

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Св. С МКРТЧЯН

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОКРУГ  
РУДНЫХ ТЕЛ НА АХТАЛЬСКОМ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ  
МЕСТОРОЖДЕНИИ

За последнее время за рубежом и у нас в Союзе в комплексе исследований по разработке методов выявления слепых рудных тел, проводятся работы по изучению первичных ореолов рассеяния в рудовмещающих породах.

Аналогичные работы нами были начаты в 1960 г. на Ахтальском полиметаллическом месторождении. Оруденение на этом месторождении приурочено, как известно, к верхам толщи кварцевых порфиров, к контакту с перекрывающей их толщей порфиритов и представлено линзами, гнездами и небольшими залежами неправильной формы.

С целью выяснения характера первичного ореола рассеяния, поведения в его пределах отдельных элементов и степени их миграции от рудного тела, нами было проведено детальное изучение рудовмещающих пород вокруг известных рудных тел.

На месторождении первичный ореол рассеяния металлов представлен зоной рассеяния рудного вещества во вмещающих породах, связанной с процессами рудообразования. Изучение ореола рассеяния металлов заключалось в систематическом опробовании пород по всем разведочным выработкам и скважинам.

Особое внимание уделялось участкам, характерным для развития первичного ореола (зоны нарушений и сопровождающее их гидротермальное изменение пород, контакты различных по составу пород).

Анализы проб производились полуколичественным спектральным и количественным химическим анализами. Чувствительность спектральных анализов для Cu, Mo — 0,0003%; для Pb, Au, Cd — 0,001%; для Zn, Sb, As, Ba — 0,01%. Судя по полученным данным первичный ореол рассеяния металлов образуется одновременно с процессами оруденения, о чем свидетельствует прямая зависимость состава ореола от состава руд, а также расположение его в коренных породах в пределах рудоконтролирующих структур. Отсюда следует, что элементный состав ореола рассеяния должен быть также многокомпонентным как и сама руда; иными словами, в ореоле рассеяния могут быть встречены все элементы, входящие в состав руды.

Ахтальское месторождение относится к полиметаллическому типу семейства колчеданных руд. С минералогической точки зрения на месторождении выделяются колчеданная, медно-цинковая и свинцово-цинковая разновидности руд. Рудные тела представлены в основном плоскими линзами и гнездами, приуроченными к контакту кварцевых порфиров с порфиритами. Объектами детального изучения были участки, примыкающие к линзам 10 и 11.

По содержанию металлов линзы относятся к медно-свинцово-цинковым, где цинк превалирует над свинцом, а последний — над медью.

Установлено 6 стадий минерализации: пиритовая, халькопиритовая, галенит-сфалеритовая, баритовая, кальцитовая, гипсовая.

В ранней пиритовой стадии единственным минералом является пирит. Растворы, формировавшие руды халькопиритовой стадии, наложенной на пиритовую, содержали главным образом серу, медь и др. элементы.

Состав гидротермальных растворов промышленной стадии галенит-сфалеритовых руд существенно изменился. Основными элементами этой стадии является сера, свинец, цинк, медь, в весьма подчиненных количествах присутствуют мышьяк, сурьма, кадмий, серебро, молибден и др.

В следующую стадию минерализации происходит окисление  $S^{-2}$  иона в анион  $[SO_4]^{-2}$ , отлагается барий, затем идет стадия минерализации кальцита и, наконец, весь рудообразующий процесс завершается гипсовой стадией минерализации. Указанным определяется приблизительный элементный состав гидротермальных растворов, участвовавших в образовании руд Ахтальского полиметаллического месторождения.

Однако при выборе элементов-индикаторов, образующих ореол рассеяния на месторождении, нам пришлось ограничиться набором их в силу того, что содержания многих элементов-индикаторов лежат на грани чувствительности анализа.

За элементы-индикаторы нами были приняты наиболее часто встречающиеся элементы, содержания которых значительно превышают фоновые. Таковыми являются Cu, Pb, Zn, Ag, реже Ba, Mo; элементы: As, Sb, Bi, Cd встречаются спорадически.

Под фоновыми содержаниями мы понимаем наиболее часто встречающиеся концентрации элементов в неизменных породах. Было учтено свыше 2000 спектральных анализов, из которых около 500 были отобраны за пределами месторождения. За фоновые содержания приняты: Pb  $(1-3) \cdot 10^{-3}\%$ , Cu  $3 \cdot 10^{-3}\%$ , Zn  $1 \cdot 10^{-2}\%$ , Ag  $1 \cdot 10^{-4}\%$ .

