляют зоны перехода от максимальных концентраций химических элементов (рудные тела) к участкам их минимальных (фоновых) концентраций. Что же касается «ареала» недоразвитого или вовсе «эмбрионального (зачаточного)» рудообразования, то опять-таки по аналогии с эндогенными месторождениями, эти участки «эмбрионального» рудообразования следует отнести в разряд так называемых зон рассеянной минерализации. Очевидно, что эти образования осадочного происхождения, как и их эндогенные аналоги, заслуживают пристального внимания: богатый опыт изучения геохимических особенностей разнообразных по составу зон рассеянной эндогенной минерализации позволяет ставить вопрос о детальном изучении этих недоразвитых рудных тел с целью разработки критериев их идентификации и исключения из фронта последующих детальных поисково-оценочных работ.

Распределение элементов на участках выклинивания рудных тел и за их пределами на описываемом месторождении изучено на примере ряда рудных тел. Выявляются определенные различия в поведении элементов, типоморфных для отложений рудных и безрудных горизонтов. Установлено, что максимальные концентрации элементов-индикаторов рудных горизонтов — стронция, бора, кобальта, хрома и, кроме того, свинца и никеля приурочены к горизонтам отложений, подстилающих рудные тела.

В отличие от перечисленных элементов максимальные концентрации элементов-индикаторов безрудных горизонтов (Nb, Zr, Ti, Cu, Mo и Mn) располагаются непосредственно над рудными телами.

Наиболее контрастно рудоносные перекрывающие и подстилающие горизонты дифференцируются по величине мультипли-

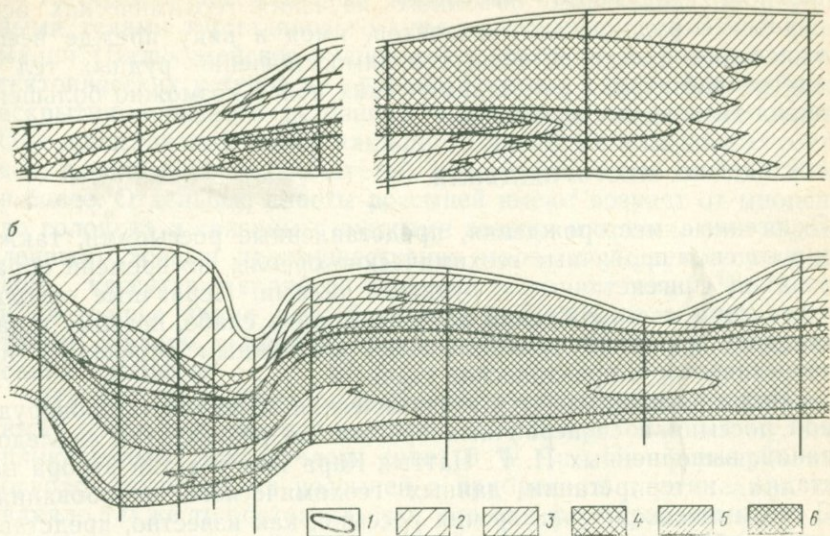


РИС. 95. Изменение коэффициента рудоносности в разрезе через Центральный (а) и Новоселовский участки (б) Егорьевского месторождения фосфоритов: 1 — рудное тело; 2—6 — поля различных значений коэффициента (6 — поля максимальных значений)

кативного коэффициента рудоносности, представляющего собой отношение произведений содержаний выделенных двух групп элементов (рис. 95). Очевидно, что этот коэффициент может быть использован для фиксации рудоносных горизонтов, а также прогнозирования вероятных мест локализации оруденения. Последнее основано на установленном факте закономерного изменения величин рассматриваемого мультипликативного коэффициента в плоскости рудных тел за их пределами. Как видно на рис. 95, по разрезу в плоскости рудной залежи в направлении ее выклинивания происходит отчетливое и постепенное уменьшение коэффициента рудоносности. Это означает, что при поисковых работах градиент этого коэффициента может быть использован для корректировки направления поисковых работ, в данном случае для рационального размещения буровых скважин, когда по результатам геохимического опробования керна уже пробуренных скважин уточняется местоположение последующих скважин. Естественно, в данном случае речь идет только о принципиальной возможности использования на практике особенностей распределения элементов-индикаторов в рудовмещающей толще осадочных месторождений. Эффективное внедрение этой намечающейся методики в производство требует продолжения научно-методических исследований с целью выяснения многих важных для практики вопросов состава и строения сопровождающих осадочные месторождения поликомпонентных геохимических ореолов. В этой связи отметим особую

важность детального объемного изучения геохимических особенностей рудоносных горизонтов, имея в виду прежде всего выяснение пространственных взаимоотношений рудных тел и внутренней структуры геохимических полей возможно большего числа химических элементов.

РОССЫПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Экзогенные месторождения, представленные россыпями, также имеют свои первичные геохимические ореолы, по времени образования сингенетичные с рудными телами. Первичные ореолы этого типа месторождений изучены крайне слабо, поэтому в настоящее время не представляется возможным определить их теоретическое и практическое значение.

Ниже рассматривается геохимическая зональность оловорудной россыпи и ее первичных ореолов по результатам исследований, выполненных Н. Г. Паттык-Кара при участии автора на стадии интерпретации данных геохимического опробования. С геохимической точки зрения россыпи, как известно, представляют собой механические ореолы и потоки рассеяния, тип которых тождествен генетическому типу россыпи [38]. Основная их часть относится к крупнообломочным и шлиховым ореолам и потокам. При этом наибольшая крупность характерна для так называемых валунных россыпей, наименьшая — для прибрежно-морских россыпей дальнего переноса, где основная доля полезных компонентов сосредоточена в классе 0,01—0,6 мм. С ними, как правило, сопряжены более или менее протяженные и в различной степени контрастные дисперсные ореолы и потоки, связанные преимущественно с алевритовой, пелитовой и субколлоидной составляющими осадка. Как и любое рудное скопление в зоне гипергенеза, россыпи могут сопровождаться вторичными ореолами рассеяния, возникающими в условиях постседиментационного преобразования металлоносных осадков, включающих первичные ореолы. В зоне преобладания деструкции, где преобразование россыпей происходит под воздействием склоновых, эрозионных, абразивных или дефлюкционных процессов, эти ореолы имеют преимущественно механическую природу. Над погребенными россыпями могут формироваться солевые ореолы боковой или вертикальной миграции, а также биогеохимические ореолы.

Геохимические исследования, проведенные на ряде россыпных полей, расположенных в прибрежной зоне шельфа, позволили выявить черты упорядоченного пространственного распределения рудных и сопутствующих им индикаторных элементов как в самих рудных телах, так и в сопровождающих их ореолах. Оно складывается под влиянием нескольких причин, главными из которых являются первичная минералого-геохимическая зональность, уровень среза источника питания и литолого-фациальная зональность самих россыпей.

Изученные россыпи и их первичные ореолы связаны с рудными телами турмалинового типа касситерито-силикатной формации (Валькумейское рудное поле). В их числе россыпи в зоне тектонических уступов на границе блоков с различным уровнем вскрытия коренного источника и режимом осадконакопления. Они представляют собой наклонные линзы металлоносных осадков, перекрытых чехлом пустых пород мощностью от 1 до 20 м и более. Отдельные пласты россыпей имеют возраст от миоцена до голоцена и связаны с рудными зонами и прожилково-вкрапленными зонами преимущественно мало- и умеренно-сульфидного касситерит-кварцево-турмалинового состава. Часть их в настоящее время погребена под кайнозойскими осадками и таким образом выведена из-под влияния абразии и денудационных процессов.

На рис. 96 изображен, в частности, «околорудный» (первичный) ореол оловоносной россыпи, охарактеризованный мультипликативным показателем типа $V \cdot W \cdot Cu$. На формирование ореолов погребенных россыпей в прибрежной зоне шельфа повлияло также то обстоятельство, что они формировались в условиях неоднократной смены субаэральной и субаквальной обстановок. В высокоширотных морях эта смена обусловила чередование эпох эпигенетического (или сингенетического — в плейстоцене) промерзания металлоносных осадков в периоды регрессий и их полного протаивания — в периоды трансгрессий. Изменение физического состояния пород, сопровождающееся фазовыми переходами воды, в том числе перемещение в пространстве термодинамического барьера на фронте промерзания-протаивания, создавало предпосылки для интенсивной солевой миграции элементов в толще металлоносных пород.

Исследованиями установлено, что в данных условиях над погребенной россыпью и ее первичными ореолами осуществлялась вертикальная миграция наиболее подвижных компонентов, приводящая к отгонке в верхние части разреза ряда рудных элементов, входящих в состав типоморфной ассоциации ореола россыпей. Среди них в ореоле оловоносных россыпей в первую очередь следует назвать серебро, молибден и цинк, концентрации которых резко возрастают в перекрывающих погребенную россыпь плейстоценовых и голоценовых прибрежно-морских осадках (см. рис. 96). В данном случае мы наблюдаем формирование вторичных (эпигенетических по отношению к рудным телам россыпей) ореолов рассеяния определенной группы элементов-индикаторов. Это позволяет полагать, что одним из важных поисковых признаков погребенных россыпей, залегающих в прибрежной зоне шельфа, могут служить их вторичные «надрудные» геохимические ореолы, сформированные в условиях эпигенетического преобразования толщи металлоносных осадков.

Изложенный материал позволяет сделать вывод о том, что геохимические особенности россыпей и вмещающих отложений

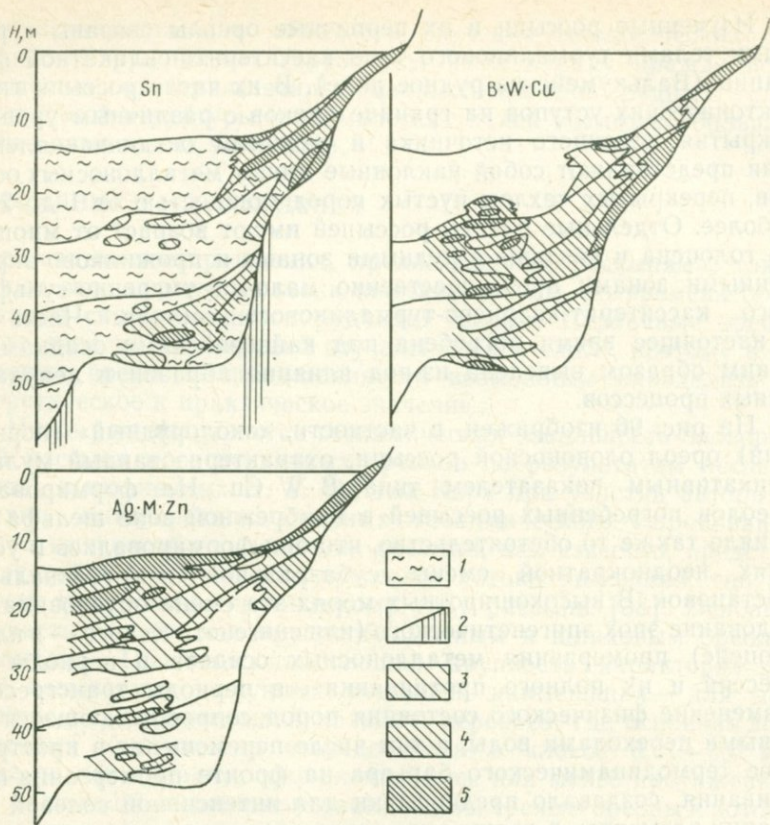


РИС. 96. Распределение элементов-индикаторов в разрезе погребенной и затопленной россыпи олова. По Н. Г. Паттык-Кара.

1 — плейстоценовые, голоценовые, плиоцен-раннеплейстоценовые, миоценовые склоновые и аллювиальные отложения; 2 — коренные породы плотика; 3—5 — содержания элементов (по возрастанию)

имеют упорядоченный характер. Они отражают влияние, по крайней мере, трех факторов: отраженной минералого-геохимической зональности коренных источников, литолого-фациальной зональности обломочных отложений и эпигенетического преобразования металлонесных осадков в постседиментационный период, приводящего к формированию над погребенными и затопленными россыпями и их первичными ореолами вторичных ореолов рассеяния ряда элементов-индикаторов. При этом следует подчеркнуть, что эффективность применения геохимических методов при поисках и оценке россыпей на шельфе определяется их комплексированием с изучением геоморфологической, литолого-фациальной, динамической и палеогеографической обстановки россыпеобразования, особенно в настоящее время, когда применение при изучении россыпей современных модификаций геохимических методов только начато, и поэтому оно в основном носит опытно-методический характер.

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

МЕСТОРОЖДЕНИЕ УРУП

Основным процессом, определяющим металлогенический облик зоны Передового хребта на Северном Кавказе, является вулканогенно-осадочное колчеданное рудообразование, связанное со спилит-кератофировой формацией. Наиболее полно этот процесс проявлен на месторождениях Урупского рудного поля.

Медноколчеданное оруденение в Урупском рудном поле локализовано в толще вулканогенных образований, которая подстилается и перекрывается осадочными породами девонского возраста. Толща фациально неоднородна, в низах ее преобладают лавы кислого и основного состава (кизилкольская свита), а в верхах — пирокластические и тесно связанные с ними вулканогенно-осадочные породы (картджуртская свита).

Время формирования медноколчеданных залежей совпадает с заключительными этапами проявления кислого вулканизма в каждом комплексе. Именно поэтому в разрезе вулканогенной толщи колчеданное оруденение локализуется на двух уровнях. К нижнему интервалу рудоносности приурочены главная залежь Урупского месторождения и Скалистое месторождение, к верхнему — Власенчихинское, Первомайское, Водораздельное месторождения и Верхняя залежь Урупа. Рассмотренные вулканогенно-осадочные породы слагают южное крыло Урупской антиклинали, падающее под углом 15—45° к югу. Ось антиклинали проходит в субширотном направлении в северной части рудного района.

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, сфалеритом, борнитом, галенитом. Все рудные тела сопровождаются гидротермальными изменениями вмещающих пород (окварцевание, серицитизация, хлоритизация, пиритизация). Вокруг главной залежи Урупского месторождения интенсивное гидротермальное изменение пород наблюдается только со стороны лежащего бока.

Урупское месторождение расположено в восточной части рудного поля, а в разрезе вулканогенных пород — в кровле кизилкольской свиты на контакте ее с картджуртской свитой. Нижний вулканогенный комплекс представлен контрастно

дифференцированной спилит-кератофировой формацией (базальтовые порфиры, липаритовые порфиры и их туфы), которая завершается формированием колчеданной залежи и перекрывающих ее кремнистых сланцев. Верхний вулканогенный комплекс на месторождении менее дифференцирован, отсутствуют породы начала цикла, а именно — лавы основного состава. Существенное влияние на формирование современной структуры залежи оказали разрывные нарушения. Большое значение имеют сбросы северо-западного простирания. Наиболее крупным нарушением этой группы является Урупский сброс. Он представляет собой два параллельных разрыва, пересекающих месторождение с северо-запада на юго-восток. Вертикальная амплитуда перемещения вдоль восточного разрыва колеблется от 40 до 175 м. Иногда в разрывы затянуты блоки сплошных колчеданных руд. Пострудный характер северо-западных сбросов не вызывает сомнений.

Главная залежь описываемого месторождения сложена тремя рудными телами, расположенными на разных стратиграфических уровнях в разрезе продуктивного горизонта. Рудные тела Урупского месторождения сложены следующими типами руд: серно-колчеданными, медноникелевыми, медно-цинково-колчеданными сплошными и прожилково-вкрапленными рудами, слоистыми медноколчедановыми, медными кремнисто-колчеданными прожилково-вкрапленными рудами.

На месторождении проявлена концентрическая минеральная зональность в соответствии со следующим рядом: пирит—халькопирит—(борнит)—сфалерит (от центра к флангу). Эта зональность по мощности рудных тел менее контрастна. Она проявляется лишь в приуроченности серно-колчеданных руд к подошве, а медных, особенно борнитсодержащих, к кровле залежи.

Геохимические особенности месторождения изучены Н. В. Резниковым и автором. В распределении основных компонентов руд на месторождении установлена концентрическая геохимическая зональность (табл. 20). От центральной части залежи (серно-колчеданные руды) к западному флангу уста-

Таблица 20

Показатель зональности рудообразующих элементов в рудах Урупского месторождения

Номер скважины	Относительное положение скважин	Cu	Zn	Co	Mo	As	Ag
C-127	Центральное	0,124	0,078	0,605	0,109	0,062	0,022
C-81	Промежуточное	0,202	0,065	0,295	0,192	0,202	0,044
C-147	„	0,304	0,178	0,260	0,108	0,067	0,083
C-255	Западный фланг	0,224	0,123	0,165	—	0,348	0,140

Примечание. Подчеркнуты максимальные значения.

новлен следующий ряд элементов: $\text{Co—Mo—(Cu, Zn)—(As, Ag)}$ (табл. 20). Состав первичных геохимических ореолов Урупского месторождения аналогичен комплексу основных элементов-индикаторов колчеданного оруденения, представленному следующим набором элементов: $\text{Cu, Zn, Pb, Ag, Mo, Co, As, Mn}$.

В породах надрудной толщи четко выделяются ореолы двух морфологических типов. Первый представлен группой ореолов линзовидной формы, залегающих параллельно главной залежи и удаленных от нее в среднем на 150 м («обособленные» ореолы), второй — узкой ореольной полосой, тесно примыкающей к кровле главной залежи (рис. 97). Оба типа ореолов характеризуются незначительными размерами (мощностью 10—50 м, длиной 100—200 м, редко 600 м), неполным набором и низкими содержаниями элементов-индикаторов. Наиболее значительные размеры имеют первичные ореолы Cu, Zn и Pb , внутри которых располагаются ореолы Ag и Mo . Аномальные содержания кобальта и мышьяка 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, приурочиваются к прослоям туффигов, туфопесчаников, кварцитовидных пород, филлитовидных сланцев, к контактам пород различного состава (см. рис. 97). Породы часто окварцованы, эпидотизированы, гематитизированы и содержат сульфиды. При этом отмечено, что гематитизированные туфы кислого состава характеризуются повсеместными аномальными содержаниями свинца, реже — меди, цинка, а окварцованные и кремнистые участки пород — аномальными содержаниями молибдена, эпидотизированные и пиритизированные туфы среднего состава — повышенными содержаниями кобальта, молибдена. Отмеченные изменения пород с зонами дробления и трещиноватости не связаны. Таким образом, «обособленные» ореолы всякого бока Главной залежи по отсутствию зональности и геологическому строению вмещающих пород могут рассматриваться как геохимические аномалии, обусловленные зонами рассеянной минерализации.

Вокруг главной залежи Урупского месторождения отмечаются первичные ореолы марганца, который образует в надрудной толще ореолы привноса, а в подрудной — ореолы выноса (см. рис. 97). Непосредственно над рудным телом первичные ореолы интенсивные (более 0,8 %), особенно на флангах, и прослеживаются до 300 м по простирацию от его границ. Они тесно связаны с железистыми силлицидами, туфами кислого состава, залегающими в кровле рудного тела. Марганец в промышленных концентрациях отмечается на восточном фланге месторождения.

В подрудной толще главной залежи первичные ореолы пространственно совмещены с метасоматитами. Последние

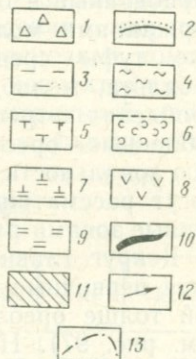
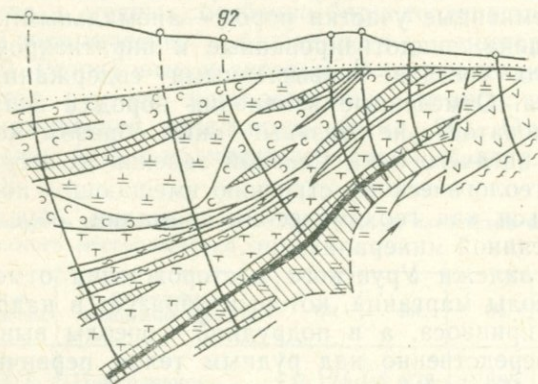
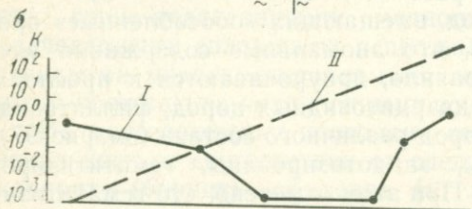
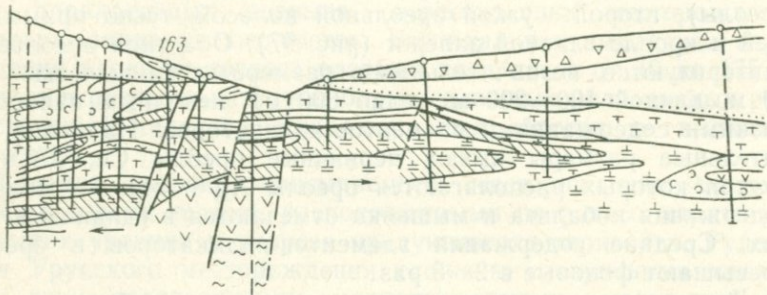
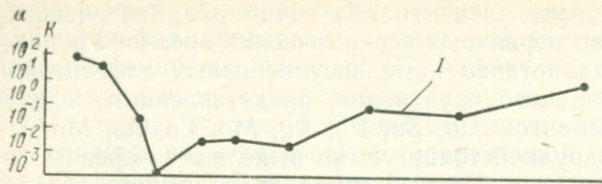


РИС. 97. Мультипликативные ореолы по простиранию (а) и падению (б) главной залежи:

1 — делувий; 2 — граница пород верхней юры и девона; 3 — филлиты; 4 — кремнистые сланцы; 5 — туфы смешанного состава; 6 — туфы липаритовых порфиров; 7 — туфы и липаритовые порфиры; 8 — базальтовые порфиры; 9 — метасоматиты; 10 — главная залежь; 11 — мультипликативные ореолы основных элементов-индикаторов (Cu, Zn, Pb, Ag, Mo, Co, As); 12 — предполагаемые направления движения рудообразующих растворов; 13 — разломы; I — мультипликативный коэффициент зональности; II — условный коэффициент зональности ореолов гидротермального генезиса

Средние содержания элементов в первичных ореолах

Положение ореола	Содержание элемента, $n \cdot 10^{-3} \%$						
	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo	Co	As
Висячий бок	12	7	1,2	0,025	0,3	—	6
Лежачий бок	98	45	8	0,16	0,8	2	10
Коэффициент контрастности	0,12	0,15	0,15	0,13	0,37	—	0,6

образовались по различным литологическим разностям и представлены рассланцованными кварц-серицитовыми, кварц-серицитхлоритовыми и кварц-хлоритовыми породами с неравномерно рассеянной вкрапленностью сульфидов.

Первичные ореолы имеют грибовидную форму. Они распространяются по простиранию до 650 м за контурами залежи и до 350 м по нормали к ней. По мере удаления ореолов от залежи сокращается число ореолообразующих элементов и убывают мощность и продуктивность ореолов. Интенсивность ореолов цинка, свинца и серебра резко возрастает в направлении к флангам, а кобальта и молибдена — к центру, т. е. к участку с максимальной мощностью (см. рис. 97, скв. 92) рудного тела. В целом ореолы в подрудной толще характеризуются высокими средними содержаниями элементов-индикаторов (5—70 геофонов), устойчивыми корреляционными связями, зональным строением. Содержания элементов в лежачем боку в 2—16 раз больше, чем в висячем (табл. 21).

Мультипликативные 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. 97).

Зональность первичных ореолов в поперечном сечении отчетливо выражается в увеличении концентраций всех элементов-индикаторов, кроме молибдена и кобальта, по мере приближения к рудному телу, эта особенность может быть рассмотрена на примере скв. 261, вскрывающей наиболее полный геологический разрез и мощность рудного тела на месторождении (табл. 22). По порядку убывания коэффициента контрастности от рудного тела на глубину по скв. 261 получен ряд зональности: As—Ag—Pb—Zn—Cu—Mo—Co. Этот ряд является типичным для Урупского месторождения поскольку аналогичные результаты получены по другим разрезам.

Наиболее контрастная зональность первичных ореолов проявляется в плане рудной залежи. По простиранию месторождения, как показано на рис. 97, в ореоле на флангах залежи наблюдается возрастание роли цинка, свинца, серебра, а в центре — меди, кобальта и молибдена. По показателю зональности

Изменение параметров ореолов в поперечном сечении

Интервал опробования, ниже рудного тела, м	Линейная продуктивность, $n \cdot 10^{-3}$ %							Zn/Co	Zn·Pb·Ag Cu·Co·Mo
	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo	Co	As		
0—50	5050	3800	273	19,5	45	55	820	69,0	1,6
50—101	1980	150	55	4	51	48	246	3,1	$7 \cdot 10^{-3}$
101—154	500	1500	60	—	30	128	240	11,7	$4 \cdot 10^{-2}$
154—204	2700	5000	—	—	51	120	80	41,7	$3 \cdot 10^{-4}$
204—254	2400	900	—	—	30	440	80	2,1	$3 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент контрастности	2,1	4,2	4,5	5	1,5	0,1	10,2	—	—

элементов-индикаторов в разрезе I—I относительно скв. 163 построены следующие ряды зональности: (скв. 163 — западный фланг) Mo—Co—Cu—As—Pb—Ag—Zn; (скв. 163 — восточный фланг) Co—Mo—Cu—As—Zn—Pb—Ag.

Полученные ряды зональности в целом отражают симметричную относительно центра залежи (скв. 163) геохимическую зональность. В соответствии с этой зональностью мультипликативный 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) мультипликативного коэффициента геохимической зональности с закономерным «провалом» в центральной части рудной залежи фиксируют рудоподводящие 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 проявлению только гидротермального процесса, то график коэффициента геохимической зональности имел бы монотонно восходящий вид.

Отмеченное и прежде всего симметричная зональность первичных ореолов в плоскости рудных тел указывает на первичногоризонтальное положение главной залежи в период рудообразования, что согласуется с представлениями В. И. Смирнова и Н. С. Скрипченко о вулканогенно-осадочном происхождении описываемого оруденения.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ УЧ-КУЛАЧ

Описываемое месторождение располагается в субширотной полосе вулканогенно-осадочных образований девонского возраста. С юга эта полоса ограничена мощными осадками девонского

барьерного рифа, с севера — крупным разломом. В разрезе месторождения выделяются три комплекса пород: вулканогенный, вулканогенно-осадочный и осадочный.

К вулканогенному комплексу отнесены экструзивные, лавовые и туфогрязевые потоки, сложенные многообразными по облику породами (кварцевые порфиры, фельзит-порфиры, дациты, андезиты-дациты, туфы), объединяющиеся в одну бандскую свиту. Вулканогенно-осадочный комплекс представлен как чисто карбонатными отложениями (доломиты, известняки, их переходные разности), так и типично эффузивно-осадочными образованиями (туфами, туфогравелитами, туффитами, туфоконгломератами), разделяющимися на две свиты — нижеучкулачскую и верхнеучкулачскую. Осадочный комплекс представлен преимущественно карбонатными породами, слагающими две свиты — ментскую и усть-куруксайскую.

Основной складчатой структурой на площади месторождения является палеовулканическая антиклиналь, протягивающаяся в северо-западном направлении в виде узкого трогообразного вала, ширина которого в наиболее эродированной части не превышает 1 км. Структура имеет резко асимметричную форму, спокойное моноклинальное залегание южного крыла и крутое, вплоть до вертикального и обратного падения — северного.

Пликативные структуры осложнены разрывными нарушениями различного порядка, из которых наиболее крупными являются субсогласные, вероятно, соскладчатые по заложению разломы широтного простирания.

Рудные тела месторождения сложной морфологии, мощность колеблется от единиц до сотни метров, протяженность — от первых сотен метров до 1,5 км. Часть рудных тел, с которыми связана наиболее значительная часть запасов полиметаллических руд, размещается в разрезе терригенно-осадочных отложений нижеучкулачской и верхнеучкулачской свит, наследуя элементы их стратификации (согласные с залеганием пород). Другая часть рудных тел локализована вблизи тектонически ослабленной зоны контакта отложений ниже- и верхнеучкулачской свит. И, наконец, последняя часть рудных тел связана с полостями или зонами двух крупных разрывных нарушений — Южно-Учкулачского и Северо-Учкулачского разломов, представляющих собой важные элементы общей структуры месторождения.

В каждом из выделяемых литолого-структурных подразделений рудные тела внутри рудных зон по падению располагаются кулисообразно относительно друг друга с перекрытиями до одной трети длины. Такая же картина наблюдается по линии простирания рудных тел. Нередки случаи близкого расположения рудных тел друг от друга (единицы — десятки метров).

Минеральный состав рудных тел сравнительно прост. Ведущими рудными минералами являются галенит, сфалерит

и пирит, в незначительных количествах встречаются халькопирит, марказит, ковеллин, борнит, халькозин и блеклые руды. Из нерудных, кроме кальцита и доломита, широко распространены барит, изредка встречаются кварц и флюорит.

Рудные тела месторождения характеризуются однотипной вертикальной геохимической зональностью, выражающейся в четком уменьшении свинцово-цинкового отношения с глубиной (от значительного преобладания свинца над цинком — в верхних, через приблизительно равное их количество — в центральных, до преобладания цинка над свинцом — в нижних частях рудных тел).

К нижним частям рудных тел иногда значительно увеличивается содержание бария, который, кроме участия в комплексных рудных телах, образует самостоятельные, почти чисто баритовые жилы, располагающиеся в низах стратиграфического разреза отложений учкулачской свиты. Исследованиями Л. Н. Лисогора и автора установлено, что на месторождении вокруг рудных тел развиты наиболее широкие и интенсивные ореолы свинца, цинка, бария, меди, кобальта и молибдена.

По особенностям внутреннего строения на месторождении отчетливо выделяются два типа первичных ореолов: к ореолам первого типа относятся первичные геохимические ореолы, развитые вокруг рудных тел в пределах рудовмещающих продуктивных ниже- и верхнеучкулачских свит. Ореолы второго типа развиты в перекрывающих продуктивные горизонты породах косуринской, ментской и устькуруксайской свит.

В размещении ореолов первого типа относительно рудных тел наблюдаются следующие закономерности: ореолы развиты строго согласно с рудовмещающими терригенно-осадочными породами. Поля максимальных концентраций Pb, Ag, реже Cu, располагаются на уровне от верхних до центральных частей, Zn, Cd и реже Co — на уровне нижних частей рудных тел, ореолы Ba, Sr приурочены к низам стратиграфического разреза и частично к нижним частям рудных тел; к низам стратиграфического разреза в ряде случаев тяготеет и часть ореолов цинка.

Для количественной характеристики осевой геохимической зональности первичных ореолов рудных тел (по восстанию рудовмещающих пород) были рассчитаны величины показателя зональности. Учитывая специфические особенности геологического строения месторождения Уч-Кулач, показатель зональности рассчитан для отдельных зон, выделенных с учетом кулисного расположения рудных тел в пределах продуктивных горизонтов рудовмещающих пород.

Расчет показателя зональности проводился в пределах выделенных зон по семи разрезам Центрального участка месторождения. В результате были составлены ряды зональности элементов-индикаторов (табл. 23). Эти данные однозначно отражают преимущественное развитие наиболее интенсивных ореолов свинца, серебра и меди в верхних частях выделенных

Ряды зонального распределения химических элементов в первичных ореолах

Номера разрезов	Зоны	Характеристики зон	Ряды элементов-индикаторов
39	II	Отложения кошкуринской свиты	(Ag, Zn), (Cd, Ba), (Ga, Co, Mo, Cu), (Sr, Pb)
39	V	Зона контакта отложений нижеучкулачской и верхнеучкулачской свит	(Cd, Cu), (Sr, Ba, Zn), (Ga, Co, Ag), (Mo, Pb)
39	VI	Центральная часть разреза отложений нижеучкулачской свиты	(Ga, Sr, Ba, Zn), (Cd, Cu) (Co, Mo, Ag), Pb
39	VIII	Нижняя часть разреза отложений нижеучкулачской свиты	(Ga, Sr, Ba, Zn), (Co, Mo, Ag, Cu), (Cd, Pb)
44	III	Отложения верхнеучкулачской и нижеучкулачской свит	Zn, (Co, Cu), (Ga, Sr, Cd, Ba, Pb), (Mo, Ag)
46	III	Разрез отложений верхнеучкулачской свиты	(Co, Zn, Ba), Cd, (Ga, Sr, Mo, Cu, Pb), Ag
46	IV	Верхняя часть разреза отложений нижеучкулачской свиты	(Sr, Co, Mo, Cu, Ba, Zn), (Ga, Cd, Ag), Pb
48	I	Верхняя часть разреза отложений кошкуринской свиты	(Co, Ba), (Mo, Cd, Zn), (Ag, Cu), Pb
48	II	Верхняя часть разреза отложений верхнеучкулачской свиты	(Sr, Zn), (Ga, Co, Cu, Ba), Mo, Cd, (Ag, Pb)
48	III	Зона контакта отложений ниже- и верхнеучкулачской свит	(Ga, Zn), Sr, Co, Mo, Ba, (Ag, Cu) Cd, Pb
50	II	Разрез отложений кошкуринской свиты	Co, Ba, Cd, (Ga, Sr, Zn), (Mo, Cu, Ag), Pb
50	IV	Разрез отложений верхнеучкулачской свиты	(Zn, Co), Cu, Cd, Ag, (Ba, Mo, Sr), Pb
50	A	Зона южно-учкулачского разлома	Ba, Mo, Zn, Cd, Co, (Cu, Ag), Pb, (Ga, Sr)
52	III	Зона контакта отложений кошкуринской и верхнеучкулачской свит	Ba, Zu, Ag, (Pb, Cd, Mo, Sr, Co, Cu, Ga)
52	V	Центральная часть разреза отложений верхнеучкулачской свиты	(Zn, Cd, Ba), Pb, (Ga, Sr, Co, Mo, Ag, Cu)

Номера разрезов	Зоны	Характеристики зон	Ряды элементов-индикаторов
53	V	Разрез отложений верхнеучулачской свиты	(Ba, Zn, Cd), (Ag, Sr), (Co, Cu, Ga), (Pb, Mo)
53	VI	Зона близ контакта отложений ниже- и верхнеучулачской свит	Cd, (Ba, Zn), (Sr, Ag, Pb), (Cu, Co, Mo, Ga)

Примечания. 1. Обобщенные ряды зональности: по всем зонам Zn, Ba, Co, Cd, Cu, Mo, Ag, Pb; по зонам V, VI, II, III Ba, Cd, Zn, Co, Cu, Ag, Mo, Pb; по зонам I, IV, VIII Zn, Ba, Co, Cd, Mo, Cu, Ag, Pb. 2. В скобках элементы, взаимное расположение которых однозначно не установлено.

зон. В отличие от этого барий, цинк, реже кадмий, стронций и кобальт образуют наиболее интенсивные ореолы на уровне нижних частей исследованных рудоносных зон. Обобщенный ряд зональности, как следует из табл. 23, существенно отличается от ряда зональности гидротермального оруденения (см. гл. II). Эти отличия вряд ли обусловлены тем обстоятельством, что были изучены первичные ореолы не отдельных изолированных рудных тел, а ореолы, развитые вокруг группы сближенных в пространстве рудных тел, когда происходит существенное искажение рядов зональности из-за различий в гипсометрических уровнях отдельных рудных тел. Подтверждением этого предположения являются приведенные в табл. 23 ряды по зонам, где практически отсутствует совмещение различных частей группы рудных тел (см. табл. 23). Как показывает сравнение, эти ряды мало чем отличаются от остальных.

Приведенные выше особенности состава и строения геохимических ореолов месторождения Уч-Кулач подтверждают представления о сложном полигенном происхождении оруденения. Баритовая минерализация представляется сингенетичной с накоплением отложений ниже- и частично верхнеучулачской свит. Такого же генезиса, вероятнее всего, часть цинкового оруденения, приуроченная к низам терригенно-осадочного разреза. В приведенных в табл. 23 рядах эти элементы вместе с кадмием, стронцием и другими элементами устойчиво располагаются в начальных частях рядов зональности элементов-индикаторов, в которых последними постоянно являются свинец, а также серебро, что свидетельствует об эпигенетическом (вероятно, гидротермальном) преобразовании руд. Кроме того, развитые в перекрывающих продуктивные горизонты породах косуринской, ментской и устькуруксайской свит первичные геохимические ореолы элементов-индикаторов оруденения также свидетельствуют об эпигенетическом перераспределении рудных и сопутствующих им химических элементов. Отличительная особенность этих ореолов — развитие как согласных (со стратификацией

вмещающих пород), так и секущих полей аномальных концентраций элементов-индикаторов, а также специфический характер поперечной геохимической зональности. Последняя, как известно, проявляется в поперечном к рудным телам направлении и на описываемом месторождении исследовалась по отдельным буровым скважинам, пробуренным практически в перпендикулярном к простираанию рудных тел и рудовмещающих пород направлении. Для выявления поперечной зональности рассчитывался показатель зональности элементов отдельно по каждой из перекрывающих свит.

Развитые в перекрывающих оруденение породах первичные ореолы характеризуются геохимической зональностью, которая выражается следующим рядом (снизу вверх): $Mo-Co-Cu-Zn-Pb-Ag-Ba$. Этот ряд полностью соответствует рассмотренному выше обобщенному ряду геохимической зональности первичных ореолов типичных гидротермальных сульфидных месторождений. Отмеченное свидетельствует о гидротермальной природе развитых в перекрывающих оруденение толщах первичных ореолов.

ПОЛИФОРМАЦИОННЫЕ ОРЕОЛЫ

Выше рассмотрены первичные ореолы, сопровождающие рудные тела и месторождения, сформированные в единый этап минерализации. Характерными их чертами являются согласное развитие и тесное совпадение в пространстве аномальных полей всех элементов-индикаторов.

Исследования показывают, что в результате совмещения в пространстве образований различных по составу и условиям локализации рудных месторождений формируются сложные по строению ореолы, названные нами полиформационными. Особенности состава и строения полиформационных ореолов рассматриваются на примере полиметаллического, редкометального и медно-порфирового месторождений.

Полиметаллическое оруденение. На рис. 98 приведены первичные геохимические ореолы, развитые вокруг медно-висмутового оруденения. По этому разрезу выявлены также ореолы урана, связанные с известной в районе более молодой урановой минерализацией. Эти ореолы 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 урана (в этом отношении наиболее показателен молибден).

Аналогичный сдвиг в пространстве эпицентров ореолов медно-висмутового и уранового оруденения изображен на рис. 99, где ореолы урана и молибдена 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 является существенно положительной. В табл. 24 приведены коэффициенты порядковой корреляции содержаний элементов в полиформационных ореолах, образовавшихся в результате наложения уранового оруденения на полиметаллическое (см. рис. 98).

Отрицательная корреляционная связь между содержаниями урана и элементов-индикаторов полиметаллического оруденения обусловлена, очевидно, различными путями проникновения рудоносных растворов при формировании рудных тел и ореолов этих формаций. Это иллюстрируется рис. 100, где графики распределения свинца (полиметаллическая формация) и урана

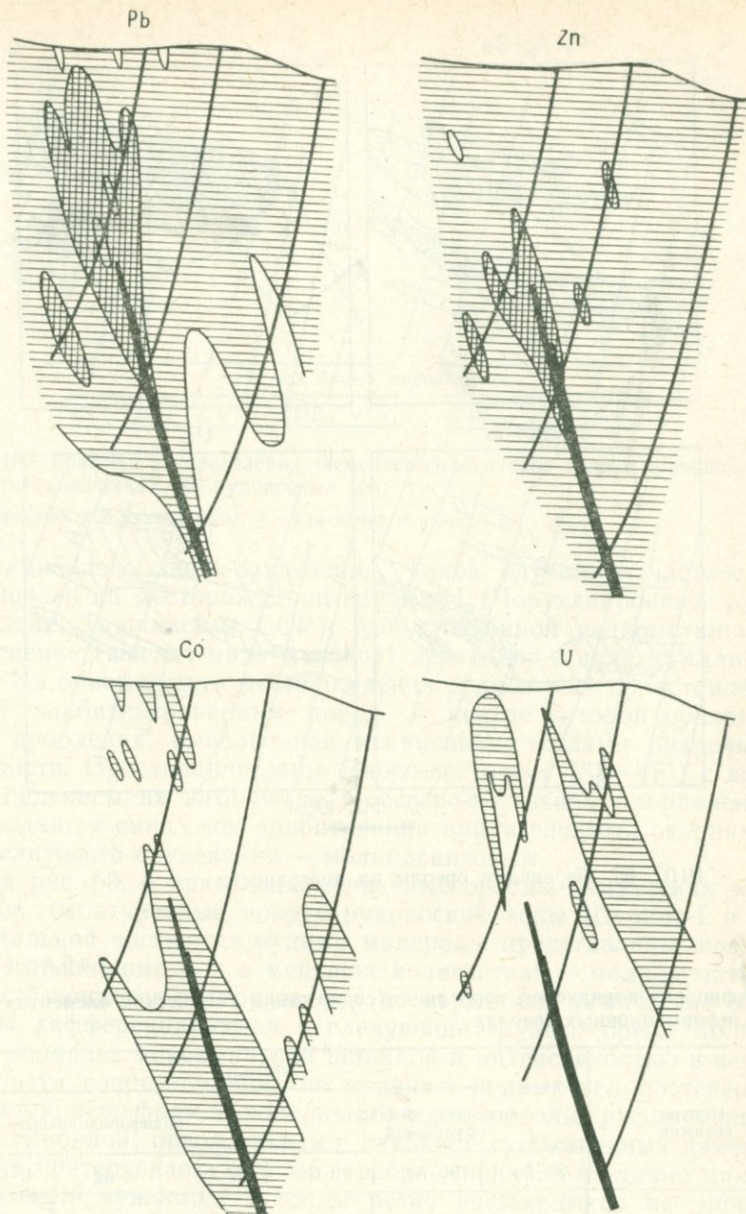


РИС. 98. Первичные ореолы в разрезе

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

Редкометальное оруденение. В ряде случаев полиформационные ореолы формируются в результате изменения с глубиной

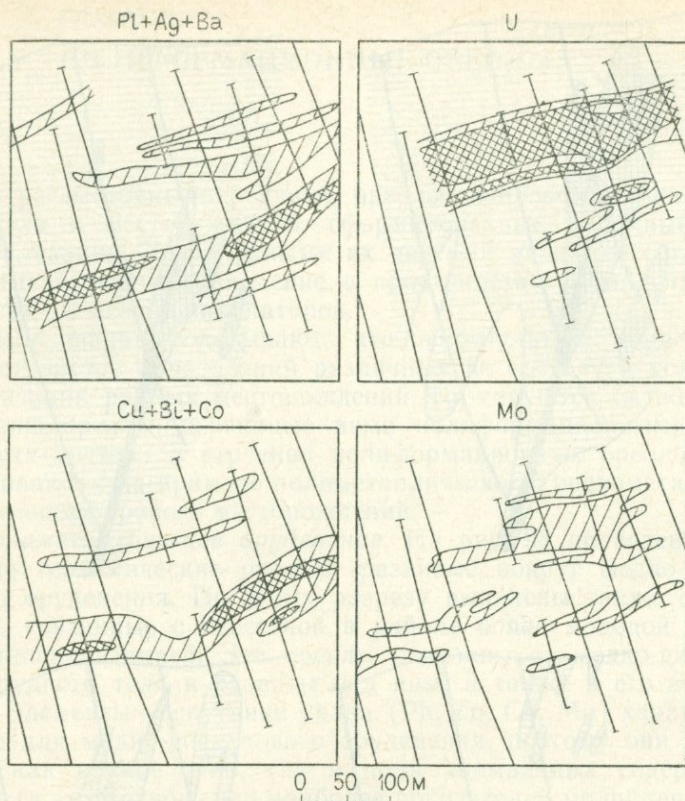


РИС. 99. Первичные ореолы на поверхности

Таблица 24

Коэффициент порядковой корреляции содержаний химических элементов в полиформационных ореолах

Номера скважин	Ореолы					
	полиметаллического оруденения			полиформационные		
	Pb-Zn	Pb-Ag	Pb-Cu	U-Zn	U-Ag	U-Cu
318	+0,54	+0,64	+0,65	-0,74	-0,64	
309	+0,069	+0,72	+0,95	-0,9	-0,11	0,14

Примечания. 1. Подчеркнуты значимые связи (1 %-ный уровень значимости). 2. По скв. 318 коэффициент корреляции содержаний меди и урана не удалось вычислить, так как ореолы этих элементов в пространстве не совмещаются.

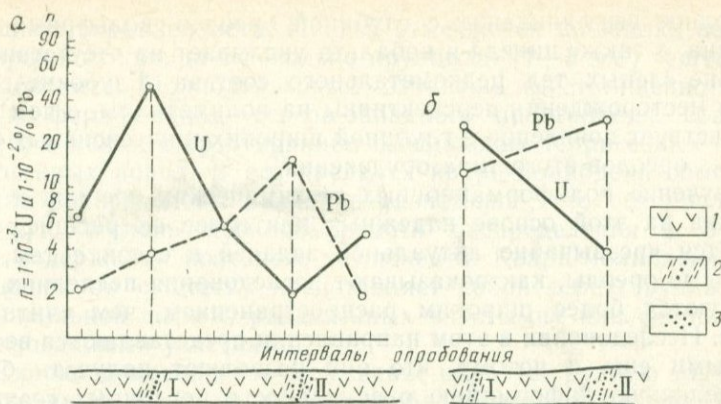


РИС. 100. Графики распределения элементов-индикаторов вокруг урановой (а) и полиметаллической (б) рудоносных зон:

1 — эффузивы; 2 — рудные зоны; 3 — изменение породы

формационного типа оруденения. Такой случай, в частности, установлен на месторождении Шурале-1 (Чорухдайронское рудное поле, Таджикская ССР), где с глубиной редкометальное оруденение (шеелит-молибденовое) переходит в полиметаллическое. На описываемом месторождении рудное тело представлено зоной альбитизированных пород, в центре которой проходит зона дробления, выполненная кварцевыми жилами различной мощности. Простираение зоны северо-восточное ($35-45^\circ$) с крутым падением на юго-восток. В северо-восточном направлении наблюдается смена зон альбитизации пироксеновыми скарнами, а шеелитового оруденения — молибденитовым.

На рис. 69, б приведены первичные ореолы химических элементов, оконтуренные 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 дифференцируются в следующие группы: ореол молибдена обладает максимальной шириной и интенсивностью в верхней части разреза и вниз по падению рудных тел постепенно сужается; вольфрам и кобальт образуют ореолы, расширяющиеся с глубиной; ореол никеля с глубиной существенных изменений не претерпевает; ореолы серебра, свинца и частично цинка 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 нижней скважиной вскрыты надрудные ореолы скарнового свинцово-цинкового оруденения.

Полное выклинивание с глубиной ореолов вольфрама, молибдена, а также никеля и кобальта 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 является чрезвычайно актуальной задачей в связи с тем, что подобные ореолы, как показывают исследования последних лет, пользуются более широким распространением, чем считалось ранее. Исследования в этом направлении представляются весьма важными 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 выше месторождение Шурале-I, где с глубиной происходит смена элементов-индикаторов высокотемпературного редкометального оруденения (вольфрам, молибден и др.) ореолами свинца, цинка и серебра — типичных индикаторов полиметаллического оруденения. Очевидно, что зональность полиформационных ореолов прежде всего будет определяться пространственными взаимоотношениями рудных тел совмещенных месторождений различных рудных формаций. Так, если на описанном выше месторождении Шурале-I наблюдается «обратная» зональность, то на месторождении Тутлы-III (Курсайское рудное поле) с глубиной скарново-полиметаллическое оруденение сменяется скарново-шеелитовым, и в соответствии с этим в ореолах выявляется уже «прямая» зональность.

Другим характерным примером сложной геохимической зональности является вольфрамо-молибденовое месторождение Тырнауз. 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. Они образуются в результате совмещения в пространстве продуктов по крайней мере двух этапов минерализации: скарново-шеелитового и кварц-молибденитового. Особенности развития полиформационных ореолов месторождения Тырнауз рассматриваются на примере Северного участка месторождения. Промышленное оруденение на этом участке представлено двумя типами: кварц-молибденитовым и скарново-шеелитовым.

Кварц-молибденитовое оруденение представляет собой штокверк, образованный системами кварц-молибденитовых жил и прожилков. Молибденит в прожилках находится в виде чешуек

и тонкой вкрапленности. Иногда отмечаются прожилки водяно-прозрачного кварца с довольно крупными (1—3 мм) чешуйками молибденита. Молибденитовый штокверк имеет линейно вытянутую форму запад—северо-западного простирания, совпадающего в целом с простиранием вмещающих терригенных и вулканогенных пород. В его пределах кварц-молибденитовые прожилки распределены крайне неравномерно, что обуславливает высокую степень неравномерности распределения в рудном теле содержаний полезного компонента. Кварц-молибденитовый штокверк по существу представляет собой серию рудных тел неправильной формы, разделенных «пустыми» или слабо минерализованными участками.

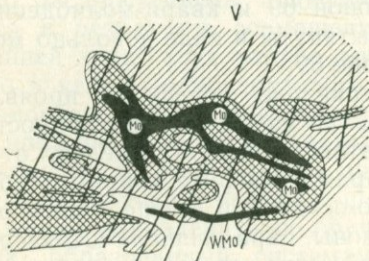
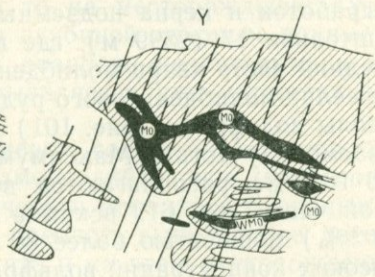
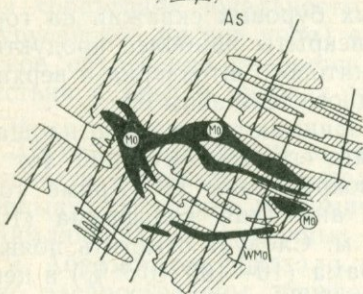
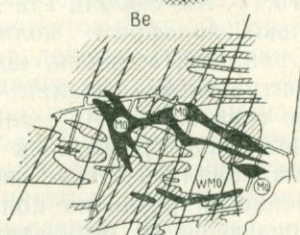
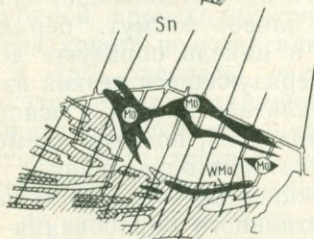
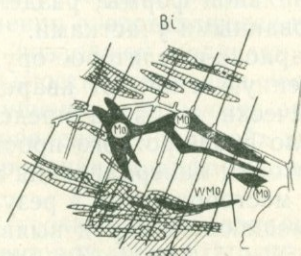
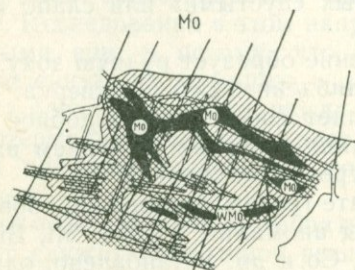
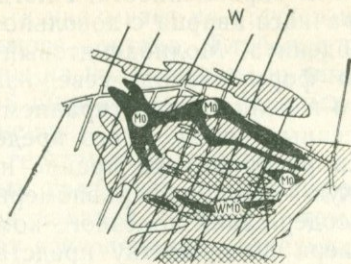
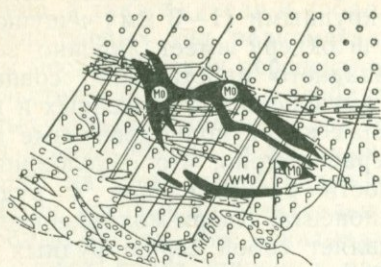
Скарново-шеелитовое оруденение образует рудную зону, расположенную к югу от кварц-молибденитового штокверка. Морфологически эта зона представляет собой линзоподобное рудное тело субширотного простирания с крутым падением на юг. Шеелитовая минерализация приурочена к скарнам.

На месторождении в результате геохимического опробования рудовмещающих пород выявлены аномалии W, Mo, Sn, Bi, Be, Ba, Y, Yb, V, As, Sb, Zn, Pb, Ni, Co и др. Установлено, однако, что только вольфрам, молибден, олово, висмут, бериллий, иттрий, ванадий, мышьяк, кобальт и никель образуют достаточно контрастные аномалии, характеризующиеся резкой изменчивостью с глубиной. Аномалии кобальта и никеля в основном совпадают с контурами даек ультрабазитов, поэтому элементы не рассматривались в качестве индикаторов оруденения.

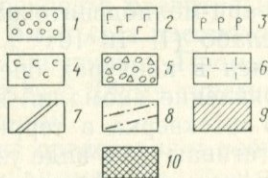
Особенности развития полиформационных ореолов в плане характеризуются по результатам детального опробования горных выработок и керна подземных буровых скважин на горизонте штольни 17 (2399 м), где вскрыты наиболее продуктивная средняя часть кварц-молибденитового штокверка и верхняя часть шеелит-молибденитового рудного тела зоны 69.

Ореолы вольфрама (рис. 101) занимают почти всю площадь описываемого участка. Максимумы его концентраций (от 10 до $100 \cdot 10^{-3} \%$) располагаются вокруг зоны 69. Кроме того, в южной части скв. 619 вскрыта аномалия вольфрама ($10—100 \cdot 10^{-3} \%$) мощностью более 80 м. Следует отметить появление высоких концентраций вольфрама ($10—100 \cdot 10^{-3} \%$) в центральной части участка между зоной 69 и кварц-молибденитовым штокверком, где аномалии вытянуты в виде довольно мощной зоны (50 м), параллельной зоне 69.

В кварц-молибденитовом штокверке вольфрам проявлен весьма слабо ($1—10 \cdot 10^{-3} \%$), однако сам штокверк полностью расположен в контурах ореола этого элемента. Следует отметить проявление аномалий вольфрама севернее кварц-молибденитового штокверка в терригенно-осадочной толще. Здесь ореолы протягиваются в виде узкой зоны, параллельной штокверку. Концентрации вольфрама в этой зоне сравнительно низкие ($1—10 \cdot 10^{-3} \%$).



0 80 160 M



Ореолы молибдена на описываемом горизонте имеют широкое распространение и располагаются как вокруг кварц-молибденитового штокверка, так и вокруг рудной зоны 69. Поля аномальных концентраций молибдена вытянуты в субширотном направлении. По ширине ореолы этого элемента превышают рудные тела в несколько раз. В южной части горизонта отмечаются ореолы молибдена имеющие весьма высокие концентрации, близкие к промышленным ($30 \cdot 10^{-3} \%$).

Ореолы висмута, как видно на рис. 101, располагаются, хотя и с некоторым смещением, к западу от скарново-шеелитовой рудной зоны 69, но явно к ней тяготеют. Южнее зоны 69 висмут образует поля высоких концентраций ($10-100 \cdot 10^{-4} \%$), вытянутые в субширотном направлении. Севернее кварц-молибденитового штокверка также наблюдаются узкие аномалии субширотного направления с содержанием висмута от 30 до $100 \cdot 10^{-3} \%$. Характерно полное отсутствие ореолов этого элемента вокруг кварц-молибденитового штокверка.

Ореолы олова (см. рис. 101), так же, как и висмута, связаны со скарново-шеелитовым оруденением и располагаются вокруг зоны 69 (с некоторым смещением на запад). Концентрации олова здесь относительно низкие: $1-10 \cdot 10^{-3} \%$ (лишь в отдельных пробах более $10 \cdot 10^{-3} \%$).

Бериллий образует ореолы, четко приуроченные к рудной зоне 69, но с весьма значительным смещением на запад, причем ширина ореолов к западу возрастает от 20 до 250 м. При этом заметного изменения в концентрации элемента не отмечается. В пределах самого кварц-молибденитового штокверка аномальные концентрации бериллия практически отсутствуют (за исключением нескольких единичных проб, где содержания его лежат в пределах порога чувствительности анализа), хотя отчетливая широкая зона аномалий этого элемента отмечена северо-западнее штокверка (см. рис. 101).

Мышьяк на горизонте штольни 17 создает широкие ореолы, преимущественно вокруг кварц-молибденитового штокверка, частично захватывающие также западный фланг рудной зоны 69 (см. рис. 101). На западном фланге кварц-молибденитового штокверка, где возрастает мощность рудного тела, ореолы мышьяка также значительно расширяются. На южном фланге описываемого участка ореолы мышьяка занимают как бы «секущее» положение по отношению к встреченным здесь шеелитовым рудным телам. Аномалии мышьяка наблюдаются как в отдельных участках рудных тел, так и за их пределами.

РИС. 101. Первичные ореолы элементов-индикаторов на горизонте штольни 17 (месторождение Тырнауз):

1 — конгломераты; 2 — ультрабазиты; 3 — роговики биотитовые и биотит-амфиболовые; 4 — скарны; 5 — конглобрекчи; 6 — граниты лейкократовые; 7 — горные выработки; 8 — разрывные нарушения; 9, 10 — первичные ореолы (10 — поля повышенных содержаний элементов)

Следует отметить значительное расширение ореолов мышьяка на западном фланге участка, что может быть связано с наличием скрытого молибденитового оруденения.

Ванадий образует очень широкие ореолы, практически захватывающие всю площадь участка штольни 17. Отчетливо видно преимущественное накопление ванадия в пределах и вокруг кварц-молибденитового штокверка, где его содержание достигает максимальных значений ($30 \cdot 10^{-3} \%$). Поля максимальных содержаний ванадия совпадают с развитием кварц-молибденитового оруденения (см. рис. 101). На восточном фланге участка поля ореола ванадия пересекают рудную зону 69 и, следовательно, развитые вокруг скарново-шеелитового оруденения ореолы вольфрама и его элементов-спутников. Отметим, что секущее положение ореолов одних элементов по отношению к ореолам других наблюдается только в строении полиформационных ореолов. В данном случае ванадий создает ореолы только вокруг кварц-молибденитового оруденения и, будучи индифферентным к другому типу оруденения, занимает по отношению к нему и его элементам-спутникам секущее положение.

Иттрий по характеру распределения является практически полным аналогом ванадия. Он образует широкое поле аномальных концентраций ($1 \cdot 10^{-3} \%$) в основном вокруг кварц-молибденитового штокверка. Приуроченность полей аномальных концентраций иттрия исключительно к молибденитовому оруденению очевидна (см. рис. 101). На западном фланге описываемого горизонта вскрыты расширяющиеся к западу (более 30 м) ореолы иттрия, пространственно совпадающие с ореолами ванадия, мышьяка и молибдена — характерных индикаторов кварц-молибденитового оруденения.

Сравнительный анализ рассмотренных выше особенностей распределения элементов-индикаторов в полиформационных ореолах, развитых вокруг сближенных в пространстве рудных тел кварц-молибденитового и скарново-шеелитового состава, позволяет выделить следующие группы элементов-индикаторов: 1) элементы, образующие ореолы только вокруг скарново-шеелитового оруденения (зона 69). Таковыми являются олово, бериллий и висмут; 2) элементы, образующие ореолы только вокруг кварц-молибденитового оруденения, — ванадий, иттрий и мышьяк; 3) элементы, образующие ореолы как вокруг кварц-молибденитового, так и скарново-шеелитового оруденения, — вольфрам, молибден. Наиболее высокие концентрации вольфрама приурочены только к ореолам собственно вольфрамового оруденения (см. рис. 101), а молибдена — к ореолам как молибденитового, так и шеелитового оруденения, так как скарново-шеелитовое оруденение является комплексным вольфрам-молибденовым. Следовательно, типоморфными элементами-индикаторами скарново-шеелитового оруденения являются олово, бериллий и висмут, а кварц-молибденитового — ванадий, иттрий и мышьяк.

