

Р. Н. Зарьян

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА НА КАФАНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

На территории Зангезурской рудоносной области расположено Кафанское медно-полиметаллическое месторождение, которое является благоприятным объектом для изучения закономерностей распределения и формы нахождения элементов группы железа.

Рудное поле Кафанского месторождения сложено различными порфиритами, их туфами и туфобрекчиями средней юры, которые трансгрессивно перекрываются туфопорфировой толщей верхнеюрского возраста.

Рудовмещающие кварцевые порфириты средней юры подвергались интенсивному гидротермальному изменению; они окварцованы, серицитизированы, хлоритизированы и пиритизированы.

Основной рудоконтролирующей структурой в пределах рудного поля является Кафанская антиклиналь, ось которой проходит в северо-западном направлении $/310^{\circ} - 330^{\circ}/$ от р. Вохчи через вершину г. Саядкар.

Морфологически оруденение на месторождении представлено двумя типами: прожилково-вкрапленным и жильным. Участки первого типа представлены густой сетью маломощных $/до 1-2 см./$ кварцево-сульфидных прожилков. Морфологически второй тип представлен мощными $/до 4-5 м/$ кварцево-рудными жилами, главным образом пирит-халькопиритового состава.

Характерной чертой месторождения является весьма широкий диапазон гидротермального процесса, который продолжался длительное время при уменьшении температуры и давления и изменении химического состава растворов.

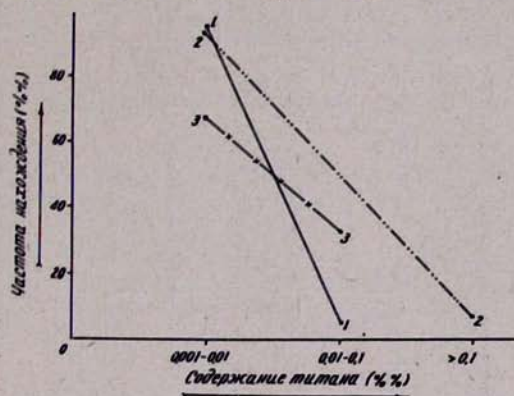
На основании литературных и собственных наблюдений нами на Кафанском месторождении выделяются следующие стадии минерализации: 1) кварц-пиритовая, 2) пирит-халькопиритовая, 3) халькозин-борнитовая, 4) теннантит-энаргитовая, 5) сфалерит-галенитовая, 6) ангидрит-гипсовая.

Главные рудные минералы этого месторождения - халькопирит и пирит. Меньше распространены борнит, халькозин, энаргит, теннантит, тетраэдрит, сфалерит, галенит, самородные золото и серебро, теллуриды и др. Основными жильными минералами являются кварц и карбонаты.

В результате проведенного нами детального минералого-геохимического изучения руд описываемого объекта установлены места элементов группы железа в рудоотложении, приуроченность к различным минеральным видам и выявлен ряд закономерностей поведения этих элементов в процессе формирования месторождения.

Перейдем к более детальному рассмотрению поведения элементов группы железа в гидротермальном этапе рудообразования.

Титан как во вмещающих гидротермально измененных породах, так и в рудах месторождения наблюдается в виде четырехвалентного катиона - Ti^{4+} /ионный радиус 0,64 Å/, входящего в состав рутила, ильменита, сфена и многих породообразующих минералов - пироксенов, амфиболов, слюд и др. В сульфидных минералах месторождения титан широко распространен, что объясняется устойчивостью строения его атома, относимого к типу 4. Для минералов месторождения, согласно данным полуколичественных спектральных анализов, по концентрации титана намечен следующий возрастающий ряд: халькозин /0,001-0,01%/, галенит /0,001-0,01%/, борнит /0,001-0,01%/, халькопирит /0,001-0,1%/, энаргит /0,001-0,1%/, сфалерит /0,001-0,1%/, пирит /0,01-0,1%/. (фиг. 1).

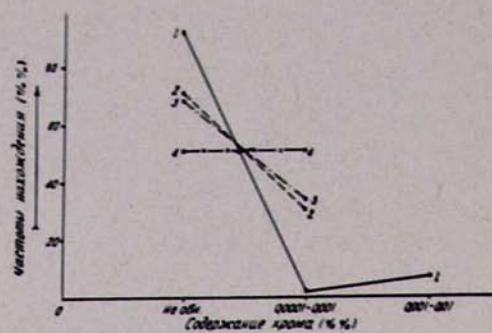


Фиг. 1. Диаграмма частоты нахождения титана в халькопирите (1), сфалерите (2), энаргите (3), Кафанского рудного поля.

