

СВОЙСТВА ПИРИТОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОНЖИНСКОГО ВЫСТУПА

При изучении типоморфных особенностей пиритов определены верхний и крайний верхний уровни эрозионного среза золоторудных проявлений. Сравнение элементов примесей в пиритах золоторудных месторождений Гонжинского выступа с элементами – примесями пиритов других месторождений указывают на принадлежность рудных тел к близповерхностным образованиям. Выявлена возможность усиления золотого оруденения на глубине. Установлен нейтральный состав раствора. По результатам вакуумной декрепитации установлена близость процессов кристаллизации золота и золотоносного пирита.

Ключевые слова: пирит, золото, кристалломорфология, элементы примеси.

THE PROPERTIES OF PYRITES OF THE GOLD DEPOSITS LOCATED IN THE EASTERN PART OF GONZHINSKIY OUTSHOOT

In the course of study of the typomorphic characteristics of pyrites the upper level of gold mineralization erosion has been identified. The research showed that the ore bodies belong to the shallow formations with the probability that the gold mineralization enhances at depths. Concerning the ores of Pioneer deposit the cubic forms of pyrite prevail over the octahedral, which is indicative of a neutral solution composition. Based on the quantitative analysis of the inclusions and the results of isotope analysis of sulfur in pyrites it was concluded that the source of a fluid is a deep spring. Vacuum decrepitation showed that the processes of gold and gold-bearing pyrite crystallization are similar.

Key words: perite, gold, crystal morphology, trace elements.

Исследуемая площадь находится в центральной части Амурской области и занимает восточную часть Гонжинского выступа Буреинского срединного массива. Район работ представляет собой фрагмент куполовидного поднятия, имеющий дугообразную форму. По периферии этого поднятия размещаются Нижне-Арбинское, Нижне-Урканское и Улунгинское вулканические поля. По обрамлению образований Гонжинского свода обнажены массивы мезозойских гранитоидов. В эндо- и экзо-контактных зонах гранитоидных интрузивов располагается 80% золоторудных месторождений этого района. Рудные тела представлены сложными кварцевыми и кварц-карбонатными жилами. Залегание рудных тел месторождения Покровское близгоризонтальное, редко с наклоном до 30°, месторождения Пионер и рудопроявления Звездочка – с падением 55-75°.

Пирит – один из самых распространенных минералов исследованных золоторудных объектов, а также один из наиболее важных по своим типоморфным особенностям. Пириты отмечены как в ви-

де вкрапленности, так и в виде отдельных линз и прожилков, представленных только пиритом или пиритом совместно с другими минералами. Зоны сульфидизации развиты в пределах Гонжинского выступа на значительных площадях, причем содержание пирита часто не признак наличия в рудах промышленных содержаний золота: отложение пирита происходило в течение всех пяти стадий минерализации, значение которых в процессе минерализации неодинаково.

К числу наиболее важных типоморфных особенностей относятся кристалломорфология пиритов, состав и содержание в них элементов примесей, температурные условия отложения минерала и соотношения никеля и кобальта. Целью изучения типоморфных особенностей пиритов являлось выявление геохимических и минералогических особенностей формирования золотого оруденения, определение уровня эрозионного среза.

Для изучения автором отбирался пирит без сростков с другими минералами, с размером зерен 0,25...0,1 мм, без разделения по стадиям выделения, так как часто рудно-минеральные комплексы накладываются один на другой, а выделение пирита из определенных комплексов процесс трудоемкий и вряд ли будет целесообразен при будущих поисковых работах.

Кристалломорфология. Форма кристаллов пирита зависит от кристаллохимических его особенностей, физико-химических условий среды минералообразования, характера ассоциирующих с ним минералов и др.

Для выявления кристалломорфологических особенностей с целью определения уровня эрозионного среза рудных тел был применен кристалломорфологический анализ пирита [1, 2], согласно которому используется эмпирическая формула Н.З. Евзиковой, отражающая соотношение в зонах золотой минерализации пиритов с разной морфологией кристаллов:

$$x = (2C_V + C_{IV}) + (C_{II} + 2C_I),$$

где x – сумма баллов; C_I , C_{II} , C_{III} , C_{IV} , C_V – количество кристаллов соответственно кубической, кубопентагондодекаэдрической, пентагондодекаэдрической, икосаэдрической и октаэдрической форм, выраженное в процентах по отношению к суммарному количеству кристаллов. Сумма баллов от +200 до +100 соответствует крайнему верхнему срезу, от +100 до +50 – верхнему, от +50 до -50 – центральному, от -50 до -100 – нижнему и от -100 до -200 баллов – крайнему нижнему срезу рудных тел.

