

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД ГОШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

А.З.Ахмедов, Г.А.Велиев, А.М.Ахмедов

*НИИ Минерального сырья Национальной Геологоразведочной Службы
МЭПР Азербайджана
AZ1117, Баку, ул. Натаван, 16*

На примере 10 технологических проб различного масштаба, отобранных из различных природных типов руд Гошинского золото-колчеданного месторождения, детально рассмотрены вещественный состав и технологические особенности этого минерального сырья. Установлены формы нахождения основных рудных минералов и благородных металлов (Au, Ag) в соответствующих типах руд. Выявлено, что основная часть самородного золота как в первичных, так и окисленных рудах представлена мелкими, порой тонкодисперсными зёрнами, заключёнными в рудные и нерудные минералы. При этом для первичных руд характерна тесная ассоциация золота с теллуридами серебра и висмута, приуроченными к пириту, а в окисленных рудах основным концентратом золота является гетит. Рассмотрены технологические показатели, полученные по различным методам переработки данного минерального сырья.

Гошинское месторождение, расположенное в пределах Товузского административного района республики, характеризуется, как известно, золото-колчеданной рудной формацией, где главным рудным минералом, наряду с самородным золотом, является пирит. По результатам предварительной стадии геологоразведочных работ, выполненных до 1998 г., в пределах месторождения выявлено и в различной степени изучено более 20 жильных зон гидротермально изменённых пород с оруденением золота и серебра. При этом установлены зоны окисленных и первичных – сульфидных руд с соотношением их запасов ~2:1 соответственно. Первые распространены до глубин 180-210 м от поверхности. Имеется также небольшая переходная зона смешанных – полуокисленных руд. Вещественный состав золотоносных гидротермально изменённых зон достаточно прост, однако степень их рудоносности весьма изменчива.

В настоящей статье на примере 10 технологических проб руд различного масштаба (в том числе 5 основных – относительно объёмных, весом по 0,5-0,7 т и 5 малых, весом по 20-30 кг), отобранных из различных вышеотмечённых природных типов и жильных зон месторождения, детально рассматриваются вещественный состав и технологические особенности минерального сырья данного месторождения. Отметим, что пробы окисленных руд были отобраны в основном из горизонта штольни №5,

характеризующей зону №5, а пробы первичных руд отбирались из горизонта штольни №7, характеризующей зону №13 месторождения.

Перед изложением результатов исследований считаем необходимым отметить, что в ранее опубликованной работе В.М. Бабазаде с соавторами (2003, с. 254-255) недостоверно представлены и интерпретированы (со ссылкой на работы автора настоящей статьи А.З. Ахмедова) результаты анализа форм нахождения золота и серебра в рудах рассматриваемого месторождения. В настоящей статье представлены результаты исследований, выполненные непосредственно авторами, и эти данные, по их мнению, наиболее полно и точно характеризуют вещественный состав различных природных разновидностей руд Гошинского месторождения.

Для оценки вещественного состава материала рассматриваемых технологических проб были использованы: химический (в т.ч. силикатный), пробирный (на Au, Ag), приближённо-количественный спектральный, химический рациональный (количественная оценка форм структурной связи золота и серебра с различными минералами, а также форм соединений железа и серы в рудах) анализы, и минералогическо-петрографические исследования.

Для оценки технологических особенностей рассматриваемых типов руд были использованы различные технологические методы их переработки, включающие как механические

способы обогащения (гравитация, флотация), так и гидрометаллургические процессы.

Химический состав

Согласно результатам химического, пробирного и приближенно-количественного спектрального анализов (табл. 1), основным промышленно-ценным компонентом в материалах всех испытанных проб руд является

золото при широком разбросе его содержания. В основных технологических пробах содержание золота колеблется в пределах 3,2-38,0 г/т, а в малых пробах в пределах 2,8-148,0 г/т. Для попутного извлечения значительный интерес представляет серебро. Соотношение золота и серебра в рассматриваемых пробах руд находится в основном в пределах 1:2,7-3,7, в среднем 1:3,2.

