

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ПРИ ПОИСКАХ  
ЭНДОГЕННЫХ РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**МОСКВА 1973**

АКАДЕМИЯ НАУК      МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ  
СССР                              СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ  
И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ  
«НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ПРИ ПОИСКАХ  
ЭНДОГЕННЫХ РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1233

МОСКВА — 1973



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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:  
С. В. ГРИГОРЯН (зам. гл. редактора),  
А. М. ЗНАМЕНСКИЙ, М. Ф. КУЗИН,  
И. Н. РЕЗНИКОВ, В. З. ФУРСОВ

---

© Институт минералогии, геохимии  
и кристаллохимии редких элементов

---

Н. А. ВИНОГРАДОВА, С. В. ГРИГОРЯН

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ

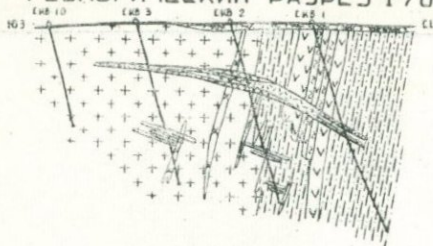
Особенности первичных геохимических ореолов редкометальных пегматитов рассматриваются в статье на примере одного из месторождений, где они изучались по вертикальным разрезам, ориентированным вкрест простирания пегматитовых жил. Пробы отбирались из керна скважин методом пунктирной борозды (Григорян, Янишевский, 1968) с интервалом опробования в среднем 2 м.

Залегающие согласно амфиболитовые, тремолит-актинолитовые, биотито-гранатовые и другие разновидности сланцев, амфиболиты, гранодиориты и ультрабазиты прорываются различными по мощности и морфологии, как полого-, так и крутопадающими телами редкометальных гранитных пегматитов. Морфология тел и их условия залегания сложные. Экоконтактные изменения в зальбандах выражены в интенсивном ослюдении, холмквиститизации и турмалинизации пород.

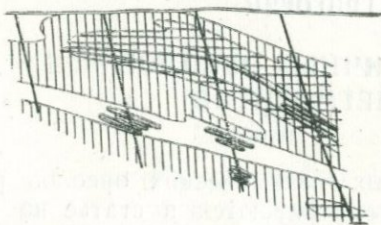
По составу выделяются существенно альбитовые и микроклин-сподумен-альбитовые пегматиты. Зональность в них асимметричная, весьма нечеткая; развитие зон, связанных постепенными переходами, неравномерное.

В пегматитах альбитового типа преобладают зоны альбитового, кварц-мусковит-альбитового и кварц-альбитового состава. Подчиненную роль играют сподумен- и микроклинсодержащие зоны. В микроклин-сподумен-альбитовых пегматитах существенную роль играют кварц-сподуменовая и кварц-сподумен-альбитовая зоны. Для обоих типов пегматитов характерно смещение кварцевого ядра в сторону висячего бока. Во всех зонах отмечена акцессорная редкометальная минерализация, представленная тапиолитом, танталитом, колумбитом, сподуменом, бериллом, холмквиститом, турмали-

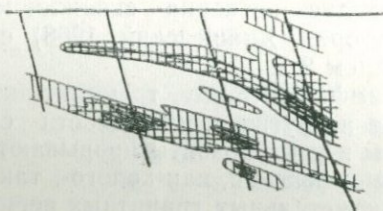
# ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ 1-70



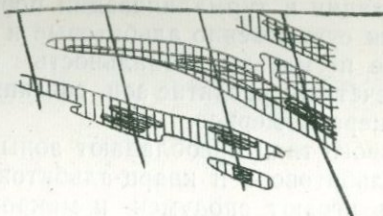
Li



Rb



Cs



15 0 30 60 м

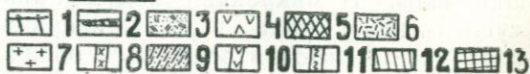
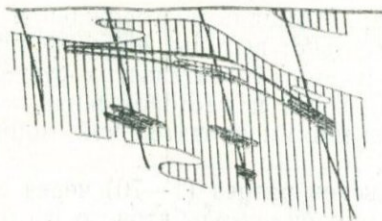


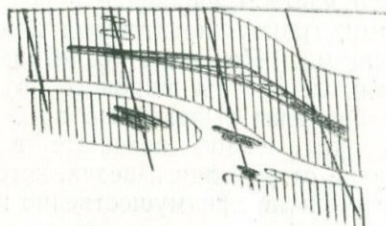
Рис. 1. Первичные геохимические ореолы химических элементов по разрезу 1—70.

1 — скважины, их номера; 2 — почвенно-растительный слой; 3 — кварц-

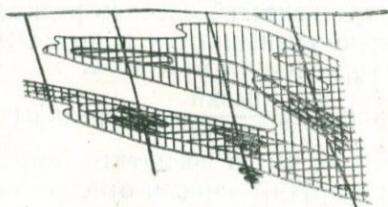
К



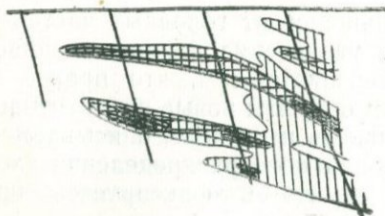
Na



B



Ta



мусковитовый пегматит; 4 — кварц-альбит-микроклиновый пегматит; 5 — зона блокового микроклина; 6 — зона сахаровидного альбита; 7 — гранодиориты разгнейсованные; 8 — амфиболиты; 9 — сланцы битовит-гранатовые, гранат-биотитовые, амфибол-биотитовые; 10 — оливково-серпентино-тремолитовые породы; 11 — сланцы хлорит-актинолитовые. Содержание в %: 12 — литий 0,006—0,02; рубидий, цезий 0,005—0,01; калий, натрий 1,0—5,0; бор 0,001—0,01; тантал 0,0010—0,005; 13 — литий больше 0,02; рубидий, цезий больше 0,01; калий, натрий больше 5,0; бор больше 0,005; тантал больше 0,005

ном, апатитом и др. Площадь месторождения обнажена крайне неудовлетворительно: выходы коренных пород на поверхность единичны и это обстоятельство существенно затрудняет поиск рудных тел и месторождений, перекрытых аллохтонными отложениями значительной мощности (местами более 10 м).

На рис. 1 приведен разрез (1—70) через пегматитовое тело существенно микроклин-альбитового состава со сподуменом, которое залегает преимущественно в гранодиоритах. В северо-восточной части вмещающие породы представлены биотит-гранатовыми, гранат-биотитовыми и амфибол-гранат-биотитовыми сланцами. По всем исследованным разрезам установлены первичные ореолы широкого круга элементов.

На рис. 1 изображены выявленные по данному разрезу ореолы лития, рубидия, цезия, развитые в гранодиоритах и сланцах. В отличие от рубидия и цезия, которые концентрируются в пегматите, литий преимущественно концентрируется во вмещающих породах, где его содержание в 2—4 раза больше, чем в пегматите. Как следует из табл. 1, парные отношения линейных продуктивностей ореолов редких щелочей друг к другу закономерно уменьшаются к корневым частям пегматитовой жилы и ореолов.

Изменения отношения  $\frac{\text{цезий}}{\text{литий}}$  в первичных ореолах в десятки раз контрастнее, чем в пегматите (см. табл. 1). То же самое относится и к другим парным отношениям (литий к рубидию, рубидий к цезию).

Наиболее контрастно меняется отношение  $\frac{\text{литий}^2}{\text{рубидий-цезий}}$ , закономерно уменьшаясь от головных частей ореолов к корневым. Некоторое увеличение данного отношения висячем боку по скв. 1 объясняется тем, что правее этой скважины впоследствии были открыты новые пегматитовые тела, ореолы которых, накладываясь на ореолы описываемой жилы, «искажают» картину зонального распределения элементов в ореолах висячего бока, что и фиксируется приведенными в табл. 1 данными.

В отличие от этого, лежащий бок характеризуется монотонным и весьма контрастным (более 1000 раз) изменением величины рассмотренного отношения. По пегматитовому телу эта зональность практически отсутствует: величина параметра

$\frac{\text{литий}^2}{\text{рубидий-цезий}}$  по исследованным скважинам меняется (по

Величины отношений линейных продуктивностей ореолов

Индикаторные отношения	№ скважины		
	3—70	2—70	1—70
<b>Висячий бок</b>			
Литий/цезий	116	14,4	11,6
Литий/рубидий	23	3,3	7,5
Рубидий/цезий	5	4,4	1,6
Литий <sup>2</sup>			
Рубидий-цезий	2668	42	81,2
<b>Лежачий бок</b>			
Литий/цезий	512	281	11,9
Литий/рубидий	83	5,4	3,9
Рубидий/цезий	6,2	52,3	3,1
Литий <sup>2</sup>			
Рубидий-цезий	42496	1405	46,5

Таблица 2

Величины отношений линейных продуктивностей пегматита

Индикаторные отношения	№ скважины		
	3—70	2—70	1—70
Литий/цезий	2,7	1,4	1,5
Литий/рубидий	0,59	0,05	0,43
Рубидий/цезий	4,7	29,5	3,3
Литий <sup>2</sup>			
Рубидий-цезий	1,6	0,07	0,6

падению тела): 1,6—0,7—0,6 (табл. 2). Эти данные показывают, что в отношении зональности ореолов редких щелочей в данном случае первичные ореолы по сравнению с пегматитовыми телами являются существенно более информативными. Бор также образует широкие ореолы, достигая максимальной ширины в скв. 1.

Калий и натрий образуют широкие, но слабо контрастные ореолы (см. рис. 1). Как следует из табл. 3, отношение средних содержаний натрия и калия в ореолах и пегматите с глубиной закономерно уменьшается.

В отличие от редких щелочей, зональность пегматита по калию и натрию по сравнению с первичными ореолами является более контрастной (см. табл. 3).

Таблица 3

Отношение средних содержаний натрия к калию в ореолах и пегматите

	№ скважины			Коэффициент контрастности
	3—70	2—70	1—70	
Висячий бок	4,4	4,1	1,0	4,4
Лежачий бок	3,3	3	1	3,3
В пегматите	3,6	2	0,2	18

Ядерно-физическим методом (инструментально-активационный анализ) выявлен ореол тантала (см. рис. 1), который, подобно ореолам редких щелочей и бора, постепенно расширяется к корневым частям пегматита, достигая максимальной ширины в скв. 1—70.

Такие элементы, как ниобий, бериллий, олово, образуют более узкие ореолы по сравнению с ореолами редких щелочей (рис. 2). В табл. 4 приведены величины отношений линейных продуктивностей ореолов этих элементов.

Остальные элементы: галлий, германий, фосфор и др., — ореолов практически не образуют (см. рис. 2).

Как следует из табл. 4, отношения олово/бериллий и олово/ниобий несколько повышены в головной части первичных

Таблица 4

Величины отношений линейных продуктивностей ореолов и пегматита

Отношения элементов	№ скважины		
	3—70	2—70	1—70
Висячий бок			
Sn/Be	0,75	0,06	0,2
Sn/Nb	1,1	1,2	0,2
Be/Nb	1,5	20	1,5
Пегматит			
Sn/Be	8,3	1,1	1,8
Sn/Nb	12,5	6,9	2,2
Be/Nb	1,5	6	1,2

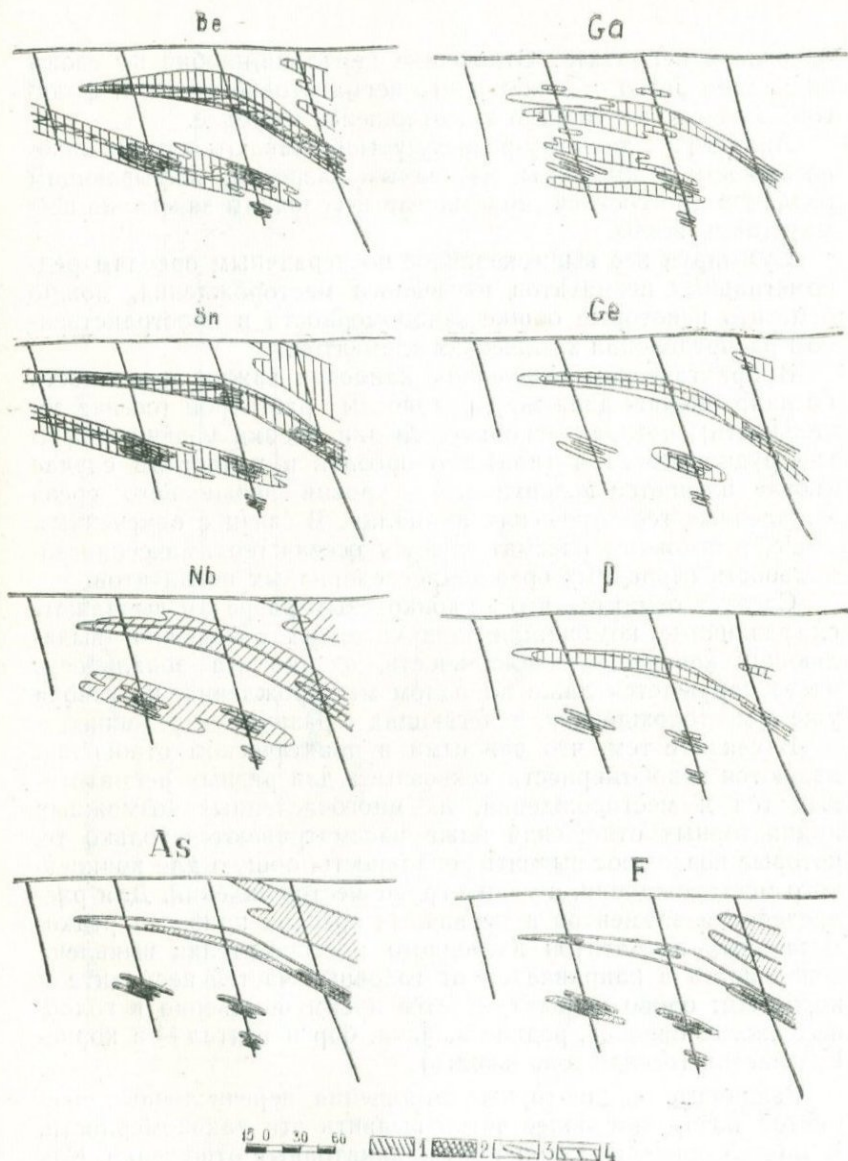


Рис. 2. Первичные геохимические ореолы химических элементов  
 Содержание в %: 1 — бериллий 0,001—0,01; олово 0,0005—0,01; ниобий  
 больше 0,0003; мышьяк больше 0,06; галлий больше 0,001; германий боль-  
 ше 0,001; фосфор больше 0,01; фтор больше 0,001; 2 — бериллий, олово  
 больше 0,01; 3 — границы пегматитовых тел; 4 — скважины

ореолов и пегматита. Отношение бериллий/ниобий по своим значениям резко отделяет центр пегматитовой жилы от флангов; особенно контрастно это отношение в ореоле.

Аналогично данному разрезу устанавливаются те же закономерности и по другим изученным разрезам, вскрывающим различные по составу, морфологии и условиям залегания пегматитовые жилы.

Суммируя все вышесказанное по первичным ореолам редкометальных пегматитов изученного месторождения, можно отметить некоторые общие закономерности в пространственном распределении химических элементов.

В практическом отношении наиболее важна зональность по направлению движения рудоносных растворов (осевая зональность), которая используется для оценки уровня вскрытия рудного тела и (или) его ореолов и в частном случае (когда изучается поверхность) — уровня эрозивного среза выявленных геохимических аномалий. В связи с отмеченным выше, в основном рассматривается осевая геохимическая зональность первичных ореолов исследованных пегматитов.

Следует отметить, что по конкретным разрезам выявляются различные комбинации индикаторных отношений, выявляющих контрастную зональность, однако эта зональность часто нарушается даже на одном месторождении, не говоря уже о месторождениях, залегающих в различных условиях.

В связи с тем, что важными в практическом отношении являются закономерности «сквозные» для разных пегматитовых тел и месторождений, из многочисленных возможных индикаторных отношений ниже рассматриваются только те, которые позволяют выявить зональность, общую для конкретного месторождения, а также групп месторождений. Для распределения элементов в первичных ореолах привноса редкометальных пегматитов изученного месторождения выявлена зональность в направлении от головных частей пегматита к корневым: олово концентрируется преимущественно в головных частях ореолов, редкие щелочи, бор и тантал — в корневых частях (осевая зональность).

Различные индикаторные отношения перечисленных элементов позволяют более четко выявить эти закономерности. В табл. 5 приведены величины индикаторных отношений. Как следует из этой таблицы, отношение продуктивностей ореолов олова и бора закономерно уменьшается к корневым частям пегматита. Аналогичная по направленности зональность устанавливается в строении ореолов редких щелочей: для лежа-

Отношения продуктивности первичных ореолов пегматитовой жилы «Нижняя»

Отношения продуктивностей	№ скважины								
	разрез I—70			разрез II—70				разрез IV	
	3	2	1	7—70	4—70	5—70	6—70	34	24-п

Висячий бок

$\frac{\text{Sn/B}}{\text{Rb} \cdot \text{Cs}}$	0,03	0,008	0,0004	—	20	70	0,05	0,04	0,02	0,01
$\frac{\text{Li}^2}{\text{Rb} \cdot \text{Cs}}$	2668	42	81,2	—	2000	11	10000	130	40	1600

Лежачий бок

$\frac{\text{Li}^2}{\text{Rb} \cdot \text{Cs}}$	42496	1405	46,5	25,7	22,8	0,05	—	5,0	0,4	0,2
---	-------	------	------	------	------	------	---	-----	-----	-----

\* Прочерк означает, что первичные ореолы элементов в данной скважине не выявлены.

чего бока наблюдается монотонное убывание указанной величины, тогда как в висячем боку в крайней части разреза наблюдается ее резкое повышение. Как отмечалось выше, при описании ореолов, причина этого заключается в появлении на продолжении разрезов в висячем боку известного пегматита новых тел. Табл. 5 показывает, что индикаторное отношение литий<sup>2</sup>

$\frac{\text{рубий} \cdot \text{цезий}}{\text{олово}}$  чрезвычайно чувствительно к появлению новых кулисно расположенных пегматитовых тел, точнее к обнаружению «сложных» ореолов, образовавшихся в результате наложения ореолов, связанных с различными рудными телами, в данном случае — надрудных ореолов вновь открытой пегматитовой жилы с средненижнерудными ореолами. В отличие от этого, индикаторное отношение  $\frac{\text{олово}}{\text{бор}}$  не реагирует на появление новых рудных тел — его монотонное изменение не нарушается (см. табл. 5). Объяснение следует искать по всей вероятности в том, что ореолы олова по размерам невелики и поэтому его ореолы, развитые на продолжении новой пегматитовой жилы (по восстанию), не были вскрыты крайними скважинами исследованных разрезов, в отличие от ореолов редких щелочей, обладающих более значительными размерами.

Описанная выше зональность первичных ореолов, выявленных с помощью приведенных в табл. 5 индикаторных отношений, подтверждается по всем исследованным разрезам.

Приводимые данные позволяют на настоящей стадии наших познаний рекомендовать рассмотренные выше индикаторные отношения в качестве критерия относительного уровня доступных для изучения редкометалльных пегматитов и их первичных ореолов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Виноградова Н. А., Григорян С. В., Розенберг Д. Ш. Редкие щелочи как индикаторы скрытого оруденения. В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», вып. 2. Изд. ИМГРЭ, 1971.

Виноградова Н. А., Григорян С. В., Егоров А. П. Первичные ореолы редкометалльных пегматитов докембрия и их практическое применение. В сб. «Геохимические методы поисков рудных месторождений в докембрии». Апатиты, 1972.

Григорян С. В. Об использовании корреляционного анализа для интерпретации данных геохимического опробования. — Геология рудных месторождений, 1965, № 4.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1968.

## МИГРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ПОИСКИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Известно, что формирование гидротермальных месторождений связано с мобилизацией и переносом рудного вещества, а также последующим отложением его в благоприятных геолого-структурных условиях.

При восходящем движении растворы претерпевают значительные превращения, обусловленные понижением температуры, давления и изменением окислительно-восстановительного потенциала. Изменение термодинамических и физико-химических условий на пути движения растворов приводит к осаждению различных минеральных ассоциаций в определенных интервалах рудной зоны и к последовательному размещению химических элементов, участвующих в процессе рудообразования.

Миграционная способность, а следовательно и отложение каждого элемента в рудной зоне, будут зависеть от многих причин и могут быть определены формулой:

$$L = f(t, p, pH, Eh, n, C, r, \omega, d), \quad (1)$$

где:  $L$  — интервал, в котором происходит выпадение данного элемента из раствора;  $t$  — температура;  $p$  — давление;  $pH$  — кислотность раствора;  $Eh$  — окислительно-восстановительный потенциал;  $n$  — параметр, характеризующий химический состав раствора;  $C$  — содержание данного элемента;  $r$  — ионный радиус;  $\omega$  — валентность;  $d$  — параметр, характеризующий физико-химические свойства вмещающих пород.

Перечисленными факторами не исчерпывается перечень действующих причин, но и они дают представление о сложности процесса рудообразования и свидетельствуют о практической невозможности обнаружения двух совершенно идентичных месторождений.

## Вертикальная зональность гидротермальных месторождений

Ряд Эммонса	Ряд Ферсмана	Ряд Саукова	Обобщенная универсальная зональность Овчинникова и Григоряна	Месторождение Шубинское	Месторождение Габриэль	Месторождение Чатыркуль	Месторождение Коунрад
Ba	Киноварь (Hg) параген 0,7	Hg	Sb	Hg	Hg	Ba	As
Hg	Барит (Ba) » 0,7	As	As	Ba	As	Hg	Sr
Sb	Антимонит (Sb) » 0,7	Sb	Ba	Cd	Pb	Cd	Ba
Ag	Флюорит (F) » 0,9	Te	Ag	As	Ga	Bi	Hg
Au	Галенит (Pb) » 1,4	Au	Pb	Cu	Zn	Cu	Sn
Pb	Комплексы с $Sb_2S_3$ » 1,3—1,1	U	Zn	Zn	Ag	Mo	W
Zn	и $As_2S_3$ (SbAs)	As	Cu	Pb	V	Pb	Cu
Cu	Кальцит (Ca) » 1,5	Sb	Bi	Mo	Vb	Zn	Mo
Au	Сфалерит (Zn) » 1,7	Bi	W	As	Cu	As	Ag
As	Халькопирит (Cu) » 2,4	Pb	Mo	Co	Co	Ag	Bi
Bi	Шеелит (W) » 2,0	Zn	Sn	Ag	Mo	Sn	Pb
Mo	Пирит (Fe) » 2,9	Cu	Co				Co
W	Арсенопирит (As) » 3,3	As	Ni	Bi	U		Zn
	Вольфрам (W) » 3,5	Au					
	Касситерит (Sn) » 3,7	W	Be	Sn			
Sn	Молибденит (Mo) » 3,9	Bi					
		W					
		Sn					
		Mo					

Закономерное распределение химических элементов в пределах месторождения принято называть геохимической зональностью его. Близкой к ней является зональность рудного узла, под которой подразумевается закономерная смена рудных формаций по мере удаления от металлоносного интрузива. И, наконец, выделяются более крупные подразделения: зональность рудных регионов или провинций и планетарная зональность.

