

УДК 550.42

Р. Н. ЗАРЬЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЛЛИЯ, ИНДИЯ И КАДМИЯ В СФАЛЕРИТАХ КАФАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Согласно современным представлениям, наиболее вероятной формой нахождения кадмия, индия и галлия в кристаллической решетке сфалерита является изоморфное замещение указанными элементами ведущего двухвалентного катиона цинка.

В постмагматических гидротермальных условиях, по-видимому, существует определенная связь между распределением микроэлементов и законами их осаждения. Концентрация изоморфных элементов-примесей в минералах (твердых фазах) есть функция от [3]: а) содержания главных (элементов-хозяев) и малых (микроэлементов) элементов в гидротермальных растворах; б) физико-химических параметров растворов; в) механизма соосаждения; г) механизма образования рудных тел и т. д.

Основным концентратом и носителем кадмия, так же как индия и галлия, на Кафанском медно-полиметаллическом месторождении является сульфид цинка. Содержание этих элементов в других сульфидах руд в десятки раз ниже [1].

Рудное поле Кафана сложено различными порфиритами, их туфами и туфобрекчиями средней и верхней юры. Оруденение приурочено к северо-восточному крылу Кафанской антиклинали.

Наиболее характерной особенностью гидротермальной деятельности на месторождении является многостадийность ее проявления: установлено семь стадий минерализации с постепенным изменением как температуры образования, так и парагенетических ассоциаций минералов [2]. При этом для сфалерита устанавливается несколько генераций, образовавшихся в различные стадии оруденения. Количество сфалерита с глубиной уменьшается. На нижних горизонтах месторождения обнаруживается ассоциация сфалерита с пиритом. Цвет кафанских сфалеритов различен и зависит в основном от примесей железа и марганца: с уменьшением содержания этих элементов цинковая обманка становится более светлой—от светло-окрашенной до бесцветной. Интересно, что с глубиной происходит некоторое изменение типоморфных особенностей цинковой обманки. В верхних горизонтах месторождения крупнокристаллические агрегаты сфалерита характеризуются более светлой окраской (желто-бурого цвета). На нижних горизонтах его мелкозернистые разновидности приобретают более темную окраску (буровато-черного цвета). Наиболее развиты разновидности, окрашенные в бурые цвета. Светлые разновидности желтого, зеленовато-желтого и розоватого цвета, близкие к клейофанам, встречаются реже. Наиболее ранняя генерация связана со среднетемпературной пирит-халькопиритовой стадией минера-

лизации. Здесь обычно незначительные включения цинковой обманки приурочены к полям халькопирита.

Следующие генерации образуются в халькозин-борнитовой и теннантит-энаргитовой стадиях минерализации и представлены отдельными мелкими включениями. Сфалерит ассоциирует с халькопиритом, пиритом, теннантитом, энаргитом, реже халькозином и борнитом. Наиболее широкое распространение цинковой обманки наблюдается в жилах и прожилках галенит-сфалеритовой стадии минералообразования, где ее спутниками являются галенит, халькопирит, пирит, сульфосоли мышьяка и сурьмы, а также теллуриды Pb, Bi, Ag, и Au. В жилах и прожилках указанной стадии отмечаются две генерации цинковой обманки: ранняя, связанная с кварцем, и более поздняя—с кальцитом и теллуридами. В рудах обнаруживаются две разновидности цинковой обманки: первая содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита, а вторая характеризуется отсутствием таковой. По-видимому, второй сфалерит более низкотемпературный.

На Кафанском месторождении по концентрации галлия, индия и кадмия установлен следующий возрастающий ряд: марматит-сфалерит-клеюфан (табл. 1).

В сфалеритах по содержанию кадмия, индия и галлия намечается следующий убывающий ряд: кадмий-индий-галлий (табл. 1).