Широкое развитие титана во многих рудо- и породообразующих минералах объясняется близостью величины его ионного радиуса и энергетического потенциала с теми же величинами других распространенных элементов - железа, магния, силиция, алюминия, которых он, вероятно, изоморфно замещает. Титан является характерным элементом для руд месторождения.

Хром, являясь типичным элементом ультраосновных магм в сульфидных минералах месторождения встречается спорадически. Данные о содержании хрома в различных сульфидах и сульфосолях приведены в табл. 1 и фиг. 1. Полученные результаты показывают, что хром в минералах распределен почти равномерно. Наименьшая концентрация хрома - от не обн. до 0,001% - наблюдается в энаргите, халькозине и сфалерите.

Максимальное содержание его - 0,01% - приурочено к халькопириту среднетемпературной кварц-пиритовой стадии минерализации.



Фиг. 2. Диаграмма частоты на -
хождения хрома в халькопирите
(1) сфалерите (2), энаргите (3),
халькозине (4) Кафанского руд-
ного поля

Таблица 1

Концентрация хрома в отдельных мине-
ралах месторождения

№ п/п	Стадии минерализации и минералы-носители	Количество спектраль - ных анализов	Содержание хрома в %	
			от	до
1	Кварц-пиритовая Халькопирит	2	0,001	0,01
2	Пирит-халькопиритовая Халькопирит	31	Не обн.	0,001 - 0,01
3	Халькозин-борнитовая Халькозин	2	"	0,001
4	Теннантит-энаргитовая Энаргит	3	"	0,001
5	Сфалерит-галенитовая Сфалерит	13	"	0,001

На Кафанском месторождении частота обнаружения хрома в мине -
ралах убывает в ряду: халькозин-энаргит-сфалерит-халькопирит.

На фоне имеющихся данных следует, что хром в рудах месторож -
дения самостоятельных минералов не образует и развит главным обра -
зом в форме примесей в составе сульфидов, сульфосолей, окислов и
т.д.

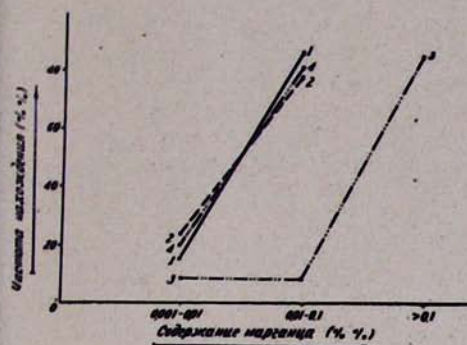
Таким образом, можно заключить, что хром не характерен для руд
месторождения.

Марганец. Ионы элемента в зависимости от кислородного потен -
циала, величины pH и природы анионов легко переходят из одной ва -
лентности в другую, т.е. легко окисляются или восстанавливаются по
схеме: $Mn^{2+} - 2e^- \rightarrow Mn^{4+}$.

В упомянутом ряду двухвалентные катионы марганца Mn^{2+} ,

встречающиеся в жилах и прожилках различных стадий минерализации месторождения, устойчивы в восстановительной и кислой средах. Эти катионы на исследуемом объекте в форме примесей входят в состав всех сульфидов, сульфосолей и окислов, образование которых связано с гидротермальным этапом минерализации.

Спектроскопически марганец в тех или иных количествах устанавливается во всех рудных минералах Кафана /табл. 2 и фиг. 3/.



Фиг. 3. Диаграмма частоты нахождения марганца в халькопиритах (1), пиритах (2), сульфатах (3) и борнитах (4) Кафанского рудного поля

Таблица 2

Содержание марганца в различных минералах месторождения

№ п/п	Стадии минерализации и минералы - носители	Количество спектральных анализов	Содержание марганца в %	
			от	до
1	Кварц-пиритовая			
	Пирит	8	0,01	0,1
	Халькопирит	2	0,01	0,1
2.	Пирит-халькопиритовая			
	Халькопирит	31	0,001	0,1
	Пирит	12	0,001	0,1
3	Халькозин-борнитовая			
	Борнит	5	0,001	0,1
	Халькозин	2	0,01	0,1
	Халькопирит	2	0,001	0,1
	Пирит	2	0,001	0,01
4	Теннантит-энаргитовая			
	Энаргит	3	0,01	0,1
	Халькопирит	2	0,01	0,1
	Пирит	2	0,001	0,01
5	Сфалерит-галенитовая			
	Сфалерит	13	0,001	1,0
	Галенит	7	0,01	0,1
	Халькопирит	2	0,01	0,1
	Пирит	2	0,01	0,1
	Алтант	1	0,01	0,01

В минералах Кафанского месторождения концентрация марганца возрастает в следующей последовательности: алтаит-пирит-халькопирит-борнит-халькозин-энаргит-галенит-сфалерит.