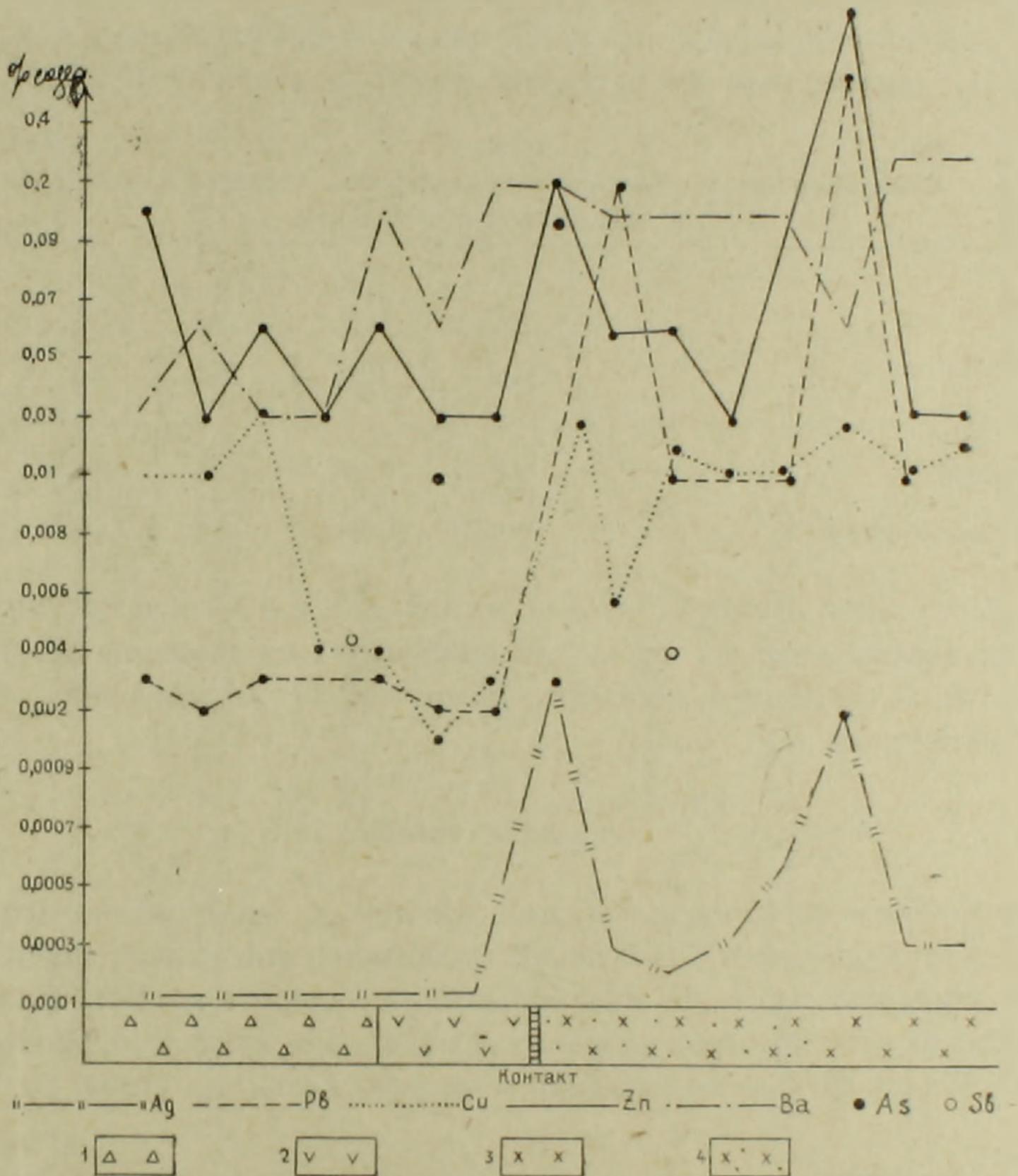
Первичный ореол рассеяния обладает значительной протяженностью как по вертикали, так и по горизонтали; его морфология повторяет в общих чертах морфологию рудного тела: так, вокруг линзы образуется линзовидный ореол, несколько в упрощенных контурах. Форма кривых рассеяния металлов имеет сложный вид с отдельными пиками и спадами. Это объясняется тяготением металлов к отложению в зонах более благоприятных для их концентрации.

Ореол рассеяния металлов контролируется факторами, определяющими

ми условия размещения рудного тела. Среди многих к ним следует отнести в первую очередь:

1. Разрывные нарушения;
2. Контакты различных по составу пород;
3. Состав вмещающих пород.

Крупным разрывным нарушением на Ахтальском месторождении является близмеридиональный разлом ССВ простирания, к которому приурочена изучаемая нами линза II. Сравнительно высокая концентрация



Фиг. 1. Диаграмма поведения элементов в скважине № 216. 1. Брекчии порфиритов, 2. Порфириты, 3. Кварцевые порфиры, 4. Кварцевые порфиры гидротермально измененные.

элементов в самой зоне разлома по сравнению со средним содержанием элементов в рудовмещающих породах видно из табл. 1.

Наблюдается высокая концентрация в контактах различных по составу пород. Здесь средняя концентрация металлов превышает их среднюю концентрацию в контактирующих породах, отличающихся друг от друга по физико-механическим свойствам. Это наглядно видно из табл. 2, где

Таблица 1

	Э л е м е н т ы				
	кол. проб	Pb	Cu	Zn	Ag
Средние содержания во вмещающих породах . . . . .	750	0,004	0,003	0,03	0,0002
Средние содержания в зоне разлома	185	0,03	0,006	0,05	0,0003

приведены средние данные около 250 анализов из 9 скважин, и на графике (фиг. 1), построенном на материале одной из скважин (№ 216).