Таблица 1

Химический состав технологических проб

Элементы и соединения	Содержание: %, г/т									
	№№ технологических проб (вес 0,5-0,7 т), тип руды и места их отбора					№№ малых проб (вес 20-30 кг) и тип руды				
	Окисленные		Первичные		Смесь окисл. и первич. Пробы №5:№13т ≈~2:1	Окисл. №6	Первичные			
	№1, штголь-ня №5 зона№5	№5, шт-ня №5, зона №5	№2т, шт-ня №7,зона №13	№13т, шт-ня №7,зона №13			№2	№9	№11	№14
Аu, г/т	3,2	4,6	38,0	13,8	7,6	51,5	4,1	148,0	15,2	2,8
Ag, г/т	5,0	7,0	142,0	37,5	20,5	188,0	24,5	540,0	41,0	7,6
S общ.	1,82	2,85	21,61	8,94	5,27	8,45	24,18	6,74	7,17	20,05
Fe вал	14,42	21,13	20,33	11,97	16,21	22,93	19,96	6,54	6,09	21,17
Cu	0,038	0,02	0,07	0,06	0,03	0,22	0,01	0,01	0,01	0,01
Zn	0,038	0,03	0,07	0,08	0,05	0,02	0,01	0,21	0,17	0,01
Pb	0,011	0,02	0,01	0,004	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01
Co	0,008	0,006	-	0,002	0,08	-	-	-	-	-
Cd	0,0015	-	-	0,001	0,001	-	-	-	-	-
Te	0,0008	0,0003	0,01	0,006	0,001	0,014	0,006	0,007	0,004	0,005
Se	0,0004	<0,0003	0,0015	0,0003	0,0003	0,001	0,0025	0,001	0,0016	0,001
Bi	0,002	0,001	0,09	0,02	0,004	0,10	0,075	0,08	0,015	0,01
As	0,08	0,20	0,10	0,22	0,20	0,15	0,06	0,02	0,02	0,02
Sb	-	-	0,023	-	-	0,035	0,006	0,002	0,002	0,001
SiO ₂	49,20	48,34	40,0	46,66	46,17	39,0	37,0	52,50	52,80	30,0
Al ₂ O ₃	16,85	12,52	11,25	13,30	12,84	10,50	11,0	19,0	21,0	10,50
MgO	1,0	1,65	2,02	1,68	1,65	0,20	0,10	0,10	0,10	0,73
CaO	0,1	1,22	0,10	0,82	0,92	0,57	0,57	1,57	2,17	1,44
K ₂ O	0,62	0,60	2,96	0,28	0,54	3,04	3,04	5,60	5,60	2,96
Na ₂ O	0,26	0,38	0,21	2,72	1,52	0,16	0,16	0,42	0,29	0,20
MnO	0,21	0,05	0,27	0,06	0,05	0,30	0,20	0,12	0,12	0,47
TiO ₂	0,66	0,75	0,68	0,50	0,58	0,68	0,63	1,03	0,98	0,68
P ₂ O ₅	0,16	-	0,15	-	-	0,27	0,20	0,23	0,26	0,15
CO ₂	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C орг.	>0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П.П.П	8,28	8,76	17,65	10,37	10,59	12,60	18,60	9,40	8,15	21,85
H ₂ O ⁺	1,36	1,93	1,0	1,89	1,95	1,58	0,50	1,02	0,86	1,02
Ba*	0,04	0,12	-	0,10	0,12	0,08	0,09	0,04	0,06	0,05
Mo*	0,0002	0,001	0,0005	0,0002	0,0008	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,001
Ni*	0,004	0,001	0,001	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
V*	0,003	0,004	0,001	0,003	0,004	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
Sn*	-	0,001	0,0008	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: * – выявлено приближенно количественным спектральным анализом.

Следует также отметить относительно высокие содержания теллура и висмута в пробах первичных руд. Причем наиболее высокие содержания теллура (100-140 г/т) и висмута (0,08-0,1%) наблюдаются в пробах (№№ 2г, 6, 9) с повышенными содержаниями золота и серебра. Данный фактор свидетельствует о возможном наличии в данном минеральном сырье теллури- и висмутсодержащих минералов, тесно ассоциируемых с названными благородными металлами.

Других ценных полезных компонентов с промышленно значимыми содержаниями в рассматриваемых пробах руд не выявлено. Массовая доля вредных для технологии переработки золоторудного минерального сырья компонентов (As, Sb, Ba) незначительна.