В распределении типоморфных для каждого из типов оруденения элементов-индикаторов наблюдаются свои специфические закономерности. Так, в строении ореолов, развитых вокруг скарново-шеелитового оруденения (зона 69), особенно отчетливо фиксируется горизонтальная геохимическая зональность. Эта зональность выражается в смещении ореолов типоморфных элементов относительно друг друга с востока на запад: висмута относительно вольфрама (см. рис. 101), олова относительно висмута и вольфрама, бериллия относительно олова, висмута и вольфрама.

Для выяснения особенностей отмеченной зональности были рассчитаны величины показателя зональности элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения по методике, описанной выше. Исходя из полученного ряда зональности, выбрали группы элементов для построения частных мультипликативных ореолов. Затем построили частные мультипликативные ореолы надрудных (Be, Sn) и рудно-подрудных (Bi, W) элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения на двух разведочных горизонтах (штольни 17 и штольни 18—19), отстоящих друг от друга на 75 м по вертикали. Как видно из схем, приведенных на рис. 102, ширина мультипликативных ореолов олова и бериллия увеличивается в западном направлении, а вольфрама и висмута — восточном.

Для количественной оценки описываемой продольной зональности по исследованным поперечным сечениям рассчитали мультипликативные и аддитивные коэффициенты геохимической зональности. Даже аддитивный коэффициент выявляет в строении ореолов контрастную продольную геохимическую зональность на исследованных горизонтах (табл. 25).

Таким образом, описанная выше продольная геохимическая зональность первичных ореолов отражает склонение рудной зоны 69, а также свидетельствует о том, что движение рудоносных растворов вероятнее всего происходило снизу вверх и с востока на запад, т. е. результирующий вектор движения

Таблица 25

Аддитивный коэффициент геохимической зональности $(Be + Sn)/(W + Bi)$

Номер профиля	Горизонт штольни		Номер профиля	Горизонт штольни	
	17	18—19		17	18—19
I	0,042	0,043	V	0,682	2,032
II	0,065	0,0275	VI	3,010	—
III	0,156	0,179	Коэффициент контрастности	71	47
IV	0,172	0,236			

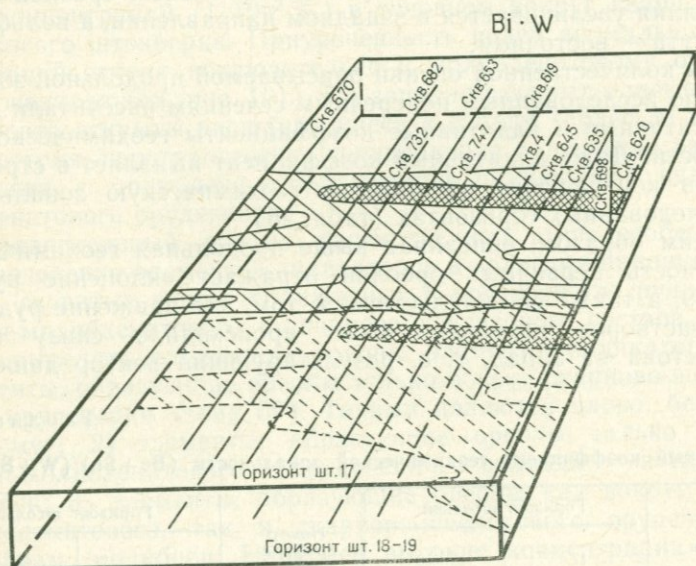
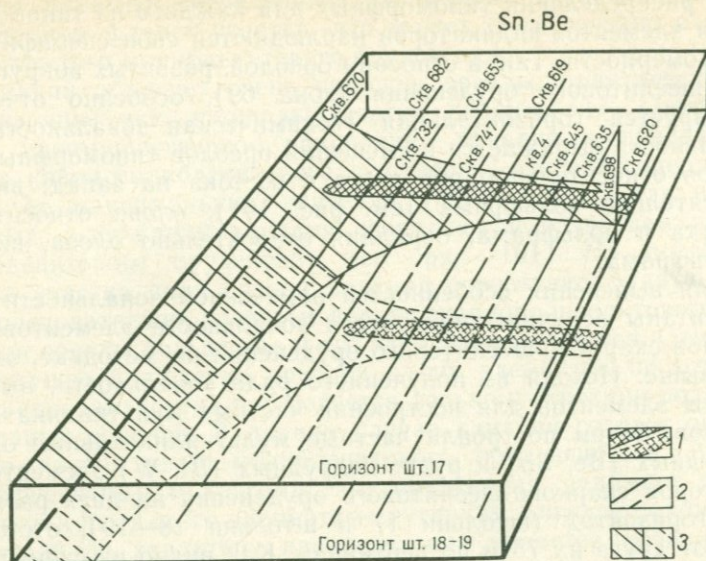


РИС. 102. Схема развития частных мультипликативных ореолов вокруг скарново-шеелитового оруденения месторождения Тырнауз (зона 69):

1 — рудное тело; 2 — скважины; 3 — мультипликативные ореолы

рудоносных растворов имеет субширотный азимут и направлен к западу под определенным углом относительно горизонта.

В связи с отсутствием у кварц-молибденитового штокверка склонения в ореолах этого типа оруденения продольная зональ-

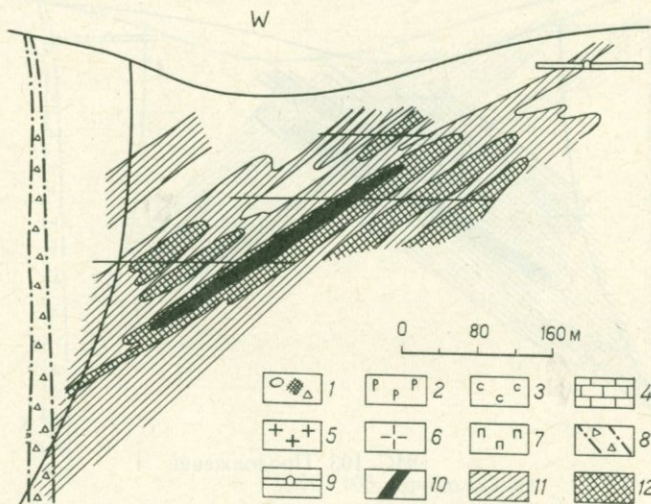
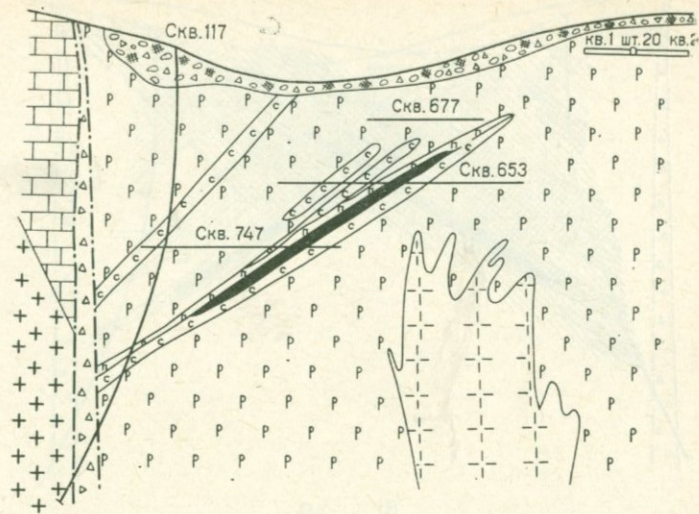


РИС. 103. Первичные ореолы (разрез I—II через рудную зону 69):

1 — четвертичные отложения; 2 — роговики биотитовые и биотит-амфиболовые; 3 — скарны; 4 — мраморы; 5, 6 — граниты (5 — эльджуртинские, 6 — лейкократовые); 7 — роговики пироксен-плагиоклазовые; 8 — зона разлома; 9 — горные выработки и скважины; 10 — рудное тело; 11—12 — первичные ореолы (12 — поля повышенных содержаний)

ность не установлена, т. е. в этом направлении не фиксируется асимметрия в размещении аномальных полей надрудных и подрудных элементов.

Приведенные данные показывают, что даже сравнительно простой анализ пространственных взаимоотношений рудоносных зон и аномальных полей различных элементов позволяет

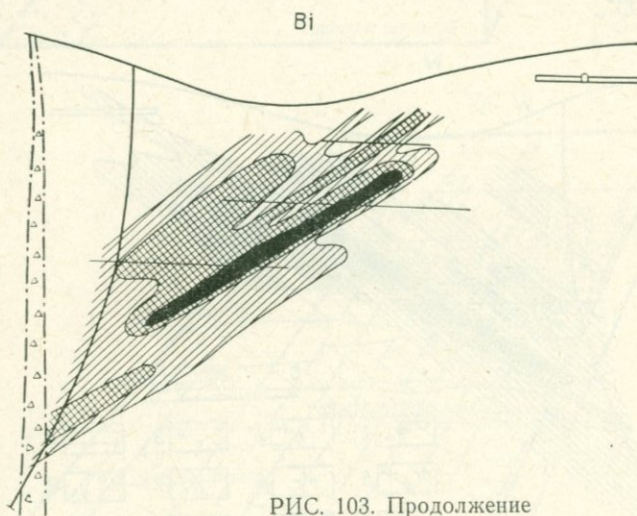
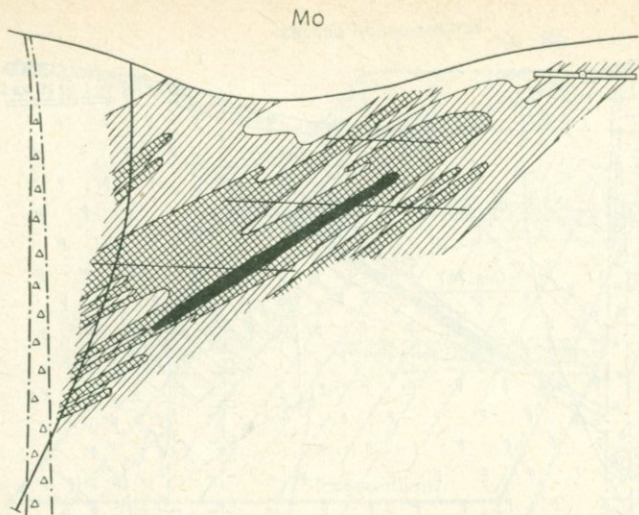


РИС. 103. Продолжение

установить полиформационную природу геохимических аномалий и произвести их расшифровку с выделением типоморфных для конкретного типа оруденения элементов-индикаторов. Выше этот вопрос был решен путем анализа особенностей развития ореолов, оконтуренных в плане. Полиформационная природа первичных ореолов описываемого месторождения не менее отчетливо проявляется в поперечных разрезах.

Как показал анализ ореолов в плане, наиболее информативными индикаторами скарново-шеелитового оруденения являются вольфрам, молибден, олово, висмут, бериллий, поэтому ниже рассматриваются ореолы только этих элементов. Вольфрам образует весьма широкие ореолы (более 200 м) вокруг

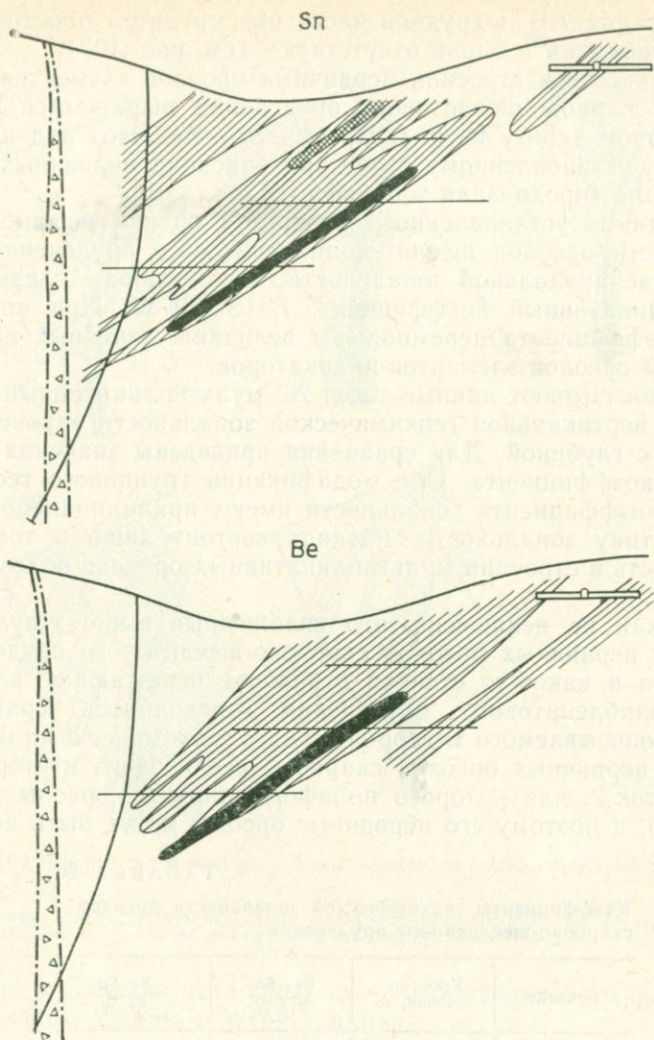


РИС. 103. Продолжение

рудного тела (рис. 103). Продуктивность ореола вольфрама значительно возрастает с глубиной.

Молибден также образует весьма широкие ореолы (см. рис. 103). Концентрация его с глубиной возрастает в 30—40 раз, максимум приурочен к горизонту штольни 18—19. Ниже этого уровня ореолы молибдена сужаются, а концентрация его в подрудной части уменьшается. Висмут образует на уровне нижних частей рудного тела весьма контрастные и широкие ореолы. Бериллий и олово создают мощные надрудные «шапки», которые с глубиной сужаются и к средней части рудной зоны

выклиниваются. В подрудной части околорудного пространства ореолы бериллия и олова отсутствуют (см. рис. 103).

Зональность в строении первичных ореолов элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения выражается следующим рядом (снизу вверх): W—Bi—Sn—Be. Этот ряд идентичен ряду, установленному выше при описании первичных ореолов в плане (продольная зональность).

Исходя из установленного ряда, для оценки вертикальной зональности ореолов шеелит-молибденитового оруденения, как и в случае продольной зональности, был выбран следующий мультипликативный коэффициент: $Be \cdot Sn / Bi \cdot W$. При подсчете этого коэффициента перемножены величины линейных продуктивностей ореолов элементов-индикаторов.

Как показывают данные табл. 26, мультипликативный коэффициент вертикальной геохимической зональности закономерно убывает с глубиной. Для сравнения приведены значения аддитивного коэффициента. Обе модификации группового геохимического коэффициента зональности имеют принципиально близкую картину зональности. Разница состоит лишь в том, что зональность в строении мультипликативных ореолов более контрастна.

Так как не исключено, что изложенные выше результаты изучения первичных ореолов скарново-шеелитового оруденения Тырнауз в какой-то степени отражают искажающее влияние кварц-молибденитового оруденения, проводилось сравнение ореолов описываемого месторождения с геохимическими особенностями первичных ореолов скарново-шеелитового месторождения Восток-2, для которого полиформационные ореолы не характерны, и поэтому его первичные ореолы могут быть исполь-

Таблица 26

Коэффициенты геохимической зональности ореолов скарново-шеелитового оруденения

Сечение	Уровень сечения, м	$\frac{Be + Sn}{Bi + W}$	$\frac{Be \cdot Sn}{Bi \cdot W}$
I	2549,0	1,49	3,7
II	2470,6	0,64	4,4
III	2399,4	0,074	0,005
IV	2316,9	0,053	0,0024
V	2216,0	0,0004	0,0004
Коэффициент контрастности *		3634	9250

* Отношение коэффициентов верхнего (I) и нижнего (V) сечений разреза.

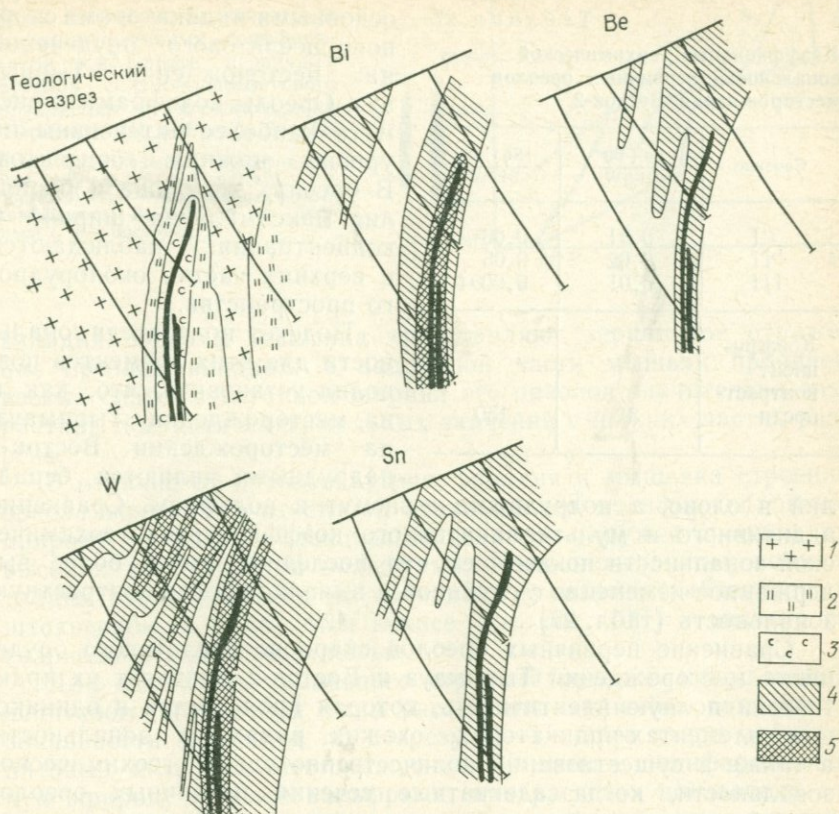


РИС. 104. Разрез и первичные ореолы элементов-индикаторов месторождения Восток-2:

1 — граниты; 2 — терригенно-осадочные метаморфизованные породы; 3 — скарны; 4, 5 — первичные ореолы (5 — поля повышенных содержаний элементов)

зованы в качестве эталонных скарно-шеелитового оруденения (первичные ореолы «чистой линии»).

Месторождение приурочено к контактовой зоне штока меловых гранодиоритов, прорывающих верхнепермские песчано-алевролито-кремнистые породы с невыдержанными горизонтами и линзами известняков. Рудные тела представлены крутопадающими залежами скарно-шеелитового состава. Наиболее характерными минералами руд являются шеелит, пирротин, халькопирит; в меньших количествах содержатся арсенопирит, пирит, висмутин, самородный висмут, галенит, сфалерит, сульфосоли свинца и меди, станнин, касситерит.

На рис. 104 изображены первичные ореолы, изученные по вертикальному разрезу через главную рудную залежь месторождения Восток-2. Из элементов, образующих ореолы вокруг рудной залежи, наиболее широки и контрастны ореолы вольфрама, висмута, олова и бериллия, т. е. элементов, являющихся

Коэффициенты геохимической зональности первичных ореолов месторождения Восток-2

Сечение	$\frac{Sn+Be}{Bi+W}$	$\frac{Sn \cdot Be}{Bi \cdot W}$
I	0,31	0,06
II	0,02	0,05
III	0,01	0,0004
Коэффициент контрастности	31	150

основными индикаторами скарново-шеелитового оруденения на месторождении Тырныауз. Ореолы вольфрама и висмута наиболее интенсивны на уровне нижних горизонтов. В ореолах же олова и берилля максимальная ширина и концентрация наблюдаются в верхних частях околорудного пространства.

Подсчет показателя зональности для этих элементов позволил установить, что, как и на месторождении Тырныауз, на месторождении Восток-2 надрудными являются бериллий и олово, а подрудными — висмут и вольфрам.

Сравнение аддитивного и мультипликативного коэффициентов геохимической зональности показывает, что последний имеет более выдержанное изменение с глубиной и выявляет более контрастную зональность (табл. 27).

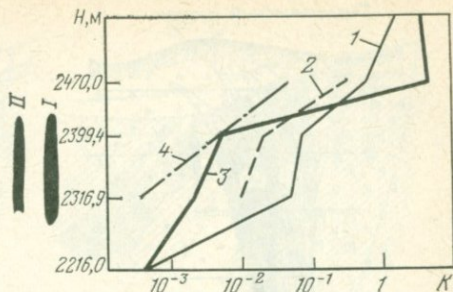
Сравнение первичных ореолов скарново-шеелитового оруденения месторождений Тырныауз и Восток-2 выявляет их практически полную идентичность, которая проявляется в одинаковых элементах-индикаторах, схожих рядах их зональности, а также в существовании количественно единой геохимической зональности, когда адекватные сечения первичных ореолов различных месторождений характеризуются близкими значениями коэффициента геохимической зональности (рис. 105, см. табл. 26). Отмеченная идентичность первичных ореолов скарново-шеелитового оруденения месторождений Тырныауз и Восток-2 убеждает в правильности произведенной расшифровки полиформационных ореолов месторождения Тырныауз, и как следствие, в надежности выявленных элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения.

Аналогичным образом были определены элементы-индикаторы кварц-молибденитового оруденения. Особенности элементов-индикаторов кварц-молибденитового оруденения показаны на рис. 106. В результате изучения первичных ореолов кварц-молибденитового оруденения как в плане, так и по ряду вертикальных разрезов установлено, что наиболее тесную связь с оруденением этого типа проявляют молибден, вольфрам, иттрий, мышьяк и ванадий.

Молибден образует наиболее широкие и интенсивные ореолы, которые по морфологии повторяют рудный штокверк (см. рис. 106). Ореолы иттрия преимущественно развиты в верхней части кварц-молибденитового штокверка. Мощную надрудную «шапку» в верхних и надрудных частях штокверка образует

РИС. 105. Совмещенные графики изменения аддитивных и мультипликативных коэффициентов зональности первичных ореолов скарново-шеелитового оруденения месторождений Тырнауз (I) и Восток-2 (II):

1, 2 — аддитивный коэффициент $Be+Sn/W+Bi$ (1 — Тырнауз, 2 — Восток-2); 3, 4 — мультипликативный коэффициент $Be \cdot Sn/W \cdot Bi$ (3 — Тырнауз; 4 — Восток-2)



ванадий. Ореолы мышьяка представляют зеркальное отражение ореолов ванадия: в надрудной части мышьяк проявлен весьма слабо, с глубиной ширина его ореолов значительно возрастает, достигая максимальных значений в нижних частях разреза.

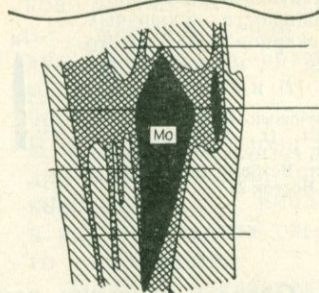
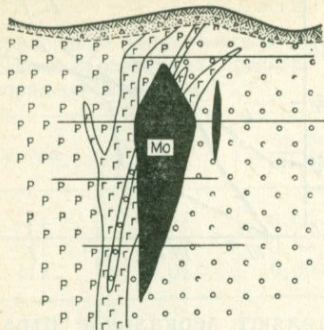
В отличие от ореолов иттрия, ванадия и мышьяка строение ореола вольфрама отчетливо отражает его полиформационную природу: кварц-молибденитовый штокверк окружен ореолом невысоких концентраций вольфрама. Поле повышенных концентраций этого элемента не совпадает с кварц-молибденитовым штокверком, а появляется южнее (см. рис. 106) и связано со скарново-шеелитовой залежью.

Для выяснения зонального строения ореолов кварц-молибденитового оруденения были рассчитаны величины показателя зональности элементов по разрезу II—II через кварц-молибденитовый штокверк месторождения. Учитывая полиформационную природу ореолов вольфрама, при расчетах показателя зональности из подсчетных контуров исключались поля высоких концентраций вольфрама, связанные со скарново-шеелитовым оруденением. В результате установлен следующий ряд зональности ореолов элементов-индикаторов (снизу вверх): W—As—Mo—Y—V. Следовательно, элементами-индикаторами для надрудных уровней ореолов кварц-молибденитового оруденения могут служить ванадий и иттрий, а для подрудных — мышьяк и вольфрам.

Исходя из приведенного выше ряда, в качестве оценки вертикальной зональности ореолов кварц-молибденитового оруденения выбрано следующее мультипликативное отношение линейных продуктивностей ореолов элементов-индикаторов: $V \cdot Y/As \cdot W$. Ниже даны значения мультипликативного коэффициента геохимической зональности первичных ореолов по разрезу II—II.

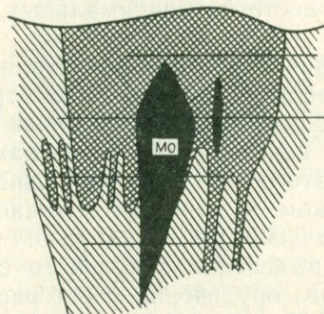
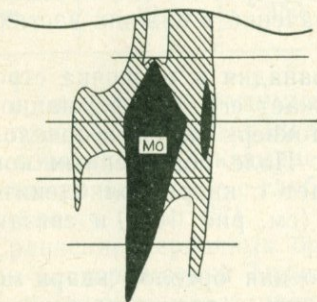
Уровень сечения, м	2549,0	2470,6	2399,4	2316,9
$V \cdot Y/As \cdot W$	8,7	0,11	0,003	0,00005

Коэффициент контрастности здесь равен 145 000. Как видно, величина коэффициента резко уменьшается с глубиной.



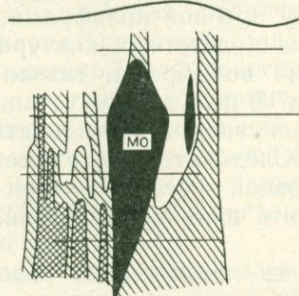
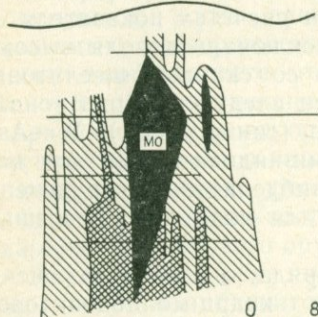
У

V



As

W



0 80 160 м

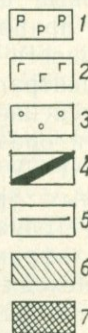


РИС. 106. Распределение элементов-индикаторов (разрез II—II через кварц-молибденитовый штокверк месторождения Тырнауз):

1 — роговики; 2 — ультрабазиты; 3 — конгломераты; 4 — рудные тела; 5 — скважины; 6, 7 — поля аномальных содержаний элементов (7 — поля повышенных содержаний элементов)

Таким образом, детальное изучение состава и строения полиформационных ореолов на месторождении Тырнауз позволило установить, что типоморфными для скарново-шеелитового оруденения элементами-индикаторами являются только висмут,

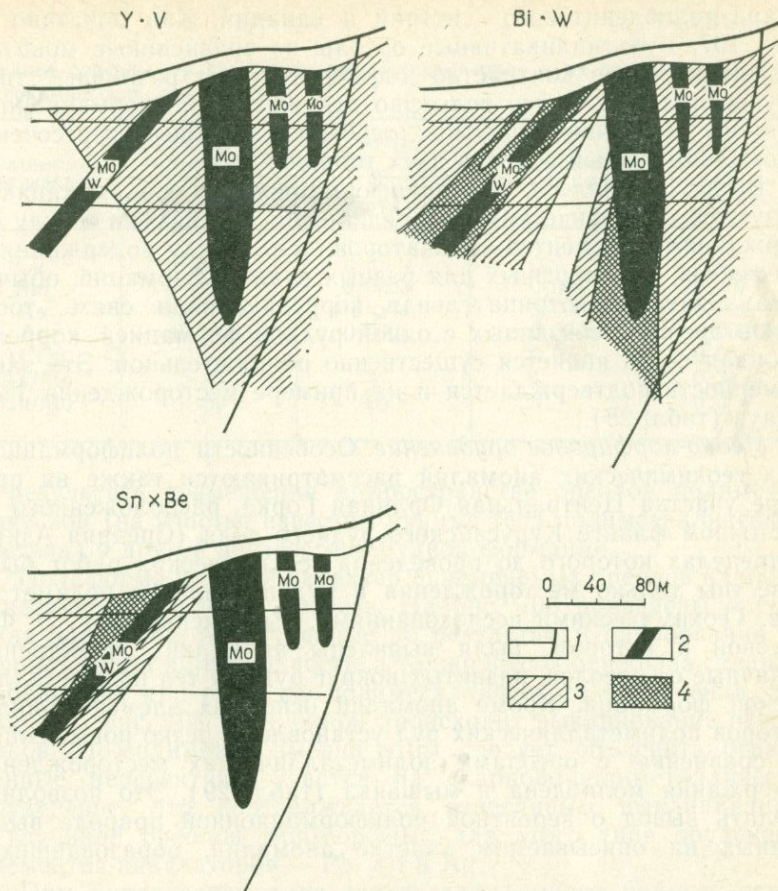


РИС. 107. Мультипликативные ореолы элементов-индикаторов (разрез IV—IV через рудную зону 69 и кварц-молибденитовый штокверк месторождения Тырнауэз):

1 — скважины; 2 — рудное тело; 3—4 — мультипликативные ореолы (4 — поля повышенной интенсивности)

олово и бериллий, для кварц-молибденитового — мышьяк, иттрий и ванадий. Было отмечено, что дифференциация элементов по типам оруденения весьма четкая: ореолы олова, бериллия и висмута отчетливо приурочены исключительно к скарно-шеелитовому оруденению, а ореолы иттрия, мышьяка и ванадия — к кварц-молибденитовому штокверку, являясь секущими по отношению к скарно-шеелитовому оруденению.

С целью более четкой дифференциации в пространстве ореолов элементов-индикаторов для каждого из двух типов оруденения были построены частные мультипликативные ореолы типоморфных надрудных элементов. Для скарно-молибденитового оруденения такими являются бериллий и олово, а для

кварц-молибденитового — иттрий и ванадий. Как показано на рис. 107, мультипликативные ореолы по сравнению с моноэлементными более контрастно дифференцируют различные типы оруденения, т. е. более рельефно отражают полиформационную природу первичных ореолов, особенно взаимные пересечения аномальных полей ореолов двух типов оруденения.

Выше отмечалось, что полиформационные ореолы характеризуются специфическими корреляционными связями между содержаниями элементов-индикаторов, т. е. между содержаниями элементов, типоморфных для разных рудных формаций, обычно устанавливается отрицательная корреляционная связь, тогда как в ореолах, связанных с одной рудной формацией, корреляционная связь является существенно положительной. Эта закономерность подтверждается и на примере месторождения Тырнауз (табл. 28).

Медно-порфировое оруденение. Особенности полиформационных геохимических аномалий рассматриваются также на примере участка Центральная Орлиная Горка, расположенного на восточном фланге Курусайского рудного поля (Средняя Азия), в пределах которого до проведения геохимических работ были известны только месторождения и рудопроявления полиметаллов. Геохимическими исследованиями, выполненными Г. Э. Федотовой и автором, были выявлены аномалии, существенно отличные от ореолов, развитых вокруг рудных тел полиметаллической формации. Кроме аномалий основных элементов-индикаторов полиметаллических руд установлены резко повышенные по сравнению с ореолами полиметаллических месторождений содержания молибдена и мышьяка (табл. 29). Это позволило сделать вывод о вероятной полиформационной природе выделенных на описываемом участке аномалий, образовавшихся

Таблица 28

Коэффициент ранговой корреляции

Виды индикаторов	Пары элементов	Коэффициент корреляции
Индикаторы одного типа оруденения	Sn—Be	<u>+0,61</u>
	V—Y	<u>+0,56</u>
Индикаторы разных типов оруденения	Sn—V	—0,001
	Be—V	—0,06
	Sn—Y	<u>—0,12</u>
	Be—Y	<u>—0,18</u>

Примечание. Подчеркнуты значимые связи (1 %-ный уровень значимости).

Средние содержания (в %) элементов-индикаторов и их отношения в геохимических аномалиях

Элементы-индикаторы	Ореолы свинцово-цинкового месторождения		Центральная Орлиная 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/Cu	—	—	0,06	0,03
As/Mo	—	—	1	0,3
Cu/Mo	50	66	25	0,3

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. 108 приведены ореолы ряда элементов, оконтуренные по результатам опробования коренных пород на поверхности, а также штольни и керны скважин, пройденных при разведке полиметаллического оруденения. Как видно из рис. 108, с глубиной происходит выклинивание известняков. 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 — Pb, Zn и Ag.

При определении типа новой для данного района рудной формации учитывались элементный состав выявленных аномалий и особенности распределения элементов как в плане, так и по разрезам.

На рис. 108 видно, что с глубиной происходит резкое расширение аномальных полей золота и молибдена. Молибден также 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. 28). На описываемом участке ширина аномального поля с содержанием молибдена более 0,001 % превышает 40—50 м. Другим элементом, поведение которого также аномально для ореолов свинцово-цинкового оруденения, является медь, которая образует самые широкие и интенсивные аномалии. Содержание меди во всех пробах, отобранных по разрезам, превышает минимально аномальное. Ширина аномального поля с содержанием меди более 0,1 % превышает 80 м. В разрезе намечается отчетливый сдвиг ореола меди вверх по отношению к ореолу молибдена.

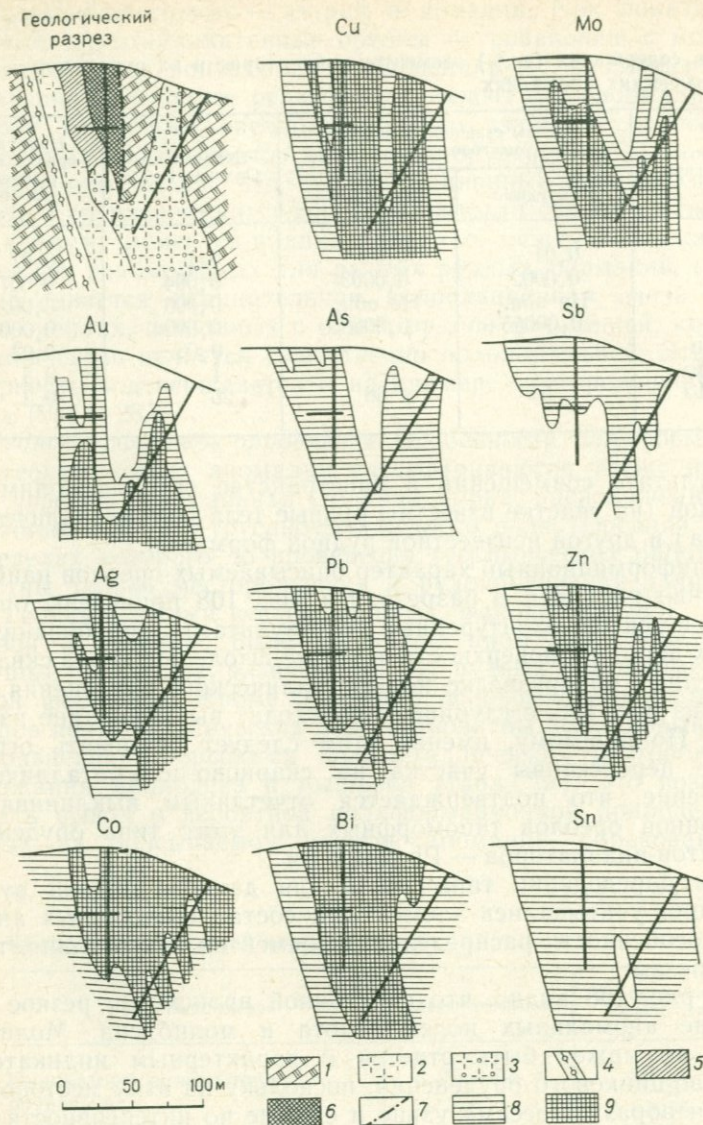


РИС. 108. Первичные ореолы в разрезе элементов-индикаторов (участок Центральная Орлиная Горка). По Г. Э. Федотовой.

1 — известняки; 2 — гранодиорит-порфиры; 3 — скарированные гранодиорит-порфиры; 4 — диабазовые порфиры; 5 — гранат-пироксеновые скарны; 6 — рудные свинцово-цинковые тела; 7 — разрывные нарушения; 8, 9 — первичные ореолы (9 — поля повышенных концентраций элементов)

Таким образом, по особенностям распределения в вертикальном разрезе отчетливо выделяются две группы элементов-индикаторов: 1) элементы, ореолы которых проявляют отчетливую тенденцию выклинивания с глубиной. К ним относятся сурьма,

свинец, цинк, серебро и кобальт, 2) элементы, ореолы которых с глубиной расширяются, а их интенсивность возрастает. К этой группе относятся медь, молибден и золото, ореолы которых одинаково интенсивные и широкие, что позволяет считать их основными компонентами новой рудной формации.

Сравнение выявленных аномалий с ореолами месторождений других рудных формаций позволило считать их аналогами первичных ореолов месторождений медно-порфировой формации. Этот вывод подтверждается близостью величин средних содержаний молибдена и меди (основные элементы-индикаторы медно-порфинового оруденения) в аномалии участка Центральная Орлиная Горка и надрудных ореолах медно-порфинового месторождения Ак-Чеку (см. табл. 28).

После установления полиформационной природы аномалий предстояло оценить перспективы рудоносности участка на оруденение каждой формации. 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 Pb, Zn и Ag выклиниваются с глубиной (см. рис. 108). Очевидно, что при наличии на глубине слепых рудных тел полиметаллического состава подобное выклинивание ореолов не имело бы места. Можно предположить, что выклинивание ореолов полиметаллического оруденения с глубиной было бы более резким, если бы отсутствовало наложение ореолов медно-порфировой минерализации, поскольку для последней также характерны ореолы свинца, цинка и серебра. 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. Кроме того, установлено, что ореолы элементов-индикаторов медно-порфинового оруденения резко расширяются с глубиной, что позволило считать участок перспективным на слепое медно-порфиговое оруденение и рекомендовать постановку детальных работ. В соответствии с этой рекомендацией была выполнена ревизия ранее пройденных разведочных выработок, включая их бороздовое опробование. Эти работы полностью подтвердили вывод о проявлении на участке медно-порфинового оруденения; установлены пропущенные ранее минерализованные интервалы с типичным для медно-порфиновых руд парагенезисом минералов и промышленными содержаниями меди.

**ОСОБЕННОСТИ
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ****АНАЛИЗ ТЯЖЕЛЫХ ФРАКЦИЙ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ**

Основными концентраторами элементов-индикаторов в первичных геохимических ореолах рудных месторождений, как известно, являются минералы и их агрегаты, слагающие рудные тела и рассеянные в околорудном пространстве. Из-за низких концентраций минералов (концентраторов элементов-индикаторов в первичных ореолах) изучение первичных ореолов с помощью валового геохимического опробования приводит к существенному разубоживанию содержаний элементов-индикаторов в пробах. Как было показано выше (см. гл. I), отмеченное разубоживание концентраций элементов-индикаторов будет минимальным, если при изучении первичных геохимических ореолов использовать результаты анализа не валовых (рядовых) геохимических проб, а тяжелых фракций проб рудовмещающих пород.

Первичные ореолы, изученные В. Ф. Митрофанским и автором по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб, рассматриваются на примере кварц-шеелитового месторождения Богуты. Месторождение представляет собой линейно вытянутый кварцево-жильный штокверк, локализованный в терригенно-осадочных образованиях среднего ордовика. Главный рудный минерал — шеелит, широко распространен также пирит, встречаются молибденит, галенит, сфалерит, халькопирит, марказит, вольфрамит, арсенопирит, очень редко встречаются висмутин, пирротин, гематит, магнетит.

На месторождении по существу развиты полиформационные геохимические ореолы, сформированные в результате совмещения в пространстве продуктов редкометалльного и сульфидного этапов минералообразования. Первичные ореолы собственно редкометалльного (кварц-шеелитового) оруденения исследованы по одному из разрезов по результатам опробования коренных пород на поверхности и по трем горизонтам подземных горных выработок (штольни 5, 6, 7).

Для изучения зональности в распределении элементов-индикаторов по четырем горизонтам были рассчитаны показатели зональности элементов, и по этим данным составлен ряд зональности элементов-индикаторов: (W, Bi, Mo)—Be—Sn—As, аналогичный ряду зональности первичных ореолов скарново-шеелитового оруденения месторождения Тырнауз. С учетом этого ряда зональности выбраны два варианта мультипликативного коэффициента зональности (табл. 30).

Мультипликативные коэффициенты зональности

Горизонты опробования	Sn·Be	Sn·Be·As
	W·Bi	W·Bi·Mo
Поверхность	0,007	0,408
Штольня 6	0,005	0,106
Штольня 5	0,004	0,082
Штольня 7	0,001	0,008
Контрастность	7	51

Как следует из табл. 30, величины всех индикаторных отношений с глубиной монотонно убывают, фиксируя отчетливую зональность в строении ореолов. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что эта зональность в целом является малокоонтрастной, что, вероятнее всего, следует объяснить ограниченной глубиной изучения первичных ореолов, а также тем, что приведенные в табл. 30 данные отражают зональность не отдельных рудных жил (этого сделать оказалось невозможным из-за сближенности рудных тел), а штокверкообразной линейно-вытянутой зоны в целом, представляющей собой группу сближенных субпараллельных жил, расположенных кулисно как в плане, так и в разрезе. Именно по этой причине происходит своеобразное «гашение» вертикальной зональности ореолов: т. е. наложение друг на друга ореолов, связанных с рудными жилами, расположенными на различных гипсометрических уровнях.

Слабая контрастность первичных ореолов и их геохимической зональности вызвала необходимость для описываемого месторождения использования специальных методических приемов «усиления» геохимических ореолов и прежде всего метода анализа тяжелых фракций геохимических проб, позволяющего выявить минералого-геохимические ореолы.

Для изучения минералого-геохимических ореолов по четырем разведочным профилям (8, 16, 30, 38) из 514 дубликатов бороздовых проб (фракции — 1 мм), отобранных из горных выработок, на малом лабораторном концентрационном столе были выделены тяжелые фракции проб (из навесок в 150—200 г). Содержания элементов в тяжелых фракциях и рядовых пробах определены спектральным полуколичественным анализом в Центральной химико-аналитической лаборатории Южно-Казахстанского территориального геологического управления. По всем элементам в каждой пробе определены показатели обогащения Q по формуле: $Q = Cb$, где C — содержание элемента в исследуемой фракции; b — выход исследуемой фракции; $b = d100/D$; d — масса фракции; D — общая масса пробы.

Для определения параметров фонового распределения элементов были отобраны специальные пробы. Минимально аномальное содержание установлено с 5 %-ным уровнем значимости, как и при изучении первичных ореолов по результатам анализа валовых проб.

Обработка результатов анализа рядовых проб и тяжелых фракций показала, что ореолы, оконтуренные по показателям

Коэффициент аномальности элементов-индикаторов

Элемент-индикатор	Коэффициент зональности			Увеличение коэффициента аномальности (по показателю обогащения)
	по анализам валовых (рядовых проб)	по результатам анализам тяжелых фракций	по показателю обогащения	
W	97—712	274—6750	530—6200	4—26
Pb	0,9—17	2,8—20	4—26	1,3—7
Bi	4—64	8—235	27—300	1,5—17
Ag	4—30	14—83	32—169	3—9
Be	0,5—7,0	2,0—16	2—43	2—29
Mo	2—40	1,6—265	2—343	1—9
Zn	0,5—5	0,6—12	0,6—28	1—7
As	6—37	10—54	8—72	0,8—3

обогащения, по размерам и интенсивности существенно превосходят ореолы, выявленные по результатам анализа валовых геохимических проб. Для количественной оценки степени «усиления» первичных ореолов при анализе тяжелых фракций геохимических проб в табл. 31 приведены пределы колебания величин коэффициента аномальности, рассчитанных по всем исследованным пробам как по содержаниям элементов-индикаторов, так и по показателю обогащения (коэффициент аномальности — содержание элемента или показателя обогащения, выраженное в единицах геохимического фона).

Анализ данных табл. 31 показывает, что наиболее контрастные ореолы фиксируются по результатам анализа тяжелых фракций геохимических проб. При этом установлено, что минералого-геохимические ореолы обладают не только более значительными размерами и интенсивностью (по сравнению с ореолами, выявленными по результатам валового анализа проб), но и более контрастной геохимической зональностью.

На исследованных участках месторождения, как уже отмечалось, развиты полиформационные ореолы, обусловленные проявлением на глубоких горизонтах месторождения полиметаллического этапа минерализации. В связи с этим контрастная вертикальная зональность на месторождении выявляется с помощью мультипликативных коэффициентов зональности, которые представляют собой отношение произведений содержаний элементов-индикаторов редкометального (числитель) и полиметаллического этапа минерализации (знаменатель). Все мультипликативные коэффициенты зональности монотонно убывают с глубиной (табл. 32). Отличия разных частей оруденения по отношениям, определенным по тяжелой фракции, становятся более четкими. Контрастность индикаторных отношений возрастает значительно (см. табл. 32).

Мультипликативные коэффициенты зональности

Уровень оруденения	Номера сечений	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	
		Рядовые пробы	Тяжелая фракция	Рядовые пробы	Тяжелая фракция	Рядовые пробы	Тяжелая фракция	Рядовые пробы	Тяжелая фракция	Рядовые пробы	Тяжелая фракция
Центральная часть	1										
	2	1,4	53,3	0,13	1,68	0,1	0,66	36,7	1755	8,03	103
Низы центральной части	3										
	4	0,08	0,36	0,007	0,016	0,009	0,008	1,1	25,1	1,4	1,9
Нижняя часть	5										
	6	0,012	0,04	0,004	0,0019	0,001	0,0016	1,4	3,08	0,22	1,2
	7										
	8	0,0007	0,006	0,0003	0,0005	0,0002	0,0007	0,16	0,34	0,02	0,46
	9										
	10	0,0006	0,0004	0,0002	0,00005	0,00006	0,00001	0,09	0,06	0,3	0,29
Корни	11										
	12	0,00002	0,000004	0,00003	0,000004	0,000007	0,000006	0,02	0,005	0,008	0,009
Коэффициент контрастности зональности	—	70 000	13 325 000	4333	420 000	14 286	110 000	1835	351 000	1004	11 444
Увеличение контрастности по сравнению с рядовым опробованием	—	—	190,4		96,9		77		191		11,4

Метод анализа тяжелых фракций геохимических проб наряду с очевидными преимуществами, отмеченными выше, страдает одним существенным недостатком: он не является информативным в части определения доли различных минералов в общем балансе тех или иных элементов-индикаторов. В этом отношении метод анализа элементов-примесей в различных минералах рудных тел и их первичных ореолов является более информативным как в общепознавательном, так и в прикладном смысле.

Возможности метода и его информативность при изучении первичных геохимических ореолов и прежде всего геохимической зональности рудных месторождений рассмотрим по результатам минералого-геохимических исследований, выполненных совместно с И. В. Гольдмахером на одном из золоторудных месторождений Забайкалья и М. З. Фурсовой на свинцовом месторождении Саурей (Полярный Урал).

Рудное поле золоторудного месторождения сложено гранитоидами верхнеюрского амуджиканского комплекса, архейскими метаморфическими и нижнеюрскими вулканогенно-осадочными образованиями. В пределах рудного поля выделяются протяженные, относительно маломощные рудные зоны северо-восточного простирания с крутыми ($60-90^\circ$) углами падения и более мощные, но менее протяженные зоны субмеридионального простирания, имеющие углы падения $30-50^\circ$. 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 пользуются крайне незначительным распространением. Продуктивными на золото являются кварц-пиритовая, кварц-пирит-арсенопиритовая и полиметаллическая стадии. Наиболее распространенными минералами руд являются пирит, арсенопирит, галенит и сфалерит. Изучение состава и особенностей распределения в этих минералах элементов-примесей проводилось путем спектрального анализа мономинеральных проб, отобранных из поверхностных и подземных горных выработок, а также керн буровых скважин. Общее число проанализированных мономинеральных проб, характеризующих как первичные ореолы, так и рудные тела, составило 187.

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

Пирит — наиболее распространенный рудный минерал на месторождении. Установлено, что от верхних горизонтов к ниж-

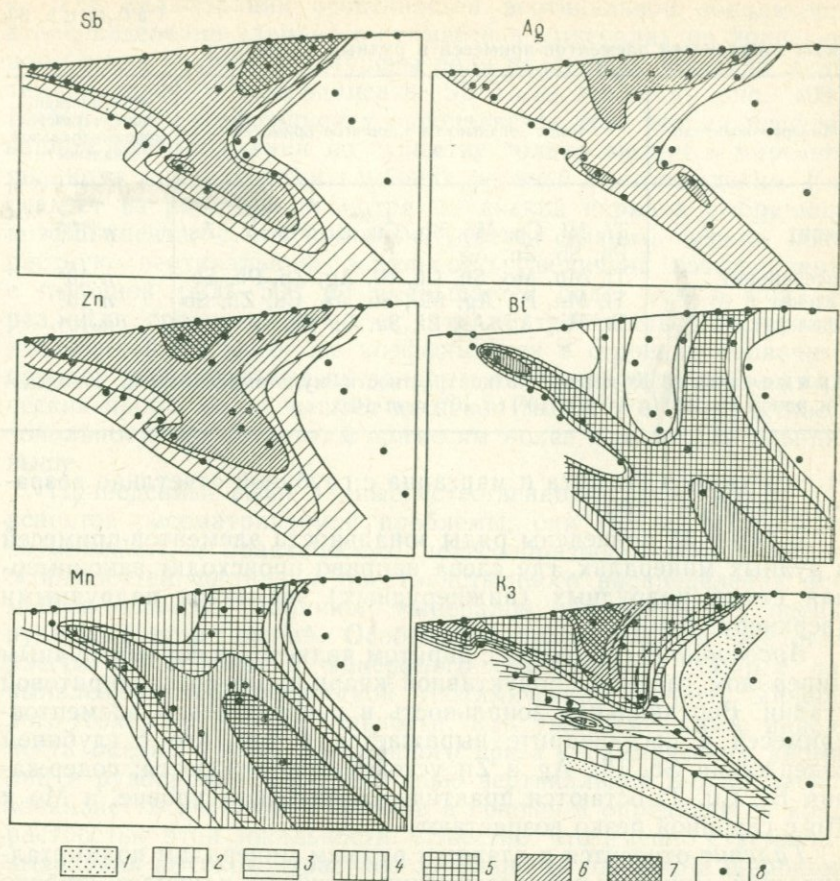


РИС. 109. Изменения содержаний элементов-примесей в пирите и мультипликативного коэффициента зональности K_3 .

1—7 — поля различных содержаний элементов и значений коэффициентов (от низких к высоким); 8 — точки пересечения буровых скважин с плоскостью рудной зоны

ним поведение элементов-примесей в пирите характеризуется закономерным уменьшением концентраций одних и возрастанием других, т. е. отчетливой геохимической зональностью, которой свойственны следующие особенности: 1) содержания сурьмы, серебра, цинка и свинца с глубиной достаточно резко уменьшаются. Эта закономерность отчетливо видна на рис. 109, где в продольном вертикальном разрезе изображено изменение содержаний элементов-примесей в пирите. На разрезе нанесены точки пересечения плоскости рудной зоны с горной выработкой или буровой скважиной, к которым отнесены содержания элементов-примесей, рассчитанные как средние арифметические по ряду проб, отобранных по данной выработке (скважине); 2) содержания мышьяка, меди, молибдена, олова, титана, ванадия с глубиной сохраняются примерно на одном уровне;

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 равен $(n \cdot 10^6) / (n \cdot 10^5) / (n \cdot 10^4) = m \cdot 10^{20}$.

3) содержания висмута и марганца с глубиной отчетливо возрастают (см. рис. 109).

В табл. 33 приведены ряды зональности элементов-примесей в рудных минералах, где слева направо происходит закономерная смена подрудных (нижнерудных) элементов надрудными (верхнерудными).

Арсенопирит совместно с пиритом является основным рудным минералом главной продуктивной кварц-пирит-арсенопиритовой стадии. Вертикальная зональность в распределении элементов-примесей в арсенопирите выражается в том, что с глубиной содержания Sb, Pb, Ag и Zn устойчиво понижаются; содержания Bi, Cu, Ti остаются практически на одном уровне, а Mo и Mn с глубиной 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 возрастании содержаний Bi, Ti, а также Mn. Содержания таких элементов, как As, Ag, Sb, Sn и Mo, сохраняются примерно на одном уровне.

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; содержания Mn и As увеличиваются с глубиной; в распределении Cu, Ag, Bi и Ti стабильных закономерностей не установлено.

Отметим, что приведенные в табл. 33 ряды зональности элементов-примесей в рудных минералах имеют принципиальное сходство с описанным в гл. II обобщенным рядом вертикальной геохимической зональности первичных ореолов гидротермальных рудных месторождений.

Для иллюстрации особенностей вертикальной зональности в распределении элементов-примесей в минералах по приведенному выше разрезу оконтурены поля различных значений мультипликативного коэффициента $Sb \cdot Zn/Bi \cdot Mn$ (см. рис. 109). Выбор этого коэффициента определяется тем, что на исследованном месторождении по существу только висмут и марганец являются индикаторами глубоких уровней месторождения. Как следует из рис. 109, несмотря на низкий порядок выбранного коэффициента, с его помощью удается выявить весьма контрастную вертикальную зональность: величина коэффициента с глубиной (400—500 м) уменьшается более чем в миллион 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 выше данные, естественно, 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 привлекательным представляется использование минералого-геохимических данных для выявления сверхконтрастной геохимической (точнее, минералого-геохимической) зональности. Как уже отмечалось, надежность оценки уровня эрозийного среза геохимических аномалий и рудопоявлений с помощью вертикальной геохимической зональности первичных ореолов в основном определяется контрастностью этой зональности. Известно, что именно стремление выявления высококонтрастной зональности привело к широкому использованию мультипликативных коэффициентов зональности. Возможности этого метода ограничиваются набором элементо-индикаторов оруденения. Дальнейшее повышение контрастности зональности может быть достигнуто использованием мультипликативного метода для выявления так называемой мультиминеральной геохимической зональности. Способ обработки данных минералого-геохимических исследований приведен в табл. 33.

Учитывая близость приведенных в табл. 33 рядов, для всех исследованных минералов были рассчитаны значения рассмотренного выше мультипликативного коэффициента второго порядка: $Sb \cdot Zn/Bi \cdot Mn$. Только для сфалерита цинк был заменен свинцом — 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. 109 разреза.

Как следует из табл. 33, мультиминеральная зональность, выявленная с помощью двух последовательно рассчитанных

типов мультипликативных коэффициентов (мономинеральный и мультиминеральный), обладает чрезвычайно высокой контрастностью — более двадцати порядков. Нетрудно убедиться, что возможности предложенного способа выявления высококонтрастной зональности полиминеральных ореолов практически не ограничены.

Повышение контрастности геохимической зональности может быть достигнуто за счет увеличения как числа минералов-носителей, так и числа элементов-примесей, используемых в мономинеральных мультипликативных коэффициентах.

На Саурейском месторождении оруденение (гидротермальное) приурочено к карбонатно-сланцевой толще щугорской свиты (O_{2-3}), расположенной в осевой части Саурейской синклинали. Рудовмещающими породами являются карбонатные алевролиты и песчанистые известняки, местами рассланцованные. Рудные тела имеют линзовидную форму, вытянуты в северо-западном направлении и залегают согласно с вмещающими породами с падением 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 буровых скважин с шагом опробования в 20 м отбирались специальные пробы массой около 1 кг.

Из отобранных проб готовились протоочки, которые обогащались разделением их в тяжелых жидкостях. Далее проводилось 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. Кроме того, для изготовления полированных шлифов из ореолов отбирались сколы.

Проведенные минералогические исследования состава геохимических ореолов показали, что основные, кроме пирита, рудообразующие минералы (галенит, сфалерит, халькопирит) встречаются локально близ рудных тел, тогда как распространение пирита достигает сотен метров от рудных тел. Пирит на Саурейском месторождении встречается повсеместно как в рудах, так и в ореолах. На месторождении известен ряд генераций пирита. Ранний пирит замещается более поздними рудными минералами, в частности, галенитом. Есть зерна пирита, по времени образования весьма близкие с основными сульфидами. В рудах каких-либо проявлений метаморфизма не установлено.

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

Объект опробования (число мономинеральных проб)	Ba	Sr	Sb	Ag	Zn	As	Pb	Cu	Ni
Руды (4)	5,7	1,0	<1,0	325	9,8	1,0	600	14	20
Ореолы (35)	8,2	3,1	10,0	218	12,0	2,8	496	120	16

Продолжение табл. 34

Объект опробования (число мономинеральных проб)	Co	Sn	Mo	Be	V	Ga	Y	Ti	Mn
Руды (4)	13,3	0,5	7,3	1,0	1,0	0,4	0,3	7,0	0,25
Ореолы (35)	26	2,2	5,9	4,2	0,9	0,4	4,2	26	1,8

Примечание. Содержания (в %): As — $n \cdot 10^{-1}$; Ba, Sr, Sb, Zn, Ti — $n \cdot 10^{-2}$; Pb, Cu, Ni, Co, Sn, V, Ga, Y — $n \cdot 10^{-3}$; Mo, Be — $n \cdot 10^{-4}$; Ag — $n \cdot 10^{-5}$.

В пиритах руд и ореолов постоянно встречаются элементы-примеси, наиболее характерными из которых являются Ag, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Sb. Как следует из табл. 34, для большинства элементов-примесей устанавливаются существенно более высокие концентрации в пиритах из ореолов (по сравнению с рудными телами).

Природа примесей, встречающихся в пирите, неодинакова. Для никеля и кобальта возможна их изоморфная примесь в пирите. Эти элементы имеют на месторождении и самостоятельные минеральные формы, представленные соответственно ульманитом и паракостибитом. Большая часть других элементов-примесей, выявленных в пирите месторождения, таких, как свинец, цинк, медь, серебро, представлена в нем собственной минеральной формой.

Изучение распределения элементов-примесей в валовых пробах и пиритах показало, что содержания серебра, свинца, цинка, меди, кобальта, никеля и молибдена в пиритах превышают их содержания в валовых пробах на 1—2 порядка и более (табл. 35).