Не останавливаясь на последних двух, рассмотрим кратко зональность рудных узлов и месторождений, имеющую исключительно важное значение при поисках гидротермальных месторождений.

Зональность рудных узлов впервые развернутое толкование получила в работах Эммонса (1933), в основе теории которого лежат представления о постепенном изменении характера рудных растворов в пространстве и «последовательном осаждении из растворов, по мере движения их в области более низких температур и давления».

Теория Эммонса хорошо иллюстрировалась закономерным расположением месторождений различных металлов вокруг интрузии в Корнуэльском рудном районе, где по мере удаления от рудоносных гранитоидов высокотемпературные оловянно-вольфрамовые месторождения сменялись медными, полиметаллическими и низкотемпературными — сурьмяными.

Последовательность выделения рудообразующих элементов в схеме Эммонса приведена в таблице (графа 1).

Эта теория впоследствии была подвергнута критике со стороны советских и зарубежных ученых, и в первую очередь С. С. Смирнова (1946), А. П. Соловова и др. (1971). Последний, не отвергая фактора постепенного изменения рудоносных растворов, считал, что решающее значение в зональном распределении гидротермальных месторождений и типов руд имеет пульсационный характер (стадийность) рудного процесса и роль фациальных условий формирования рудномагматических комплексов. Основным противоречием теории Эммонса С. С. Смирнов считал то, что она предполагает «известную непрерывность в образовании различных формаций, различных зон суммарной рудной серии», между тем как в природе эта непрерывность отмечается крайне редко и скорее является исключением, а не правилом. Обычно в рудных районах «с утомительным однообразием развиваются примерно две-три зоны эммонсовского ряда», при этом оруденение по падению выклинивается, а не сменяется более высокотемпературными разностями.

По мнению С. С. Смирнова (1946), ряд Эммонса является агломератом нескольких рядов, отвечающих главнейшим типам специализированных интрузий.

Тем не менее, зональное построение Эммонса имело и имеет многочисленных сторонников. Так, А. Е. Ферсман аналогичный ряд последовательности кристаллизации сульфидов выводит в связи с уменьшением парагенов (см. таблицу, графа 2).

А. А. Сауков (1966), обобщая данные Линдгрена, Эммонса, Ниггли, Ферсмана и других, приводит следующую последовательность кристаллизации минералов гидротермальных жил из условно единого раствора:

Молибденит	Сфалерит
Пирротин	Галенит
Касситерит	Сульфосоли висмута
Висмут самородный	Сульфосоли сурьмы
Висмутовый блеск	Сульфосоли мышьяка
Шеелит	Уранинит
Самородное золото I	Самородное золото II
Арсенопирит	Теллуриды
Пирит	Антимонит
Халькопирит	Реальгар
Станнин	Аурипигмент
	Киноварь.

А. А. Сауков отмечает, что полностью эта последовательность ни на одном месторождении не представлена, в ней лишь идеализирована наиболее часто встречающаяся закономерность.

В последнее десятилетие, в связи с поисками глубокозалегающих руд, различными исследователями в больших объемах проводилось изучение первичных ореолов эндогенных месторождений (Горжковский, Козеренко, 1965; Григорян, Янишевский, 1968; Карцов, Бугров, 1971; Малахов, 1968; Овчинников, Григорян, 1970; Смирнов, 1957; Соловов и др., 1971). При этом применение массового высокочувствительного спектрального анализа с последующей обработкой результатов методом математической статистики позволили с большой надежностью выявлять геохимическую зональность в пределах месторождений и отдельных рудных залежей. В процессе этих работ выяснилось, что независимо от типа оруденения первичные ореолы создавались примерно одним и тем

же комплексом элементов (естественно, соотношения их были различными), а порядок их расположения снизу вверх в общих чертах соответствовал эммонсовской зональности. Причем, если внутри ряда наблюдались некоторые смещения отдельных элементов, то крайние члены его занимали строго определенное положение: ртуть, барий и сурьма преимущественно накапливались в верхних, а олово, вольфрам и кобальт — в нижних горизонтах месторождений.

Л. Н. Овчинников и С. В. Григорян (1970) на основании изучения большого количества объектов предполагают обобщенную зональность гидротермальных месторождений (см. таблицу, графа 4), которую они также называют универсальной. Однако, как видно из приводимой таблицы, на ряде месторождений наблюдаются значительные отклонения от этой схемы. Действительно, из формулы (1) следует, что зональность может быть универсальной, если отложение каждого элемента будет зависеть только от температуры и давления, т. е. если все месторождения будут находиться в одинаковых геолого-структурных условиях и образовываться из единого идеального раствора.

Признавая решающую роль температуры и давления в процессе кристаллизации минералов из гидротермальных растворов, нельзя отрицать, что влияние остальных перечисленных факторов приведет к отклонениям от общей закономерности, которые будут тем больше, чем более разнообразны будут условия формирования месторождений.

Еще Спёрр (Эммонс, 1933), один из основоположников теории зональности, различал два зональных ряда: первый — связанный с кислыми, другой — со средними интрузиями. Впоследствии Вернике (Смирнов, 1946) выделял ультракислые, кислые и умеренно кислые интрузии, каждая из которых характеризовалась специфической серией месторождений. По-видимому, возможно отщепление гидротермальных растворов и от более основных пород и, разумеется, химизм их, кислотность, способность вступать в реакции с вмещающими породами обусловят определенные особенности зональности связанных с ними месторождений.

Наконец, существенные искажения в первичную зональность месторождений способна внести стадийность рудообразования. Действительно, при длительном перерыве между поступлениями различных порций гидротермальных растворов с изменчивым составом возможно наложение низкотемпературного оруденения на высокотемпературное, и наоборот.

Практически случаи, когда низкотемпературное оруденение локализуется ниже высокотемпературного, крайне редки, что косвенно может свидетельствовать об ограниченном проявлении стадийности на большинстве месторождений. Из достаточно большого числа объектов, изученных авторами в Южном Казахстане, на Рудном Алтае и в Мугоджарах, наличие такой явной стадийности, существенно повлиявшей на зональность, отмечено только в одном случае — на Коунрадском медно-порфировом месторождении, где установлено относительное обогащение самых нижних горизонтов свинцом и цинком, которые выделились и, по-видимому, в более позднюю полиметаллическую стадию. На остальных месторождениях отклонения от Эммонсовской и обобщенной зональности Л. Н. Овчинникова и С. В. Григоряна менее существенны и обусловлены различиями в химическом составе растворов и геолого-структурных условиях локализации оруденения.

Группируя месторождения таким образом, чтобы совместно рассматривались только относящиеся к одному генетическому типу, локализованные в аналогичных геолого-структурных условиях и связанные с определенным комплексом магматических пород, можно добиться того, что зональность для целого ряда месторождений будет общей. В первом приближении такому условию отвечают однотипные месторождения единого рудного региона. Зональность, выявленная в таком случае на двух-трех месторождениях, может быть с некоторыми оговорками использована при поисках однотипного оруденения в том же районе.

Для решения практических задач поисков скрытого оруденения авторами (Карцов, Бугров, 1971; Малахов, 1968) проводилось изучение вертикальной зональности эталонных полиметаллических, колчеданно-полиметаллических, медно-колчеданных и медно-молибденовых месторождений на Алтае (Шубинское и Гарбриэль), в Мугоджарах (50 лет Октября) и в Южном Казахстане (Чатыркуль).

Ряды зональности по трем из них приведены в таблице (графа 5—7). Рассчитанные геохимические коэффициенты  $\gamma$ , отражающие отношения между продуктивностями элементов в различных частях рудной зоны, позволили определять положение вновь выявляемых проявлений минерализации относительно изученных рудных тел, что имело важное значение для ведения целенаправленных поисков. Характер изменения с глубиной и вид коэффициента  $\gamma$  для месторождений различных генетических типов показан на рисунке.

Исходя из величин коэффициентов  $\gamma$ , были даны рекомендации по проведению дополнительных буровых работ на флангах Шубинского и Габриэлевского месторождений, где выявленные геохимические аномалии были классифицированы как надрудные ореолы. По аналогичным данным была показана нецелесообразность ведения разведочных работ на рудопроявлении Черемшанском, поскольку зона сульфидной минерализации с убогими содержаниями свинца и цинка по геохимическим данным интерпретировалась как «корешки» на цело эродированного оруденения.

В Мугоджарах как надрудный был классифицирован вторичный ореол рассеяния на участке «Авангард», ранее забракованном как бесперспективный по результатам проверочного бурения. Дальнейшие работы позволили выявить здесь среднее по масштабам медноколчеданное месторождение с агрегатными рудами. Большое значение может иметь изучение зональности и для решения вопросов генезиса месторождений. Так, например, характер изменения коэффициента  $\gamma = \frac{Ag \cdot Hg^2}{Pb \cdot Zn^2}$  в рудных телах, приуроченных к крыльям антиклинальной складки, позволил А. П. Соловову (Соловов и др., 1971) указать, что складчатость в районе Миргалимсайского месторождения предшествовала рудообразованию.

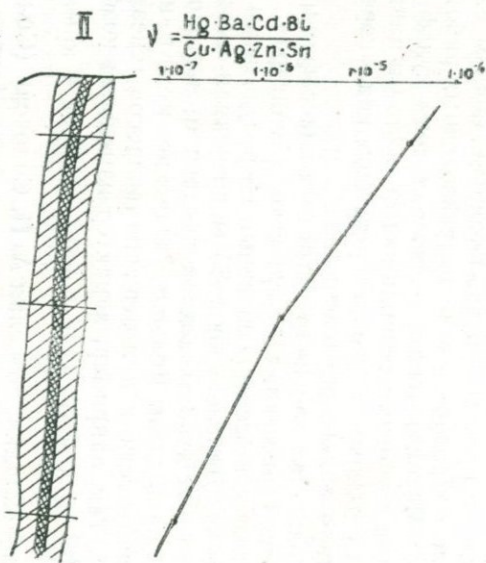
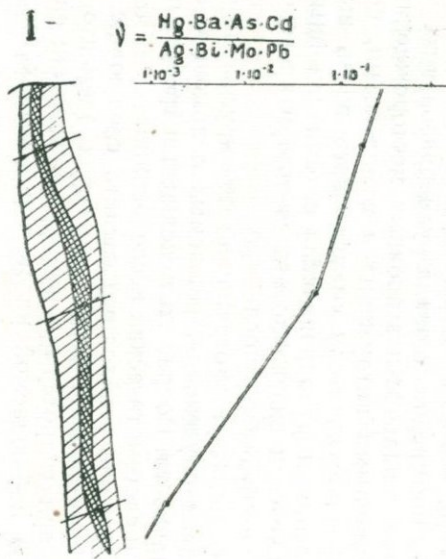
Изучение зональности эталонных месторождений, связанных с различными интрузивными комплексами, позволит в дальнейшем по характеру ее увязывать вновь выявляемые месторождения и рудопроявления с теми или иными интрузиями, даже если визуально эта связь при проведении полевых работ не будет установлена.

Разумеется, этим не ограничивается круг задач по выяснению генезиса оруденения, решаемых с помощью геохимической зональности. Вопрос этот сложный и требует проведения глубоких и систематических исследований.

В заключение необходимо сделать следующие выводы.

Различная подвижность химических элементов и их соединений при гидротермальном рудоотложении способствует появлению наблюдаемой на месторождениях геохимической зональности.

Ведущим фактором вертикальной зональности эндогенного оруденения следует считать изменение температуры и давления при восходящем движении растворов. Влияние всех остальных факторов приводит к отклонениям от общей закономерности зонального отложения элементов:



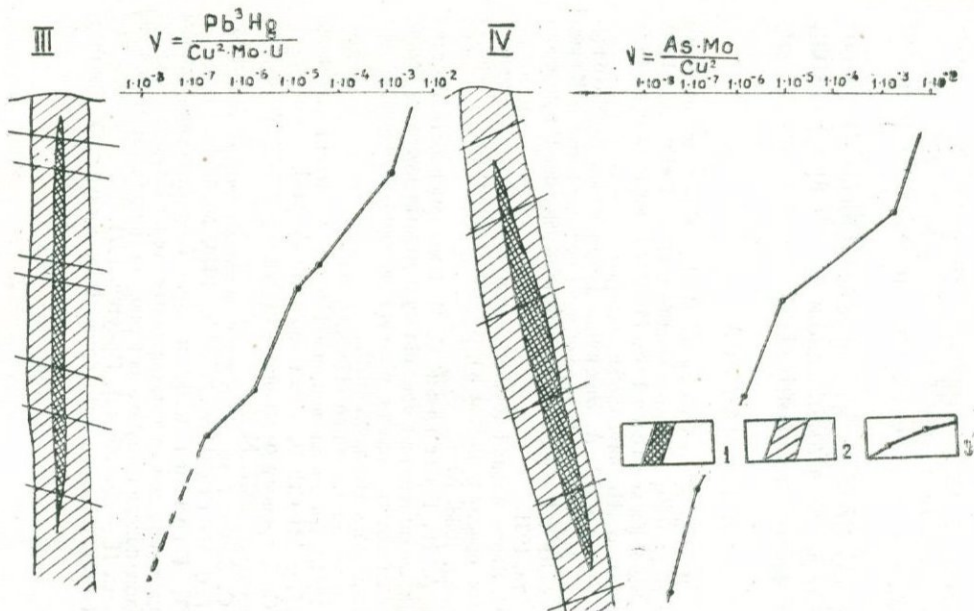


Рис. Графики изменения  $\gamma$  по вертикали на различных месторождениях  
 1 — рудное тело, 2 — первичный ореол, 3 — графики  $\gamma$ . Месторождения:  
 I — полиметаллическое Шубинское; II — медноколчеданно-полиметаллическое Габриэль; III — медномolibденовое жильное Чатыркуль; IV — медноколчеданные Мугоджарские

стадийность рудообразования, как ее понимал С. С. Смирнов, на месторождениях проявляется сравнительно редко и скорее является исключением из правила, чем закономерностью;

зональность однотипных месторождений в пределах конкретного рудного региона будет близкой и может быть использована в практических целях при поисках эндогенных месторождений;

геохимическая зональность как важный признак рудообразования может и должна быть использована при решении вопросов генезиса месторождений.

#### ЛИТЕРАТУРА

Горжевский Д. И., Козеренко В. Н. Связь эндогенного рудообразования с магматизмом и метаморфизмом. Изд-во «Недра», 1965.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные ореолы рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1968.

Карцов А. И., Бугров В. А. Эндогенные ореолы на медноколчеданных месторождениях Мугоджар. Геофизические исследования в Казахстане. В сб. «Материалы III республиканской геофизической конференции», часть I, Алма-Ата, 1971.

Малахов А. С. Вертикальная зональность распределения элементов в рудах и эндогенных ореолах одного из месторождений Казахстана.— Разведка и охрана недр, 1968, № 4.

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

Сауков А. А. Геохимия. Изд-во «Наука», 1966.

Смирнов В. И. Шесть типов первичной зональности гидротермальных рудных тел.— Изв. АН СССР, серия геол., 1957, № 3.

Смирнов С. С. К вопросу о зональности рудных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 6.

Смирнов С. С. Заметки по некоторым вопросам учения о рудных месторождениях.— Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 3.

Соловов А. П., Гаранин А. В. и др. Теоретические основы геохимических методов поисков слепых рудных тел. Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. (Симпозиум, часть II — Дискуссия). Иркутск, 1971.

Эммонс В. Изменение первичного оруденения с глубиной. Геолразведиздат, 1933.

## ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЛЕПОГО ВОЛЬФРАМ-МОЛИБДЕНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО ПЕРВИЧНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ ОРЕОЛАМ

С целью разработки геохимических критериев поисков вольфрамового оруденения на месторождении Тырнауз изучались первичные геохимические ореолы элементов-индикаторов. Работы проводились по общеизвестной методике. (Григорян, Янишевский, 1968) и включали отбор геохимических проб по опорным геологическим разрезам из горных выработок и керн скважин.

*Скарново-шеелитовое оруденение.* На участке представлено рудной зоной, расположенной к югу от кварц-молибденитового штокерка. Морфологически она представляет собой линзоподобное рудное тело субширотного простирания с крутым падением на юг. Переход от руд к вмещающим породам постепенный, контуры рудных тел устанавливаются по данным опробования.

Распределение минералов в рудной зоне неравномерное. Шеелитовая минерализация приурочена, как правило, к метасоматически измененным разностям скарнов, а также скарнированным пироксен-плаггиоклазовым, биотит-амфиболовым, биотитовым роговикам, подверженным последующим метасоматическим изменениям. Молибденовая минерализация обычно приурочена к гранатовым разностям скарнов, а также к кварцевым прожилкам, секущим как скарновые, так и роговиковые породы.

А. В. Пэк (1962) выделяет 10 стадий минералообразования.

I. Образование пироксеновых и биотитовых роговиков.  $T = 600-700^{\circ}$ .

II. Образование скарнов.  $T = 600-700^{\circ}$ . Происхождение скарнов биметасоматическое. Вторая стадия привела к обра-

зованию главной массы скарнов и скарновых полос в пироксеновых роговиках, но они еще не были рудоносными или содержали молибденит и шеелит в незначительных количествах. Оруденение в основном является наложенным на скарны.

III—IV. Главные рудоносные стадии.  $T = 500^\circ$ . Они проявились в образовании «окологранитных» скарнов и жилков различного состава во всех породах. Скарны и многие прожилки в них содержат шеелит и молибденит, но обычно эти минералы разобщены в пространстве. Установлены следующие парагенетические ассоциации: шеелит — пироксен с преобладанием геденбергитовой молекулы, молибденит — гранат.

V. Образование бурых гранатовых скарнов, приуроченных главным образом к некоторым контактам главного рудного тела с мраморами. К этой стадии приурочено некоторое количество молибденита.  $T = 250—500^\circ$ .

VI. Образование флюорита, аксинита, турмалина и частично эпидота и апатита.

VII. Амфиболитизация и хлоритизация.

VIII. Карбонатизация скарнов.

IX. Образование бурых гранатовых скарнов с сульфидами (пирротин, сфалерит, пирит).

X. Окварцевание.

Следует отметить, что разными исследователями выделяются различные стадии минерализации. Так, В. Ф. Лесняк выделяет шесть стадий: I — образование скарнов в температурном интервале  $500—700^\circ$ ; II — образование рудоносных кварцевых жил из гидротермальных растворов, пересыщенных хлоридами и фторидами, при температурах  $300—600^\circ$ ; III — выделение некоторого количества сульфидов и кварца из растворов с небольшой концентрацией хлоридов, фторидов и щелочей при температуре  $150—275^\circ$ ; IV — выделение главной массы сульфидов и кальцита при температурах  $160—250^\circ$ ; V — кварцево-халькопиритовая стадия ( $T = 120—250^\circ$ ); VI — кварцево-кальцитовая стадия ( $T = 70—160^\circ$ ).

О. В. Кононов выделяет только четыре стадии: I — редкометальная; II — мышьяковая; III — полиметаллическая; IV — сурьмяная.

Приведенные данные свидетельствуют о чрезвычайно сложном характере проявления постмагматической минерализации на месторождении Тырнауз, где до настоящего времени отсутствует единство представлений о генезисе месторождения, о развитии процесса минералообразования во вре-

мени и в пространстве, несмотря на то, что месторождение Тырнауз известно уже давно и длительное время (десятки лет) находится на стадии промышленной эксплуатации.

Одной из причин выбора месторождения Тырнауз в качестве эталонного объекта для изучения первичных геохимических ореолов являлась отмеченная сложность строения месторождения, которая не могла не отразиться на строении и особенностях развития первичных геохимических ореолов, что в свою очередь должно быть учтено при разработке методики поисков вольфрамовых месторождений по их литогеохимическим ореолам.

*Первичные геохимические ореолы.* На месторождении Тырнауз широко развиты ореолы многих элементов: вольфрама, молибдена, олова, висмута, бериллия, бария, цинка, свинца, кобальта, никеля, мышьяка, сурьмы и других. Однако, как показали детальные геохимические исследования, из перечисленных элементов только некоторые (молибден, вольфрам, олово, бериллий и др.) повсеместно образуют ореолы, закономерно связанные с двумя основными промышленными типами рудных тел: шеелит-молибденитовым и молибденитовым. Ниже приводится описание первичных ореолов этих элементов вокруг скарново-шеелитовых рудных тел.

Первичные ореолы вольфрам-молибденитового оруденения рассматриваются на примере рудной зоны № 69.

Геохимические исследования, выполненные в пределах Тырнаузского рудного поля, показали, что наиболее информативными индикаторами скарново-вольфрамового оруденения являются вольфрам, молибден, олово, висмут, бериллий. Ниже описываются ореолы этих элементов по разрезу I—I вокруг слепой залежи (рудная зона № 69; рис. 1).

Вольфрам образует весьма широкие (более 200 м) ореолы вокруг рудного тела. Концентрация его закономерно меняется с глубиной, достигая на уровне рудной залежи максимальных значений. Аналогичные поля, вытянутые параллельно рудному телу, развиты по бокам рудной залежи (рис. 2).