Для месторождения Пионер, согласно полученным значениям, установлены два уровня эрозионного среза. Вероятно, это объясняется двумя этапами формирования месторождения: ранней минерализацией, связанной с разломами северо-восточного направления, и более поздней минерализацией, связанной с разломами широтного направления. Для рудопроявления Звездочка установлен крайний верхний уровень эрозионного среза (табл. 1).

Для Покровского месторождения установлен крайний верхний уровень эрозионного среза [4, 6]. Таким образом, мы имеем дело с только что вскрытым рудными телами, где практически вся масса руды не затронута процессами эрозии.

В активной кислой или щелочной среде, где энергетически главенствующую роль играют частицы одного сорта – катионы (железа) или анионы (серы), образуются преимущественно октаэдрические грани кристаллов. В нейтральной среде атомы железа и гантели серы энергетически становятся равноправными и наиболее плотные сетки в структуре отвечают граням куба, поэтому кристаллы кубического габитуса предпочтительнее кристаллизуются из нейтральных растворов [7]. Для руд Пионерского месторождения характерно значительное преобладание кубических форм пирита над октаэдрическими, что свидетельствует о нейтральном составе раствора. Подтверждением нейтральности является карбонатизация пород, а также находка автором на глубине 133–138 м редкого минерала цинкита, образовавшегося, скорее всего, из сфалерита. Цинкит образуется в результате реакции восстановления, характерной для нейтральной среды.

Таблица 1

Кристалломорфологический состав пиритов

№ сква- жины	Интервал опробова- ния, м	Кристалломорфологический состав, %					Сумма баллов	Уровень эрозионного среза
		I	II	III	IV	V		
Месторождение Пионер								
65	69,9 - 70,9	30	52	17		1	114	крайний верхний
65	70,9 - 72,0	32	59	9			123	крайний верхний
65	85,0 - 86,0	8	67	25			83	верхний
65	87,8 - 89,0	29	57	14			115	крайний верхний
65	90,7 - 91,4	49	39	12			137	крайний верхний
65	99,2 - 99,9	34	59	7			127	крайний верхний
65	100,5 - 101,5	27	32	41			86	верхний
65	107,4 - 108,1	19	48	33			86	верхний
65	116,8 - 117,4	35	50	15			120	крайний верхний
35	15,5 - 17,0	31	41	26		2	107	верхний
35	41,8 - 43,3	29	42	29			100	крайний. верхний
35	88,0 - 89,0	55	38	7			148	крайний верхний
35	130,3 - 131,1	38	61	1			137	крайний верхний
35	135,0 - 136,2	44	39	15		2	131	крайний верхний
35	143,0 - 144,5	15	62	22	1		93	верхний
42	225,8 - 226,8	33	55	10	2		123	крайний верхний
42	226,8 - 228,2	11	69	19			91	верхний
42	229,6 - 230,8	32	62	6			126	крайний верхний
42	230,8 - 232,0	17	60	23			94	верхний
42	289,7 - 290,7	52	31	17			135	крайний верхний
42	290,7 - 292,2	29	61	10			119	крайний верхний
42	292,2 - 293,4	58	41	4			157	крайний верхний
Рудопроявление Звездочка								
	0,2-1	14	79	7			107	крайний верхний

На месторождениях Пионер и Покровское встречаются пириты с наличием реликтовых структур и отчетливым зональным строением, что объясняется неоднократной перекристаллизацией пирита в многостадийном процессе минерализации.

Химический состав. Одними наиболее информативных элементов примесей являются золото и серебро. Элементы примеси в пиритах определялись в лаборатории Института геологии и природопользования ДВО РАН (табл. 2). Содержания золота и серебра установлены атомно-абсорбционным анализом (аналитик Н.А. Бородина), остальные элементы определялись спектральным анализом (аналитик Л.С. Каменская). Содержания золота и серебра для месторождения Пионер составляют: для руды – менее 3 – 183 г/т, серебра – 1,5 – 470 г/т. Это соответствует данным, полученным для пиритов Покровского месторождения: 1,0 – 132,5 г/т золота и 9,0 – 251,4 г/т серебра. Повышенные содержания золота в пирите соответствуют и более богатым рудам, что связано с процессами сорбции золота пиритом в момент его кристаллизации. В пирите золото наблюдается в виде неправильных удлиненных частиц размером до 5–7 мкм. На месторождении Покровское отмечалось присутствие в пирите округлых, каплевидных выделений золота. Такие пириты являются наиболее золотоносными. Структурным травлением выявлено, что оно выполняет микротрещины в зернах. Золото в пиритах характеризуется значительным разбросом содержаний, что обычно для золоторудных месторождений и объясняется наличием минеральных включений золота в пиритах, наряду с его молекулярным и атомарно-рассеянным состояниями [3]. Корреляции между золотом и серебром не установлено. Вследствие различного соотношения золота и серебра в рудах захват пиритом этих минералов будет напрямую зависеть от того, какое отношение золота и серебра соответствует определенной руде.