Минералогический анализ тяжелых фракций показывает, что пирит в них встречается повсеместно. Содержание его колеблется от 2 до 5 %, а в отдельных пробах достигает 18 % веса всей тяжелой фракции. Остальная часть тяжелой фракции представлена порообразующими минералами (в основном хлоритом и баритом), спектральный анализ мономинеральных проб которых показывает более низкие содержания в них

Средние содержания элементов в пиритах и валовых пробах

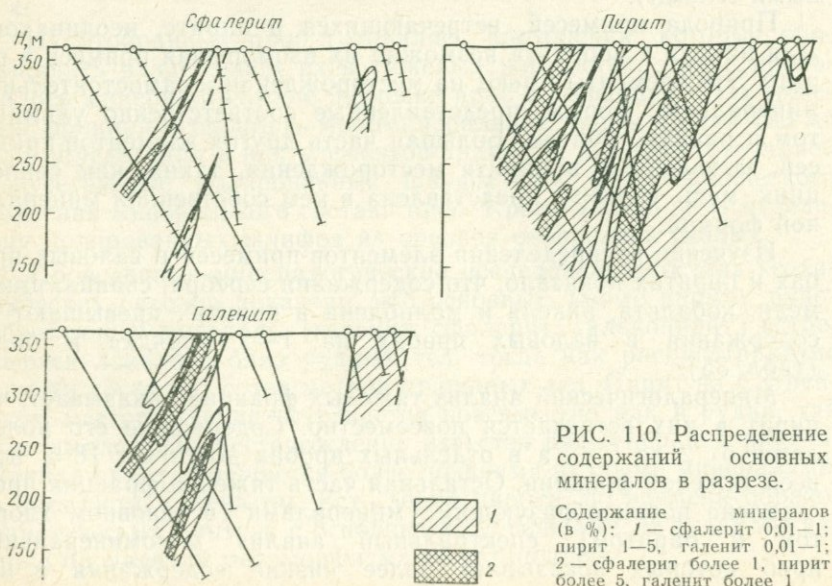
Тип пробы (число проб)	Ba	Ag	Pb	Zn	Cu	Co	Ni	Sb
Пирит (35)	8,7	20,9	34,2	11,9	103	29,1	15,04	9,95
Валовые (35)	11,6	1,4	13,1	0,4	7,8	1,4	1,6	0,5

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

элементов-примесей (на порядок, а иногда и больше). Галенит встречается не во всех пробах, а сфалерит — лишь в единичных случаях. Следовательно, в тяжелых фракциях основным носителем и концентратом элементов-примесей является пирит.

В распределении элементов-примесей в пиритах установлена характерная геохимическая зональность: для надрудной области характерными элементами-примесями являются свинец, серебро и сурьма. В подрудной зоне ореолов наблюдаются повышенные содержания кобальта, никеля, олова, цинка и меди.

На рис. 110 показано изменение содержания пирита, галенита и сфалерита по разрезу XIX месторождения Саурей. Как следует из рис. 110, сфалерит и галенит проявляют более тесную связь с рудными телами, образуя вокруг них отчетливые ореолы. Ореолы пирита более значительные по размерам: их связь с рудными телами менее определена. В зоне главного рудного



тела проявлена отчетливая минеральная зональность: поля максимальных концентраций трех основных минералов закономерно сдвинуты друг относительно друга по восстанию рудного тела в следующей последовательности (снизу вверх): пирит—сфалерит—галенит. Как показывает сравнение ореолов, оконтуренных по результатам анализа валовых («рядовых») геохимических проб (рис. 111, а), с ореолами элементов-примесей в пирите (рис. 111, б), последние отличаются существенно большими размерами и контрастностью.

Особенно разителен «выигрыш» в размерах и контрастности для таких важных элементов-индикаторов, какими являются мышьяк и сурьма: по результатам валового анализа геохимических проб сколько-нибудь отчетливых ореолов этих элементов не выявлено (см. рис. 111, б), что объясняется как слабой интенсивностью ореолов, так и недостаточной чувствительностью анализа на эти 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, какими являются барий и стронций. Как уже отмечалось, для них характерно развитие зон выноса. Эта особенность в распределении бария и стронция особенно отчетливо проявляется в строении ореолов, оконтуренных по результатам анализа пирита на элементы-примеси (рис. 112). В целом зональность в распределении элементов-примесей в пиритах может быть охарактеризована следующим рядом (снизу вверх): Cr, Ti, Mn, Bi, As, V, Mo, Ni, Sn, Co, Zn, Ag, Pb, Cu, Sb.

Близкие описанным выше закономерности в распределении ряда химических элементов установлены также в результате исследования особенностей пространственного распределения элементов-примесей в галените. Галенит является основным ценным рудным минералом месторождения. Элементами-примесями в галените являются Sb, Ag, Zn, Cu, а также Sr, Bi, As, Ni, Co, Mn, V, Mo, Sn, Ti.

По результатам анализа мономинеральных фракций галенита также удается выявить интенсивные и широкие ореолы элементов (рис. 113), в том числе и для таких важных элементов, как мышьяк и сурьма, ореолы которых по результатам анализа общих (рядовых) геохимических проб из-за недостаточной чувствительности спектрального анализа, как правило, не удается оконтурить. Ряд зональности распределения элементов-примесей в галените для описываемого месторождения имеет вид (снизу вверх): Cr, Mn, Ti, Ni, Co, Sn, Bi, Zn, As, V, Mo, Ag, Cu, Sr, Sb.

Ореолы оконтуренные по величине мультипликативных коэффициентов зональности разных модификаций, позволяет более четко локализовать рудные тела, отражая при этом отчетливую геохимическую зональность (см. рис. 113).

Близость приведенных выше рядов зональности элементов-примесей пирита и галенита (они близки также

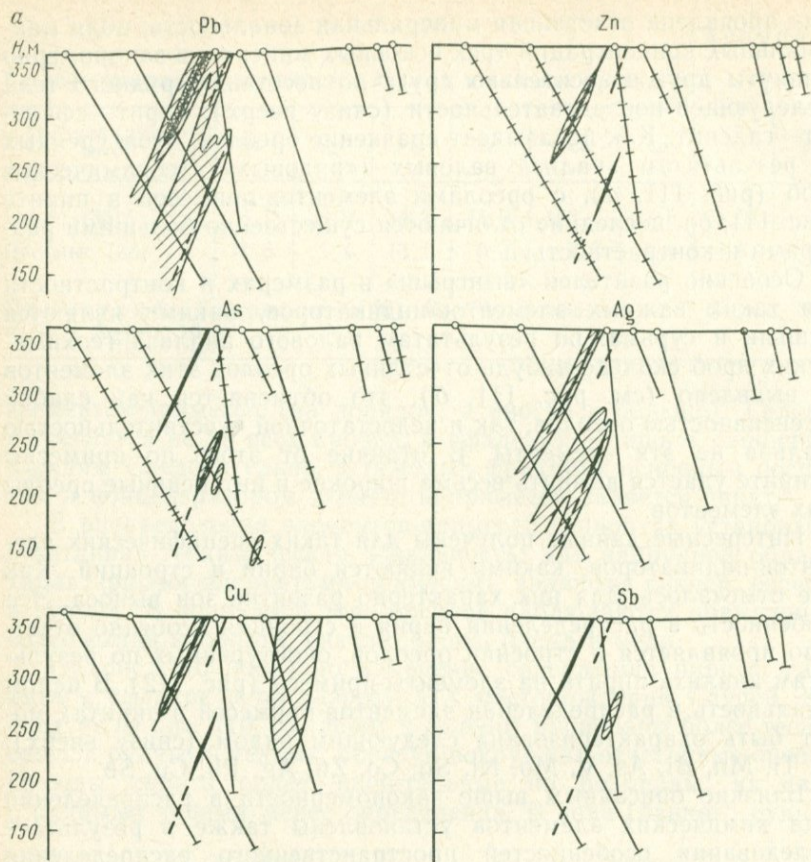


РИС. 111. Первичные ореолы элементов-индикаторов, ооконтуренные по результатам анализа валовых проб (а) и элементов-примесей в пирите (б).

Содержание элементов (в %): 1 — 0,3—1 Pb; 0,1—0,5 Zn; 0,1—1 As; 0,001—0,1 Ag; 0,1—1 Cu; 0,05—0,2 Sb; 2 — 1 и более Pb; 1 и более Cu; 0,01 и более Ag; 1 и более Cu; 0,2 и более Sb

обобщенному ряду) позволяет выбрать для них одинаковые мультипликативные коэффициенты зональности. В табл. 36 приведены значения мультипликативного коэффициента зональности типа $Sb \cdot Ag \cdot Pb / Zn \cdot Ni \cdot Co$ (для галенита свинец заменен серебром).

Как следует из табл. 36, мультиминеральная зональность в данном случае также обладает достаточно высокой контрастностью: восемь порядков (по валовым геохимическим пробам $K=3, \dots$, см. табл. 36).

Контрастная геохимическая зональность распределения элементов-примесей в минералах является характерной особенностью для разнообразнейших по составу и условиям формирования месторождений. Отчетливая геохимическая зональность распределения элементов-примесей в пирите установлена

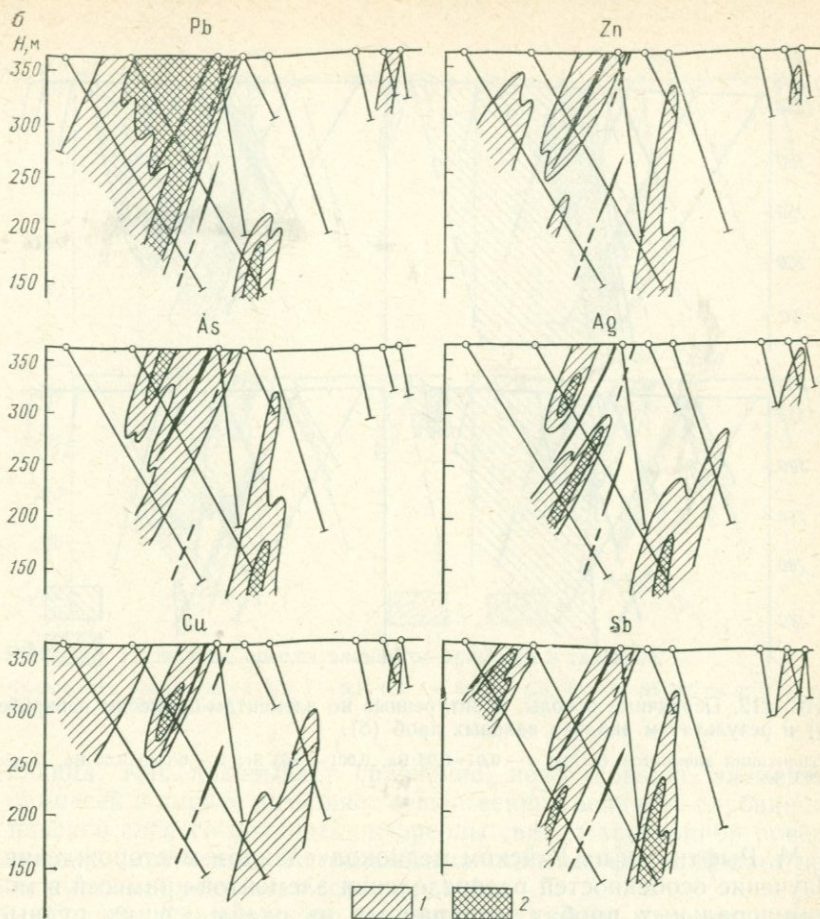


Таблица 36

Контрастность мультиминеральной зональности

Уровень сечения ореола (номер скважины)	Sb·Ag·Pb/Zn·Ni·Co			
	Пирит	Галенит	Тяжелая фракция	Валовые геохими- ческие пробы
Среднерудный (164)	2,3	$2 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^2$	75
Подрудный (165)	$3 \cdot 10^{-3}$	0,045	$5 \cdot 10^{-1}$	24
Коэффициент контраст- ности	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^3$	3

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

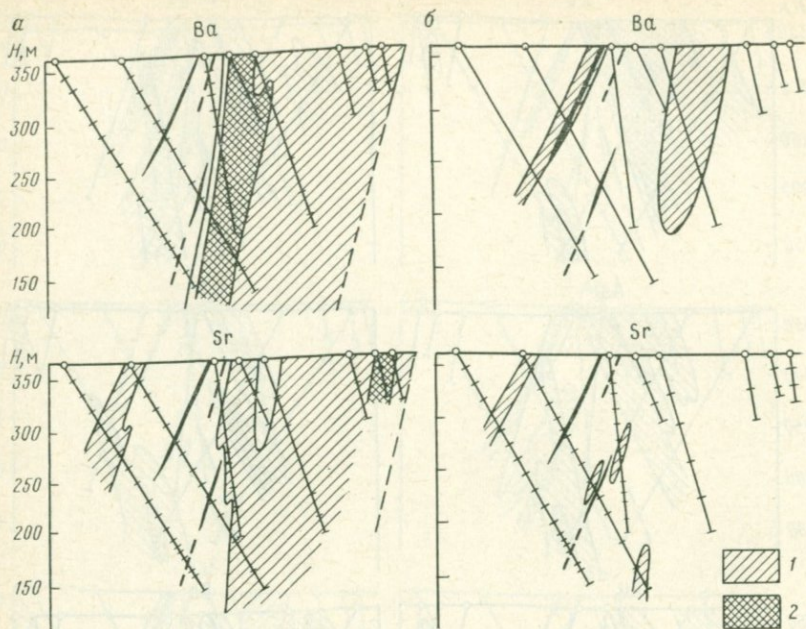


РИС. 112. Первичные ореолы, оконтуренные по элементам-примесям в пирите (а) и результатам анализа валовых проб (б).

Содержания элементов (в %): 1 — 0,01—0,05 Ba, 0,001—0,003 Sr; 2 — более 0,05 Ba, более 0,003 Sr

В. М. Рыфтиным на Гайском медноколчеданном месторождении. Изучение особенностей распределения элементов-примесей в мономинеральных пробах, отобранных из окаймляющих рудные залежи первичных ореолов, позволило установить отчетливую осевую (вертикальную) геохимическую зональность, которая может быть охарактеризована следующим рядом (снизу вверх): Mo, Co, Ni, Cu, Zn, As, (Pb, Ag, Sn), Ba. Отметим, что этот ряд практически идентичен рассмотренному в гл. II обобщенному ряду зональности первичных ореолов гидротермальных месторождений. На рис. 114 по вертикальному поперечному разрезу через слепую рудную залежь описываемого месторождения изображено изменение аддитивного коэффициента геохимической зональности вида $(Pb+Zn)/(Cu+Co)$. Несмотря на аддитивный характер коэффициента и ограниченное число участвующих в нем элементов-индикаторов, по описываемому разрезу удастся выявить отчетливую зональность: значительные по размерам поля максимальных значений коэффициента зональности сдвинуты вверх по восстанию слепой рудной залежи и достигают эрозионной поверхности. Для сравнения на этом же рисунке изображены выявленные по результатам валового анализа проб первичные ореолы основного индикатора надрудных сечений —

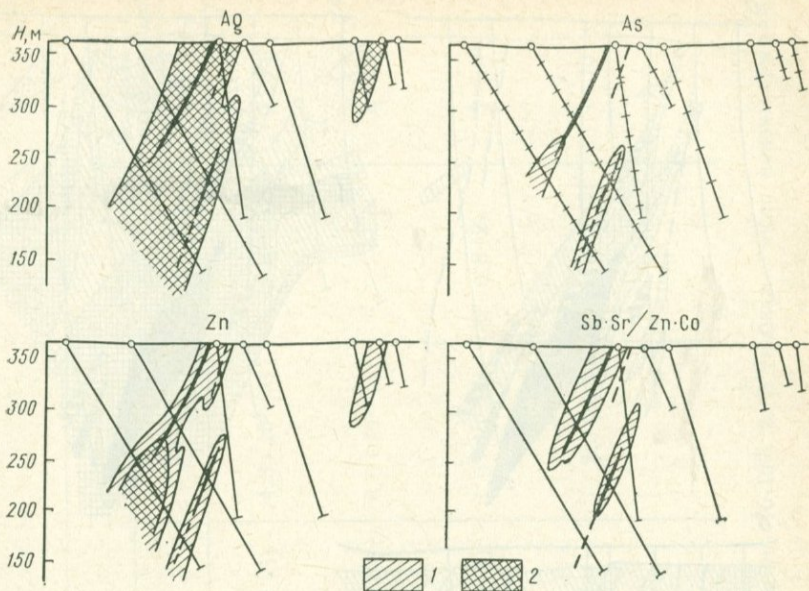


РИС. 113. Первичные ореолы элементов-примесей в галените.

Содержание элементов (в %): 1 — 0,1—0,3 As, 0,05—1 Zn, 10—100 Sb-Sr/Zn-Co; 2 — 0,01—0,015 Ag, 1 и более Zn

свинца. Как показывает сравнение, использование элементов-примесей в пирите позволяет существенно увеличить глубинность поисков слепого оруденения: ореолы свинца эрозивной поверхности не достигают. Метод анализа тяжелых фракций дает промежуточный результат (см. рис. 114).

В табл. 37 приведены различные варианты мультипликативных коэффициентов зональности элементов-примесей в рудных минералах Арсеньевского оловорудного месторождения. Эти коэффициенты подобраны в результате обработки данных В. П. Максимовой. Как следует из данных табл. 37, с помощью мультипликативных коэффициентов геохимической зональности удается выявить контрастную геохимическую зональность.

Ниже приведены данные о контрастном изменении с глубиной мультипликативного коэффициента зональности элементов-примесей в касситерите Хинганского оловорудного месторождения [27].

Горизонты	I	II	III
$\frac{\text{In} \cdot \text{Mn} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Zr}}{\text{Sc} \cdot \text{V} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Be} \cdot \text{Fe}}$	$1 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^2$

Коэффициент контрастности здесь равен $3,3 \cdot 10^5$.

Изложенные выше данные об особенностях состава и строения минералого-геохимических ореолов, выявленных по

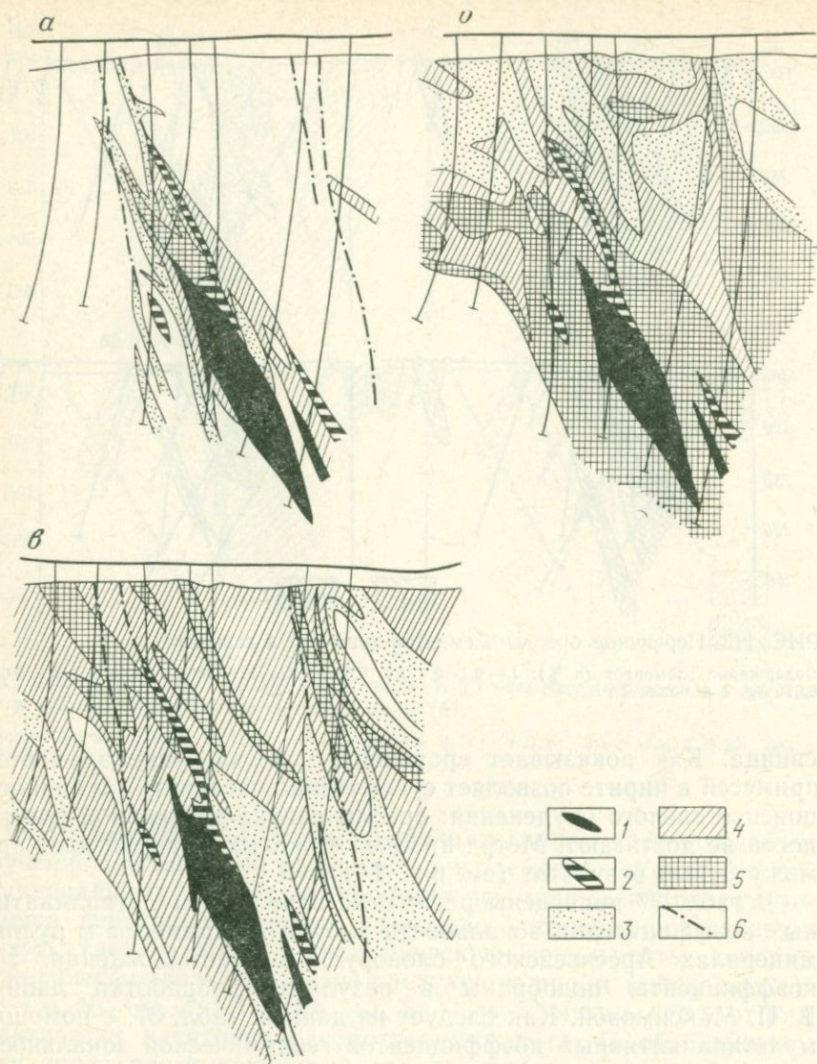


РИС. 114. Первичные ореолы, оконтуренные по результатам анализа общих проб (а) их тяжелых фракций на свинец (б) и значениям аддитивного коэффициента зональности $(Pb+Zn)/(Cu+Co)$ (в). По В. М. Рыфтину.

1 — сплошные руды; 2 — вкрапленные руды; 3—5 — поля ореолов (5 — поля максимальной интенсивности); 6 — разломы

результатам анализа тяжелых и мономинеральных фракций геохимических проб, в целом свидетельствуют о значительных потенциальных возможностях этой методики и подтверждают целесообразность усиления подобных исследований. Речь в данном случае идет не столько об усилении работ по изучению элементов-примесей в минералах (такие работы проводятся давно и достаточно широко), сколько об обработке результатов анализа

Мультипликативные коэффициенты зональности

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

Примечания. 1. Коэффициент мультиминеральной зональности равен $16 \cdot 10^{18}$. 2. В скобках — число мономинеральных проб.

мономинеральных проб по единой методике с целью выяснения особенностей пространственного распределения этих элементов (геохимической зональности) и выбора на этой основе мультипликативных коэффициентов. Основной проблемой в данном направлении представляется установление выдержанных закономерностей в зональности элементов-примесей в рудных минералах для использования их в качестве минералого-геохимических критериев оценки геохимических аномалий. Речь идет о применении единообразной методики отбора и анализа мономинеральных проб (на широкий круг типоморфных для различных типов месторождений элементов-индикаторов), а также о широком применении при обработке результатов анализа мономинеральных проб методик и способов подавления флуктуаций и прежде всего способа расчета различных типов групповых коэффициентов.

ОКОЛУРУДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД

Зоны околорудных изменений рудовмещающих пород по существу своему являются типичными минералого-геохимическими ореолами рудных тел и месторождений: под воздействием рудообразующих процессов происходят изменение первичного минерального состава рудовмещающих пород и появление минеральных новообразований (минеральных ореолов). При изучении этих ореолов широко применяются минералогические методы исследований. В процессе рудообразования одновременно с формированием зон околорудного изменения минерального состава пород происходит образование первичных геохимических ореолов многих химических элементов в основном за счет привноса этих элементов во вмещающие породы рудообразующими растворами. Эти ореолы, названные геохимическими, исследуются с привлечением различных аналитических методов. Нетрудно убедиться, что геохимические ореолы по существу своему также являются минеральными, поскольку преобладающей формой нахождения элементов-индикаторов в их геохимических ореолах является минеральная. Из изложенного следует, что околорудные изменения и первичные ореолы являются генетически родственными образованиями, при изучении которых должны быть привлечены как минералогические, так и геохимические методы. Особенно перспективным в научном и практическом отношении представляются совместное изучение и практическое применение этих двух типов ореолов. Рассмотрим некоторые результаты работ, выполненных Л. Н. Бельчанской и автором на одном из месторождений золото-серебряной формации.

Описываемое месторождение расположено на южном замыкании крупной вулканотектонической депрессии в зоне глубинного разлома широтного направления и приурочено к структуре проседания (палеокальдере). В строении палеокальдер принимают участие стратифицированные осадочно-вулканоген-

ные 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 плагиогранит-порфирами и кварцевыми диоритовыми порфирирами. 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 липарито-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 гидрослюда, хлориты, железистые и магнезиальные карбонаты, монтмориллониты и каолинит. На долю рудных минералов приходится 0,5—1,5 %. В составе руд месторождения в заметных количествах присутствуют не более 10 минералов (пирит, сфалерит, халькопирит, фрейбергит, теннантит и др.).

Проведенными геохимическими исследованиями установлено, что рудные тела месторождения сопровождаются первичными ореолами таких элементов, как Au, Ag, As, Sb, Hg, Pb, Cu, Zn, Mo, W, Sn, Bi, Ba, Mn, Co, Ni. Наиболее интенсивные и протяженные ореолы образуют золото и серебро. В строении первичных ореолов установлена отчетливая вертикальная (осевая) зональность, которая в общем виде проявлена в приуроченности золота, серебра, мышьяка, сурьмы, ртути и бария к верхним горизонтам месторождения, а молибдена, меди, олова, свинца, цинка, вольфрама — к нижнерудным — подрудным горизонтам (рис. 115). Вертикальная зональность ореолов выражается следующим рядом элементов-индикаторов: (W, Co, Ni), Bi, (Mo, Cu, Zn, Pb), Au, Ag, As, Sb, Hg (снизу вверх). В скобки заключены элементы, взаимоотношения которых точно не установлены.

Как следует из рис. 117, 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 (эрозией вскрытое промышленное оруденение).

Наряду с первичными геохимическими ореолами упомянутых выше микроэлементов, на месторождении были исследованы также измененные породы, представленные кварц-адуляр-гидрослюдистыми метасоматитами. Как известно, околорудные изменения минерального состава рудовмещающих пород могут быть установлены визуально, микроскопическим изучением пород, а также геохимическим путем установления особенностей

Геологический разрез

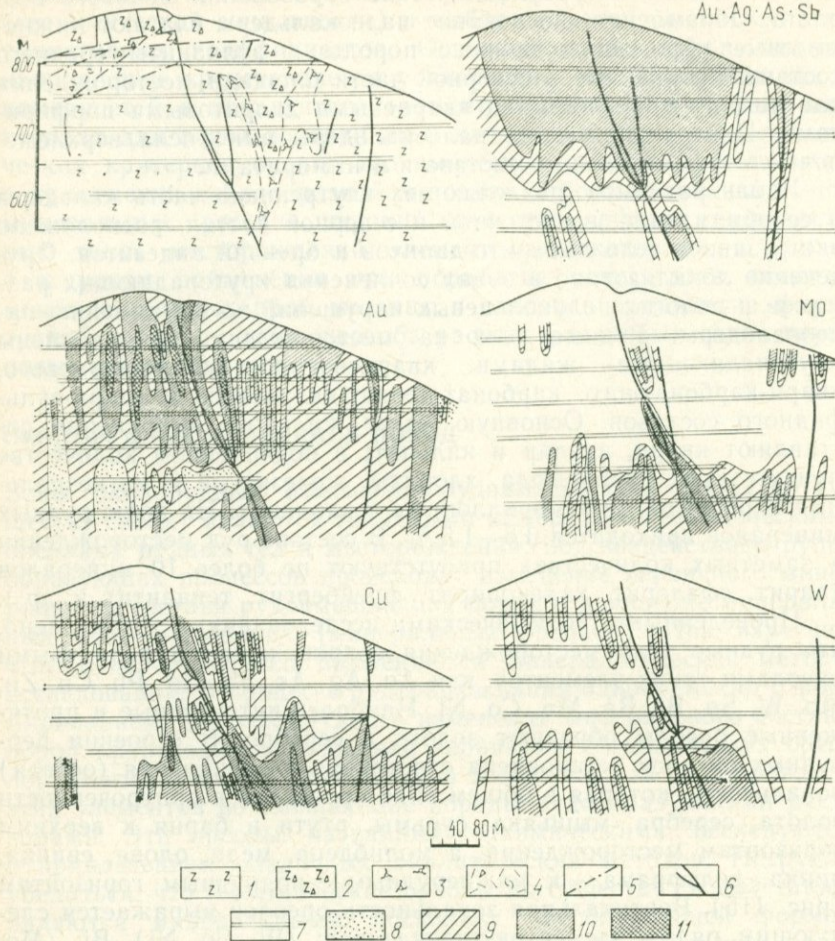


РИС. 115. Первичные ореолы элементов в разрезе:

1 — дациты; 2 — автомагматические брекчии андезитов; 3 — гидротермальные брекчии; 4 — туфобрекчии; 5 — тектонические нарушения; 6 — рудные жилы; 7 — опробованные горные выработки; 8—11 — первичные ореолы (10, 11 — поля повышенных содержаний элементов)

распределения в околорудном пространстве химических элементов, типоморфных для подвергшихся изменениям минералов, а также минеральных новообразований. Геохимический способ изучения околорудных изменений рудовмещающих пород является более точным (количественным) и позволяет выявить более значительные по размерам околорудные ореолы и проследить внутреннюю их структуру (зональность).

В распределении щелочных металлов (рис. 116) также проявлена отчетливая зональность: поля минимальных содержаний

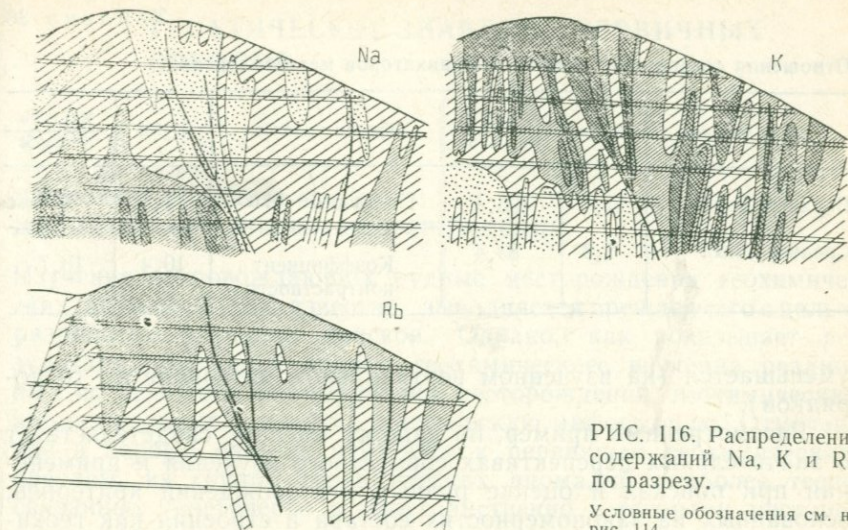


РИС. 116. Распределение содержаний Na, K и Rb по разрезу.

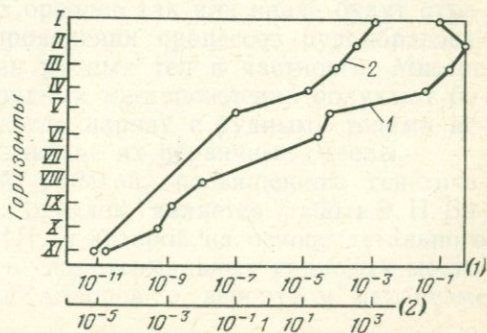
Условные обозначения см. на рис. 114

(вынос) натрия характерны для верхних частей околорудного пространства. Поведение калия и рубидия противоположно: поля максимальных содержаний приурочены к верхним частям разреза.

Изменение коэффициента зональности ореолов щелочных металлов монотонно убывает с глубиной (табл. 38), причем эта монотонность не нарушается на верхних уровнях оруденения (в отличие от зональности первичных ореолов микроэлементов, см. рис. 115). Монотонное изменение с глубиной коэффициента метасоматической зональности в данном случае позволяет рекомендовать совместное использование геохимической и метасоматической зональностей. На рис. 116 показан комбинированный мультипликативный коэффициент, в котором использованы как микроэлементы, так и элементы-индикаторы метасоматических преобразований рудовмещающих пород. Как видно на рис. 116, коэффициент зональности с глубиной контрастно

РИС. 117. Изменения коэффициентов геохимической зональности.

1 — Au · Ag · As · Sb · Hg/Pb · Mo ×
 × Sn · Cu · W; 2 — Au · Ag · As ×
 × K · Li · Rb/Pb · Cu · Mo · Sn · Na ×
 × Cs

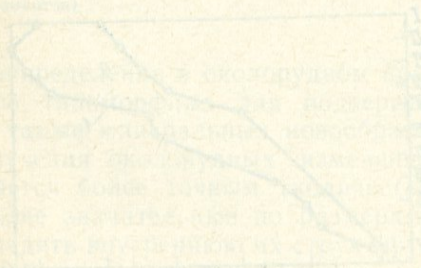


Отношения содержаний элементов-индикаторов метасоматитов

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

уменьшается (на изученном вертикальном интервале на 10 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 как геохимических, так и метасоматических ореолов. При этом представляется особенно важным изучение метасоматической зональности с использованием методических приемов, применяемых при изучении первичных геохимических ореолов.



**ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ
ОРЕОЛОВ****ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ —
ИНДИКАТОРЫ ГЕНЕЗИСА МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Изучение сопровождающих рудные месторождения геохимических аномалий, как известно, выполняется прежде всего с целью разработки методики поисков. Однако, как показывает 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 генетически и пространственно с рудными месторождениями.

Первичный геохимический ореол — неотъемлемая часть любого месторождения: по выявленным закономерностям состава и строения можно судить об условиях образования месторождения, его происхождения. Именно поэтому генетическое значение первичных ореолов по своей важности иногда может превосходить непосредственно поисковое, определяя тактику и стратегию поисков промышленных месторождений определенного генетического типа. Первичные ореолы, например, различно характеризуют такие широко распространенные генетические группы сульфидных месторождений, как непосредственно связанные с вулканизмом (Урал, Алтай, Кавказ), так и обазующие стратиформные залежи в осадочных породах (Кзахстан, Средняя Азия, Урал).

Первичные геохимические ореолы и рудные тела — единое целое. Размеры первичных ореолов обычно значительны: основные запасы металлов сосредоточены в них. Первичные ореолы представляют собой составную часть самих месторождений, и именно поэтому любые данные об особенностях состава и строения первичных ореолов так или иначе будут отражать также особенности проявления процессов рудообразования в целом и локализации рудных тел в частности. Многие важные вопросы генезиса рудных месторождений получают более однозначное решение, когда наряду с рудными телами исследуются также сопровождающие их первичные ореолы.

Первой опубликованной работой, посвященной генетическому значению первичных ореолов, является работа Э. Н. Баранова и С. В. Григоряна [1], в которой на основе детального изучения первичных ореолов гидротермальных урановых месторождений был сделан ряд выводов о вероятном механизме

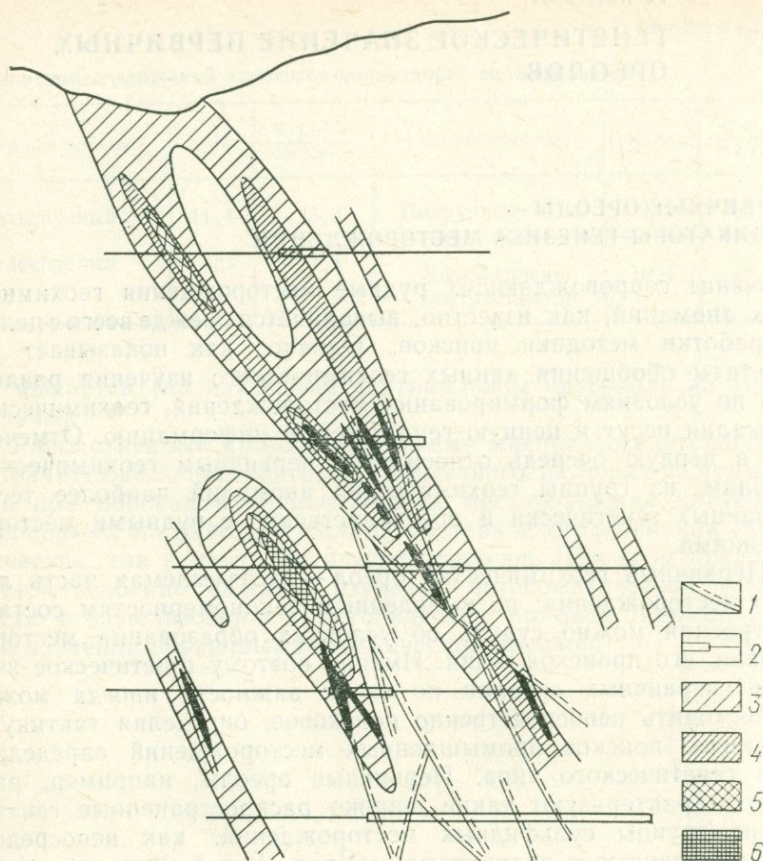


РИС. 118. Первичные ореолы свинца в разрезе:

1 — дизъюнктивные нарушения; 2 — подземные горные выработки и скважины; 3—5 — ореолы (от низких концентраций к высоким)

формирования гидротермальных рудных месторождений. Пламевидная форма ореолов и их отчетливое выклинивание по направлению (рис. 118) свидетельствуют о том, что ореолы, а следовательно, и рудные тела не могли быть сформированы в результате воздействия сквозного потока циркулирующих гидротермальных рудоносных растворов [1]. Образовались они, вероятнее всего, в результате поступления в участки рудоотложения отдельных относительно ограниченных по объему порций растворов.

Возможность использования результатов изучения первичных геохимических ореолов для расшифровки условий формирования месторождений спорного генезиса рассматривается на примере стратиформных свинцово-цинковых месторождений и месторождений колчеданной формации.

Многие вопросы генезиса стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах, несмотря на многолетнюю историю их изучения, все еще остаются далеко не решенными. 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 являются весьма актуальными, тем более если учесть возросшее за последние годы значение месторождений этого типа как важнейшего источника полиметаллов, а также ряда других металлов.

Особенности состава и строения, а также и генетическое значение первичных геохимических ореолов свинцово-цинковых стратиформных месторождений рассматриваются по результатам изучения месторождений Сумсар и Карасай.

Сумсарское рудное поле расположено на южном склоне Чаткальского хребта в Киргизской ССР. Свинцово-цинковое месторождение локализовано в пределах верхнего горизонта живетских доломитов, повсеместно обогащенных свинцом и цинком. Рудовмещающие карбонатные пласты смяты в складки и местами разбиты разрывными нарушениями. Рудные тела месторождения имеют пластообразную форму с нечеткими границами, устанавливаемыми по данным опробования. Руды прожилковые, вкрапленные и массивные. Основными рудными минералами месторождения являются галенит и сфалерит. В меньших количествах встречаются пирит, марказит, блеклая руда и халькопирит.

Для изучения особенностей распределения свинца, цинка и их элементов-спутников в рудных телах и околорудном пространстве по многим разрезам проводилось геохимическое опробование коренных пород на поверхности, подземных горных выработках, а также керн скважин.

Обработка результатов анализа геохимических проб показала, что на месторождении Сумсар из большого числа исследованных химических элементов закономерную связь с рудными телами проявляет распределение только Pb, Zn, Ag, Cu, Ba, As, Co и Ni. Эти элементы рассматриваются в качестве индикаторов данного типа оруденения.

Распределение ряда химических элементов по одному из типоморфных разрезов через слепое рудное тело 8 месторождений Сумсар показано на рис. 119. В этом разрезе распределение элементов изучено в результате геохимического опробования рудовмещающих пород на поверхности, на уровне штольни (надрудная часть), керн скважины (уровень рудных тел) и кварцшлага на горизонте 1190 м (уровень нижних частей рудных тел).

Анализ распределения элементов по этому, а также по остальным исследованным разрезам показывает, что максимальные концентрации элементов-индикаторов, как правило, характерны для рудных тел.

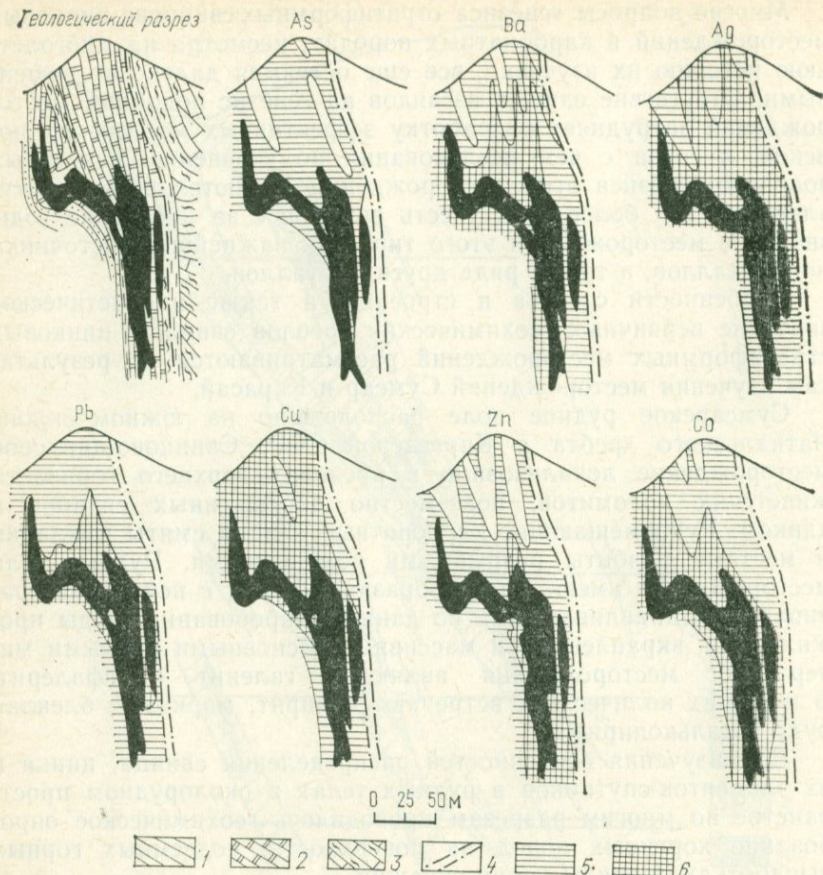


РИС. 119. Первичные ореолы элементов-индикаторов в разрезе (месторождение Сумсар):

1 — песчаники; 2 — рудоносные карбонатные породы; 3 — известняки; 4 — дизъюнктивные нарушения; 5, 6 — первичные ореолы (6 — поля повышенных содержаний элементов)

В околорудном пространстве в пределах рудовмещающего продуктивного горизонта известняков и доломитов в распределении элементов-индикаторов выявляется отчетливая вертикальная зональность: одни элементы образуют наиболее широкие и контрастные ореолы в надрудных частях околорудного пространства и на уровне верхних частей рудных тел (As, Cu, Ba, Ag), другие — на уровне нижних частей разреза (Zn, Co). Расчет показателя зональности позволил составить следующий ряд элементов-индикаторов вертикальной зональности: Be—Co—Ni—Zn—Pb—Ag—Cu—Ba—As (снизу вверх).

Установленная на месторождении Сумсар геохимическая зональность является аналогом зональности первичных ореолов описанных выше гидротермальных месторождений. Для сравнения приводится описание зональности ореолов свинцово-

цинкового месторождения Восточное, гидротермальный генезис которого ни у кого не вызывает сомнений. По всем изученным на этом месторождении разрезам в строении первичных ореолов установлена отчетливая вертикальная зональность, обусловленная избирательным накоплением элементов-индикаторов на разных гипсометрических уровнях. Наиболее отчетливо «сдвинуты» вверх по восстанию рудных тел ореолы бария, мышьяка и серебра, вниз — цинка, кобальта, меди (см. рис. 20). Ореол свинца занимает промежуточное положение. Таким образом, по отношению к свинцу можно выделить индикаторы верхних (надрудных) ореолов (As, Ba, Ag) и нижних (корни рудных тел и надрудные ореолы) частей ореолов (Zn, Co, Cu).

Сопоставление вертикальной зональности первичных ореолов месторождений Сумсар и Восточное показало идентичность в распределении элементов за исключением меди, которая на месторождении Восточное более характерна для нижних уровней ореолов. Связано это с проявлением минеральной зональности: медь в форме блеклых руд преимущественно накапливается в верхних частях ореолов, тогда как халькопирит более характерен для нижних срезов ореолов.

Как было установлено по результатам обобщения данных изучения первичных ореолов большого числа гидротермальных месторождений, рассмотренная зональность первичных ореолов фиксирует направление движения рудообразующих растворов. Вертикальная зональность первичных ореолов крутопадающих рудных тел указывает на восходящий характер растворов. Таким образом, одинаковый набор элементов-индикаторов месторождения Сумсар и гидротермальных свинцово-цинковых месторождений и единая вертикальная зональность первичных ореолов свидетельствуют об одинаковом механизме формирования этих месторождений: это позволяет считать, что образование рудных тел месторождения Сумсар также связано с деятельностью восходящих гидротермальных растворов.

Кроме того, ореолы месторождения Сумсар некоторыми специфическими особенностями отличаются от типичных плутоногенных гидротермальных месторождений. Это 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 существенно меньше фоновых. Причем характерно, что такие обедненные рассеянными металлами участки устаиваются не повсеместно, а только в ассоциации с рудными телами. В описанном выше разрезе такое перераспределение наиболее отчетливо наблюдается для цинка. На рис. 120 в зоне, прилегающей к рудному телу, наблюдается резкое падение содержания рудных элементов в продуктивной пачке и дальнейшее повышение в удалении от рудного тела.

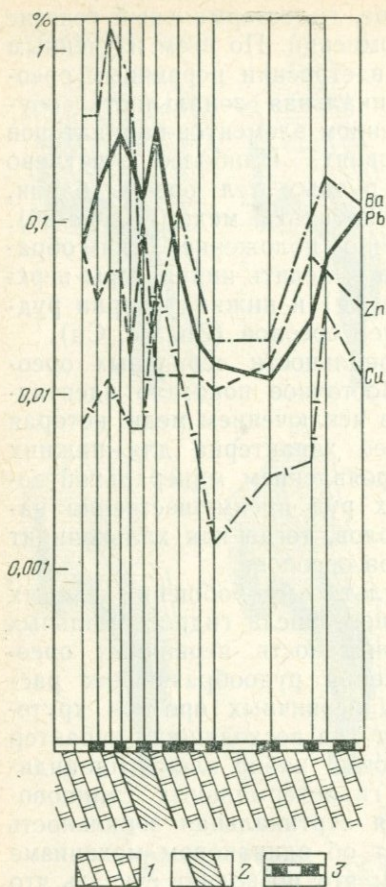
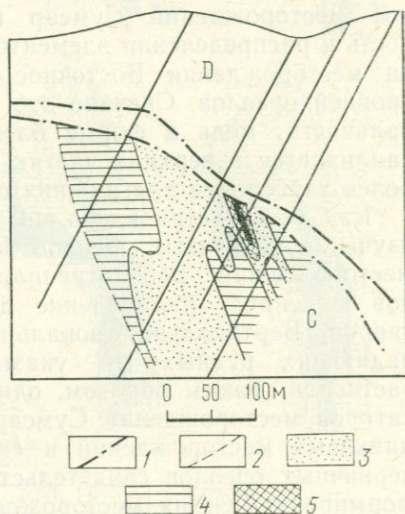


РИС. 120. Распределение элемент-индикаторов в пределах рудоносных карбонатных пород (месторождение Сумсар):

1 — рудоносные карбонатные породы; 2 — рудное тело; 3 — интервалы опробования

РИС. 121. Распределение цинка в разрезе через рудное тело (месторождение Карасай):

1 — дизъюнктивные нарушения; 2 — границы рудоносных карбонатных пород; 3—5 — содержание цинка (3 — ниже фоновое, 4 — фоновое, 5 — выше фоновое)



Участки продуктивной рудовмещающей пачки, обедненные рудными компонентами, устанавливаются также и на месторождении Карасай. Карасайское рудное поле расположено на юго-западном склоне хр. Каратау в Казахской ССР. Свинцово-цинковое оруденение приурочено к Турланскому горизонту нижнего карбона, смятому в складки и осложненному многочисленными разрывами. Рудные тела имеют необычайно сложные формы, переходы их во вмещающие породы постепенные.

Основные минералы первичных руд месторождения — галенит и сфалерит. В меньших количествах встречаются блеклая руда (теннантит), халькопирит, буланжерит, аргентит. На месторождении широко развиты также окисленные руды, представленные в основном церусситом и лимонитом.

На рис. 121 показано распределение цинка вокруг свинцово-цинкового рудного тела. В этом разрезе в подрудной части установлен участок выноса цинка, где его содержание существенно ниже фоновое.

Приведенные выше данные позволяют считать, что при формировании рудных тел имело место перераспределение рудных компонентов, в частности свинца и цинка, в пределах продуктивной пачки карбонатных пород, первоначально обогащенных этими элементами. Соседство участков выноса свинца, цинка и других элементов с рудными телами позволяет высказать предположение о заимствовании этих элементов из вмещающих пород при локализации оруденения.

Таким образом, изложенные выше данные дают возможность предполагать, что в пространственной связи с рудными телами изученных стратиформных месторождений наблюдается отчетливое эпигенетическое перераспределение в карбонатных пластах как рудообразующих металлов, так и их спутников. С одной стороны, в результате мобилизации и выноса в процессе рудообразования их содержание в отдельных участках продуктивной толщи резко уменьшилось и стало ниже стабильного фонового содержания, а с другой — непосредственно вокруг рудных тел оказались сформированными характерные ореолы этих металлов с ярко выраженной вертикальной зональностью.

Сопровождающее локализацию оруденения перераспределение элементов показано на рис. 122. Анализ особенностей кривых на рис. 122 показывает, что на участке месторождения кривая распределения характеризуется тремя максимумами: средний отвечает моде сингенетичного рассеянного содержания цинка, что подтверждается кривой фонового участка. Правый максимум отвечает рудным телам и окаймляющим их первичным ореолам, а левый — фиксирует зоны интенсивного «выноса» цинка из продуктивных карбонатных пород. Если учесть, что зоны выноса рудогенных элементов встречаются исключительно в связи с концентрированным оруденением, то можно сделать вывод о диллогенетическом, по Т. Ловерингу, генезисе месторождения Сумсар, сущность которого сводится к гидротермальной мобилизации в рудные залежи металлов из карбонатных пород, сингенетично обогащенных этими элементами.

Другим характерным примером развития своеобразных по составу и строению первичных ореолов, отражающих условия и механизм формирования рудных залежей, являются свинцово-цинковые месторождения Текелийского рудного поля (Южный Казахстан).

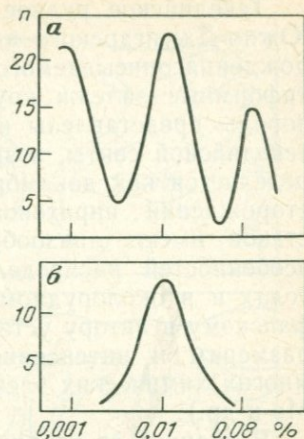


РИС. 122. Распределение частот n встречаемости содержания цинка в первичных ореолах (а) и на фоновом участке (б)

Текелийское рудное поле расположено на северном крыле Южно-Джунгарского антиклинория. Свинцово-цинковые месторождения описываемого рудного поля представляют собой стратиформные залежи крутого падения. Вмещающие оруденение породы представлены известково-углисто-глинистыми породами текелийской свиты, возраст которых по последним данным определяется как докембрийский. Рудные тела описываемых месторождений пиритового и галенит-сфалерит-пиритового состава имеют линзовидную и пластовую формы. Изучение особенностей распределения химических элементов в рудных телах и в околорудном пространстве позволило В. Ф. Митрофанскому и автору установить вокруг рудных тел различные по размерам и интенсивности первичные геохимические ореолы многих химических элементов (Pb, Zn, Cu, Sb, As, Ag, Cd, Sn, Mo и др.).

В отличие от первичных ореолов, развитых вокруг крутопадающих рудных тел гидротермального происхождения, геохимическая зональность в ореолах описываемого типа месторождений является концентрической. В этом случае надрудные и подрудные сечения ореолов (в современном залегании рудных тел) существенно не отличаются по величинам тех или иных геохимических параметров и прежде всего коэффициента осевой геохимической зональности, используемого для решения рассматриваемой задачи. Для сравнения обратимся к рис. 55, на котором приведены первичные ореолы месторождения Ямансай, гидротермальный генезис которого не подлежит сомнению. Как видно из рис. 55, в строении аддитивных ореолов выявляется контрастная вертикальная зональность, обусловленная отчетливым сдвигом вверх ореолов надрудных элементов по отношению к ореолам элементов подрудной группы: последние образуют более широкие и интенсивные ореолы на уровне нижних частей рудного тела. Подобная зональность на месторождениях Текелийской группы отсутствует.

На рис. 123 приведены первичные ореолы, оконтуренные вокруг слепого рудного тела крутого падения месторождения Западное Текели. Отличительными особенностями ореолов этого месторождения являются (в сравнении с месторождениями типично гидротермальными, каким является месторождение Ямансай): 1) отсутствие вертикальной (осевой) геохимической зональности. Элементы как надрудной, так и подрудной группы отчетливой тенденции избирательного накопления на определенных гипсометрических уровнях не проявляют. Поля максимальной интенсивности ореолов всех элементов без исключения совпадают с рудным телом. По мере удаления от рудного тела вверх и вниз примерно с одинаковым градиентом происходит ослабление (выклинивание) ореолов (см. рис. 123); 2) отсутствие выдержанной продольной геохимической зональности, в том числе и в строении мультипликативных ореолов. Как видно на рис. 123, отчетливой и закономерной зональности не установ-

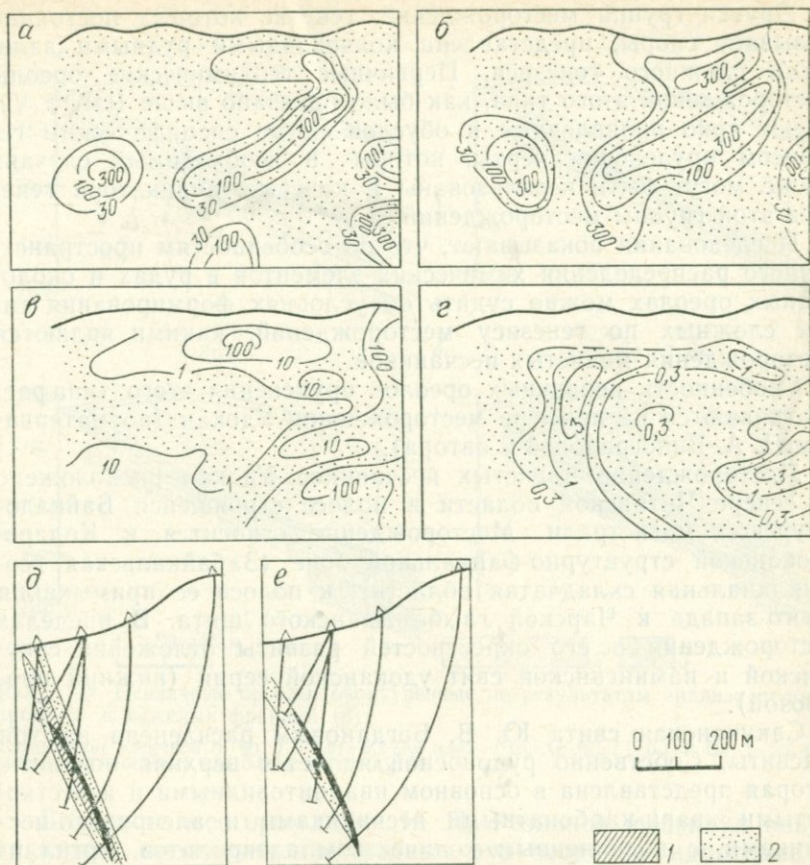


РИС. 123. Мультипликативные ореолы в продольном (а, б, в, г) и поперечном (д, е) разрезах:

а — Sb·Ag·Cd; б — Pb·Mn; в — Cu·Mo·Co; г — Ba·Mn; д — Sb·Ag·Cd, е — Cu·Mo·Co; 1, 2 — первичные ореолы (2 — поля повышенных концентраций)

лено в отличие от типичных гидротермальных месторождений, в строении первичных ореолов которых обычно выявляется контрастная продольная зональность; 3) более интенсивное развитие ореолов в лежачем боку рудных тел. Эта особенность ореолов отчетливо проявлена на рис. 123. В ореолах же гидротермальных месторождений более широкие и интенсивные ореолы развиты, как правило, в висячем боку, что обуславливает асимметричное строение ореолов.

Отмеченные специфические особенности строения первичных ореолов Текелейского месторождения безусловно, отражают механизм формирования и, следовательно, генетическую специфику данного месторождения. Геохимические данные свидетельствуют о вероятном вулканогенно-осадочном происхождении описываемого месторождения.

Другая группа месторождений, генезис которых постоянно вызывает споры, представлена колчеданными рудными залежами сложного генезиса. Первичные геохимические ореолы месторождений этого типа, как было показано выше (см. гл. V), имеют ярко проявленные и обусловленные специфическим генезисом оруденения черты, которые в необходимых случаях также могут быть использованы в качестве индикатора генезиса этой группы месторождений.

Исследования показывают, что по особенностям пространственного распределения химических элементов в рудах и околорудных ореолах можно судить об условиях формирования таких сложных по генезису месторождений, какими являются месторождения медистых песчаников.

Особенности первичных ореолов оруденения этого типа рассматриваются на примере месторождения Удокан (по материалам Н. А. Виноградовой и автора).

Месторождение медистых песчаников Удокан расположено на севере Читинской области в полосе строящейся Байкало-Амурской магистрали. Месторождение относится к Кодаро-Удоканской структурно-фациальной зоне (Забайкальская геосинклинальная складчатая область), к полосе ее примыкания с юго-запада к Чарской глыбе Аданского щита. В пределах месторождения и его окрестностей развиты отложения сакуканской и намингинской свит удоканской серии (нижний протерозой).

Сакуканская свита Ю. В. Богдановым расчленена на три подсвиты. Собственно рудоносной является верхняя подсвита, которая представлена в основном кварцитовидными и известковистыми кварц-карбонатными песчаниками и алевролитопесчаниками, с подчиненным количеством алевролитов, аргиллитов и железистых песчаников. Наблюдается очень частое и ритмичное переслаивание этих литологических разностей.

Структура Удоканского месторождения представляет собой мультискладчатую складку запад—северо-западного простирания. Крылья складки сложены слабометаморфизованными алевролитопесчаными осадками сакуканской свиты, ядро — песчано-алевролитовыми породами намингинской свиты. Осадочные породы пересекает в северо-восточном направлении дайка габбро-диабазов каларского интрузивного комплекса, а в меридиональном — дайка мезозойских лампрофиров. Медное оруденение отмечается в горизонте мощностью 100—400 м.

На месторождении выделяется несколько основных рудных тел линзово-пластовой морфологии, расположенных кулисообразно по отношению друг к другу. Мощность рудных тел изменяется от 10 до 130 м. Руды по составу борнит-халькозиновые, реже халькопиритовые.

По степени окисленности на месторождении выделяются три типа руд: сульфидные, смешанные и окисленные. Для всех типов руд характерна вкрапленная текстура.

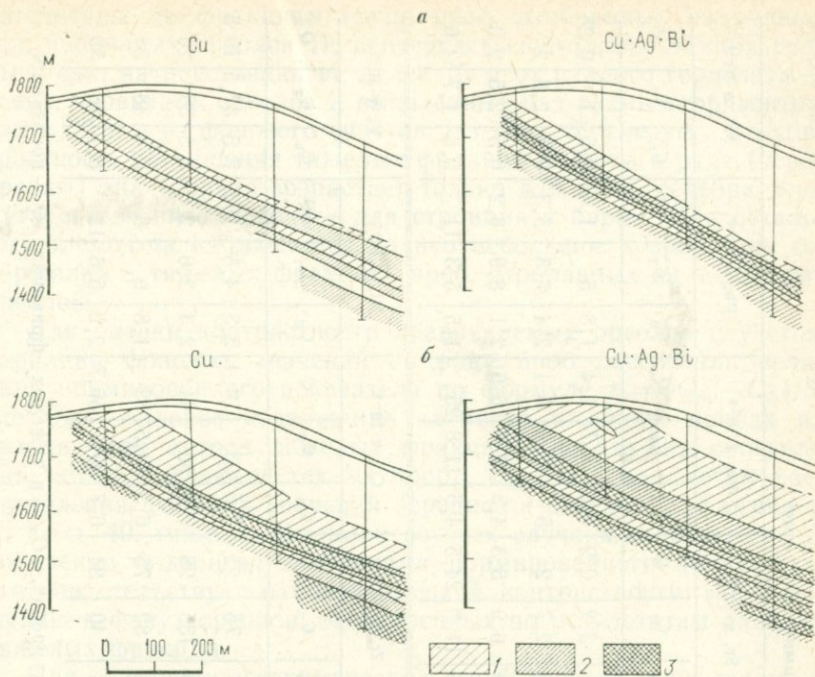


РИС. 124. Первичные ореолы, оконтуренные по результатам анализа валовых проб (а) и тяжелых фракций (б).

