

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В ПИРИТАХ И КОЛЛЕКТИВНОЙ СУЛЬФИДНОЙ ФРАКЦИИ ИЗ ОРЕОЛОВ БАЛЕЙСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ

И. А. КИТАЕВ, А. А. НЕСТЕРОВА, В. Н. САРАПУЛОВА (ИГ СО АН СССР)

Выявление закономерностей распределения сульфидов и элементов-примесей в них, кроме значения его для выяснения процессов рудообразования, представляет большой практический интерес, поскольку в определенных условиях анализ сульфидной фракции может служить важным поисковым приемом при геохимических поисках. В связи с этим, при исследовании первичных ореолов рассеяния Балейского рудного поля [2, 6], нами проведено изучение развитых в ореолах сульфидов.

Месторождение представлено серией протяженных рудных зон, выполненных жилами халцедоновидного кварца. Количество сульфидов невелико (до 1,5%), наиболее широко распространены пирит и марказит, в меньшей степени — халькопирит, арсенопирит, антимонит, пираргирит, блеклые руды и другие, еще более редко встречающиеся, минералы.

Изучение сульфидов проводилось по поперечному разрезу, проходящему в центральной, наиболее обогащенной золотом, части рудного поля. В данном разрезе рудные тела не выходят на поверхность. Пробы брались из горных выработок и керн буровых скважин, вскрывающих надрудную зону, зону оруденения и нижнюю слабозолотоносную часть месторождения на глубину до 700 м от поверхности. Вес проб составлял 1—2 кг, интервал опробования 5—10 м, всего отобрано около 250 проб. Сульфидная фракция выделялась путем проведения ряда последовательных операций: дробления до —0,5 м, промывки на лотке до серого шлиха, выделения сульфидной части в тяжелой жидкости (бромформ, уд. вес 2,93), отбора мономинеральных фракций под бинскуляром.

Полуколичественный спектральный анализ мономинеральных проб, а также сульфидной фракции в целом, производился, кроме золота на элементы-примеси, выявленные в ореолах Балейского рудного поля [6] и на ряд других элементов, наличие которых возможно в золоторудных близповерхностных месторождениях другого типа [1]: Ag, As, Sb, Pb, Cu, Zn, Co, Ni, Tl, Ge, Mo, In, Te, Cd, Bi, Sn, Hg. Чувствительность определения элементов составляла: Ag, Mo, —0,0001%; Sn—

0, 0005%; Au, Pb, Cu, Co, Ni, Cd, Ga, Ge, In—0,001%; Hg—0,005%; As, Zn, Tl, Te — 0,01%. Определение относительного количества сульфидных минералов на разных вертикальных уровнях было проведено по специально взятым пробам большого веса (до 10 кг); распространение их вкрест простирания рудных тел определялось по шлифам и аншлифам под микроскопом.

Некоторые особенности распределения сульфидных минералов в ореолах

Основная масса сульфидной части в полученных тяжелых фракциях представлена пиритом и, в меньшей мере, арсенопиритом. Во многих пробах присутствует антимонит, в виде единичных зерен встречаются сфалерит и галенит. Других сульфидных минералов из числа упоминаемых по данным минералогических исследований руд [5], в том числе минералов серебра, в протолочках проб не обнаружено. Не было найдено также самородное золото, что свидетельствует о нахождении его в ореолах почти исключительно в виде очень мелких выделений. Некоторые сульфидные минералы (киноварь, минералы серебра и др.) могут отсутствовать в тяжелых фракциях протолочек по той причине, что при дроблении проб они переизмельчаются и при промывке на лотке смываются.

Характерно изменение количеств главных минералов (пирита и арсенопирита) и соотношения между ними по вертикали. Это соотношение изменяется в сторону уменьшения количества пирита и, наоборот, увеличения арсенопирита по направлению вверх (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1.