Таблица 2

Химический состав пиритов (г/т)

№ скважины	Абсолютная отметка, м	Au	Ag	As	Pb	Mo	Cu	Zn	Sb	W	Bi	Ni	Co	Cr	Mn	Ti	Sc	Zr	Y	Nb
65	69,9 - 70,9	183	255	1000	100	2	>1%	300	500	70	10	50	200	10	500	1500	40	фон		10
65	70,9 - 72,0	20,5	5	700	70	1	700	100	30			70	500	15	300	1000	10	>1000	<10	10
65	87,8 - 89,0	не опред.		700	50	2	200	70	<30			50	300	30	500	3000	70	300	<10	7
65	99,2 - 99,9	10	<10	300	20	1	500	50	<30			40	200	10	200	700	20	100		7
65	100,5 - 101,5	169	80	500	100	<1	150	50	30	500		100	300	15	300	1500	50	>1000		100
65	107,4 - 108,1	<5	470	3000	150	2	500	70	<30	300	1	70	300	10	200	1500	70	200		20
65	116,8 - 117,4	<5	<5	2000	150	2	200	70	<30	70	1	100	300	20	300	2000	40	<1000	<10	10
35	15,5 - 17,0	<5	25	1000	>1%	<1	200	700	30	500		70	300	10	300	1000	40	100		50
35	41,8 - 43,3	11	30	1000	300	1	150	70	30	300	2	50	200	500	700	5000	50	>1000		70
35	88,0 - 89,0	<3	<10	1500	100	<1	70	100	40		2	50	200	5	200	500	<10	<100		
35	130,3 - 131,1	156	5	1700	300	1	700	100	30	500	1	70	300	15	500	2000	50	>1000		70
42	135,0 - 136,2	<5	<5	700	100	2	100	100				70	300	30	500	2000	70	700	15	7
42	143,0 - 144,5	<5	15	500	30	2	500	70				50	200	10	500	700	40	100	10	7
42	225,8 - 226,8	<5	<5	200	50	2	150	100	<30			50	300	15	300	1000	40	50	10	10
42	226,8 - 228,2	<3	<10	70	20	1	100	70				100	500	50	500	1500	30	<100	<10	7
42	229,6 - 230,8	<5	5	150	100	<1	200	50			5	30	150	<5	300	300		500		<7
42	230,8 - 232,0	<5	<5	150	500	2	1000	100	<30		10	10	50	<5	300	<300	<10		<10	7
42	289,7 - 290,7	<5	<5	500	150	1	300	70	<30	100	15	50	300	20	300	700	30	150		15

Но четкой корреляции между содержаниями золота и серебра в пирите и в рудах не отмечено, что объясняется многостадийным процессом минерализации с различными взаимо-

отношениями данных элементов в разных стадиях, а также нахождением этих элементов в пирите в виде собственных минералов. Степень захвата пиритом элементов примесей зависит от положения кристаллов к поступающему раствору, степени контакта с другими минералами, от того, какие это минералы, а также из-за образования серебром собственных соединений (пираргирит, кераргирит), которые могут затруднять или облегчать проникновение серебра в состав пирита за счет окислительно-восстановительных реакций.

Наличие других примесей в пирите месторождения Пионер установлено спектральным анализом (табл. 2). Постоянными примесями являются мышьяк, свинец, медь, цинк, кобальт, марганец, титан и цирконий, содержание которых составляет 20...10000 г/т. В меньших количествах (1...100 г/т), но почти во всех пробах выявлено присутствие молибдена, сурьмы, никеля, хрома, скандия, ниобия. Спорадически отмечено присутствие висмута, вольфрама, ванадия и иттрия.

Исследования золотоносных пиритов из различных регионов [5] показали, что частота встречаемости и содержание некоторых элементов в них может служить критерием для определения принадлежности пиритов к рудам месторождений определенных типов. При сравнении статистических данных этих исследований с полученными результатами выясняется, что примеси мышьяка, сурьмы и меди в пиритах Пионерской рудной зоны более высокие, чем в пиритах близповерхностного типа оруденения других регионов. Учитывая тенденцию увеличения этих примесей в пиритах близповерхностных месторождений [5], следует считать месторождение Пионер близповерхностным и слабоэродированным.