Таблица 2

Сравнительное распределение концентрации металлов в породах и контактах месторождения

Породы	Э л е м е н т ы				
	Cu	Pb	Zn	Ag	Ba
Порфириты . . . . .	0,007	0,002	0,03	0,0001	0,06
Контакт . . . . .	0,01	0,07	0,1	0,005	0,1
Кварцевые порфиры . . . . .	0,003	0,004	0,04	0,0002	0,08

Необходимо отметить, что данные таблицы и все последующие таблицы составлены нами на основании вычисления содержаний методом вариационной статистики, способом сумм. Нами определялась средняя арифметическая

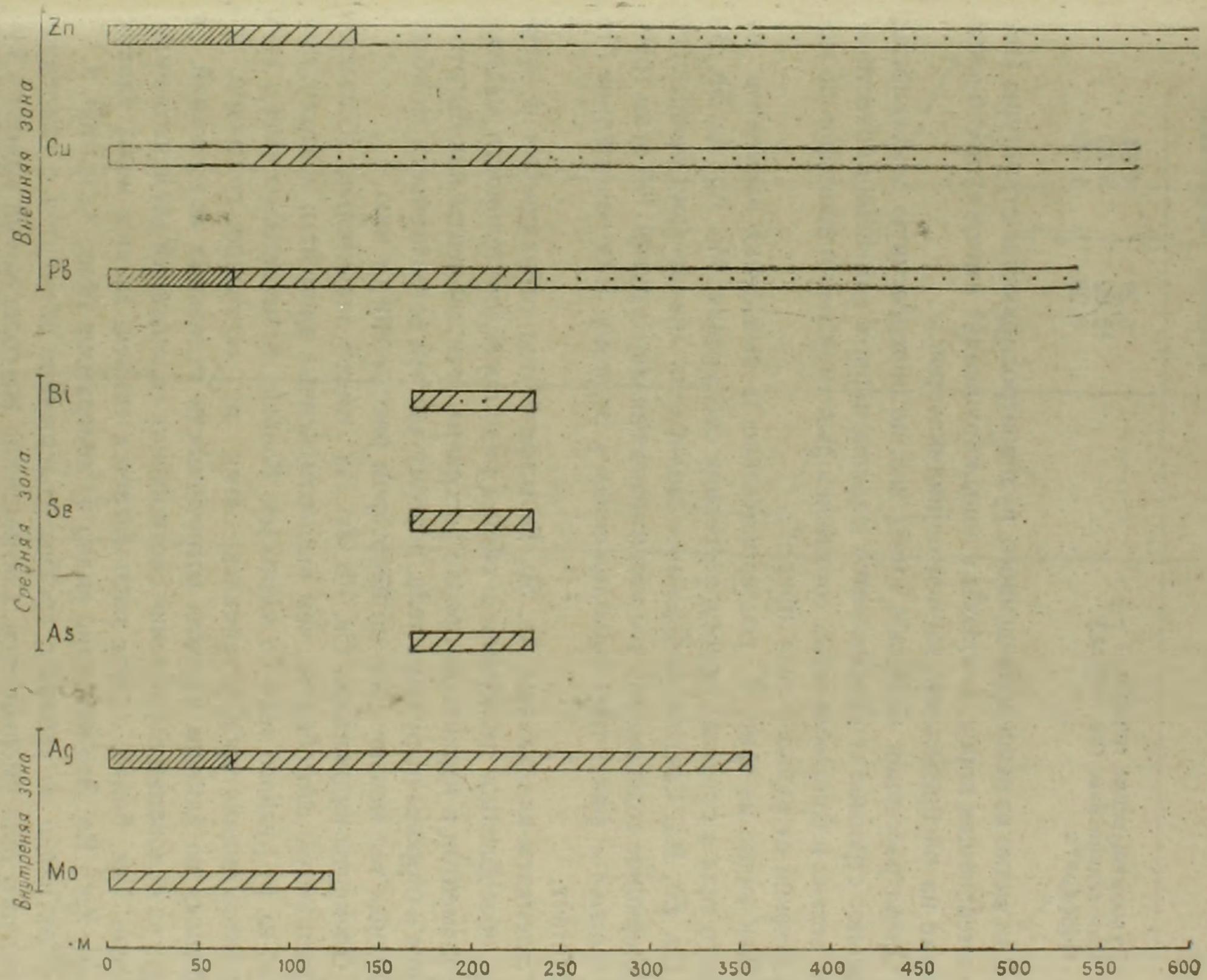
$$M = C + \frac{kS_1}{n} \text{ и средняя ошибка } m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Повышенная концентрация металлов в контактах порфиритов и кварцевых порфиров объясняется различными свойствами этих пород: пористостью, водонасыщенностью и др. Для большей наглядности влияния физико-механических свойств пород на концентрацию в них элементов приведем общую таблицу средних содержаний элементов в породах (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Зависимость концентрации элементов-индикаторов от состава пород

Породы	Э л е м е н т ы				
	колич. проб	Pb	Cu	Zn	Ag
Кварцевый плагиопорф. . . . .	315	0,004	0,007	0,03	0,0001
Порфирит . . . . .	380	0,003	0,005	0,02	0,0001
Серицитизир. пиритизир. кв. порфир	220	0,008	0,007	0,03	0,0004
Вторичный кварцит . . . . .	160	0,04	0,02	0,04	0,0005



Фиг. 2. Изменение количественного и качественного состава элементов с удалением от рудного тела.