Количество зерен пирита и арсенопирита в тяжелой фракции протолочек¹ (в % от общего числа зерен)

№ проб	Горизонты	Пирит	Арсенопирит
2	I	13	37
4	II	30	70
5	III	50	50
6	IV	74	26

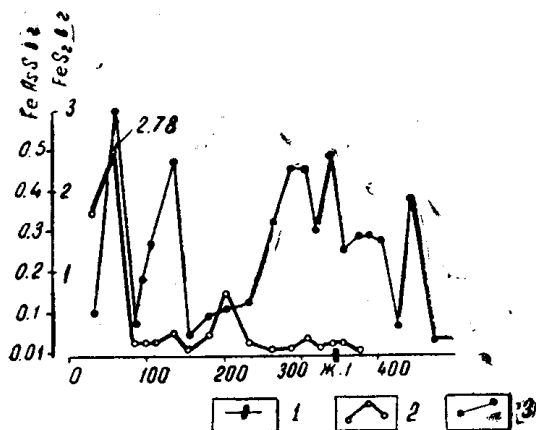


Рис. 1. Результаты количественного минералогического анализа протолочек проб, взятых по скважине, пересекающей рудную зону I

1 — рудные тела; 2, 3 — кривые изменения арсенопирита, пирита

В стороны от рудных тел (вкрест простирания) пирит распространяется на довольно значительные расстояния (до 100 и более м). Арсенопирит на нижних и средних горизонтах образует узкие ореолы, сопровождающие рудные тела, а в верхней части месторождения ореолы арсенопирита значительно расширяются.

¹ Места взятия проб показаны на рис. 2—5.

Характер распределения сульфидов коррелируется с распределением элементов в ореолах: на месторождении отчетливо наблюдаются мышьяковые «шапки» над рудными телами [6]. На Балейском месторождении отношение As/S увеличивается по мере приближения к поверхности. Следует отметить, что эти данные согласуются с выводами Г. П. Тейлора [10], полученными им при изучении количественного и качественного состава сульфидов на многих месторождениях различного генетического типа. По данным этого исследователя, отношение As/S увеличивается от группы высокотемпературных месторождений к низкотемпературным.

Элементы-примеси в пиритах

Элементы-примеси определялись в наиболее широко распространенном сульфидном минерале-пирите. Определение в других минералах было затруднено сложностью выделения их в необходимых для анализа количествах. В связи с этим анализировалась коллективная фракция сульфидных минералов. При указанной выше чувствительности анализами установлено наличие следующих элементов-примесей в пиритах: Au, Ag, As, Sb, Pb, Cu, Zn, Co, Ni, Bi и Tl. Необходимо отметить следующее обстоятельство. По данным минералогических исследований [5] на Балейских месторождениях выделяется несколько генераций пирита, связанных с различными стадиями минерализации. Эти генерации могут различаться по содержанию элементов-примесей. Из-за близости морфологических особенностей разделить пирит по генерациям при выделении его из протолок нет никакой возможности. Поэтому содержания элементов-примесей даются в целом для смеси, в которой могут присутствовать различные генерации. Но это обстоятельство, как будет показано ниже, не мешает выявлению общих пространственных вариаций содержаний элементов в пиритах.

Данные о средних содержаниях элементов в пиритах, подсчитанные по одинаковым вертикальным интервалам, представлены в табл. 2, 3. В табл. 2 помещены элементы, обнаруженные лишь в части проанализированных проб (Au, Tl и Bi). Содержание их в пиритах характеризуется частотой встречаемости и интервалами колебания величин в значащих пробах. В табл. 3 включены остальные элементы, фиксированные во всех проанализированных пробах пирита. Ниже приводятся необходимые пояснения и выявляющиеся закономерности.