Содержание элементов (в %): 1 — 0,01—0,1 Cu, 0,002—1 Cu·Ag·Bi; 2 — 0,1—1 Cu, 1—100 Cu×Ag·Bi; 3 — более 1 Cu, более 100 Cu·Ag·Bi

Для этого месторождения И. П. Резников выдвинул новую трактовку происхождения медных руд осадочно-гидротермальным путем, отмечая наличие структурно-тектонического контроля оруденения, а также металлогеническую специализацию интрузивных образований.

Как показали результаты обработки данных геохимического опробования коренных пород, рудные тела сопровождаются широкими и контрастными ореолами меди, серебра и висмута. Остальные элементы (свинец, барий, цинк, молибден, вольфрам и др.) образуют отдельные аномальные «пятна», хаотически разбросанные в надрудной толще.

На рис. 124 изображены особенности распределения химических элементов в разрезе через западный фланг месторождения. Приведены моноэлементные ореолы основного компонента руд — меди, а также мультипликативные: Cu, Ag, Bi. Эти ореолы построены дважды: по результатам анализов валовых (рядовых) геохимических проб и тяжелых фракций, которые шире и контрастнее ореолов, выявленных по данным анализа валовых проб. «Выигрыш» в интенсивности ореолов количественно характеризуют приведенные в табл. 39 данные, включающие средние содержания элементов и их показатели обогащения. Последние

Средние содержания элементов (в %) и показатель обогащения геохимических проб

Выборки	Число проб	Cu, $n \cdot 10^{-3}$			Ag, $n \cdot 10^{-5}$			Bi, $n \cdot 10^{-4}$			Sr, $n \cdot 10^{-3}$			Ba, $n \cdot 10^{-3}$			Pb, $n \cdot 10^{-3}$			Mo, $n \cdot 10^{-4}$		
		C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q
Фон	4	8,7	8	2,2	0,5	0,7	0,2	0,5	1	1	4	3,2	0,9	4,2	8,7	2,4	1,8	5	1,4	0,5	1	0,28
Ореол I	15	20	30	22	3,2	22	16	0,76	—	1	3,6	2,7	2	5	8,8	6,4	2,4	7,3	5,3	0,6	2,8	2
Ореол II	12	140	420	386	19,5	244	224	0,7	4	3,7	4,9	6,9	6,3	4,3	7,2	6,6	2,1	8,9	8,2	0,5	2,5	2,3
Руда	15	740	1000	2000	185	1	2,1	0,76	4,6	9,7	4,6	11,7	24,5	4,3	11,8	25	1,5	5,3	11	0,6	1,7	3,6

Выборки	Число проб	Zn, $n \cdot 10^{-2}$			Cr, $n \cdot 10^{-3}$			Sn, $n \cdot 10^{-4}$			Zr, $n \cdot 10^{-3}$			Co, $n \cdot 10^{-4}$			Ni, $n \cdot 10^{-3}$			V, $n \cdot 10^{-3}$		
		C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q	C_B	C_T	Q
Фон	4	0,6	0,7	0,2	0,27	0,6	0,17	5	28	7,8	8	75	21	7,5	23	6,4	2,3	4,5	1,3	7,5	37,5	10,5
Ореол I	15	0,5	0,6	0,4	0,29	0,9	0,65	4,6	58	42	10	135	98	7,6	56	41	2,3	3,6	2,6	8,5	36	26
Ореол II	12	0,5	0,5	—	0,27	1	0,92	4,6	76	70	8	82	75	6,3	34,5	32	1,8	9	8	7,4	38	35
Руда	15	0,6	0,5	—	0,27	0,5	1	4,2	37	78	8	40	84	6,7	27	56,7	2,2	5,6	12	8,1	28	59

Примечание. Средние содержания элементов: C_B — в валовых пробах, C_T — в тяжелых фракциях, Q — показатель обогащения в тяжелых фракциях.

рассчитаны по фракциям групп проб, отобранных из рудных тел, первичных ореолов II, непосредственно окаймляющих рудные тела, на расстоянии не далее 20 м от рудного горизонта — вверх, первичных ореолов I, выявленных над рудным горизонтом далее 20 м и из фонового участка. Из табл. 39 следует, что контрастность обогащения тяжелых фракций из фона к руде (через ореолы) значительно возрастает только для меди, серебра, висмута, в меньшей степени — для стронция и бария. Для остальных элементов наблюдается только небольшое возрастание содержаний в тяжелых фракциях проб, отобранных из первичных ореолов.

Для оценки контрастности сравниваемых ореолов с учетом вариации фоновых значений по ряду проб рассчитали величину нормированного показателя по формуле $z_1 = (C_{ор} - C_{ф})/S$, где $C_{ор}$ — валовое содержание элемента в общих пробах из ореола (для метода тяжелых фракций — показатель обогащения тяжелой фракции тех же проб), $C_{ф}$ и S — параметры распределения фоновых значений (среднее и стандарт). Как видно из табл. 40, тяжелые фракции во всех случаях отличаются существенно большими значениями нормированного показателя, что свидетельствует о более высокой контрастности (по отношению к фону) ореолов, оконтуренных по результатам анализа тяжелых фракций.

При изучении геохимических особенностей описываемого месторождения особое внимание обращалось на выяснение зональности в пространственном распределении химических элементов. Учитывая стратиформный и субгоризонтальный характер

Таблица 40

Контрастность ореолов, оконтуренных по результатам анализа общих проб и тяжелых фракций

Номер проб	Общая проба		Тяжелая фракция			z_1/z_2
	Содержание, %	z_1	Содержание, %	Показатель обогащения	z_2	
<i>Медь</i>						
1124	0,02	8,0	0,05	0,148	400	50
1126	0,05	2,0	0,8	0,468	500	250
1131	0,3	17,0	0,5	2,9	900	53
1142	0,08	4,0	0,3	0,11	300	75
1603	0,1	8,0	0,6	1,3	1000	125
<i>Серебро</i>						
1124	0,00002	1,0	0,0003	0,04	900	900
1126	0,00008	3,0	0,002	0,0027	40	13,5
1131	0,0003	3,0	0,001	0,057	140	47
1142	0,0001	2,0	0,003	0,007	1300	650
1603	0,0004	7,0	0,003	0,026	500	71

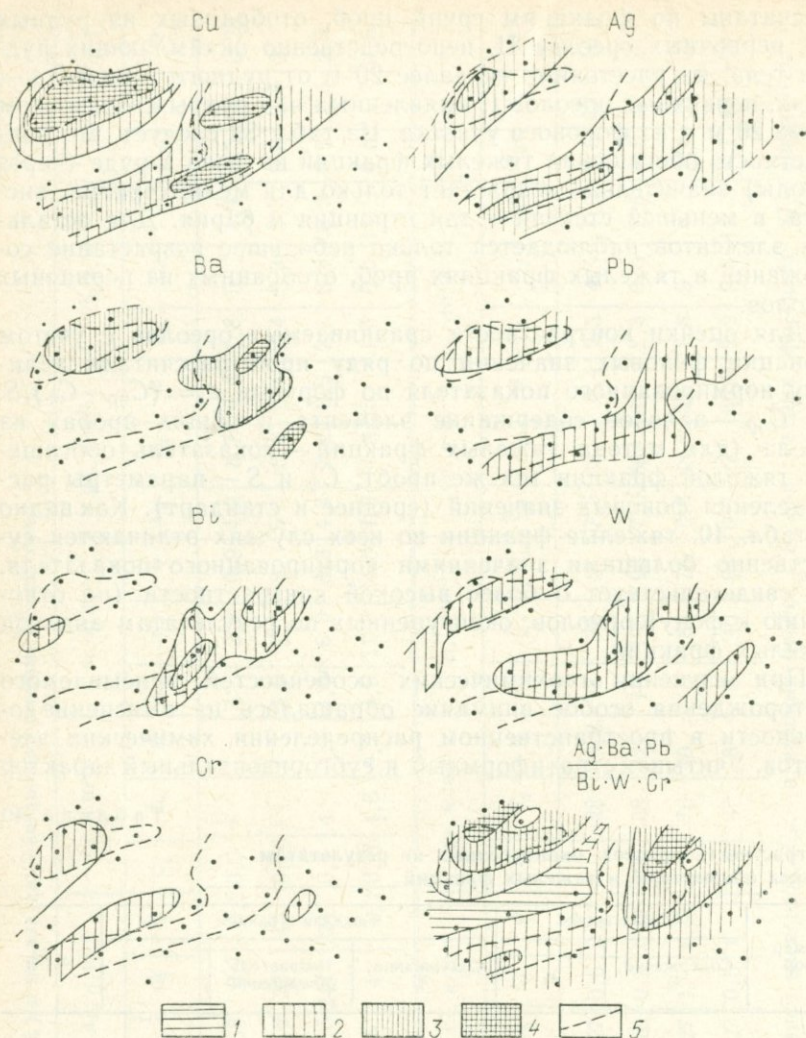


РИС. 125. Распределение химических элементов в рудоносном горизонте:

1—4 — поля различных концентраций элементов (от низких к высоким); 5 — контуры рудных тел

описываемого оруденения, зональность была исследована в двух направлениях: горизонтальном (в плане) и поперечном (вертикальном). Для изучения горизонтальной геохимической зональности в распределении химических элементов в пределах рудного горизонта был выбран наиболее разведанный западный фланг месторождения (участок Медный-Блуждающий). На план участка выносились средние содержания элементов по каждой скважине, вскрывающей рудный горизонт. Значения наносились на точках, отвечающих устьям скважин (рис. 125).

Ореолы меди на данном участке образуют две аномальные полосы, вытянутые в северо-восточном направлении, которые фиксируют известные рудные тела. Такие элементы, как серебро, барий, свинец, образуют максимальные концентрации ближе к северо-восточной части аномальных полос меди, тогда как висмут и вольфрам — в юго-западной. Ореолы, построенные по значениям мультипликативного коэффициента (отношение произведений двух групп элементов), характеризуются достаточно четкой горизонтальной зональностью: в направлении с юго-запада на северо-восток отчетливо намечается усиление ореолов элементов-индикаторов фронтальных (надрудных) частей ореолов. В данном случае зональность полностью повторяет геохимическую зональность первичных ореолов типичных гидротермальных месторождений (см. гл. II). Очевидно, можно предположить, что вектор этой зональности (направление максимально контрастной зональности) фиксирует вероятное направление движения рудоносных растворов в плоскости рудной залежи. Как показали проведенные исследования на данном участке, изменение индикаторного отношения вышеописанных двух групп элементов наиболее контрастно (в сотни раз) в направлении юго-запад — северо-восток.

Известно, что поперечная зональность в ореолах пластовых субгоризонтальных месторождений проявляется слабо прежде всего потому, что ореолы на подобных месторождениях (имеются в виду согласные ореолы) имеют ограниченное по вертикали распространение. Тем не менее поперечная зональность (вертикальная для согласных ореолов субгоризонтальных рудных тел) проявляется достаточно отчетливо на месторождениях гидротермального генезиса: выражается она в относительном обогащении верхних частей окolorудного пространства надрудными элементами-индикаторами.

Для изучения поперечной геохимической зональности описываемого месторождения по многим разрезам составлены ряды поперечной (вертикальной) зональности. Установлено, что обобщенный ряд поперечной зональности для месторождения в целом имеет следующий вид: W—Cr—Co—Sn—Ni—Mo—Zr—Cu—Zn—Pb—Ag (снизу вверх — от подрудной толщи к надрудной). Этот ряд полностью идентичен рассмотренному в гл. II ряду зональности первичных ореолов гидротермальных месторождений.

Несмотря на скрытый характер, рудные тела на поверхности фиксируются отчетливыми геохимическими аномалиями основных элементов-индикаторов и прежде всего, меди. Эти ореолы выявляются в результате опробования перекрывающих продуктивный горизонт отложений и отчетливо трассируют слепые рудные залежи, являясь тем самым их надежными поисковыми признаками.

Охарактеризованные выше геохимические особенности описываемого месторождения наряду с поисковыми имеют

и существенное генетическое значение, поскольку в определенной степени отражают условия и механизм локализации оруденения. Идентичность геохимической зональности первичных ореолов зональности гидротермальных месторождений и «проникновение» ореолов за пределы продуктивного горизонта (вплоть до поверхности) достаточно определенно указывают на сложный генезис месторождения, обусловленный широким проявлением постседиментационного перераспределения химических элементов, приведшее к формированию отчетливых геохимических аномалий, аналогичных первичным геохимическим ореолам гидротермальных месторождений.

Таким образом, анализируя результаты геохимического изучения описываемого месторождения, мы приходим к выводу, что месторождение сформировано в результате осадочного накопления рудных элементов в продуктивных пачках с последующим эпигенетическим перераспределением химических элементов и формированием рудных тел и первичных геохимических ореолов в результате проявления эпигенетического процесса, идентичного гидротермальному.

При определении генезиса месторождения Удокан и других докембрийских месторождений необходимо выяснить влияние метаморфических процессов на локализацию рудных тел. Вряд ли нужно доказывать, что это очень важно для понимания условий формирования и практического применения первичных геохимических ореолов. Специальных исследований в этом направлении не проводилось, однако имеющиеся результаты геохимического изучения ряда месторождений позволяют высказать некоторые соображения, пока еще достаточно гипотетические.

Сравнение особенностей первичных ореолов молодых (без проявления метаморфизма) и древних (в основном докембрийских) скарново-полиметаллических месторождений (с проявлением метаморфизма) позволило автору прийти к выводу о полной идентичности их первичных ореолов. Доказательством этого единства являются приведенные на рис. 25 совмещенные графики изменения с глубиной мультипликативного коэффициента геохимической зональности. Последующие работы полностью подтвердили обоснованность этого вывода; применение единых коэффициентов геохимической зональности привело к открытию ряда слепых рудных залежей, в том числе древнего возраста с широким проявлением метаморфических процессов. Таким образом, мы приходим к выводу, что и в процессе послерудного метаморфизма формируются рудные первичные ореолы, геохимически сходные с типично гидротермальными месторождениями.

Рассматривая особенности первичных ореолов месторождений различного генезиса, автор не ставил перед собой задачу убедить читателей в гидротермально-осадочном генезисе Удоканского месторождения или же в диплогенетической природе

рудных залежей в карбонатных породах. Очевидно, что вопросы генезиса месторождений тех или иных типов представляют собой предмет специального рассмотрения с привлечением широкого комплекса признаков. Именно поэтому назначение приведенных выше примеров только в показе высокой информативности геохимических данных в решении сложных задач генезиса рудных месторождений с целью привлечь внимание специалистов к первичным геохимическим ореолам как источнику ценнейшей генетической информации.

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Наряду с решением рассмотренной выше задачи — определения генезиса оруденения, результаты изучения первичных ореолов во многих случаях могут быть использованы для решения и более частных задач, обычно возникающих при расшифровке условий формирования тех или иных месторождений.

Особенности развития первичных ореолов, в частности, могут быть использованы для правильной увязки данных горных и буровых работ при оконтуривании рудных тел. На рис. 126 изображен один из вариантов увязки рудных подсечений на полиметаллическом месторождении Тарызкан (Центральный Кармазар, Таджикская ССР): единая крутопадающая рудная зона разбита на три блока, смещенных относительно друг друга пострудными подвижками. Однако, как показали результаты изучения особенностей первичных ореолов (см. рис. 126), вариант увязки данных разведки не отражает реальную картину локализации оруденения на месторождении. В действительности месторождение представлено тремя самостоятельными кулисно расположенными 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. 126 приведены графики изменения мультипликативного коэффициента геохимической зональности вида $Ag \cdot Pb / Cu \cdot Bi$. В этом коэффициенте использованы основные элементы-индикаторы описываемого типа оруденения. Эти графики однозначно указывают на самостоятельный характер рудных тел: мультипликативные коэффициенты зональности по всем рудным телам укладываются в строго определенный интервал значений: сотые доли единицы в нижних частях рудных 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 факт наличия надрудных ореолов по существу слепого рудного тела

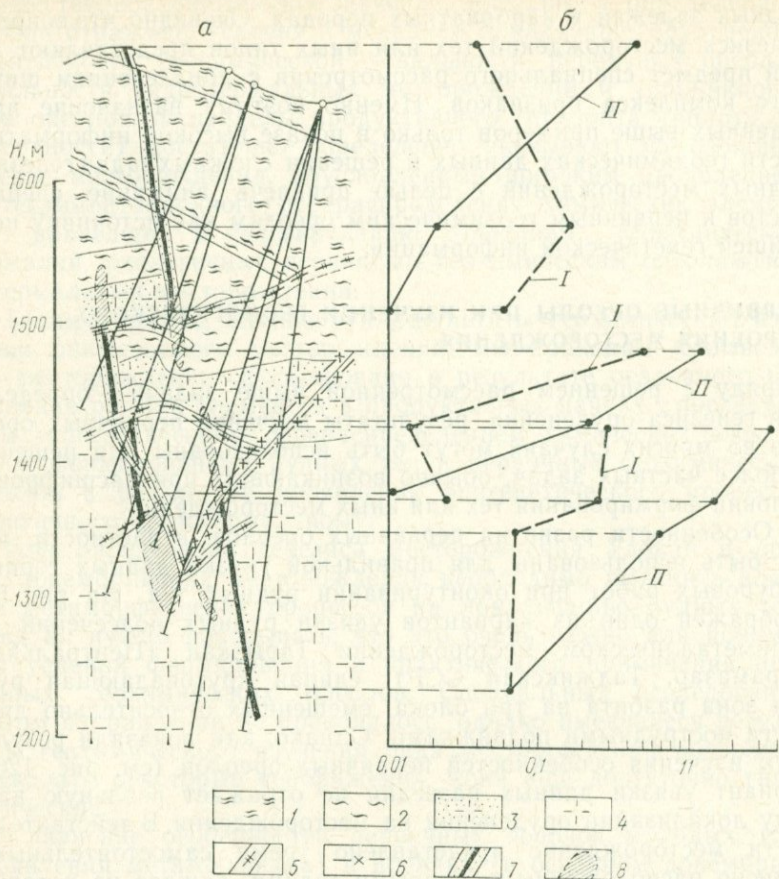


РИС. 126. Геологический разрез (а) и изменение с глубиной коэффициентов зональности (б).

1 — фельзит-порфиры; 2 — туфолавы фельзит-порфиров; 3 — туфы андезито-дацитовые; 4 — андезито-дацитовые порфириты; 5 — дайки диабазовых порфиритов; 6 — зона разломов; 7 — рудные тела; 8 — контуры рудных зон в новой интерпретации; I — Ag/Cu; II — Pb-Ag/Cu-Bi

(см. рис. 126, ниже рудного тела). Эти ореолы выявлены в результате опробования керна буровых скважин в разрезе, расположенном рядом с описываемым. Как следует из рис. 126, эти надрудные ореолы, что 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 и, в частности, мультипликативного коэффициента геохимической зональности, с помощью которого, как уже отмечалось неоднократно, удастся выявить в строении ореолов более контрастную и, что особенно важно при генетических построениях, более ста-

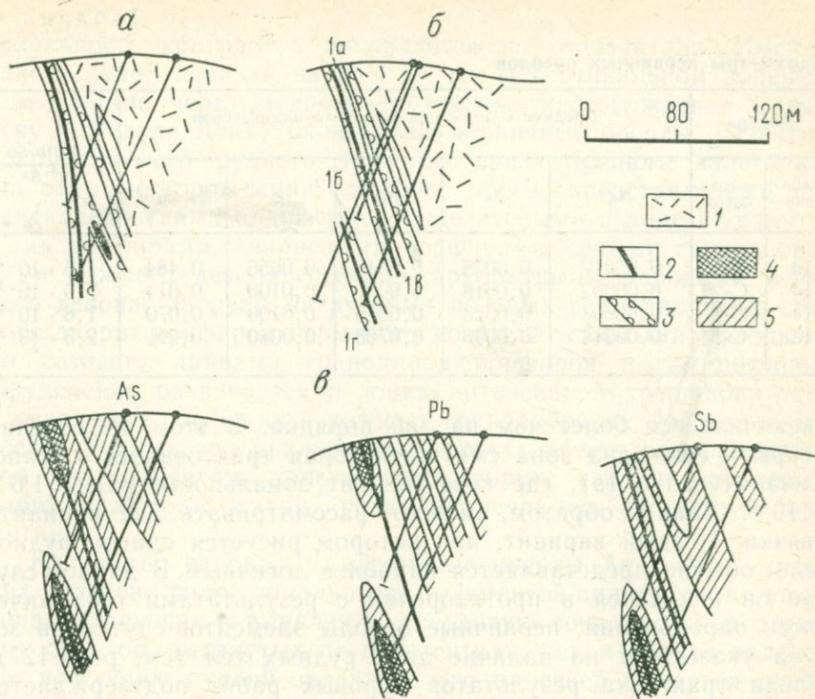


РИС. 127. Геологические разрезы до (а) и после (б) изучения первичных ореолов и первичные ореолы элементов-индикаторов (в):

1 — дайка кварцевых порфиров; 2 — рудное тело; 3 — зоны смятия и дробления; 4, 5 — первичные ореолы (5 — поля повышенной интенсивности); 1а, 1б, 1в, 1г — уровни рудного тела

бильную зональность. Так, парное индикаторное отношение серебра к меди, использованное в качестве оценки вертикальной зональности, из-за значительных флуктуаций выдержанной зональности в строении первичных ореолов не вскрыло (см. рис. 126).

Учет геохимических данных при увязке рудных тел рассмотрим также на примере золоторудного месторождения, изученного С. А. Григоровым и автором. На одном из разрезов двумя скважинами вскрыли интервалы с промышленными содержаниями золота, которые первоначально были увязаны в одно рудное тело (рис. 127). После изучения первичных ореолов была принята другая увязка, основанием для которой послужило обнаруженное несоответствие между увязкой рудного тела и параметрами первичных ореолов, развитых на разных уровнях разреза (табл. 41). Промышленное оруденение, вскрытое канавой 51, через интервал 1б увязывалось с сечением 1г в скв. 1. Анализируя характер изменчивости значений коэффициента зональности в этом варианте увязки, видим, что в начале значение коэффициента зональности убывает, затем резко

Параметры первичных ореолов

Номера		Средние содержания элементов-индикаторов в ореолах, %					$\frac{\text{Ag} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Sb}}{\text{Cu}^2 \cdot \text{As}}$
сече- ний	выра- боток	Ag	As	Pb	Sb	Cu	
1a	K-51	0,00019	0,0026	0,0043	0,0056	0,484	$1,6 \cdot 10^{-4}$
1б	C-2	0,00002	0,0018	0,0030	0,0100	0,014	$7,9 \cdot 10^{-5}$
1в	C-1	0,00003	0,0025	0,0015	0,0100	0,070	$1,6 \cdot 10^{-5}$
1z	C-1	0,00014	0,0040	0,0768	0,0080	0,291	$2,3 \cdot 10^{-3}$

увеличивается более чем на два порядка. В этом же сечении вскрыта еще одна зона смятия, которая трактовалась как апофиза (сечение 1в), где коэффициент зональности равен $1,6 \times 10^{-5}$. Таким образом, можно рассматривать два варианта увязки. Первый вариант, при котором рисуется единое рудное тело, обычно представляется наиболее логичным. В данном случае он находится в противоречии с результатами геохимического опробования: первичные ореолы элементов-спутников золота указывают на наличие двух рудных тел (см. рис. 127). Такая трактовка результатов буровых работ подтверждается также результатами изучения геохимической зональности выявленных по описываемому разрезу первичных ореолов. Как следует из приведенных данных (см. табл. 41), мультипликативный коэффициент зональности закономерно уменьшается в ореолах первого рудного тела (выходящего на поверхность), фиксируя его выклинивание с глубиной (как уже отмечалось, на продолжении этого тела скважиной была вскрыта зона 1в, см. рис. 127). В соответствии с такой трактовкой вскрытое скв. 1 промышленное оруденение фиксирует самостоятельное рудное тело. Этот вывод полностью подтвердился последующими буровыми работами: скв. 3 вскрыто продолжение второго рудного тела по его восстанию (см. рис. 127).

Особенности пространственной геохимической зональности первичных ореолов гидротермального оруденения могут быть также использованы для определения вероятных направлений и путей движения рудоносных растворов в процессе локализации рудных залежей. Знание этих особенностей рудолокализации, естественно, во многом способствует правильной расшифровке условий формирования тех или иных месторождений. Выше, при описании зональности первичных ореолов различных по составу месторождений; неоднократно отмечалось, что контрастная вертикальная зональность в строении первичных ореолов рудных тел крутого падения свидетельствует о восходящем характере рудоносных растворов. В тех случаях, когда направление движения растворов близгоризонтальное, осевая

зональность контрастно проявляется по горизонтали. Именно такой случай показан на рис. 19, где в вертикальном поперечном разрезе через медно-молибденовое месторождение Сарычеку (Средняя Азия) оконтурены первичные ореолы, развитые вокруг слепого рудного тела субгоризонтального залегания. На этом месторождении комплекс пород, представленный позднекаледонскими аляскитами, андезитовыми и андезит-дацитовыми порфирами, кварцевыми порфирами, серыми гранодиоритами нижнего девона, песчано-карбонатными породами верхнего девона, прорван интрузиями розовых гранодиоритов, сиенито-диорит-порфиров пермского возраста и самыми молодыми по возрасту дайками гранодиорит-порфиров и лампрофиров. Оруденение развивается в зонах интенсивной трещиноватости в кварцевых порфирах и розовых гранодиоритах. Минеральный состав рудных тел сравнительно прост: вместе с халькопиритом, молибденитом присутствуют пирит, галенит, сфалерит, барит, флюорит, кварц, редко встречаются аргентит и висмутин.

Как видно из рис. 19, первичные ореолы Ag и Mo — крайних членов ряда зональности элементов-индикаторов этого типа оруденения — выявляют отчетливую зональность в строении ореолов, вытянутых по горизонтали, как и рудная залежь. По восстанию рудной залежи с юга на север сужается ореол молибдена при одновременном резком усилении ореола серебра — типичного элемента-индикатора фронтальных (головных) частей первичных ореолов. Такой характер осевой геохимической зональности свидетельствует о том, что рудообразующие растворы, по всей вероятности, поступали с юга и по восстанию рудной залежи двигались в субмеридиональном направлении (см. рис. 19).

Вероятное направление рудообразующих растворов при локализации оруденения на скварново-свинцово-цинковом месторождении Тутлы I показано на рис. 128. Первичные ореолы, развитые вокруг пологих залежей этого месторождения, описаны в гл. II. Установленная на этом месторождении геохимическая зональность была использована 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 мультипликативного коэффициента геохимической зональности (Sb·As/Pb·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. 128). Наиболее вероятными рудоподводящими структурами являются крутопадающие дизъюнктивные нарушения северо-восточного направления, что, кстати, подтверждает представление исследователей, изучавших это месторождение.

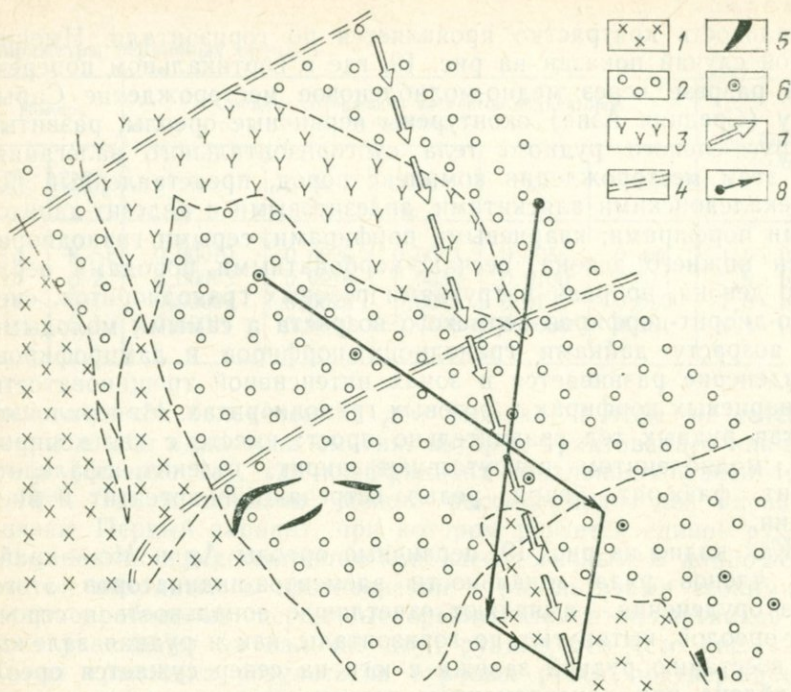


РИС. 128. Определение вероятного направления движения рудообразующих растворов в плане.

1 — андезит-дацитовые порфиры; 2 — известняково-аркозовые конгломераты; 3 — эффузивные диорит-порфиры; 4 — разрывные нарушения; 5 — рудные поля; 6 — скважины; 7 — вероятное направление движения рудоносных растворов; 8 — направление возрастания мультипликативного коэффициента зональности

Выше были рассмотрены случаи, когда направление движения рудолокализирующих растворов совпадает с восстанием рудных залежей (по крайней мере в пределах рудовмещающих структур), т. е. когда развиваются согласные с рудными телами первичные ореолы, морфологически повторяющие рудные залежи. Согласное развитие первичных ореолов эндогенных месторождений, безусловно, является наиболее часто встречающимся, но не единственно возможным случаем. Иногда встречается несогласное развитие первичных ореолов, что отражает специфические условия рудообразования и, в частности, несопадение направления движения рудоносных растворов с восстанием рудных тел. Несогласное развитие первичных геохимических ореолов установлено на скарново-полиметаллическом месторождении Николаевское (Приморье). Как уже отмечалось (см. гл. II), рудная залежь этого месторождения субгоризонтального залегания и приурочена к пологому контакту известняков верхнего триаса с верхнемеловыми вулканогенными породами. Установлено, что характерной особенностью ореолов месторождения является их несогласное развитие: при субго-

ризонтальном залегании рудной залежи первичные ореолы резко вытянуты по вертикали — их вертикальная протяженность превосходит 900—1000 м (глубина залегания рудной залежи). Такая морфология первичных ореолов однозначно указывает на восходящий характер рудоотлагавших растворов. Последние, поднимаясь по крутопадающим нарушениям, формировали протяженные надрудные ореолы, тогда как промышленные руды отлагались в пределах горизонта известняков, благоприятных для локализации оруденения. Именно пологое залегание этого благоприятного горизонта определяло субгоризонтальный характер рудной залежи и, как следствие, развитие несогласных первичных ореолов. О строго восходящем движении рудоносных растворов на Николаевском месторождении свидетельствует также ограниченная ширина надрудных первичных ореолов, которая не превышает горизонтальную протяженность рудной залежи, в отличие от согласных ореолов, для которых соотношение вертикальной и горизонтальной протяженности противоположное (см. рис. 19 и 41).

При расшифровке условий формирования тех или иных месторождений во многих случаях возникают трудности в определении времени формирования оруденения и, 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 в юго-восточной части Армянской ССР. На этом месторождении медное оруденение залегает в толще среднеюрских (байос) вулканогенных пород, представленных кварцевыми, кварцево-плагноклазовыми и плагноклазовыми порфиритами. В туффогенно-осадочной толще верхней юры (оксфорд-кимеридж) оруденения не встречено. Несмотря на то, что месторождение известно давно (систематическая его разработка начата в 1846 г.), до сих пор не существует единой точки зрения о возрасте оруденения. Одни исследователи относят возраст промышленного медного оруденения считают 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 существенным образом влияет и на выбор рациональной методики поисковых работ. Применительно к условиям Кафанского рудного поля важным вопросом является 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. 129 приведен один из разрезов, по которому буровыми 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. 129, ореолы меди и ее элементов-спутников упираются в горизонт верхнеюрских туфопесчаников. Эта особенность ореолов наиболее четко проявлена для серебра и мышьяка. Создается впечатление более молодого возраста (относительно оруденения) верхнеюрских отложений. Однако детальное изучение первичных ореолов показало, что при усилении ореолов с помощью метода построения мультипликативных аномалий мультипликативные ореолы отчетливо «проникают» в породы верхней юры, однозначно свидетельствуя о более молодом возрасте оруденения.

Причиной слабого развития ореолов в породах верхней юры так же, как и отсутствия в них промышленного медного оруденения, по всей вероятности, является то обстоятельство, что верхнеюрские отложения и в особенности туфопесчаники послужили своеобразным экраном для рудоносных растворов прежде всего из-за неблагоприятных для рудоотложения физико-механических свойств: эффективная пористость туфопесчаников (по сравнению с породами средней юры) существенно меньше (табл. 42). Как показали другие испытания образцов

Таблица 42

Эффективная пористость пород

Возраст пород	Породы	Число определений	Средняя эффективная пористость, %
Поздняя юра	Туфопесчаники	9	4,6
Средняя юра	Кварц-плагиоклазовые порфириды	6	6,04

Геологический разрез

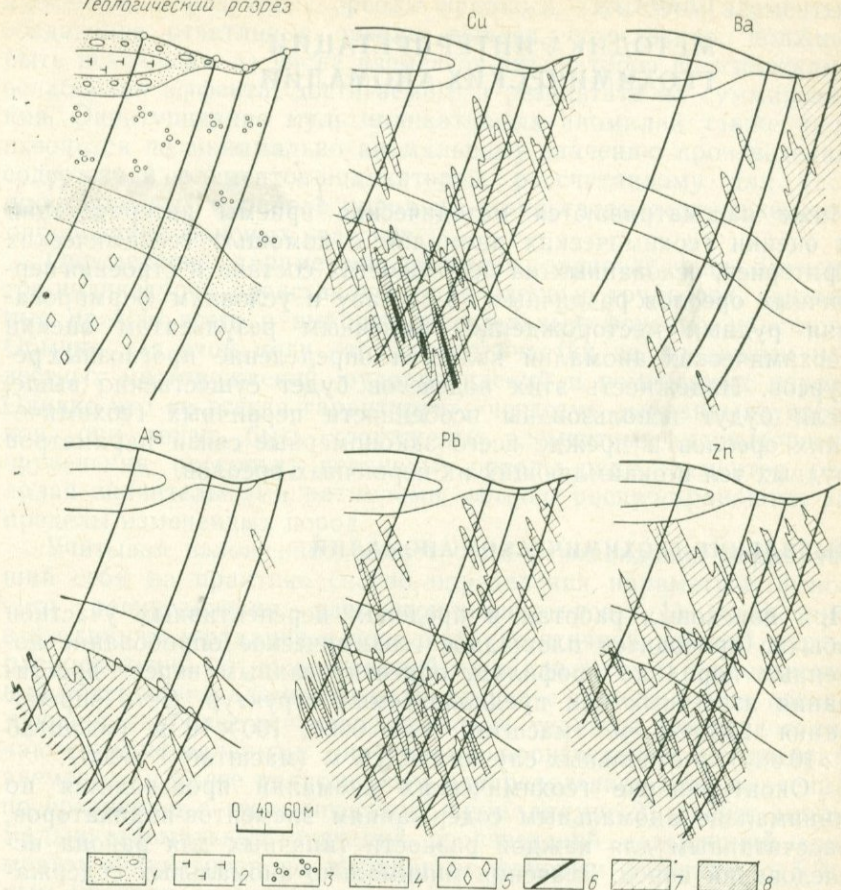


РИС. 129. Первичные ореолы вокруг рудных жил.

1 — четвертичные отложения; 2 — базальты; 3 — туфоконгломераты; 4 — туфопесчаники; 5 — кварцевые порфиры; 6 — рудные тела; 7, 8 — первичные ореолы (8 — поля повышенных содержаний элементов)

пород, верхнеюрские породы менее склонны к трещинообразованию, а следовательно, и менее благоприятны для рудоотложения. Выводы о более молодом характере оруденения и проникновения первичных ореолов в верхнеюрские породы полностью подтвердились последующим литохимическим площадным опробованием коренных пород позднеюрского возраста: в них были выявлены перспективные геохимические аномалии.

МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Ниже рассматриваются методические приемы интерпретации и оценки геохимических аномалий с помощью геохимических критериев, основанных на особенностях состава и строения первичных ореолов различных по составу и условиям формирования рудных месторождений. Конечным результатом оценки геохимических аномалий является определение прогнозных ресурсов. Надежность этих подсчетов будет существенно выше, если будут использованы особенности первичных геохимических ореолов и прежде всего закономерные связи параметров рудных тел и окаймляющих их первичных ореолов.

ВЫЯВЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

При поисковых работах в пределах перспективных участков обычно проводится площадное геохимическое опробование коренных пород по профилям, ориентированным вквост простирания известных или предполагаемых структур. Сеть опробования 250×25 м (масштаб 1:25 000), 100×10 м (масштаб 1:10 000), в отдельных случаях 50×5 м (масштаб 1:5000).

Оконтуривание геохимических аномалий производится по минимально аномальным содержаниям элементов-индикаторов, рассчитанным для каждой разности типичных для района исследований пород. Значения минимально аномальных содержаний элементов определяются исходя из величин основных параметров распределения элементов: среднего содержания в случае нормального распределения содержаний элементов; среднего и стандарта распределения логарифмов содержаний элементов — логнормального распределения (наиболее характерного для микроэлементов). Опыт использования первичных ореолов при поисках и разведке рудных месторождений позволяет рекомендовать оконтуривание геохимических аномалий по величине минимально аномальных содержаний, рассчитанных с 5 %-ным уровнем значимости.

Учитывая большую чувствительность метода построения суммарных ореолов к обнаружению слабоконтрастных аномалий (фиксирующих, в частности, слепое оруденение), на первом этапе обработки результатов геохимического опробования рекомендуется построение общих суммарных ореолов в мультипликативной модификации как более простой в вычислениях. При этом используются элементы-индикаторы известных в районе месторождений. Суммарные ореолы строятся только для

элементов, образующих ореолы привноса. При этом элементы, создающие отчетливые ореолы выноса, естественно, должны быть исключены из числа элементов-индикаторов во избежание ослабления эффекта, достигаемого в результате их суммирования. Оконтуривание мультипликативных аномалий также производится по минимально аномальному значению произведения содержаний элементов-индикаторов, рассчитанному для пространственных в районе пород по результатам геохимического опробования фоновых участков.

Определение параметров фонового распределения элементов-индикаторов представляет определенные трудности, связанные прежде всего с выбором специальных фоновых участков. Обычно для этой цели отбираются участки за пределами известных месторождений, рудопроявлений и измененных пород. Однако это не всегда гарантирует «чистоту» выбранных участков, они могут быть «заражены» элементами-индикаторами оруденения, поскольку первичные ореолы ряда элементов, обладая значительными размерами, обычно распространяются за пределы измененных пород.

Учитывая изложенное, может быть рекомендован оправдавший себя на практике способ определения параметров фонового распределения элементов-индикаторов: 1) построение в изолиниях (градации в порядках десятичной шкалы) карты распределения на исследованной площади значений произведений содержаний элементов-индикаторов 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 %-ным уровнем значимости и оконтуривание по этим значениям геохимических аномалий.

Результаты площадного опробования коренных пород 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 выделяются (по минимальным значениям) геохимические аномалии. Градация значений в пределах самих аномалий определяется их интенсивностью и обычно принимается в порядках десятичной шкалы.

Опыт показывает, что удовлетворительная наглядность в графическом изображении результатов геохимического опробования достигается при построении карты размещения аномалий в масштабе поисков, тогда как для интерпретации выявленных аномалий целесообразно строить карты изменения их параметров в более крупном масштабе. В случае геохимического опробования коренных пород в масштабе 1:10 000

удобнее всего для каждой аномалии строить карты в масштабе 1:5000 (сеть разности результатов анализа 20×2 мм).

Критерии интерпретации геохимических аномалий, выявленных в результате опробования рудовмещающих коренных пород, вытекают из особенностей формирования первичных ореолов. При интерпретации геохимических аномалий последовательно решаются следующие основные задачи: определение формационной природы аномалий, оценка уровня эрозионного среза аномалий, разбраковка зон рассеянной рудной минерализации, оценка масштаба оруденения, определение условий залегания оруденения.

Вопросы методики интерпретации геохимических аномалий в коренных рудовмещающих породах ниже рассматриваются на примере геохимических аномалий, оконтуренных в результате детального (в м-бе 1:10 000—1:5 000) опробования коренных рудовмещающих пород.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ АНОМАЛИЙ

Интерпретация оконтуренных в результате геохимического опробования коренных пород аномалий начинается с установления типа оруденения, с которым выявленные аномалии связаны. Эта задача в большинстве случаев решается на основе учета металлогенических и структурно-минералогических особенностей исследованного района (типы развитых в районе месторождений), а также результатов структурно-минералогических наблюдений, выполненных в процессе геохимического опробования для 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), может быть использован метод аналогии — сравнения выявленных аномалий с ореолами известных в районе месторождений. При отсутствии подобных месторождений для указанной цели могут быть использованы ряды поперечной зональности элементов-индикаторов. Возможности использования поперечной зональности первичных ореолов для определения состава предполагаемого на глубине оруденения рассмотрены на примере столь близких по составу (соответственно по набору элементов-индикаторов) месторождений, какими являются месторождения кварц-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций (см. гл. II).

В ряде случаев достаточно надежным критерием определения типа рудной минерализации могут служить абсолютные значения средних содержаний элементов-индикаторов в геохимических аномалиях. Например, среднее содержание свинца — 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 ртути 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.

При интерпретации геохимических аномалий, в частности, при определении их формационной принадлежности, должна быть учтена возможность встречи полиформационных аномалий. Во многих случаях при поисковых работах такая возможность достаточно надежно определяется металлогеническими особенностями исследуемых районов. Появление полиформационных аномалий наиболее вероятно в районах развития различных рудных формаций, в особенности на участках стыка рудных полей разных по возрасту и составу месторождений.

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 являются слепыми, надежная расшифровка аномалий требует привлечения дополнительных критериев, поскольку минералогические признаки слепого оруденения на поверхности могут быть не зафиксированы. В качестве таких критериев могут быть использованы и геохимические, вытекающие из особенностей развития полиформационных ореолов (см. гл. VI).

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, появление интенсивных аномалий урана на полиметаллических, золоторудных и других месторождениях может свидетельствовать о проявлении новой (урановой) рудной формации, поскольку для ореолов этих месторождений уран, как правило, не характерен.

Для определения полиформационной природы исследуемых аномалий могут быть привлечены также сквозные элементы-индикаторы, типоморфные для некоторых рудных формаций. В этом случае могут быть использованы соотношения размеров (ширины) ореолов этих элементов, неодинаковых для разных по составу месторождений. Например, на всех изученных нами урановых месторождениях максимальными по размерам являются ореолы урана (подвижного), в которые вписываются ореолы его элементов-спутников. Очевидно обратное соотношение

размеров ореолов этих элементов-индикаторов должно рассматриваться как возможный признак полиформационных аномалий. Следует отметить, что в этом случае наиболее информативно отношение линейных продуктивностей ореолов, рассчитанных в поперечном к их простиранию сечении.

Если из-за ограниченной длины профилей опробования не удается определить ширину ореолов, может быть использовано соотношение средних аномальных содержаний элементов, поскольку ряды поперечной зональности элементов-индикаторов, составленные по соотношениям линейных продуктивностей и средних аномальных содержаний, практически идентичны.

При сравнении рядов поперечной зональности интерпретируемых аномалий с рядами эталонных месторождений (см. гл. II) для элементов, чувствительность анализа на которые недостаточна, следует учитывать величины порога чувствительности. Очевидно, что сравнение этих рядов будет правомочным только при условии равенства величины порога чувствительности анализа. Если же это условие нарушается, то следует сравнивать ряды, перестроенные для одинакового по величине порога чувствительности, равного большему его значению. Предположим, что при геохимических поисках аномалия вольфрама оконтурена с чувствительностью, равной $1 \cdot 10^{-4} \%$, тогда как эталонный ряд составлен по результатам анализа с чувствительностью $1 \cdot 10^{-3} \%$. В этом случае при составлении ряда поперечной зональности интерпретируемой аномалии должны быть использованы параметры аномалии с граничным значением в $1 \cdot 10^{-3} \%$. Отметим, что ряды поперечной зональности, составленные по значениям продуктивностей ореолов и средних аномальных содержаний элементов-индикаторов, в меньшей степени подвержены влиянию чувствительности анализа по сравнению с рядами, составленными по соотношениям ширины аномалий, и поэтому более надежны.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА АНОМАЛИЙ

Одним из важнейших компонентов интерпретации геохимических аномалий является оценка уровня их эрозионного среза. Речь идет об уровне выявленной на поверхности аномалии относительно оруденения, с которым данная аномалия связана. Нетрудно убедиться, что этот уровень в общем случае не будет совпадать с абсолютным уровнем эрозионного среза участка развития аномалии. Вследствие кулисного расположения рудных тел в разрезе на участках с большей глубиной эрозионного среза могут быть развиты надрудные геохимические ореолы (над слепым оруденением), а на участках менее эродированных — подрудные ореолы (глубокий эрозионный срез аномалий (см. рис. 52)).

При интерпретации геохимических аномалий следует иметь в виду, что геохимическим опробованием обычно выявляются

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

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 содержания и продуктивностей ореолов пар элементов, а также отношения параметров частных суммарных ореолов. При этом в числителе — параметр ореолов надрудных элементов, в знаменателе — подрудных или основных промышленно ценных компонентов руд. Выбор надрудных и подрудных элементов, как уже отмечалось, производится по результатам изучения первичных ореолов известных (эталонных) месторождений и, в частности, на основе рядов элементов-индикаторов вертикальной зональности (см. гл. II).

Уровень эрозионного среза аномалий оценивается путем сравнения величин указанных выше параметров с аналогичными ореолами известных рудных тел той же рудной формации. При оценке уровня эрозионного среза геохимических аномалий более надежно использование параметров мультипликативных ореолов, поскольку их зональность является более контрастной и, что особенно важно, единой количественно, что выражается в близости величин индикаторных отношений параметров частных мультипликативных ореолов, рассчитанных для адекватных сечений ореолов месторождений одной или нескольких близких по составу рудных формаций.

Изучение первичных геохимических ореолов в основном было направлено на разработку методики поисков слепых рудных тел и поэтому не случайно, что первичные ореолы рассматривались только в связи с поисками слепого оруденения. Однако в строении ореолов выявлена контрастная зональность не только при сопоставлении надрудных и подрудных сечений, но и различных срезов ореолов, развитых на уровне рудных тел. 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 является главнейшим компонентом оценки перспективности рудопроявлений на глубину, что чрезвычайно важно, так как практически в каждом рудном районе известны многочисленные рудопроявления, требующие разбракровки с целью выбора из них наиболее перспективных.

РАЗБРАКОВКА ЗОН РАССЕЯННОЙ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Многолетний опыт геологоразведочных работ в различных районах страны показывает, что в каждом рудном районе встречаются многочисленные рудопроявления и геохимические аномалии, представленные зонами рассеянной рудной минерализации (ЗРМ). ЗРМ — это участки, в пределах которых в результате воздействия рудообразующих флюидов на вмещающие породы были образованы зоны повышенных по сравнению с фоновым концентрациям элементов-индикаторов данного типа оруденения, не содержащих 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. II. 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 зон рассеянной минерализации соответствуют ореолам, развитым на уровне нижних частей промышленного оруденения. Вследствие отсутствия отчетливой зональности вариации индикаторного отношения ЗРМ укладываются в сравнительно узкий интервал значений, который соответствует средней и нижней частям промышленного оруденения; 4) от первичных ореолов, развитых на уровне промышленного оруденения, зоны рассеянной минерализации отличаются существенно меньшими значениями средних аномальных содержаний (суммарных) основных элементов-индикаторов данного типа оруденения.

ОЦЕНКА МАСШТАБА ОРУДЕНЕНИЯ

Оценка масштаба прогнозируемого оруденения представляет собой одну из наиболее сложных задач интерпретации геохимических аномалий. В настоящее время мы еще не располагаем апробированными критериями решения этой задачи, поэтому

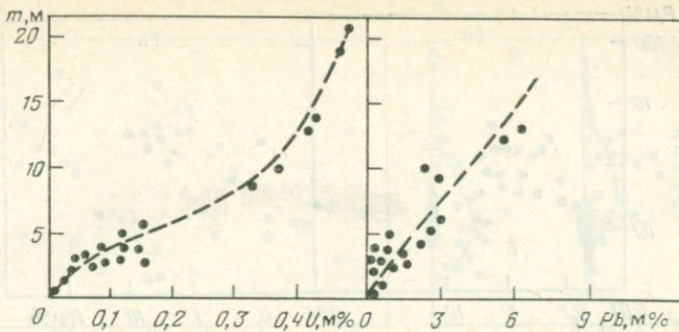


РИС. 130. Зависимость линейной продуктивности P ореолов U и Pb от мощности m рудных тел

приводимые ниже рекомендации должны применяться осторожно и с учетом конкретных геолого-структурных условий локализации прогнозируемого оруденения.

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 выявляется для ореолов элементов, являющихся основными промышленно ценными компонентами руд (уран для урановых, олово для оловорудных месторождений и т. д.). Для элементов-спутников эта связь ослабевает по причине их зонального распределения.

Прямая зависимость между мощностью рудных тел и линейной продуктивностью окаймляющих их ореолов урана показана на рис. 130, где каждая точка отражает соотношение мощности рудного тела и линейной продуктивности ореола урана по одному линейному пересечению. Аналогичная закономерность установлена и для свинца — одного из основных элементов-спутников урана. Сравнение приведенных на рис. 130 графиков (для уранового месторождения в гранитах) выявляет несколько больший разброс точек наблюдений для свинца, что следует объяснить зональным строением ореолов (свинец является индикатором надрудных сечений первичных ореолов урановых месторождений). Симбатная зависимость между продуктивностью рудных тел оловорудного месторождения Зимнее и окаймляющих их ореолов олова и свинца приведена на рис. 131.

Прямая связь параметров рудных тел полиметаллического (свинцово-серебряного) состава и первичных ореолов их основных элементов-индикаторов (Pb и Ag) установлена также на

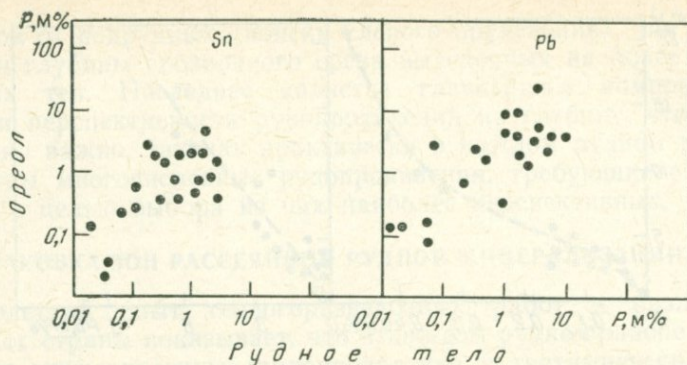


РИС. 131. Зависимость между линейной продуктивностью ореолов Sn и Pb и рудных тел оловорудного месторождения

жильных полиметаллических и медно-висмутовых месторождениях Центрального Карамазара [7].

Приведенные на рис. 130, 131 графики построены по результатам изучения первичных ореолов, развитых вокруг изолированных рудных тел. Однако, как показывают исследования, 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. 132). Графики на рис. 132 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 пропорциональна суммарной

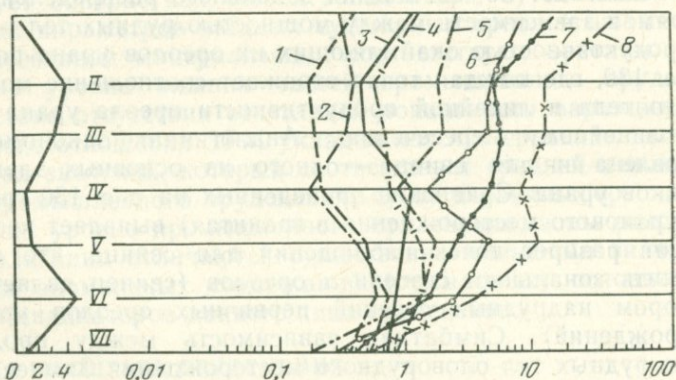


РИС. 132. Изменение по вертикали продуктивностей ореолов, их отношений и приведенной мощности рудных тел:

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

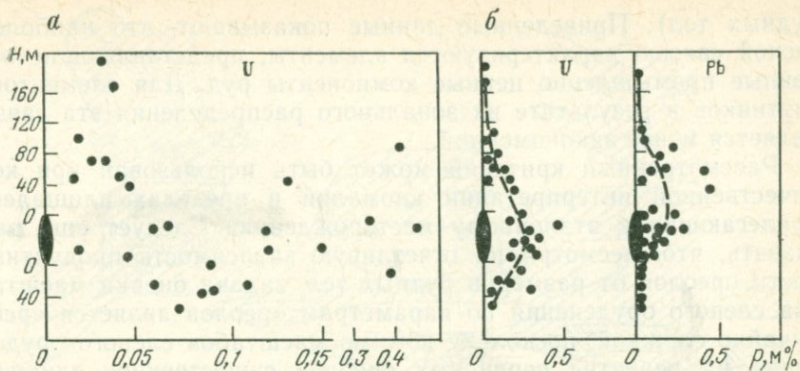


РИС. 133. Изменение с глубиной линейной (а) и удельной (б) продуктивностей первичных ореолов слепого оруденения

площади рудных тел (ореолов) по каждому из исследованных горизонтов. Как следует из рис. 132, кривые средней мощности оруденения и продуктивности ореола урана полностью повторяют друг друга, отражая тем самым прямую связь между этими параметрами рудных тел и ореолов. Для элементов-спутников урана эта связь нарушается: в соответствии с их зональным распределением (они являются надрудными для уранового оруденения) графики продуктивности этих элементов отчетливо сдвинуты вверх по отношению к графику средней мощности оруденения.

Прямая зависимость параметров ореолов и рудных тел является не только на уровне оруденения (см. рис. 130, 132), но и для надрудных ореолов. На рис. 133, а показаны изменения с глубиной линейных продуктивностей ореолов, развитых вокруг рудных тел уранового месторождения, залегающего в гранитах. Каждая точка соответствует величине линейной продуктивности, рассчитанной по одному из горизонтальных сечений ореола. Как видно, рис. 133, а представляет собой поле беспорядочно разбросанных точек. Картина существенно меняется при отложении по оси абсцисс не абсолютных значений линейной продуктивности ореолов, а относительных, рассчитанных как частное от деления абсолютных продуктивностей на мощность (максимальную) соответствующих рудных тел (удельная продуктивность). В этом случае точки закономерно располагаются на линии, фиксирующей постепенное увеличение продуктивности ореола по мере приближения к рудному телу, отражая тем самым прямую зависимость продуктивности надрудных ореолов от мощности соответствующих слепых рудных тел. В отличие от урана точки наблюдения свинца (см. рис. 133, б) характеризуются большим разбросом и резким сдвигом вверх, что является отражением вертикальной зональности (развитие интенсивных ореолов свинца выше

рудных тел). Приведенные данные показывают, что наиболее тесной связью характеризуются элементы, представляющие основные промышленно ценные компоненты руд. Для элементов-спутников в результате их зонального распределения эта связь является менее закономерной.

Рассмотренный критерий может быть использован при количественной интерпретации аномалий в пределах площадей, прилегающих к эталонному месторождению. Следует еще раз сказать, что, несмотря на отчетливую зависимость продуктивности ореолов от размеров рудных тел, задача оценки масштабов слепого оруденения по параметрам ореолов является чрезвычайно сложной, поскольку помимо масштабов слепого оруденения на развитие первичных ореолов существенное влияние оказывают такие факторы, как геолого-структурные условия локализации оруденения, физико-механические свойства вмещающих пород и т. д. Тем не менее в пределах рудных районов, где на примере известных месторождений доказана рассмотренная выше 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 формой, 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, что должно учитываться при количественной интерпретации геохимических аномалий.

Следует иметь в виду, что рассмотренный выше критерий количественной интерпретации геохимических аномалий, основанный на закономерной связи параметров рудных тел и ореолов, является не абсолютным, а относительным, и поэтому его использование может быть эффективным при интерпретации не единичных аномалий, а их групп, когда из ряда однотипных аномалий, признанных надрудными, выделяются наиболее перспективные.

Рассмотренная прямая зависимость параметров ореолов и рудных тел установлена автором на примере урановых месторождений в 1961 г. Однако в последующем этот критерий при интерпретации геохимических аномалий должного применения не получил. Такое положение было обусловлено прежде всего отсутствием геохимических критериев разбраковки зон рассеянной рудной минерализации, которые, как уже отмечалось, обычно имеют большие размеры и ошибочно могли быть приняты за надрудные ореолы значительного по масштабам слепого оруденения.

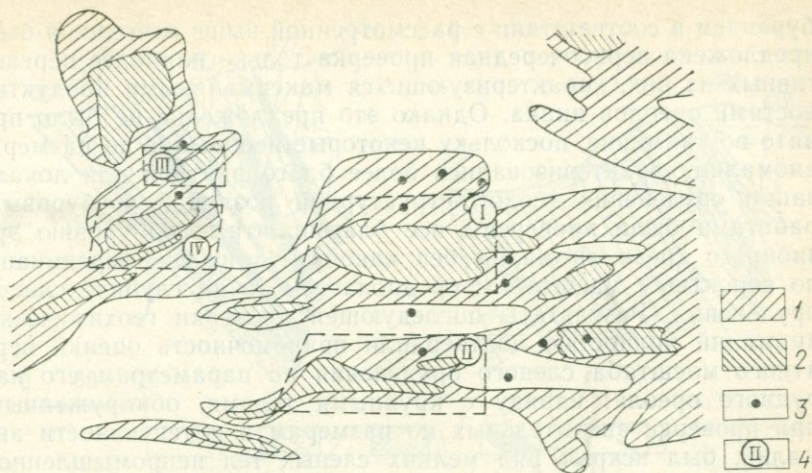


РИС. 134. Геохимические аномалии цинка в коренных породах:

1, 2 — аномалии цинка (2 — поля повышенных концентраций); 3 — скважины; 4 — номера аномалий

Следует также иметь в виду, что одна из причин, сдерживавших внедрение в практику геохимических поисков указанной зависимости для количественной интерпретации аномалий, заключалась в отсутствии достаточно надежных критериев выбора близких по уровню эрозионного среза геохимических аномалий. Используемые ранее для этой цели парные индикаторные отношения из-за значительных флуктуаций не могли гарантировать необходимой надежности определения уровня эрозионного среза аномалий, а следовательно, и масштабов слепого оруденения. В настоящее время, когда установлены критерии разбраковки зон рассеянной минерализации, а также более надежной оценки уровня эрозионного среза ореолов с помощью отношения параметров мультипликативных ореолов, применение рассмотренной выше методики определения вероятных масштабов слепого оруденения по параметрам его надрудных ореолов будет более эффективным. Отметим, что наблюдаемая обычно при геохимических поисках чрезмерная осторожность и медлительность в применении новых критериев оправдана далеко не всегда. В этой связи рассмотрим некоторые результаты геохимических работ, проведенных А. В. Жуковой и автором в пределах Акташского скарново-полиметаллического рудного поля в начале 60-х годов.