Ореолы молибдена наиболее широкие (более 300 м; рис. 3). С глубиной они сужаются: концентрация молибдена уменьшается к подрудной части в 30—40 раз. Сравнение надрудных и подрудных срезов ореолов выявляет отчетливый сдвиг ореолов молибдена вверх по отношению к ореолам вольфрама в направлении восстания рудной залежи: в надрудной части разреза поле максимальной концентрации обла-

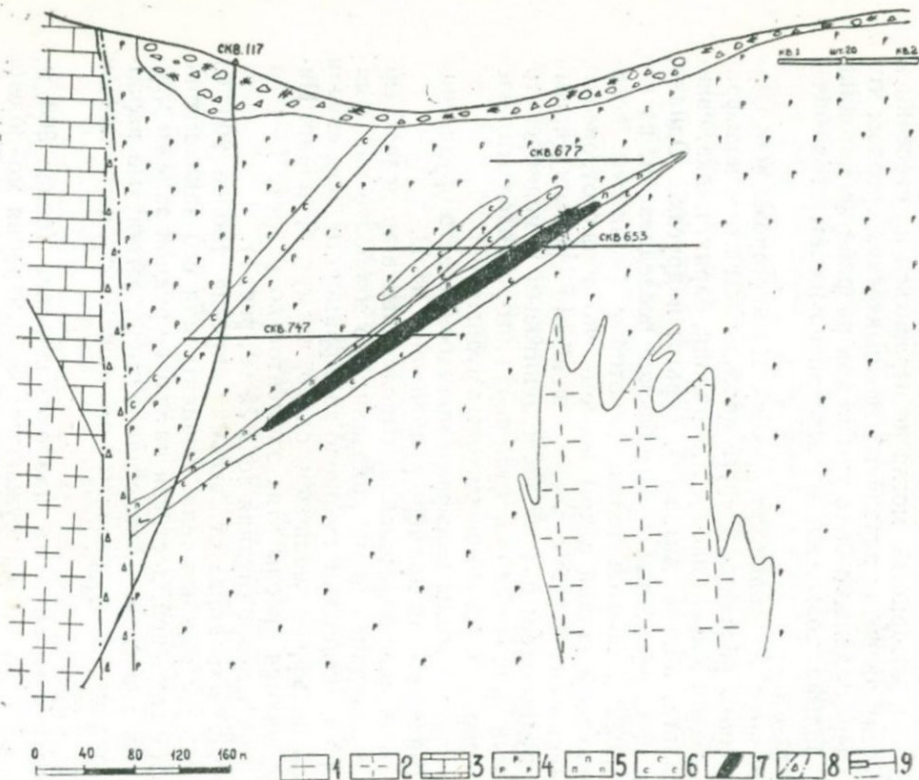


Рис. 1. Геологический разрез 1—1 через рудную зону № 69

1 — гранит эльджуртинский; 2 — гранит лейкократовый; 3 — мрамор; 4 — роговики биотитовые и биотит-амфиболитовые; 5 — роговики пироксен-плагиоклазовые; 6 — скарны; 7 — рудное тело; 8 — зона разлома; 9 — горные выработки и скважины

W

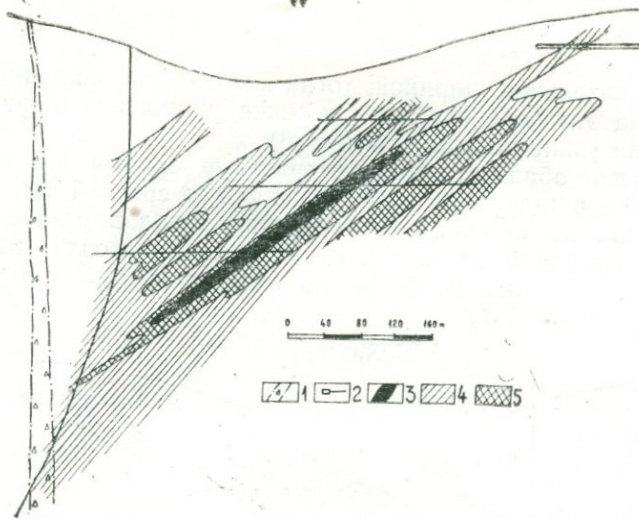


Рис. 2. Ореолы вольфрама на разрезе I-I

1 — зона разлома; 2 — горные выработки и скважины; 3 — рудное тело. Содержание вольфрама в ореолах (в %): 4 —  $1-10 \cdot 10^{-3}$ ; 5 — более  $10 \cdot 10^{-3}$

Mo

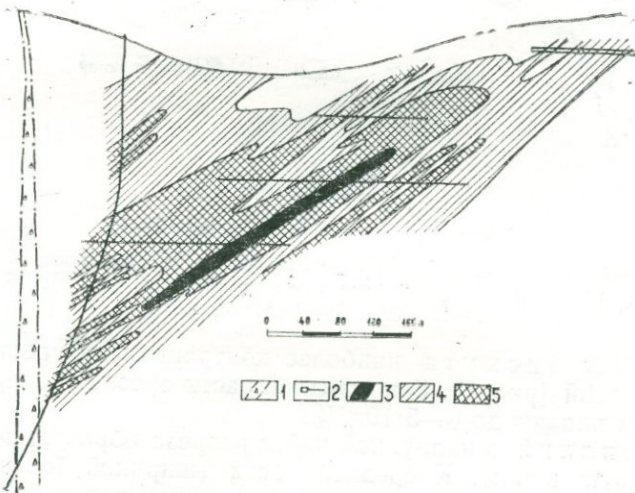


Рис. 3. Ореолы молибдена на разрезе I-I

1 — зона разлома; 2 — горные выработки и скважины; 3 — рудное тело. Содержание молибдена в ореолах (в %): 4 —  $1-10 \cdot 10^{-3}$ ; 5 — более  $10 \cdot 10^{-3}$

дает значительной шириной, тогда как вниз по падению рудного тела это поле сужается и ниже рудного тела расщепляется на узкие полосы (см. рис. 3).

Олово образует слабоконтрастные ореолы шириной в 100—150 м в надрудной части. Начиная со средней части рудного тела, намечается выклинивание ореолов олова, которые в подрудной части почти полностью сходят на нет (рис. 4). Содержания олова по разрезу с глубиной уменьшаются в 2—3 раза.

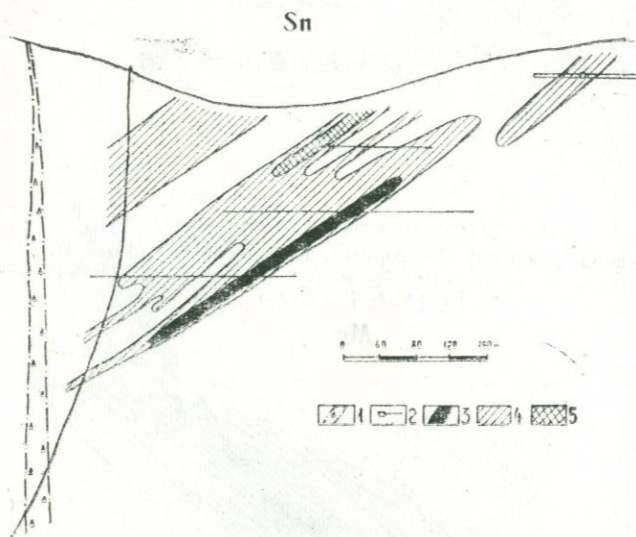


Рис. 4. Ореолы олова на разрезе I—I

1 — зона разлома; 2 — горные выработки и скважины; 3 — рудное тело. Содержание олова в ореолах (в %): 4 —  $1-10 \cdot 10^{-3}$ ; 5 — более  $10 \cdot 10^{-3}$

Ореолы висмута наиболее контрастны на уровне рудных сечений (рис. 5). В подрудной части ореолов содержания висмута падают до  $3-5 \cdot 10^{-4}$  %.

Бериллий в надрудной части разреза образует мощную надрудную шапку. К средней части (шириной более 20 м) рудных тел ореолы бериллия выклиниваются и в подрудной части практически исчезают (рис. 6).

Рассматривая разрез в целом, следует отметить, что ореолы всех элементов наиболее интенсивны в всячем боку рудного тела (см. рис. 2—6). Эта особенность ореолов должна

В1

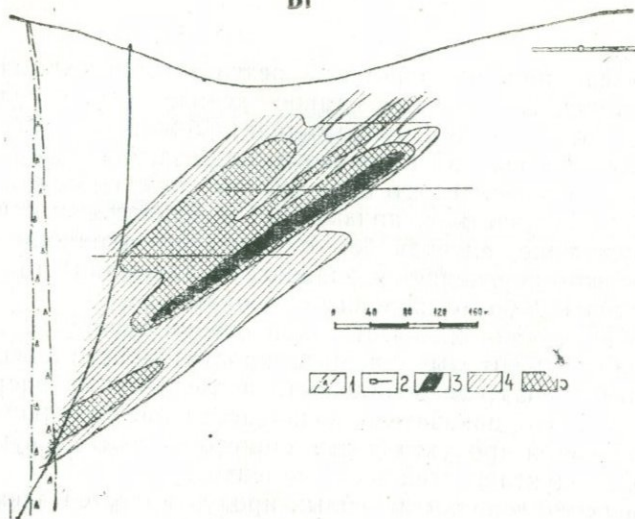


Рис. 5. Ореолы висмута на разрезе I—I

1 — зона разлома; 2 — горные выработки и скважины; 3 — рудное тело. Содержание висмута в ореолах (в %): 4 —  $1-10 \cdot 10^{-4}$ ; 5 — более  $10 \cdot 10^{-4}$

Вв

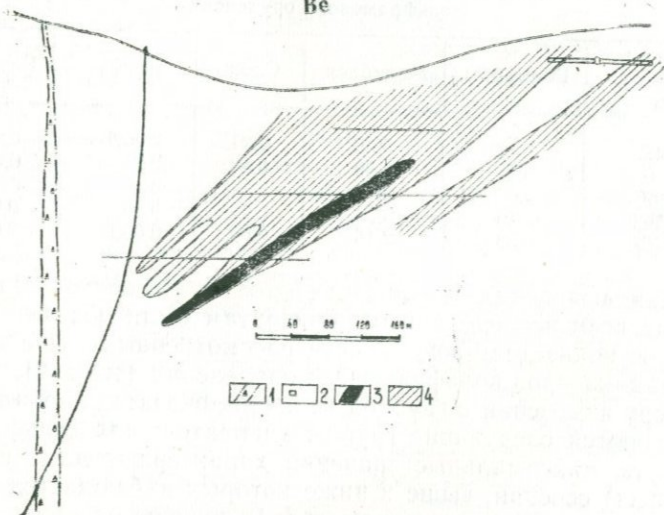


Рис. 6. Ореолы бериллия на разрезе I—I

1 — зона разлома; 2 — горные выработки и скважины; 3 — рудное тело. Содержание бериллия в ореолах (в %): 4 — более  $1 \cdot 10^{-4}$

быть учтена при интерпретации результатов геохимического сробования. В частности, такое асимметричное развитие ореолов (относительно рудного тела) может быть использовано для определения вероятного направления падения рудного тела: в всячем его боку ореолы отличаются большей шириной. На участках, признанных перспективными на слепое оруденение, всячий бок от лежащего (граница между ними обычно определяется элицентром аномалии) также будет отличаться более широкими ореолами.

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

Изменение величин линейных продуктивностей элементов-индикаторов по описываемому разрезу характеризуется табл. 1.

Таблица 1

Линейные продуктивности (м %) ореолов элементов-индикаторов вольфрамового оруденения

Уровень сечения, м	Вольфрам	Молибден	Олово	Висмут	Бериллий
2549	0,17	0,36	0,21	0,0025	0,0076
2470,6	0,52	1,59	0,40	0,043	0,024
2399,4	3,01	2,73	0,34	0,41	0,019
2316,9	3,76	5,28	0,28	0,39	0,013
2216,0	0,59	2,15	0,09	0,053	0,00014

Для выявления зональности ореолов элементов-индикаторов по всем исследованным горизонтам были подсчитаны величины показателя зональности рассмотренных выше элементов-индикаторов вольфрамового оруденения (табл. 2). По характеру изменения с глубиной величин показателя зональности выделяются следующие группы элементов: для вольфрама и висмута максимальные значения характерны для средних (рудных) сечений, выше и ниже которых наблюдается уменьшение величины этого параметра. В отличие от этого, максимальные значения показателя зональности олова и бериллия установлены на самом верхнем надрудном сечении исследованного разреза: вниз по разрезу величина показателя зональности этих элементов убывает монотонно, при этом в верхних

Показатель зональности элементов-индикаторов вольфрамового оруденения

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

\* Подчеркнуты максимальные значения.

частях градиент показателя олова заметно больше. Это означает, что ореолы олова сдвинуты вверх по отношению к ореолам бериллия.

Для молибдена максимальные значения установлены в верхних (надрудных) и самом нижнем (подрудном) горизонтах. Рудные сечения характеризуются минимальными значениями показателя его зональности (см. табл. 2). Такое двойственное поведение молибдена вызвано тем, что этот элемент является «сквозным»: молибден образует ореолы как вокруг скарново-шеелитовых, так и кварц-молибденитовых рудных тел, причем с последними связаны наиболее широкие и интенсивные ореолы. Наложение в пространстве ореолов молибдена, связанных с различными по составу рудными телами, приводит к нарушению зональности ореола этого элемента. Сказанное подтверждается морфологией ореола молибдена: поле его повышенных концентраций в надрудной части представляет прямое продолжение рудного тела по его восстанию. По падению рудного тела в узкой зоне поле повышенных концентраций выклинивается (расщепляется на узкие полосы), но выше (висячем боку) появляются новые поля повышенных концентраций, которые закономерной связи с описываемым рудным телом не обнаруживают и безусловно связаны с кварц-молибденитовыми рудными телами. Взаимоотношения ореолов молибдена этих двух типов рудных тел более подробно будут рассмотрены ниже при описании особенностей развития первичных ореолов в плане. Такой «сквозной» характер молибдена не позволяет рекомендовать его в качестве надежного индикатора скарново-шеелитового оруденения.

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

Таблица 3

Величины отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов

Уровень сечения, м	Олово.бериллий Висмут.вольфрам	Коэффициент контрастности	
		$\frac{I}{V}$	$\frac{II}{V}$
I 2549	3,7	9250	11000
II 2470,6	4,4		
III 2399,4	0,005		
IV 2316,9	0,0024		
V 2216,0	0,0004		

С учетом изложенного и на основании данных табл. 3 можно составить следующий ряд зональности элементов-индикаторов: олово-бериллий-молибден-висмут-вольфрам (сверху вниз). Место молибдена в этом ряду определено с учетом его поведения в верхней части разреза (снизу происходит наложение ореолов молибдена, связанных с кварц-молибденитовым оруденением).

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

Для количественной оценки описанной выше вертикальной зональности в строении первичных ореолов скарново-шеелитового оруденения в табл. 3 приведены величины отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов надрудных (олово, бериллий) и подрудных (висмут, вольфрам) элементов.

Как следует из табл. 3, величина выбранного индикаторного отношения от надрудных к подрудным сечениям монотонно убывает, выявляя в строении контрастную вертикальную зональность: на глубину около 300 м. Это отношение меняется почти в 10 000 раз.

Эти результаты явились основой для интерпретации всех геохимических аномалий, в том числе и не имеющих видимой связи с известными рудными телами. Ниже приведен пример подтверждения рекомендации, выданной на основании изучения геохимических ореолов, на участке, перспективном на вольфрамовое оруденение.

Разрез 1. Участок приурочен к контакту карбонатной и эффузивно-терригенной свиты (рис. 7), причем все породы интенсивно метаморфизованы. В развитых здесь пироксеновых и пироксен-гранатовых скарнах с магнетитом и сульфидами (нижний скарн аномалии 3) сколько-нибудь существенной концентрации вольфрама не установлено.

В результате геохимических исследований выявлены ореолы элементов-индикаторов вольфрамового оруденения, в том числе бериллия, олова, висмута и вольфрама.

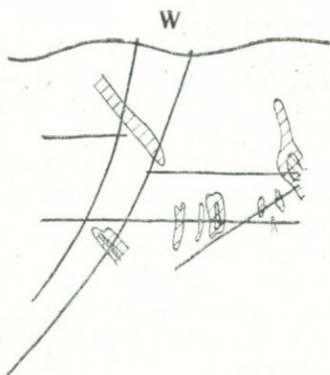
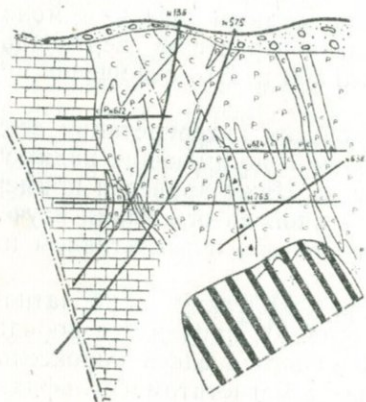
Бериллий непосредственно в скарнах аномалии № 3 не обнаружен, однако на 250 м ниже, на горизонте 2380 м, скважиной № 575 вскрыт ореол бериллия, который приурочен к контакту мраморов и пироксен-гранатовых скарнов; в последних рудная минерализация не обнаружена. Содержание бериллия на интервале 50 м увеличивается от  $p \cdot 10^{-5}$  до  $p \cdot 10^{-4}$  условных единиц (см. рис. 7).

Олово образует контрастные ореолы во всех вскрытых породах, и их параметры с глубиной заметно увеличиваются: мощность возрастает в 2—3 раза, а содержание — от  $1 \cdot 10 \cdot 10^{-3}$  до  $100 \cdot 200 \cdot 10^{-3}$  условных единиц (см. рис. 7).

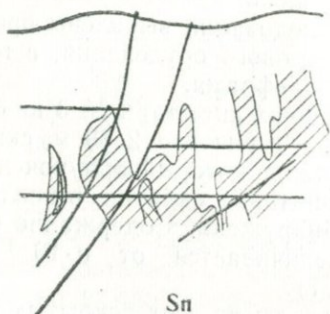
Ореолы висмута сопровождают корневые части скарнов аномалии 3 и выклиниваются на той глубине, где только появляются ореолы бериллия. Содержание висмута в ореолах довольно равномерное — от  $10 \cdot 10^{-4}$  до  $100 \cdot 10^{-4}$  условных единиц (см. рис. 7).

Ореол вольфрама появляется одновременно с ореолом бериллия, но характеризуется малой мощностью и низкими содержаниями ( $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}\%$ ) (см. рис. 7).

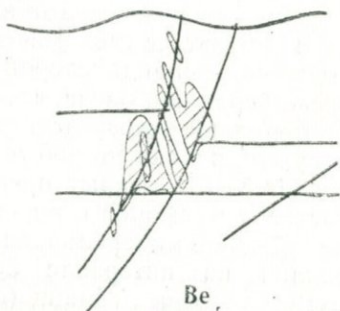
Таким образом, по этому разрезу установлено наличие обоих надрудных элементов-индикаторов — бериллия и олова, параметры ореолов которых увеличиваются с глубиной. Рудно-подрудные вольфрам и висмут ореолов практически не



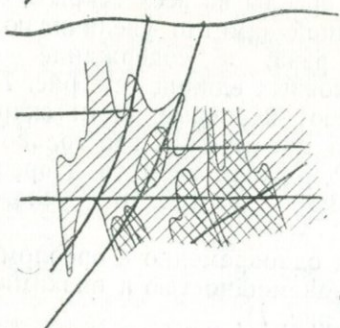
Mo



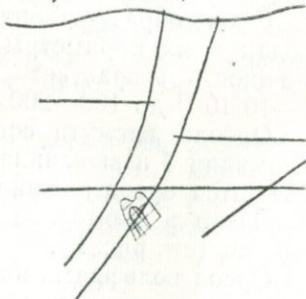
Bl



Sn



Be



0 20 40 60 80 100



Рис. 7. Разрез III—III через Северный участок Тырнаузского месторождения

1 — гранит лейкократовый; 2 — мрамор; 3 — роговик биотитовый и биотит-амфиболовый; 4 — роговик пироксен-плаггиоклазовый; 5 — скарны; 6 — зона дробления; 7 — зона разлома; 8 — рудное тело, вскрытое по рекомендации; 9 — скважины; 10 — скважины, пробуренные по рекомендации. Содержание элементов в ореолах (в %): 11 — вольфрам, молибден, олово  $1-10 \cdot 10^{-3}$ ; висмут  $1-10 \cdot 10^{-4}$ ; бериллий  $1-5 \cdot 10^{-4}$ ; 12 — вольфрам, молибден, олово более  $10 \cdot 10^{-3}$ , висмут более  $10 \cdot 10^{-4}$ , бериллий более  $5 \cdot 10^{-4}$

образуют. Величина отношения  $\frac{W \cdot Sn}{W \cdot Bi} = 1,08$ , что характерно для верхних частей (надрудных) ореолов. На основании этих данных был сделан вывод о наличии вольфрамового оруденения на глубине 100—150 м ниже горизонта 2380 м и рекомендована проверка бурением скважин. Первая же скважина (814), пробуренная из квершлага № 12 штольни 18, подсекла скарны и метасоматиты с промышленным вольфрамовым оруденением. Разведка этой рудной зоны продолжается.

## ВЫВОДЫ

1. В результате проверки рекомендаций, данных на основании изучения эндогенных геохимических ореолов с учетом геологической обстановки, на Тырнаузском месторождении выявлены новые участки с вольфрамовым оруденением, разведка которых продолжается.

2. Несмотря на сложность геологического строения, многостадийность рудообразования и полиформационный характер геохимических ореолов месторождения, имеет место четкий ряд зональности вольфрамового оруденения (бериллий-олово-висмут-вольфрам).

3. Эта зональность полностью соответствует общему ряду зональности эндогенных гидротермальных месторождений, установленному одним из авторов статьи.

## ЛИТЕРАТУРА

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1968.

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

---

Н. А. ВИНОГРАДОВА, С. В. ГРИГОРЯН

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ОРЕОЛОВ ВЫНОСА ВОКРУГ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ

Изучение первичных ореолов выноса проводилось на месторождении, описанном ранее (см. другую статью авторов в этом же сборнике), поэтому геология месторождения, состав пегматитов, методика изучения ореолов и т. д. здесь не приводятся.

Установлено, что наряду с ореолами привноса вокруг пегматитовых жил устанавливаются отчетливые зоны выноса ряда химических элементов. На рис. 1 изображены подобные зоны выноса для титана, меди, скандия, ванадия, молибдена, никеля по разрезу 1—70. Ореолы выноса этих элементов являются весьма узкими, за исключением никеля, образующего более широкий ореол выноса — преимущественно в головной части пегматита. Вышеописанные ореолы выноса отличаются весьма небольшой контрастностью, в среднем коэффициент контрастности для них равен 0,5—0,25. Так, например, фоновое содержание титана в гранодиоритах в среднем равно 0,3; среднее содержание в ореоле выноса равно 0,08 (коэффициент контрастности  $\frac{0,08}{0,3} = 0,27$ ).

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 жилы, тогда как цинк, хром, медь, кобальт, цирконий и др. выносятся из головной части ореолов (рис. 2).