Таблица 2

Содержание золота, таллия и висмута в пиритах

Горизонты	Число проб	Частота встречаемости, %			Пределы содержаний в значащих пробах		
		Au	Tl	Bi	Au г/г	Tl %	Bi %
I	24	0	8	8		0,01—0,02	0,001
II	20	25	10	15	0,01—0,03	0,01—0,03	0,001—0,005
III	14	20	7	55	0,01	0,2	0,001—0,005
IV	46	20	32	43	0,01—0,02	0,01—1,0	0,001—0,01
V	16	12	31	50	0,01	0,001—0,005	0,001—0,01
VI	18	6	0	61	0,01	—	0,001—0,01
VII	14	0	0	0		—	—

Содержание элементов-примесей в пиритах (в $10^{-3}\%$)

Горизонты	Число проб	Ag	As	Sb	Pb	Cu	Zn	Co	Ni
I	24	0,3	170	29	2	9	12	1,3	1,1
II	20	0,7	220	22	4	5	13	1,6	1,5
III	14	0,8	180	23	7	7	22	1,8	1,7
IV	46	1,0	130	19	9	16	20	3,4	1,7
V	16	0,7	100	15	41	24	14	3,1	1,3
VI	18	0,6	130	15	24	16	14	2,1	1,1
VII	14	0,4	150	21	4	5	16	3,9	2,1

Золото обычным (не специализированным на этот элемент) спектральным анализом обнаруживается лишь в небольшой части проб. Следовательно, содержание его в пиритах большей частью менее $0,001\%$ ($10^{-4}\%$), хотя в целом оно значительно больше, чем в ореолах. Наличие серебра отмечается во всех пробах пирита, тогда как во вмещающих породах — только в небольшой части их. В распределении концентраций золота и серебра в пиритах наблюдаются следующие закономерности. Наиболее часто золото фиксируется в пределах зоны оптимального оруденения. К этой же зоне приурочены максимальные количества серебра. Выше и ниже ее (в надрудной и подрудной частях) концентрации этих элементов в пиритах значительно меньше. Уменьшаются содержания Au и Ag по мере удаления в стороны от жил (рис. 2). Величина отношения Ag/Au^1 в пиритах (табл. 4) значительно меньше, чем в породах в целом. В последних отношении Ag/Au обычно больше

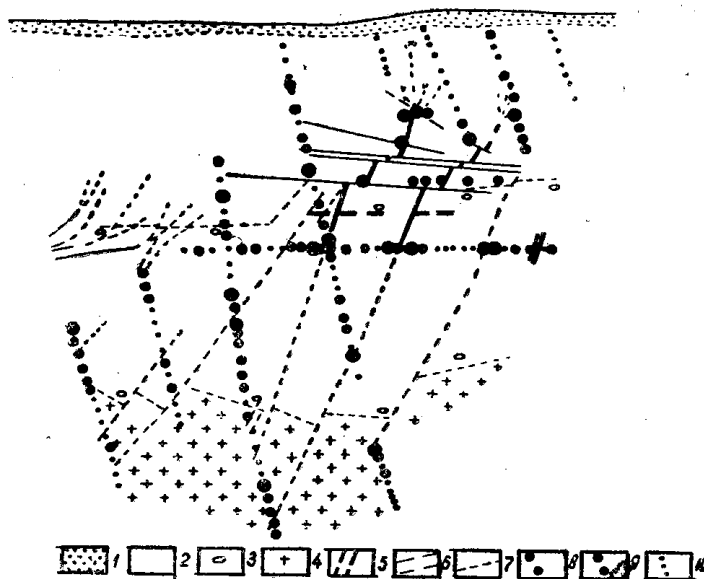


Рис. 2. Распределение концентраций золота и серебра в пиритах.

1 — рыхлые отложения; осадочные породы: 2 — с преобладанием песчаников; 3 — конгломераты; 4 — гранитоиды; 5 — кварцевые жилы и прожилки; 6 — тектонические нарушения; 7 — границы пород; 8 — пробы с повышенными концентрациями серебра ($>5 \cdot 10^{-4}\%$); 9 — пробы, в которых обнаружено золото (при чувствительности анализа 10 г/т); 10 — места взятия проб пирита

¹ Отношение вычислялось по пробам со значащими значениями обоих элементов.

1 (до 50 и более) [3]. Из этого следует, что Ag, по-видимому, присутствует в ореолах главным образом в иных формах, вероятно, в значительной степени, в виде самостоятельных минералов серебра (пираргирит) и богатой серебром разности блеклых руд (фрейбергит).