Важный критерий определения условий формирования руд – отношение содержаний в пиритах никеля и кобальта. Для руд, сформированных в близповерхностных условиях, это соотношение составляет величину больше единицы [8]. В пиритах месторождения Пионер данный коэффициент равен 1...5 единицам, что указывает на верхние горизонты рудного тела. Содержание мышьяка, свинца, меди, цинка, сурьмы, вольфрама, никеля, а особенно кобальта и серебра в пиритах выше, чем во вмещающих рудные тела породах, что указывает на различные источники этих элементов. Низкие содержания молибдена свидетельствуют о его недостатке в растворе и возможном выносе молибдена из вмещающих пород (предположительно верхнеамурского комплекса). В результате изотопного анализа серы в пиритах из рудного тела Звездочка установлена величина изотопного состава $S^{34}S$, равная +1,98‰ (ДВИМС, аналитик Е.И. Ловягина), что может служить предположением о глубинном источнике флюида.

Кристаллизация золотоносного пирита из рудной зоны Звездочка, по результатам вакуумной декрепитации, происходила при трех температурных интервалах (50...260, 310...350, 425...520°C), что указывает на присутствие в пробе трех разновидностей пиритов. Подобные интервалы отмечены и на графиках вакуумной декрепитации золота, что подтверждает близость процессов кристаллизации золота и золотоносного пирита. Наиболее интенсивное газовыделение из пиритов происходило при низких температурах (50...260°C).

Определить зональность по элементам-примесям не представляется возможным. Во-первых, пириты близповерхностных месторождений, какими являются рассматриваемые месторождения, испытывают резкие перепады температур и давления, которые отражаются на кристаллизации, и в этом случае плавного изменения содержаний элементов примесей происходить не будет. Во-вторых, многостадийный процесс минерализации накладывает отпечаток на состав пиритов, и установление зональности будет осложняться тем, что каждая стадия имела свои качественный и количественный составы элементов, которые повлияли на захват этих элементов пиритом.

Таким образом, на основании типоморфных свойств пиритов установлены верхний и крайний верхний уровни эрозионного среза. Условия формирования золотоносного пирита соответствуют ус-

ловиям формирования золота. Сравнение элементов примесей в пиритах золоторудных месторождений Гонжинского выступа с элементами-примесями пиритов других месторождений указывает на принадлежность рудных тел к близповерхностным образованиям. Установлена нейтральная среда минерализации. В.И. Кирасировой пирит сложных форм (комбинация куба и пентагондодекаэдра) выделен как минерал – индикатор золотого оруденения для Покровского месторождения. Наиболее золотоносными для месторождения Пионер являются руды с пробами пирита, содержащими большое количество кристаллов кубопентагондодекаэдрической и пентагондодекаэдрической форм. Это указывает на возможность усиления золотого оруденения на глубине и на больший эрозионный срез для месторождения Пионер.

-
1. Евзикова, Н.З. Поисковая кристалломорфология. – М.: Недра, 1984. – 143 с.
 2. Евзикова, Н.З., Беленькая, Н.С. К вопросу о поисково-оценочном значении формы кристаллов пирита // Записки Всесоюз. минерал. об-ва. – 1977. – Вып. 6. – С. 749-780.
 3. Михайлова, Е.М., Ворошилов, В.Г., Пшеничкин, А.Я. Отражение Сухаринского рудного поля в типоморфных особенностях пирита // Известия Томского политехнического ун-та. – 2011 – Т. 318. – № 1. – С. 42-48.
 4. Неронский, Г.И., Бородавкин, С.И., Попов, А.Б., Скабелкин, А.В. Пириты золоторудных и золотосодержащих месторождений Дальнего Востока // Магматизм, флюиды и оруденение. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – С. 161-169.
 5. Новгородова, М.И., Гамянин, Г.Н., Цепин, А.М., Кортман, Р.В., Чижова, И.А. Типоморфизм золотоносных сульфидов и их минеральных ассоциаций // Новые данные о типоморфизме минералов. – М.: Наука, 1980.
 6. Попов, А.Б. Оценка уровня эрозионного среза золоторудных месторождений восточной части Гонжинского выступа // Генезис месторождений золота и методы добычи благородных металлов (Материалы Международной научной конференции, посвященной 300-летию геологической службы России). – Благовещенск: АмурКНИИ АмурНЦ ДВО РАН, 2001. – С. 107–109.
 7. Прохоров, В.Г. Элементы-примеси в пиритах и возможности использования пиритов при поисках рудных месторождений // Геология и геофизика. – 1965. – № 9. – С. 67–74.
 8. Рудашевский, Н.С., Сидоров, А.Ф. Зональность пиритов, содержащих никель и кобальт // ДАН СССР. – 1971. – Т. 201, № 2. – С. 443-446.