Мультипликативные ореолы вышеперечисленных элементов позволяют четче выявить эту закономерность (рис. 3). На рис. 4 приведены графики изменений средних содержаний

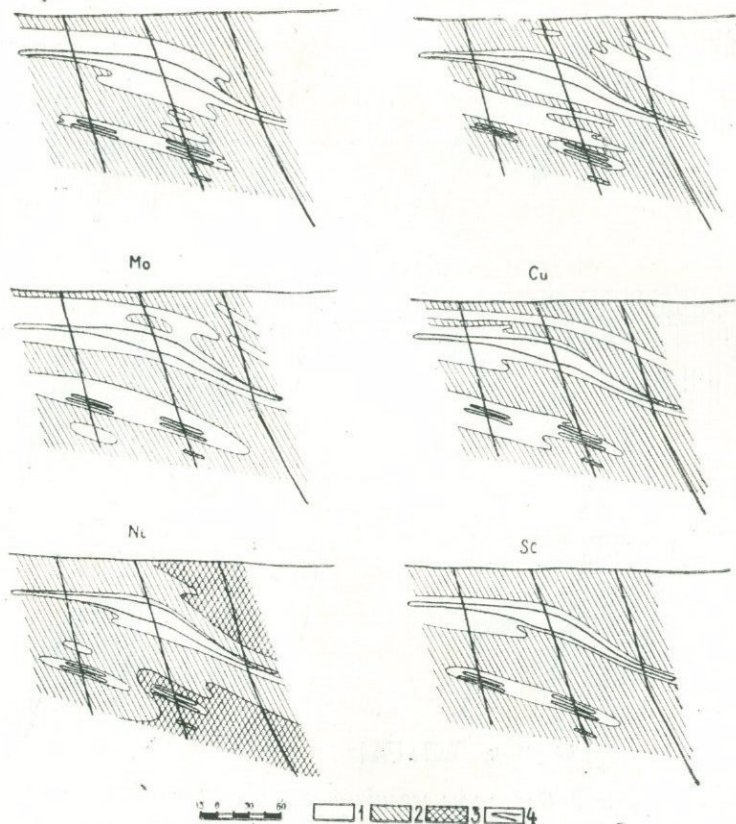


Рис. 1. Первичные геохимические ореолы выноса

Содержание в %: 1 — титан меньше 0,1; ванадий меньше 0,01; медь, никель меньше 0,001; скандий, молибден меньше 0,001; 2 — титан 0,1; ванадий больше 0,01; медь 0,001; никель 0,001—0,01; молибден больше 0,0001; скандий 0,0001; 3 — никель больше 0,01; 4 — границы пегматитовых тел

групп «надрудных» (барий, стронций-свинец) и «подрудных» (цинк, цирконий, хром) элементов в мультипликативных ореолах в зависимости от сечений пегматита. Как следует из графика (рис. 4), отношение мультипликативных групп «надрудных» и «подрудных» элементов закономерно уменьшается в корневой части пегматитовой жилы.

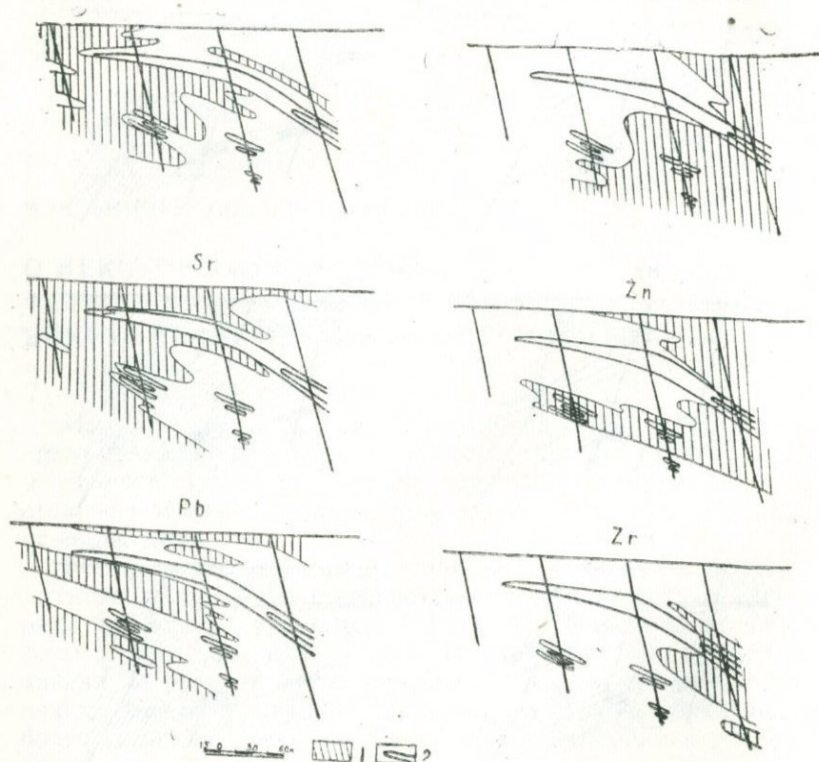


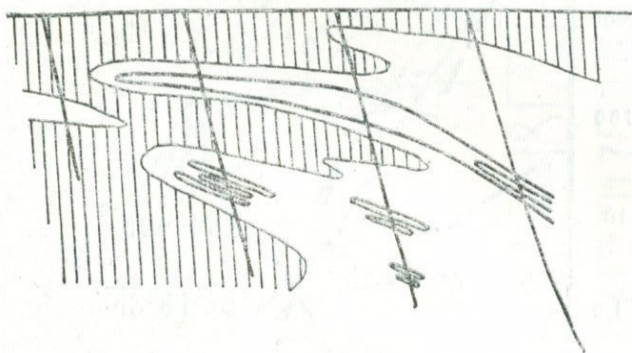
Рис. 2. Первичные геохимические ореолы выноса

Содержание в %: 1 — барий больше 0,05; стронций 0,01; цинк больше 0,005; цирконий больше 0,003; свинец, хром больше 0,001; 2 — границы пегматитовых тел

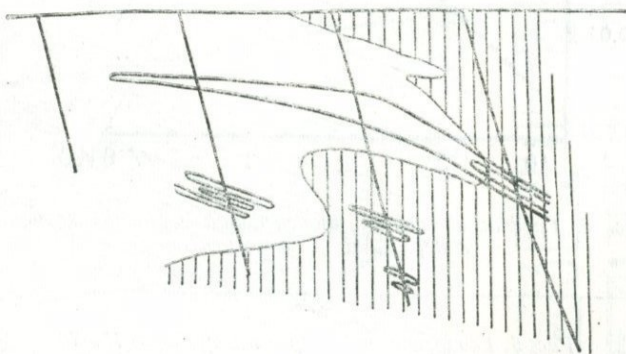
Аналогичные ореолы выноса были выявлены и по разрезу П-70 (рис. 5), вскрывающему ту же пегматитовую жилу. Для примера на рис. 6 приведены ореолы выноса хрома, цинка, никеля, которые образуют зоны пониженных содержаний непосредственно в эндоконтакте пегматитов, и их наибольший вынос происходит в головной части пегматитов.

Такие элементы, как барий, стронций, свинец, ведут себя несколько иначе, чем в предыдущем разрезе, описанном ранее. Аналогично первому разрезу, барий, стронций, свинец выносятся преимущественно из хвостовой части пегматитов, но в отличие от описанного разреза, где эти элементы в самом

Ba·Sr·Pb



Zn·Zr·Cr



10 0 20 40 м

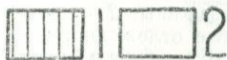


Рис. 3. Мультипликативные ореолы выноса группы элементов  
Содержание в %: 1 — более  $1 \cdot 10^{-7}$ ; 2 — менее  $1 \cdot 10^{-7}$

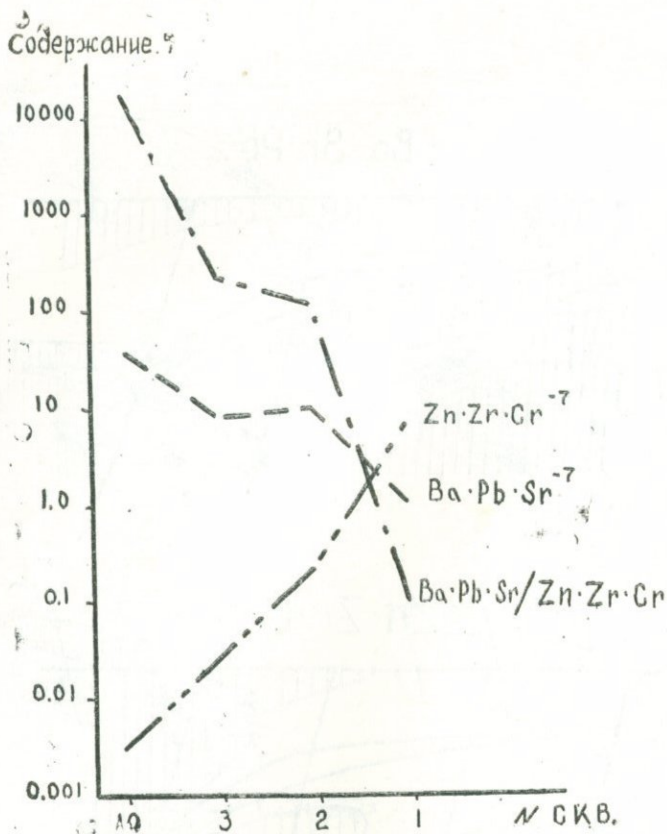
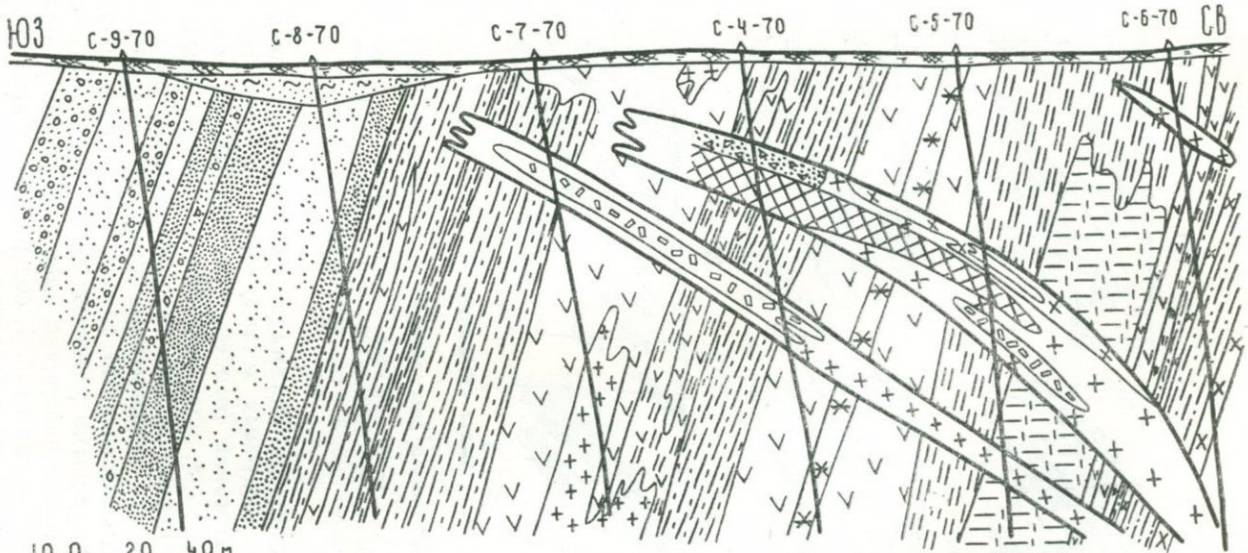


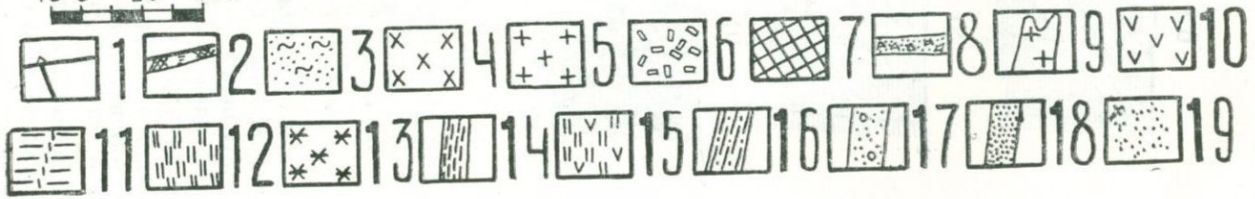
Рис. 4. График изменений произведений мультипликативных содержаний групп элементов

Рис. 5. Геологический разрез по профилю П—70

1 — буровые скважины; 2 — почвенно-растительный слой и суглинки; 3 — песчано-глинистые отложения; 4 — аплитовидный кварц-альбитовый пегматит; 5 — кварц-мусковит-альбитовый и микроклин-кварц-альбитовый пегматит со сподуменом; 6 — кварц-сподуменовый пегматит; 7 — зона блокового кварца; 8 — зона блокового микроклина; 9 — гранодиориты разгнейсованные. Ультрабазиты: 10 — карбонато-тремолитовые; 11 — оливинно-серпентинно-тремолитовые; 12 — хлорито-карбонато-тремолитовые; 13 — амфиболиты. Сланцы: 14 — биотитовые; 15 — актинолит-хлоритовые; 16 — гранат-биотитовые. Бластопесчаники: 17 — крупнозернистые; 18 — мелкозернистые; 19 — среднезернистые



10 0 20 40 m



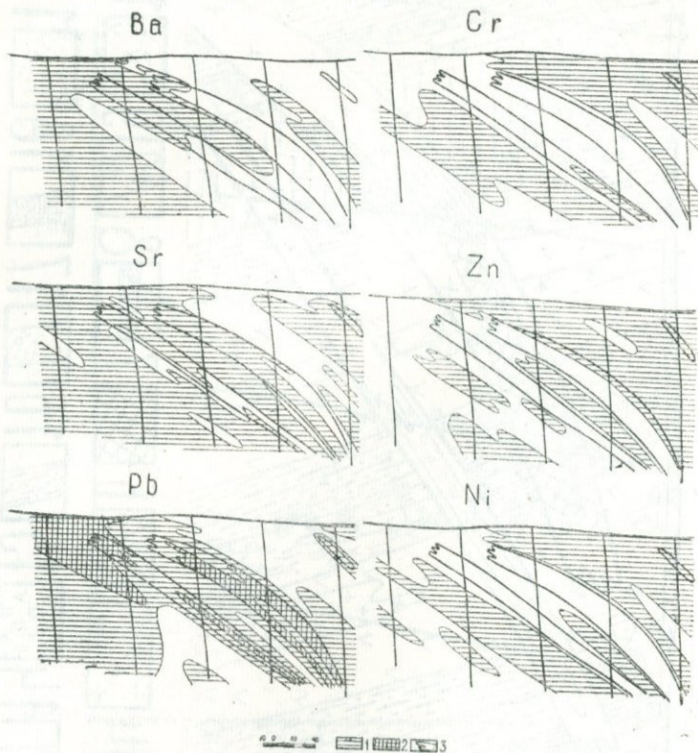


Рис. 6. Первичные геохимические ореолы выноса

Содержание в %: 1 — никель, хром больше 0,02; барий стронций больше 0,01; свинец 0,001—0,02; цинк больше 0,001; 2 — свинец больше 0,02; 3 — границы пегматитовых тел

пегматите содержались в минимальном количестве, здесь (в расщепленных пегматитовых жилах) они достигают весьма значительных содержаний (особенно свинец 0,003%, рис. 6). Такая сложная картина, возможно, получается по нескольким причинам: во-первых, в данном разрезе на близком расстоянии находятся две пегматитовые жилы, каждая из которых образует свой собственный ореол; во-вторых, между скв. 5—70 и 6—70 буровыми работами вскрыт ряд новых пегматитовых тел, которые наверняка имеют собственные ореолы выноса. Как следует из табл. 1, содержания свинца и бария несколько увеличиваются в головной части пегматитовых

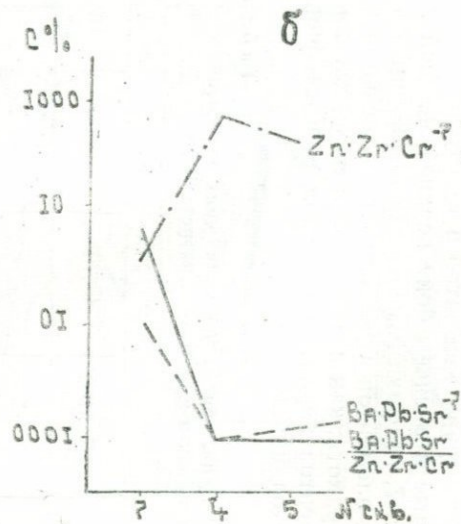
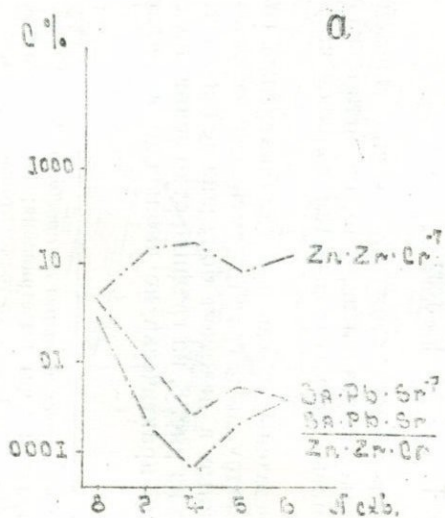


Рис. 7. График изменений произведений (мультипликативных) содержаний групп элементов

а — лежащий бок, б — висячий бок

жил. Очевидно, в данном разрезе происходит ретроградное переотложение описываемых элементов.

На рис. 7 приведены мультипликативные графики «нарудных» и «подрудных» групп элементов и их отношения друг к другу, подсчитанные в всячем боку верхней мощной жилы. Как видно из рис. 7, графики изменений содержаний надрудных и подрудных элементов в зависимости от сечения имеют сложный характер, хотя, как и в первом разрезе, для надрудной группы элементов характерен нисходящий график, для подрудной — восходящий.

Таблица 1

Средние содержания (в %) химических элементов в ореолах и в пегматите разреза П-70

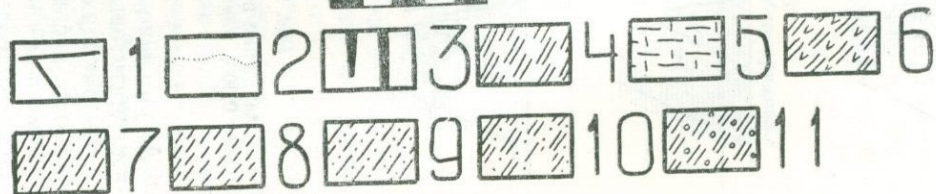
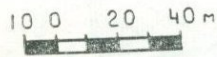
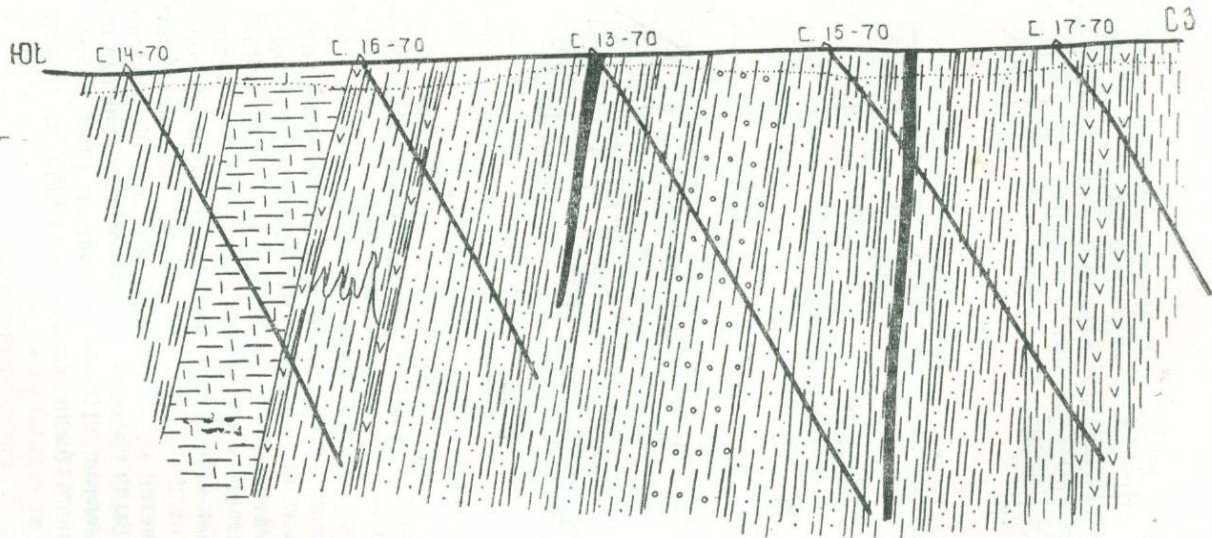
Элементы	№ скважины			
	7—70	4—70	5—70	6—70
<b>Свинец</b>				
Ореол	0,0008	0,0002	—	0,0007
Пегматит	—	0,002	0,0015	—
<b>Барий</b>				
Ореол	0,01	—	—	0,015
Пегматит	—	0,002	—	—

На графике отношений этих двух групп элементов в скв. 4—70 наблюдается резкий перегиб, очевидно указывающий на наличие новых пегматитовых тел в правой части разреза.

На рис. 8 приведены те же мультипликативные графики «нарудных» и «подрудных» групп элементов и их отношения, только подсчитанные в лежащем боку нижней пегматитовой жилы. Как видно из рис. 8, на графике отношений двух групп элементов перегиб практически не наблюдается, аналогично разрезу I—70.