Таблица 4.
Отношения пар элементов в пиритах

Горизон-ты	Ag/Au	Sb/As	Cu/Pb	Co/Ni
I		0,175	4,5	1,18
II	0,8	0,100	1,2	1,06
III		0,126	1,0	1,01
IV	0,7	0,146	1,8	2,00
V	0,6	0,143	0,5	2,40
VI		0,130	0,5	1,90
VII		0,142	1,2	1,90

Характерной особенностью пиритов Балейских месторождений являются высокие содержания мышьяка и сурьмы. Эти элементы обнаружены во всех пробах пирита, причем концентрации As иногда достигают 1—3%, а Sb 0,1%. Наибольшие концентрации As и Sb, в отличие от Au и Ag, приурочены к верхним горизонтам (выше зоны оптимального оруденения).

На рис. 3 изображены ореолы рассеяния сурьмы, построенные по данным анализа пирита и тяжелой фракции в целом, представляющей собой коллективную фракцию сульфидов и некоторых аксессуарных минералов. Как видно из рис. 3, максимальные концентрации сурьмы в пиритах наблюдаются, во-первых, в верхней части разреза и, во-вторых, в удалении от рудных жил. Вблизи рудных жил и на нижних горизонтах содержание сурьмы в пиритах понижается. Аналогичный характер распределения отмечался для Sb и As в породах [6]. Совершенно иной характер имеет распределение Sb в коллективной сульфидной фракции, которая кроме пирита, как указывалось выше, содержит арсенопирит, антимонит и отдельные зерна других сульфидов и сульфосолей. Максимальные концентрации Sb наблюдаются вблизи рудных жил, причем значительного уменьшения содержаний на глубину не наблюдается. Данный ореол наложен на ореол, построенный по пиритам, и сечет его. Это находится в соответствии с тем, что антимонит связан с более поздней антимонитовой стадией минерализации [5]. Закономерных изменений отношения Sb/As в пиритах (табл. 4) по вертикали не наблюдается, хотя возможно, что в самом верху (0—100 м) величина отношения несколько больше. Отметим, что особенности распределения As и Sb в пиритах Балейского рудного поля согласуются с некоторыми данными, имеющимися в литературе. Так, в пиритах высокотемпературных месторождений, образованных на больших глубинах, содержания As и Sb незначительны. В этом отношении характерны, например, данные по гипотермальным золоторудным месторождениям Канады [7, 11]. Концентрации As и Sb увеличиваются в месторождениях, сформированных на меньших глубинах и при более низких температурах [9, 10]. На Балее эта тенденция получает выражение в пределах одного месторождения.

Особенностью распределения меди в пиритах является наличие повышенных концентраций в верхних и средних частях месторождений (рис. 4). В отличие от меди, наиболее низкими содержаниями свинца характеризуются пириты верхних горизонтов (рис. 5). В пределах зоны

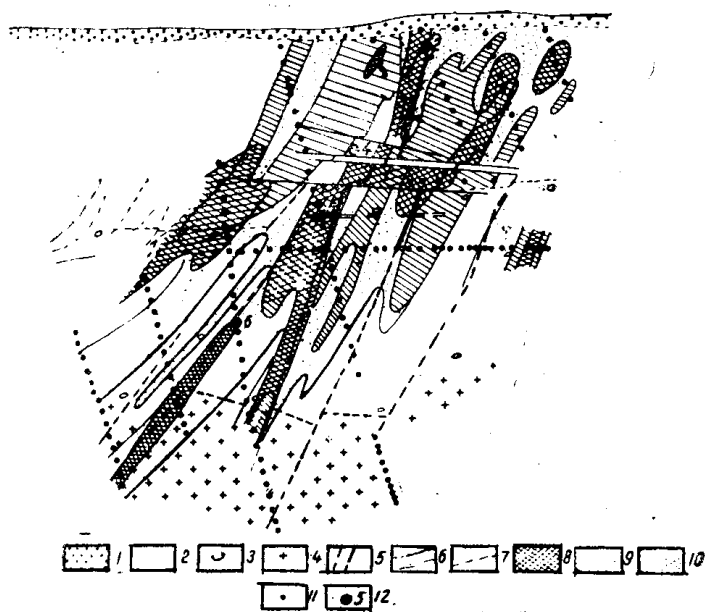


Рис. 3. Ореолы рассеяния сурьмы в пиритах и коллективной сульфидной фракции в целом
 1—7—см. рис. 2; 8—повышенные концентрации сурьмы в коллективной сульфидной фракции проб. Содержания сурьмы в пиритах; 9—0,05—0,1% и более; 10—0,01—0,05%; 11—места взятия проб; 12—места отбора больших проб