В результате детального геохимического опробования коренных пород на поверхности в пределах рудного поля был выявлен ряд геохимических аномалий, признанных надрудными на основе зональности первичных ореолов полиметаллического оруденения. На рис. 134 показаны аномалии цинка — основного промышленно ценного компонента данного типа оруденения. При составлении рекомендации на проверку этих аномалий

бурением в соответствии с рассмотренной выше методикой была предложена первоочередная проверка только наиболее перспективных из них, характеризующихся максимальными продуктивностями ореолов цинка. Однако это предложение не было принято во внимание, поскольку некоторые небольшие по размерам аномалии характеризовались более благоприятной для локализации оруденения геолого-структурной позицией, и буровыми работами были проверены все благоприятные по уровню эрозионного среза аномалии без какой-либо их дифференциации по вероятным масштабам предполагаемого на глубине слепого оруденения. Результаты последующей проверки геохимических аномалий полностью подтвердили правомочность оценки вероятного масштаба слепого оруденения по параметрам его надрудного ореола: наряду с крупными телами, обнаруженными при проверке значительных по размерам и интенсивности аномалий, был вскрыт ряд мелких слепых тел непромышленного значения, фиксируемых на поверхности аномалиями с минимальной продуктивностью.

На рис. 135, *a* приведен разрез через аномалию *I* (см. рис. 134), обладающую максимальной продуктивностью. По данному разрезу обнаружена группа крупных слепых рудных тел. Для сравнения на рис. 135, *б* приведен разрез через скв. 478 и 480, пробуренные для проверки небольшой по размерам аномалии *III* (см. рис. 134). Этими скважинами вскрыты мелкие непромышленные рудные тела. Результаты проверки остальных аномалий также полностью доказали выдержанность для данного типа оруденения закономерной прямой связи параметров ореолов и рудных тел, впервые установленной на примере уранового месторождения в гранитах (рис. 136). На рис. 136 по оси ординат (в условных единицах) отложены запасы слепых рудных тел, обнаруженных в результате проверки надрудных геохимических аномалий, а по оси абсцисс — линейные продуктивности аномалий, рассчитанные по профилям опробования коренных пород на поверхности, совпадающим с разрезом буровых скважин (каждая точка соответствует одной скважине). Из рис. 136 следует, что промышленное оруденение обнаружено только в результате проверки двух аномалий (*I* и *II*), характеризующихся максимальной продуктивностью (см. рис. 134). Все остальные скважины вскрыли слепые рудные тела непромышленного значения.

Рассмотренный пример, с одной стороны, иллюстрирует высокую эффективность использования первичных ореолов и в первую очередь их зональности для поисков слепого оруденения (при проверке всех признанных надрудными аномалий прогнозы были подтверждены), а с другой — показывает чрезвычайную актуальность разработки и внедрения в практику надежных критериев оценки масштаба прогнозируемого слепого оруденения. Вот почему одним из основных направлений дальнейших исследований в области теории и практики геохи-

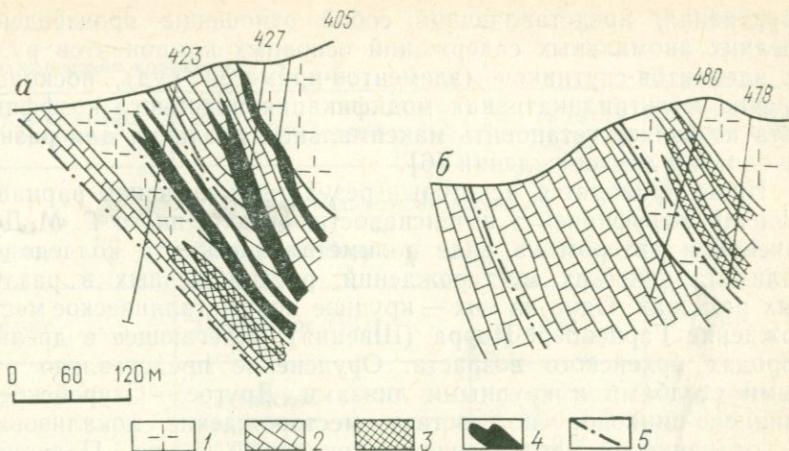


РИС. 135. Геологические разрезы через аномалии I (а) и III (б):

1 — гранодиориты; 2 — известняки; 3 — зоны вкрапленности сульфидов; 4 — сплошные руды; 5 — разрывные нарушения

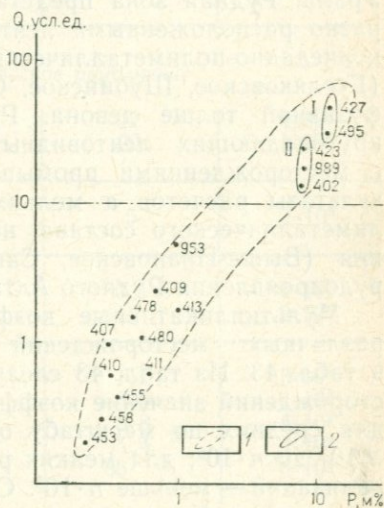


РИС. 136. Зависимость между запасами Q металла в рудах и продуктивностью p аномалий цинка (месторождение Акташ).

I, II — номера аномалий с промышленным оруденением; 1 — граница промышленных запасов; 2 — контур поля точек наблюдений

мических поисков остается разработка новых и совершенствование предложенного метода количественного прогнозирования слепого оруденения.

Последующее детальное изучение количественных соотношений химических элементов в первичных ореолах различных по запасам рудных тел и месторождений позволило установить, что изменение параметров месторождений и их первичных ореолов различно для разных элементов: наиболее тесная корреляция устанавливается для основных полезных компонентов руд. Для их элементов-спутников наблюдается определенное «отставание»: они как бы более индифферентны к изменению параметров рудных тел и месторождений. Это явление позволило предложить так называемый коэффициент интенсивности

оруденения, представляющий собой отношение произведений средних аномальных содержаний основных компонентов руд и их элементов-спутников (элементов-примесей руд), поскольку именно мультипликативная модификация подобного коэффициента позволяет установить максимальные различия для разных по запасам месторождений [6].

Ниже приводятся некоторые результаты изучения вариации величин коэффициента интенсивности, выполненного Г. М. Дергачевой и автором на ряде полиметаллических и колчеданно-полиметаллических месторождений, расположенных в различных регионах. Одно из них — крупное полиметаллическое месторождение Гарпенберг-Норра (Швеция), залегающее в древних породах архейского возраста. Оруденение представлено рудными столбами и крупными линзами. Другое — Саурейское — свинцово-цинковое по составу месторождение локализовано в ордовикской терригенно-карбонатной толще Полярного Урала. Рудная зона представлена крутопадающими кулисообразно расположенными лентовидными телами. Изучены также колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая (Гуслияковское, Шубинское, Стрежанское), расположенные в эффузивной толще девона. Рудные тела представлены сериями крутопадающих лентовидных жил и линз. Для сравнения с месторождениями промышленного значения приводятся результаты расчетов а мелких рудопроявлениях колчеданно-полиметаллического состава, не имеющих промышленного значения (Выше-Ивановское, Сакмариха, Звездное и Шинковское рудопроявления Рудного Алтая).

Мультипликативные коэффициенты интенсивности $K_{\text{и}}$ для различных месторождений и рудопоявлений приведены в табл. 43. Из табл. 43 следует, что для наиболее крупных месторождений значение коэффициента составляет $n \cdot 10^7$ и выше; для средних по масштабу оруденения оно колеблется от $n \times 10^3$ до $n \cdot 10^6$; для мелких рудных тел и зон рассеянной минерализации — меньше $n \cdot 10^3$. Сравнивая значения коэффициентов зональности $K_{\text{з}}$ и интенсивности $K_{\text{и}}$, рассчитанных для верхнерудных сечений сравниваемых объектов (рис. 137), мы видим, что примерно при одинаковых $K_{\text{з}}$ месторождения отчетливо дифференцируются по $K_{\text{и}}$: крупные по масштабам месторождения (Хандиза, Гуслияковское, Стрежанское) характеризуются более высокими его значениями, а мелкие (Сакмариха, Выше-Ивановское, Шинковское) — минимальными.

На рис. 138 приведена диаграмма сопоставления коэффициента интенсивности с месторождениями руд различных масштабов, из которой отчетливо видна прямая зависимость: чем крупнее месторождение, тем большее значение коэффициента интенсивности ему соответствует.

Детальные исследования, выполненные на различных по составу и условиям формирования месторождениях, позволили установить, что первичные ореолы промышленных месторожде-

Геохимические коэффициенты

Характеристика оруденения	Месторождение	$K_3 = \frac{Pb \cdot Ba \cdot Ag}{Cu \cdot Zn \cdot Co}$	$K_{II} = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag}{Co \cdot Ni \cdot Mo}$
<i>Полиметаллическое оруденение</i>			
Крупное	Гарпенберг-Норра	300	$2 \cdot 10^8$
Среднее	Саурейское (VII)	399	$2 \cdot 10^4$
ЗРМ	Саурейское	471	$6 \cdot 10^2$
	Саурейское	310	90
	Саурейское	2,4	3
	Саурейское	0,04	$7 \cdot 10^{-4}$

Колчеданно-полиметаллическое оруденение

Крупное	Гусляковское	12	$4 \cdot 10^8$
	Хандиза	20	$1 \cdot 10^7$
Среднее	Стрежанское	5	$1 \cdot 10^4$
Мелкое	Сакмариха	0,1	$1 \cdot 10^3$
	Выше-Ивановское	1	$2 \cdot 10^2$
ЗРМ	Шинковское	1,7	$3 \cdot 10^3$
	Шинковское	6,5	$1 \cdot 10^3$
	Шинковское	2,8	$5 \cdot 10^2$
	Шинковское	5,4	$4 \cdot 10^3$
	Гусляковское	36	$6 \cdot 10^3$

ний характеризуются не только контрастной осевой зональностью, высокой интенсивностью суммарных ореолов и повышенными концентрациями рудообразующих элементов, но и отчетливыми зонами выноса многих химических элементов (см. гл. II). Как показали исследования, интенсивность выщелачивания (выноса) многих элементов из рудовмещающих пород с образованием ореолов выноса в значительной степени определяется масштабом самого процесса рудообразования. Это явление может быть использовано для решения обратной задачи, а именно: определять примерные масштабы (ресурсы) рудопроявления по степени (интенсивности) выноса химических элементов из околорудного пространства. Вынос элементов из участков рудных тел часто сопровождается образованием

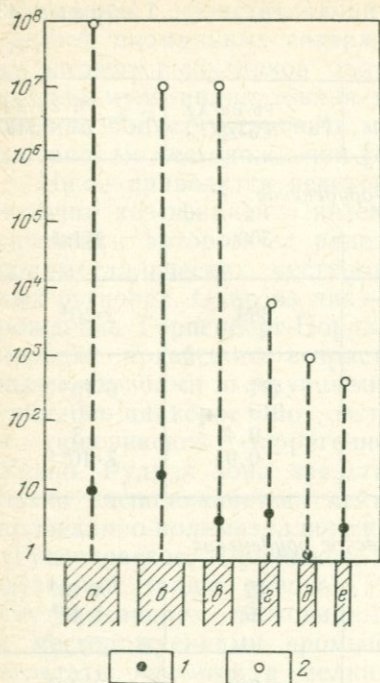


РИС. 137. Коэффициенты зональности и интенсивности различных колчеданно-полиметаллических объектов.

a-e — месторождения и рудопроявления (*a* — Хандиза, *б* — Гусялковское, *в* — Стржанское, *г* — Сакмариха, *д* — Выше-Ивановское, *е* — Шинковское); 1 — $K_z = \text{Pb} \cdot \text{Ba} \cdot \text{Ag} / \text{Cu} \times \text{Zn} \cdot \text{Co}$; 2 — $K_{II} = \text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Cu} / \text{Co} \cdot \text{Ni} \cdot \text{Mo}$

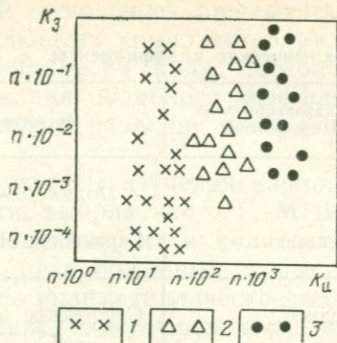


РИС. 138. Диаграмма изменения с глубиной коэффициентов интенсивности K_{II} и зональности K_z первичных ореолов медно-молибденового оруденения Каратас:

1—3 — рудные тела (1 — мелкие, 2 — средние, 3 — крупные); $K_{II} = \text{Cu} \cdot \text{Ag} / \text{Mo}^2$; $K_z = \text{Cu} \cdot \text{Mo} / \text{Co} \cdot \text{Ni}$

ореолов привноса (аномальных концентраций) в периферических, фланговых частях рудных зон. В то же время привнесенные в рудном процессе рудообразующие элементы образуют рудные тела и интенсивные первичные геохимические ореолы внутри рудных зон — в зонах выщелачивания, нередко на границе с зонами отложения. Следует отметить, что более интенсивные первичные ореолы нередко выходят за пределы рудных зон, охватывая и слабо измененные рудовмещающие породы. Масштабы выноса одних элементов и привноса других, как правило, тем больше, чем больше масштабы самого рудного процесса.

В соответствии с этим предложен специальный мультипликативный коэффициент интенсивности, представляющий собой отношение произведений основных рудообразующих элементов к произведению элементов выноса [10]. Состав участвующих в этом коэффициенте элементов может изменяться в зависимости от типа оруденения (табл. 44). Нетрудно убедиться, что этот коэффициент представляет собой разновидность рассмот-

**Состав первичных геохимических ореолов
некоторых сульфидных месторождений**

Типы месторождения	Элементы		Коэффициенты интенсивности
	привноса	выноса	
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Ba, Ag, Cd, Cu, Sn, W, Mo	Mg, Fe, Co, Ni	$\frac{Pb \cdot Zn}{Co \cdot Ni}$
Колчеданные	Cu, Zn, Pb, Mo, Co, Ba, Ag, Bi, As, Cd	V, Cr, Mn, Ga, Ni	$\frac{Pb \cdot Cu \cdot Zn}{V \cdot Cr \cdot Mn}$
Золото-сульфидные	As, Ag, Au, Sb, Pb, Bi, Mo, W, Cu, Zn, Sn	V, Cr, Mn, Co, Ni, B, Ba, Na, Li	$\frac{Ag \cdot Pb \cdot As}{V \cdot Cr \cdot Mn}$
Медно-молибденовые	Cu, Mo, Pb, Zn, W, Ag, Au, Bi, As, Sn, Sb, Ba	V, Cr, Co, Ni	$\frac{Cu \cdot Mo}{Co \cdot Ni}$
Скарново-полиметаллические	Zn, Pb, Cu, Cd, Bi, Sb, Sr, Mn, Ag, As, Mo, Sn, W, Be	V, Cr, Co, Ni	$\frac{Pb \cdot Zn}{Co \cdot Ni}$
Колчеданные золотосодержащие	Pb, Zn, Ba, Cu, Ag, Au, Bi, As, Co, Mo, Sn, Cd	V, Cr, Mn, Ga, Sc, Mg	$\frac{Pb \cdot Zn \cdot Cu}{V \cdot Cr \cdot Ga}$
Сульфидно-касситеритовые	Sr, Ag, Zn, Pb, W, As, Cu, Mo, Bi, Au, B, Sb	V, Co, Ni, Cr, Mn	$\frac{Sn \cdot Ag \cdot Zn \cdot Pb}{V \cdot Co \cdot Ni \cdot Cr}$

ренного выше коэффициента интенсивности, отличаясь от него элементами, образующими ореолы выноса.

На рис. 139, а приведено распределение мультипликативного коэффициента интенсивности по Иртышскому месторождению [10]. Месторождение расположено в центральной части Березовско-Белоусовского рудного поля в северо-западной части Рудного Алтая и приурочено к рассланцованным породам дацит-липаритовой формации. Рудные тела располагаются в висячем боку зоны интенсивно серицитизированных, хлоритизированных и пиритизированных пород, приурочены к узким зонам срывов и представляют собой крутопадающие лентовидные залежи, прослеженные по простиранию на 600—2400 м, по падению на 50—520 м при мощности до 10 м. Основными рудообразующими минералами являются пирит, сфалерит, халькопирит и галенит. Рудные тела сопряжены с широким первичным геохимическим ореолом, охватывающим все поле месторождения. Крутопадающий ореол лентовидной формы прослежен по простиранию в плане на 11,5 км при ширине 100—300 м. На глубину он прослежен до 1100 м. Состав ореола комплексный (Zn, Cu, Pb, Ag, Ba, Co, Mo, Bi, Sn, Sr, Cd, Sb, As). Максимальные по интенсивности и размерам аномальные поля образуют Zn, Pb и Cu. Вместе с тем в пределах рудовмещающего

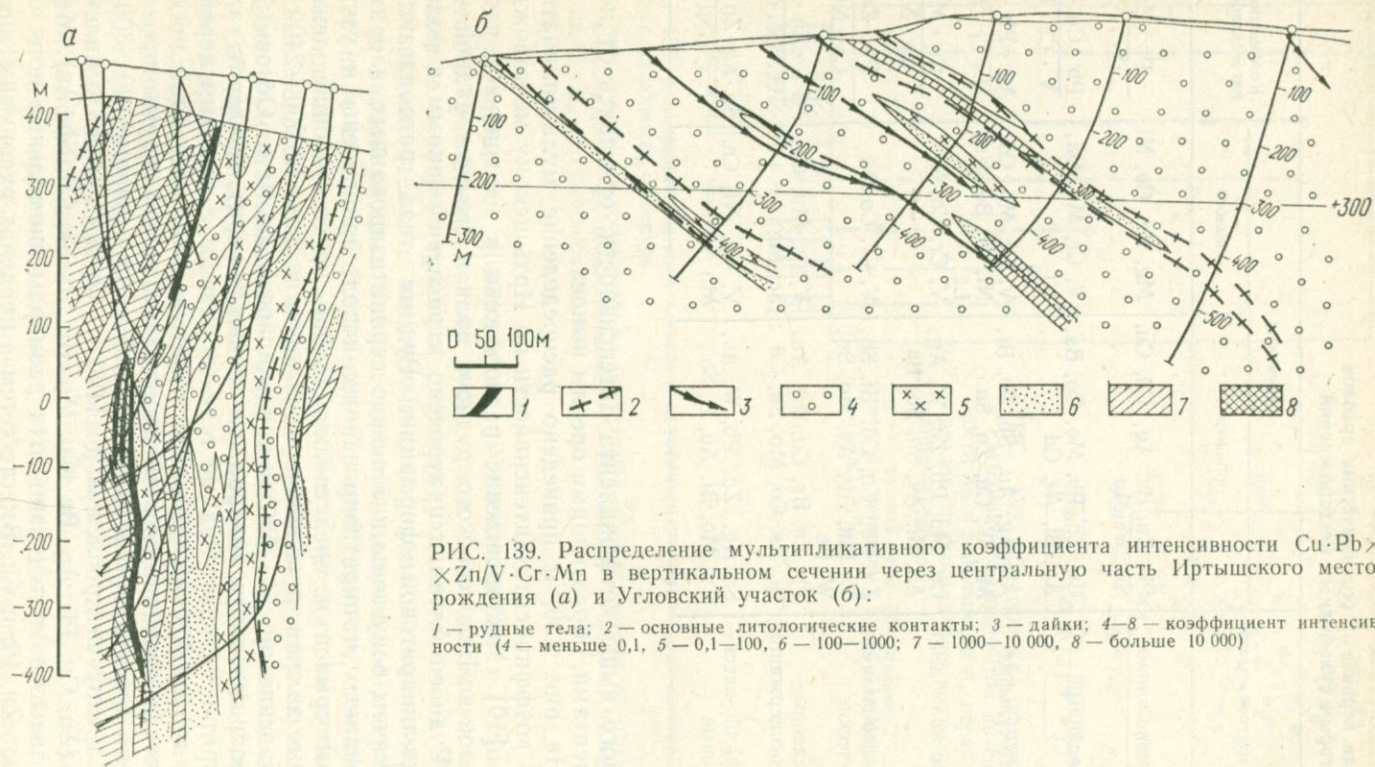


РИС. 139. Распределение мультипликативного коэффициента интенсивности $\text{Cu} \cdot \text{Pb} \times \text{Zn} / \text{V} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Mn}$ в вертикальном сечении через центральную часть Иртышского месторождения (а) и Угловский участок (б):

1 — рудные тела; 2 — основные литологические контакты; 3 — дайки; 4—8 — коэффициент интенсивности (4 — меньше 0,1, 5 — 0,1—100, 6 — 100—1000; 7 — 1000—10 000, 8 — больше 10 000)

блока пород выявлены пониженные по сравнению с фоном зоны выноса V, Cr, Mn, Ga и Ni. Зоны их положительных аномальных концентраций зафиксированы в периферических частях ореола, в удалении от рудной зоны, а также в участках дробления внутри рудной зоны. Указанная закономерность контрастно подчеркивается распределением K_{Π} ($Pb \cdot Zn \cdot Cu / V \times Cr \cdot Mn$) (см. рис. 139, а). К рудовмещающему блоку пород приурочено широкое поле значений K_{Π} , в $n \cdot 10^3$ — $n \cdot 10^5$ раз и более превосходящее фон. Узкие поля низких значений K_{Π} (менее 0,1) выявлены лишь в периферической части разреза.

Коэффициенты интенсивности для ореолов месторождений разного масштаба различны и отчетливо возрастают по мере увеличения запасов месторождений (табл. 45).

Как было отмечено, геохимические аномалии, представленные ЗРМ и в какой-то степени непромышленными рудопроявлениями, отличаются от ореолов промышленных месторождений прерывистостью строения, обусловленной многократным чередованием аномальных зон различной интенсивности с участками фонового содержания элемента. Характерным является также отсутствие выдержанной контрастной осевой зональности. Мультипликативные коэффициенты зональности ЗРМ соответствуют рудному, нижнерудному или подрудному уровням ореолов промышленных рудных тел. Исследования показывают, что наряду с этим весьма устойчивым свойством аномалий ЗРМ и непромышленных рудных проявлений является отсутствие в них (или незначительная интенсивность) аномалий выноса элементов, перечисленных в табл. 44. При сходном элементном составе с ореолами промышленных месторождений аномалии

Таблица 45

Коэффициенты интенсивности

Типы месторождений (регион)	Масштабы месторождений	K_{Π}
Свинцово-цинковые с серебром (Центральная Швеция)	Крупные	$n \cdot 10^5 - n \cdot 10^9$
	Средние	$n \cdot 10^3 - n \cdot 10^4$
Колчеданно-полиметаллические (Центральная Швеция)	Крупные	$> n \cdot 10^8$
	Мелкие	$< n \cdot 10^3$
		$> n \cdot 10^4$
Свинцово-цинковые (Средняя Азия)	Крупные	$> n \cdot 10^4$
	Средние	$n \cdot 10^2 - n \cdot 10^3$
	Мелкие	$< n \cdot 10^2$
Полиметаллические с серебром (Средняя Азия)	Крупные	$> n \cdot 10^4$
	Средние	$n \cdot 10^2 - n \cdot 10^3$
	Мелкие	$< n \cdot 10^2$
Полиметаллические (Рудный Алтай)	Крупные	$> n \cdot 10^5$
	Средние	$n \cdot 10^4 - n \cdot 10^5$
	Мелкие	$< n \cdot 10^3$
Колчеданно-полиметаллические (Рудный Алтай)	Крупные	$> n \cdot 10^7$
	Средние	$n \cdot 10^5 - n \cdot 10^6$
	Мелкие	$< n \cdot 10^4$

ЗРМ и непромышленных рудопроявлений отличаются также значительно более низким уровнем концентрации привнесенных рудогенных элементов.

На рис. 139, б дано распределение коэффициента интенсивности по Угловскому участку ЗРМ, расположенному в юго-восточной части Змеиногорского рудного района в северо-восточной части Рудного Алтая [10]. Зона рудной вкрапленности северо-западного простираения и пологого ($\angle 35-40^\circ$) падения локализована в окварцованных и серицитизированных известковистых и известково-глинистых аргиллитах дацит-липаритовой формации и приурочена к флексурному изгибу пластов. На участке развиты согласные и секущие тела субвулканических порфиров и порфириров. Рудная минерализация имеет вкрапленно-гнездово-прожилковый характер и представлена сфалеритом, галенитом, халькопиритом и пиритом. По падению и простираению зона прослеживается от центрального разреза лишь в виде вкрапленной минерализации того же состава. В пределах участка выявлен широкий ореол комплексного состава: Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Ba, Co, Sn. Значимые содержания Cd и Bi встречаются в единичных пробах. Ореол состоит из ряда зон различной интенсивности, чередующихся с близфоновыми промежутками. В отличие от ореола Иртышского месторождения в аномалии Угловского участка не установлено зон выноса ванадия, хрома, марганца или других элементов. Поэтому в разрезе Угловского участка в основном преобладают низкие значения $K_{\text{и}}$ (менее 0,1), тогда как значения $K_{\text{и}}$ больше 100 установлены лишь в нескольких пробах (см. рис. 139, б).

Рассмотрим более подробно результаты специального изучения первичных геохимических аномалий ЗРМ и непромышленных рудных проявлений различного типа, проведенного на Рудном Алтае [10]. Непромышленные рудопроявления, развитые на Рудном Алтае, подразделяются на:

— контактово-метасоматические проявления скарно-полиметаллического или скарно-медного типов, приуроченные к контактам гранитоидов или порфировых интрузий с известковистыми или полимиктовыми скарнированными породами с гнездами, прожилками, линзами пирита, халькопирита, сфалерита, галенита, магнетита;

— высокотемпературные кварцево-медно-пирротиновые проявления в метаморфизованных и ороговикованных сланцах, представленные согласными и секущими прожилками пирротин-халькопиритового состава;

— среднетемпературные пропилюто-кварцевые полиметаллические, представляющие собой мощные ореолы сульфидной вкрапленности (пирит, сфалерит, галенит, халькопирит) в интенсивно измененных полимиктовых алевролитах, туфах, туф-фитах преимущественно среднего состава;

— вторично-кварцитовые, отличающиеся мощными ореолами пирита, гематита, диаспора и алунита в порфирах;

— зоны рассеянной минерализации и непромышленные проявления колчеданной формации, образованные прожилками, вкрапленностью, гнездами и мелкими линзами пирита, сфалерита, галенита, халькопирита и других минералов в окварцованных, серицитизированных и хлоритизированных породах преимущественно дацит-липаритовой формации;

— прожилково-вкрапленные и кварцево-жильные медно-полиметаллические проявления в экзоконтактах гранитоидных интрузий, где в ороговикованных породах сколовые зоны и трещинные жилы интенсивно окварцованы и серицитизированы и содержат вкрапленность пирита, халькопирита, реже сфалерита и галенита;

— проявления медно-цинкового пирит-пирротинового типа, локализованные в региональных зонах смятия в динамометаморфических сланцах, туффоидах или порфироидах, обычно в мощных зонах кварц-серицитовых пород, которые содержат вкрапленность и прожилки пирита, сфалерита, халькопирита и пирротина;

— низкотемпературные кварцево-полиметаллические, приуроченные к дайкам порфиритов и представленные прожилками или штокверками кварца со сфалеритом, галенитом, баритом, карбонатом, рассекающими осадочные вмещающие породы.

Наиболее трудной задачей являлось установление критериев отличия аномалий ЗРМ колчеданной формации, которые по составу, геологическому положению, способу образования наиболее близки ореолам промышленных месторождений. Поэтому основная часть ЗРМ и непромышленных рудопроявлений, аномалий которых к настоящему времени изучены, принадлежат именно к этой формации, в пределах которой выделены проявления различного минерально-геохимического типа: серноколчеданного (Прогнозное), медно-цинкового (Восточное, Гребенюшинское, Титовско-Гериховское), колчеданно-полиметаллического (Рубцовское), свинцово-цинкового (Заводинское, Таволжанское, Белоглинское, Угловское, Таловское) и барит-полиметаллического (Звездный II). Помимо проявлений колчеданной формации были также изучены ЗРМ скарно-полиметаллического (Западно-Золотушинское), высокотемпературного кварцево-медно-пирротинового (Аргунихинское) и среднетемпературного пропилит-кварцево-полиметаллического типов (Орманское).

Были установлены прерывистое строение и резкая пространственная дифференциация элементов вплоть до полной разобщенности зон отдельных элементов в пределах рудовмещающих структур, а также частое чередование узких аномальных зон с безаномальными участками. Однозначного отличия аномалий ЗРМ от ореолов промышленных месторождений по K_3 установить не удалось. Действительно, для аномалий ЗРМ серноколчеданного типа (Прогнозное), медно-цинкового (Гребенюшинское), свинцово-цинкового (Таволжанское, Угловское),

скарново-полиметаллического (Западно-Золотушинское) K_3 , как правило, составляют от 1 до 10^5 , что соответствует нижнерудным сечениям ореолов промышленных рудных тел, тогда как для аномалий ЗРМ колчеданно-полиметаллического (Рубцовское) и барит-полиметаллического (Звездный II) типов K_3 меняются от 100 до $1 \cdot 10^7$, что уже соответствует надрудным сечениям ореолов промышленных месторождений ($100—10^{10}$).

Значительные вариации мультипликативного коэффициента геохимической зональности для ЗРМ по существу отражают изменения состава руд, что является спецификой рассматриваемой группы колчеданных месторождений. Поэтому целесообразность детального сравнительного изучения ЗРМ для каждого типа первичных ореолов промышленного колчеданного оруденения с целью уточнения конкретных значений коэффициента зональности для ЗРМ каждой из перечисленных выше разновидностей колчеданного оруденения очевидна. Следует особое внимание обратить на установление пределов колебания этих величин.

В то же время аномалии всех изученных ЗРМ и непромышленных рудопроявлений характеризуются преобладанием низких (меньше 0,1) значений коэффициента интенсивности $K_{ин}$, тогда как высокие (более 100) образуют либо очень узкие редкие зоны небольшой протяженности, либо совсем отсутствуют. При этом установлено, что чем крупнее рудопроявление или месторождение, тем больше площади, занятые полями высоких (больше 100) значений $K_{ин}$.

Следует отметить, что $K_{ин}$ в аномалиях ЗРМ не всегда отличается от $K_{ин}$ в ореолах промышленных месторождений. Так, в аномалиях Титовско-Герихинского участка, Рубцовского, Заводинского и Западно-Золотушинского $K_{ин}$ достигает $n \cdot 10^7$. ЗРМ и ореолы промышленного оруденения отличаются соотношениями размеров площадей высоких значений $K_{ин}$ (более 100) и низких (менее 0,1). В табл. 46 приведены размеры этих площадей по изученным сечениям промышленных месторождений и зон рассеянной минерализации.

Как видно из табл. 46, размеры площади как высоких, так и низких значений $K_{ин}$ не всегда соответствуют масштабу объекта. Так, размер площади развития высоких значений $K_{ин}$ для аномалии Таловского рудопроявления значительно больше, чем для Красноярского и Березовского промышленных месторождений. Вероятно, это объясняется влиянием конкретных геолого-структурных условий локализации оруденения. Однако, как показали специальные исследования, отношение суммарной площади высоких значений $K_{ин}$ к суммарной площади низких значений, вычисленное для каждого сечения объекта, позволяет снивелировать действие геолого-структурного фактора. Это отношение, названное показателем масштаба оруденения P_m , является величиной безразмерной и хорошо коррелируется с масштабами месторождений и рудопроявлений [10]. Данные, при-

Параметры ореолов рудных объектов различного масштаба
(Рудный Алтай)

Названия объектов	Размеры площадей (в м ²) зон при $K_H, n \cdot 10^3$		Π_M
	>100	0,1	
<i>Крупные и средние месторождения</i>			
Зырянское	272,0	66,8	4,1
Греховское	454,8	111,8	4,1
Золотушинское	464,0	170,8	2,7
Иртышское	192,5	76,5	2,5
Степное	136,0	84,8	1,6
<i>Мелкие месторождения</i>			
Красноярское	79,5	93,5	0,85
Зареченское	58,8	85,6	0,69
Березовское	53,8	116,2	0,46
Западно-Золотушинское	52,9	99,6	0,53
Гребенюшинское (разрез 103)	26,5	53,4	0,50
Звездный II	65,8	149,5	0,44
Майское	62,8	134,8	0,47
Анисимов Ключ	17,3	54,2	0,34
Богатыревское	41,0	127,5	0,32
<i>Непромышленные рудные проявления</i>			
Орманское	132,2	481,5	0,27
Таловское	100,0	467,5	0,21
Титовско-Герихинское	31,2	168,1	0,18
Рубцовское	42,5	267,5	0,16
Заводинское	8,0	67,0	0,12
Аргунихинское	17,3	302,4	0,06
Белоглинское	9,2	198,8	0,05
<i>Зоны рассеянной минерализации</i>			
Восточное	27,8	272,8	0,05
Угловское	28,0	662,5	0,03
Прогнозное	0,00	11,2	0,00
Таволжанское	0,00	19,6	0,00

веденные в табл. 46, позволяют сделать вывод о возможности надежного отличия по Π_M аномалий ЗРМ и непромышленных рудопроявлений от ореолов мелких рудных тел, средних и крупных месторождений. Если для первых Π_M варьирует в пределах от нуля до 0,27, то для вторых — от 0,31 до 1, а для последних — более 1.

В ореолах некоторых промышленных месторождений было проведено сравнение значений Π_M с значениями площадной суммарной (Cu, Pb, Zn) продуктивности рудных тел для тех

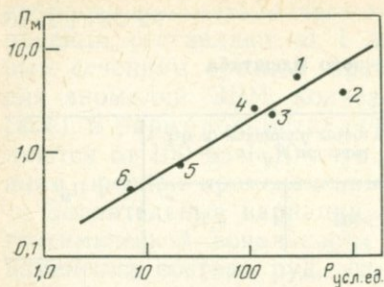


РИС. 140. График зависимости показателя масштаба P_M оруденения от продуктивности рудных тел.

Месторождения: 1 — Зырянское; 2 — Греховское; 3 — Иртышское; 4 — Золотушинское; 5 — Красноярское; 6 — Березовское

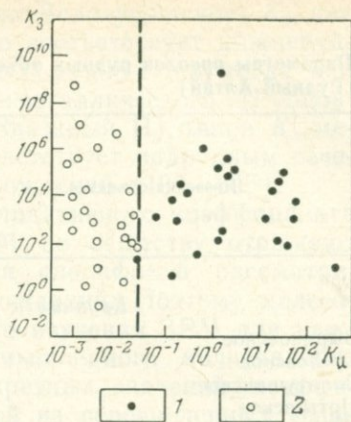


РИС. 141. График зависимости коэффициентов интенсивности от размеров рудных тел (по элементам-примесям в пирите).

1, 2 — рудные тела крупных (1) и мелких (2) размеров

же разрезов (рис. 140). Это сравнение выявило линейную зависимость между P_M и продуктивностью рудного тела (между их логарифмами), что позволяет предположить возможность использования P_M не только для отбраковки аномалий ЗРМ, но и для оценки масштабов (запасов) прогнозируемых руд [10].

Апробация коэффициентов интенсивности оруденения в комплексе с другими геохимическими показателями и анализ геологических предпосылок проводились автором, А. А. Головиным и Г. Э. Федотовой на Рудном Алтае, Полярном Урале и в Северном Казахстане. В различных районах Рудного Алтая (Гусляковское, Шубинское, Лениногорское рудное поле, Шемонаихинское месторождение, рудное поле месторождения Анисимов Ключ, Ревнюшинская антиклинальная структура, Бухтарминский район) были отбракованы многие десятки геохимических аномалий ЗРМ и непромышленных рудопроявлений и выделены первичные ореолы, перспективные на промышленное оруденение различного масштаба. Результаты последующих буровых работ позволили вскрыть промышленные рудные тела на флангах и глубоких горизонтах Гусляковского, Шубинского, Лениногорского, Шемонаихинского, Александровско-Долинного, Зырянского, Греховского и Богатыревского месторождений и на флангах месторождения Анисимов Ключ, а также выявить новое Малеевское месторождение.

Выше были рассмотрены возможности дифференциации разных по масштабу месторождений с помощью различных индикаторных отношений, рассчитанных по результатам анализа рядовых геохимических проб. Как установлено автором, для решения этой задачи могут быть использованы также параметры минералого-геохимических ореолов и, в частности, орео-

лов, выявленных по результатам анализа элементов-примесей в минералах.

На примере одного из золоторудных месторождений установлено, что пириты из ореолов более крупных рудных тел отличаются повышенными концентрациями Sb, Ni и Ag. В отличие от этого пириты из первичных ореолов мелких тел выделяются повышенными концентрациями Ti и V. С учетом этих особенностей был предложен мультипликативный коэффициент масштаба золоторудного оруденения вида $Sb \cdot Ni / Ti \cdot V$. Как видно на рис. 141, рудные тела дифференцируются по значениям рассмотренного коэффициента: наблюдается отчетливая прямая связь между величиной этого коэффициента и размером рудных тел.

Рассмотренный пример в лучшем случае может свидетельствовать только о потенциальных возможностях использования особенностей минералого-геохимических ореолов и, в частности, метода изучения элементов-примесей в минералах при оценке масштаба прогнозируемого оруденения. Очевидно, что реализация этих возможностей потребует выполнения значительного объема целенаправленных исследований по изучению особенностей состава и строения минералого-геохимических ореолов различных по составу и условиям локализации рудных месторождений с акцентом на выяснение выдержанных корреляционных связей параметров рудных тел и сопровождающих их первичных геохимических ореолов.

Рассмотренные геохимические критерии позволяют классифицировать исследованные геохимические аномалии по масштабу прогнозируемого оруденения. Причем эта дифференциация в силу относительного характера используемых критериев также является относительной. Для получения данных об абсолютных запасах (ресурсах) подлежащих оценке аномалий и рудопроявлений могут быть использованы приводимые ниже формулы.

Оценка масштаба прогнозного оруденения (прогнозных ресурсов) по данным геохимического опробования коренных пород является наиболее сложной задачей интерпретации геохимических данных и должна производиться с обязательным учетом конкретных геолого-структурных условий локализации оруденения.

Подсчет прогнозных ресурсов геохимических аномалий и рудопроявлений по результатам геохимического опробования коренных пород производится в случаях благоприятной оценки уровня эрозионного среза исследованных участков, выполненной на основе геохимической зональности первичных ореолов.

Подсчет прогнозных ресурсов Q слепого оруденения по параметрам надрудных первичных ореолов производится по формуле (по аналогии с известными формулами, предложенными А. П. Солововым) $Q = \alpha (1/40) PH$, где α — доля балансовых руд в общих запасах полезного компонента в ореолах, P —

продуктивность первичного ореола; H — вероятная вертикальная протяженность оруденения данного типа.

Величина a для конкретных типов месторождений определяется в результате опытно-методических работ. При отсутствии таких данных можно пользоваться следующими значениями a , полученными для перечисленных ниже типов месторождений: скарново-шеелитовый (W) — 0,5, скарново-полиметаллический (Pb) — 0,3; колчеданно-полиметаллический (Zn) — 0,3; медно-молибденовый (Cu) — 0,8; (Mo) — 0,6; жильный полиметаллический (Pb) — 0,2; жильный золото-кварцевый (Au) — 0,3; жильный золото-серебряный (Au) — 0,3; прожилково-вкрапленный настуран-сульфидный (U) — 0,4.

Опытным путем установлено, что приведенная выше формула дает удовлетворительные результаты при относительно неглубоком залегании слепого оруденения, что обычно фиксируется наличием зон дизъюнктивных нарушений и отчетливо проявленных окolorудных изменений, а также так называемых ореолов выноса ряда элементов-индикаторов. В случае более глубокого залегания слепого оруденения (перечисленные выше признаки, как правило, отсутствуют) формула дает заниженные результаты, что должно быть учтено при окончательной оценке геохимических аномалий.

Расхождения между прогнозными ресурсами слепого оруденения и суммой разведанных запасов по категориям $A+B+C_1+C_2$ менее трехкратных следует считать хорошей точностью оценки прогнозных ресурсов, а в пределах до пятикратных — удовлетворительной [14].

Подсчет прогнозных ресурсов слабоэродированного оруденения (установленного на основе геохимической зональности) производится по формуле $Q=(1/40) P' 0,8 H$, где P' — продуктивность рудного тела (слабоэродированного).

Подсчет прогнозных ресурсов рудопроявления, вскрытого эрозией примерно до средних частей оруденения, производится по формуле $Q=(1/40) P' 0,6 H$.

Расхождения между прогнозными ресурсами вскрытого эрозией поверхностью оруденения и суммой разведанных запасов по категориям $A+B+C_1+C_2$ менее двукратных следует считать хорошей точностью оценки прогнозных ресурсов, а в пределах до трехкратных — удовлетворительной.

Для оценки перспектив рудоносности на глубину рудопоявленияй кварц-касситеритовой формации наряду с зональностью первичных ореолов олова и его элементов-спутников может быть использована методика подсчета прогнозных ресурсов олова, предложенная В. Л. Барсуковым, основанная на учете особенностей распределения фтора [2].

После того как с использованием рассмотренных выше критериев и методики оценки перспектив рудоносности аномалий и рудопоявлений выделены наиболее перспективные участки, перед постановкой в их пределах проверочных горно-буровых

работ целесообразно уточнить условия залегания прогнозируемого оруденения во избежание ошибок, обусловленных возможным склонением оруденения, а также незнанием других особенностей залегания рудных тел. Это особенно необходимо при проверке горно-буровыми работами участков, признанных перспективными на слепое оруденение.

Для определения вероятного направления падения предполагаемого слепого рудного тела может быть использована асимметрия поперечной зональности первичных ореолов, которая возникает вследствие более интенсивного развития первичных ореолов элементов надрудной группы со стороны висячего бока рудной залежи (см. рис. 32). При этом следует учитывать, что асимметрия поперечной зональности может служить надежным индикатором элементов залегания рудного тела только в условиях однородной среды. В тех случаях, когда рудные тела локализованы на контакте различных по составу и физико-химическим свойствам пород, асимметрия поперечной зональности может быть обусловлена и этой причиной, что должно быть принято во внимание при интерпретации геохимических аномалий.

При интерпретации геохимических аномалий для определения наличия и вероятного направления склонения оруденения по простиранию рудных зон, включающих в себя как рудные тела, так и окаймляющие их первичные ореолы, могут быть использованы особенности продольной зональности первичных ореолов (см. гл. II). Продольная геохимическая зональность первичных ореолов, как отмечалось, отражает направление движения рудоносных растворов в плоскости рудоносных зон и поэтому согласуется с осевой зональностью. При этом в продольном направлении в соответствии со склонением рудных тел происходит дифференциация в распределении элементов-индикаторов, что позволяет использовать асимметрию этой зональности для определения направления склонения оруденения.

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА

В зоне гипергенеза развитые в коренных рудовмещающих породах первичные геохимические ореолы подвергаются гипергенной трансформации, в результате которой происходит разрушение первичных ореолов и формирование целой гаммы гипергенных ореолов и потоков рассеяния рудного вещества, в том числе гипергенные литохимические ореолы рассеяния элементов-индикаторов, которые широко используются при поисках рудных месторождений. Эти ореолы выявляются в результате анализа мелкой фракции рыхлых отложений конечного продукта гипергенного разрушения коренных рудовмещающих пород, образовавшегося вследствие интенсивного физического и химического выветривания исходных пород. В отличие от этого в промежуточных продуктах гипергенного преобразования коренных пород, как показали специальные исследования, отсутствуют существенные изменения первоначального химического состава первичных ореолов, что позволяет выделить специальный тип дезинтегрированных первичных ореолов, под которым мы подразумеваем аномалии, выявленные путем геохимического опробования обломков различной величины, образовавшихся в процессе дезинтеграции коренных рудовмещающих пород. Название «первичных» для этой категории ореолов сохраняется потому, что они по существу своему являются первичными, поскольку изменений в составе не произошло.

ДЕЗИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ

На площадях широкого развития обломочных отложений (курумов) затруднено эффективное применение традиционных геохимических методов поисков рудных месторождений, а в ряде случаев (сплошное перекрытие коренных рудовмещающих пород курумами) исключено. Для оценки возможности использования результатов геохимического опробования курумов при поисках рудных месторождений Л. Н. Бельчанской, Н. А. Виноградовой и автором проведены специальные исследования, основные результаты которых излагаются ниже.

Опытно-методические исследования с целью геохимического изучения обломочных отложений применительно к оловорудным месторождениям северо-восточной части СССР проводились на двух участках Валькумейского месторождения (Центральный и Седьмой километр). Эти участки перекрыты свалами и развалами гранитоидов Певекского массива, в эндоконтакте кото-

рого залегают все промышленно ценные рудные тела. Мощность обломочных отложений (курумов) на площади месторождения обычно не превышает 5 м. На Центральном участке Валькумейского месторождения работы проводились по изолированной в пространстве жиле 76, являющейся одним из самых крупных рудных тел на участке. Протяженность жилы более 700 м. Перекрывающие жилу курумы были опробованы по четырем профилям длиной 400 м каждый. На участке Седьмой километр работы проведены по серии рудных тел, группирующихся в полосу мощностью 300—350 м.

Опробование курумов проводилось по отдельным профилям, ориентированным вкрест простирания рудных тел. Расстояние между профилями в среднем 100—150 м, шаг опробования по профилю — 10 м. Пробы брались методом пунктирной борозды с интервалом опробования 10 м. Сколки отбирались из обломков рудовмещающих пород (курумов), средний размер их 0,2—0,5 см в диаметре. В пробах общей массой 150—200 г после соответствующей обработки экспрессным спектральным анализом определялись содержания типоморфных для оловяно-рудных месторождений элементов-индикаторов. Обработка результатов анализов проб, отобранных по пересекающим жилу 76 (Центральный участок) профилям, показала, что перекрытая курумами рудная жила фиксируется повышенными содержаниями Sn, Pb, Zn, Cu, В, Ag, W, Be, т. е. элементов, являющихся характерными индикаторами рудных тел Валькумейского месторождения.

Аномалии перечисленных элементов в курумах представлены полосами, вытянутыми согласно с простиранием рудного тела в субмеридиональном направлении. Параллельно с опробованием курумов были опробованы также элювиально-делювиальные отложения для выявления вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов и их сопоставления с аномалиями, обнаруженными в курумах.

Сопоставление результатов сопряженного опробования курумов и элювиально-делювиальных отложений показало, что оба метода фиксируют достаточно контрастные аномалии элементов-индикаторов оловянного оруденения, при этом наиболее тесное совпадение устанавливается для мультипликативных ореолов.

На рис. 142 изображены частные мультипликативные ореолы надрудных и подрудных элементов, оконтуренных в результате опробования мелкозема и курумов. В обоих случаях рудные жилы отчетливо фиксируются широкими и контрастными мультипликативными ореолами как надрудных, так и подрудных элементов, развитых как в курумах, так и элювиально-делювиальных отложениях, примерно с одинаковой интенсивностью, о чем также свидетельствуют близкие значения мультипликативных коэффициентов геохимической зональности, рассчитанные по обоим типам аномалий.

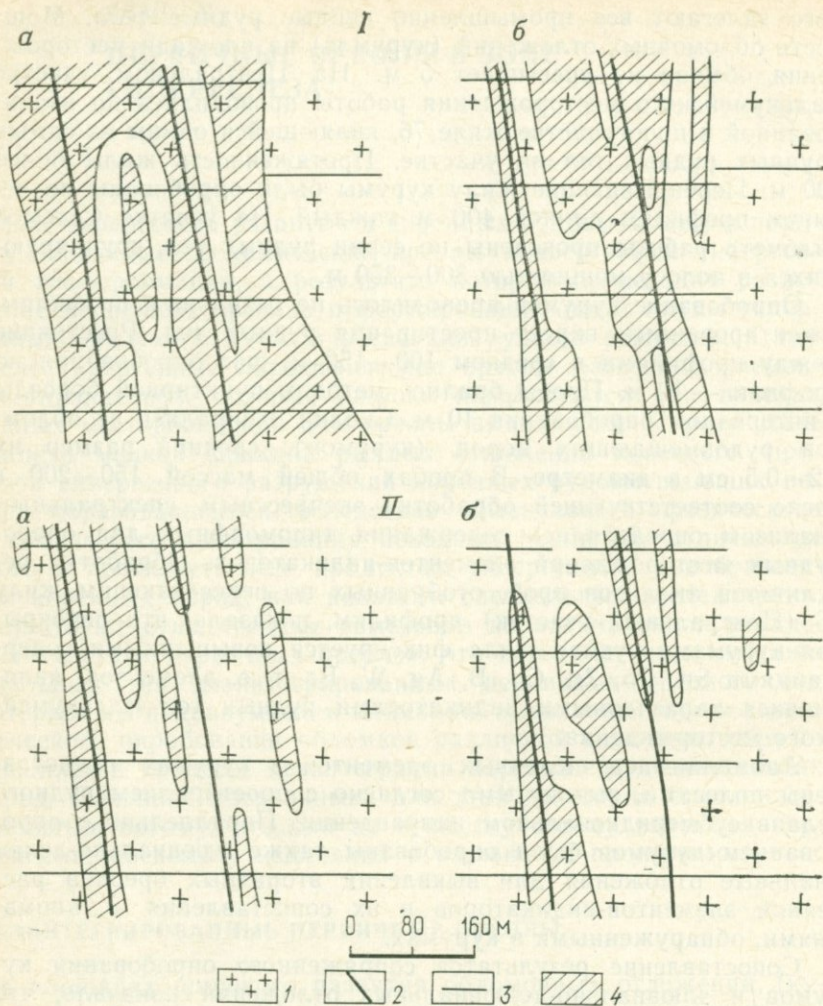


РИС. 142. Мультипликативные аномалии надрудных (I — Pb·Zn·Ag) и подрудных (II — Cu·Bi·Mo) элементов в курумах (а) и почвах (б) на участке Центральном Валькумейского месторождения.

1 — гранодиориты; 2 — рудные жилы; 3 — профили опробования; 4 — геохимические аномалии

Выбор групп надрудных и подрудных элементов производился по результатам изучения особенностей состава и строения первичных ореолов вокруг рудоносных зон Валькумейского оловорудного месторождения. В строении частных мультипликативных ореолов, исследованных вокруг жилы 76 и более мелкой жилы 256, устанавливается отчетливая геохимическая зональность (рис. 143). Частные мультипликативные ореолы перечисленных надрудных и подрудных элементов представляют

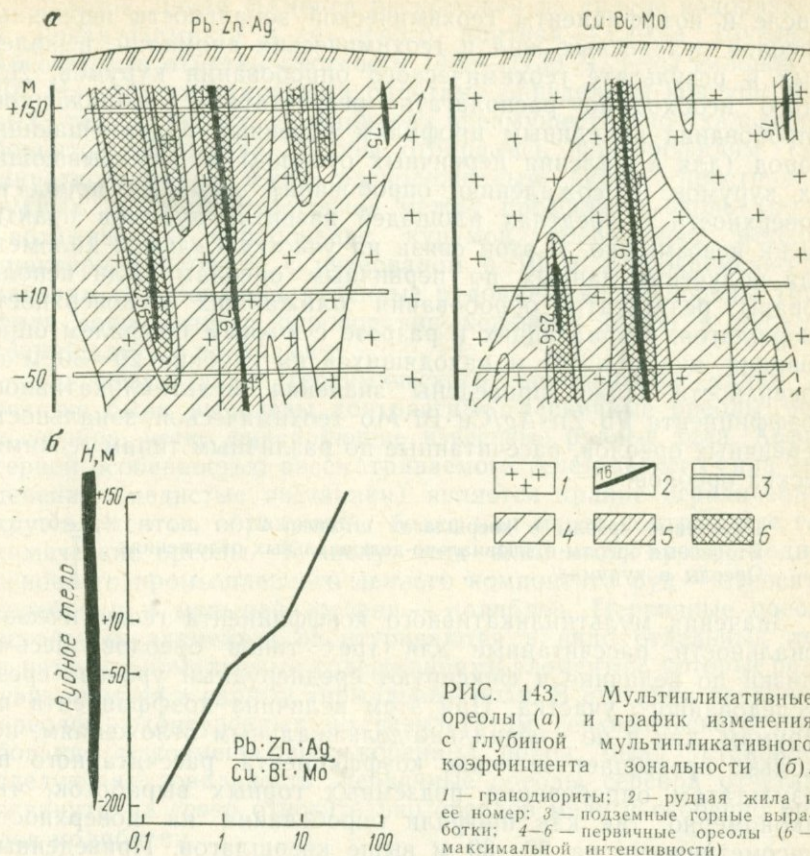


РИС. 143. Мультипликативные ореолы (а) и график изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности (б).

1 — гранодиориты; 2 — рудная жила и ее номер; 3 — подземные горные выработки; 4—6 — первичные ореолы (6 — максимальной интенсивности)

как бы зеркальные отражения друг друга, обуславливая контрастную вертикальную зональность в строении ореолов. Количественным выражением этой зональности является приведенный на рис. 143 график изменения с глубиной мультипликативного коэффициента зональности, фиксирующий уменьшение коэффициента более чем на два порядка на глубину в 350 м.

На участке Седьмой километр также выявлены интенсивные и широкие геохимические аномалии элементов-индикаторов оловянного оруденения как в курумах, так и в элювиально-делювиальных отложениях. Для этих аномалий, как и для аномалии жилы 76, характерно совмещение в пространстве, особенно тесное для мультипликативных вариантов.

Тесное совпадение геохимических аномалий в курумах с рудоносными зонами описанных участков позволяет рассчитывать на возможность использования результатов геохимического опробования курумов не только для обнаружения рудоносных зон, но и для оценки уровня их эрозионного среза. Для решения этой задачи необходимо сопоставить параметры, в том

числе и коэффициенты геохимической зональности первичных ореолов рудоносных жил и геохимических аномалий, выявленных в результате геохимического опробования курумов. Для этого необходимо располагать результатами сопряженного опробования по единым профилям коренных рудовмещающих пород (для выявления первичных ореолов) и перекрывающих их курумов. К сожалению, опробование коренных пород на поверхности в пределах площадей развития курумов практически невозможно. В этой связи на участке Седьмой километр для получения данных по первичным ореолам были использованы результаты опробования ближайших к поверхности кваршлаггов, совпадающих в разрезе с южным профилем опробования курумов [8] и находящихся на глубине 20—30 м от поверхности. Ниже приведены значения мультипликативного коэффициента $Pb \cdot Zn \cdot Ag / Cu \cdot Bi \cdot Mo$ геохимической зональности первичных ореолов, рассчитанные по различным типам геохимических ореолов.

Первичные ореолы в кваршлаггах штольни 21	4,5—5
Вторичные ореолы в элювиально-делювиальных отложениях	17
Ореолы в курумах	11

Значения мультипликативного коэффициента геохимической зональности, рассчитанные для трех типов ореолов, весьма близки по величине и фиксируют среднерудный уровень среза исследованного участка. При этом величина коэффициента по курумам, как и по элювиально-делювиальным отложениям, несколько превышает значение коэффициента, рассчитанного по результатам опробования подземных горных выработок, что закономерно, так как профили опробования на поверхности гипсометрически на 20—30 м выше кваршлаггов. Приведенные данные свидетельствуют о тесной связи между ореолами, обнаруженными в коренном залегании, и в курумах, что позволяет рассчитывать на использование результатов опробования курумов для обнаружения аномалий в коренных породах (первичных ореолов рудных тел и месторождений) и даже для оценки уровня их эрозионного среза.

Столь обнадеживающие результаты изучения связи ореолов в коренном залегании и в курумах в решающей степени обусловлены конкретными условиями территории оловорудных месторождений, характеризующейся относительно плавными формами рельефа. Однако, как показали результаты работ в других районах, несмотря на более сложные геоморфологические условия, все же удается выявить достаточно выдержанные закономерные связи между ореолами в коренных породах и курумах. В качестве примера ниже приводятся результаты геохимического опробования курумов в Читинской области в районе месторождения Удокан. Исследования выполнены на двух участках: на участке Левая Наминга (месторождение Удокан) и на участке Базальтовый (месторождение Право-Ингамакит).

Участок Левая Наминга расположен на склоне водораздела р. Левая Наминга и ее левого притока — ключа Шумного. Абсолютные отметки местности 1400—1730 м, углы склонов до 40°. На участке канавными работами определены контуры рудных тел медистых песчаников преимущественно халькозин-борнитового состава. Пробы отбирались по профилям субширотного направления, расположенным вкрест простирания рудных залежей. Расстояние между профилями около 100 м. Геохимическое опробование курумов проводилось методом пунктирной борозды с интервалом в 10 м. Одновременно по канавам опробовались коренные рудовмещающие породы (профили сопряженного опробования коренных пород и курумов совмещались с канавами).

По результатам геохимического опробования канав на участке были выявлены контрастные первичные ореолы меди и серебра, четко фиксирующие известные рудные тела. Характерной особенностью рассматриваемого генетического типа оруденения (медистые песчаники) является крайне ограниченный круг элементов, образующих более или менее контрастные геохимические ореолы. К числу этих элементов кроме меди — основного промышленного ценного компонента руд — относятся серебро и в меньшей степени — молибден. Первичные ореолы остальных элементов оконтуриваются в виде отдельных лент и пятен с аномальными содержаниями элементов, которые редко увязываются в единые аномальные поля. В строении первичных ореолов, оконтуренных по результатам геохимического опробования рудовмещающих коренных пород, была установлена следующая зональность: первичные ореолы серебра отчетливо сдвинуты на север относительно ореолов меди и особенно ореолов молибдена.

Сопряженным геохимическим опробованием в курумных отложениях выявлены также широкие и контрастные ореолы меди и серебра и менее интенсивные — молибдена. Выявленные ореолы несколько сдвинуты вниз по склону относительно контуров выходов рудных тел на поверхность, установленных по данным опробования канав. Поля максимальных концентраций меди, оконтуренные по результатам опробования курумных отложений, оказались смещенными относительно рудных тел вниз по склону на 20—60 м.

В ореолах, установленных геохимическим опробованием курумов, также фиксируется геохимическая зональность, аналогичная отмеченной зональности первичных ореолов в коренных породах, которая наиболее отчетливо проявляется в строении аномалий, построенных по величине рассчитанного по каждой пробе мультипликативного коэффициента геохимической зональности типа: $Ag^2/Cu \cdot Mo$. Выбор коэффициента обусловлен характером зональности.

Аналогичная по характеру зональность проявляется как в первичных ореолах (опробование коренных пород), так

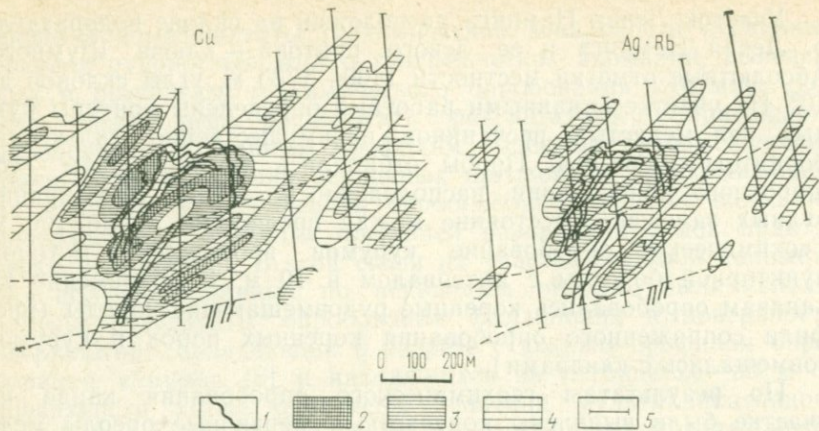


РИС. 144. Геохимические аномалии элементов-индикаторов в курумах.

1 — рудные тела; 2—4 — геохимические аномалии (4 — максимальной интенсивности); 5 — профили опробования

и в ореолах, выявленных по результатам геохимического опробования курумных отложений. Это свидетельствует о геохимическом соответствии коренных пород и курумных отложений, позволяющем использовать геохимические аномалии в курумах в качестве поисковых признаков коренного оруденения.