Рис. 8. Геологический разрез по профилю III—70

1 — скважины; 2 — границы коры выветривания; 3 — пегматитовые тела; 4 — карбонато-тремолитовые и хлорито-тремолитовые породы; 5 — серпентинизированные оливиниты. С л а н ц ы: 6 — ставролит-биотитовые; 7 — мусковит-биотитовые; 8 — биотитовые; 9 — гранат-ставролит-биотитовые; 10 — ставролит-мусковит-биотитовые; 11 — мусковит-биотитовые крупнозернистые



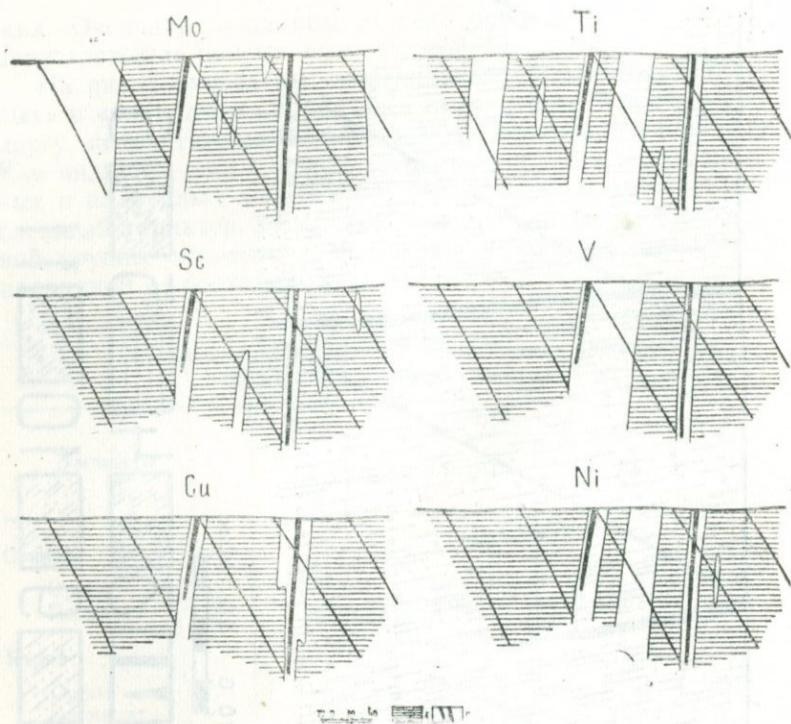


Рис. 9. Первичные геохимические ореолы выноса

1 — содержание в %: титан больше 0,1; ванадий больше 0,01; никель больше 0,003; медь больше 0,001; молибден больше 0,0001; скандий больше 0,0002; 2 — пегматитовые тела

Аналогично вышеописанным разрезам с подогорзалегающими пегматитовыми телами в разрезе III—70 (рис. 9) вокруг крутопадающих пегматитовых жил также выявлены локальные зоны выноса титана, никеля, ванадия, скандия, меди и других элементов. Как следует из рис. 10, размеры ореолов выноса колеблются от 2—3 м до 10—12 м, контрастность ореолов выноса меняется от 0,3 до 0,6. Аналогично описанным выше размерам были подсчитаны мультипликативные отношения групп элементов. Наиболее контрастная зональность в ореолах выноса была установлена для отношения

$$\frac{\text{Ba} \cdot \text{Sr} \cdot \text{Pb}}{\text{Zn} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Cu}}$$

Как следует из табл. 2, около пегматита, расположенного в левой части разреза, это отношение меняется в 15 раз, тогда как в ореолах выноса другого пегматита это отношение меняется всего лишь в 5 раз. Эти пегматиты одинакового состава и находятся в одинаковой вмещающей среде. Причину подобных различий, по всей вероятности, следует искать в различных уровнях ореолов: в первом случае ореолы выноса

Таблица 2

Отношения мультипликативных групп «надрудных» и «подрудных» элементов в ореолах выноса

№ скважины	$\frac{\text{Ba} \cdot \text{Sr} \cdot \text{Pb}}{\text{Zn} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Cu}}$
13—70 (верх)	12,3
16—70 (низ)	0,8
15—70 (верх)	10,1
13—70 (низ)	2,2

развиты на участке выклинивания жилы, а во втором — где-то в средних частях околожильного пространства.

Аналогичная закономерность устанавливается по всем без исключения разрезам исследованного месторождения. Суммируя все вышесказанное, можно отметить, что при изучении поведения элементов в ореолах выноса намечается зональность, обусловленная различной степенью выноса химических элементов из различных уровней околопегматитового пространства. Установлено, что такие элементы, как барий, стронций, свинец, вносятся преимущественно из корневых частей первичных ореолов, в отличие от цинка, хрома, циркония, меди и других элементов, которые выносятся преимущественно из головных частей. Наиболее контрастно отмеченная зональность выявляется в строении мультипликативных ореолов (табл. 3), при использовании индикаторного отношения  $\frac{\text{Ba} \cdot \text{Sr} \cdot \text{Pb}}{\text{Zn} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Cu}}$ .

Отношения мультипликативных групп вышеперечисленных элементов резко уменьшаются по падению пегматитовых жил. В табл. 3 приведены отношения мультипликативных групп данных элементов по всем разрезам, причем взят единый набор элементов (ранее при описании разрезов использовались

Отношение средних содержаний элементов группы выноса  
в первичных ореолах редкометалльных пегматитов

№ разреза	№ скважины	Ba, Sr, Pb,	№ разреза	№ скважины	Ba, Sr, Pb,
		Zn. Cr. Cu			Zn. Cr. Cu
I—70	10	100	V	29	1,1
	3	140		30	0,8
	2	100		31	0,08
II—70	1	0,5	VII	25	1200
	8	0,8		26	150
	3	0,06		27	0,8
IV	4	0,0005	VIII	33	230
	5	0,006		32	1,8
	6	0,03	III—70	13—70(верх)	12,3
	34	0,03		16—70(низ)	0,8
	24—II	0,61		15—70(верх)	10,1
	28	0,0005		13—70(низ)	2,2

наиболее контрастные элементы). Как следует из табл. 3, для данного отношения характерна единая закономерность, т. е. закономерное уменьшение от надрудных к подрудным частям ореолов.

Эта зональность сохраняется также для ореолов крутопадающих пегматитовых тел: индикаторное отношение резко уменьшается по падению пегматитов, контрастнее на выклинивании жил.

Изложенные выше данные позволяют сделать вывод о том, что установлен факт проявления единой зональности в степени выноса химических элементов из околопегматитового пространства для всех изученных пегматитовых тел. Эта зональность может быть использована для оценки уровня сопровождающих редкометалльные пегматиты геохимических аномалий, как и зональность в ореолах привноса, описанная ранее (см. другую статью авторов в этом же сборнике).

Зональность максимальной контрастности получается при совместном использовании всех рассмотренных выше типов зональности с результирующим индикаторным отношением

$$\frac{\text{Sn} \cdot \text{Li}^2 \cdot \text{Ba} \cdot \text{Sr} \cdot \text{Pb}}{\text{B} \cdot \text{Rb} \cdot \text{Cs} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Cu}} \quad (\text{см. табл. 4}).$$

Отношения линейных продуктивностей ореолов  
элементов группы привноса и выноса  
вокруг редкометалльных пегматитов

№ разреза	№ скважи- ны	Sn/B	Li <sup>2</sup>	Ba. Sr. Pb	Sn. Li <sup>2</sup> . Ba. Sr.Pb
			Rb.Cs	Zn. Cr. Cu	B.Rb.Cs.Zn.Cr.Cu
I—70	3	0,03	42496	145	170000
	2	0,01	1405	108	1405
	1	0,0004	46,5	0,9	0,009
IV	34	0,04	5,0	0,08	0,006
	24—II	0,02	0,4	0,06	0,00008
	28	0,01	0,2	0,0009	0,000001

Большое практическое значение использования ореолов выноса при поисках пегматитовых тел определяется прежде всего низкой стоимостью экспрессного (полуколичественного) спектрального анализа, в отличие от ореолов редких щелочей, обнаружение и оконтуривание которых требует значительных затрат, обусловленных дороговизной аналитических определений.

---

Г. Я. АБРАМСОН, В. Н. БОНДАРЕНКО

## К ВОПРОСУ О ВЫЯВЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ МОЛИБДЕНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Для выявления поисковых геохимических критериев скрытого молибденового оруденения нами был изучен кварц-молибденовый штокверк Северного участка Тырнаузского рудного поля. Северный участок расположен к северу от Центрального разлома и в его строении участвуют различные по составу и степени метаморфизма породы: биотитовые и биотит-амфиболовые роговики, конгломераты, лейкократовые граниты, трондьемиты, прорванные дайками липаритов и ультрабазитов. Оруденение в основном приурочено к контактам даек ультрабазитов с вмещающими породами. Жилы и прожилки кварц-молибденового состава пересекают все известные породы Северного участка. Кроме кварц-молибденовых жил и прожилков, в составе штокверка отмечаются многочисленные жилы кварц-арсенопиритового и полисульфидного состава, различные по своей мощности и ориентировке. Кварц-молибденитовый штокверк вытянут в северо-западном направлении, имеет вертикальное падение. Оруденение в нем прослежено на глубину более 300 м.

Сложное геологическое строение участка и полиформационный характер первичных ореолов вследствие многостадийности процесса оруденения не позволили выделить элементно-индикаторы молибденового оруденения обычными методами. В связи с этим для их выявления были привлечены методы математической статистики.

Известно, что распределение концентраций элементов-индикаторов в пространстве определяется положением изучаемого сечения относительно рудного тела (Григорян, Янишевский, 1968). При этом среди элементов-индикаторов выделя-

ются надрудные, максимальные концентрации которых приурочены к надрудному пространству и убывают с глубиной, рудные, участки максимальных концентраций которых пространственно совпадают с рудным телом и, наконец, подрудные, максимум концентраций которых расположен пространственно ниже рудного тела. Отсюда следует, что задача выбора элементов-индикаторов среди всего набора элементов может быть сформулирована как задача поисков элементов, для которых характерно закономерное изменение соотношений различных концентраций при прослеживании от надрудного пространства к подрудному.

На участке молибденового штокаверка мы имеем три пересечения рудного тела на разных уровнях: близко-надрудное сечение (штольня № 20), рудисе (штольня № 17) и близко-подрудное (штольня № 18). Сформулированная выше задача о выборе элементов-индикаторов в рассматриваемом случае может быть сведена к сопоставлению содержаний элементов на трех уровнях с целью выявления тех элементов, характер содержаний которых определяется положением сечения относительно рудного тела. В связи с тем, что оценка среднего содержания вследствие недостаточной чувствительности метода приближенно-количественного спектрального анализа и опромного числа проб излишне формальна для задачи такого типа, предлагается провести сопоставление частот встречаемости различных концентраций элементов на трех уровнях. Из определения элементов-индикаторов следует, что для них должно наблюдаться закономерное изменение соотношений между частотами встречаемости высоких и низких концентраций.

Таким образом, задача, для решения которой привлекаются методы математической статистики, состоит в определении закономерного изменения соотношений высоких и низких концентраций элементов при прослеживании от надрудного пространства к подрудному.

Положим, что содержание элемента на данном уровне может быть представлено в виде случайной величины  $\xi$ . Тогда характер распределения концентраций в сечении можно представить в виде набора интервалов концентраций и вероятностей их появления, т. е. в виде такого ряда:

$$\begin{array}{ccccccc} \hline X_1 & X_2 & \dots & X_1 & \dots & X_m & \\ \hline P_1 & P_2 & \dots & P_1 & \dots & P_m & \\ \hline \end{array}, \quad (1)$$

где  $X_1, X_2, \dots, X_1, \dots, X_m$  — значения случайной величины  $\xi$  (значения середины интервалов концентраций);  $P_1, P_2, \dots, P_1, \dots, P_m$  — вероятности появления значений из 1, 2, ... m — того интервала. Вместо вероятностей ( $P_i$ ) удобнее использовать частоты попадания отдельных содержаний элементов индикаторов в  $i$ -тый интервал ( $V_i$ ). Тогда ряд (1) примет вид

$$\frac{X_1 \ X_2 \ \dots \ X_1 \ \dots \ X_m}{V_1 \ V_2 \ \dots \ V_1 \ \dots \ V_m}, \quad (2)$$

где  $V_i$  — частота попадания в  $i$ -тый интервал.

При подобном сопоставлении содержаний элементов на различных уровнях рудного тела решение задачи о закономерном изменении соотношения высоких и низких концентраций будет соответствовать нулевой гипотезе о равенстве частотных распределений

$$H_0: V_i = V'_i \quad (3)$$

для всех  $i = 1, 2, \dots, m$ , при альтернативе

$$H_1: V_i \neq V'_i \quad (4)$$

хотя бы для одного  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Предположим, что в нашем распоряжении имеется  $N_1$  наблюдений для первой выборки и  $N_2$  наблюдений для второй выборки, а  $\hat{V}_i$  и  $\hat{V}'_i$  — выборочные значения частот для  $i$ -того интервала в первой и второй выборке соответственно. Тогда проверку нулевой гипотезы (3) можно осуществить с помощью известного критерия (см., в частности, Г. Крамер, 1948):

$$F = \frac{1}{N_1 \cdot N_2} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{(N_2 \hat{V}_i - N_1 \hat{V}'_i)^2}{\hat{V}_i + \hat{V}'_i}. \quad (5)$$

В выражении (5) все обозначения известны, кроме  $m$  — числа интервалов. Известно, что в условиях  $H_0$  (3) число  $F$  представляет собой значение случайной величины, распределенной асимптотически как  $\chi^2$  с  $(m-1)$  степенью свободы.

Нулевая гипотеза (3), если она в результате проверки не отвергается, свидетельствует о весьма близком соотношении различных концентраций в сопоставляемых совокупностях. Если нулевая гипотеза (3) отклоняется, то в данных совокупностях соотношение между различными концентрациями

различается. Для того, чтобы выяснить частоты встречаемости каких концентраций отличают одну совокупность от другой, можно воспользоваться проверкой гипотезы

$$H_0: V_i = V_i' \quad (6)$$

при альтернативе

$$H_1: V_i \neq V_i'.$$

Метод проверки  $H_0$  (6) также широко известен. Критерий для проверки гипотезы (6) имеет следующий вид:

$$F_i = \frac{(\hat{V}_i - \hat{V}_i')^2}{\hat{V}_i + \hat{V}_i'}$$

который в условиях нулевой гипотезы (6) имеет асимптотическое  $\chi^2$ -распределение с одной степенью свободы.

Попарное распределение совокупностей последовательно от надрудных сечений к подрудным с помощью приведенных выше критериев должно привести к выбору круга элементов, для которых характер распределения наблюдений по различным интервалам концентраций закономерно меняется в рассматриваемом направлении.

Процедуру проверки нулевой гипотезы и установление характера поведения элемента в разрезе рассмотрим на примере ванадия (табл. 1). Совокупность содержаний элемента была распределена по следующим пяти интервалам (границы указаны в п. 10<sup>-3</sup>), где значения содержаний элемента, равные границе интервала, включены в левый ряд интервала:

Таблица 1

Распределение содержаний по интервалам

№ штольни	0	10	20	30	40	50
20	4	0	16	2	1	n=23
17	22	7	5	1	0	n=35
18	37	12	0	0	0	n=49

Результаты попарного сравнения характера распределения ванадия (вычисление критерия  $a = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=1}^k \frac{(N_2 X_i - N_1 Y_i)^2}{X_i + Y_i}$ )

следующие:

Штольни № 18—17.

$$a_1 = \frac{1}{1715} \left[ \frac{47089}{59} + \frac{5929}{19} + \frac{60025}{5} + \frac{2401}{1} + \frac{0}{0} \right] = \frac{15516,1}{1715} = 9,05.$$

Штольни № 17—20.

$$a_2 = \frac{1}{805} \left[ \frac{133956}{26} + \frac{25921}{7} + \frac{198025}{21} + \frac{2209}{3} + \frac{1225}{1} \right] = \frac{20246,3}{805} = 25,15.$$

Штольни № 18—20.

$$a_3 = \frac{1}{1127} \left[ \frac{429025}{41} + \frac{76176}{12} + \frac{614656}{16} + \frac{9604}{2} + \frac{2401}{1} \right] = \frac{62431,0}{1127} =$$

$$= 55,40,$$

$$\chi_{0,05;4}^2 = 9,49.$$

Сравнение вычисленных значений критерия ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ) с табличным значением  $\chi_{0,05;4}^2$  указывает на отличие характера распределения содержаний ванадия между горизонтами: штольни № 17—20 и штольни № 18—20. Значение критерия  $a_1$  хотя и меньше  $\chi_{0,05;4}^2$ , но очень близко к нему. Вероятно, это связано с тем, что штольни № 18 и 20 по горизонтали отстоят друг от друга всего на 75 м, в то время как в двух других случаях это расстояние равно соответственно 150 и 225 м.

Чтобы лучше проследить динамику изменений характера распределения содержаний ванадия, объединим интервалы следующим образом: 1+2 (содержания 0—20) и 3+4+5 (содержания 20—50) и определим значения критерия «в» для каждого из двух полученных интервалов (табл. 2; критерий «в» определяется по той же формуле, что и критерий «а», но только для объединенных интервалов).

Значения критериев «а» и «в» свидетельствуют об усилении различий с увеличением расстояния между сравниваемыми горизонтами. Рассмотрение конкретных значений частот говорит о едином направлении изменения характера распре-

Таблица 2

Результаты попарного сравнения характера распределения ванадия

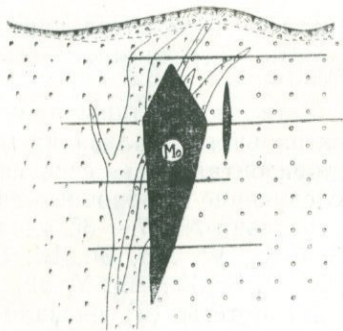
Сравниваемые горизонты	1+2 интервалы	3+4+5 интервалы
№ 18—17	5,12	6,00
№ 17—20	18,94	6,76
№ 18—20	38,21	19,00

деления содержаний ванадия от нижних горизонтов к верхним, а именно, об увеличении частоты встречаемости высоких содержаний элемента.

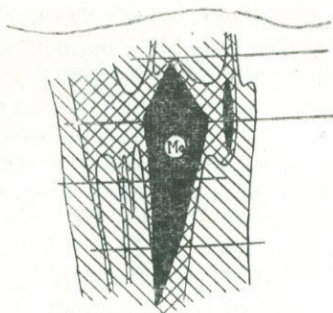
По вышеописанной методике были обработаны данные приближенно-количественного спектрального анализа на широкий круг элементов по трем горизонтальным сечениям. В нашем распоряжении имелись следующие выборочные данные: штольня № 20 — 23 анализа, штольня № 17 — 35 анализов и штольня № 18 — 49 анализов на W, Mo, Sn, Bi, Be, Cu, Zn, Mn, Ti, Cr, Ba, Sb, As, Co, Ni, V, Sr, Zr, Ag, Y, Yb.

В результате проверки нулевой гипотезы (3) оказалось, что только для вольфрама, бериллия, мышьяка, ванадия и никеля гипотеза отвергается для всех трех уровней. В эту группу элементов был включен еще иттрий, хотя между штольнями № 18 и № 17 различий не установлено, однако это определяется преобладанием значений на пределе чувствительности в обеих выборках, при резком изменении соотношений концентраций в штольне 20. Приведенные выше шесть элементов четко подразделяются на две группы: никель, мышьяк и вольфрам, с одной стороны, и ванадий, иттрий, бериллий — с другой. Для первой группы характерно повышение доли высоких концентраций при прослеживании от надрудного пространства к подрудному, а для второй — наблюдается обратная картина: увеличение доли высоких концентраций при прослеживании от подрудного пространства к надрудному.

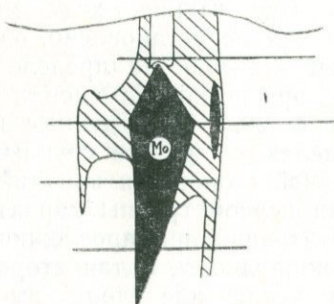
Следует отметить, что никель и бериллий нельзя использовать в данном случае как элементы-индикаторы молибденового оруденения по следующим соображениям. Контуры ореолов никеля полностью совпадают с контурами распространения ультрабазитов, причем содержание никеля в них не превышает кларка, а зональность ореола обусловлена распределением никеля в ультрабазитах и не связана с процессом формирования оруденения. Бериллий в качестве элемента-индикатора здесь не подходит, во-первых, вследствие весьма низких его концентраций в ореолах (практически не превышающих чувствительности анализа), и, во-вторых, вследствие его надрудного положения в ореолах вольфрамового оруденения, которое пространственно совмещено с молибденовым оруденением. Поэтому, вероятно, ореолы бериллия, наблюдаемые на данном участке, связаны с влиянием вольфрамовых рудных тел близрасположенной рудной зоны № 69.



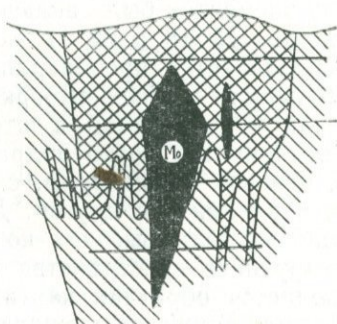
Y



V



As



W

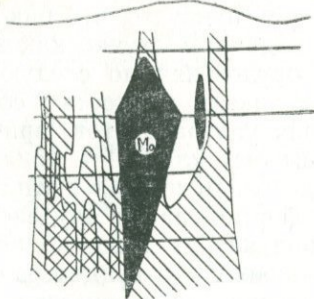
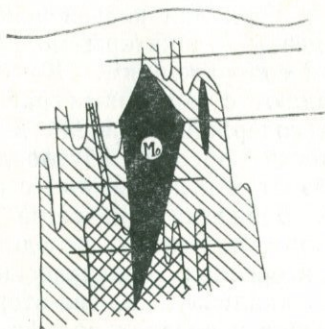


Рис. 1. Распределение элементов-индикаторов в пределах разреза II—II через кварц-молибденовый штокерк

1 — роговики биотитовые и биотит-амфиболовые; 2 — ультрабазиты; 3 — конгломераты; 4 — рудное тело; 5 — скважины. Содержание элементов-индикаторов в ореолах (в %): 6 — вольфрам, молибден, ванадий  $1-10 \cdot 10^{-3}$ , иттрий более  $1 \cdot 10^{-3}$ , мышьяк —  $1-10 \cdot 10^{-2}$ . 7 — вольфрам, молибден, ванадий более  $10 \cdot 10^{-3}$ ; мышьяк более  $10 \cdot 10^{-2}$

Выявленные статистическим обчетом частот встречаемости элементы были отстроены на геологических разрезах с целью проверки и сопоставления с общепринятой методикой определения зональности первичных ореолов (Григорян, Яшишевский, 1968). Для этого были отрисованы ореолы молибдена, вольфрама, иттрия, ванадия и мышьяка в изоконцентрациях, а также подсчитаны линейные продуктивности элементов-индикаторов на разных уровнях относительно рудного тела и произведен расчет показателя зональности.