Из вышеприведенных данных видно, что марганец концентрируется в сфалеритах больше, чем в других сульфидах и сульфосолях /см. табл. 2 и фиг. 3/. При сопоставлении этих данных следует, что различие концентраций марганца определяется химическим составом среды, из которой отлагались эти сульфиды и сульфосоли, их местом в последовательности выделения минералов и кристаллохимическими особенностями. Необходимо отметить, что марганец в гипогенных условиях формирования руд не образует самостоятельных минералов и находится в виде примесей в сульфидах, сульфосолях и окислах. Геохимическая судьба марганца Mn^{2+} - 0,91 Å /определяется близостью его кристаллохимических свойств с железом Fe^{2+} - 0,87 Å/. Наиболее широко развит изовалентный изоморфизм марганца Mn^{2+} /с двухвалентным железом/.

Для геохимии марганца большое значение имеет его соотношение с железом /табл. 3/.

Таблица 3

Минералы	Отношение марганец/железо
Халькозин	1 : 10
Энаргит	1 : 10
Алтаит	1 : 10
Галенит	1 : 10; 1 : 1
Сфалерит	1 : 100; 1 : 10, 1 : 1, 10 : 1

Последним ионом в упомянутом выше ряду является четырехвалентный катион марганца - Mn^{4+} . Этот ион в рудах месторождения образуется в окислительной обстановке, т.е. в зоне окисления в виде псиломелан-вада. Элемент является характерным для руд Кафана.

Железо являясь важнейшим элементом руд месторождения, в виде двух- и трехвалентных катионов входит в состав породо- и рудообразующих минералов.

На месторождении переходы ионов железа от одной валентности к другой совершаются по схеме: $Fe^{2+} - e^- \rightarrow Fe^{3+}$.

Однако, помимо этих двух катионов, имеются природные соединения - минералы, в решетке которых одновременно находятся разно-квантные ионы железа.

На месторождении разновалентность катионов элемента позволяет судить о характере окислительно-восстановительного потенциала среды рудообразования.

При этом на Кафанском месторождении содержание катионов железа в растворах в начальные (кварц-пиритовая, пирит-халькопиритовая) стадии минерализации было высокое, в последующие стадии - сильно падает и доходит до минимума в сфалерит-галенитовую стадию.

На месторождении описываемый элемент гидротермальными растворами выносится во время всего постмагматического этапа минерализации. В процессах формирования руд часть железа, по-видимому, замещается из вмещающих пород.

В жилах и прожилках месторождения основные скопления металла связаны с такими развитыми минералами, как пирит, халькопирит и борнит. Наряду с этим, железо в тех или иных количествах, в форме примесей, отмечается в сульфидах — сфалерите, галените, халькозине, ковеллине, сульфосолях — теннантите, тетрадимите, энаргите, люционите и др.

В зоне вторичного сульфидного обогащения ионы элемента входят в состав гипергенного борнита.

В зоне окисления большинство железосодержащих минералов разрушается и за счет их образуются различные гидроокиси железа.

Кобальт не является типичным для исследуемого месторождения элементом. Особенности его поведения намечаются только в самых общих чертах.

В сульфидных минералах рудного поля наиболее повышенные концентрации кобальта установлены в пиритах /не обн. — 0,1% /.

Довольно часто и в меньших количествах, встречается в халькопиритах /не обн. — 0,01% /, а также в энаргите от не обн. до сотых долей процента /табл. 4 и фиг. 4/.

Таблица 4

№ п/п	Стадии минерализации и минералы-носители	Количество спектраль- ных анали- зов	Содержание кольбата в %	
			от	до
1	Кварц-пиритовая			
	Пирит	8	Не обн.	0,1
2	Пирит-халькопиритовая			
	Халькопирит	31	"	0,01
	Пирит	12	"	0,1
3	Халькозин-борнитовая			
	Халькопирит	2	"	0,01
4.	Теннантит-энаргитовая			
	Халькопирит	2	"	0,01
	Пирит	2	"	0,01
	Энарцит	3	"	0,01
5.	Сфалерит-галенитовая			
	Пирит	2	0,001	0,01

В общем ходе гидротермального процесса формирования руд геохимическое сродство кольбата / $\gamma_{\text{Li}} = 0,82 \text{ \AA}$ / с железом / $\gamma_{\text{Li}} = 0,83 \text{ \AA}$ / обуславливает его преимущественное рассеяние в минералах — пирите, халькопирите, энаргите. В упомянутых сульфидах двухвалентные ионы кольбата, вероятно, изовалентно замещают двухвалентные катионы железа.