Геохимические аномалии, выявленные в курумах на участке Базальтовый месторождения Право-Ингамакит, показаны на рис. 144. Право-Ингамакитское месторождение медистых песчаников однотипно с Удоканским и расположено в 30 км от месторождения Удокан. Базальтовый участок — это наиболее сложный в тектоническом отношении из всех участков месторождения. Здесь выделяются два рудных тела, которые структурно приурочены к сложно построенной антиклинали с опрокинутым северо-западным крылом. Абсолютные высотные отметки участка 1800—2150 м, крутизна склонов достигает 35—40°. Курумные отложения представлены преимущественно обломками коренных пород диаметром 10—50 см.

На описываемом участке курумы опробованы по профилям субмеридионального направления, расстояние между профилями около 100 м, интервал опробования — 2 м. Опробованием были выявлены геохимические ореолы ряда элементов. Наиболее широкие и контрастные ореолы, как и на участке Левая Наминга, образуют медь и серебро, которые связаны с рудными телами в коренных породах. Ореолы в курумах в центральной части участка вытянуты согласно ориентировке рудных тел со смещением относительно рудных тел вниз по склону в южном и юго-западном направлении на 40—60 м. С помощью мультипликативных ореолов (см. рис. 144) удается получить четкую картину пространственной связи ореолов, развитых

в курумных отложениях, с рудными телами медистых песчаников.

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что локализованные в коренных рудовмещающих породах рудные тела и их первичные ореолы фиксируются отчетливыми геохимическими аномалиями элементов-индикаторов данного типа оруднения. По существу в курумах в результате геохимического опробования выявляются те же первичные ореолы, но только в той или иной степени (в зависимости от условий конкретных участков) «оторванные» и смещенные от коренного источника. Направление, а также протяженность этого смещения обычно удается установить исходя из конкретных геоморфологических особенностей участков исследования, и поэтому ореолы в курумах могут быть с успехом применены для поисков рудных тел. Особенно перспективным представляется использование результатов геохимического опробования курумов не только для обнаружения рудоносных зон, но и для оценки уровня их эрозийного среза на основе геохимической зональности первичных ореолов, постоянно сопровождающих рудоносные зоны. Задачу оценки рудоносных зон с помощью опробования курумов можно решать весьма надежно, поскольку ореолы в курумах представляют те же первичные ореолы, но только смещенные по склону. В решении рассматриваемой задачи курумы более информативны, чем вторичные ореолы рассеяния элементов; в почвах при формировании элювиально-делювиальных отложений и образуемых по ним почв происходит резкое нарушение количественных соотношений элементов-индикаторов в рудоносных зонах и их первичных ореолах. В курумах же мы фиксируем «первичные» количественные соотношения элементов-индикаторов, и в этом преимущество ореолов в курумных образованиях перед вторичными ореолами элементов-индикаторов в почвах.

Положительная оценка возможностей метода опробования курумов еще не является рекомендацией о повсеместном применении этого метода. В данном случае рассматриваются только потенциальные возможности метода, реализация которых требует выполнения в широких масштабах опытно-методических работ по разработке применительно к типоморфным обстановкам оптимальной методики использования курумных отложений при геохимических поисках рудных месторождений.

Дезинтегрированные первичные ореолы могут быть обнаружены также в результате геохимического опробования различных по размерам и разбросанных по площади элювиальных и делювиальных свалов. Речь по существу идет о геохимической модификации хорошо известного обломочного метода поисков рудных месторождений, отличающейся тем, что визуальное (минералогическое) изучение обломков пород дополняется их геохимическим опробованием с последующей интерпретацией результатов анализа геохимических проб с привлечением всего

арсенала критериев, основанных на особенностях состава и строения первичных ореолов различных типов рудных месторождений.

Значение рассматриваемых дезинтегрированных ореолов особенно возрастает в районах широкого распространения техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами, когда обнаружение и интерпретация рудогенных геохимических аномалий в перекрывающих коренные рудовмещающие породы отложениях сильно осложняются. В подобных условиях дезинтегрированные первичные ореолы могут быть использованы для поисков и оценки месторождений в коренных породах, так как с точки зрения антропогенного загрязнения метод поисков минеральных месторождений по первичным, в том числе и дезинтегрированным, геохимическим ореолам является наиболее надежным: рудогенная природа выявленных первичных ореолов не может вызывать сомнений. Отмеченное позволяет рекомендовать более широкое использование в районах распространения техногенных геохимических аномалий метода поисков по дезинтегрированным первичным геохимическим ореолам не только в связи с высокой эффективностью этого метода при поисках слепого и слабозеродированного оруденения, но и вследствие известной индифферентности первичных ореолов к техногенному загрязнению тяжелыми металлами, обычно используемыми в качестве типоморфных элементов-индикаторов тех или иных минеральных месторождений. Примером, иллюстрирующим эффективность подобного подхода, является опыт геохимического опробования элювиально-делювиальных обломков коренных рудовмещающих пород, выполненного сотрудниками Чешского геологического управления в пределах Пшибрамского рудного поля в ЧССР. Интенсивная разработка всемирно известных месторождений этого рудного поля обусловила широкое развитие в районе техногенных аномалий, резко затрудняющих и местами практически исключающих использование гипергенных литохимических аномалий для поисков слепых и слабозеродированных рудных тел и месторождений. В отличие от этого геохимическое опробование элювиально-делювиальных обломков, а также встречающихся в районе редких обнажений коренных пород позволило выявить отчетливые геохимические аномалии, фиксирующие как многочисленные известные в районе месторождения, рудные тела и рудопроявления, так и ряд новых перспективных на слепое оруденение аномалий. Следует еще раз подчеркнуть необходимость широкого использования при обработке результатов геохимического опробования дезинтегрированных рудовмещающих пород методов и приемов построения различных модификаций интегральных аномалий, поскольку высокая контрастность и, как следствие, стабильность параметров интегральных аномалий в значительной степени «компенсируют» флуктуации, обусловленные процессами дезинтеграции ореолов.

Природные геохимические аномалии в почвах, используемые в качестве поисковых признаков рудных тел и месторождений, формируются в результате гипергенного разрушения рудных тел и их первичных ореолов. Эта доказанная многолетней практикой геохимических поисков закономерная связь первичных и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов может быть успешно использована в качестве критерия определения природы выявленных геохимических аномалий в почвах. Этот критерий из всех рассмотренных является наиболее надежным, однако его применение предполагает выполнение дорогостоящих работ по вскрытию и геохимическому опробованию подстилающих почвенные геохимические аномалии коренных рудовмещающих пород. 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 рыхлых отложений для разбровки вероятных техногенных аномалий следует в основном пользоваться результатами опробования обломков коренных рудовмещающих пород и особенностями выявленных при этом дезинтегрированных первичных ореолов.

Особо следует рассмотреть случай, когда почвенно-геохимическое опробование проводится в пределах площадей, на которых коренные рудовмещающие породы не везде перекрыты рыхлыми отложениями. Речь идет о площадях с так называемой островной обнаженностью, когда коренные породы обнажаются на поверхности в виде отдельных изолированных друг от друга «оконов». В связи с тем, что в условиях такой частично-островной обнаженности не представляется возможным выполнить представительное площадное геохимическое опробование коренных пород по сети, нами было рекомендовано [9] 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. Это дает возможность обнаружить коренное оруденение и его первичные ореолы по их гипергенным аналогам — вторичным литохимическим ореолам рассеяния элементов-индикаторов, развитым в почвах. Обоснованием для подобной рекомендации послужили результаты специальных экспериментальных исследований, показавшие, 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, сокращении размеров аномалий, так как наиболее богатые рудной минерализацией зоны приурочены к тектонически ослабленным участкам, наиболее подверженным гипергенному разрушению, приводящему к формированию перекрывающего коренные

породы чехла рыхлых отложений. Таким образом, происходит избирательное развитие перекрывающего коренные породы рыхлого почвообразующего чехла, что предопределяет большую представительность опробования почв в таких условиях.

Что касается рассматриваемой в настоящем разделе проблемы разбраковки техногенных аномалий, то следует отметить, что для ее решения данные опробования коренных пород даже при весьма неудовлетворительной обнаженности могут оказать существенную помощь. Очевидно, что факт наличия или отсутствия геохимических аномалий в коренных породах позволит достаточно уверенно определить природу выявленных геохимических аномалий и уточнить особенности дезинтегрированных первичных ореолов. Таким образом, в районах вероятного развития техногенных аномалий при поисках по вторичным ореолам рассеяния элементов-индикаторов и дезинтегрированным первичным ореолам необходимо проводить опробование коренных пород для определения природы геохимических аномалий.

Разновидностью дезинтегрированных первичных ореолов являются также геохимические аномалии, выявленные в результате анализа крупной фракции рыхлых автохтонных отложений. Выполненные в ряде рудных районов исследования показали, что геохимические аномалии, выявленные по результатам анализа крупных фракций рыхлых отложений, отличаются более высокой степенью соответствия коренному оруденению (по сравнению с вторичными литохимическими аномалиями, выявленными в результате опробования мелкой фракции рыхлых отложений).

В. А. Бугровым на примере одного из участков Восточной пустыни Египта установлено [21], что наиболее высокая степень соответствия результатов опробования первичных и вторичных ореолов выявляется для максимальных размеров анализируемого класса материала геохимических проб (табл. 47).

Приведенные выше данные свидетельствуют о большом методическом и практическом значении детального изучения особенностей дезинтегрированных первичных ореолов, их количественных взаимоотношений со вторичными литохимическими

Таблица 47

Параметры аномалий меди

Объект опробования	Линейная продуктивность, (в усл. ед.)	Коэффициент соответствия
Коренные породы	51,5	
Фракция, мм		
—1+0,25	34,5	0,67
1	4,0	0,077
0,25	1,4	0,027

ореолами рассеяния элементов-индикаторов на различных стадиях разрушения первичных и формирования вторичных ореолов.

СВЯЗЬ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ

Предложенные Н. И. Сафроновым [30] геохимические поиски рудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния в настоящее время являются одним из ведущих поисковых методов. В основе его лежит использование ореолов вторичного рассеяния (вторичных ореолов рассеяния), формирующихся в поверхностных образованиях (почвах, элювиально-делювиальных отложениях и т. д.) при гипергенном изменении рудных месторождений. В становлении и развитии методов поисков рудных месторождений по вторичным ореолам особенно значительна роль трудов А. П. Соловова [32, 33].

В зависимости от характера вмещающей толщи и условий формирования вторичные ореолы рассеяния подразделяются на *ос т а т о ч н ы е*, формирующиеся по продуктам выветривания ранее существовавшего рудного тела или первичного ореола, и *на л о ж е н н ы е*, в контурах которых до развития процесса ореолообразования первичная рудная минерализация отсутствовала.

До недавнего времени вторичные литохимические ореолы рассеяния элементов-индикаторов рассматривались как результат гипергенного разрушения только рудных тел; в соответствии с этим вторичные ореолы использовались в качестве поисковых признаков рудных тел и месторождений, вскрытых эрозийной поверхностью. В настоящее время, когда выявлены основные особенности состава и строения первичных ореолов и установлено, что при формировании вторичных ореолов источником рудного вещества наряду с рудными телами являются также окаймляющие их первичные ореолы, становится очевидным совместное изучение этих двух типов ореолов. Главная задача этих исследований — повышение надежности оценки перспектив рудоносности исследованных участков путем совместного использования первичных и вторичных ореолов, точнее: привлечение для оценки вторичных ореолов критериев, основанных на особенностях состава и строения первичных ореолов данного типа оруденения. Речь идет прежде всего об увеличении глубинности поисков рудных месторождений по вторичным ореолам. Решение этой задачи требует совместного изучения первичных и вторичных ореолов. Это необходимо для выяснения условий, при которых обнаружение и оценка развитых в коренных породах первичных геохимических ореолов возможны по результатам опробования гипергенных литохимических ореолов рассеяния элементов-индикаторов. Очевидно, что это может быть достигнуто на тех площадях, где вторичные ореолы рассеяния являются полными (адекватными) аналогами

первичных ореолов и только тогда, когда индикаторные отношения, используемые для оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий, одинаковы (или близки по величине) для первичных и вторичных ореолов.

Исследования показали, что для обеспечения надежной оценки уровня среза гипергенных геохимических аномалий при выборе коэффициента геохимической зональности необходимо учитывать подвижность элементов не только при формировании первичных (эндогенных) ореолов (ряды зональности элементов-индикаторов), но и гипергенных ореолов, т. е. подвижность элементов в гипергенных условиях [12].

Для количественной оценки подвижности элементов-индикаторов в процессе формирования вторичных ореолов рассчитывались отношения средних содержаний элементов во вторичных и первичных ореолах, названные коэффициентом соответствия K_c . При расчете коэффициента соответствия использованы средние содержания элементов, рассчитанные по профилям сопряженного опробования. Значение K_c меньше 1 указывает на вынос данного элемента из вторичных ореолов, больше 1 — на обогащение вторичных ореолов этим веществом. Распределяя элементы по возрастанию значений коэффициента соответствия, можно получить ряд подвижности элементов, в котором слева направо происходит смена подвижных элементов инертными.

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

Средняя Азия

Тарыэкан (кислые эффу- $Zn-Co-Sn-Cu-Bi-Mo-Pb-Ba-Ag$ зивы)

Каптархона (кислые эф- $Zn-Co-Cu-Sn-Pb-Bi-Ag-Ba-Mo$ фузивы)

Кызыл-Унгур (кислые $Co-Zn-Cu-Bi-Mo-W-Ag-Pb-Ba$ эффузивы)

Тутлы III (силикатные $Co-Zn-Mo-Bi-Mn-Cu-Sn-W-Ag-Pb-Ba$ породы)

Тутлы III (карбонатные $Pb-Sn-Cu-Mo-Ag-Ba-Mn-Co-Bi-Zn$ породы)

Закавказье

Халадж (кварцевые пор- $Co-Ni-Zn-As-Sn-Cu-Pb-Ag-Mo$ фиры)

Арманис (кварцевые $Co-Zn-Ag-Mo-Pb-Cu-Ba$ метасоматиты)

Приведенные данные показывают, что в окислительной обстановке зоны гипергенеза при формировании вторичных литохимических ореолов дифференциальная подвижность элементов-индикаторов характеризуется сходными рядами (за исключе-

нием карбонатных пород на участке Тутлы III). Существенные отклонения в сравниваемых рядах установлены практически только для молибдена и олова.

Перемещения остальных элементов в рядах подвижности незначительные (одна и крайне редко две-три ячейки). Это обстоятельство позволило на основе приведенных частных рядов, составленных по отдельным участкам, разработать обобщенный единый ряд $\text{Co-Ni-Zn-As-Sn-Cu-Mo-Bi-Pb-W-Ag-Va}$ и рекомендовать его в качестве типоморфного для наиболее распространенных элементов-индикаторов рудных месторождений.

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

Выбор для оценки гипергенных ореолов оптимального варианта коэффициента геохимической зональности при интерпретации вторичных ореолов будет значительно облегчен, если пользоваться правилом двух рядов подвижности элементов-индикаторов, которое гласит: наиболее надежным является мультипликативный коэффициент зональности, состоящий из максимального возможного числа элементов правой части ряда гипергенной подвижности (малоподвижных элементов), в числителе и знаменателе которого находятся элементы, характерные для противоположных концов ряда гипогенной подвижности элементов (ряда геохимической зональности первичных геохимических ореолов).

Опыт показывает, что учет гипергенной подвижности элементов при выборе коэффициентов геохимической зональности позволяет существенно повысить надежность интерпретации вторичных литохимических аномалий (рис. 145). В результате этого оценка уровня эрозионного среза исследуемых участков по параметрам гипергенных аномалий становится возможной не

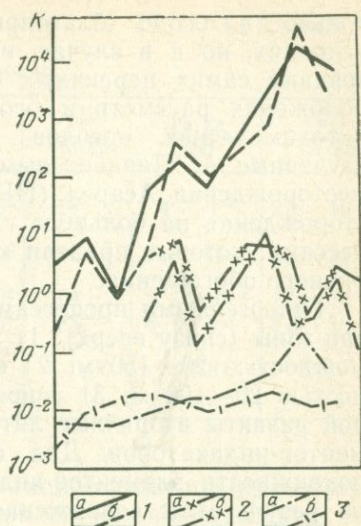


РИС. 145. Графики парных и мультипликативных коэффициентов зональности первичных (а) и вторичных (б) ореолов.

Отношения: 1 — мультипликативное; 2 — Pb/Cu ; 3 — Ag/Cu

только в особо благоприятных ландшафтно-геохимических условиях, но и в случае интенсивного гипергенного преобразования самих первичных ореолов. Для подтверждения этого положения рассмотрим особенности первичных и вторичных литохимических ореолов рассеяния элементов-индикаторов, изученные А. Панайотовым и автором на медно-порфировом месторождении Асарел (НРБ). Рудная зона описываемого месторождения на большую глубину охвачена гипергенными процессами, которые привели к образованию зон окисления и вторичного обогащения.

Гипергенными процессами на месторождении сформированы три зоны (снизу вверх): 1) вторичного сульфидного обогащения мощностью 20—150 м; 2) окисленных и смешанных руд мощностью 20—100 м; 3) современного почвообразования, в которой развиты вторичные литохимические ореолы рассеяния элементов-индикаторов. Для сравнительной оценки гипергенной подвижности элементов-индикаторов данного типа оруденения по результатам сопряженного опробования первичных и вторичных ореолов рассчитали коэффициент соответствия: $Cu—0,43$; $Co—0,5$; $Zn—0,88$; $As—0,97$; $Ni—1,0$; $Bi—1,25$; $Ba—1,34$; $Mo—1,43$; $Pb—1,53$; $Sn—1,6$. Это ряд отражает сравнительную гипергенную подвижность элементов-индикаторов и в целом согласуется с приведенным выше обобщенным рядом подвижности элементов-индикаторов.

Изучение геохимических особенностей первичных ореолов месторождения Асарел позволило выявить отчетливую вертикальную геохимическую зональность в распределении элементов-индикаторов, которая для основных элементов-индикаторов выражается следующим рядом (снизу вверх): $Mo—Sn—Bi—Cu—Ag—Zn—As—Pb$. Исходя из этого ряда, можно выбрать наиболее эффективный мультипликативный коэффициент геохимической зональности: таким, естественно, будет коэффициент, в числителе которого находятся элементы правой половины, а в знаменателе — левой. Для оценки вторичных литохимических аномалий этот коэффициент не может быть наилучшим, поскольку в нем использованы элементы — активные мигранты в процессах гипергенеза: исключение их существенно повысит надежность практического применения коэффициентов зональности, так как при этом резко возрастает степень соответствия первичных и вторичных ореолов.

Из приведенных в табл. 48 данных следует, что только по мультипликативным коэффициентам зональности, выбранным с учетом гипергенной подвижности элементов, выявляется высокая степень соответствия между первичными и вторичными ореолами элементов-индикаторов. Первые три коэффициента, подобранные с учетом миграционной подвижности элементов (использованы исключительно малоподвижные элементы-индикаторы), при переходе из зоны первичных руд и ореолов в почвы (вторичные ореолы) практически остаются постоян-

Мультипликативные коэффициенты зональности

Зона месторождения	$\frac{As \cdot Pb}{Mo \cdot Sn}$	$\frac{Ba \cdot Pb}{Mo \cdot Sn}$	$\frac{Pb^2}{Mo \cdot Sn}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Cu^2}$	$\frac{Pb^2}{Cu \cdot Zn}$
Первичные сульфидные руды и ореолы	39	$1,6 \cdot 10^2$	18	$4 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
Зона вторичного сульфидного обогащения	39	$2,4 \cdot 10^2$	21	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$
Зона окисления	25	$1,5 \cdot 10^2$	19	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$
Почвы (вторичные ореолы)	32	$1,7 \cdot 10^2$	18	$5,1 \cdot 10^{-1}$	$5,9 \cdot 10^{-1}$
Коэффициент соответствия	0,82	1,06	1,00	1275	211

ными, т. е. не испытывают влияния гипергенных процессов. Эти коэффициенты, благодаря отмеченной стабильности, весьма надежно могут быть использованы для оценки непосредственно по вторичным ореолам уровня эрозийного среза оруденения в столь неблагоприятной с точки зрения проявления гипергенных процессов обстановке, какими являются условия месторождения Асарел. Искажающее влияние гипергенных процессов наиболее отчетливо фиксируется с помощью коэффициентов, подобранные без учета миграционной подвижности элементов. Такие коэффициенты (см. табл. 48, последние два коэффициента) какого-либо соответствия между первичными и вторичными ореолами не выявляют (различаются на 2—3 порядка) и поэтому не могут быть использованы для оценки гипергенных аномалий (см. табл. 48).

Рассмотренный пример наглядно показывает большое методическое и практическое значение изучения связей первичных и вторичных литохимических ореолов с целью выявления надежных элементов-индикаторов оруденения, какими являются малоподвижные в гипергенных условиях элементы. Особенно важен поиск стандартных для типоморфных обстановок стабильных в зоне гипергенеза элементов-индикаторов. О перспективности в этом направлении исследований свидетельствуют приведенные выше результаты работ по обобщению данных сопряженного изучения первичных и вторичных ореолов в различных природных условиях, позволяющих выявить единый ряд гипергенной подвижности наиболее распространенных элементов-индикаторов рудных месторождений.

Практическое значение возможности оценки уровня эрозийного среза геохимических аномалий по параметрам вторичных ореолов трудно переоценить. Известно, что непосредственное опробование коренных пород с поверхности (для обнаружения первичных ореолов) возможно в пределах только весьма 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 получившего наиболее широкое применение метода поисков рудных месторождений по их вторичным (гипергенным) литохимическим ореолам. Это достигается прежде всего в результате надежной идентификации (путем оценки уровня эрозионного среза геохимических аномалий) перспективных на слепое и слабоэродированное оруденение геохимических аномалий, а также обоснованного исключения из сферы последующих детальных поисково-оценочных работ многочисленных (часто весьма перспективных по геолого-структурному положению) гипергенных аномалий, представленных зонами рассеянной рудной минерализации.

Изложенное выше показывает важность и практическую целесообразность 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 необходимо дальнейшее изучение подвижности элементов-индикаторов в гипергенных процессах в различных ландшафтно-геохимических условиях.

Заканчивая рассмотрение вопросов связи первичных и вторичных геохимических ореолов нельзя не отметить так называемые «ионометрические» ореолы рудных месторождений, выявленные автором и Е. М. Копиным [11]. Исследованиями, выполненными на различных по составу и условиям формирования месторождениях с помощью специальных ионоприемников в приземной атмосфере над погребенным оруденением, установлены отчетливые аномальные концентрации многих микроэлементов — индикаторов данного типа оруденения, образующих вокруг рудных тел первичные геохимические ореолы.

Ионоприемник представляет собой сосуд, заполненный раствором кислоты и плотно закрытый специальной мембраной. В отличие от метода ЧИМ (метод частичного извлечения металлов) [12] извлечение ионов металлов в ионоприемники осуществляется без приложения напряжения от постороннего источника питания, в чем и заключается преимущество предложенного метода. Ионометрическую съемку можно проводить в любых природных условиях.

На стадии опытных работ ионоприемники устанавливались на разных высотах с целью определения оптимальной (представительной) высоты опробования. В результате установлено, что высота 25—50 см наиболее оптимальная, а экспозиция в 20 ч — достаточна для фиксации в растворах ионоприемников

значимых концентраций основных элементов-индикаторов оруденения.

Обобщение результатов выполненных на различных месторождениях исследований позволило выявить следующие основные особенности ионометрических ореолов, определяющие их важное практическое значение.

1. Ионометрические ореолы постоянно сопровождают рудные месторождения, в том числе и скрытые на значительной глубине. Методические исследования выполнены на объектах, где глубина залегания погребенного (слепо-погребенного) оруденения составляет до 500 м. Во всех случаях без исключения скрытое на различных глубинах оруденение фиксируется отчетливыми ионометрическими ореолами различных элементов-индикаторов.

2. Состав ионометрических ореолов отражает состав скрытого на глубине оруденения и его первичных геохимических ореолов, что подтверждается следующими величинами отношений средних содержаний свинца и меди: золото-серебряного оруденения 0,13; золото-сульфидного 0,2; серебро-свинцового 100. Как видно из приведенных данных, золоторудные месторождения с низкими содержаниями свинца в рудах и первичных ореолах по свинцово-медному отношению резко отличаются от собственно свинцового месторождения, для которого это отношение значительно больше.

3. Метод поисков скрытого оруденения по ионометрическим ореолам элементов-индикаторов инвариантен генезису искомого оруденения, т. е. механизм формирования месторождения существенного влияния на особенности ионометрических ореолов не оказывает. Скрытое на глубине оруденение любого генезиса фиксируется отчетливыми ионометрическими ореолами типоморфных для данного типа оруденения элементами-индикаторами. Это обстоятельство имеет большое практическое значение, поскольку позволяет рекомендовать применение ионометрического метода для поисков месторождений со сложным и особенно с неясным генезисом, т. е. месторождений, наиболее трудных для поисков и оценки.

Все вышесказанное свидетельствует о значительных перспективах ионометрического метода и необходимости продолжения и расширения исследований в этом направлении.

В заключение следует отметить, что метод поисков скрытого оруденения по ионометрическим ореолам по существу своему относится к группе атмогеохимических методов, поскольку ореолы выявляются в приземной части атмосферы. Отличие его от других атмохимических методов заключается в своеобразном концентрировании элементов-индикаторов электрохимическим путем (ионоприемники с электролитом), поэтому правильнее назвать этот метод атмоэлектрогеохимическим.

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ
ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

ОТКРЫТЫЕ РАЙОНЫ

К открытым мы относим те районы, в которых степень обнаженности коренных рудовмещающих пород является достаточной для обнаружения и оконтуривания в заданном масштабе геохимических аномалий, развитых в коренных породах. Вопросы применения метода изучения первичных геохимических ореолов в процессе геологосъемочных работ рассмотрим применительно к масштабу 1:50 000 прежде всего потому, что этот масштаб в настоящее время для большинства рудных районов страны является наиболее актуальным в связи с относительно высокой степенью их изученности. Кроме того, для масштаба 1:50 000 метод изучения первичных ореолов в современной своей модификации приобретает решающее значение в комплексе геохимических методов, и его роль возрастает по мере укрупнения масштаба геологической съемки и соответственно масштаба сопровождающего эту съемку геохимического опробования. Важность геологической съемки масштаба 1:50 000 подтверждается также принятым недавно решением об отнесении съемки этого масштаба к категории государственной.

Рассмотрим карту геохимических аномалий масштаба 1:50 000, составленную Р. Г. Оганесяном и автором по результатам опробования коренных рудовмещающих пород одного из рудных районов Центрального Кармазара (юго-восточный Тянь-Шань). Основной структурной единицей описываемого района является Тавакская синклиналь, сложенная верхнепалеозойскими эффузивно-осадочными образованиями, объединенными в шурабсайскую, равашскую и кызылнуринскую свиты (снизу вверх). Ядро синклинали слагают породы кызылнуринской свиты (липариты, туфы, туфолавы, с горизонтами туфопесчаников, туфоконгломератов и песчаников), сменяющиеся в направлении крыльев складками, образованными шурабсайской (переслаивающиеся флюидалные фельзит-порфиры, сферолит-порфиры, туфоконгломераты и туфопесчаники с андезитовыми порфиритами) и равашской (сферолит-порфиры с прослоями туфов, лавобрекчии кварцевых профиров, тонкослоистые туфолавы, туфы и туффиты) свит. Породы равашской свиты залегают на шурабсайских отложениях с незначительным угловым несогласием.

Тавакская синклиналь, ось которой прослеживается в восток—северо-восточном направлении, осложнена структурами более высокого порядка — брахисинклиналиями и брахианти-

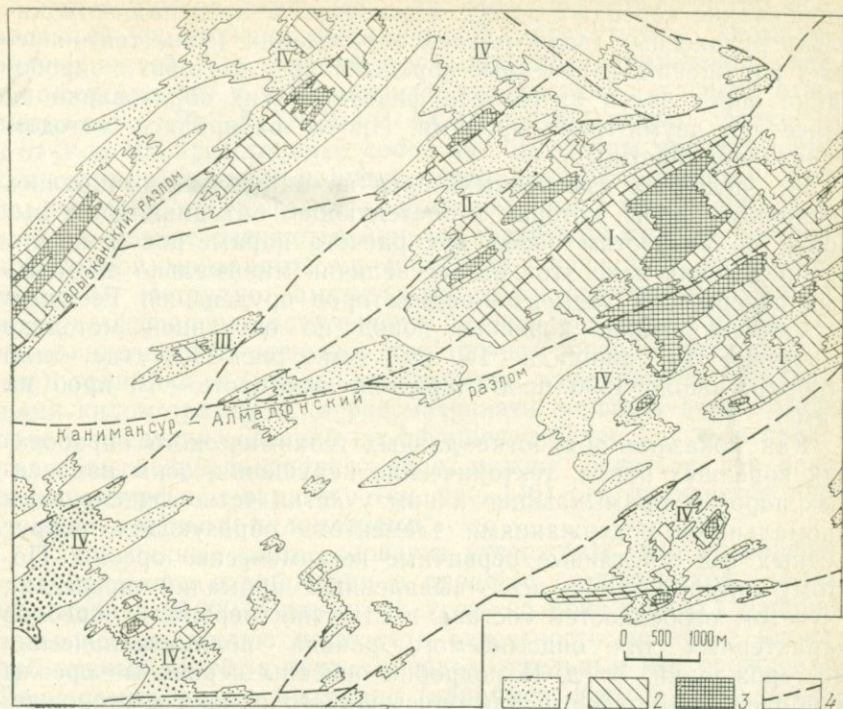


РИС. 146. Карта геохимических аномалий в коренных породах:

1—3 — поля различных значений коэффициентов геохимической зональности (по возрастаню); 4 — зоны разломов; аномалии: I — известных месторождений; II — перспективные на свинцовое и серебряное оруденение; III — перспективные на медно-висмутное оруденение; IV — фиксирующие корневые части оруденения и зоны рассеянной рудной минерализации

клиналами, к которым приурочиваются полиметаллические месторождения Тарыэкан, Замбарак и др.

Район характеризуется интенсивным развитием дизъюнктивной тектоники. Наиболее крупные нарушения — Канимансур-Алмадонский и Тарыэканский разломы (рис. 146). Размещение оруденения решающим образом 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 использованы для составления описываемой карты, проводились по маршрутам, направленным вкост 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 геологические наблюдения 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. 146), 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. II подробно описаны первичные ореолы наиболее типоморфного для описываемого района месторождения Восточное.

Приводимая карта (см. рис. 146) отражает в плане основные закономерности в строении развитых в коренных породах геохимических аномалий элементов, являющихся типоморфными для месторождений данного района. Эти закономерности, как уже отмечалось, заключаются в том, что основные элементы-индикаторы полиметаллического оруденения (Pb, Zn, Ag, Ba, Cu, Bi, Co и др.) образуют вокруг рудных тел протяженные и широкие ореолы, по размерам значительно превосходящие соответствующие рудные тела. Основной геохимической нагрузкой иллюстрируемой карты являются поля, дифференцированные по значениям коэффициента геохимической зональности. При этом учитывалось, что коэффициент зональности $(Ba+Pb+Ag)/(Cu+Bi+Co)$ (в нормированных величинах по фону) при значениях более 10 характеризует надрудные ореолы свинцово-серебряного и медно-висмутового оруденения, от 3 до 10 — надрудные срезы медно-висмутовых рудных тел, а от 1 до 3 — корневые и подрудные части таких месторождений (следовательно, и зоны рассеянной рудной минерализации). 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.

Как видим на карте (см. рис. 146), достаточно четко проявляются фрагменты геохимической «структуры» аномалий рудных полей. Так, ореолы промышленного оруденения свинцово-серебряного и медно-висмутового состава (значение отношения $(\text{Ba} + \text{Pb} + \text{Ag}) / (\text{Cu} + \text{Bi} + \text{Co})$ 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, квадратными километрами. Если рассматривать площадь аномального поля в пределах значений коэффициента более 1, т. е. в пределах общего ареала рудного поля, можно убедиться, что даже в неоконтуренном варианте (см. рис. 146) она измеряется многими квадратными километрами.

Такие данные дают основание утверждать, что проведение геохимического опробования в процессе геологической съемки масштаба 1:50 000 в открытых (хорошо обнаженных) районах позволяет полностью исключить вероятность пропуска аномалий рудных полей, а также ореолов отдельных месторождений. Даже самые мелкие аномалии (например, Кызыл-Унгур, Алмадык, Караташ-Катан и др.) одним-двумя геохимическими профилями будут зафиксированы.

При интерпретации изображенных на описываемой карте аномалий был использован аддитивный коэффициент геохимической зональности первичных ореолов. Зональность в строении аддитивных ореолов, как известно, существенно менее контрастна (по сравнению с предложенными мультипликативными ореолами). Тем не менее с помощью аддитивного коэффициента в данном случае удалось выявленные аномалии дифференцировать по степени их перспективности. Высокая надежность подобной оценки выявленных аномалий подтверждена последующими проверочными работами: проверено одиннадцать аномалий, и во всех случаях оценка, данная по результатам интерпретации данных геохимического опробования, оказалась верной.

ПОЛУЗАКРЫТЫЕ РАЙОНЫ

К полузакрытым мы относим те площади, на которых коренные рудовмещающие 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 отмечалось выше (см. гл. X), могут быть использованы в полузакрытых районах для обнаружения и оценки аномалий в коренных породах. Это означает, что и в процессе геологической съемки результаты опробования полей гипергенного рассеяния элементов-индикаторов будут с достаточной полнотой отражать особенности развитых в коренных породах геохимических аномалий и прежде всего первичных геохимических ореолов рудных тел и месторождений, в том числе и слепых.

Рассмотрим опыт составления карты вторичных литохимических аномалий. В качестве опытного полигона был 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 этого района началось еще в 20-х годах в связи с открытием С. С. Смирновым оловянно-полиметаллического месторождения Хапчеранга. За прошедший период открыты месторождения Тарбальджейское, Харатуйское и Курултыкенское, а также многочисленные проявления олова и полиметаллов (свинца и цинка).

По результатам изучения первичных ореолов ряда известных оловорудных месторождений установлен следующий общий ряд зональности многокомпонентного ореола касситерит-сульфидных месторождений (снизу вверх): (Mo, Bi, Cu) — Sn — (Zn, Pb, Ag). В качестве оценки зональности был предложен следующий мультипликативный коэффициент: $Ag \cdot Pb \times \times Zn/Cu \cdot Bi \cdot Mo (W)$.

Как было отмечено выше (см. гл. II), в строении мультипликативных ореолов оловорудных месторождений также установлена количественно единая геохимическая зональность. Эта важнейшая в практическом отношении особенность первичных ореолов установлена для оловорудных месторождений Якутии, Приморья и Дальнего Востока (см. гл. II).

Значения указанного коэффициента для всех изученных месторождений с глубиной закономерно уменьшаются 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, характеризующихся теми или иными значениями коэффициента зональности, в зависимости от рассматриваемого уровня среза относительно рудных тел. В первичном ореоле касситерит-сульфидных месторождений 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 ореолу олова (имеются в виду поля, оконтуренные по величине мультиплика-

тивного 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, характеризующимся значениями коэффициента зональности 1—0,1.

Очевидно, что наиболее надежная оценка уровня среза геохимических аномалий может быть осуществлена 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 были использованы исключительно результаты опробования гипергенного поля рассеяния химических элементов.

Выполненные сопряженные опробования коренных рудовмещающих пород и перекрывающих их автохтонных рыхлых отложений позволили установить, что значения мультипликативного 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 мультипликативных коэффициентов геохимической зональности при оценке уровня эрозийного среза коренного оруденения, в отличие от аддитивного, выявляет более контрастную геохимическую зональность, обеспечивая тем самым определенный «запас прочности», особенно желательный при оценке перспектив интересующих участков по параметрам гипергенных полей рассеяния элементов-индикаторов.

Поскольку выбранный район относится к полузакрытым, основная информация геохимических карт базируется на результатах анализов геохимических проб из рыхлого покрова. Мощность рыхлого покрова составляет 2—7 м и на отдельных участках возрастает до 10—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. 147), разделяющих площадь на три блока: центральный — верхнепротерозойский, сложенный глинисто-углистыми филлитовидными и кварц-слюдистыми сланцами с прослоями кварцитовидных песчаников (агудинская свита); северный (к северу от Илэгерского разлома), сложенный ниже-среднекарбовыми

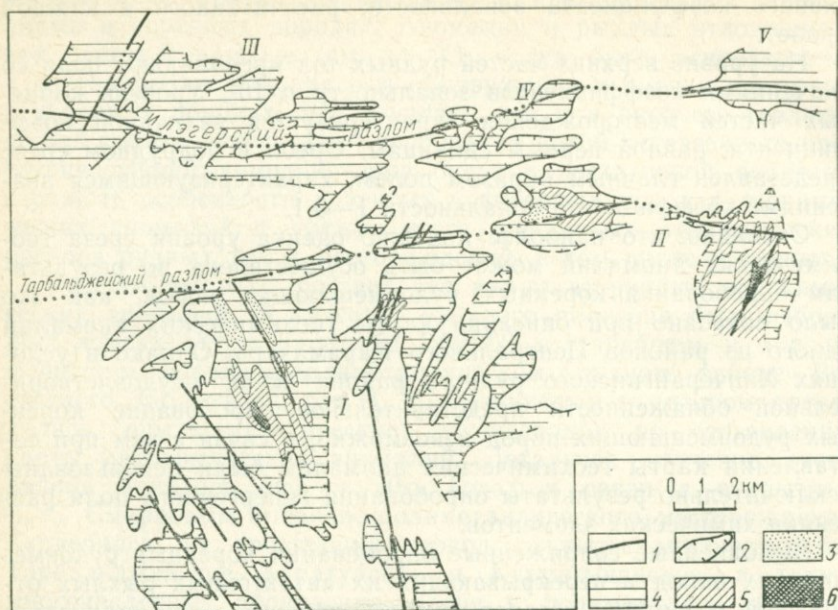


РИС. 147. Карта геохимических аномалий, оконтуренных в результате опробования элювиально-делювиальных отложений.

1 — зоны тектонических нарушений; 2 — контур комплексной мультипликативной аномалии $\text{Sn} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Cu} \cdot \text{Bi} \cdot \text{Mo}$; 3–6 — коэффициент зональности $\text{Pb} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Zn}/\text{Cu} \cdot \text{Bi} \times \text{Mo}$ (3 — менее 1; 4 — от 1 до 500; 5 — от 501 до 50 000; 6 — более 50 000). Аномалии: I — Хапчерангинско-Курултыкеновского рудного поля; II — Тарбальджей-Харатуйского рудного поля; III, IV, V — поля рассеянной рудной минерализации

песчаниками, алевролитами, сланцами и гравелитами (ангдинская серия); южный (южнее Тарбальджейского разлома), сложенный триасовыми 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, контролирующими положение всех известных в районе рудных объектов (оловянно-полиметаллические месторождения Хапчеранга, Тарбальджей, Харатуй, Правый Курултыкен и полиметаллическое месторождение Курултыкен). Этот крутой взброс-сдвиг с падением плоскости сместителя на север под углом $70\text{--}85^\circ$ фиксируется серией зон дробления, мощной зоной окварцевания и многочисленными дайками.

Илгерский разлом представлен зонами расланцевания 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, как отме-

чалось, роль рудовмещающих. Все известные в районе месторождения вскрыты эрозией.

На рис. 147 показана карта изменения в пределах исследованной площади мультипликативного коэффициента геохимической зональности, рассчитанного по каждой из проб почв. На карте отчетливо видно, 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 мультипликативных аномалий, и именно здесь коэффициент зональности принимает значения до 50 000 и более. За их пределами значения коэффициента зональности варьируют в более узком диапазоне значений — десятки и редко — сотни.

Такая «структура» геохимических аномалий наблюдается в пределах двух аномальных полей: I и II, названные нами Хапчерангинско-Курултыкенским и Тарбальджей-Харатуйским (по названиям находящихся в их пределах известных месторождений и рудопроявлений).

Остальные аномальные поля, приуроченные к зоне Илгерского разлома (III, IV, V), характеризуются узким диапазоном вариации величин коэффициента зональности, не превышающих первые сотни. Отметим, что в пределах этих аномальных полей, приуроченных к зоне Илгерского разлома, месторождений не известно.

Анализ карт гипергенных аномалий показывает, что в пределах общих аномальных полей контрастные изменения значений (до 7 порядков) мультипликативного коэффициента зональности фиксируются исключительно на участках известных месторождений и рудопроявлений, т. е. на участках образования 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 (см. гл. II). Вся остальная часть исследованной площади, более обширная по сравнению с «продуктивными участками», представляет собой поле проявления рудогенных процессов, где геохимические аномалии элементов-индикаторов представлены зонами рассеянной рудной минерализации. Эти аномалии прежде всего отличаются более или менее постоянными значениями коэффициента геохимической зональности, не превышающими первые сотни единиц (см. рис. 147), что полностью отражает закономерности состава и строения развитых в коренных рудовмещающих породах зон рассеянной рудной минерализации. Подобные зоны характеризуются практически полным отсутствием осевой геохимической зональности (имеется в виду зональность мультипликативных ореолов).

Как уже отмечалось ореолы всех известных в описываемом районе месторождений (Хапчеранги, Курултыкена, Тарбальджея и Харатуй) занимают небольшую часть аномальной площади: в пределах именно таких участков установлены интенсивные и сплошные ореолы основного рудообразующего элемента — олова (0,001 % и более) и его спутников и, 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 зоны рассеянной рудной минерализации.

Более детальное рассмотрение описываемой карты показывает, что для месторождений Хапчеранги, Курултыкена, Правого Курултыкена и Тарбальджея характерны широкие, сплошные и интенсивные ореолы олова, контрастно дифференцированные по коэффициенту зональности. При этом наиболее широким развитием здесь пользуются поля со значениями до 500. Аномалии, характеризующиеся значениями коэффициента более 500, имеют небольшие размеры. Эти данные позволяют утверждать, что перечисленные месторождения вскрыты эрозией в среднерудном интервале.

Определенное отличие наблюдается в строении ореола месторождения Харатуй. Здесь, несмотря на то, что на поверхности имеются рудные выходы, практически вся площадь месторождения характеризуется развитием интенсивного ореола со значениями коэффициента зональности 50 000 и более. Это означает, что из всех известных в описываемом районе месторождений Харатуй по геохимическим данным представляется наименее эродированным (эрозией вскрыты верхние части месторождения).

Приведенная выше 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 составления карт геохимических аномалий станет очевидным, если учесть, что речь в данном случае идет о скрытом оруденении, когда осуществляются выделение и исключение из сферы последующих более детальных поисковых и оценочных работ бесперспективных на скрытое (слепое

и слабозеродированное) оруденение площадей. Известно, что для решения этой задачи нет других более надежных критериев, и поэтому рассмотренные выше геохимические критерии приобретают особое значение.

Одним из весьма интересных как в методическом, так и практическом отношении вопросов, решаемых с помощью карт геохимических аномалий, является вопрос о выявлении роли разрывной тектоники в локализации прогнозируемого оруденения.

Геохимические данные позволяют отличить рудоконтролирующие структуры от безрудных: к первым приурочиваются 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 зоны рассеянной рудной минерализации, которые развиваются вдоль структур в результате циркуляции по ним рудообразующих растворов. Особенно наглядно это прослеживается по аномалиям, развитым вдоль Илэгерского разлома (см. рис. 147).

Аномалии, фиксирующие собственно рудовмещающие структуры, довольно контрастно отличаются от аномалий, развитых вдоль рудоподводящих структур. Такие отличия наиболее ярко проявлены в характере геохимической зональности аномальных полей: рудовмещающие структуры характеризуются высокими значениями и резкой пространственной дифференцированностью величин коэффициента зональности, достигающей в данном случае шести порядков (от 0,1 до $n \cdot 10^5$).

В заключение отметим, что, несмотря на относительные мелкомасштабное геохимическое опробование, применение основного методологического принципа сопряженного изучения первичных и вторичных литохимических ореолов позволяет составлять карты геохимических аномалий, которые являются весьма информативной геохимической основой для прогнозирования скрытого оруденения.

ЗАКРЫТЫЕ РАЙОНЫ

Оценка перспектив рудоносного фундамента, закрытого мощным (десятки и сотни метров) чехлом аллохтонных и стратифицированных пород, возможна исключительно на основе выявления признаков перекрытого (выходящего на древнюю эрозионную поверхность) или слепо перекрытого оруденения.

При геологической съемке таких районов изучения фундамента проводится по редкой сети картировочных скважин, обеспечивающих по сравнению с открытыми районами плотность геохимического опробования поверхности масштабами 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 последние (даже наиболее крупные по мощности) не превышают десятки, а по протяженности — сотен метров, в то время как расстояния между картировочными скважинами измеряются километрами. Поэтому назрела необходимость резкого расширения размеров «мишени», поскольку объектом изучения могут стать сопряженные с оруденением широко развитые по площади ареалы перекрытых рудных полей, измеряемые, как показывают специальные исследования, десятками и сотнями квадратных километров.

Использование геохимической информации об ареалах рудных полей и ореолах месторождений в таких условиях равноценно угущению сети дорогостоящих буровых скважин и резкому увеличению радиуса прогнозного действия каждой картировочной скважины.

Как показывает опыт, рассмотренных выше критерии, основанные на особенностях геохимических ареалов рудных полей и месторождений, представляющих собой совокупность первичных ореолов концентрированного оруденения и зон рассеянной рудной минерализации, 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 получены только по результатам опробования керна, в основном картировочных скважин, бурение которых проводится по редкой сети, и в связи с этим трудно получить полное представление о площадном распределении элементов-индикаторов рудогенных процессов. Естественно, что низкая плотность геохимических наблюдений не может не сказаться на надежности выявления и интерпретации геохимических аномалий.

Проведенные 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 проведение дорогостоящих буровых работ с целью выявления ореолов отдельных месторождений.

В закрытых районах из-за ограниченного числа буровых скважин наиболее сложная задача — исключение пропуска рудогенных аномалий, особенно слабоконтрастных. Как уже отмечалось, одним из наиболее эффективных методов выявле-

ния значительных по размерам и интенсивности аномальных полей является построение интегральных геохимических аномалий. Возможность использования методики суммированных (мультипликативных) аномалий при оценке перспектив рудоносности закрытых районов рассмотрим на примере карты геохимических аномалий рудоносного фундамента одного из районов Украинского кристаллического щита (Среднее Побужье), составленной И. Н. Резниковым и автором. Описываемый район располагается на юго-западном фланге Украинского кристаллического щита и является частью Голованевской структурной зоны, сложенной преимущественно ультраметаморфическими породами Побужской серии Подольского чарнокитового комплекса и гранитоидами Кировоградско-Житомирского комплекса. Породы кристаллического основания перекрыты толщей мезокайнозойских отложений мощностью 50—60 м.

Скважины на исследуемой площади размещены крайне неравномерно, в связи с чем отдельные ее участки значительно отличаются по плотности геохимического опробования (рис. 148). Первичная обработка материалов показала, что в аномальных концентрациях в кернах изученных скважин фиксируются типоморфные для медно-никелевого оруденения элементы-индикаторы (Ni, Co, Cu, Cr и др.). При интерпретации этих аномалий учитывались особенности первичных ореолов медно-никелевых месторождений Кольского п-ва. Установили, что перспективные на медно-никелевое оруденение площади наиболее отчетливо выделяются путем оконтуривания мультипликативных геохимических аномалий основных элементов-индикаторов оруденения (Cu, Zn, Co, Cr). Для дальнейшей дифференциации общего аномального поля и выделения более перспективных участков в пределах аномальных полей по каждой пробе рассчитали коэффициент зональности вида $Pb \cdot Ag \times \times Ba / Ni \cdot Co \cdot Cr$, установленного по результатам изучения первичных ореолов медно-никелевых месторождений Кольского п-ва (см. гл. III). Значения коэффициента зональности менее 0,1 характеризуют внутренние, наиболее приближенные к рудному объекту зоны аномалий. Более высокие значения — внешние, отдаленные от рудоносных зон части аномалий. В таких двух градациях и показаны значения коэффициента зональности на карте (см. рис. 148).

Анализ выявленных на карте геохимических аномалий показывает, что большая часть исследованной территории характеризуется практически полным отсутствием геохимических аномалий и, следовательно, является менее перспективной по сравнению с участками развития мультипликативных аномалий, особенно контрастно дифференцированных по коэффициенту геохимической зональности. По результатам геохимического опробования керна картировочных скважин и составленных на этой основе карт геохимических аномалий выявлен и рекомендован к проверке ряд перспективных на медно-никелевое

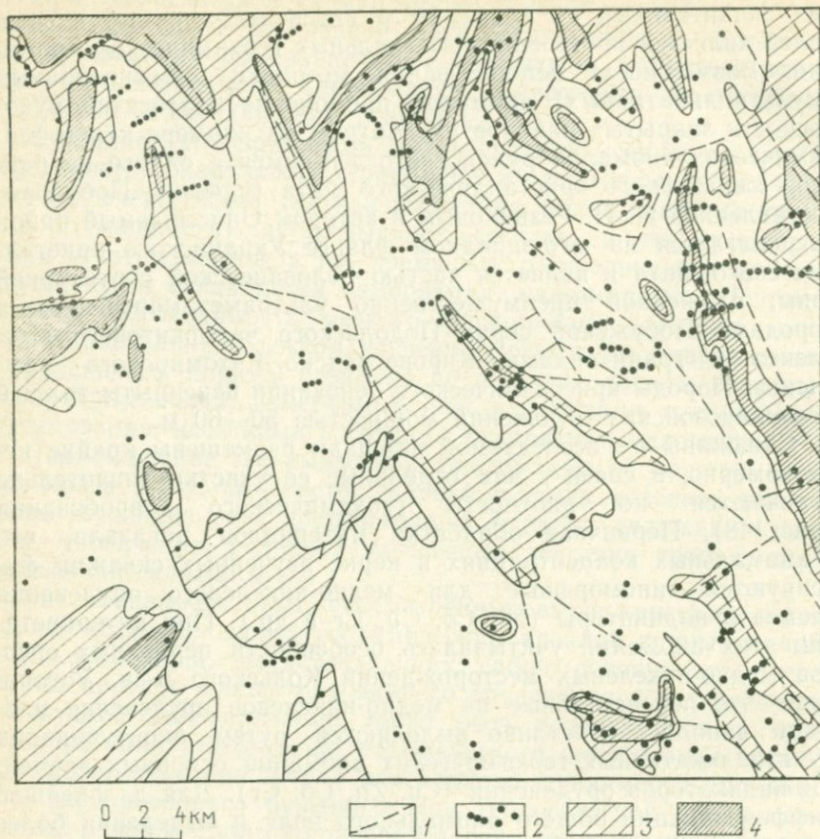


РИС. 148. Карта геохимических аномалий в кристаллическом фундаменте:

1 — тектонические нарушения; 2 — скважины с геохимической информацией; 3—4 — мультипликативные геохимические аномалии Ni · Co · Cu · Cr со значениями коэффициента зональности Pb · Ag · Ba/Ni · Co · Cr (3 — до 0,1, 4 — более 0,1)

оруденение аномалий. На одном из участков (Демов Яр) в скважинах, пробуренных для проверки признанной перспективной геохимической аномалии, на глубине примерно 500 м вскрыта зона пентландитовой минерализации.

При построении карт геохимических аномалий был применен метод «усиления» геохимических аномалий, основанный на построении интегральных (аддитивных и мультипликативных) аномалий, выявленных в результате валового мультиэлементного анализа «рядовых» геохимических проб. Если для открытых и полузакрытых районов подобный подход вполне себя оправдывает, то для закрытых районов очевидна необходимость дальнейшей разработки и внедрения в практику геологосъемочных работ более эффективных методов «усиления» геохимических аномалий. Одним из наиболее перспективных пу-

тей решения этой задачи, по нашему мнению, является комбинированное применение мультипликативного и описанного выше (см. гл. VII) минералого-геохимического метода усиления геохимических аномалий.

В заключение отметим, что описанные выше карты не являются законченными вариантами геохимических карт: они только иллюстрируют очевидную целесообразность широкого использования первичных геохимических ореолов при составлении подобных карт.

В настоящее время вопросы оценки геохимических аномалий представляют самостоятельный методический интерес. Именно поэтому в этой и следующей главах обращено особое внимание на рассмотрение разнообразных примеров оценки перспектив рудоносности тех или иных участков по первичным ореолам.

Работами последних лет убедительно доказана высокая эффективность использования особенностей развития первичных геохимических ореолов и в первую очередь их зональности при поисках слепого оруденения и оценке перспектив рудопроявлений на глубину.

ПОИСКИ СЛЕПОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Участок Северо-Запад II расположен в западной части Канмансурского рудного поля. По результатам геохимического опробования коренных пород (кварцевые порфиры, сферолит-порфиры) в масштабе 1:10 000 на участке были выявлены контрастные геохимические аномалии Ва, Рb, Ag, Cu, Вi, Со и других элементов, являющихся характерными индикаторами типичного для данного района полиметаллического (свинцово-серебряного) оруденения, обычно переходящего с глубиной в медно-висмутовое. На рис. 149 показаны частные аддитивные ореолы надрудных (Ва, Рb, Ag) и подрудных элементов (Cu, Вi, Со), выбор которых производился, исходя из ряда зональности элементов-индикаторов, установленного по результатам изучения особенностей развития первичных ореолов вокруг рудных тел известных в районе месторождений, в частности месторождения Восточное.

Следует отметить, что в первые годы внедрения описываемой методики в основном были использованы аддитивные ореолы, поскольку метод построения мультипликативных ореолов, который дает более четкие результаты, 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. 49); для сравнения приведена величина этого отношения для надрудных ореолов выявленных по опорному разрезу через слепое оруденение месторождения Восточное.

* В этой и следующей главе приведены результаты геохимического опробования коренных рудовмещающих пород, полученные совместно с автором Н. Пилавой, Г. Э. Федотовой, Р. Г. Оганесяном, Г. Я. Абрамсоном, С. А. Григорьевым и Л. Н. Бельчанской при изучении различных рудных районов.

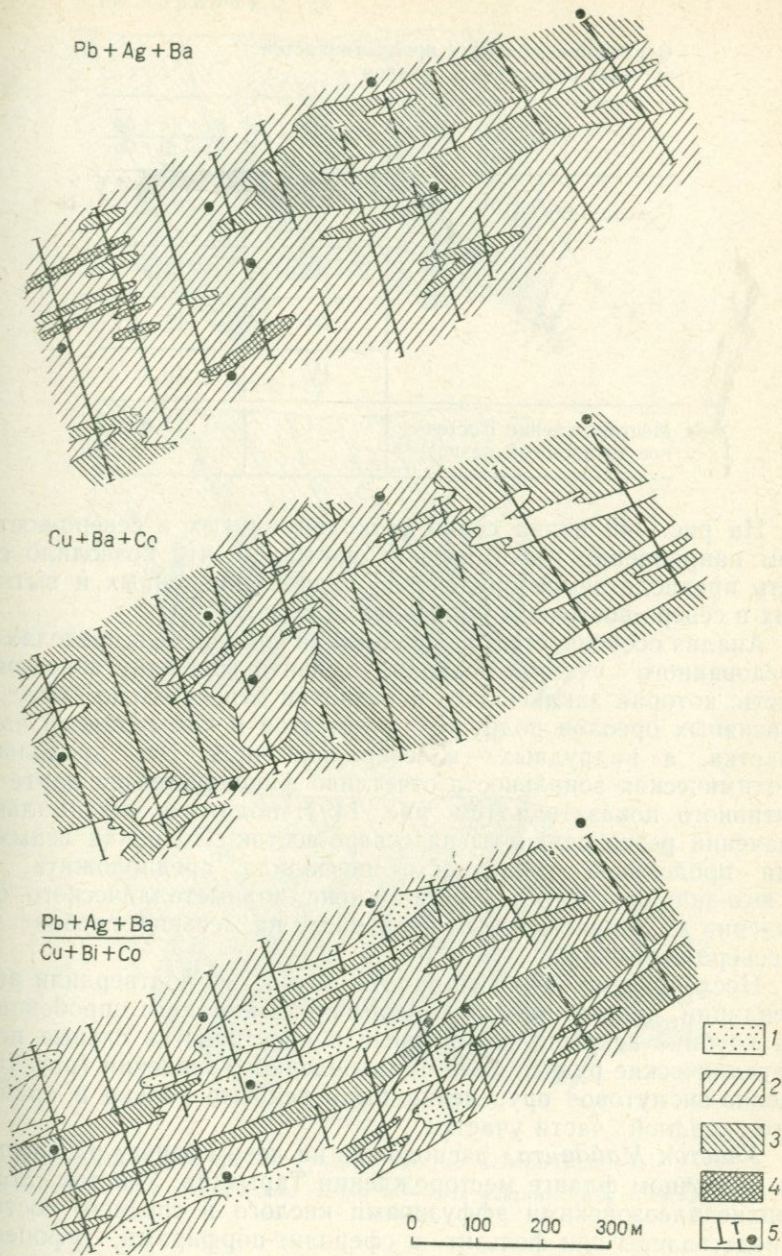


РИС. 149. Аддитивные аномалии (поверхность участка Северо-Запад-II):
 1—4 — первичные ореолы (4 — поля максимальной интенсивности ореолов); 5 — профили
 опробования

Отношение линейных продуктивностей частных аддитивных ореолов

Участки	Профиль	$\frac{Ba + Pb + Ag}{Cu + Bi + Co}$
Северо-Запад-II	I	14,4
	II	14,3
	III	19
	IV	16,1
Месторождение Восточное (эталонный разрез)	I	16,8

На рис. 149 видна серия резко вытянутых в северо-восточном направлении геохимических аномалий, что позволило считать предполагаемое оруденение рядом сближенных и вытянутых в северо-восточном направлении рудных тел.

Анализ особенностей распределения элементов в пределах исследованного участка позволил выявить еще одну закономерность, которая заключалась в развитии относительно более интенсивных ореолов подрудных элементов в юго-западной части участка, а надрудных — в северо-восточной. Эта продольная геохимическая зональность отчетливо фиксируется на карте аддитивного показателя (см. рис. 149): поля его максимальных значений резко сдвинуты на северо-восток. Подобная асимметрия продольной зональности позволила предположить, что в юго-западной части участка смена полиметаллического оруденения медно-висмутовым произойдет на меньшей глубине, чем в северо-восточной.

Последующие буровые работы полностью подтвердили рекомендации, данные по результатам геохимического опробования: на глубине вскрыли сближенные в пространстве слепые полиметаллические рудные тела промышленного значения (рис. 150). Медно-висмутовое оруденение было вскрыто только в крайней юго-западной части участка.