Таблица 4

Среднеарифметическое значение пористости в породах  
(по С. У. Вартаняну)

Породы	Пористость	
	истинная	эффективная
Рудовмещающие породы . . . . .	6,29	4,34
Интенсивно изм. (кв. сериц.) . . . . .	10,02	5,73
Порфириты . . . . .	3,22	1,50

Как видно из вышеприведенного, рудоконтролирующие структуры (состав вмещающих пород, контакты и зоны нарушений) имеют существенное влияние на распределение элементов-индикаторов.

Ореол рассеяния металлов имеет вполне определенную зональность; зональное строение его проявляется в закономерном изменении качественного состава и количественных соотношений элементов-индикаторов по мере удаления от рудного тела (фиг. 2).

Как видно из фиг. 2, последовательность выделения элементов от рудного тела в пределах ореола рассеяния следующая: Mo, Ag, As, Sb, Bi, Pb, Cu, Zn, Ba. Среднее содержание молибдена значительно превышает его кларковое содержание, что несомненно связано с рудой. Об этом говорит также тот факт, что с приближением к рудному телу содержание Mo возрастает.

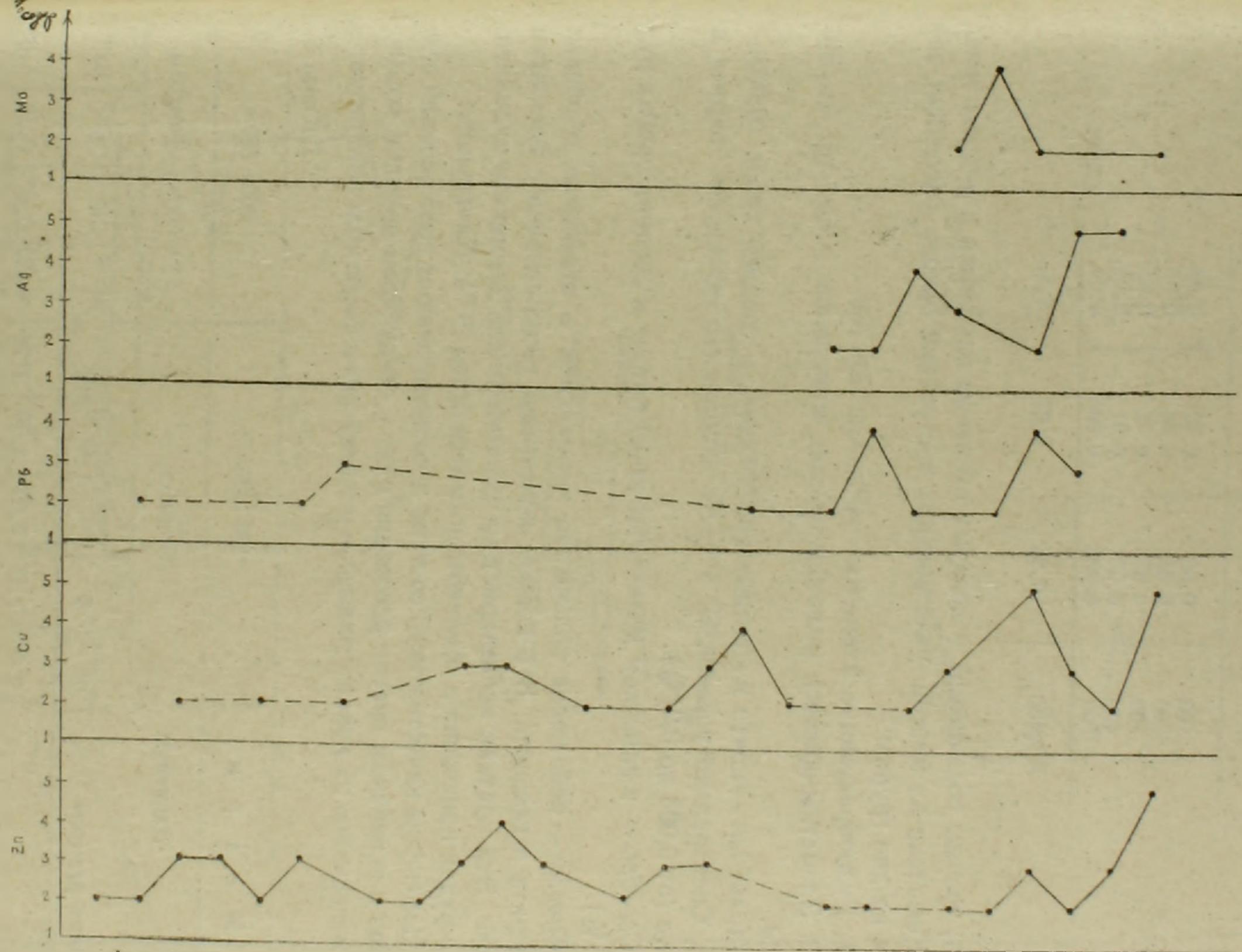
Элементы-индикаторы As, Sb, Bi встречаются спорадически и занимают обособленное положение в общем ряде последовательности выделения элементов в первичном ореоле рассеяния. Эти элементы как-бы отгоняются в стороны от рудного тела, поэтому частота встречаемости их вблизи рудных тел меньше, чем на некотором расстоянии от них.