Таблица 1

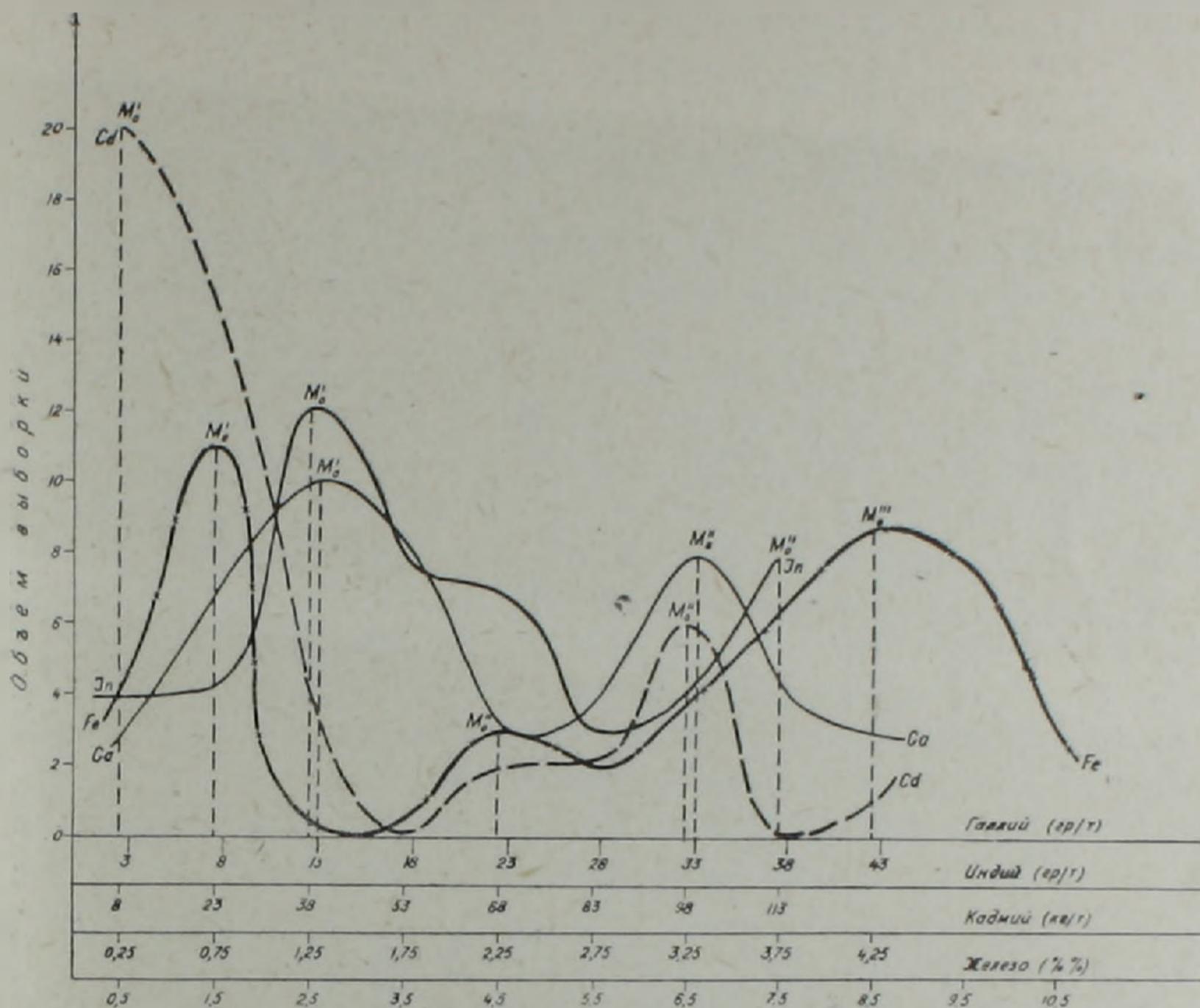
Содержание элементов-примесей в разновидностях сфалерита Кафана

Минералы	Химические анализы	Содержание элементов в процентах							
		железо		кадмий		индий		галлий	
		от	до	от	до	от	до	от	до
Клеюфан	15	0,65	1,75	0,14	0,45	0,008	0,012	0,003	0,0045
Сфалерит	15	4,37	7,43	0,055	0,080	0,005	0,0075	0,0018	0,0028
Марматит	20	8,25	10,85	0,01	0,05	0,0003	0,004	0,0002	0,0015

Интерпретация аналитических данных, полученных в процессе минералого-геохимического изучения цинковых обманок Кафанского медно-полиметаллического месторождения, дает нам возможность рассмотреть вопрос о находке корреляционной связи между концентрациями галлия, индия, железа и кадмия в разновидностях сфалерита. Содержания этих элементов в сфалеритах рассматриваются как случайные величины. Поэтому для интерпретации распределения содержащий указанных элементов в цинковой обманке использовался метод математической статистики, в основе которого лежит теория случайных функций.

Для наглядности нами построены кривые распределения содержаний указанных редких элементов и железа в разновидностях сфалерита, полученные при статистической обработке материалов минералого-геохимических исследований (фиг. 1). Как видно из приведенных графиков,

кривые распределения концентраций галлия, индия, кадмия и железа в различных разновидностях сфалерита месторождения идентичны, т. е.



Фиг. 1. Вариационные кривые распределения содержаний галлия, индия, кадмия и железа в разновидностях сфалерита.

имеются двувёршинные или трехвёршинные кривые, у которых среднеарифметическая (\bar{x}) и модальные (M'_0 , M''_0) величины концентрации этих элементов не совпадают ($M'_0 < \bar{x} < M''_0$, фиг. 1). Так, например, для галлия: $\bar{x} = 21,30$ г/т, $M'_0 = 13,0$ г/т и $M''_0 = 33,0$ г/т.

Форма кривых распределения, очевидно, обуславливается действием факторов, формирующих концентрацию, и факторов, вызывающих ее рассеяние.

Весь фактический материал свидетельствует о том, что в разновидностях цинковой обманки содержания указанных редких элементов повышаются с уменьшением концентрации железа (табл. 1). Это подтверждается наличием в разновидностях сфалерита обратной корреляционной зависимости между содержаниями железа и редких элементов. Для доказательства наличия корреляционной связи и для оценки силы этой связи, мы использовали коэффициент корреляции (R).