Участок Майдантал расположен на левом берегу р. Дрешсай на восточном фланге месторождения Тарыэкан. Участок сложен верхнепалеозойскими эффузивами кислого и среднего состава. Представлены они фельзит- и сферолит-порфирами, туфопесчаниками и андезитовыми порфиритами, прорванными единичными дайками диабазовых порфиритов и фельзит-порфиров северо-восточного и широтного простирания. Участок разбит серией дизъюнктивных нарушений в основном северо-восточного и субширотного простирания, сопровождающихся дроблением и

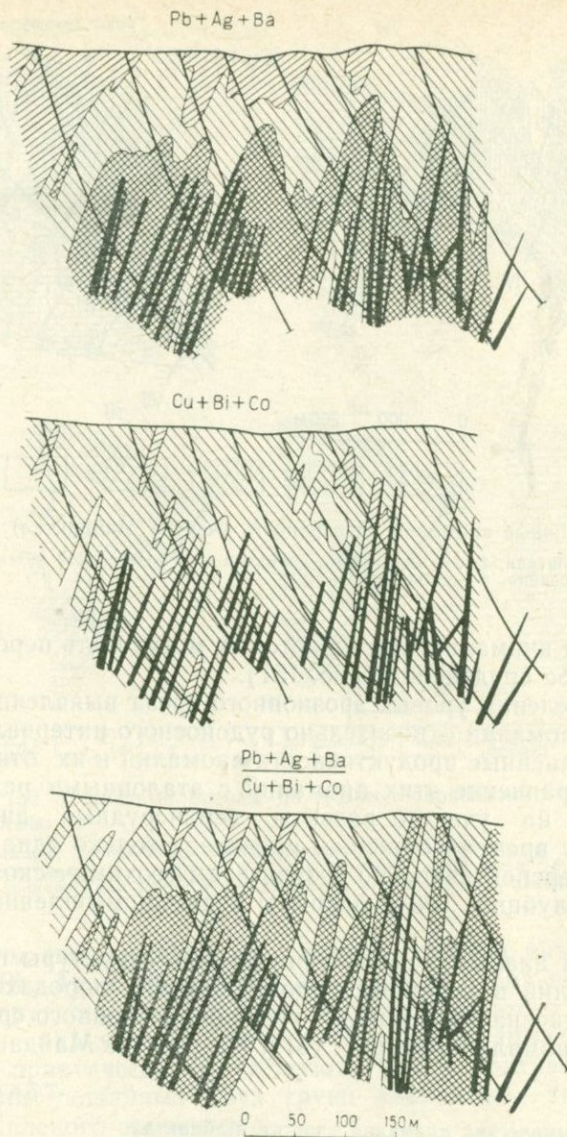


РИС. 150. Аддитивные ореолы (разрез участка Северо-Запад-II):

1 — рудные тела; 2—4 — аддитивные ореолы (4 — поля максимальной интенсивности)

гидротермальным изменением пород. Для оценки перспектив рудоносности данного участка проводилось геохимическое опробование коренных пород по профилям, направленным вкrest простираения основных дизъюнктивных нарушений. В результате обработки данных опробования на участке выявлено несколько

Pb+Ag+Ba

Cu+Bi+Co

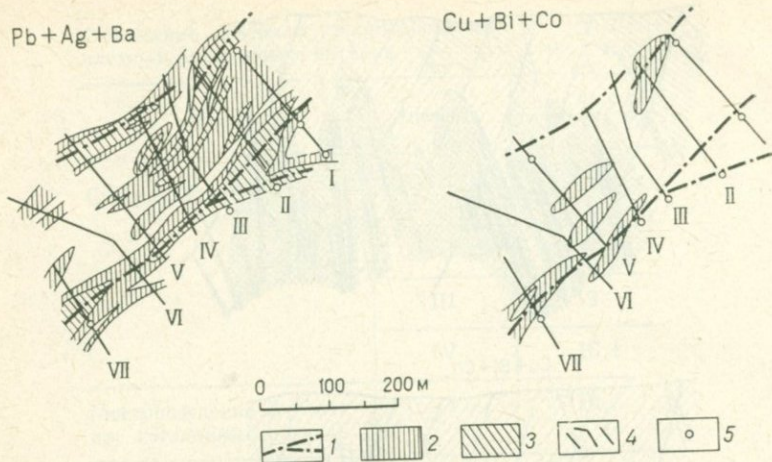


РИС. 151. Аддитивные аномалии (поверхность участка Майдантал):

1 — разрывные нарушения; 2—3 — аддитивные аномалии (3 — повышенной интенсивности); 4 — профили опробования; 5 — устье скважины

геохимических аномалий, три из которых могут быть перспективными на слепое оруденение (рис. 151).

Для определения уровня эрозионного среза выявленных геохимических аномалий относительно рудоносного интервала были рассчитаны линейные продуктивности аномалий и их отношения (табл. 50). Сравнение этих аномалий с эталонными разрезами показало, что на участке развиты верхнерудные аномалии. К настоящему времени бурением проверена только одна из них, признанная перспективной по результатам геохимического опробования: на глубине 100 м вскрыты руды 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. 151). На участке Майдантал вы-

Таблица 50

Параметры геохимических аномалий участка Майдантал

Аномалия	Профиль	Ba + Ag + Pb	Cu + Bi + Co	$\frac{Ba + Ag + Pb}{Cu + Bi + Co}$
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

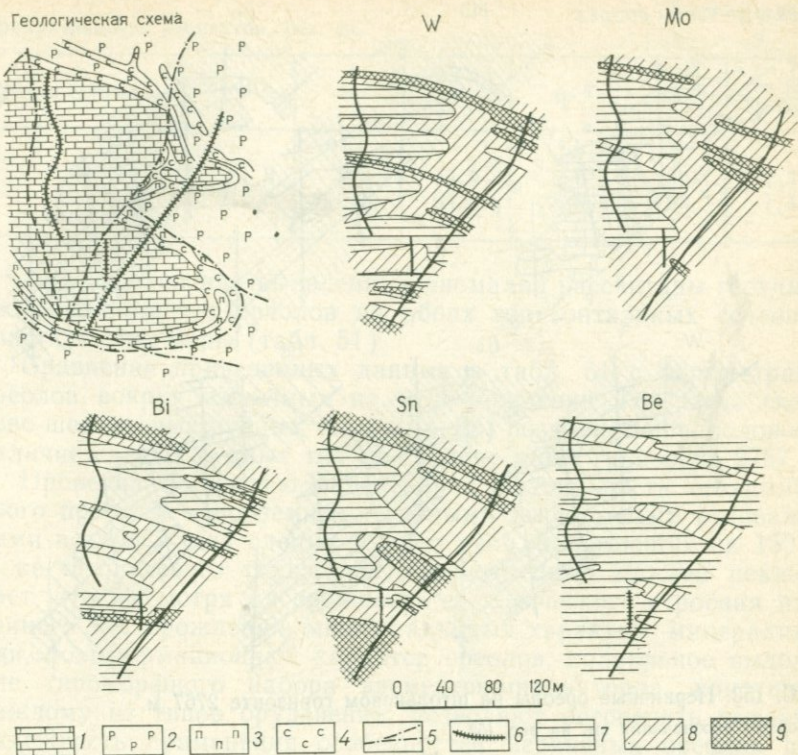


РИС. 152. Первичные ореолы по данным опробования поверхности участка Пик Веры:

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)

явлены значительные по размерам весьма интенсивные аномалии Pb, Ag и Ba — типичных индикаторов надрудных частей околорудного пространства. В отличие от этого аномалии Cu, Bi и Co — индикаторы более глубоких надрудных срезов — на участке практически отсутствуют. Такая контрастная дифференциация указанных двух групп элементов — характерный признак слепого оруденения.

Участок Пик Веры расположен в западной части Тырнаузского рудного поля, к югу от Центрального разлома, и сложен массивными в разной степени скарнированными мраморами, пироксен-плагиоклазовыми и биотитовыми роговиками. На поверхности участка выявлены контрастные аномалии ряда химических элементов. Из-за сильно пересеченной местности опробование коренных пород на участке производилось не по сети, а по водоразделам.

На участке развиты интенсивные ореолы W, Mo, Sn, Bi и Be (рис. 152). Эти элементы, как следует из приведенных выше

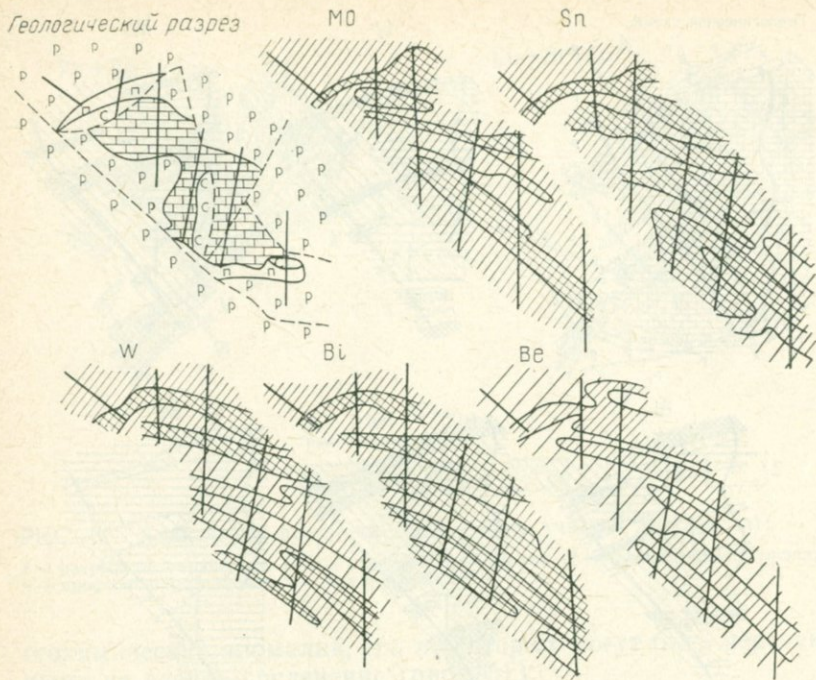


РИС. 153. Первичные ореолы на штольневом горизонте 2767 м.

Условные обозначения см. на рис. 152.

данных о составе и строении первичных ореолов месторождения Тырнауз, являются типоморфными индикаторами скарново-шеелитового оруденения. Были опробованы подземные горизонтальные скважины, пробуренные на штольневом горизонте, 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 (геденберgit), везувиан, эпидот. В строении скарнов выявлена вертикальная зональность, заключающаяся в преобладании на верхних горизонтах гранатовых скарнов, а на нижнем — гранат-пироксеновых (известно, что шеелитовая минерализация чаще всего приурочена к пироксеновым скарнам).

Ореолы вольфрама, молибдена, олова, висмута, бериллия резко расширяются с глубиной как по мощности, так и по содержанию элементов-индикаторов (рис. 153). На разведочном горизонте 2767 м четко выделяются две основные аномальные зоны (см. рис. 153), разделенные фоновыми концентрациями.

Продуктивность элементов, усл. ед.

Уровни сечений, м	W	Mo	Bi	Be	Sn	$\frac{Be \cdot Sn}{W \cdot Bi}$
2940	31,8	8,8	16,9	2,5	280	1,3
2767	210,6	55,8	94,4	36,9	758	1,4

Для определения выявленных аномалий рассчитаны геохимические параметры ореолов на обоих горизонтальных сечениях участках Пик Веры (табл. 51).

Сравнение приведенных данных в табл. 51 с параметрами ореолов вокруг известных на месторождении Тырнауз скарново-шеелитовых рудных тел (табл. 52) позволило предположить наличие слепых рудных тел на глубине ниже горизонта 2767 м.

Проверка полностью подтвердила правильность геохимического прогноза — подземными горными выработками и скважинами вскрыты два слепых рудных тела, залегающих на 150 м ниже штольневой горизонта. Рассмотренный пример показывает, что, несмотря на сложность геологического строения изученного месторождения, многостадийный характер минерализации, полиформационный характер ореолов, правильное выделение типоморфного набора элементов-индикаторов, присущего каждому из типов оруденения, позволяют обеспечить высокую надежность применения особенностей первичных ореолов при оценке перспектив рудоносности тех или иных участков.

Участок Золоторудный. Выше были рассмотрены примеры, когда проверка выявленных на поверхности надрудных ореолов приводила к обнаружению слепых рудных тел. В отличие от этого на участке Золоторудном слепое оруденение было выявлено в результате проверки аномалий, признанной надрудной после расшифровки сложных аномалий, образовавшихся вокруг сближенных в пространстве кулисообразно расположенных рудных тел.

Оруденение на месторождении локализуется в интенсивно дислоцированных терригенных породах триасового возраста, прорванных поздне меловыми дайками кислого состава. На одном из участков рудного поля установлено выклинивание

Таблица 52

Коэффициенты зональности

Горизонты	Уровень сечения	$\frac{Be \cdot Sn}{W \cdot Bi}$	Горизонты	Уровень сечения	$\frac{Be \cdot Sn}{W \cdot Bi}$
I	Надрудный	Более 1	IV	Нижнерудный	$n \cdot 10^{-4}$
II	Верхнерудный	$n \cdot 10^{-2}$	V	Подрудный	Менее
III	Среднерудный	$n \cdot 10^{-3}$			$n \cdot 10^{-4}$

Характеристика месторождений
Гарпенбергского рудного поля

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

* Ag — в г/т.

Ag, Pb) и отчетливое расширение с глубиной аномалии мышьяка (индикатора нижних частей ореолов), что 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. 154).

Поиски докембрийского полиметаллического оруденения. Ниже описываются некоторые результаты использования особенностей первичных геохимических ореолов при поисках в Швеции слепых рудных тел и месторождений полиметаллического состава. Поиски выполнены Шведской горнорудной компанией Болиден и Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов Министерства геологии СССР. Работы проводились в рамках советско-шведского сотрудничества в соответствии с Соглашением об экономическом и научно-техническом сотрудничестве между СССР и Швецией. Цель этих исследований — оценка возможности и практической эффективности применения для поисков слепого докембрийского оруденения методики первичных ореолов, разработанной на примере молодых рудных объектов.

В качестве геохимических критериев оценки перспектив рудности тех или иных участков на полиметаллическое оруденение были использованы особенности состава и строения первичных геохимических ореолов месторождения Гарпенберг, выбранного в качестве эталонного. Возраст месторождения 1,9—2,0 млрд. лет.

Рудные тела Гарпенбергского рудного поля локализованы в пределах 4-километрового карбонатного пояса. В этом поясе к настоящему времени выявлены следующие месторождения: Гарпенберг (известное более 1000 лет), Гарпенберг-Норра (открыто в 1962 г.) и обнаруженное в 1980 г. слепое месторождение Даммше. Некоторые данные о размерах и составе этих месторождений приведены в табл. 53. Первичные геохимические

с глубиной рудного тела, выходящего на поверхность. Для оценки перспектив этого участка на слепое оруденение проводилось геохимическое опробование керн буровых скважин. В результате ниже ореолов, окаймляющих известное рудное тело, были выявлены новые аномальные поля основных элементов-индикаторов надрудных частей ореолов оруденения (Sb,

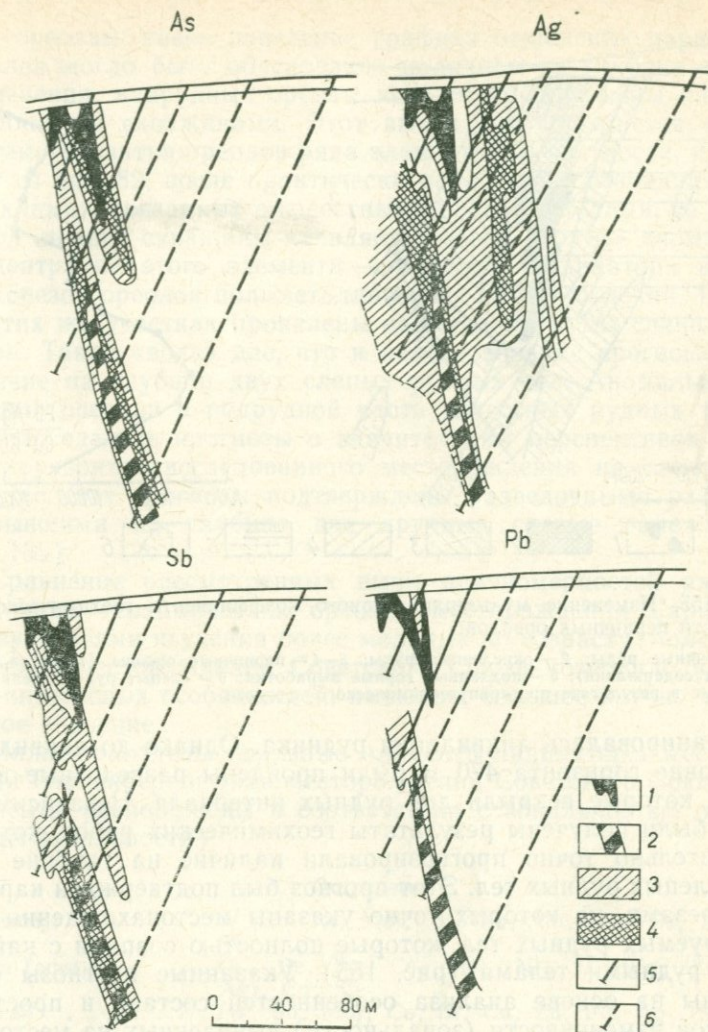


РИС. 154. Первичные ореолы в разрезе.

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

ореолы на месторождении изучены путем опробования горных выработок и керна буровых скважин (см. гл. III).

В 60-е годы на месторождении Гарпенберг создалось критическое положение, обусловленное следующими причинами: 1) площадь промышленного оруденения на самом глубоком горизонте месторождения (880 м) резко уменьшилась; 2) пробуренные глубокие скважины на нижних горизонтах руды не обнаружили.

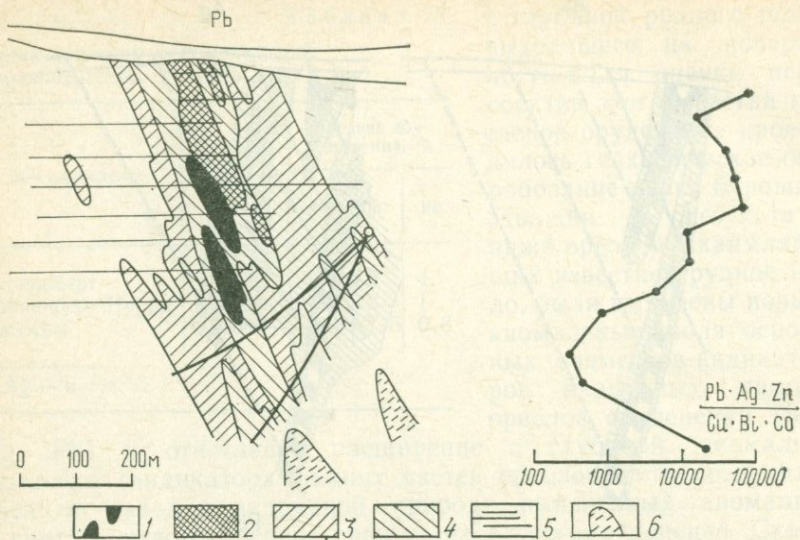


РИС. 155. Изменение мультипликативного коэффициента геохимической зональности первичных ореолов:

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

Планировалась ликвидация рудника. Однако до ликвидации на уровне горизонта 470 м были пройдены разведочные выработки, которые вскрыли два рудных интервала. Независимо от этого были получены результаты геохимических работ, которые поразительно точно прогнозировали наличие на глубине этих двух слепых рудных тел. Этот прогноз был подтвержден картами и разрезами, на которых точно указаны местонахождения прогнозируемых рудных тел, которые полностью совпали с найденными рудными телами (рис. 155). Указанные прогнозы были 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 мультипликативных 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. 155, с глубиной происходит резкое убывание величины 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 первич-

ным ореолам, такое поведение графика отношений параметров ореолов могло быть обусловлено наличием на глубине слепого оруденения, надрудные ореолы которого обнаружены нижними наклонными скважинами. Этот вывод подтверждается особенностями развития ореолов ряда элементов. В частности, как следует из рис. 82, после практически полного выклинивания ореолов кадмия, 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 проявлены новые максимумы свинца и серебра. 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 (см. рис. 155).

Сравнение рассмотренных выше закономерностей развития первичных геохимических ореолов месторождения Гарпенберг с результатами изучения более молодых по возрасту полиметаллических месторождений Советского Союза позволило выявить ряд интересных особенностей, имеющих большое научно-методическое значение.

Ниже приведены основные элементы-индикаторы месторождения Гарпенберг и ряда месторождений Советского Союза. Эти элементы расположены в соответствии с зональностью ореолов (ряды зональности).

Скарновые

Гарпенберг	W (Co, Ni, Mo), Bi, Sn, Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Sb
Алтын-Топкан	(W, Be, Sn, Co, Mo), Ni, Bi, (Cu, Zn), (Pb, Ag), Cd, Sb
Курусай	(W, Sn, Mo), Co, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, (Sb, As), Ba
Акташ	W, Mo, Sn, Co, Bi, (Cu, Zn), Pb, Ag, (Sb, As)

Жильные

Восточное	W, Sn, Co, Bi, (Cu, Zn), Pb, Ag, (Sb, As)
Садон	W, Ni, Co, Sn, Mo, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb

Все месторождения, несмотря на их резко различные геологические позиции (Гарпенберг — позднепротерозойского возраста, остальные — позднепермского — триасового возраста), 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 и, в частности, исследование особенностей проявления зональности в строении интегральных (мультипликативных) ореолов также позволило установить идентичность зональности первичных ореолов месторождения Гарпенберг и других полиметаллических месторождений. Установлено, что зональность в строении первичных ореолов является единой не только качественно (идентичные ряды зональности), но и количественно. Последнее устанавливается только в строении мультипликативных ореолов и выражается в том, что адекватные уровни ореолов различных месторождений фиксируются чрезвычайно близкими значениями отношений параметров частных мультипликативных ореолов при значительном их градиенте по вертикали (см. рис. 25).

Из приведенных на рис. 25 месторождений древнее (докембрий) только Гарпенберг; остальные — расположенные в различных регионах СССР — более молодые и характеризуются различными геологическими условиями локализации. Несмотря на резкие различия в геологических условиях локализации этих месторождений, графики изменения отношений мультипликативных ореолов имеют монотонный характер (см. рис. 25). Они весьма близко и достаточно контрастно отражают вертикальную зональность в строении первичных ореолов, выражающаяся в закономерной смене с глубиной элементов-индикаторов верхнерудных сечений (Pb, Ag, Zn) индикаторами более глубоких уровней ореолов (Cu, Bi, Co). Описанная количественно единая геохимическая зональность первичных ореолов и приведенные на рис. 25 конкретные значения мультипликативного коэффициента зональности первичных ореолов были использованы для оценки перспектив рудоносности ряда участков и прежде всего для определения уровня эрозионного среза геохимических аномалий, выявленных на этих участках в результате опробования коренных рудовмещающих пород.

Гарпенберг-Норра. Месторождение расположено в 3 км восточнее месторождения Гарпенберг и по своему геологическому положению аналогично ему. До проведения геохимического опробования была известна только одна рудная зона (В-руда), разведанная до горизонта 150 м. Опробование керна скв. 57 позволило наряду с ореолами известной рудной зоны в ее висячем боку выявить новую аномалию (рис. 156). Расчеты мультипликативного коэффициента зональности показали, что выявленная геохимическая аномалия представлена надрудными ореолами ($K_3 \geq 10^5$). Это позволило прогнозировать наличие из глубине новой слепой рудной зоны: последующие разведочные работы действительно вскрыли слепую рудную зону, подтвердив тем самым геохимический прогноз (см. рис. 156).

Участок у церкви. По результатам геохимического опробования коренных пород по двум канавам, расположенным по обе стороны здания церкви, выявлены интенсивные и расширяющиеся к северо-востоку аномалии элементов-индикаторов по-

РИС. 156. Первичные ореолы в разрезе:

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

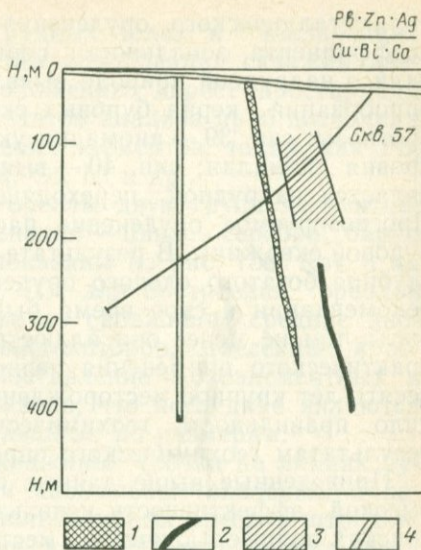
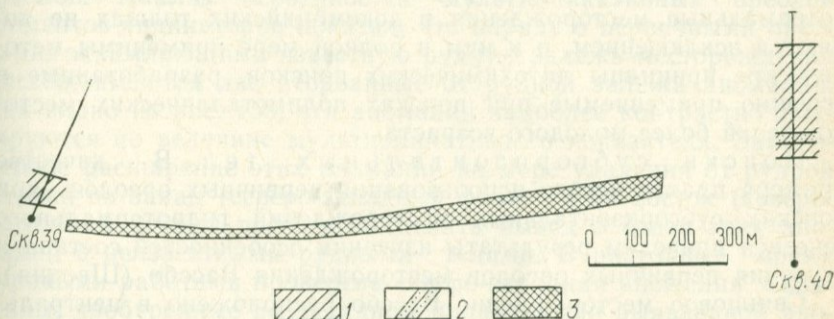


РИС. 157. Проекция геохимических аномалий скв. 39 и 40 на поверхность месторождения Дамше.

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



лиметаллического оруденения. Высокие значения мультипликативного коэффициента геохимической зональности ($n \cdot 10^4$) свидетельствовали о надрудной природе выявленных аномалий. Это обстоятельство позволило считать участок перспективным на слепое оруденение и рекомендовать постановку проверочных работ. При этом, учитывая расширение выявленных надрудных аномалий к северо-востоку, наиболее перспективным признан участок, расположенный на северо-восточном продолжении описываемой аномалии. Последующими горно-буровыми работами обнаружена богатая слепая рудная залежь на глубине 600 м.

Месторождение Дамше. Открыто в 1980 г. в результате планомерного разбуривания 3-километрового карбонатного пояса между месторождениями Гарпенберг и Гарпенберг-Норра. В пределах этого участка задолго до обнаружения месторождения, в 1970 г. опробовали керн двух пройденных ранее буровых скважин — 39 и 40 (рис. 157). По обеим скважинам выявили интенсивные геохимические аномалии элементов-индикаторов

полиметаллического оруденения. Расчеты мультипликативного коэффициента зональности первичных ореолов свидетельствовали о надрудной природе выявленных аномалий. В результате опробования керна буровых скв. 39 и 40 сделаны следующие прогнозы: 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 буровой скважины. В результате был сделан вывод о наличии на глубине богатого слепого оруденения. Хотя эти геохимические рекомендации в свое время были не реализованы и даже 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 выше данные свидетельствуют о чрезвычайно высокой эффективности использования первичных ореолов при поисках полиметаллических месторождений в районах широкого развития докембрийских образований. Полиметаллические гидротермальные месторождения в докембрийских толщах не являются исключением, и к ним в полной мере применимы методические принципы литохимических поисков, разработанные и успешно применяемые при поисках полиметаллических месторождений более молодого возраста.

Поиски субгоризонтальных тел. В качестве примера практического использования первичных ореолов при поисках субгоризонтальных месторождений гидротермального генезиса приведем результаты изучения особенностей состава и строения первичных ореолов месторождения Вассбо (Швеция).

Свинцовое месторождение Вассбо расположено в центральной части Швеции и приурочено к комплексу древних (кембрий, силур) осадочных пород, представленных аркозовыми песчаниками, конгломератами, сланцами и известняками, перекрытыми более молодыми кварцитами. Рудная минерализация развита в основном в нижнекембрийских известковых песчаниках мощностью до 10 м и представлена вкрапленными, прожилково-вкрапленными, изредка массивными рудами, приуроченными к зонам трещиноватости осадочных пород.

Месторождение Вассбо является типичным представителем группы стратиформных месторождений, причем пологозалегающая рудная залежь простирается на 2 км, имея ширину около 100 м и среднюю мощность до 6 м. Основные рудные минералы — галенит и сфалерит, однако первый резко преобладает над вторым (среднее отношение содержаний Zn к Pb составляет 1:8,5). В небольшом количестве встречается пирит, реже — халькопирит. Из второстепенных минералов необходимо отметить наличие барита, флюорита, кальцита, серицита и др. Месторождение Вассбо представлено единой рудной залежью.

Распределение элементов в рудных телах и вмещающих породах изучалось по результатам опробования скважин двенадцати буровых профилей, расположенных вкрест простираения рудной залежи. Обработка результатов анализа проб позволила выявить особенности распределения элементов, таких, как Pb, Zn, Ag, Ba, Sb, Bi, Sn, Mo, W, Cu, Co, Ni и др.

Частные мультипликативные ореолы двух групп элементов-индикаторов данного типа оруденения — цинка, серебра, бария и меди, никеля и вольфрама — показаны на рис. 158. Как и на месторождении Шалкия (см. гл. II), для построения ореолов были использованы рассчитанные по скважинам средние аномальные содержания элементов-индикаторов, отнесенные к соответствующим скважинам. Сопоставление моноэлементных и мультипликативных ореолов показало, что последние являются более интенсивными, а также большими по размерам.

Все опробованные буровые скважины (точки на линиях буровых профилей) зафиксировали аномальные значения, и поэтому при оконтуривании мультипликативных ореолов штриховкой показаны только центральные, наиболее интенсивные части ореолов. Анализ особенностей мультипликативных ореолов элементов-индикаторов показал, что наряду с первичными ореолами, окаймляющими известную рудную залежь месторождения Вассбо, имеются две оторванные от рудной залежи аномалии. Как видно из рис. 158, эти аномалии наиболее контрастно фиксируются по величине мультипликативного показателя. Закономерное расширение этих аномалий по мере удаления от рудной залежи на запад (северо-западный фланг) и на восток (северо-восточный фланг) позволило сделать вывод о связи этих аномалий с неизвестными рудными телами. В настоящее время буровыми работами проверена северо-западная аномалия. Скважины, пробуренные на западном продолжении выявленной аномалии, обнаружили новую, ранее неизвестную рудную залежь. Все это еще раз подтверждает эффективность использования первичных ореолов при поисках и разведке месторождений субгоризонтального залегания и высокую эффективность геохимической «ревизии» проведенных ранее поисковых работ. Новая рудная залежь была открыта в результате геохимического опробования керна пробуренных ранее скважин уже после разведки и полной отработки известного месторождения.

Выше были рассмотрены примеры оценки перспектив рудоносности участков по результатам интерпретации данных геохимического опробования коренных пород. В этом случае непосредственно использовались параметры первичных геохимических ореолов. В условиях неудовлетворительной обнаженности для оценки перспектив рудоносности участков могут быть использованы и результаты опробования гипергенного геохимического поля.

При интерпретации гипергенных геохимических аномалий, как уже отмечалось, используются критерии, вытекающие из

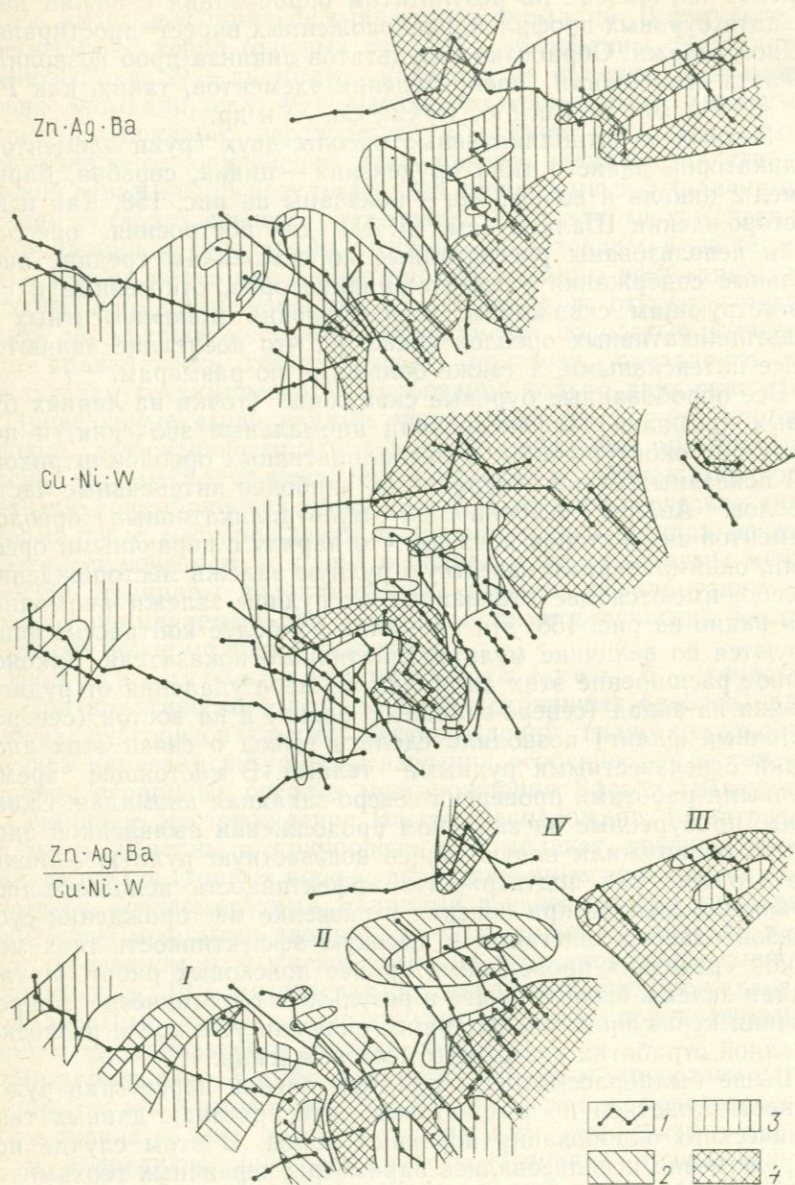


РИС. 158. Мультипликативные аномалии в плане (месторождение Вассбо):
 1 — профили бурения и скважины; 2—4 — аномалии (4 — поля повышенной интенсивности); 1—IV — номера аномалий

особенностей формирования геохимических аномалий. При этом основной методической предпосылкой интерпретации гипергенных аномалий служит пространственная сопряженность гипергенных и гипогенных аномалий, под которой мы подразумеваем не только совмещение в пространстве этих аномалий, но и близость численных значений их параметров, используемых в качестве критериев интерпретации 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 тесной корреляцией первичных и вторичных (гипергенных) литохимических ореолов рассеяния элементов-индикаторов.

При поисках слепого оруденения основная задача интерпретации геохимических аномалий заключается в выделении аномалий, представленных надрудными ореолами данного типа оруденения. Для этой цели, как отмечалось выше, применяется вертикальная зональность первичных ореолов. При удовлетворительной корреляции гипергенных и гипогенных аномалий этот критерий может быть использован при интерпретации гипергенных аномалий. Отметим, что при этом более надежно применение зональности частных мультипликативных ореолов, поскольку: зональность по сравнению с моноэлементными (оценка зональности проводится по парным индикаторным отношениям) существенно более контрастна, и поэтому ее можно использовать даже при больших расхождениях в величинах параметров гипергенных и гипогенных аномалий; характер корреляции парных индикаторных отношений гипергенных и гипогенных 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 масштаба 1 : 50 000, сопровождаемой геохимическим опробованием донных отложений, выявлен ряд перспективных на урановое оруденение участков. На одном из перспективных участков, сложенном экструзивными кварцевыми порфирами, установлены геохимические аномалии урана, свинца и молибдена в результате опробования элювиально-делювиальных отложений в масштабе 1 : 10 000. Интенсивное развитие элементов-спутников урана — молибдена и в особенности свинца при подчиненном значении урана [3] позволило считать выявленные аномалии надрудными ореолами уранового оруденения и рекомендовать участок к разведке для обнаружения предполагаемого на глубине слепого оруденения. При этом

учитывалась зональность первичных ореолов уранового оруденения, которая выражается в избирательном накоплении свинца в надрудных частях ореолов.

Надрудная природа выявленных аномалий подтверждена соответствующими расчетами. В частности, установлено, что коэффициент геохимической зональности (Pb/U) по величине соответствует его значениям, рассчитанным по надрудным сечениям первичных ореолов известных рудных тел. Для уточнения полученных данных в пределах выделенных аномалий в последующем были опробованы коренные породы (на обнаженных участках, а также по канавам).

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 позволило определить достоверность вторичных ореолов, локализовать аномалии и увязать их с геолого-структурными условиями участка. Следует отметить, что детальные структурно-минералогические наблюдения, сопровождающие геохимическое опробование коренных пород, в пределах аномалий признаков урановой минерализации не установили. Последующая проверка подтвердила оценку, данную по результатам геохимических работ: на глубине было обнаружено слепое оруденение промышленного значения.

С целью выяснения особенностей развития первичных ореолов, их увязки с геолого-структурными условиями участка и уточнения на этой основе оценки перспектив его рудоносности рекомендуется в пределах признанных перспективными на слепое оруденение гипергенных аномалий проводить 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 ценны в случаях, если: первичные ореолы являются полиформационными, образовавшиеся 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); первичные ореолы развиты вокруг сближенных в пространстве рудных тел различного эрозионного среза, и эта неоднородность в первичных ореолах может быть «смазана» в гипергенных аномалиях; 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.

Так, 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 проводились в начальный период разработки литохимических методов поисков слепого оруденения и представляют собой первый опыт опробования этой методики. Участок работ расположен на крутом склоне (20—25°). В результате площадного геохимического опробования (сеть 100×10 м) были выявлены значительные по размерам вторичные ореолы рассеяния основных элементов-индикаторов уранового оруденения — урана, свинца, молибдена.

Сравнение отношений линейных продуктивностей ореолов пары свинец—уран (оценка уровня 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 подземной горной выработки, керна горизонтальных скважин и коренных пород (по канавам) позволило выявить мелкие разрозненные первичные ореолы уранового оруденения, сливающиеся в зону рассеянной минерализации. Сравнение оконтуренных на поверхности первичных и вторичных ореолов показало существенное обеднение гипергенных аномалий ураном, что и привело к высокому свинцово-урановому отношению. 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 таких участков также в начальный период разработки данной методики проводились геохимические исследования. В результате геохимического опробования элювиально-делювиальных отложений были обнаружены широкие и весьма контрастные аномалии Pb, Ag, Zn и слабые аномалии U и Mo. Использование свинцово-уранового отношения позволило считать выявленные аномалии надрудными ореолами уранового оруденения и рекомендовать в качестве перспективных на слепое урановое оруденение. Затем в процессе разведки действительно были обнаружены слепые рудные тела, но только не уранового, а полиметаллического состава. Последующими детальными исследованиями, в том числе и опробованием подземных горных выработок и коренных пород на поверхности, установлено, что на участке развиты полиформационные ореолы, образовавшиеся в результате наложения на

полиметаллическое оруденение более молодой по возрасту не-промышленной урановой минерализации.

Сравнение особенностей развитых на поверхности участка эндогенных (первичных) и экзогенных (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 экзогенных аномалиях подобная дифференциация эпицентров аномалий не была установлена; причина этого, по всей вероятности, заключается в существенном перераспределении урана в экзогенных аномалиях (уран весьма подвижен в гипергенных условиях). Другой элемент — индикатор урана — молибден — также оказался малоинформативным: поля его максимальных концентраций в основном совпадали с эпицентрами аномалий свинца, что, как установлено минералогическим анализом проб рыхлых отложений, обусловлено развитием вульфенита (по галениту). Все это создало неправильное представление о совмещении в пространстве эпицентров аномалий указанных выше элементов, что и послужило основанием для положительной оценки перспектив рудоносности участка в целом.

РАЗБРАКОВКА ЗОН РАССЕЯННОЙ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Методический подход при оценке зоны рассеянной минерализации (ЗРМ) рассмотрим на примере ряда рудопроявлений.

Рудопроявление Акпет расположено северо-восточнее месторождения Тарыэкан. Участок сложен фельзит-порфирами, туфобрекчиями и сферолит-порфирами оясайской свиты.

Для оценки перспектив рудоносности глубоких горизонтов рудопроявления проводилось геохимическое опробование, которое позволило выявить аномалии Pb, Ba, Ag, Cu, V и CO, прослеживающиеся вдоль зоны Акпетского разлома (рис. 159). В табл. 54 приведены параметры аномалий, выявленных на этом участке, а также на рудопроявлении Кызылташ (для сравнения), представленном ЗРМ.

Как видно из табл. 54, рассматриваемая аномалия по геохимическим параметрам является аналогом 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 дана рекомендация о снятии ранее предусмотренных разведочных работ. В последующем на участке все же были пробурены три скважины в местах наиболее интенсивного проявления рудной минерализации. Все эти скважины на различных глубинах вскрыли рудоносную зону без оруденения, полностью подтвердив оценку,

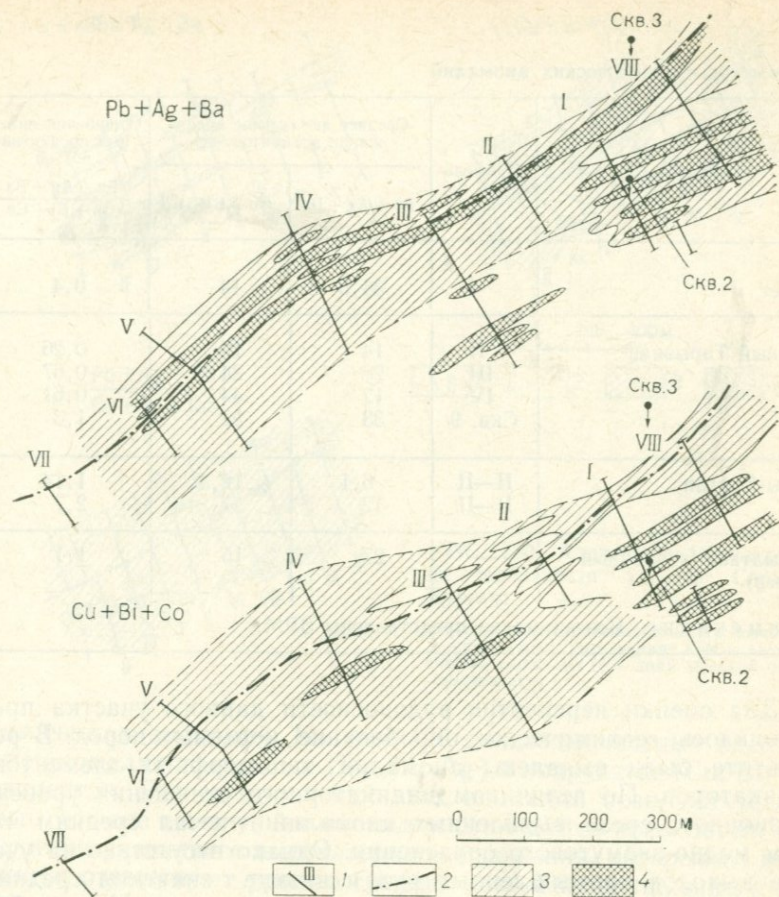


РИС. 159. Аддитивные аномалии на поверхности участка Акпет.

1 — профиль опробования и его номер; 2 — разрывные нарушения; 3—4 — аддитивные аномалии (4 — поля высокой интенсивности)

полученную в результате интерпретации данных геохимического опробования.

Участок Южный Тарызкан находится в 1—1,5 км к югу от месторождения Тарызкан. На участке широко развиты туфы и туфолавы фельзит-порфиров оясайской свиты, прорванные дайками диабазовых порфиров.

Основной рудоносной зоной участка является Южная тектоническая зона северо-восточного простирания. Общая протяженность ее около 1,5 км. Рудная зона Южная представлена окварцованными, хлоритизированными и серицитизированными породами, пронизанными кварцевыми прожилками, несущими вкрапленность халькопирита, пирита, висмутина и гематита. В отмеченной зоне местами установлены также повышенные содержания свинца и серебра.

Параметры геохимических аномалий

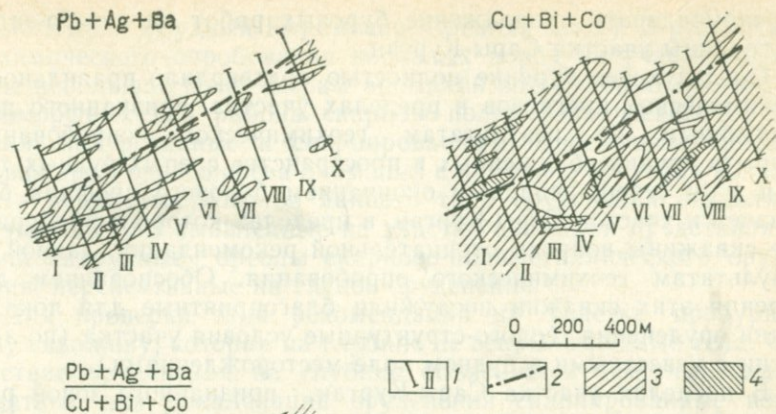
Участок	Профиль	Среднее аномальное содержание элементов, гФ		Отношение линейных продуктивностей $\frac{Pb + Ag + Ba}{Cu + Bi + Co}$
		Pb + Ag + Ba	Cu + Bi + Co	
Акпет	I	31,5	14	0,4
Южный Тарызкан	II	14	19	0,26
	III	28	24	0,67
	IV	17	44	0,61
	Скв. 9	33	22	1,3
Сары-Курган	II—II	6,1	12,4	1,14
	II—II	12	7	2,7
Кызылташ (эталонный разрез)	—	27	15	1,1

Примечание. Все аномалии представлены ЗРМ.

Для оценки перспектив рудоносности данного участка производилось геохимическое опробование коренных пород. В результате были выявлены аномалии типоморфных элементов-индикаторов. По величинам индикаторного отношения уровень эрозийного среза выявленных аномалий отвечал средним частям медно-висмутового оруденения. Однако отсутствие на участке выходов промышленных руд и низкие значения средних аномальных содержаний элементов-индикаторов (см. табл. 54) 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 Карамзаре и сложен кварцевыми порфирами, фельзит-порфирами и туфами оясайской свиты. На участке развиты сближенные разрывные нарушения, образующие мощные зоны гидротермального изменения пород, выразившегося в их интенсивной хлоритизации, серицитизации и окварцевании. Рудная минерализация на участке представлена гематитом, пиритом, реже халькопиритом и висмутином. Из минералов зоны окисления установлены гидрогетит, лимонит, малахит, азурит и базовисмутит.

В результате обработки данных площадного геохимического опробования коренных пород на участке был выявлен ряд гео-



0 200 400м

1 2 3 4

РИС. 160. Аддитивные аномалии на поверхности участка Сары-Курган:

1 — профиль опробования и его номер;
 2 — разрывные нарушения; 3—4 — аддитивные аномалии (4 — поля высокой интенсивности)

химических аномалий. На рис. 160 показаны частные аддитивные аномалии надрудных (Ba, Pb, Ag) и подрудных (Cu, Bi, Co) элементов. Расчет отношений этих аномалий позволил установить, что все выявленные аномалии отличаются невысокими значениями указанного индикаторного отношения, которые по величине соответствуют уровню средних частей промышленного оруденения. Низкие значения индикаторного отношения отчетливо фиксируют на карте изменения величин аддитивного показателя. Отсутствие в пределах исследованного участка выходов промышленного оруденения, а также низкие значения средних аномальных содержаний элементов-индикаторов (см. табл. 54) позволили считать, что выявленные аномалии представляют собой ЗРМ.

В последующем геохимическим опробованием была охвачена площадь, расположенная к юго-востоку от участка Сары-Курган, где единичными скважинами были вскрыты слепые рудные тела полиметаллического состава. Цель этого опробования заключалась в оценке рудоносности участка, заключенного между вскрытым скважинами оруденением и участком Сары-Курган. На этом участке 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 на северо-запад до границы участка Сары-Курган.

Последующее бурение полностью подтвердило правильность геохимических прогнозов в пределах участка, признанного перспективным по результатам геохимического опробования: вскрыта группа сближенных в пространстве слепых рудных тел. При этом северо-западным окончанием бурового профиля был охвачен и участок Сары-Курган, в пределах которого пробурили две скважины вопреки отрицательной рекомендации, данной по результатам геохимического опробования. Обоснованием для бурения этих скважин послужили благоприятные для локализации оруденения геолого-структурные условия участка (по аналогии с известными в рудном поле месторождениями).

В пределах участка Сары-Курган, признанного зоной рассеянной рудной минерализации, рудных тел не обнаружено. Геохимическое опробование керна скважин показало, что выявленные на участке геохимические аномалии действительно представляют собой зону рассеянной рудной минерализации, о чем, в частности, свидетельствовало отсутствие отчетливой вертикальной, а также контрастной продольной зональности в строении аномалий, выявленных по величине аддитивного показателя.

Выше рассмотрены примеры разбраковки по описанной методике ЗРМ, проверенные последующим бурением. Малочисленность подобных примеров следует объяснить не только тем, что указанные геохимические критерии выявлены недавно и еще не получили должного распространения, а также и тем, что многие рудопроявления и аномалии с помощью этих критериев были признаны зонами рассеянной рудной минерализации и исключены из последующих детальных поисковых работ.

Очевидно, что по мере внедрения в практику геохимических поисков рассмотренной выше методики разбраковки ЗРМ будут получены более представительные данные для оценки ее эффективности, которые, в свою очередь, послужат основой для дальнейшего совершенствования этой методики.

Данная работа посвящена геохимическим методам при поисках, 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 должны быть использованы 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. Показательным в этом отношении являются 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 выявлены 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 выявленные на участке аномалии представляют собой надрудные ореолы скарново-полиметаллического оруденения, перспективные на слепое оруденение.

Для проверки этой рекомендации на участке пробурили одну скважину, которая на глубине не вскрыла рудные тела. Отсутствие оруденения на глубине объясняется тем, что благоприятные для локализации оруденения скарнированные известняки с глубиной выклиниваются. Опробование керна этой 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 было выявлено выклинивание с глубиной блока вмещающих оруденение скарнированных известняков, на что, в частности, указывало противоположное падение контактов известняков с гранодиоритами.

Выше рассмотрены зоны рассеянной минерализации (ЗРМ) типично гидротермальной природы. В отличие от этого типа оруденения месторождения диплогенетического происхождения характеризуются двумя типами ЗРМ. Характерным представителем этого типа месторождений является свинцово-цинковое месторождение Сумсар (см. гл. VIII). Выполненным на этом месторождении исследованием геохимических особенностей руд и первичных ореолов было установлено, что к первой группе зон рассеянной минерализации на месторождении относится сингенетическое обогащение, фиксируемое в рудоносном (благоприятном для рудоотложения) горизонте повсеместно. На месторождении Сумсар, в частности, ЗРМ этого типа распространяются на километры. Сравнительное изучение геохимических особенностей сингенетических ЗРМ и первичных ореолов вокруг промышленных рудных тел месторождения Сумсар позволило выявить ряд их отличий, которые могут быть использованы в качестве геохимических критериев идентификации подобных ЗРМ и исключения их из сферы последующих детальных работ. ЗРМ от первичных ореолов рудных тел отличаются по характеру корреляционных связей содержания элементов. Эти связи, строго выдержанные в пределах ЗРМ, резко нарушаются в первичных ореолах. Другой отличительной особенностью ЗРМ

является постоянное значение мультипликативного коэффициента геохимической зональности, по величине отвечающего уровню промышленного оруденения. В отличие от этого коэффициент зональности в ореолах резко и закономерно меняется с глубиной. В качестве критерия разбраковки сингенетических ЗРМ могут быть использованы также зоны выноса основных компонентов руд (цинк и, в меньшей степени, свинец), формирующиеся только в ореолах промышленных рудных тел. Эти критерии были использованы для разбраковки в пределах Сумсарского рудного поля многочисленных ЗРМ сингенетического типа.

Другая группа ЗРМ на месторождениях диплогенетического генезиса представлена геохимическими аномалиями, фиксирующими убогое оруденение, в которых эпигенетический процесс рудообразования не привел к формированию рудных тел промышленного значения. Разбраковка этой группы ЗРМ представляет собой наиболее сложную задачу: в настоящее время мы не располагаем надежной методикой для ее решения. Разработка такой методики — это важнейшая задача работ ближайшего будущего. Отметим, что в зонах убогой рудной минерализации (ЗРМ второго типа) зональность в строении мультипликативных аномалий по сравнению с ореолами промышленного оруденения проявлена существенно менее контрастно (как и в случае ЗРМ гидротермальных месторождений крутого падения). Вследствие этого в головных и корневых частях подобных аномалий мультипликативный коэффициент зональности по величине отвечает первичным ореолам, развитым в интервале промышленного оруденения.

Эта особенность ЗРМ с определенной степенью надежности может быть использована для отличия ЗРМ от ореолов промышленного оруденения. При этом следует иметь в виду, что надежность практического применения этого критерия в значительной степени определяется числом подлежащих интерпретации аномалий: чем больше аномалий, тем выше надежность, поскольку оценка перспектив рудоносности аномалий является не абсолютной, а относительной, так как из группы аномалий с помощью критерия зональности 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) в разряд бесперспективных и исключения их из сферы дальнейших проверочных работ.

В пределах Сумсарского рудного поля автор и В. И. Злобинский провели геохимические поиски по рекомендуемой мето-

дике. Ими выполнено площадное геохимическое опробование рудовмещающего горизонта карбонатных пород с целью обнаружения перспективных на слепое оруденение участков, поскольку хорошая обнаженность и высокая степень геологической изученности района месторождений практически исключали возможность обнаружения новых, выходящих на поверхность рудных тел. В результате выявлено более 100 геохимических аномалий, преобладающая часть которых оказалась зонами рассеянной минерализации первого типа (ЗРМ сингенетического типа). Из 24 аномалий наиболее перспективными на слепое оруденение были признаны две примерно равноценные аномалии, прежде всего по коэффициенту зональности. При этом установлено, что эти аномалии (участки Акмашат и Четында) по контрастности зональности существенно уступают надрудным ореолам всех известных на месторождении Сумсар слепых рудных тел промышленного значения. В соответствии с этим был сделан вывод, что и концентрации полезных компонентов также будут уступать известным рудным телам месторождения Сумсар. На участках Акмашат и Четында пробурили единичные буровые сважины, которые на глубине вскрыли слепые рудные тела, не имеющие промышленного значения в силу убогого содержания полезных компонентов.

Несмотря на то, что бурением в пределах описанных участков промышленного оруденения не было установлено, результаты этой проверки в целом оказались положительными, поскольку они позволили более обоснованно произвести оценку остальных аномалий и однозначно отнести их в разряд бесперспективных.

ОЦЕНКА РУДОПРояВЛЕНИИ

Зональность первичных геохимических ореолов является эффективным критерием оценки уровня эрозийного среза рудопроявлений, позволяющим исключать из сферы последующих разведочных работ малоперспективные (глубокоэродированные) рудопроявления. Рассмотрим результаты геохимических работ, выполненных на рудопроявлениях Камазак-Булак и Мараз-Булак.

Медно-висмутовые рудопроявления расположены в Центральном Карамазаре и приурочены к одноименному разлому и оперяющим его разрывным нарушениям. Рудовмещающие породы на участке представлены верхнепалеозойскими эффузивами (липаритовые порфириды шурабсайской свиты). 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

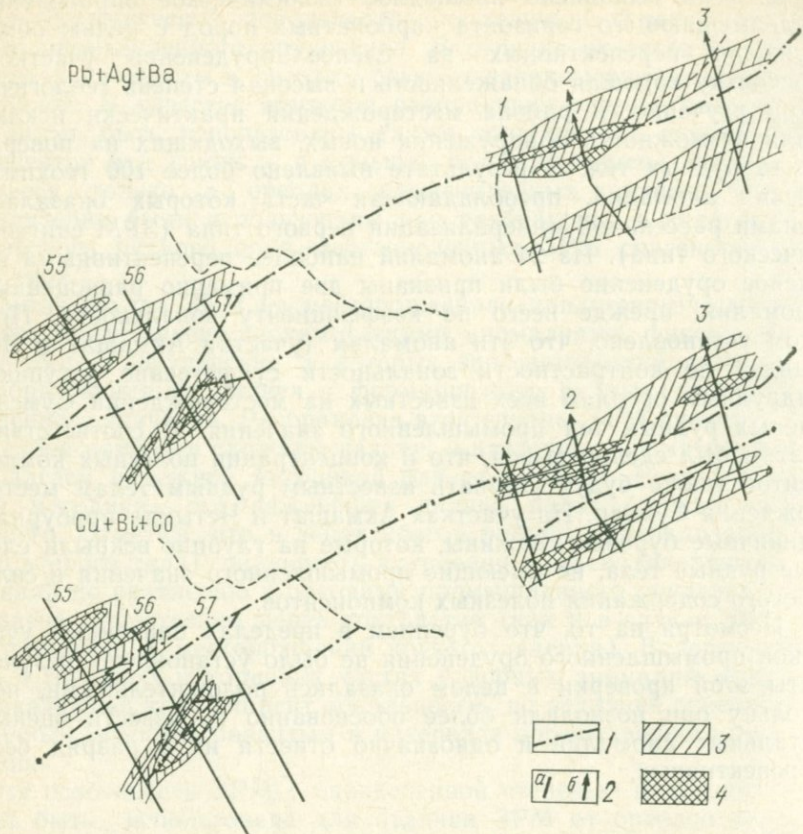


РИС. 161. Аддитивные аномалии на поверхности (участки Камазак-Булак, Мараз-Булак).

1 — разрывные нарушения; 2 — профили опробования (а — Камазак-Булак; б — Мараз-Булак); 3—4 — аддитивные аномалии (4 — поля высокой интенсивности)

выходы рудных тел с промышленными содержаниями меди и висмута.

Для оценки перспектив рудоносности глубоких горизонтов этих рудопроявлений проводилось геохимическое опробование коренных пород по профилям, направленным вкrest простира-ния зоны основного разлома (рис. 161). В результате был выявлен ряд аномалий комплекса элементов, параметры которых приведены в табл. 55 (за исключением бария, ореолы которого практически отсутствуют). Сравнение параметров выявленных аномалий с данным изучения ореолов вокруг известных месторождений показало, что по всем профилям отношения линейных продуктивностей ореолов основных элементов-индикаторов ору-денения по величине соответствуют отношениям в коренных частях медно-висмутового оруденения. На основании этих данных дана рекомендация о прекращении на этих участках разведоч-

Индикаторные отношения

Рудопроявление	Аномалия	Профиль	Ag/Cu	Pb/Cu
Камазак-Булак	I	56	0,001	0,04
		57	0,001	0,04
Мараз-Булак	III	1	0,001	0,03
		2	0,003	0,1
Эталонный разрез (медно-висмутовое оруденение):	IV	2	0,002	0,016
верхняя часть	—	—	0,01—0,04	0,3—2,5
нижняя часть	—	—	0,002	0,09

ных работ, предусмотренных в больших объемах (18 скважин со средней глубиной в 300 м). Поскольку рудопроявления отличались благоприятной геолого-структурной обстановкой и, кроме того, на поверхности установлены промышленные содержания полезных компонентов, разведочной партией были пробурены 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 происходит полное выклинивание не только оруденения, но и ореолов надрудных элементов.

Большое практическое значение вертикальной зональности первичных ореолов как критерия разбраковки рудопоявлений станет очевидным, если учесть, что значительная часть рудопоявлений представляет собой корневые части вскрытых эрозией месторождений и их надежная разбраковка является обязательным условием повышения эффективности геологоразведочных работ. Очевидно, что критерий оценки уровня эрозийного среза рудопоявлений на основе вертикальной зональности первичных ореолов должен найти широкое практическое применение. Подобная рекомендация подкреплена результатами производственной апробации этого критерия, выполненной под руководством автора. С помощью критерия вертикальной зональности первичных ореолов перспективы многих участков на глубину были оценены отрицательно. На 37 участках, несмотря

на отрицательную оценку, была проведена проверка (в основном бурение), так как на поверхности были известны промышленные руды: во всех случаях вывод о глубоком эрозионном срезе был полностью подтвержден. Одним из таких примеров является урановое рудопроявление, которое расположено 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 простирание и крутое падение на северо-запад. Мощность зоны дробления варьирует от 1 до 8 м; по простиранию прослежена до 500 м (рис. 162). 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 урана, а также его элементов-спутников — свинца и молибдена (см. рис. 162). Характерная особенность исследованного рудопроявления — чрезвычайно низкая интенсивность ореолов элементов — спутников урана. Это обстоятельство и прежде всего практически полное отсутствие ореолов свинца — 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 буровые 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.