Оценивая рудообразующие элементы (Fe, S), отметим, что в пробах окисленных руд содержание железа значительно выше, чем содержание серы. Данный фактор свидетельствует, что основное количество железа в этих рудах представлено его оксидными минералами, что характерно для зоны окисления месторождений колчеданной формации. В материалах проб первичных руд соотношения содержаний железа и серы приблизительно равны, что свидетельствует о наличии в них в основном сульфидов железа. Последнее характерно для зоны первичных – сульфидных руд колчеданных месторождений.

Рассматривая порообразующие соединения, отметим, что в обоих типах руд главным из них является кремнезем с содержаниями в пределах от 30 до 52,5%. Кроме того, в пробах этих руд выявлены достаточно значимые содержания оксида алюминия (от 10,5 до 21%), что говорит о наличии в них большого количества минералов глины. Последние, как известно, отрицательно влияют на технологический процесс как механических (гравитация, флотация), так и гидрометаллургических методов переработки подобного минерального сырья.

Положительным фактором для указанных технологических процессов является относительно незначительные содержания в рассматриваемых рудах карбонат-образующих соединений (MgO и CaO).

Формы нахождения основных рудных минералов

Основными рудообразующими элементами в рассматриваемом минеральном сырье являются, как было отмечено выше, железо и сера. С целью количественной оценки минеральных форм этих элементов и соответственно степени окисленности руд был выполнен специальный химический рациональный (фазовый) анализ. Эти исследования были выполнены на материалах всех основных испытуемых проб руд по методике Н.А. Филипповой (1963) с некоторым ее усовершенствованием, обеспечивающим селективное выделение пирита, пирротина и оксидных соединений железа.

Результаты этих исследований (табл. 2) свидетельствуют, что в пробах окисленных руд железо на 85-87% представлено оксидными минералами, что подтверждает их гипергенный характер. В пробах же первичных руд основное количество железа (77-88%) представлено сульфидами, причем основная масса этих сульфидов (61-82%) характеризуется пиритом. В пробе смеси первичной и окисленной руды около 40% железа представлено его сульфидами, что позволяет характеризовать материал этой пробы как смешанная – полуокисленная руда, тяготеющая к окисленному типу.

Формы нахождения благородных металлов

Одним из весьма важных факторов для характеристики технологических свойств золоторудного минерального сырья является количественная оценка форм нахождения и характера ассоциаций благородных металлов с различными минералами, составляющими это сырьё. Для выявления названных факторов на материалах всех рассматриваемых основных проб был выполнен соответствующий химический фазовый анализ по методике, рассмотренной в книге В.И. Зеленова (1989). Данный анализ, основанный на последовательном селективном растворении соответствующих минералов – носителей самородного золота, позволяет при определенной крупности измельчения руды количественно выявить 5 форм

структурной связи золота и серебра с основными составляющими ее минералами.

Результаты этих исследований, выполненные на материалах проб руд, измельченных до крупности менее 0,08 мм (80-82% фракций) (табл. 3), показали, что основное количество золота и серебра в обоих типах руд месторождения характеризуется мелкими, порой тонкодисперсными – труднодоступными формами, тесно ассоциирующими с основными минералами этих руд. Исключением является материал малой пробы №6, представляющей окисленную руду. В этой пробе при указанной крупности материала 26% содержащегося в ней золота характеризуется относительно крупными – свободными зернами.

В основных же пробах окисленных руд (№№ 1,5) всего 12-12,5% содержащегося в них золота освобождается от сростков и характеризуется как относительно крупное – свободное. Еще 56-59% этого металла в материалах этих же проб представлено более мелкими зернами, находящимися в сростках с различными минералами при частично открытой их поверхности, доступной растворителю – цианиду. Данная форма золотин, так же как и вышеотмеченные свободные зерна, характеризуется как технологически легкодоступная (суммарно 68,8-70,6% от общего содержания Au в этих рудах). Остальное количество золота (29-31%) в основных пробах окисленных руд представлено труднодоступными мелкими, видимо, дисперсными формами, заключенными внутри оксидов железа (10-12%), в сульфидах (8-9%) и кварце (9-12%).