Элементы-индикаторы Cu, Pb, Zn, Ba имеют значительно большую миграционную способность, чем вышеотмеченные элементы, поэтому удаление их от рудного тела во много раз больше. Качественная смена этих элементов-индикаторов установлена нами на основании графиков, построенных по данным частоты встречаемости отдельных содержаний, а также на основании вычисления соотношения содержаний элементов-индикаторов. Так, ближе к руде располагается свинец, за ним медь, дальше уходят Zn и Ba. Это наглядно видно из диаграммы (фиг. 3) и табл. 5.

Как видно из таблицы, среднее содержание элементов с удалением от рудного тела уменьшается. Соотношение же содержаний каждого элемента в последнем интервале к первоначальному содержанию в первых ста метрах показывает его потенциальную возможность. Как видно, наибольшей потенциальной возможностью обладает цинк, затем медь и свинец.

На зональное распределение элементов-индикаторов в ореоле рассеяния и определенное их удаление от рудного тела могут влиять не только физико-механические свойства пород, но и физико-химические свойства самих элементов, а также ряд других условий, как:

а) первичная концентрация элементов в рудном растворе;



Фиг. 3. Диаграмма частоты встречаемости элементов в кварцевых плагиопорфирах (%)  
 (0,001—Pb, Cu, Mo; 0,003—Zn; 0,0003—Ag).

Таблица 5

Метры	Э л е м е н т ы		
	Pb	Cu	Zn
100	0,06	0,06	0,08
200	0,06	0,04	0,07
300	0,05	0,02	0,05
400	0,02	0,01	0,05
500	0,003	0,005	0,04
500/100	0,05	0,07	0,5

б) формы соединений, в которых элементы находятся в рудном теле. Комплекс элементов, участвующих в строении ореола рассеяния делится на две группы:

1. Рудообразующие элементы — Pb, Cu, Zn, Ba.

2. Элементы-примеси рудообразующих минералов — Mo, Ag, As, Sb, Bi, Cd.

*Молибден* — почти постоянно присутствует в средней пробе (0,003—0,01). Спектрально установлен в чисто отобранном сфалерите, пирите и барите (от 0,003 до 0,01%).

*Серебро* — в заметном количестве присутствует в средних пробах руд (0,01%).

*Сурьма* — небольшое количество установлено в отдельных образцах сфалерита и галенита. В основном же сурьма тесно связана с блеклыми рудами. Эта краткая характеристика распределения элементов-индикаторов в рудах приведена в основном по материалам Э. А. Хачатряна.

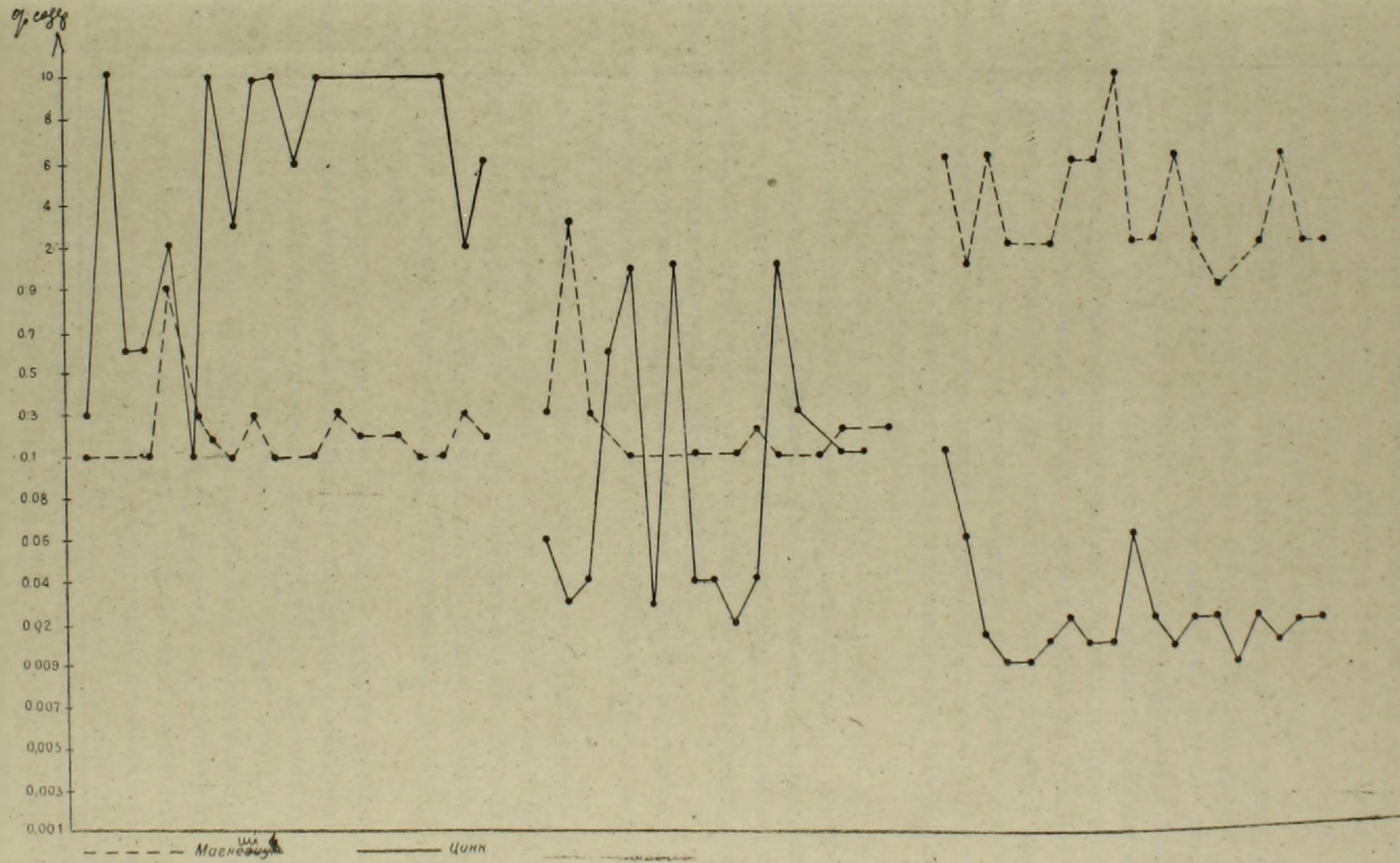
Изменение качественного состава и количественных соотношений элементов в первичном ореоле рассеяния идет в следующем порядке, согласно уменьшению их ионных радиусов и химическим свойствам элементов.