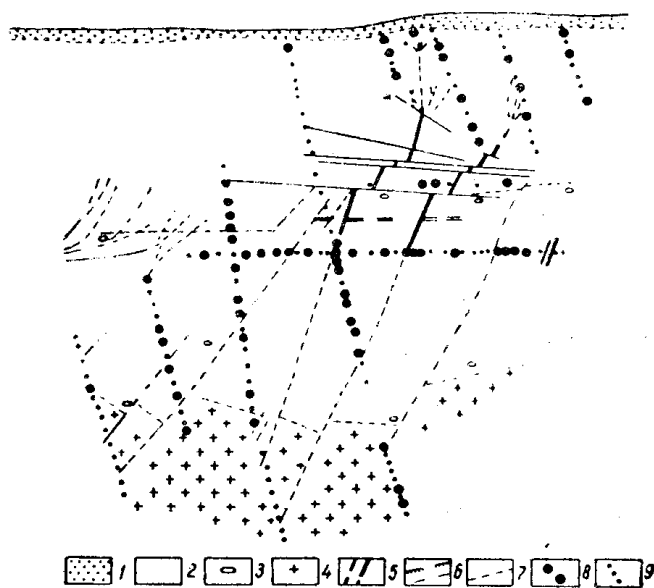


Рис. 4. Распределение повышенных концентраций меди в пиритах
 1—7—см. рис. 2, 8—пробы с повышенными (>0,01%) содержаниями меди; 9—места взятия проб

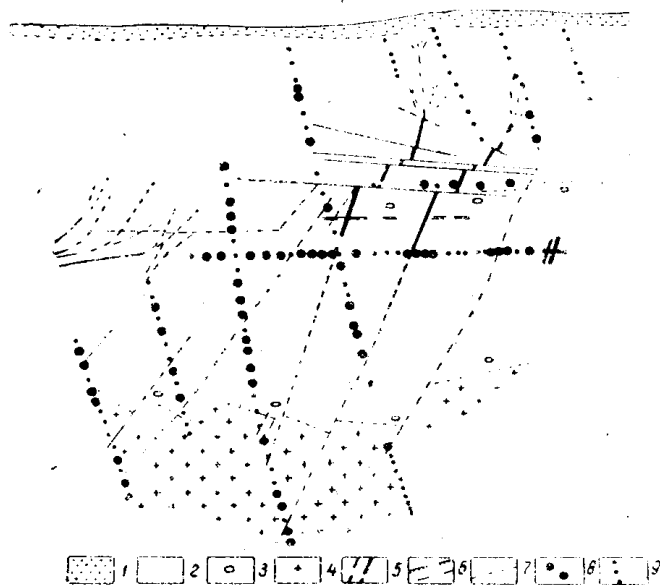


Рис. 5. Распределение повышенных концентраций свинца в пиритах

1—7—см. рис. 2; 8—пробы с повышенными ($>0,01\%$) содержаниями свинца; 9—места взятия проб

оптимального оруденения повышенные концентрации Cu и Pb наблюдаются на некотором удалении от жил вкрест простирания. В целом распределение меди и свинца в пиритах повторяет распределение их в породах [6]. Исключением является понижение концентраций Pb на верхних горизонтах, что заслуживает специального внимания, поскольку при изучении ореолов в указанных местах отмечалось наличие отчетливо выраженных ореолов Pb. По-видимому, на верхних горизонтах Pb присутствует в ореолах в какой-то иной форме. Величина отношения Cu/Pb в пиритах явно сдвигается на верхних горизонтах в пользу меди.