Следует отметить, что серебро в окисленных рудах в значительно большей степени характеризуется перечисленными труднодоступными формами (на 59-62%), причем большая часть этих форм серебра (31-35%) тесно ассоциирована – покрыта кварцем.

В пробах первичных – сульфидных руд количество свободного относительно крупного (гравитационного) самородного золота также незначительно (5-15 отн.%). Однако количество легкодоступных форм этого металла, находящегося в минеральных сростках (вероятно, с сульфидами железа) с частично

открытой его поверхностью, несколько больше, чем в пробах окисленных руд. Суммарное количество легкодоступных (для цианирования) форм золота в рассматриваемых пробах первичных руд находится в пределах 77-83%. Остальное количество этого металла, характеризуемого как труднодоступное, распределено в виде мелких включений в оксидах железа, сульфидах и кварце. При этом золото, заключенное в сульфидах (8-9 отн.%), следует считать технологически извлекаемым, так как эти золотосодержащие сульфиды, наряду с вышеотмеченными легкодоступными формами, могут быть успешно выделены флотационным методом обогащения.

Серебро в первичных рудах также в большей степени, чем в окисленных рудах, представлено легкодоступными формами.

В целом по результатам фазового анализа золото и серебро в окисленных рудах, отобранных из зоны №5 месторождения, количественно в большей степени, чем в первичных рудах (отобраны из зоны №13), характеризуются относительно мелкими труднодоступными формами. В этой связи окисленные руды следует характеризовать как труднообогащаемые механическими методами обогащения (гравитация, флотация). Для наиболее полного выделения благородных металлов из этого типа руд необходимо тонкое их измельчение с использованием гидromеталлургических процессов. Для переработки же первичных – сульфидных руд наиболее целесообразным представляется флотационный метод обогащения с получением золотосодержащего сульфидного концентрата с целью последующего извлечения из него благородных металлов гидromеталлургическим способом.

Авторы настоящей статьи считают необходимым еще раз отметить, что результаты вышерассмотренных исследований, свидетельствующие о присутствии в рудах данного месторождения в основном мелких форм золота, наиболее объективно отображают характер и ассоциации благородных металлов в этом минеральном сырье.

Минералого-петрографические исследования

В данном разделе рассматриваются исследования, выполненные в основном на материалах проб первичной (№13т) и окисленной (№5) руд. Первая характеризует, как было отмечено ранее, зону №13, а вторая – зону №5 месторождения. Исследования выполнялись на многочисленных аншлифах и прозрачных шлифах, изготовленных из каменного материала обоих типов руд.

Изучение текстуры материала *первичной руды* показало, что основной, повсеместно распространенной текстурой является вкрапленная. Последняя представляет как бы фон для прочих текстур – пятнистой, прожилковой, массивной. Из структур наибольшее распространение в этом типе руд получили: гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, зональная. Материал *окисленной руды* представлен следующими структурами: дробления, катаклаза, брекчевидной, замещения, колломорфной.

В результате минералогических исследований в обоих типах руд выявлен широкий ряд гипогенных и гипергенных рудных, а также нерудных минералов при различном их количественном соотношении.

Из *гипогенных* минералов следует отметить в порядке количественного убывания: пирит, марказит, пирротин, гематит, халькопирит, теннантит, арсенопирит, сфалерит, магнетит, галенит, теллуровисмутит, тетрадимит, гессит, золото самородное. Из *гипергенных* минералов выявлены: гетит, гидрогетит, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, азурит.

Нерудные минералы в основном представлены кварцем, каолином, серицитом, кальцитом, полевым шпатом, плагиоклазом, хлоритом.

Кратко оценивая состояние рудных минералов (размеры, структуры выделения, ассоциации друг с другом и др.) в *первичном типе руд*, отметим, что наиболее распространенным из них является *пирит*. На его долю приходится около 90-95% от объема всех рудных минералов. При этом установлены 3 генерации пирита.

Пирит-I представлен хорошо сформированными ограниченными кристаллами (размером от 0,2 до 3,5мм), а также сплошными и друзо-

видными образованиями во вмещающих породах. Иногда отмечается в удлиненных кристаллах, местами образуя ступки агрегатов. Крупные агрегаты часто замещаются гидроокислами железа. Отмечаются также микровключения в нем пирротина и халькопирита; ассоциации с блеклой рудой (теннантит).