Молибден (рис. 1) образует ореолы вокруг рудного тела, в основном совпадающего с его контуром, причем максимальная мощность ореола наблюдается на горизонте штольни № 15. С глубиной ореол молибдена значительно выклинивается, линейная продуктивность его падает в 20 раз (табл. 3).

Таблица 3

Линейная продуктивность ореолов элементов-индикаторов молибденового оруденения

Горизонт опробования	Продуктивность				
	As	W	Mo	V	Y
2549	0,89	0,07	0,99	<u>5,48</u>	0,11
2474	<u>4,33*</u>	0,74	12,60	4,04	<u>0,26</u>
2399	0,24	1,03	26,07	1,33	0,06
2324	0,23	<u>3,28</u>	<u>62,75</u>	0,49	0,02

\* Наивысшие значения продуктивностей подчеркнуты.

Иттрий (см. рис. 1) образует весьма контрастные ореолы, максимум продуктивности его и наибольшая мощность ореолов наблюдается на горизонте штольни № 15, т. е. по этим характеристикам ореолы иттрия совпадают с ореолами молибдена. С глубиной ореолы иттрия полностью выклиниваются.

Ванадий (см. рис. 1) образует мощную ореольную шапку в верхних и надрудных частях штокерка, причем мощность его ореолов значительно превышает не только мощность рудного тела, но и всех остальных элементов-индикаторов. Максимальные содержания и продуктивность ванадия наблюдаются в надрудной части (штольня № 20). С глубиной ореолы ванадия выклиниваются, продуктивность падает к горизонту штольни № 18-19 в 10—12 раз (см. табл. 3).

Мышьяк (см. рис. 1) в надрудной части практически отсутствует, с глубиной параметры его ореолов значительно возрастают, образуя максимум по мощности и содержаниям на горизонте штольни № 18-19; продуктивность мышьяка от горизонта штольни № 20 к горизонту штольни № 18-19 возрастает в 50—80 раз (см. табл. 3).

Таблица 4

Величины показателя зональности элементов

Горизонт отробования в м	Mo	W	As	V	Y
2549	0,55	0,04	0,06	<u>0,33</u>	0,006
2474	<u>0,63*</u>	0,11	0,18	0,06	0,004
2399	0,05	0,25	<u>0,64</u>	0,03	0,001
2324	0,02	<u>0,33</u>	<u>0,63</u>	0,005	0,0002

Для выяснения зонального строения ореолов был подсчитан показатель зональности (отношение линейной продуктивности каждого элемента-индикатора к сумме линейных продуктивностей всех остальных) (табл. 4). Максимальные значения показывают места элементов в ряду зональности.

Анализ табл. 4 показывает, что ванадий и иттрий образуют надрудные ореолы, мышьяк и вольфрам — подрудные. Ряд зональности выглядит следующим образом (сверху вниз): ванадий—иттрий—молибден—мышьяк—вольфрам.

Для определения уровня эрозионного среза и его количественной характеристики были подсчитаны отношения сумм линейных продуктивностей надрудных элементов-индикаторов к подрудным: 
$$\frac{\text{ванадий} + \text{иттрий}}{\text{мышьяк} + \text{вольфрам}}$$
 на всех горизонтах.

График изменения отношения с глубиной близок к прямой линии, на каждые 75 м глубины отношение меняется в среднем на порядок (рис. 2), причем надрудное сечение ха-

рактируется первыми единицами (3,3), подрудное — тысячными долями ( $5 \cdot 10^{-3}$ ).

Результаты проведенных исследований показали, что сравнение двух методов (статистический и геохимический) дает сопоставимые данные и при геохимических исследованиях слабоизученных рудных формаций может быть использован метод сравнения частотных распределений. Этот метод

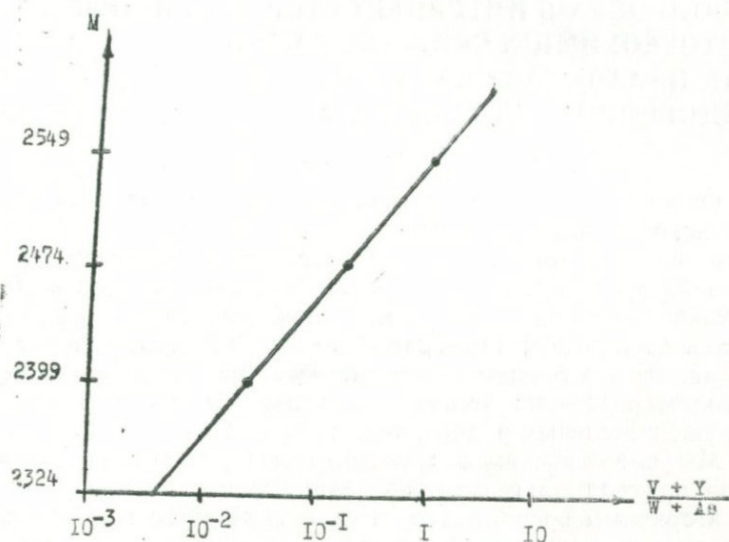


Рис. 2. График изменения показателя эрозионного среза с глубиной на разрезе II—II.

позволяет из большого числа элементов выбрать те, распределение содержаний которых по грациям закономерно изменяется с глубиной относительно рудного тела. Изучение первичных ореолов ограниченного числа элементов, выделенных статистическим методом, дает возможность общепринятыми приемами изучения первичных ореолов (Григорян, Янишевский, 1968) выявить элементы-индикаторы данной рудной формации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1968.  
 Крамер Г. Математические методы статистики. Изд-во Л., 1948.

---

В. И. МОРОЗОВ

## К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ КАК ПРИЗНАКОВ СКРЫТОГО ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Одной из наиболее актуальных проблем практики геохимических методов поисков является проблема поисков рудных тел и месторождений, не выходящих на современный уровень эрозионного среза. Вопросам, связанным с этой тематикой, посвящена многочисленная литература (Григорян, Янишевский, 1968; Григорян и др., 1969 и др.), которая показывает, что геохимические методы поисков по первичным ореолам рассеяния весьма эффективны и надежны для обнаружения слепых рудных тел.

Мы ниже коснемся другого, менее разработанного раздела прикладной геохимии — поисков скрытого оруденения по вторичным ореолам рассеяния и связанных с ними вопросов оценки уровня эрозионного среза вторичных геохимических аномалий в различных ландшафтно-геохимических условиях.

Известно, что скрытые на глубине рудные тела фиксируются на современной дневной поверхности в коренных породах или же в перекрывающих их элювиально-делювиальных образованиях сравнительно локальными и низкоконтрастными ореолами ограниченного набора элементов, часто не являющихся основными компонентами руд. В практике металлометрических съемок прежних лет, когда перспективность той или иной из выявленных аномалий в первую очередь определялась по размерам, контрастности и продуктивности вторичных ореолов основных рудных компонентов, многочисленные низкоконтрастные и локальные аномалии такого типа чаще всего относились в разряд «бесперспективных» и, соответственно, исключались из сферы разведочных и ревизионных работ. На современном уровне подобный под-

ход к интерпретации вторичных геохимических аномалий уже не является оправданным и во многих геологических организациях страны сейчас ставится вопрос о ревизии результатов металлотрических съемок прежних лет и проведении на перспективных площадях новых, более высококачественных геохимических исследований (Овчинников, Григорян, 1972). Естественно, что требования, предъявляемые к таким исследованиям, включают в себя необходимость надежного выявления не только эродированных, но и скрытых рудных тел, залегающих даже на значительной глубине от дневной поверхности. Это, соответственно, требует разработки каких-то новых методик и критериев, позволяющих однозначно определять уровень эрозионного среза вторичных геохимических аномалий относительно предполагаемого рудоносного интервала и на этой основе производить разбраковку аномалий по степени их перспективности на наличие скрытого оруденения.

Будучи ограничены объемом статьи и не имея возможности сколько-нибудь полно изложить все существующие на этот счет точки зрения, мы ниже попытаемся сформулировать лишь некоторые, принципиальные, на наш взгляд, положения, касающиеся особенностей поисков скрытого оруденения по вторичным ореолам рассеяния, и проиллюстрировать их на фактическом материале.

Определенные успехи, достигнутые за последние 10—15 лет в области геохимических поисков, особенно по первичным ореолам, позволяют теоретически обосновать принципиальную возможность поисков скрытого оруденения и по вторичным ореолам рассеяния. При этом в качестве ключевых моментов необходимо отметить следующие положения.

1. Вокруг рудных тел, в том числе и скрытых, формируются широкие и контрастные первичные ореолы определенного круга элементов, наличие которых характерно и для состава самих руд.

2. Размеры первичных ореолов по вертикали в десятки, а иногда и в сотни раз превышают размеры рудных тел. Поэтому часто над скрытыми рудными телами, залегающими на значительной глубине от поверхности, непосредственно на уровне эрозионного среза фиксируются первичные ореолы (а следовательно, и вторичные), которые указывают на наличие оруденения на глубине.

3. В строении первичных ореолов установлена четкая вертикальная зональность, обусловленная избирательным накоплением отдельных элементов-индикаторов в околорудном

пространстве. Так, например, барий, мышьяк, серебро, свинец наиболее часто образуют широкие и контрастные первичные ореолы в надрудных и верхнерудных пересечениях рудных тел на медно-полиметаллических месторождениях. Другие элементы — медь, цинк, кобальт, висмут — образуют ореолы максимальных размеров и контрастности, наоборот, в рудных и подрудных пересечениях месторождений этого типа. Отсюда, по соотношениям количественных характеристик первичных ореолов различных элементов-индикаторов можно достаточно точно установить верхнюю границу выклинивания и уровень эрозионного среза слепых и вскрытых эрозией рудных тел, что уже успешно применяется на практике.

4. В определенных ландшафтно-геохимических условиях, как это будет показано ниже, между первичными и вторичными ореолами отмечается весьма тесная корреляция по элементному составу, конфигурации полей высоких концентраций, а также по соотношениям различных количественных параметров ореолов определенных групп элементов.

Наличие пропорциональных взаимосвязей (по количественным характеристикам, пространственному размещению и элементному составу) между первичными и вторичными ореолами делает возможным, как нам представляется, перейти к оценке и интерпретации первичных геохимических аномалий непосредственно по их гипергенным аналогам. При этом подразумевается, что такого рода аналогии должны проводиться только в случаях, когда изучение самих первичных ореолов требует значительных объемов дорогостоящих вскрышных работ.

Естественно, что весь круг вопросов, связанных с определением характера аномалии в коренных породах, оценкой уровня ее эрозионного среза и т. д., должен решаться с учетом особенностей гипергенной миграции различных элементов-индикаторов в конкретных ландшафтно-геохимических условиях исследуемого региона. Поэтому в процессе исследований особое место должны занимать работы по учету влияния конкретных ландшафтно-геохимических условий на характер формирования вторичных ореолов рассеяния, определение оптимальной мощности чехла рыхлых образований, при которой возможно эффективное проведение поисков, а также уточнение особенностей гипергенной миграции основных элементов-индикаторов для внесения соответствующих поправок при количественных расчетах параметров ореолов.

При обработке аналитических материалов для получения

более точных и достоверных данных и в какой-то мере исключения влияния гипергенного перераспределения элементов, целесообразно также применять некоторые математические приемы, позволяющие резко усилить контрастность и повысить достоверность исходной геохимической информации. Для этой цели мы строили так называемые «мультипликативные» ореолы, использование которых позволило уменьшить влияние случайных погрешностей в распределении отдельных элементов, стабилизировать и усилить основные тенденции, характерные для ореолов на определенных гипсометрических уровнях относительно местоположения рудных тел и, наконец, повысить контрастность слабых полезных сигналов. Последнее особенно важно при поисках и интерпретации аномалий, связанных со скрытым оруденением.

Для практического разрешения многих из вышеуказанных вопросов и разработки комплекса эффективных критериев интерпретации первичных геохимических аномалий по их гипергенным аналогам нами были проведены специальные методические исследования в некоторых районах страны. Ниже излагаются результаты работ, проведенных в юго-восточной Армении на Кафанском медно-полиметаллическом месторождении. К настоящему моменту в пределах восточного фланга этого месторождения разведочными работами вскрыто значительное количество слепых рудных тел жильного типа, что создает удобные предпосылки для проверки и апробации предлагаемой методики.

Участок месторождения, о котором идет речь, расположен на восточных отрогах Бургушатского хребта, между долинами рек Халадж и Вохчи. Он представляет собой расчлененное среднегорье с абсолютными отметками высот от 750 до 1000 м. Склоны гор, особенно в восточной части участка, сравнительно пологие и перекрыты плащом делювия мощностью от 0,3 до 15 м. Почвенный покров территории однороден и представлен коричневыми карбонатными почвами, варьирующими от тяжело-суглинистых полноразвитых до щебнистых маломощных разновидностей, в зависимости от крутизны и экспозиции склонов. Растительность — разреженные заросли араксинского дуба и колючих кустарников — встречается, в основном, на северных склонах. На южных — она практически отсутствует, что способствует более интенсивному развитию денудационных процессов, в отличие от северных склонов, где накапливаются мощные, до 20 м, толщи элювиально-делювиальных отложений.

В геологическом отношении эта территория представляет собой участок выхода на дневную поверхность кварцевых порфиров, их туфов и туфопесчаников средней юры ( $J_2$ ), являющихся основными рудовмещающими породами месторождения. На флангах эти породы уходят под покров верхнеюрских туфоконгломератов. Рудовмещающие породы разбиты сериями разломов на ряд блоков. Оруденение локализуется в опеляющих трещинах этих разломов и обычно представлено сериями крутопадающих маломощных жил, выполненных кварцем и рудными минералами.

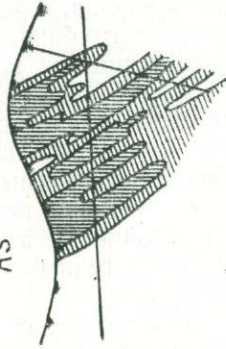
В пределах восточного фланга месторождения нами была проведена площадная геохимическая съемка применительно к масштабу 1:10000, а также выполнялся определенный комплекс специальных методических исследований. На участках с чехлом рыхлых отложений более 5—10 м станком УПБ-25 были разбурены ряды профилей мелкометражных скважин, вскрывающих весь разрез элювиально-делювиальных отложений и подстилающую их кору выветривания. Для сопоставления первичных и вторичных ореолов по этим же пересечениям опробованы керн разведочных скважин и все доступные горные выработки.

Опробование рыхлых отложений и коренных пород, а также аналитическая обработка собранных материалов проводилась по общепринятым методикам, изложенным в известных руководствах. В результате аналитической обработки материалов в пределах исследованной площади выявлен ряд широких и сравнительно контрастных аномалий свинца, серебра, мышьяка, меди, цинка, кобальта и др., пространственно приуроченных к разведанным на глубине рудным телам. В контурах выделенных аномальных полей нами по ряду пересечений произведено сопоставление первичных и вторичных ореолов.

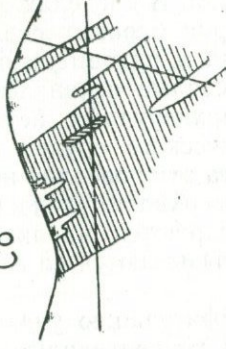
Рис. 1. Сопоставление первичных и вторичных ореолов по разрезу VI—VI

1 — почвенно-растительный слой; 2 — суглинки; 3 — кварцевые порфиры; 4 — дайки диабазов; 5 — тектонические нарушения; 6 — скважины; 7 — горные выработки. Содержание элементов (в %): 8 — свинец 0,005; мышьяк 0,002; серебро 0,0005; медь 0,005; кобальт 0,001; цинк 0,05; мультипликативные ореолы: свинец $\times$ серебро $\times$ мышьяк  $100^{-11}$ ; медь $\times$ кобальт $\times$ цинк  $100^{-7}$ ; 9 — свинец 0,01; мышьяк 0,006; серебро 0,0001; медь 0,025; кобальт 0,0025; цинк 0,1; мультипликативные ореолы: свинец $\times$ серебро $\times$ мышьяк  $1000^{-11}$ , медь $\times$ кобальт $\times$ цинк  $1000^{-7}$

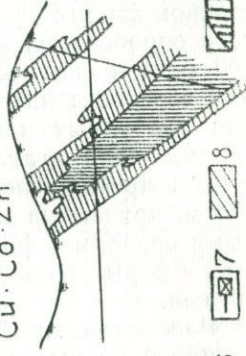
As



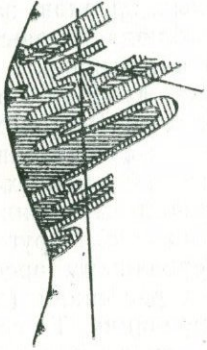
Co



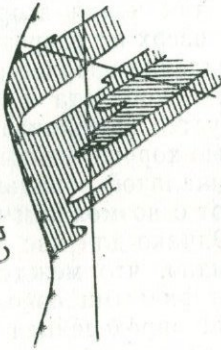
Cu · Co · Zn



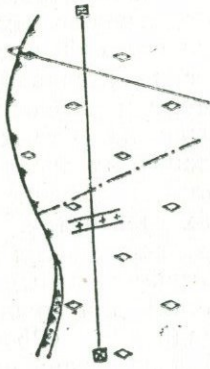
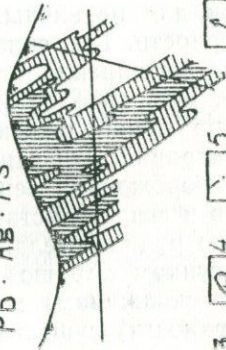
Pb



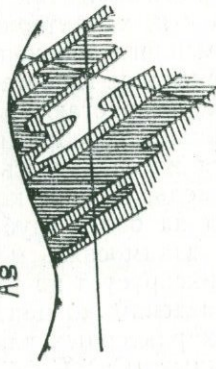
Cu



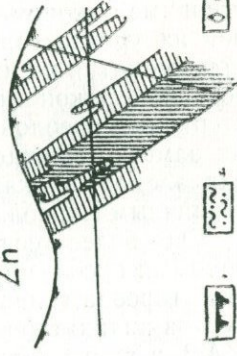
Pb · Ag · As



As



Zn



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

На рис. 1 приводится пример такого сопоставления по одному из профилей (VI—VI), расположенному на северо-восточном фланге участка. В пределах этого профиля, в результате опробования керна буровых скважин на глубине 150—200 м от поверхности, в рудовмещающих кварцевых порфирах выявлены интенсивные первичные ореолы, характерные для надрудных и верхнерудных пересечений развитого на участке полиметаллического оруденения. Как видно из рисунков, протяженность этих ореолов по восстанию превышает 150 м, причем на поверхности, непосредственно над первичными ореолами, фиксируются широкие и устойчивые вторичные, которые тесно увязываются со своими гипогенными аналогами.

Рассматривая конфигурацию указанных ореолов, особенно полей их высоких концентраций, можно заметить общие, как для первичных, так и для вторичных ореолов, закономерности. Так, снизу вверх по разрезу наблюдается постепенное расширение и усиление ореолов свинца, мышьяка, серебра. Для ореолов меди, кобальта и цинка, наоборот, в этом направлении фиксируется выклинивание полей высоких концентраций. Эти данные хорошо увязываются с выявленной на месторождении вертикальной зональностью первичных ореолов и свидетельствуют о возможном наличии на глубине слепого рудного тела. Однако для нас важно еще и другое. По рисункам хорошо видно, что между первичными ореолами (по скважинам) и вторичными ореолами рассеяния (на поверхности) существует определенная корреляция. То есть, во вторичных ореолах рассеяния так или иначе отражаются основные закономерности, характерные для первичных ореолов на уровне современного эрозионного среза. Так, например, несмотря на интенсивное гипергенное выщелачивание, совершенно закономерно возрастают размеры и интенсивность вторичных ореолов свинца, серебра и мышьяка. В то же время заметно снижается интенсивность вторичных ореолов таких элементов, как медь, цинк и кобальт, по сравнению с первичными ореолами на более глубоких горизонтах.

Еще более тесная взаимосвязь между первичными и вторичными ореолами фиксируется по мультипликативным ореолам (ореолам произведений концентраций) для групп элементов-индикаторов, характерных для надрудных ( $Pb \times Ag \times As$ ) и рудно-подрудных ( $Cu \times Co \times Zn$ ) пересечений рудных тел. То есть с помощью мультипликативных ореолов могут быть более отчетливо отражены особенности формирования

и закономерности поведения ореолов на различных гипсометрических уровнях относительно рудоносного интервала.

Наличие пропорциональных взаимосвязей между первичными и вторичными ореолами подтверждается не только качественной картиной, но и количественным сопоставлением различных параметрических характеристик, ореолов, результаты которого приведены в табл. 1.

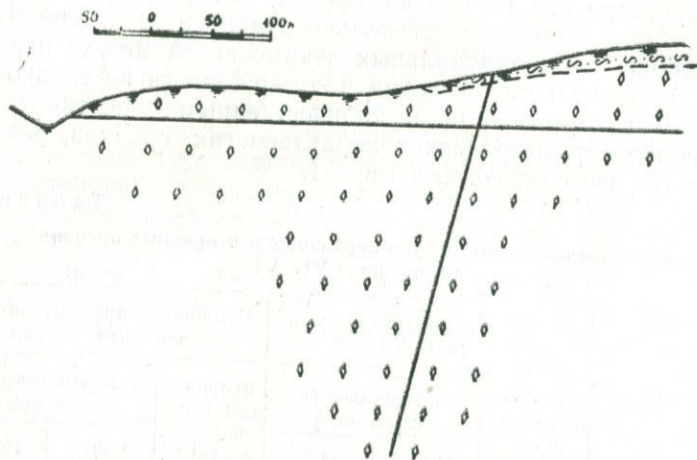
Таблица 1  
Сопоставление параметров первичных и вторичных ореолов на профиле VI—VI

Элемент	Линейная продуктивность (в м %)			Отношение продуктивностей элемента к меди		
	вторичные (поверхность)	* первичные (по скважинам)		вторичные (поверхность)	первичные (по скважинам)	
		1109	1003		1109	1003
Свинец	7,19	1,77	0,77	1,2	0,78	0,11
Серебро	0,072	0,017	0,086	0,012	0,008	0,012
Мышьяк	6,2	1,25	0,46	1,04	0,55	0,063
Медь	5,98	2,26	7,29	—	—	—
Цинк	14,7	20,13	67,54	2,46	8,9	9,26
Кобальт	0,097	0,26	0,18	0,16	0,12	0,024
Висмут	0,013	0,027	н. д.*	0,0022	0,011	н. д.
				Соотношения мультипликативных ореолов		
				$\frac{Pb \times Ag \times As}{Cu \times Co \times Zn}$		
				0,38	0,004	0,00034

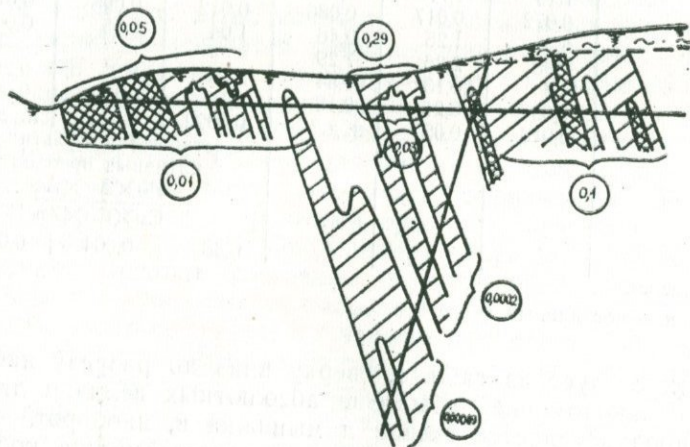
\*н. д.— нет данных.