Никель, являясь характерным элементом пород основных и ультра-базитов, встречается в них в виде сульфидов, силикатов и карбонатов.

траосновных магм, в минералах месторождения распределяется неравномерно. В сульфидах наибольшее количество этого элемента отмечено в пиритах; затем убывает через халькопирит и халькозин к энаргиту и сфалерину /табл. 5 и фиг. 5/.

Таблица 5

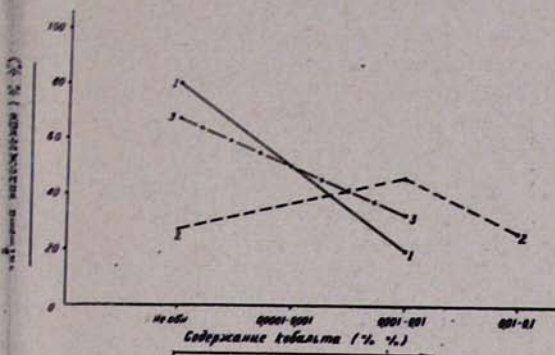
№ п/п	Стадии минерализации минералы-носители	Количество спектральных анализов	Содержание никеля в %	
			от	до
1.	Кварц-пиритовая Пирит	8	0,001	0,01
2	Кварц-халькопиритовая Халькопирит	31	Не обн.	0,01
	Пирит	12	0,001	0,01
3	Халькозин-борнитовая Халькозин	2	0,001	0,01
	Халькопирит	2	Не обн.	0,01
4	Теннантит-энаргитовая Энаргит	3	Не обн.	0,01
	Пирит	2	Не обн.	0,01
5	Сфалерит-галенитовая Сфалерит	13	"	0,01
	Пирит	2	0,001	0,01

Отсутствие описываемого элемента в галените и алтаите вероятно объясняется, с одной стороны, кристаллохимическими свойствами этих минералов, с другой – отсутствием изоморфизма никеля с теллуrom, серой и свинцом. Эти факты свидетельствуют о низких концентрациях никеля в поздних порциях рудообразующих растворов, сформировавших Кафанское месторождение. Наличие относительно повышенных содержаний металла в пиритах месторождения объясняется изоморфизмом между никелем и двухвалентным железом, т.е. близостью радиусов ионов Fe^{2+} – 0,83 Å; Ni^{2+} – 0,78 Å/ и т.д.

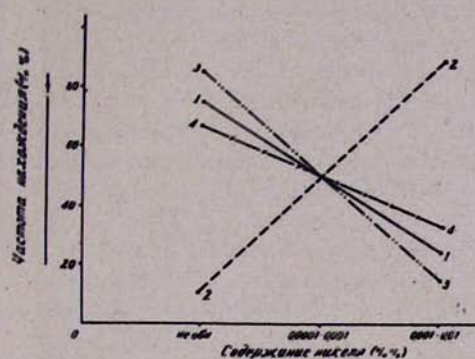
Анализ изложенного материала позволяет сделать следующие выводы:

1. Железо, марганец и титан являются характерными элементами для руд месторождения. Титан в виде четырехвалентного катиона входит в состав рутила, ильменита, сфена и других породообразующих минералов. В гипогенных условиях рудообразования марганец самостоятельных минералов не образует и в виде изоморфной примеси входит в решетку сульфидов, сульфосолей и окислов. Наиболее широко развит изовалентный изоморфизм между двухвалентными ионами марганца и железа.

2. Хром, кобальт и никель не характерны для руд месторождения. Хром в рудах Кафана самостоятельных минералов не образует и раз-



Фиг. 4. Диаграмма частоты нахождения кобальта в халькопиритах (1), пиритах (2) и энargитах (3) Кафанского месторождения



Фиг. 5. Диаграмма частоты нахождения никеля в халькопиритах (1), пиритах (2), сфалеритах (3) и энargитах (4) Кафанского рудного поля.

развит главным образом в форме примесей в составе сульфидов, сульфосолей и окислов. В общем ходе постмагматического этапа рудоотложения геохимическое сродство никеля $\chi_i = 0,78 \text{ \AA}$ и кобальта $\chi_i = 0,82 \text{ \AA}$ с железом $\chi_i = 0,83 \text{ \AA}$ обуславливает их преимущественное рассеяние в пиритах. В серных колчеданах двухвалентные ионы никеля и кобальта, очевидно, изовалентно замещают двухвалентные катионы железа.

ЛИТЕРАТУРА

Зарьян Р.Н. О стадиях минерализации Кафанского медно-полиметаллического месторождения. Изв. АН Арм.ССР, № 4-5, 1963.