Пирит-II отмечается очень редко, в основном в виде почковидных обособлений, которые цементируются теннантитом, халькозином и ковеллином. Ядро почек обычно замещается мельниковит-пиритом; по краям почек иногда развиты кристаллики арсенопирита с хорошо развитыми гранями. По сравнению с *пиритом-I*, *пирит-II* развивается в межзерновых пустотах.

Пирит-III представлен реликтами крупных кристаллов, не сохранившими, как правило, первоначальный облик. Хорошо ограниченные кристаллы встречаются довольно редко. Характерной для этой генерации пирита является катаклазированная структура, которая образуется за счет его проникновения в интерстиции карбонатных зерен. Разбитые сетью микротрещинок агрегаты этого пирита легко замещаются гетит-гидрогетитовым агрегатом.

Марказит размером от 0,005 до 0,05мм отмечается в зонах контакта пирита-I и пирита-III. *Гематит*, находясь в тесной ассоциации с кристаллически-зернистым пиритом-I, наблюдается в виде удлиненных кристалликов размером от 0,005x0,001 до 0,01x0,005 мм. Зерна *магнетита* иногда отмечаются вблизи гематита. *Пирротин* зафиксирован в некоторых выделениях кристаллически-зернистого пирита в виде мелких изометричных включений размером от 0,001 до 0,01мм.

Сфалерит, халькопирит, галенит, арсенопирит, блеклая руда (теннантит) отмечаются довольно редко. Среди этих минералов следует отметить *арсенопирит* и *теннантит*. Первый зафиксирован в виде ромбических кристалликов размером 0,05x0,08 мм, развитых изолированно, либо приуроченных к периферийным частям почек пирита; местами арсенопирит ассоциируется с *теннантитом*. Последний образует иногда крупные кристаллы гексагональных сечений размером 0,7x0,35мм со сростками халькопирита.

Особо следует отметить следующий ряд очень редко отмечаемых минералов –

теллуридов, выявленных в основном в парагенезисе с самородным золотом: тетрадимит ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$), гессит (Ag_2Te), теллуровисмутит (Bi_2Te_3). Диагностика этих минералов была подтверждена кривыми спектра отражения на микроспектрофотометре-ФМЭ.

Тетрадимит является наиболее распространенным из указанных теллуридов, участвующих в названном парагенезисе. Он встречается в виде удлиненных кристаллов, имеющих в поперечном срезе гексагональные, тетрагональные сечения с размерами кристаллов от 0,2x0,2 до 1,2x0,2 мм. Характерна продольная спайность кристаллов. Часто цепочки последних располагаются по периферии крупных зерен пирита, подчеркивая его зону роста. Встречаются также выделения тетрадимита, которые не подчеркивают структуру пирита, а контролируются зонами катаклаза и дробления (фото 1).

Гессит встречается в межзерновых участках пирита (фото 2) в тесной ассоциации с тетрадимитом, а иногда в виде включений в пирите. Форма гессита – неправильные изометричные или слабо удлиненные зерна размером от 0,01x0,007 до 0,6x0,1мм, приурочиваемые к кристаллам тетрадимита или пирита. Характерны сростки гессита с тетрадимитом. В относительно крупных зернах тетрадимита встречаются мелкие зерна гессита. Следует отметить, что в последнем установлены вкрапления и прожилки самородного золота (фото 2, 3) размером 0,001x0,01мм, свидетельствующие об особой роли этого минерала в процессе рудообразования.

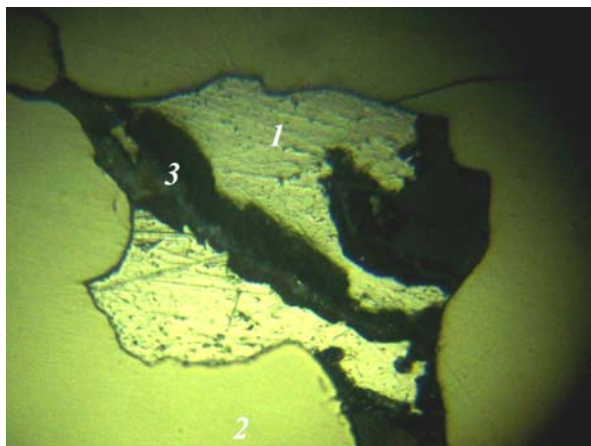


Фото 1. Выделение тетрадимита (1) в пирите (2) с вторичными минералами (3) в трещинах пирита. Увеличение $189\times$ в иммерсии