Как следует из табл. 1, сверху вниз по разрезу наблюдается закономерное убывание абсолютных величин линейных продуктивностей свинца и мышьяка и, наоборот, — возрастание в этом направлении продуктивностей цинка, кобальта и висмута. Для серебра и меди эта зависимость носит более сложный характер и, вероятнее всего, обусловлена не подающимися учету флюктуациями в распределении этих элементов.

По парным соотношениям линейных продуктивностей (в табл. 1 приведены данные только по соотношениям продуктивностей элементов к продуктивности меди) устанавливается примерно аналогичная картина — убывание соотно-



Cu · Co · Zn



шений для надрудных элементов-индикаторов сверху вниз по разрезу, в полном соответствии с представлением о вертикальной зональности первичных ореолов на этом месторождении. Однако для отдельных соотношений, например серебро/медь, наблюдаются существенные искажения, не укладываемые в общую схему. Ясно, что использование этих соотношений при интерпретации уровня эрозионного среза конкретных аномалий может привести к грубым ошибкам.

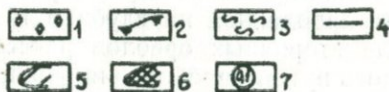
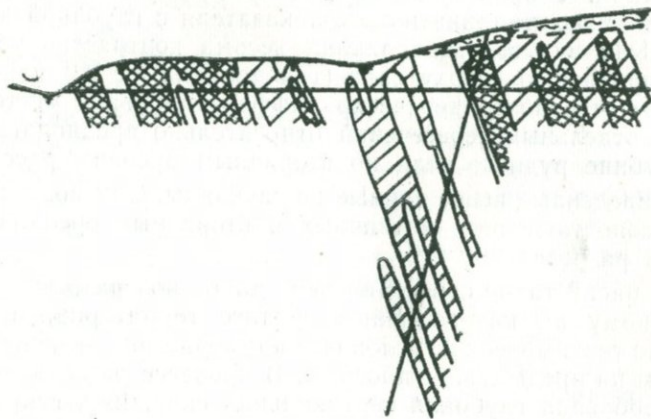


Рис. 2. Сопоставление первичных и вторичных ореолов по профилю I—I  
 1 — кварцевые порфириты; 2 — почвы; 3 — делювиальные суглинки; 4 — опробованные скважины. Концентрации элементов в ореолах: 5 — свинец × серебро × мышьяк  $10^{-11}$ , медь × кобальт × цинк  $10^{-7}$ ; 6 — свинец × серебро × мышьяк  $1000^{-11}$ , медь × кобальт × цинк  $1000^{-7}$ . 7 — абсолютные значения величин мультипликативных соотношений

Такого рода ошибки совершенно исключаются, если проводить интерпретацию не по парным соотношениям, а по так называемому «мультипликативному» показателю — соотношению произведений продуктивностей групп элементов-индикаторов различного уровня эрозионного среза относительно рудных тел. Нами для этой цели были использованы две группы элементов: в числителе — свинец, серебро, мышьяк, максимальное развитие ореолов которых обычно отмечается в надрудных и верхнерудных интервалах; в знаменателе — медь, цинк, кобальт — индикаторов рудных и подрудных пересечений. Естественно, что набор элементов в соотношении может быть изменен в зависимости от конкретных геохимических условий любого района, однако сам принцип подбора

(в числителе надрудные, а в знаменателе подрудные элементы-индикаторы) должен оставаться одним и тем же.

В табл. 1 приведены данные по изменению абсолютной величины мультипликативного показателя с глубиной по разрезу. Как видно, эта величина весьма контрастно убывает по направлению сверху вниз (три порядка на 200 м по вертикали), что позволяет четко дифференцировать местоположение отдельных пересечений относительно предполагаемого на глубине рудного тела по вторичным ореолам рассеяния.

Приведенные выше данные не случайны. Они подтверждаются сопоставлением первичных и вторичных ореолов и на других разрезах.

На рис. 2 такое сопоставление дано по разрезу, расположенному на юго-восточном фланге территории, в ландшафтно-геохимических условиях, примерно аналогичных описанным на предыдущем профиле. В процессе работ здесь была опробована глубокая вертикальная скважина, вскрывшая многочисленные рудные прожилки в кварцевых порфиритах на глубине 250—300 м от поверхности. Верхняя часть толщи вмещающих пород была изучена по керну горизонтальной разведочной скважины, пройденной на глубине 15—40 м от поверхности. Изучение вторичных ореолов рассеяния на этом участке производилось путем опробования верхних горизонтов развитых здесь коричневых почв.

На рис. 2 показаны мультипликативные ореолы двух групп элементов, по которым проводилось оконтуривание ореолов в пределах данного разреза. Отчетливо видно, что вторичные ореолы рассеяния на поверхности практически повторяют конфигурацию своих первичных аналогов. Однако корреляция первичных и вторичных ореолов наблюдается только на участках с маломощным (0,5—1,5 м) покровом рыхлых образований на южном отрезке профиля. На северном фланге, где мощность элювиально-делювиального покрова достигает 5—7 м, в верхних горизонтах почв не обнаружено даже слабоконтрастных аномалий, хотя горизонтальной скважиной на глубине 40 м именно в этом интервале вскрыты широкие и интенсивные первичные ореолы.

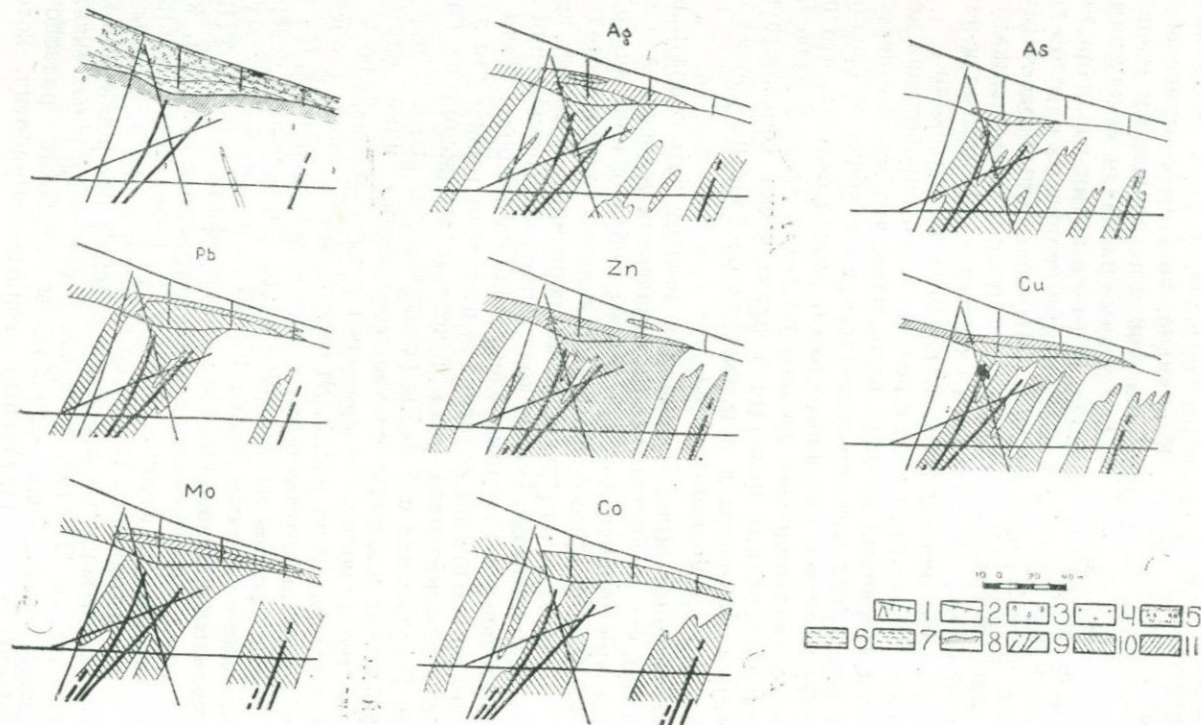
Для различных пересечений по этому разрезу также проводились расчеты мультипликативного показателя, которые подтвердили существование тесных взаимосвязей между первичными и вторичными ореолами.

Цифрами в кружках (см. рис. 2) даны абсолютные зна-

чения мультипликативного показателя для различных по глубине пересечений первичных ореолов, а также вторичных ореолов на поверхности. Как видно, по этим соотношениям фиксируется тесная корреляция между первичными и вторичными ореолами, причем максимальные различия между ними не превышают одного порядка. В то же время различия между верхним и нижним пересечениями первичных ореолов достигают двух—трех порядков. Мы попытались рассчитать вертикальный градиент изменения величины мультипликативного показателя по этим двум скважинам. Он оказался равным примерно одному порядку на 50 м по вертикали.

Сопоставляя эти данные с результатами опробования первичных и вторичных ореолов и учитывая, что верхнее пересечение первичных ореолов находится на глубине в среднем около 30 м от дневной поверхности, можно считать, что полученные для вторичных ореолов по этому разрезу значения мультипликативного показателя практически соответствуют расчетным значениям для первичных ореолов на уровне современного эрозионного среза.

Изложенный выше материал позволяет нам сделать вывод о том, что в ландшафтно-геохимических условиях данного района при мощности чехла рыхлых образований не более 1,0—1,5 м вторичные ореолы рассеяния не только наследуют конфигурацию инициирующих их первичных ореолов, но и пропорционально сохраняют количественные соотношения между отдельными группами элементов-индикаторов. Надо отметить, что подобная корреляция выявлена только для ландшафтов элювиального ряда с чехлом отложений не более 1,5 м. На участках с более мощным чехлом рыхлых образований может наблюдаться уже совершенно иная картина. В качестве иллюстрации приводим разрез по профилю V—V, который показан на рис. 3. Этот профиль по своим особенностям значительно отличается от всех ранее описанных. Он расположен в средней части крутого (15—20°) склона северной экспозиции с мощным, около 10—15 м, покровом рыхлых делювиальных образований. По линии профиля станком УПБ-25 было пробурено несколько мелкометражных скважин, которые вскрыли на глубине 4—5 м от поверхности обильный водоносный горизонт. Ниже, на глубине 7—13 м, отдельными скважинами вскрыты верхние горизонты пестроцветной коры выветривания. Помимо указанных мелкометражных скважин, на этом участке были опробованы глубокие разведочные скважины и горизонтальные горные выработки, которые



вскрывают серию сближенных рудных жил на глубине 30—70 м от поверхности.

На рис. 3 показаны основные особенности формирования вторичных ореолов рассеяния в толще элювиально-делювиальных образований и их взаимоотношения с первичными ореолами в пределах данного разреза. Как следует из рисунка, вторичные ореолы большинства элементов имеют характерную шлейфообразную форму и фиксируются только в нижней и средней части разреза. Резкого сползания вторичных ореолов вниз по склону относительно выходов первичных ореолов не наблюдается. Даже наоборот, в 60—100 м ниже по склону от контура первичных ореолов намечается постепенное выклинивание полей максимальных концентраций элементов во вторичных ореолах. Еще ниже по склону наблюдаются лишь слабоконтрастные шлейфовидные ореолы протяженностью до 100—150 м.

Мощность вторичных ореолов рассеяния по вертикали не превышает 4—7 м, т. е. в верхних горизонтах почв устойчивых вторичных ореолов не обнаружено, что подтверждается и результатами площадной геохимической съемки на этом участке.

Характерной особенностью формирования вторичных ореолов рассеяния различных элементов в разрезе рыхлых образований является закономерное убывание концентраций снизу вверх — от максимальных значений на уровне пестроцветной коры выветривания до минимальных у верхней границы ореолов, на глубине 4—6 м от поверхности. Интересно отметить, что эта граница совпадает с верхним уровнем сезонных колебаний грунтовых вод, что однозначно свидетельствует о преимущественно солевой природе исследуемых вторичных ореолов.

Концентрации большинства элементов во вторичных ореолах (в полях максимальных содержаний) примерно соответ-

---

*Рис. 3. Распределение вторичных ореолов различных элементов в разрезе рыхлых отложений*

1 — опробованные скважины; 2 — почвы; 3 — рудовмещающие кварцевые порфиры; 4 — дайки диабазов; 5 — горизонт карбонатных суглинков; 6 — делювиальные суглинки; 7 — глины; 8 — кора выветривания; 9 — рудные тела. Концентрации элементов в ореолах (в %): 10 — серебро 0,0005; мышьяк 0,01; свинец 0,01; цинк 0,05; медь 0,01; молибден 0,002; кобальт 0,0001. 11 — серебро 0,0001; свинец 0,005; цинк 0,01; медь 0,005; молибден 0,01

ствуют концентрациям этих же элементов в первичных, т. е. заметного обогащения или разубоживания вторичных ореолов по отношению к первичным не фиксируется. Исключение составляет молибден, для вторичных ореолов которого на этом профиле отмечается значительное обогащение по отношению к первичным. Интересно отметить, что максимальные концентрации молибдена во вторичных ореолах фиксируются не на уровне коры выветривания (как у других элементов-индикаторов), а в средней части разреза, на границе грунтовых вод. Такое «аномальное» поведение молибдена, вероятнее всего, обусловлено его способностью активно мигрировать с карбонатными грунтовыми водами и высаживаться из растворов на глеевом барьере (Перельман, 1972).

Таким образом, на участках с мощным покровом рыхлых отложений (более 5—10 м) опробование верхних горизонтов почв является малоэффективным и может привести к пропуску аномалий, заведомо перспективных на наличие скрытого оруденения. В таких случаях для выявления и разбраковки аномалий необходимо вскрывать нижние горизонты рыхлой толщи с применением специальной буровой техники. Необходимость вскрытия именно нижних горизонтов рыхлой толщи для надежной интерпретации вторичных ореолов подчеркивается и результатами количественных сопоставлений параметров первичных и вторичных ореолов, рассчитанных для этого разреза (табл. 2).

Из таблицы видно, что абсолютная величина мультипликативного соотношения закономерно возрастает от самых глубоких горизонтов разреза до кровли коры выветривания, причем градиент этого возрастания примерно соответствует установленному на предыдущем разрезе (один порядок на 50—70 м по вертикали). Однако рассматривая закономерности формирования собственно вторичных ореолов по вертикали, мы получаем иную картину. Если параметры вторичных ореолов на уровне коры выветривания четко коррелируют с аналогичными параметрами первичных ореолов, то на уровне верхней границы вторичных ореолов (в 5 м над кровлей коры выветривания) фиксируется убывание величины мультипликативного соотношения примерно на один порядок. Такое резкое изменение параметров мультипликативных соотношений по вертикали во вторичных ореолах рассеяния обусловлено различной активностью гипергенной миграции указанных элементов-индикаторов, в частности, элементы знаменателя мультипликативного соотношения являются более активными мигранта-

Изменение величины мультипликативного показателя  $\frac{Pb \times Ag \times As}{Cu \times Co \times Zn}$  для ореолов в коренных породах и рыхлых отложениях по профилю V—V

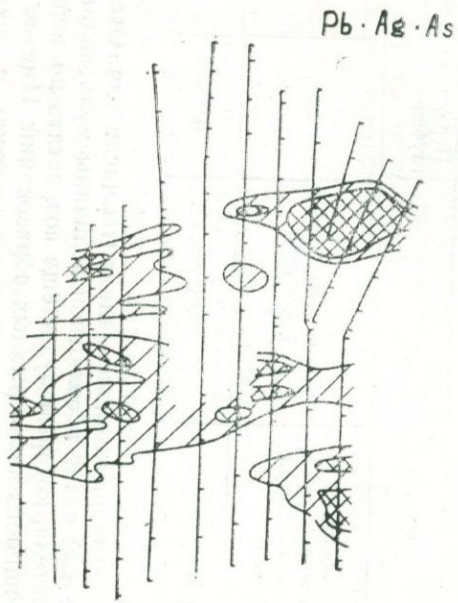
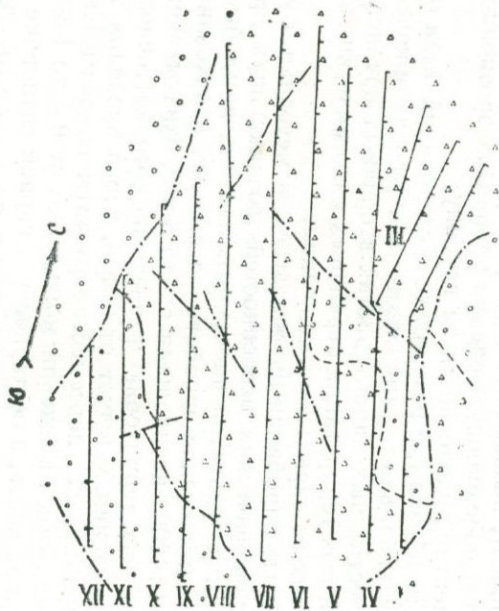
Вторичные ореолы			Первичные ореолы на глубине от поверхности (м)	
верхняя граница вторичного ореола от кровли коры выветривания	граница вторичного ореола +5 м от кровли коры выветривания	уровень кровли коры выветривания	30	80
0,0024		0,01	0,008	0,0011

ми в зоне гипергенеза, чем элементы числителя. Отсюда понятен резкий сдвиг абсолютной величины мультипликативного показателя, который будет еще возрастать по мере увеличения мощности чехла рыхлых образований. Именно по этой причине аномалии, выявленные на участках с критической мощностью чехла рыхлых отложений (для данного района 5 м и более), необходимо подвергать тщательному изучению для более обоснованной оценки уровня их эрозионного среза и перспектив рудоносности на глубину.

Таким образом, в результате исследований была обоснована принципиальная возможность использования качественных и количественных характеристик вторичных ореолов для выявления и интерпретации первичных геохимических аномалий, связанных со скрытым оруденением.

С целью апробации предполагаемой методики и уточнения ряда специфических особенностей, возникающих при интерпретации результатов площадных съемок, нами было проведено геохимическое опробование рыхлых образований в масштабе 1 : 10000 на площади около 5 км<sup>2</sup>, охватывающей практически всю территорию разведываемого восточного фланга месторождения. Следует отметить, что в пределах этого участка практически повсеместно развиты покровы элювиально-делювиальных отложений мощностью от 0,5 до 1,5 м. Только в северной части, в обширной межгорной котловине мощность рыхлого чехла резко возрастает и достигает 10—20 м.

В результате обработки аналитических материалов в пределах этого участка выявлен ряд обширных и контрастных



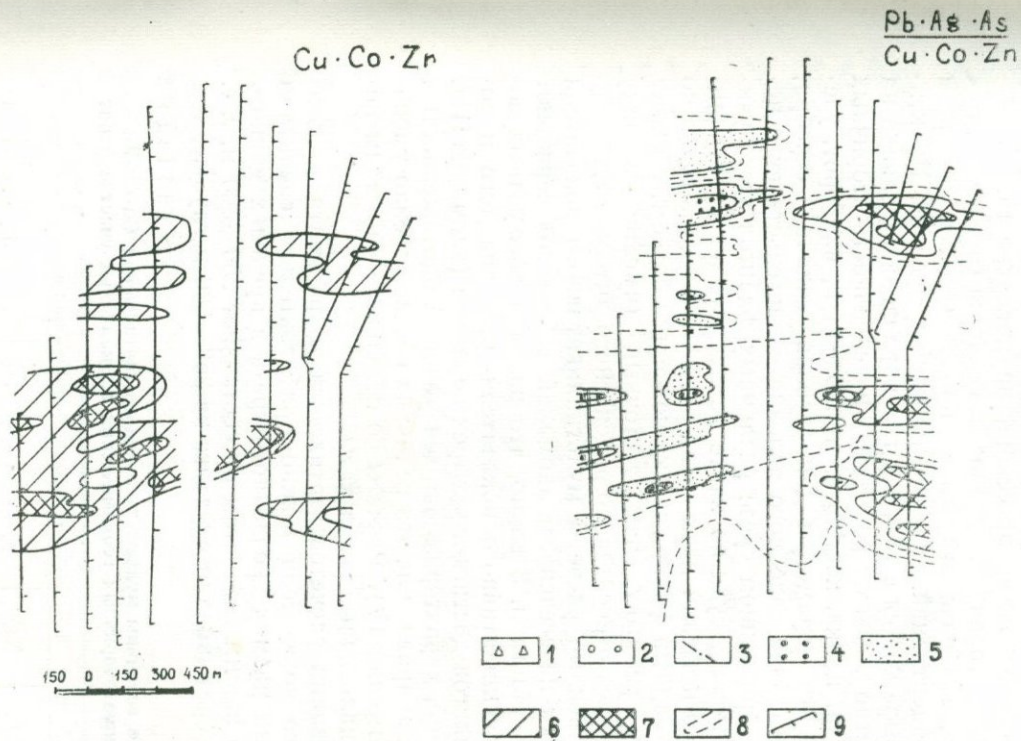


Рис. 4. Особенности пространственного размещения различных групп элементов-индикаторов во вторичных ореолах рассеяния

1 — кварцевые порфиры; 2 — туфопесчаники; 3 — тектонические нарушения. Величина мультипликативных соотношений во вторичных ореолах; 4 — 4,001; 5 — 0,1; 6 — 1,0; 7 — 10,0. Концентрации элементов в мультипликативных ореолах: 6 — свинец × серебро × мышьяк —  $100^{-11}$ , медь × кобальт × цинк —  $100^{-7}$ , 7 — свинец × серебро × мышьяк —  $1000^{-11}$ ; 8 — контуры мультипликативных ореолов; 9 — профили геохимического опробования

аномальных полей (рис. 4), пространственно совпадающих с площадями уже отработанных или разведываемых рудников, т. е. намечается тесная пространственная корреляция между рудными полями (точнее полями первичных ореолов) и вторичными ореолами рассеяния на поверхности.