Выше 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, как уже отмечалось, могут быть использованы результаты опробования рыхлых отложений. При этом, естественно, учитываются конкретные ландшафтно-геохимические условия исследуемых площадей и, в первую очередь, степень соответствия первичных и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов.

Опыт показывает, что для месторождений рудных формаций с количественно единой зональностью первичных ореолов, т. е.

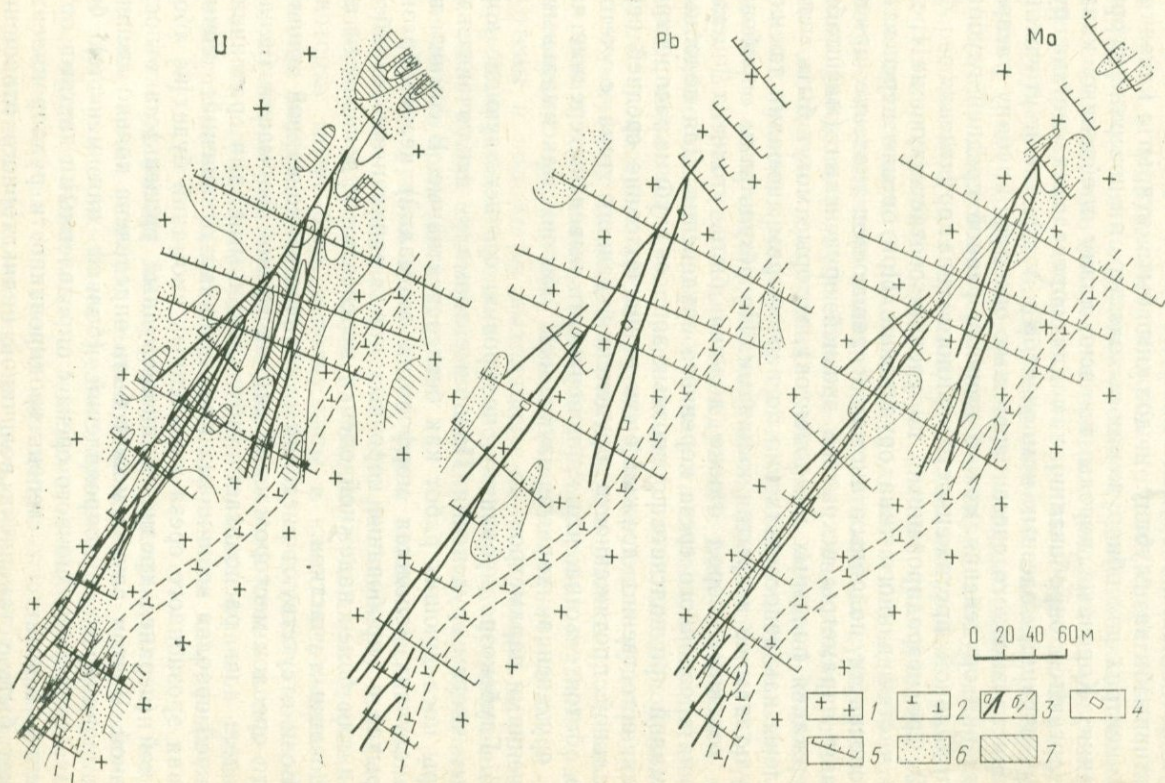


РИС. 162. Геохимические аномалии в коренных породах (поверхность участка):

1 — гранит-порфиры; 2 — диабазовые порфиры; 3 — разрывные нарушения прослеженные (а), предполагаемые (б); 4 — шурфы; 5 — профили с интервалами опробования; 6—7 — содержания элементов (7 — максимальные)

когда адекватные сечения первичных ореолов месторождений одной формации характеризуются одинаковыми величинами индикаторных отложений, гипергенные аномалии, фиксирующие рудопроявления (в условиях полузакрытых районов), с помощью критерия зональности достаточно надежно могут быть разбиты на 3 группы.

1. Слабоэродированные, по уровню соответствующие верхнерудным сечениям оруденения. Эти аномалии являются перспективными 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 компонентов и т. д.), так и уточнения уровня эрозионного среза первичных ореолов. Глубину распространения оруденения можно принять равной средней глубине вертикальной протяженности данного типа оруденения.

2. Среднеэродированные, по уровню соответствующие средним частям данного типа оруденения. При оценке перспектив рудоносности подобных аномалий решающее значение приобретают параметры вскрытого эрозией оруденения (масштабы, содержания полезных компонентов), которые могут быть установлены как непосредственно по параметрам аномалии, так и по результатам ее вскрытия канавами. По результатам опробования коренных пород также должна быть уточнена оценка 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 соответствующие корневым частям оруденения. Подобные аномалии исключаются из сферы последующих работ как бесперспективные. В сомнительных случаях (сложная морфология аномалий) целесообразно вскрытие и опробование коренных пород единичными выработками для более надежной оценки перспектив рудоносности исследованных участков.

Если отсутствуют сведения о количественно единой зональности ореолов месторождений данной рудной формации (исследователь не располагает табулированными для различных уровней ореолов величинами индикаторных отношений), оценка уровня эрозионного среза выявленных аномалий будет не абсолютной (верхне-, средне- и нижнерудный уровень), а относительной. В этом случае может быть определена только степень эродированности рудопоявлений (больше или меньше) без увязки уровня эрозионного среза с определенными частями оруденения. Кроме того, степень эродированности рудопоявлений может быть установлена величиной индикаторного отношения

и, в частности, отношением продуктивностей частных суммарных ореолов надрудных и подрудных элементов: чем меньше значение этого отношения, тем выше степень эродированности рудопроявления, и наоборот. Методическим обоснованием подобной оценки степени эродированности рудопроявлений служит факт монотонного убывания с глубиной величины индикаторного отношения в ореолах, развитых на уровне рудных тел.

Отметим, что кривые графиков изменений индикаторных отношений в надрудных частях обычно дают «перегибы», поэтому дифференциация надрудных ореолов по степени эродированности на основании величин индикаторных отношений на современном уровне развития методики интерпретации аномалий не всегда может быть надежной. Другими словами, оценка уровня эрозионного среза надрудных ореолов с помощью индикаторных отношений является альтернативной (надрудная — рудная) и дифференциальной для ореолов, развитых на уровне рудных тел.

Из изложенного выше следует важный практический вывод: для оруденения с доказанной количественно единой зональностью по величине индикаторного отношения суммарных ореолов (поскольку количественно единая зональность устанавливается только в строении суммарных ореолов) может быть оценен уровень эрозионного среза каждой отдельно взятой аномалии с конкретной привязкой к определенной части оруденения. В случае, если для исследуемого типа оруденения количественно единая зональность не установлена, критерий зональности может быть использован для сравнительной оценки глубины эрозионного среза группы фиксирующих рудопроявления геохимических аномалий и учета ее при оценке прогнозных ресурсов путем соответствующей корректировки глубины распространения оруденения. При этом, естественно, должны быть учтены и параметры выходящего на поверхность оруденения: при одинаковых уровнях эрозионного среза предпочтение отдается рудопроявлениям с максимальной продуктивностью вскрытого эрозией оруденения.

Оценка уровня эрозионного среза геохимических аномалий существенно упрощается, если они расположены на флангах известных и геохимически изученных рудных месторождений, которые могут быть использованы в качестве эталона. В качестве подобного примера рассмотрим результаты интерпретации гипергенных геохимических аномалий урана и его спутников, выявленных на одном из ближайших флангов уранового месторождения, залегающего в экстрозивных кварцевых порфирах [3].

Участок разбит многочисленными дизъюнктивными нарушениями, среди которых выделяются крупные 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 было выполнено площадное опробование элювиально-делювиальных отложений, в результате чего выявлены весьма интенсивные и широкие ореолы урана и небольшие по размерам ореолы свинца — основного индикатора верхнерудных сечений ореолов уранового оруденения данного типа. Сравнение величин отношения продуктивностей ореолов пары свинец—уран 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 опробования коренных пород, что позволило отрицательно оценить перспективы рудопроявления на глубину. Несмотря на это, рудопроявление в последующем было разведано, пройденные горные выработки зафиксировали полное выклинивание оруденения с глубиной, подтвердив тем самым оценку, данную по результатам геохимического опробования.

Выше было отмечено, что в некоторых случаях при интерпретации геохимических аномалий были использованы параметры моноэлементных ореолов, а не суммарных, хотя применение последних более надежно. Дело в том, что эти исследования проводились, когда методика построения частных суммарных ореолов еще не была разработана. Указанное обстоятельство тем не менее не меняет существа предложенных методических рекомендаций.

При рассмотрении вопросов интерпретации гипергенных аномалий основное внимание нами было уделено оценке уровня эрозионного среза гипергенных аномалий с помощью критерия зональности первичных ореолов, что не случайно, поскольку успешное решение этой задачи является важнейшим и в большинстве случаев решающим компонентом оценки перспектив рудоносности выявленных 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. 36). Как отмечалось, используя асимметрию в строении продольной зональности первичных ореолов, можно определить склонение оруденения. Западное склонение медно-висмутового оруденения отчетливо фиксируется как первичными, так и вторичными ореолами элементов-индикаторов данного типа оруденения.

Рассмотрим еще один пример определения склонения рудонесной зоны по результатам геохимических исследований, выполненных В. И. Морозовым и автором в пределах месторождения Арманис (Армянская ССР). На одном из участков этого рудопроявления в результате геохимического опробования элювиально-делювиальных отложений выявлены резко вытянутые по зоне дизъюнктивного нарушения аномалии элементов-инди-

каторов золото-сульфидного оруденения. Оценка уровня эрозийного 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 мультипликативного показателя на север, что свидетельствовало о вероятном склонении рудоносной зоны в этом направлении. Последующее опробование коренных пород на поверхности, а также керн 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 гипергенных 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.

ОБНАРУЖЕНИЕ СЛЕПОГО ОРУДЕНЕНИЯ

На стадиях разведочных работ существуют особо благоприятные условия для детального изучения первичных геохимических ореолов и использования этих данных при решении различных задач. Главная из них — оценка перспектив глубоких горизонтов и ближайших флангов разведываемых месторождений на слепое оруденение.

Из-за кулисообразного расположения рудных тел в пределах рудоносного интервала выходящее на поверхность и разведываемое в первую очередь рудное тело (рудная зона) является не единственным и обычно сопровождается слепыми телами, обнаружение и разведка которых существенно повысят эффективность разведочных работ в целом. Геохимическое опробование горных выработок и буровых скважин, пройденных при разведке известных рудоносных зон, позволит выявить первичные ореолы не только известных и разведываемых зон (для оценки их перспектив на глубину), но и установить ореолы, связанные с неизвестными слепыми рудными телами, залегающими рядом или же глубже. Другими словами, геохимическое опробование выработок и керн буровых скважин существенно увеличивает эффективный радиус их действия в результате обнаружения первичных ореолов близлежащих рудных тел.

Характерным примером являются результаты геохимического опробования коренных пород на поверхности скарново-полиметаллического месторождения Северный Курусай II (Курусайское рудное поле, Таджикская ССР). На поверхности этого участка наряду с аномалиями, фиксирующими известные выходы рудоносных зон, выявлена аномалия элементов-индикаторов без признаков рудной минерализации. Эта аномалия расположена в пределах ближайшего северо-западного фланга разведываемого месторождения и размещается в доломитах, внешне не несущих следов рудной минерализации и скарнирования. В пределах аномалии установлены повышенные содержания Ba, Sb, Ag, Pb и других элементов (см. рис. 33). Развитие элементов-индикаторов надрудных сечений ореолов полиметаллического оруденения (Ba, As, Sb, Ag) и практически полное отсутствие аномалий индикаторов подрудных сечений (Cu, Mo) указывали на надрудный характер этой аномалии, что позволило признать участок перспективным на слепое оруденение и рекомендовать его для разведки. На основании особенностей распределения элементов-индикаторов был также сделан вывод о преобладании в составе предполагаемых слепых

рудных тел свинца, более ценного компонента руд. На это указывало высокое свинцово-цинковое отношение (отношение средних содержаний на поверхности составляло 4 : 1).

Для проверки аномалий из ближайшей к участку подземной горной выработки на глубине 100 м пробурили скважину, которая рудных тел не обнаружила. Вслед за первой скважиной на этой же глубине пройдены еще две скважины, которые также не дали положительного результата. Геохимическим опробованием керн пройденных скважин установлено резкое расширение с глубиной ореолов Pb, Zn и Ag — основных компонентов руд, что позволило сделать вывод о более глубоком залегании предполагаемого оруденения. Скважина, пробуренная в соответствии с этой рекомендацией, на глубине 200 м вскрыла богатое рудное тело промышленного значения, перспективы которого на глубине, судя по значениям индикаторных отношений, значительны.

Одной из важнейших задач разведочных работ, как известно, является оценка перспектив рудоносности глубоких горизонтов месторождений и рудопроявлений, находящихся на стадии разведки. Эта задача является особенно актуальной для большинства месторождений цветных, редких и благородных металлов, характеризующихся эшелонированным расположением рудных тел по вертикали, когда с глубиной происходит выклинивание одних и появление других рудных тел. На подобных месторождениях приобретает особое значение правильная оценка перспектив глубоких горизонтов на промышленное оруденение. В решении этой важной и весьма сложной задачи трудно переоценить значение первичных ореолов. В качестве примера успешного решения такой задачи можно сослаться на изложенные в предыдущей главе результаты геохимических работ, выполненных на шведском месторождении Гарпенберг. На этом месторождении по первичным ореолам было прогнозировано появление на глубине в несколько сот метров слепого оруденения промышленного значения (см. рис. 155). В качестве критерия положительной оценки перспектив глубоких горизонтов на слепое оруденение использовали усиление с глубиной первичных ореолов надрудных элементов.

Аналогичные работы, выполненные на ртутном месторождении Агятаг, дали противоположный описанному выше результат: по данным геохимического опробования коренных рудовмещающих пород на поверхности и в подземных горных выработках установлено отчетливое выклинивание с глубиной ореолов надрудных элементов — сурьмы, мышьяка и свинца (см. рис. 22 и 24). Эти данные позволили в свое время при детальной разведке месторождения воздержаться от проходки четвертого штольневого горизонта подземных горных выработок.

Такие же результаты геохимических работ были получены на месторождении Эге-Хая. Одноименное рудное поле расположено в средней части Яна-Борулахского междуречья, которое

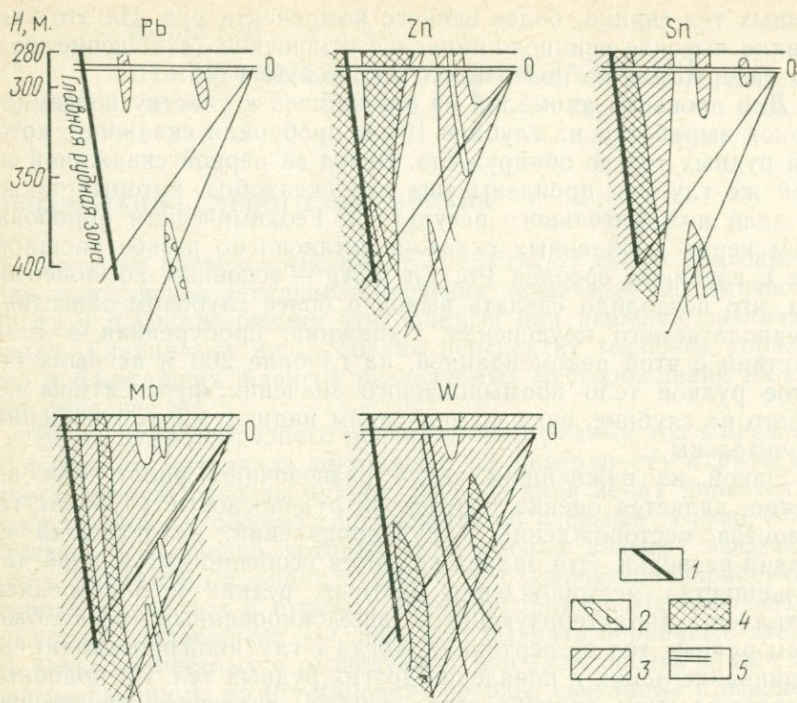


РИС. 163. Первичные ореолы элементов-индикаторов в разрезе (месторождение Эге-Хая):

1 — рудное тело; 2 — дайки долеритовых порфиритов; 3—4 — содержания элементов (4 — максимальные); 5 — опробованные подземные горные выработки и скважины

в тектоническом отношении занимает северное окончание Адычанской складчато-глыбовой подзоны Яно-Индигорской зоны Верхояно-Чукотской складчатой области (Якутская АССР). Участок месторождения сложен породами карнистского яруса верхнего триаса, представленными сланцами с редкими прослоями и линзами тонкозернистых песчаников.

Основным рудным телом месторождения является зона Главная, примыкающая с северо-восточной части к дорудному разлому — главному структурному элементу месторождения. Рудное тело представлено брекчией, состоящей из обломков сланцев и диоритовых порфиритов, цементированных кварцем, хлоритом, сульфидами и карбонатами. Рудные минералы представлены касситеритом, пирротином, пиритом, самородным серебром и висмутом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, висмутином.

На рис. 163 в разрезе изображены первичные ореолы основных элементов-индикаторов месторождения, изученных Л. Н. Бельчанской и автором. Обращает на себя внимание от-

четливая тенденция выклинивания с глубиной ореолов Pb и Zn — типичных надрудных элементов оловянного оруденения (см. гл. II, III). Одновременно с глубиной усиливаются ореолы подрудных элементов — Mo и W. Эта зональность количественно выражается в монотонном изменении с глубиной мультипликативного коэффициента геохимической зональности первичных ореолов:

Горизонты	II	V	IX	XI	XIV
Pb·Zn·Ag/Sn·Mo·Co	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 разведываемых, так и на эксплуатируемых месторождениях, как это имело место на месторождении Эге-Хая, а также на стратиформном свинцово-цинковом месторождении Сумсар (см. гл. XII).

КОРРЕКТИРОВКА НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Исследования показывают, что первичные ореолы могут быть использованы и для корректировки направления разведочных работ путем оперативного геохимического опробования горных выработок и керн буровых скважин, как и было, например, при разведке аномалий на фланге месторождения Северный Курусай II, где по результатам оперативного геохимического опробования керн первых разведочных скважин установили более глубокое залегание слепого оруденения. Не исключено, что без привлечения геохимических работ при разведке месторождения перспективность рудоносности участка может получить отрицательную оценку по результатам первых скважин, не вскрывших рудные тела.

В качестве примера корректировки разведочных работ рассмотрим результаты геохимических исследований, выполненных на месторождении Скарновья зона (Курусайское рудное поле, Таджикская ССР). Месторождение (рис. 164) располагается в зоне разлома к западу от месторождения Северный Курусай II. Оруденение локализуется в скарнах, развитых по мраморам в пределах тектонического блока между дайкой кварцевых порфиров и дацитовыми порфирами. Зона разлома на участке месторождения падает на юго-запад под углом 70—75°.

Для определения дальнейшего направления разведочных работ и перспектив рудоносности на глубину на этом горизонте

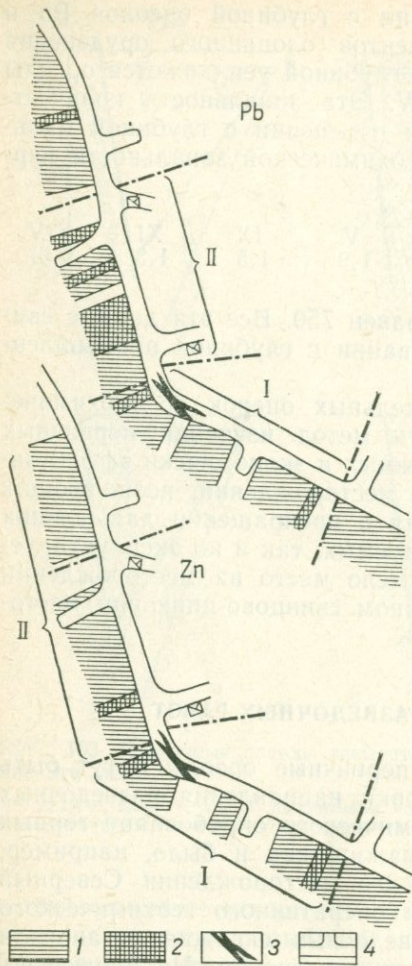


РИС. 164. Геохимические аномалии на третьем горизонте месторождения Скарновая зона (Курусайское рудное поле).

I — аномалии известного рудного тела; II — вновь выявленная (западная) аномалия. 1—2 — аномалии Pb и Zn (2 — поля повышенных содержаний); 3 — рудные тела; 4 — подземные горные выработки

были опробованы пройденные горные выработки, в результате чего установлены интенсивные ореолы элементов-индикаторов данного типа оруденения. Известное рудное тело отчетливо фиксируется аномальными концентрациями элементов. Наряду с этим на фоне общей зараженности выработок этими элементами на северо-западном продолжении известного рудного тела выявлена интенсивная аномалия свинца и ряда других элементов-индикаторов (см. рис. 164).

В табл. 56 приведены параметры аномалии, расположенной северо-западнее известного рудного тела, и для сравнения параметры ореолов, изученных вокруг слепого рудного тела Северный Курусай II (см. рис. 33). Эти данные позволили считать выявленную

аномалию надрудной и высказать предположение о наличии на глубине другого слепого рудного тела, пространственно сближенного с известным. При этом был сделан вывод о неглубоком залегании предполагаемого рудного тела, на что указывала близость величин индикаторных отношений рассматриваемой аномалии и ореолов, развитых на уровне верхних частей рудных тел эталонного разреза.

По результатам геохимического опробования перспективы известного рудного тела также были оценены положительно. Основанием этому послужили относительно высокие значения индикаторных отношений (см. табл. 56). Последующая разведка подтвердила правильность рекомендаций: штреком, пройденным на четвертом горизонте, на участке западного фланга рудного блока было вскрыто слепое рудное тело с высокими содержаниями свинца и цинка.

Отношение средних содержаний элементов в аномалиях

Аномалия	Место отбора проб	As/Zn	Ba/Zn	Pb/Zn
<i>Эталонный разрез</i>				
Надрудный срез ореолов Верхи рудных тел	Поверхность	0,30	9,73	3,6
	Скв. 64	0,08	1,34	1,4
	Скв. 65	0,01	0,12	1,5
<i>III горизонт</i>				
Западная (II) Рудного тела (I)	Штрек „	0,03 0,05	0,28 2,8	0,39 2,0

По результатам геохимического опробования штрека 3 на втором горизонте также были выявлены аномалии. Одна из них представляла собой надрудные ореолы известных рудных тел (см. рис. 164). Другая была приурочена к мраморизованным и скарнированным известнякам. Исследованиями были установлены следующие отношения средних содержаний элементов-индикаторов: As/Zn 0,1; Ag/Zn 0,008; Pb/Zn 1, что соответствует надрудным сечениям ореолов. Эти данные позволили считать вторую аномалию перспективной на слепое оруденение и рекомендовать ее к разведке. Для проверки этой аномалии из штрека четвертого горизонта были пробурены две наклонные (под углом 55—60°) скважины, которые вскрыли промышленное рудное тело.

Если разведочные выработки пройдены по простиранию рудного тела (рудоносной зоны) и отсутствуют поперечные рудному телу выработки, обычно используемые для геохимического опробования, то могут быть использованы дубликаты бороздовых проб (сплошных или секционных), отбираемые в забоях выработок по линиям, направленным вкrest простирания рудоносных зон. Эти пробы, как известно, анализируются на ограниченный круг элементов, являющихся основными компонентами руд. Поэтому наряду с применением этих анализов дубликаты проб должны быть подвергнуты спектральному анализу на широкий круг элементов, типоморфных для данного вида оруденения.

Результаты спектрального анализа являются чрезвычайно важными, поскольку именно этот анализ выявляет наиболее ценные индикаторы зональности ореолов — надрудные и подрудные элементы, содержания которых в рудных телах относительно невысоки и поэтому не представляют промышленного интереса. Опробование забоя выработок дает информацию об особенностях распределения элементов непосредственно в рудной зоне, но не позволяет оконтуривать первичные ореолы,

поэтому для оценки уровня рудоносных зон могут быть использованы только средние содержания элементов

При интерпретации результатов опробования рудоносных зон следует иметь в виду, что вследствие ураганно-высоких содержаний элементов в рудных телах (а также на участках, непосредственно примыкающих к рудному телу) и особенно чрезвычайно высокой дисперсии концентраций элементов в рудах значительны флуктуации парных индикаторных отношений. Это существенно снижает надежность их практического применения для интерпретации: предпочтительнее использование мультипликативного показателя (отношение произведений средних содержаний группы элементов-индикаторов). Как следует из табл. 57, наиболее выдержанная и контрастная зональность как для рудной зоны, так и для первичных ореолов, включающих также и рудную зону, устанавливается мультипликативным показателем (надрудные и подрудные элементы выбраны исходя из вертикальной зональности ореолов). Обращает на себя внимание почти одинаковая контрастность зональности ореолов по мультипликативному показателю. Анализ данных табл. 57 вскрывает еще одну важную деталь: в отличие от остальных пар индикаторное отношение Ag к Pb как в рудной зоне, так и в ореолах закономерной зональности не фиксирует. При этом более значительные вариации характерны для рудной зоны, что

Таблица 57

Индикаторные отношения рудной зоны и первичных ореолов месторождения Восточное

Горизонт опробования	Ag/Pb	Ag/Cu	Pb/Cu	Pb/Вl	Pb · Ag/Cu · Вl
<i>Рудная зона</i>					
Поверхность	0,42	10	24	240	2400
I	0,008	0,35	35	240	1015
III	3,5	0,19	0,06	0,33	0,063
Коэффициент контрастности	0,12	53,2	400	72,7	38090
<i>Первичные ореолы</i>					
Поверхность	0,007	0,18	21,3	215	38,7
I	0,0009	0,022	24,0	1020	22,4
II	0,0005	0,01	19,3	288	2,88
III	0,0027	0,00014	0,53	0,56	0,001
Коэффициент контрастности	2,6	1286	41,1	384	38700

Примечание. По рудной зоне использованы средние содержания элементов, а по ореолам — линейные продуктивности.

Индикаторные отношения по рудной зоне месторождения Алтын-Топкан

Горизонт опробования	Ag/Pb	Ag/Zn	Ag/Bi	Pb/Bi	Pb·Ag/Zn·Bi
I	0,005	0,0053	5,6	1130	6,6
II	0,0044	0,0075	8,6	420	3,15
III	0,0036	0,005	0,71	200	1,0
IV	0,0034	0,004	0,4	118	0,5

отражает большую изменчивость параметров рудной зоны по сравнению с ореолами. Такое изменение Ag/Pb в определенной степени закономерно и объясняется почти одинаковым поведением этих элементов, стоящих в ряду зональности близко. Поэтому становится понятным, почему редко удается установить выдержанную для многих рудных тел и месторождений зональность (в отличие от первичных ореолов). Причина в том, что для рудных тел обычно изучается зональность в распределении основных компонентов руд (в данном случае Ag и Pb), отличающихся близким распределением в пространстве и характеризующихся чрезвычайно слабоконтрастной зональностью, которую из-за значительных флуктуаций (особенно в рудных телах) не всегда удается выявить. Вот почему в практическом отношении весьма важно использование широкого круга элементов, в первую очередь тех, которые в ряду зональности значительно удалены друг от друга.

Аналогичные результаты получены на ряде других месторождений. В табл. 58, в частности, приведены значения индикаторных отношений по разрезу через Главную рудную зону скарново-полиметаллического месторождения Алтын-Топкан, изученного М. А. Zubовым и автором.

РЕВИЗИЯ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ

Далеко не все месторождения после завершения разведочных работ передаются промышленности. Во многих случаях причина этого заключается в ограниченных разведочных запасах месторождений, не обеспечивающих рентабельность их освоения. Есть все основания считать, что постановка на подобных месторождениях геохимических работ в ряде случаев позволит выявить участки, перспективные на слепые (слабоэродированные) залежи, обнаружение и разведка которых даст возможность увеличить запасы месторождений и перевести их в разряд рентабельных для промышленной отработки. К тому же низкая стоимость геохимического опробования позволяет рекомендовать широкое внедрение работ по геохимическому опробованию разведанных ранее рудопоявлений и месторождений с целью

оценки перспектив рудоносности их ближайших флангов и глубоких горизонтов.

Примером подобной геохимической ревизии разведочных работ может служить участок Промежуточный (Курсайское рудное поле), где проведенной ранее разведкой было обнаружено и в последующем отработано одиночное слепое рудное тело промышленного значения. Геохимическое опробование поверхности и скважин, выполненное много лет спустя после разведки, позволило выявить и оконтурить над этим рудным телом интенсивные ореолы Ba, As, Pb, Ag и Zn, которые имеют значительную вертикальную протяженность (для большинства элементов протяженность ореолов над слепым телом превышала 500 м).

В результате обработки данных геохимического опробования на некотором удалении от известного рудного тела была обнаружена самостоятельная полоса с аномальными содержаниями Ba, As, Pb и Ag, во многом сходная с ореолами, развитыми над известным рудным телом. По результатам опробования керна скважин установлено расширение этой аномалии с глубиной, а также увеличение ее интенсивности (см. рис. 14).

Как видно из табл. 59, величины отношений линейных продуктивностей ореолов над известным рудным телом и обнару-

Таблица 59

Линейная продуктивность первичных ореолов над известным рудным телом (I), выявленной аномалии (II) и их отношения на участке Промежуточный

Элементы	Ореолы	Среднее содержание, %	Линейная продуктивность, м %	Отношение к продуктивности ореола меди
As	I	0,001	0,0125	0,25
	II	0,001	0,013	0,25
Ba	I	0,01	0,125	2,5
	II	0,01	0,13	2,5
Ag	I	0,00004	0,0005	0,01
	II	0,00005	0,00055	0,013
Pb	I	0,003	0,0375	0,75
	II	0,004	0,206	4,0
Zn	I	0,0042	0,42	8,4
	II	0,004	0,2226	4,3
Cu	I	0,004	0,05	—
	II	0,004	0,052	—
Bi	I	0,00015	0,0019	0,038
	II	0,00015	0,00195	0,033

женной аномалией для пар As—Cu, Ag—Cu, Bi—Cu исключительно близки (расхождения не выходят за пределы точности определения исходных данных). Существенные расхождения устанавливаются только для пар Pb—Cu (завышение по новой аномалии) и Zn—Cu (занижение). В ореолах обеих полос с глубиной намечается уменьшение продуктивности для мышьяка и увеличение для остальных. Эти данные позволили сделать вывод о надрудной природе выявленной аномалии и рекомендовать ее к разведке для обнаружения слепого рудного тела. Близость известного рудного тела позволила ориентировочно определить глубину залегания предполагаемого (с допущением об идентичности геолого-структурных условий локализации рудных тел и окаймляющих ореолов).

Следует, однако, отметить, что при интерпретации аномалии существенное затруднение вызывало отмеченное выше «аномальное» поведение ореолов свинца и цинка, которое могло быть обусловлено или меньшей глубиной залегания предполагаемого рудного тела по сравнению с известными, или же его относительной обогащенностью свинцом. 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 450 м на небольшом (50 м) удалении от известного рудного тела обнаружено слепое рудное тело промышленного значения с высоким содержанием свинца (10,7 %, цинка 8,8 %).

Рассмотренные выше (см. гл. VI) результаты геохимических работ на месторождении Центральная Орлиная Горка (Рудный Кармазар) по существу также представляют собой пример ревизии ранее проведенных разведочных работ. Как было показано, геохимическое опробование коренных пород на поверхности, а также разведочных горных выработок и керн скважин подтвердили данные разведки о выклинивании с глубиной полиметаллического оруденения. Наряду с этим по результатам геохимических исследований на участке установлено (впервые для Курусайского рудного района) в практическом отношении интересное проявление медно-порфировой формации.

Другим характерным примером эффективной геохимической ревизии выполненных ранее разведочных работ служат результаты исследований, выполненных на месторождении Тырныауз. На одном из участков месторождения горными выработками, пройденными на ряде горизонтов, а также буровыми скважинами установлено отсутствие в пределах благоприятных на шелитовое оруденение скарнов рудных тел, что послужило основанием для прекращения на этом участке разведочных работ.

Последующее геохимическое опробование горных выработок и керн буровых скважин позволило выявить усиливающиеся с глубиной аномалии вольфрама, молибдена, бериллия, олова

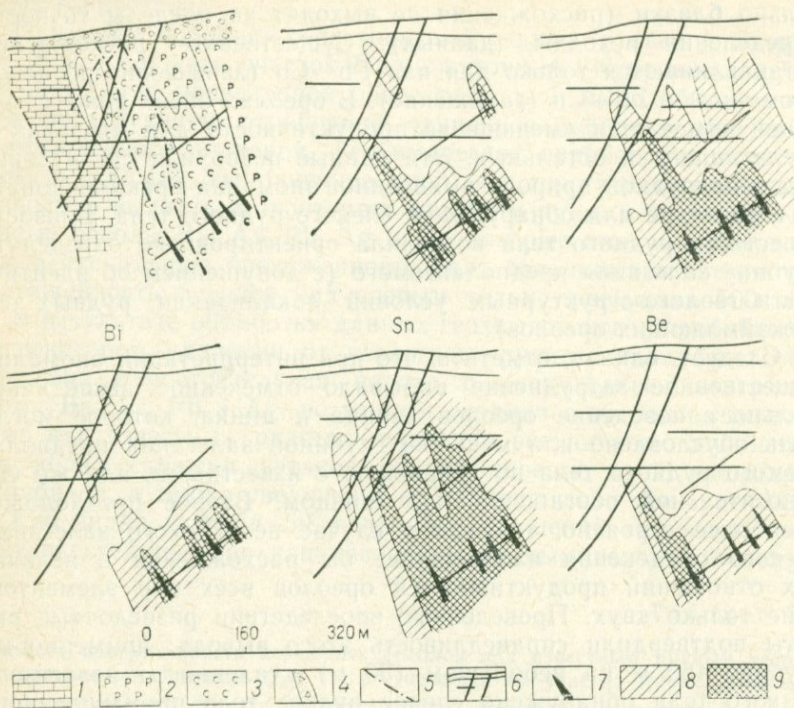


РИС. 165. Первичные ореолы элементов-индикаторов (разрез III—III месторождения Тырнауз):

1 — мраморы; 2 — роговики биотитовые; 3 — скарны; 4 — зоны дробления; 5 — дизъюнктивные 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)

и других элементов-индикаторов скарново-шеелитового оруденения (рис. 165). Это обстоятельство (особенно наличие интенсивных аномалий олова и бериллия — типичных индикаторов надрудных ореолов данного типа оруденения) позволило считать глубокие горизонты исследованного участка перспективными на слепое оруденение и рекомендовать продолжение разведки. Скважина, пробуренная в соответствии с данной рекомендацией, обнаружила на глубине 400 м слепое оруденение.

Заканчивая рассмотрение вопросов использования геохимических методов при разведке рудных месторождений, отметим, что эффективность этих работ в конечном счете определяется результатами проверки горными и буровыми работами геохимических аномалий, признанных перспективными по геохимическим данным. Опыт показывает, что во многих случаях при поисках и разведке слепого оруденения результаты проверки геохимических рекомендаций определяются не только надежностью геохимических критериев оценки геохимических анома-

лий на слепое оруденение, но и эффективностью самой проверки перспективных участков горно-буровыми работами. Имеются в виду нередко встречающиеся в практике поисковых и разведочных работ случаи, когда горные выработки и буровые скважины, особенно на начальных стадиях проверочных работ, «проскакивают» залегающие на глубине слепые рудные тела. В подобных случаях существенную помощь оказывает знание условий залегания прогнозируемого слепого оруденения. Для определения условий залегания слепого оруденения, как уже отмечалось, с успехом могут быть применены геохимические критерии, основанные на закономерной связи особенностей пространственного развития литохимических ореолов и условий залегания соответствующих рудных тел.

Для установления наличия и определения направления склонения слепого оруденения с достаточной надежностью может быть использована продольная геохимическая зональность литохимических ореолов.

Геохимическая зональность первичных ореолов оруденения позволяет установить наличие и вероятное направление не только склонения, но и падения слепого оруденения. Об этом, в частности, можно судить по характерной для наклонных рудных залежей асимметрии поперечной зональности первичных и сопряженных с ними на поверхности вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов. Указанная асимметрия поперечной зональности выражается в развитии в висячем боку рудной залежи более интенсивных (по сравнению с лежащим боком) ореолов элементов-индикаторов.

Исследованиями последних лет установлено, что для определения направления падения слепого рудного тела с успехом могут быть также использованы данные комбинированного атомолитохимического опробования перекрывающих коренные рудовмещающие породы элювиально-делювиальных рыхлых отложений, в которых в результате гипергенного разрушения первичных ореолов формируются остаточные открытые вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов.

В основе предполагаемого метода определения направления падения слепого оруденения лежит установленный детальными исследованиями факт «несовпадения» в пространстве атомохимических (газовых) и литохимических ореолов элементов-индикаторов вокруг рудных тел наклонного залегания. Благодаря строго вертикальному поднятию газовых компонентов (в данном случае паров ртути) максимум графика их распределения не будет совпадать с максимумами концентраций элементов-индикаторов, образующих вытянутые по восстанию рудного тела первичные ореолы. Очевидно, что аналогичным образом могут быть также определены наличие и вероятное направление склонения слепого оруденения.

Рудные месторождения, как известно, представляют собой одну или несколько сближенных в пространстве рудных залежей, содержащих (рентабельных для разработки в данных условиях) те или иные полезные компоненты высоких концентраций. 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 по размерам первичные ореолы значительно превосходят рудные залежи.

Изучение на стадии разведки первичных ореолов (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 на стадии разведки первичных ореолов, выяснение их параметров имеет важное практическое значение, поскольку позволяет надежно прогнозировать перспективный рост объемов добычи полезного ископаемого с вытекающими отсюда последствиями, в том числе и экологическими.

Другим важным аспектом изучения на стадии разведки особенностей состава и строения первичных геохимических ореолов является проблема комплексной разработки месторождения, под которой понимается извлечение из руд месторождения не одного, а многих типоморфных для данного месторождения полезных компонентов.

Геохимическое изучение месторождения, в том числе и исследование первичных ореолов, позволяет установить присутствие на месторождении других полезных компонентов и, что самое главное, определить уровни 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 компонентов ставит на повестку дня более детальное изучение вещественного состава месторождения: прежде всего наличие, уровни концентрации и другие особенности (формы нахождения и др.) химических элементов, сопровождающих основной извлекаемый компонент данного месторождения.

В настоящее время при геологической разведке месторождений оценка элементов-спутников обычно производится в пределах так называемых промышленных контуров руд, под которыми подразумеваются участки, в пределах которых содержание полезного компонента (обычно одного ведущего) выше какого-то граничного («бортового») содержания, ниже которого при данной конъюнктуре, а также на данном 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 немало важно, но и позволяет повысить эффективность геологической разведки месторождений прежде всего благодаря обеспечению высокой информативности результатов изучения вещественного состава месторождений и их достоверных ресурсов (имеется в виду не только основной компонент, но и широкая гамма элементов-спутников).

При оценке комплексности месторождений особенно важен учет геохимической зональности первичных ореолов (см. гл. II). Детальное геохимическое изучение месторождения, выполненное по результатам опробования на широкий круг химических элементов, позволило установить отчетливую пространственную зональность в распределении различных химических элементов: максимальные концентрации таких элементов, как сурьма и мышьяк, характерны не для рудного тела, а для надрудного участка, удаленного от рудного тела более чем на 200 м. Аналогичная картина характерна и для бария. Рудные тела характеризуются минимальными содержаниями бария (см. рис. 33): участки максимальной его концентрации значительно удалены от рудных тел. Аналогичное поведение многих других элементов установлено на других месторождениях, отличающихся от описанного как по составу, так и по условиям локализации оруденения.

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 разведки с целью выбора наиболее оптимальной системы освоения

месторождения для обеспечения ее максимальной комплексности. Рассмотренные выше примеры зональности первичных геохимических ореолов месторождений показывают также, что методика изучения элементов-спутников (или попутных компонентов) только в контурах рудных тел (окоонтуренных 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 заключение отметим, что надежное использование возможностей первичных ореолов при разведке месторождений по предложенной выше методике потребует дальнейшего совершенствования методики изучения первичных геохимических ореолов. Это совершенствование должно включать резкое расширение круга исследуемых элементов, что, в свою очередь, потребует существенного улучшения аналитической обеспеченности геохимических работ. Только тогда будут обеспечены действительно комплексное изучение и освоение месторождений.

Основной отличительной особенностью развития работ последних лет в области теории и практики геохимических поисков рудных месторождений являются разработка и внедрение в производство геологоразведочных работ геохимических методов поисков скрытого оруденения. Исключительная сложность этой проблемы обусловила необходимость привлечения для ее решения разнообразных методических подходов, развиваемых различными коллективами исследователей.

Анализ современного состояния работ в рассматриваемой области показывает, что достигнуты известные успехи в разработке научных и методических основ геохимических методов поисков слепого и слабоэродированного оруденения, базирующихся на использовании в качестве поисковых признаков сопровождающих рудные месторождения первичных ореолов и их гипергенных аналогов — вторичных литохимических ореолов рассеяния элементов-индикаторов. Комплекс геохимических критериев, основанных на особенностях состава и строения первичных ореолов месторождений соответствующих типов, успешно применяется на различных стадиях геологоразведочных работ для оценки перспектив рудоносности исследованных участков на слепое и слабоэродированное оруденение.

О высокой эффективности внедрения методики изучения первичных ореолов в производство геологоразведочных работ свидетельствуют следующие данные: с помощью рассматриваемой методики были оценены перспективы рудоносности более 2200 участков. Из них по геохимическим данным перспективными на слепое и слабоэродированное оруденение признаны не более 150 аномалий. Обращает на себя внимание достаточно высокая степень разбраковки аномалий: почти в 15 раз. Из этих аномалий горно-буровыми работами проверено 103, и в 89 случаях установлены оруденения промышленного значения (86 %). Следует также отметить, что последующими горно-буровыми работами было проверено 37 из более чем 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 были признаны слабоэродированными. Последующей проверкой на всех участках без исключения установлено резкое выклинивание с глубиной промышленного оруденения. Эти 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.

Приведенные данные об эффективности практического применения методики изучения первичных и сопряженных с ними вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов представляют собой результат многолетних работ, выполненных в различных рудных районах СССР и ряда зарубежных стран на единой методической основе.

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 таких месторождений, как стратиформные, осадочные, гидротермально-осадочные и некоторые другие. Такое положение в решающей степени определяется неравномерным охватом научно-методическими работами различных по составу и условиям формирования месторождений. При составлении приложения использована систематика месторождений полезных ископаемых, предложенная В. И. Смирновым [32]. Достаточно высокой степенью изученности характеризуется весьма ограниченное число типов месторождений: скарново-полиметаллические, галенит-сфалеритовые, оловорудные и колчеданные. Первичные ореолы многих месторождений или не изучены совсем, или же изучены крайне недостаточно. В связи с этим одним из важнейших направлений дальнейших исследований в области совершенствования методики поисков рудных месторождений по первичным ореолам элементов-индикаторов является выполнение целенаправленных опытно-методических работ по детальному изучению тех типов месторождений, первичные ореолы которых не изучены или же исследованы недостаточно.

Одним из наиболее перспективных направлений исследований, направленных на совершенствование научных и методических основ геохимических поисков слепого и слабоэродированного оруденения, является минералого-геохимическое. 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 мультипликативных коэффициентах зональности.

Приведенные в гл. VII данные представляют собой только первые результаты исследований по изучению минералого-геохимических первичных ореолов. Дальнейшее развитие этих перспективных исследований должно включать выяснение закономерностей зонального распределения элементов-примесей по возможно большему числу типоморфных для различных по составу месторождений минералов-концентраторов и минералов-

носителей. Имеющиеся данные позволяют рассчитывать на установление единой для месторождений определенных рудных формаций зональности в распределении элементов-примесей минералов, что имело бы большое практическое значение (по аналогии с зональностью первичных геохимических ореолов, выявленной по результатам анализа валовых проб).

Следует особо отметить безусловную эффективность привлечения рассмотренной выше методики минерало-геохимического изучения первичных ореолов для исследования столь важной особенности рудных месторождений, какой является стадийность рудообразования. Важное научное и практическое значение этого аспекта минералого-геохимических исследований станет очевидным, если иметь в виду, что в настоящее время первичные ореолы исследуются по результатам анализа валовых геохимических проб. При этом, естественно, фиксируется как бы суммарный конечный эффект проявления процесса рудообразования. Пользуясь подобной «свернутой» геохимической информацией, мы лишены возможности исследования ореолов, как, впрочем, и самих месторождений в их естественно-историческом развитии, в пространстве и времени, что существенно обедняет полученные результаты прежде всего в части научных основ геохимических методов поисков рудных месторождений. Очевидно, что, исследуя особенности состава, строения и пространственного развития минералого-геохимических ореолов различных стадий рудообразования (наряду с традиционным валовым геохимическим опробованием), мы сможем более полно раскрыть механизм рудо- и ореолообразования, что, в свою очередь, обеспечит более высокую эффективность использования геохимических методов при поисках и разведке рудных месторождений.

Важнейшей проблемой научно-методических разработок в области геологоразведочных работ является разработка научно обоснованных критериев количественного прогнозирования оруденения, включая и скрытое. Большое народнохозяйственное значение этой задачи очевидно, и для обеспечения ее успешного решения привлекается комплекс разнообразнейших геологических методов, включая различные модификации геофизических и геохимических методов. Потенциальные возможности геохимических методов в решении рассматриваемой проблемы значительны, и их реализация представляет собой важнейшую задачу ближайшей перспективы.

В дальнейшем основные успехи в решении проблемы количественного прогнозирования полезных ископаемых с помощью геохимических данных, по нашему мнению, будут связаны с дальнейшим детальным изучением первичных геохимических ореолов различных по составу и условиям формирования месторождений: цель этих исследований — выявление геохимических показателей, надежно коррелирующихся с масштабами оруденения, в том числе и скрытого. В настоящее время для

решения задачи количественной интерпретации первичных ореолов (определение примерных запасов слепого оруденения по параметрам первичных ореолов), как известно, используется установленная на примере гидротермальных сульфидсодержащих месторождений симбатная связь между продуктивностями на те или иные металлы рудных тел и окаймляющих их ореолов. Использование этого критерия при оценке геохимических аномалий практически стало возможным только после того, как были разработаны геохимические критерии разбраковки геохимических аномалий, представленных зонами рассеянной рудной минерализации.

Однако использование в качестве индикаторов возможного масштаба слепого оруденения величин продуктивностей аномалий не всегда обеспечивает необходимую надежность из-за следующих ограничений:

- размеры аномалий, а следовательно, и их продуктивность на те или иные элементы существенным образом определяются конкретной геолого-структурной обстановкой локализации оруденения и прежде всего физико-механическими свойствами рудовмещающих пород. Это означает, что рассматриваемый критерий может быть надежно использован только для сравнительной оценки аномалий, развитых в одних и тех же породах;

- в случае кулисного расположения рудных тел по вертикали, когда с глубиной в пределах одной и той же рудоносной зоны происходит смена одного рудного тела другим, рассматриваемый критерий недостаточен, поскольку он оценивает только вероятные запасы одного из группы рудных тел;

- продуктивность надрудных первичных ореолов, по которой производится оценка вероятных запасов слепого оруденения, характеризуется резкой изменчивостью по вертикали, и это обстоятельство существенно снижает точность количественных прогнозов.

В свете вышеизложенного становится очевидной необходимость резкого усиления научно-методических исследований, направленных на коренное совершенствование методики оценки масштаба слепого и слабоэродированного оруденения по параметрам фиксирующих прогнозируемое оруденение первичных геохимических ореолов.

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 первичных геохимических ореолов. Как уже отмечалось, будучи составной частью месторождений, первичные ореолы несут ценную информацию о механизме формирования самих 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 мы не располагаем более или менее удовлетворительной и общепринятой методикой изучения месторождений. Из-за этого встречаются большие трудности в обобщении результатов изучения месторождений, выполненных разными исследователями.

До сих пор ясности в понятиях «рудное тело» и «месторождение» нет. Одно очевидно, что эти понятия являются геолого-экономическими, поэтому их границы в общем и, в частности с первичными ореолами, являются «плавающими». В этой связи рационально было бы ввести понятие «геологическое рудное тело» («месторождение»), под которым следует понимать первичные геохимические ореолы, центры концентрации рудных элементов в пределах которых и представляют собой рудные тела в сегодняшнем их понимании. Тогда рудные тела (месторождения) будут иметь геологический смысл и объективные границы, и для них можно предложить рациональную методику их многоаспектного и количественного изучения, включая и исследование геохимических особенностей. Создание такой методики представляет собой актуальнейшую задачу ближайшего будущего.

1. Баранов Э. Н., Григорян С. В. К вопросу о механизме движения гидротермальных растворов.— Атомная энергия, 1966, № 6, с. 498—501.
2. Барсуков В. Л., Григорян С. В., Овчинников Л. Н. Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Наука, 1981.
3. Беус А. А., Григорян С. В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М., Недра, 1975.
4. Буренков Э. К., Зорин А. М. Опыт геохимического прогнозирования и поисков скрытых месторождений фосфора.— В кн.: Геохимические методы при оценке скрытого оруденения. М. (ИМГРЭ), 1981, с. 71—76.
5. Геологические критерии поисков россыпей. М., Недра, 1981.
6. Григорян С. В. Стереогеохимический метод поисков рудных месторождений.— В кн.: Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Фрунзе, ИЛИМ, 1975, с. 17—22.
7. Григорян С. В., Гольдмахер И. В. Элементы-примеси в минералах для оценки геохимических аномалий.— Разведка и охрана недр, 1983, № 2, с. 29—33.
8. Григорян С. В. Рудогенные геохимические аномалии. М., Недра, 1982.
9. Григорян С. В. Геохимические методы при поисках рудных месторождений. М., Недра, 1982.
10. Григорян С. В., Головин А. А., Федотова Г. Э. Оценка промышленной значимости прогнозируемого скрытого сульфидного оруденения.— В кн.: Оценка прогнозных ресурсов скрытого эндогенного оруденения по данным геохимических работ. М. (ИМГРЭ), 1983, с. 3—14.
11. Григорян С. В., Копин Е. М. Извлечение химических элементов методом ионоприемника с целью выявления геохимических аномалий. Препринт. М. (ИМГРЭ), 1985.
12. Григорян С. В., Морозов В. И. Вторичные литохимические ореолы при поисках скрытого оруденения. М., Наука, 1984.
13. Гундобин Г. М. Первичные ореолы рудных районов. Новосибирск, Наука, 1980.
14. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., Недра, 1983.
15. Квятковский Е. М. Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. Л., Недра, 1977.
16. Квятковский Е. М., Крицук И. Н. Количественная интерпретация вторичных литохимических ореолов рассеяния.— В кн.: Литохимические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, Наука, 1972, с. 114—125.
17. Китаев Н. А. Рудно-геохимическая зональность золотых месторождений.— В кн.: Геохимические поиски по первичным ореолам, Новосибирск, Наука, 1983, с. 36—44.
18. Левинсон А. Введение в поисковую геохимию. М., Мир, 1976.
19. Литохимические методы поисков месторождений вольфрама. Под ред. Л. Н. Овчинникова. М. (ИМГРЭ), 1975.
20. Методические рекомендации по литохимическим методам поисков колчеданных месторождений. Под ред. С. В. Григоряна. М. (ИМГРЭ), 1979.
21. Методические рекомендации по литохимическим поискам минеральных месторождений в пустынных ландшафтах аридной зоны. Под ред. С. В. Григоряна. М., ВНИИЗарубежгеология, 1983.
22. Моисеенко В. Г., Миронюк А. Ф., Зайкин И. Д. Определение уровня эрозийного среза оловорудных месторождений по первичным ореолам и данным термобарогеохимии.— В кн.: Геохимические поиски по первичным ореолам. Новосибирск, Наука, 1983, с. 107—111.
23. Овчинников Л. Н., Баранов Э. Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений.— Геол. рудн. месторожд., 1970, № 2, с. 10—24.

24. *Овчинников Л. Н., Головин А. А., Рыфтин В. М.* Особенности первичных ореолов колчеданных месторождений и их практическое значение.— В кн.: Геохимические поиски по первичным ореолам. Новосибирск, Наука, 1983, с. 4—10.

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

26. *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.

27. *Осипова Г. А.* Геохимический метод прогнозирования оловорудных месторождений. М., Наука, 1980.

28. *Рослякова Н. А., Росляков Н. А.* Эндогенные ореолы месторождений золота. Новосибирск, Наука, 1975.

29. *Рубо Г. Л.* Некоторые геохимические критерии различных эндогенных ореолов, связанных с рудными телами от зон рассеянной рудной минерализации.— В кн.: Геохимические методы при геолого-съемочных и поисково-разведочных работах. М. (ИМГРЭ), 1974, с. 23—41.

30. *Сафронов Н. И.* Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., Недра, 1971.

31. *Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. М., Недра, 1976.

32. *Соловов А. П.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1985.

33. *Соловов А. П., Матвеев А. А.* Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Изд-во МГУ, 1985.

34. *Сочеванов Н. Н., Горелова Е. К.* Расчеты и методы изображения геохимической зональности по центрам тяжести продуктивности элементов.— В кн.: Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках. М. (ИМГРЭ), 1975.

35. *Таусон Л. В.* Теория геохимических полей и геохимические поиски месторождений полезных ископаемых.— В кн.: Проблемы прикладной геохимии, Новосибирск, Наука, 1983, с. 5—19.

36. *Федотова Г. Э., Оганесян Р. Г., Свиридов А. М.* Особенности состава и строения первичных геохимических ореолов медно-порфировых месторождений.— В кн.: Геохимические поиски по первичным ореолам, Новосибирск, Наука, 1983, с. 101—103.

37. *Хорин Г. И., Мясников И. Ф., Сайгаков А. Н.* Опыт оценки геохимических аномалий, обусловленных зонами рассеянной минерализации.— В кн.: Геохимические методы при геолого-съемочных и поисково-разведочных работах. М. (ИМГРЭ), 1974, с. 41—51.

38. *Шило Н. А.* Основы учения о россыпях. М., Наука, 1981.

39. *Barnes H. L., Lavery N. G.* Use of primary dispersion for exploration of Mississippi Valley-type deposits.—J. Geochem. Explor. 1979, v. 8, p. 105—115.

40. *Boyle R. W.* The use of major elemental ratios in detailed geochemical prospecting utilizing primary halos.—J. Geochem. Explor. 1974, v. 3, p. 345—369.

41. *Cameron E. M., Siddeley G., Durham C. C.* Distribution of ore elements in rocks for evaluation ore potential: Nickel, copper, cobalt and sulphur in ultramafic rocks of the Canadian Shield.—Geochem. Explor. CIM Spec. 1971, v. 11, p. 298—313.

42. *Ford J. H.* A chemical study of alteration at the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea.—Econ. Geol. 1978, v. 73, p. 703—720.

43. *Franklin J. M., Kasarda J., Poulsen K. H.* Petrology and chemistry of the alteration zone of the Mattabi massive sulfide deposit.—Econ. Geol. 1975, v. 70, p. 63—79.

44. *Govett G. J., Nichol I.* Lithochemistry in mineral exploration.— In: Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores.—Geol. Surv. Canada Econ. Geol. Rpt 31, 1979.

45. *Hawkes H-E.* The early days of exploration geochemistry.—*J. Geochem. Explor.* 1976, v. 6 (1/2), p. 1—11.
46. *Krauskopf K.* Introduction to geochemistry. McGraw Hill, 1979.
47. *Levinson A. A.* Introduction to exploration geochemistry. The 1980 Supplement. Appl. Publ. Ltd., Wilmette, USA, 1980, p. 615—924.
48. *Lovering T. G., McCarthy J. H.* Conceptual models in exploration geochemistry. The Basin and Range Province of the western United States and northern Mexico.—*J. Geochem. Explor.*, 1978, v. 9, p. 113—276.
49. *Rose A. W., Hawkes H. E., Webb J. S.* Geochemistry in mineral exploration. Academic Press, 1979.
50. *Siegel F. R.* Applied Geochemistry. A Wiley-interscience Publ., USA, 1974, p. 353.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Глава I. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ	7
Опробование	8
Анализ проб	13
Оконтуривание первичных ореолов	20
«Усиление» ореолов	20
Зональность ореолов	31
Глава II. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ	46
Элементный состав	46
Размеры и интенсивность	47
Морфология	51
Зональность	58
Ореолы выноса химических элементов	106
Зоны рассеянной рудной минерализации	115
Глава III. ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ	132
Магматические месторождения	132
Пегматитовые месторождения	152
Карбонатитовые месторождения	160
Скарновые месторождения	166
Альбитито-грейзеновые месторождения	178
Гидротермальные месторождения	184
Колчеданные месторождения	197
Глава IV. ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ	199
Месторождения фосфоритов	199
Россыпные месторождения	202
Глава V. ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ	205
Месторождение Уруп	205
Месторождение Уч-Кулак	210
Глава VI. ПОЛИФОРМАЦИОННЫЕ ОРЕОЛЫ	216
Глава VII. ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ	240
Анализ тяжелых фракций геохимических проб	240
Элементы-примеси в минералах	244
Околорудные изменения пород	258
Глава VIII. ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ	263
Первичные ореолы — индикаторы генезиса месторождений	263
Первичные ореолы при изучении геологического строения месторождения	279

Глава IX. МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ	288
Выявление геохимических аномалий	288
Определение формационной природы аномалий	290
Оценка уровня эрозионного среза аномалий	292
Разработка зон рассеянной рудной минерализации	294
Оценка масштаба оруденения	294
Глава X. ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА	316
Дезинтегрированные первичные ореолы	316
Связь первичных и вторичных ореолов	327
Глава XI. ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ	334
Открытые районы	334
Полузакрытые районы	337
Закрытые районы	343
Глава XII. ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ПРИ ПОИСКАХ	348
Поиски слепого оруденения	348
Разработка зон рассеянной рудной минерализации	368
Оценка рудопроявлений	375
Глава XIII. ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ПРИ РАЗВЕДКЕ	384
Обнаружение слепого оруденения	384
Корректировка направления разведочных работ	387
Ревизия ранее проведенных работ	391
Комплексное освоение месторождений	396
Заключение	399
Список литературы	404

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Сергей Вагаршакович Григорян

ПЕРВИЧНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Редактор издательства *Н. В. Венгерцева*
 Переплет художника *К. В. Голикова*
 Художественный редактор *Г. Н. Юрчевская*
 Технический редактор *Л. А. Мурашова*
 Корректор *И. Н. Таранева*

ИБ № 6172

Сдано в набор 11.09.86. Подписано в печать 28.01.87. Т-06313. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 25,5. Усл. кр.-отт. 25,5. Уч.-изд. л. 27,6. Тираж 2700 экз. Заказ 675/508-1. Цена 1 р. 70 к.

Орден «Знак Почета» издательство «Недра»,
 125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6.

1р. 70 к.

4958

НЕДРА