Теллуровисмутит отмечается очень редко. Имея очень высокую отражательную способность, он характеризуется удлиненными пластинчатыми кристаллами размером 0,04x0,08 мм. Встречается в ассоциации с пиритом – в краевых его частях. В единичных случаях теллуровисмутит образует структуру взаимопрорастаяния с тетрадимитом, а с гесситом часто образует субграфическую структуру.

Значительная часть *самородного золота* в *первичных рудах* (почти все видимое под микроскопом) тесно ассоциировано с вышерассмотренными теллуридами серебра (фото 3) и висмута, приуроченными, а иногда и заключенными в пирите. Все аншлифы (8 шт.), где обнаружены минералы указанного парагенезиса, представлены массивным пиритом кристаллически-зернистого строения. Установлены две морфологические разновидности самородного золота: изометричные и прожилковидные. Первые имеют размеры 0,01-0,05мм, а вторые – от 0,001x0,01 до 0,06x0,03мм, с преобладающим размером 0,002x0,02 мм, характеризующим такое золото, как тонкое, почти эмульсионное. Количественно больше выявлено прожилковых форм.

Следует отметить, что самородное золото, фиксируемое на фоне гессита, имеет обычно несколько сближенных включений (иногда до 25 знаков) прожилков. Цвет золота – ярко-желтый. Пробность золота, установленная по спектру отражения на микроспектрофотометре-ФМЭ, при замере трех наиболее крупных зерен составила 870.

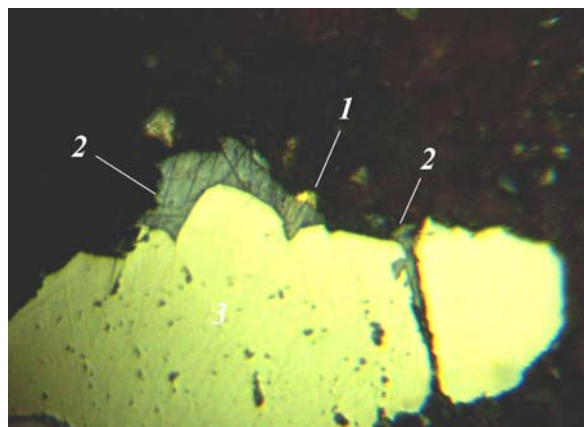


Фото 2. Межзерновые выделения гессита (2) в пирите (3) с включением золота (1) в гессите; размер золотинки – 0,016мм. Увеличение $189\times$ в иммерсии

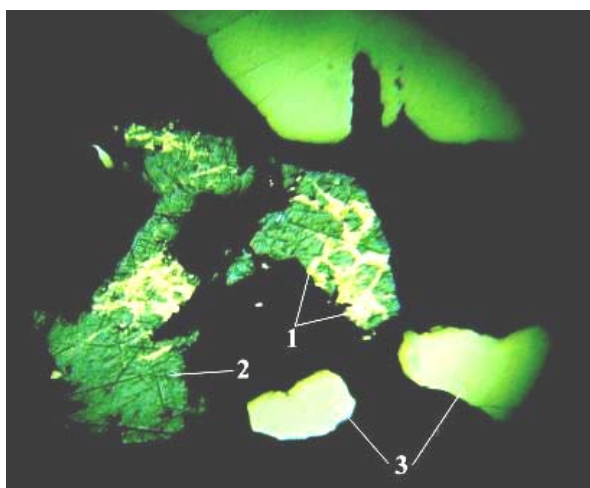


Фото 3. Прожилки самородного золота (1) в гессите (2) вблизи с пиритом (3); толщина прожилков золота справа – 0,007мм. Увеличение 189^x в иммерсии

Для **окисленной руды** характерно наличие в основном гипергенных рудных минералов, среди которых наибольшее распространение имеет *гетит*, часто полностью замещающий первичный агрегат пирита. Обычная форма *гетит-гидрогетитового* агрегата – прожилки мощностью от 0,05 до 1-3 мм, пересекающие пирит в различных направлениях. Иногда отмечаются колломорфные выделения гетита, замещающие пирит по периферии до полных псевдоморфоз (фото 4), или с реликтами в центре. Другие гипергенные минералы (халькозин, ковеллин, борнит, малахит, азурит) встречаются весьма редко.