Таблица 6

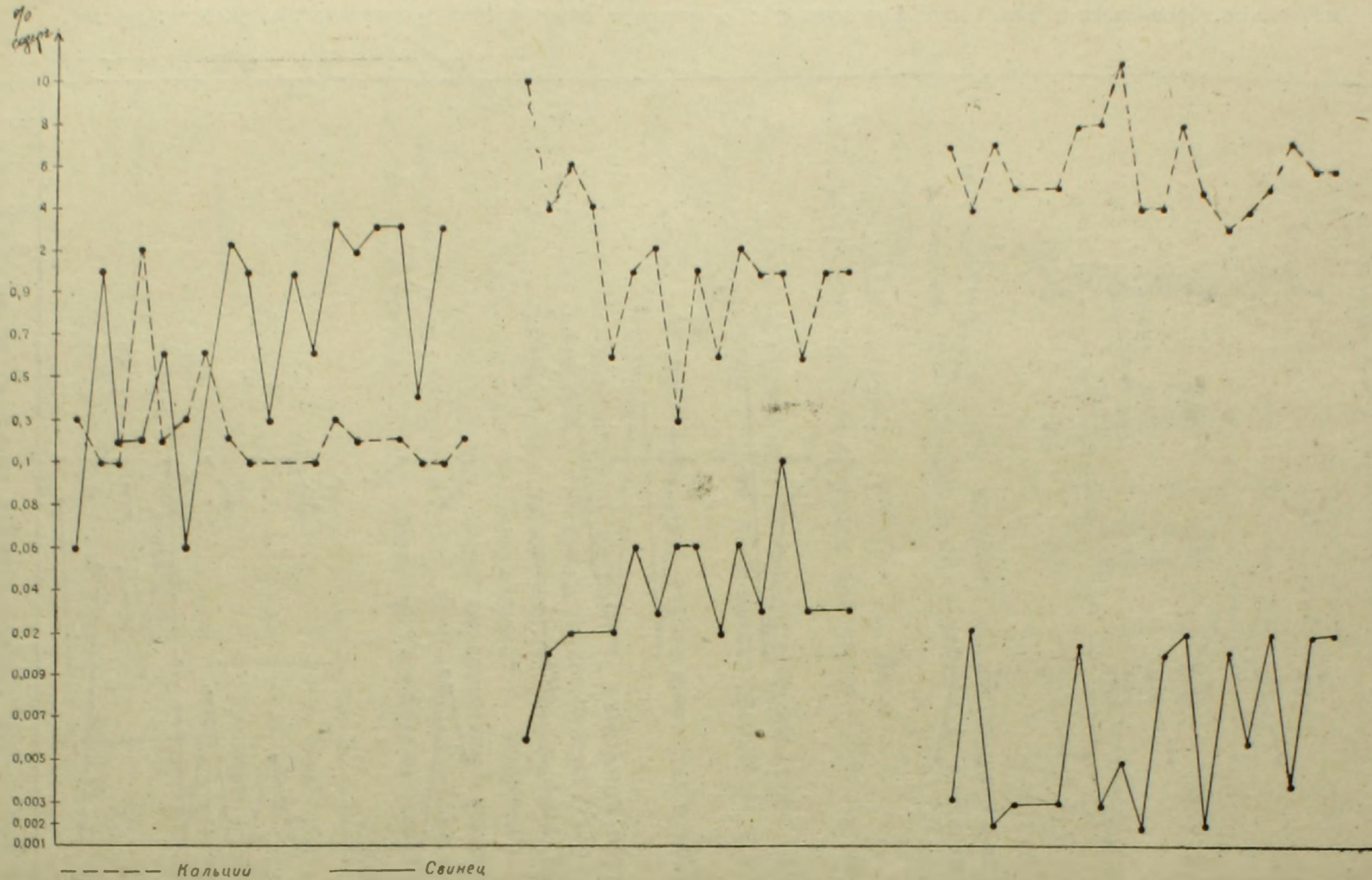
М е т р ы	120—350					660—700			
	Примеси					Рудообраз. элементы			
Элементы	Mo <sup>+4</sup>	Ag <sup>+</sup>	As <sup>+3</sup>	Sb <sup>+3</sup>	Bi <sup>+3</sup>	Pb <sup>+2</sup>	Cu <sup>+1</sup>	Zn <sup>+2</sup>	Ba <sup>+</sup>
Ио н н ы е радиусы	0,68	1,13	0,69	0,90	1,20	1,26	0,80	0,38	1,38