Коэффициент корреляции в случае значительного числа проб (пятьдесят) вычисляется по формуле:

Результаты статистической обработки распределения галлия, индия, кадмия и железа в равновидностях сфалерита Кафана

Таблица 2

Элементы	Количество анализов (n)	Среднее арифметическое значение в г/т (\bar{x})	Модальные величины в г/т			Квадратическое отклонение (S)	Коэффициент вариации в % (V)	Относительная ошибка (t)	Оценка асимметрии (β_1)	Оценка эксцесса (β_2)	Стандартные отклонения	
			M_0'	M_0''	M_0'''						σ_{T1}	σ_{T2}
Галлий	50	21,3	13	33	—	5,57	26,15	0,78	+1,238	+6,798	+0,346	+0,693
Индий	50	58,5	38,0	113	—	13,9	23,8	1,96	+1,423	+7,600	+0,346	+0,693
Кадмий	50	1100	0,25	3,25	—	640	59,09	90,0	+3,770	+13,240	+0,346	+0,693
Железо	50	59600	15000	45000	85000	15000	25,16	2100	-1,342	+5,133	+0,346	+0,693

$$R_{(x, y)} = \frac{\sum xy - n \bar{x} \bar{y}}{(n-1) \sigma_x \sigma_y}$$

где x и y — содержания элементов по данным анализов; n — объем выборки (количество анализов); $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ — выборочное среднее признаков x ; σ_x — выборочное среднее квадратическое отклонение признаков x .

Наиболее высокая отрицательная корреляционная зависимость в сфалеритах Кафанского месторождения выявилась между содержаниями железа и кадмия.

Данные статистической обработки подтверждают наличие в сфалеритах обратной корреляции между содержаниями железа и кадмия ($R_{(Fe, Cd)} = -0,88$), железа и галлия ($R_{(Fe, Ga)} = -0,18$), железа и индия ($R_{(Fe, In)} = -0,08$), и прямой корреляции между концентрациями галлия и кадмия ($R_{(Ga, Cd)} = +0,64$), индия и кадмия ($R_{(In, Cd)} = +0,27$), индия и галлия ($R_{(In, Ga)} = +0,06$).

Из всего сказанного мы пришли к следующим выводам:

1. Наиболее характерной особенностью распределения галлия, индия и кадмия в рудах полиметаллической стадии минерализации является то, что они не образуют самостоятельных минералов, а входят в структуру сфалеритов как изоморфная примесь. При этом изоморфное замещение цинка этими редкими элементами убывает в ряду: клейофан-сфалерит-марматит.

2. Данные статистической обработки подтверждают наличие в разновидностях сфалерита обратной корреляции между содержаниями Fe и Cd, Fe и Ga, Fe и In и прямой корреляции между концентрациями Cd и Ga, Cd и In, Ga и In.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 14.IV.1972.

Թ. Ն. ԶԱՐՅԱՆ

ԳԱԼԻՈՒՄԻ, ԻՆԴԻՈՒՄԻ ԵՎ ԿԱԴՄԻՈՒՄԻ ՏԵՂԱԲԱՇԽՈՒՄԸ
ՂԱՓԱՆԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՍՖԱԼԵՐԻՏՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Ղափանի պղինձ-բազմամետաղային հանքավայրում կադմիումի, ինդիումի և գալիումի հիմնական կրողը հանդիսանում է ցինկի սուլֆիդը:

Բազմամետաղային հանքանյութերում վերոհիշյալ տարրերի տեղաբաշխման առանձնահատկությունը կայանում է նրանում, որ վերջիններս ինքնուրույն միներալներ չեն առաջացնում, այլ սֆալերիտների բյուրեղային ցանցում հանդես են գալիս որպես իզոմորֆ խառնուրդներ: Սֆալերիտների տարատե-

սակներում ցինկի իզոմորֆ տեղակալումը դիտարկվող տարրերով նվազում է հետևյալ հաջորդականությամբ՝ կլեյոֆան-սֆալերիտ-մարմատիտ:

Կատարված ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ սֆալերիտների տարատեսակներում Fe և Cd, Fe և Ga, Fe և In միջև գոյություն ունի բացասական, իսկ Cd և Ga, Cd և In, Ga և In միջև՝ դրական համահարաբերակցական կապ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Зарьян Р. Н. Закономерности распределения некоторых редких элементов в рудах Кафанского месторождения. Известия АН Арм. ССР, серия геол. и географ. наук, № 4—5, 1963.
2. Зарьян Р. Н. О стадиях минерализации Кафанского медно-полиметаллического месторождения. Известия АН Арм. ССР, серия геол. и географ. наук, № 3—4, 1964.
3. Трошин Ю. П., Маркова Н. П., Трошина Г. М. О генетическом содержании функций распределения концентраций некоторых редких элементов в сульфидных минералах. Геохимия рудных месторождений. АН СССР, 1964.