Для Co и Ni характерно, что концентрации их заметно увеличиваются с глубиной, достигая максимальных величин на самых нижних горизонтах (табл. 3). Увеличивается с глубиной и отношение Co/Ni (табл. 4). Известно [4, 8, 11], что содержания Co и Ni и отношение Co/Ni увеличиваются от низкотемпературных к высокотемпературным, а в одном месторождении — от приповерхностных к более глубоким горизонтам (в связи с увеличением температуры в этом направлении). В данном случае проявляется эта общая закономерность. Следует отметить, что содержания Co и Ni в пиритах Балейских месторождений сравнительно невысоки. По Холли [9], в пиритах высокотемпературных золоторудных жил Канады содержания Co колеблются от 0,001% до 0,1% (в среднем 0,02%), Ni—0,005—0,1% (в среднем 0,04%). В низкотемпературных (125—200°) рудных пиритах содержания Co, по данным указанного исследователя, уменьшаются, составляя для Co 0,008—0,006% (иногда до 0,33%), а для Ni—0,013—0,25%. В пиритах низкотемпературных золотокварцевых жил Мексики Ni и Co не обнаружены.

Выводы

Закономерное положение участков повышенных содержаний элементов-примесей в пиритах по отношению к зоне максимальных кон-

центраций золота в рудах может быть интерпретировано с точки зрения сингенетичности главной массы пирита золотому оруденению.

Наложение более поздней минерализации проявляется на примере ореолов сурьмы, построенных по данным анализа коллективной сульфидной фракции, которые занимают секущее положение по отношению к ореолам, выявленным по пиритам.

Анализ пиритов позволяет получить дополнительную информацию об ореолах. Так, в ореолах выявлены повышенные концентрации Co , Ni , Tl и Bi .

Особенности распределения элементов-примесей в пиритах можно использовать при поисковых работах. Отмеченные выше явления зональности могут служить для определения положения зон оптимального оруденения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Китаев, В. В. Поликарпочкин. Особенности первичных ореолов рассеяния Балейского рудного поля и их использование при поисках эпитермальных месторождений золота. В сб.: «Рудоносность вулканогенных образований Северо-Востока и Дальнего Востока». Магадан, 1967.
2. Н. А. Китаев, А. М. Нарышев, В. В. Поликарпочкин. Первичные ореолы рассеяния ртути в Балейском золоторудном поле. (В печати. В сб.: «Вопросы металлогении ртути»).
3. Н. А. Китаев, В. Н. Сарапулова, И. Я. Коротаева. Золото-серебряное отношение в первичных ореолах Балейского золоторудного поля (тезисы доклада). В сб.: «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых Забайкалья». Чита, 1968.
4. Л. Н. Овчинников. Элементы-примеси как индикаторы процессов рудообразования и использование закономерностей их распределения при поисках и разведке рудных месторождений. В трудах: «Химия Земной коры», т. 11, 1964.
5. Н. В. Петровская, П. С. Бернштейн, С. Г. Мирчинк, М. Г. Андреева. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). Тр. института ЦНИГРИ, вып. 45, часть II, 1961.
6. В. В. Поликарпочкин, Н. А. Китаев, В. Н. Сарапулова. Строение и вертикальная зональность первичных ореолов рассеяния Балейского золоторудного поля. «Геохимия», 1965, № 8.
7. P. E. Auger. Zoning and district variations of the minor elements in pyrite of Canadian gold deposits. *Economic geology*, vol. XXXVI, № 4, 1941.
8. H. Byrlykke. The cobalt content of pyrite from Norwegian nickel ores. *Chem. Abs.*, vol. 40, 1946.
9. I. E. Hawley. Spectrographic studies of pyrite in some Eastern Canadian gold mines. *Economic geology*, vol. 47, 1952.
10. H. P. Taylor jr. Evolution of chemical composition of orebearing solutions dependent on the same source. В материалах Конференции «Проблемы постмагматического рудообразования», т. 1, 1963.
11. M. Fleischer. Minor elements in some sulfide minerals. *Economic geology. Fiftieth Anniversary volume 1905—1955. Part. II, Lancaster*, 1955.