Как видно из таблицы, элементы-примеси имеют более узкий предел развития и распределяются близко к рудному телу, между тем как рудообразующие элементы образуют более широкие ореолы рассеяния и наблюдаются на значительном удалении от рудного тела.

В группе элементов-примесей As, Sb, Bi по своим химическим свой-



Фиг. 5. Диаграмма колебания содержаний цинка и магния с удалением от рудного тела, в зависимости от степени изменения вмещающих пород.



Фиг. 4. Диаграмма колебаний содержаний свинца и кальция с удалением от рудного тела.

ствам близки и всегда встречаются вместе, чем и объясняется их совместное выделение несмотря на сравнительно большой ионный радиус висмута. Согласно малой величине ионных радиусов As и Sb и большой их подвижности, в общем ряде зонального распределения элементов второй группы (элементы-примеси), они занимают последнее место.

Группа главных рудообразующих элементов по своему площадному распределению во много раз превышает группу элементов-примесей. В этой группе также зональное распределение элементов идет в порядке убывания величин их ионных радиусов. Исключение составляет элемент Ва. Несмотря на его большой ионный радиус, он занимает последнее место в ряде группы рудообразующих элементов. Это может быть объяснено влиянием фильтрационного эффекта, который находится в тесной связи с физико-химическими свойствами элементов. Фильтрационный эффект это задержка и отставание растворенного вещества от растворителя. Фильтрационный эффект зависит от величины радиуса гидратированного иона, а также от концентрации вещества в растворе, увеличение которой ведет к уменьшению фильтрационного эффекта.

В рудном процессе барий идет в одну из последних стадий минерализации, помимо этого он имеет очень высокую концентрацию в растворе, в силу чего мы имеем целые шляпы над рудными телами. Именно высокая концентрация, а также положение в рудном растворе позволяет элементу барию занять одно из последних мест в общем ряде зонального распределения элементов в первичном ореоле рассеяния.

Какова же форма нахождения металлов в ореоле рассеяния, иными словами, каков минералогический характер соединений металлов, слагающих ореол рассеяния?

Связано ли рассеяние металлов с процессом возникновения гидротермально измененных пород и входит в состав минералов в виде изоморфной примеси или это рассеяние связано с формированием полиметаллических руд и большая часть металлов находится в виде сульфидов. Вопрос этот, как известно, дискуссионный ввиду малого количества исследований в данной области.

Ряд исследователей считает, что металлы в ореолах рассеяния наблюдаются в форме изоморфной примеси в минералах измененных пород и процесс этот предшествует процессу рудоотложения. Другая группа исследователей (Муканов, Россман, Горжевский) считает, что при образовании ореолов рассеяния преобладает сульфидная форма осаждения металлов и процесс этот идет параллельно с процессом рудоотложения.

Исследования, проведенные нами на месторождении, показывают, что при миграции металлов через рудовмещающие толщи возможна как сульфидная форма их осаждения в виде мелкой вкрапленности Рu, Сr, Sl и др., так и осаждение их в форме примеси в минералах измененных пород в процессе их образования. Сульфидная форма минерализации фиксируется нами макроскопически при удалении от рудного тела, затем в шлифах под микроскопом, наконец, об этом свидетельствует форма кривой распределения концентраций металлов, которая имеет сложную форму с

высокими пиками. Такая форма кривой объясняется частой сменой концентраций, на расстоянии нескольких метров, что свидетельствует о наличии минеральной формы соединений элементов.

За осаждение металлов в виде изоморфной примеси в минералах измененных пород говорит тесная связь и взаимообусловленность породообразующих и рудных элементов.

Так, содержание Cu, Pb, Zn, Ag и др. элементов-индикаторов увеличивается соразмерно уменьшению содержаний Ca, Mg, Sr, Fe и др. Это может быть вызвано потенциальной возможностью вхождения рудных элементов в кристаллические решетки минералов гидротермально измененных пород в процессе их образования и изоморфного замещения элементов Ca, Mg, Sr и Fe благодаря близости их ионных радиусов.

$$(Ri Pb^{+2} \cdot 1,26 Ri Ca^{+2} - 1,04 Ri Zn^{+2} = 0,38 Ri Mg^{+2} - 0,74).$$

Это наглядно видно из графиков (фиг. 4 и 5), где по мере удаления от рудного тела на различных интервалах идет уменьшение содержаний элементов-индикаторов и увеличивается содержание породообразующих элементов Ca, Mg, Sr, Fe.