В строении вторичных ореолов намечается горизонтальная зональность, наиболее отчетливо проявляющаяся по полям высоких концентраций мультипликативных ореолов. Практически она выражается в том, что по направлению с запада на восток заметно убывают размеры и интенсивность вторичных ореолов меди, цинка, кобальта, молибдена и, наоборот, увеличиваются эти параметры для ореолов свинца, серебра, мышьяка. Наличие подобного явления свидетельствует о неоднородном эрозионном срезе различных флангов этого участка. В частности, судя по карте распределения мультипликативных соотношений двух групп элементов-индикаторов по площади, западный фланг участка подвергся более глубокому эрозионному размыву, чем восточный (имеется в виду эрозионный срез относительно рудоносного интервала).

Количественные расчеты мультипликативного показателя по отдельным пересечениям аномалий также подтверждают эту картину. Из табл. 3 видно, что разница абсолютных величин мультипликативного показателя для западного и восточного флангов достигает четырех порядков (аномалия III). Для аномалий, характеризующихся меньшей протяженностью в широтном направлении, эта величина соответственно уменьшается (аномалия IV). Расчеты по остальным аномалиям показывают аналогичные результаты.

На основании расчетов вертикального градиента мультипликативного показателя можно приблизительно оценить и вертикальный размах эрозионного среза в пределах данного участка. По нашим подсчетам он составляет 250—300 м, т. е. эрозионный срез западного фланга на 250—300 м глубже, чем

Таблица 3

Изменение величины мультипликативного соотношения  $Cu \cdot Co \cdot Zn$  по простиранию вторичных геохимических аномалий на участке работ

№ аномалии	№ профиля опробования								
	XII	XI	X	IX	VIII	V	IV	III	I
III	0,000074	0,000019	0,00029	0,00015	0,0016	0,0012	0,012	—	0,58
IV	—	—	—	—	—	0,0044	0,011	0,07	0,396

восточного. Отсюда следуют практические выводы: если в пределах западного фланга участка рудоносный интервал вскрыт эрозионной поверхностью (рудники Куш-Магара, Чинар-Дараса), то на восточном фланге рудные тела залегают более глубоко, что, собственно, и подтверждается сейчас данными разведочных работ.

Таким образом, даже по результатам ординарной площадной съемки представляется возможным представительно оценить перспективность различных флангов выявленных аномалий на наличие скрытого оруденения, а также определить ориентировочную глубину его залегания. Эти данные позволяют со всей остротой поставить вопрос о необходимости ревизии результатов ранее проведенных металлотрических съемок в районах с незначительной мощностью перекрывающего рыхлого чехла для выявления аномалий, перспективных на наличие скрытого оруденения на глубине (в первую очередь), и оценки уровня эрозионного среза всех остальных, тем более, что необходимый для этого методический материал по эталонным разрезам уже собран в соответствующих территориальных геологических управлениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндеогенные геохимические ореолы рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1968.
- Григорян С. В., Федотова Г. Э., Дегтярев В. С. Геохимические поиски слепого полиметаллического оруденения в Курусайском рудном поле. В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», вып. 1, Изд. ИМГРЭ, М., 1969.
- Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1965.
- Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Сборник трудов И СГПМ, Иркутск, 1970.
- Овчинников Л. Н., Григорян С. В. К вопросу об интерпретации геохимических аномалий. В сб. «Литохимические поиски рудных месторождений». Изд-во «Наука», Алма-Ата, 1972.
- Перельман А. И. Геохимическая классификация элементов по особенностям миграции в зоне гипергенеза. В сб. «Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых и оценки потенциальной рудоносности магматических и метаморфических комплексов докембрия». Изд. Кольского филиала АН СССР, Анатиты, 1972.

---

Ю. Т. ДРЕУС

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ СКАРНО-ШЕЕЛИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

(на примере месторождения Джилау)

В геологическом строении Джилауского рудного поля принимают участие преимущественно терригенно-карбонатные породы среднепалеозойского возраста. Наиболее широко здесь распространены силурийские отложения, которые представлены двумя отделами — нижним и верхним. Породы нижнего отдела, выделенные в шингскую свиту, состоят из кварцево-сланцевых сланцев, песчаников и кварцитов, переслаивающихся с темно-серыми доломитовыми известняками и доломитами. Мощность свиты 200—300 м. Отложения верхнего отдела состоят из темно-серых и черных тонкослоистых («ленточных») известняков, доломитов и доломитовых известняков, нередко содержащих незначительную примесь песчано-глинистого материала. Общая мощность отложений верхнего силура составляет 750—950 м.

На отложениях силурийской системы несогласно залегают нерасчлененные средние- и верхнедевонские отложения, выделенные в акбассайскую свиту. Представлены они темно-серыми, черными или зеленовато-серыми кремнистыми сланцами, листоватыми алевролитами и глинистыми сланцами. В верхней части свиты иногда отмечаются маломощные прослойки и линзы известняков. Мощность свиты около 200 м.

Нижнекаменноугольные (?) отложения в пределах Джилауского рудного поля пользуются незначительным распространением. Представлены они переслаивающимися серыми, темно-серыми и зеленовато-серыми глинистыми сланцами, хлорит-серицитовыми сланцами грязно-зеленого цвета и рассланцованными песчаниками. Мощность этих образований не превышает 200 м.

Верхнепалеозойские отложения прорваны Чинарсайской интрузией гранодиоритов и комплексом дайково-жильных образований позднепалеозойского возраста. Среди последних отмечаются порфиоровидные гранит-порфиры, порфиоровидные мелкозернистые диориты, спессартиты, диабазовые порфириты. Простираение даек северо-восточное, северо-западное, субширотное и реже субмеридиональное. Для них характерна сложная морфология и небольшая (до 100—120 м) протяженность. Мощность даек достигает 10—15 м.

Широким развитием в пределах Джилауского рудного поля пользуются разрывные нарушения различных направлений. Вдоль южного контакта Чинарсайского интрузива устанавливается серия параллельных крутопадающих разрывов, которые составляют, вероятно, часть более крупной дизъюнктивной структуры субширотного простираения — Зеравшанского разлома. Не меньшим распространением в районе пользуется серия субпараллельных крутопадающих разломов северо-восточного и северо-западного направлений.

Рудовмещающие породы на месторождении Джилау в большей или меньшей степени подвергнуты гидротермальным изменениям. Характер и степень этих изменений зависит в значительной степени от литологического состава и структурных особенностей пород. Вокруг рудных тел, залегающих в карбонатных породах, наиболее сильно проявились процессы мраморизации и скарнирования, реже серпентинизации и окварцевания. Кварцево-слюдистые сланцы, как правило, подверглись ороговиканию, окварцеванию, серицитизации и значительно реже скарнированию. Для них характерно наличие многочисленных тонких (до 1—2 см) взаимнопересекающихся прожилков кварцевого и калишпат-кварцевого состава. Аналогичные гидротермальные изменения отмечаются в гранодиоритах и их жильных дериватах.

Рудные тела месторождения представлены прожилково-кварцевыми штокверками в окварцованных гранодиоритах и кварцево-слюдистых сланцах, минерализованными зонами брекчирования в различных по литологическому составу породах, окварцованными гранат-пироксеновыми, пироксеновыми и волластонитовыми скарнами, а также различными скарноидами. Основная масса их приурочена к зонам тектонических контактов между карбонатными и терригенными отложениями, а также к контактам гранодиоритов с известняками и кварцево-слюдистыми сланцами. Границы между рудными телами и вмещающими породами часто нечеткие, про-

водятся, как правило, только по результатам бороздowego опробования.

Рудные минералы представлены шеелитом, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, пирротинном, реже — галенитом, сфалеритом, молибденитом, а также в единичных случаях — блеклой рудой, висмутином, тетрадимитом, аляскитом, киноварью, самородным серебром и висмутом. Среди гипергенных минералов отмечаются борнит, ковеллин, халькозин, малахит, хризоколла, азурит, лимонит, гетит.

Первичные ореолы были изучены по общепринятой методике. Для элементов, чувствительность приближенно-количественного анализа на которые недостаточна (сурьма, мышьяк и др.), за минимально-аномальные содержания принимались минимальные значимые содержания (пороговые значения).

Прежде чем перейти к описанию особенностей развития первичных геохимических ореолов элементов-индикаторов, отметим, что на месторождении рудные тела сближены, в связи с чем ореолы, окаймляющие различные рудные тела, совмещены в пространстве. Это обстоятельство осложняет, и в ряде случаев существенно, интерпретацию выявленных геохимических аномалий, вследствие того, что в значительной степени затушевывает закономерные пространственные взаимоотношения рудных тел и окаймляющих первичных ореолов. По этой причине не удается достаточно надежно дифференцировать геохимические ореолы отдельных рудоносных зон, в пределах которых размещается группа различных по размерам рудных тел.

Геохимическими работами установлено, что рудоносные зоны месторождения сопровождаются отчетливыми ореолами вольфрама, висмута, серебра, свинца, цинка, меди, мышьяка, молибдена, олова, кобальта, бария.

Размещение геохимических ореолов, как и самих рудных тел, вокруг которых они развиты, контролируется зонами разрывных нарушений. Для удобства интерпретации результатов геохимического опробования, а также их увязки с геологоструктурными условиями локализации оруденения на месторождении условно был выделен ряд рудоносных зон, выраженных зонами сильной трещиноватости, брекчирования и гидротермального изменения пород субширотного простирания. Строение этих зон неоднородное: участки сильной трещиноватости и брекчирования чередуются с участками, в пределах которых породы слабо катаклазированы. Последнее обстоятельство обуславливает полосчатое строение геохимических

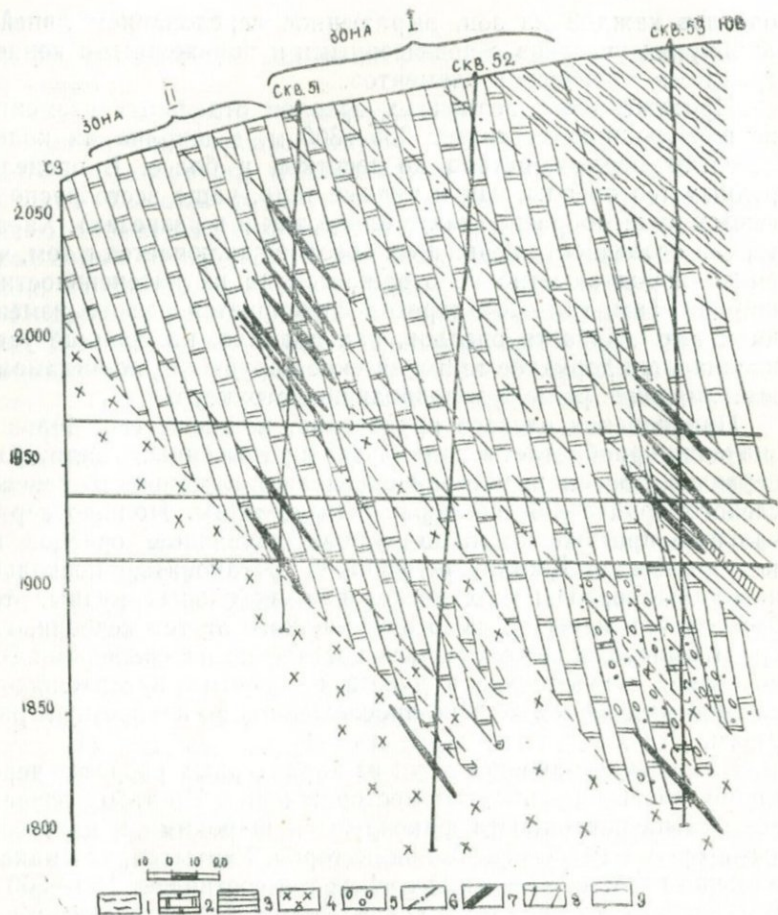
ореолов каждой из зон, выраженное чередованием линейно вытянутых участков с повышенными и пониженными концентрациями химических элементов.

Протяженность первичных ореолов отдельных элементов по простиранию достигает 200—300 м, а ширина их колеблется от первых метров до десятков и более. В пределах рудных тел ореолы, как и рудные тела, чаще всего располагаются кулисообразно (как в плане, так и в разрезах). Характерная особенность первичных ореолов заключается в том, что смена пород заметно не отражается на их интенсивности и ширине. Там, где этот переход фиксируется резким изменением интенсивности ореолов, как правило, на границе устанавливается дорудное тектоническое нарушение, по-видимому, выполняющее роль рудоподводящих структур.

При поисках слепого оруденения, как известно, большое значение приобретает вертикальная протяженность надрудных первичных ореолов, которая определяет глубину поисков слепого оруденения по первичным ореолам. Полную вертикальную протяженность надрудных первичных ореолов на месторождении Джилау не удалось установить, поскольку надрудные ореолы всех исследованных слепых рудных тел были прослежены до самого удаленного от тел сечения, где ореолы продолжали оставаться достаточно интенсивными. Это позволяет считать, что в действительности протяженность надрудных ореолов больше прослеженной по конкретным разрезам.

На рисунке приведен один из характерных разрезов через группу слепых рудных тел месторождения. По этому разрезу все они на поверхности фиксируются широкими и интенсивными ореолами элементов-индикаторов. Учитывая, что максимальная глубина залегания слепых тел составляет 150—200 м (см. рисунок; рудные тела, вскрытые скв. 53), приходим к выводу, что в условиях месторождения глубинность поисков слепого оруденения по первичным ореолам элементов-индикаторов превышает 150—200 м и, по-видимому, существенно, поскольку ореолы на поверхности являются достаточно широкими и интенсивными. Укажем, что речь в данном случае идет о моноэлементных ореолах. Очевидно, что глубинность поисков по суммированным ореолам будет больше, поскольку последние по размерам больше моноэлементных.

По исследованным разрезам были построены частные мультипликативные ореолы свинца, серебра и меди, образующих надрудные ореолы, и вольфрама, висмута, мышьяка,



Геологический разрез

1 — глинистые, кремнистые «яшмовидные» сланцы нижнего карбона; 2 — нижнеудловские доломитовые известняки; 3 — кварцево-сланцевые сланцы нижнего силура; 4 — гранодиориты; 5 — скарнированные породы; 6 — предполагаемые крупные тектонические трещины; 7 — золото-вольфрамовые рудные тела; 8 — интервалы геохимического опробования; 9 — выделенные зоны (I, II)

ореолы которых обладают максимальной шириной и интенсивностью в нижних частях околорудного пространства. Мультипликативные ореолы по сравнению с моноэлементными являются более контрастными. Зональность в их строении также

является весьма контрастной, что отчетливо иллюстрируется таблицей, в которой приведены величины отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов, выявленных по разрезу (см. рисунок).

Отношение линейных продуктивностей мультипликативных ореолов

№ рудной зоны	Профили	Уровень ореолов	Отношение линейных продуктивностей
I	Поверхность	Надрудный	108,0
	Скв. 52	Верхи рудного	6,5
	Скв. 53	»	0,10
II	Поверхность	Надрудный	96,0
	Скв. 51	Верхи рудного	1,1
	Скв. 52	?	0,7
	Скв. 53	Верхи рудного	0,13

Отношение продуктивностей мультипликативных ореолов рассчитано для групп — свинец, серебро, медь (надрудные элементы) и вольфрам, висмут, мышьяк (подрудные). Эти расчеты выполнены для двух зон, граница между которыми проведена в значительной степени условно.

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

Аналогичная закономерность установлена во второй зоне: здесь с глубиной также намечается монотонное убывание указанного выше индикаторного отношения. Следует отметить, что градиент этого отношения ниже уровня скв. 51 резко уменьшается, что, по всей вероятности, следует объяснить появлением на глубине новых слепых рудных тел, надрудные ореолы которых накладываются на подрудные верхних рудных тел. Влияние этого наложения, как следует из величин индикаторных отношений, не столь существенно, что, вероятно, объясняется небольшими размерами этих тел (см. рисунок).

УДК 553.063:550.84.092.1.

**Особенности первичных ореолов редкометалльных пегматитов.** Виноградова Н. А., Григорян С. В. В сб. «Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1974, стр. 3—12.

УДК 553.065.26.550.424.812.01.

**Миграция элементов, геохимическая зональность и поиски глубокозалегающих гидротермальных месторождений.** Карцов А. И., Малахов А. С. В сб. «Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1974, стр. 13—22.

УДК 553.462'463.044:550.84.092.1

**Опыт прогнозирования слепого вольфрам-молибденового оруденения по первичным геохимическим ореолам.** Абрамсон Г. Я., Григорян С. В., Сандомирский А. Я., Свириденко А. Ф. В сб. «Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1974, стр. 23—35.

УДК 553.063:550.84.092.1.

**О некоторых особенностях формирования ореолов выноса вокруг редкометалльных пегматитов.** Виноградова Н. А., Григорян С. В. В сб. «Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1974, стр. 36—49.

Выделены различные комбинации индикаторных отношений, выявляющих контрастную зональность первичных ореолов редкометалльных пегматитов. Олово концентрируется в головных частях ореолов, а редкие щелочи, бор и тантал — в корневых частях. Наиболее чувствительным к проявлению «сложных» ореолов, сигнализирующих о наличии слепых куллилитий<sup>2</sup> сообразных пегматитовых тел, является отношение  $\frac{\text{рубидий-цезий}}{\text{литий}}$ .

Таблиц 5, иллюстраций 2, библиография — 4 названия.

Рассматриваются факторы, влияющие на характер эндогенной геохимической зональности, возможность применения последней при поисках скрытого оруденения и решении вопросов о генезисе месторождений. Делается вывод, что для успешного применения геохимических критериев при оценке оруденения предварительно должны быть изучены однотипные месторождения в каждом рудном районе. Таблиц 1, иллюстраций 1, библиография — 11 названий.

Предлагается ряд осевой вертикальной зональности в первичных геохимических ореолах в связи с геохимическими критериями поисков промышленного вольфрам-молибденового оруденения. Рассматривается пример подтверждения рекомендации, данной на основании выявленных критериев. Таблиц 3, иллюстраций 7, библиография — 2 названия.

Установлено, что вокруг пегматитовых жил наблюдаются отчетливые зоны выноса титана, меди, скандия, ванадия, молибдена, никеля и ряда других элементов. Из головной части жилы выносятся преимущественно цинк, хром, медь, кобальт, цирконий, а из корневой — барий, стронций и свинец. Зональность максимальной контрастности получается при совместном использовании всех ее типов с результирующим индикаторным отношением  $\frac{\text{Sn} \cdot \text{Li}^2 \cdot \text{Ba} \cdot \text{Sr} \cdot \text{Pb}}{\text{V} \cdot \text{Rb} \cdot \text{Cs} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Cu}}$ .

Таблиц 4, иллюстраций 9.

УДК 553.462:550.84.09.

**К вопросу о выявлении элементов-индикаторов молибденового оруденения.** Абрамзон Г. Я., Бондаренко В. П. В сб. «Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1974, стр. 50—59.

УДК 553.062/067+550.084.092.2.

**К вопросу об интерпретации вторичных литогеохимических аномалий как признаков скрытого эндогенного оруденения.** Морозов В. И. В сб. «Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1974, стр. 60—80.

УДК 550.84.091.1+553.25 (925.2).

**О некоторых особенностях первичных геохимических ореолов скарново-шеелитового оруденения (на примере месторождения Джилау).** Дресус Ю. Т. В сб. «Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1974, стр. 80—85.

Показано, что при геохимических исследованиях первичных ореолов может быть применен метод частных распределений, позволяющий из большого числа элементов выбрать такие распределения содержаний, которые по грациям закономерно меняются с глубиной относительно рудного тела. Изучение ограниченного числа элементов, выделенных статистическим способом, позволяет выявить элементы-индикаторы данной рудной формации. Таблиц 4, иллюстраций 2, библиография — 2 названия.

На примере Кафанского рудного поля показаны особенности корреляции первичных и вторичных ореолов рассеяния в различных ландшафтно-геохимических обстановках. Установлено, что по параметрам мультипликативных соотношений можно с высокой степенью точности оценивать эрозионный срез аномалий в коренных породах даже в пределах отдельно взятой аномалии. Таблиц 3, иллюстраций 4, библиография — 6 названий.

В условиях месторождения Джилау глубинность поисков слепого оруденения по первичным ореолам элементов-индикаторов превышает 150—200 м. По исследованным разрезам построены частные мультипликативные ореолы свинца, серебра и меди, образующих надрудные ореолы, и вольфрама, висмута, мышьяка, ореолы которых наиболее интенсивны в подрудных частях. Таблиц 1, иллюстраций 1.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Н. А. Виноградова, С. В. Григорян. Особенности первичных ореолов редкометалльных пегматитов . . . . .	3
А. И. Карцов, А. С. Малахов. Миграция элементов, геохимическая зональность и поиски глубокозалегающих гидротермальных месторождений . . . . .	13
Г. Я. Абрамсон, С. В. Григорян, А. Я. Сандомирский, А. Ф. Свириденко. Опыт прогнозирования слепого вольфрам-молибденового оруденения по первичным геохимическим ореолам . . . . .	23
Н. А. Виноградова, С. В. Григорян. О некоторых особенностях формирования ореолов выноса вокруг редкометалльных пегматитов . . . . .	36
Г. Я. Абрамсон, В. Н. Бондаренко. К вопросу о выявлении элементов-индикаторов молибденового оруденения . . . . .	50
В. И. Морозов. К вопросу об интерпретации вторичных литогеохимических аномалий как признаков скрытого эндогенного оруденения . . . . .	60
Ю. Т. Дреус. О некоторых особенностях первичных геохимических ореолов скарново-шеелитового оруденения (на примере месторождения Джилау) . . . . .	80

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ПРИ ПОИСКАХ ЭНДОГЕННЫХ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Утверждено к печати  
Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии  
редких элементов

Технический редактор Е. А. Хазанова  
Редакторы: Т. И. Нефелова, Э. Э. Верник

---

Т-С3814

Формат бумаги 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Цена 40 коп.

Подписано в печать 22 февраля 1973 г.  
Объем 5<sup>3</sup>/<sub>4</sub> п. л.

Тираж 1.500 экз.  
Зак. № 2210

---

Типография ХОЗУ Миннефтепрома

Цена 40 коп.

1233