В каких именно породообразующих минералах идет изоморфное замещение мы пока указать не можем. Работы в этом направлении нами продолжаются.

Институт геологических наук  
АН Армянской ССР

Поступила 30.X. 1962

ՍՎ. Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾՄԱՆ ԱՌԱՆՉՆԱՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԱԽՔԱՎԱՅԻ  
ՔԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՀԱՆՔԱՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

1. Ախթալայի բազմամետաղային հանքավայրի հանքամարմինների շուրջը ի հայտի բերված է քիմիական էլեմենտների՝ կապարի, ցինկի, պղինձի, արծաթի, բարիտի, անագի, մկնդեղի, մոլիբդենի ու վիսմուտի ցրման եզրապսակներ:

2. Մետաղների առաջնային ցրման եզրապսակները վերահսկվում են այն նույն գործոններով, որոնք պայմանավորում են հանքանյութի կոտակումը՝ դարգանալով հանքայնացումը վերահանող տեկտոնական խախտումների սահմաններում, բեկորատման և ինտենսիվ ճեղքավորման զոնաներում, ինչպես նաև ծակոտկեն և դյուրաթափանց ապարներում:

3. Հանքամարմինների շուրջը ցրման եզրապսակների կառուցվածքում հաստատվում է զոնայականություն:

Զոնալ կառուցվածքը հանքամարմնից հեռանալիս արտահայտվում է ինչպես էլեմենտ-ինդիկատորներում օրինաչափ կերպով որակական կազմի փոփոխմամբ, այնպես էլ քանակական հարաբերությամբ:

4. Յրման եզրապսակներում որակական կազմի փոփոխման տեսանկյունից առանձնացվում են հետևյալ զոնաները, իրենց բնորոշ էլեմենտներով.

ա) ներքին զոնա—

բ) միջին զոնա—

գ) արտաքին զոնա—

5. Յրման եզրապսակների ներսում փոփոխման քանակական հարաբերությունը նույնպես թույլ է տալիս անջատել երեք զոնաներ.

ա) թույլ հանքայնացման զոնա

բ) ցրված հանքայնացման զոնա

գ) հարստացված հանքայնացման զոնա

6. Կույր հանքամարմինների որոնման տեսակետից հատուկ հետաքրքրություն է ներկայացնում հարստացված հանքայնացման զոնան:

Այդ զոնան հանքամարմնի շուրջը պրավում է միջին հաշվով 60 մ շառավիղով մի գոտի:

7. էլեմենտների միգրացիայի ցրման եզրապսակներում նրանց զոնալ տեղարաշխման վրա ազդում են հենց էլեմենտների ֆիզիկա-քիմիական հատկությունները: Ոչ սպակաս կարևոր դեր է խաղում ֆիլտրացման էֆեկտը, կապված իոնի շառավղից և լուծույթում նրա կոնցենտրացիայից:

8. Յրման եզրապսակներում էլեմենտ-ինդիկատորների զոնալ տեղարաշխումը կապված է նաև ապար առաջացնող միներալների բյուրեղային ցանցի մեջ նրանց մտնելու տարբեր ունակությամբ:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Витовская И. В. Распределение микроэлементов в метаморфических породах и минералах Акчагыла. Изд. АН СССР, 1960.
2. Герман А. А. Особенности распределения редких элементов в полиметаллических месторождениях Зменногорского Рудного Алтая. Вопросы минералогии геохимии и генезиса м-ний редких элементов, 1960.
3. Герман Г. Д. Геохимическая зональность на м-нии Билва на Западном склоне юж. Урала. Геохимия, № 4, 1958.
4. Левицкий О. Д., Смирнов В. И. Использование гипогенной зональности при поисках слепых рудных тел. Сов. геология, № 2, 1959.
5. Муканов К. М. Опыт изучения полей минерализации и первичных ореолов рассеяния на полиметаллических м-ниях Казахстана. Материалы I Всесоюзного совещания по геохимическим методам поисков. Госгеолтехиздат, 1957.
6. Муканов К. М., Россман Г. И. Первичные ореолы рассеяния некоторых полиметаллических и медных м-ний Ц. Казахстана и Рудного Алтая. Доклады Сов. геологии, Проблема 2, 1960.
7. Некрасов Е. М., Николаев С. В. Об изменении физических свойств кварцевых фельзит-порфиров в околорудных зонах свинцово-цинковых месторождений Замбарк Труды института геологии рудных м-ний, вып. 43, 1961.
8. Овчинников Л. Н. Геохимическая подвижность по экспериментальным данным. Доклады АН СССР, т. 109, № 1, 1956.
9. Рехарский В. И. О зональности в строении ореола гидротермально-измененных пород, вмещающих редкометальные жилы. Геохимия, № 3, 1957.
10. Розанов Ю. А. Пористость горных пород и ее роль в локализации оруденения. Геология рудных м-ний, № 2, 1961.