Самородное золото в окисленных рудах заключено в основном в колломофно-полосчатых агрегатах гетит-гидрогетитового состава, полностью заместивших пирит; здесь также встречаются гессит и тетрадимит, приурочиваемые к сохранившемуся пириту (фото 4). Золото в окисленной руде, вероятно, носит гипергенный характер. Оно отличается от золота первичной руды относительно большими размерами и более высокой отражательной способностью. Можно предположить, что это золото образовалось в результате переотложения первичного эмульсионного зерна из сульфидов ранней генерации. Преобладающий размер зерен золота в окисленном типе руд составляет 0,01x 0,005 мм.

В целом результаты рассмотренных минералогических исследований позволяют сделать следующие выводы:

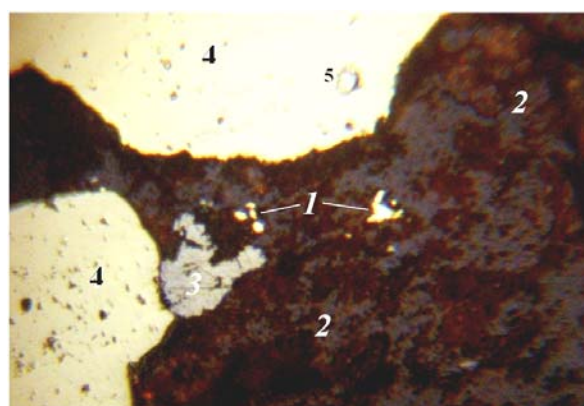


Фото 4. Выделение самородного золота (1) в гетите (2); сросток гессита (3) с пиритом (4) и включение тетрадимита (5) в пирите (4); размер зерна золота справа – 0,014мм. Увеличение 189^x в иммерсии

- в первичных рудах основная часть самородного золота тесно ассоциируется с теллуридами висмута и серебра, приуроченными к массивному пириту;

- в окисленных рудах продуктивной ассоциацией является кварц – гетит – гидрогетит – золото самородное, где основным минералом-концентратором золота является гетит;

- основная часть золота в обоих природных типах руд характеризуется мелкими, часто эмульсионными размерами (преимущественно от 0,002 до 0,02 мм), при этом для первичной руды характерно сравнительно более мелкое и более низкопробное золото.

Технологическая характеристика руд

Технологические особенности руд месторождения были изучены в основном на примере материалов следующих проб: окисленной – №5, первичной – №13т и смеси указанных проб, составленных в соотношении ~2:1 соответственно. Данное соотношение близко соответствует выявленным до 1998 г. запасам указанных природных типов руд месторождения. Кроме того, эта смесь проб может в определенной степени (условно) характеризовать имеющиеся на месторождении полуокисленные руды зоны вторичного сульфидного обогащения.

Для оценки технологических свойств материалов перечисленных проб были экспериментально испытаны различные методы, применяемые для переработки подобного минерального сырья, в том числе процессы гра-

витации, флотации и гидрометаллургии.

Согласно результатам вышеприведенных исследований, применение *гравитационного способа* обогащения для рассматриваемых проб обоих типов руд месторождения малоэффективно, так как они характеризуются наличием в основном мелкого золота, которое частично отделяется от сростков при относительно тонком измельчении руды (80-82% –0,08мм). Однако не исключено, что на месторождении есть участки с повышенным количеством относительно крупного – гравитационного золота, что было подтверждено нами при фазовом анализе малой пробы (№6) окисленной руды (см. табл. 3). Кроме того, следует учесть, что применение процесса гравитации руды в «голове» технологической схемы переработки золотосодержащих руд способствует снижению потерь крупного золота в последующих технологических процессах выделения этого металла, в частности при флотации (Масленицкий и др., 1987).

С учетом вышеизложенного, был разработан и экспериментально подтвержден гравитационный узел технологической схемы переработки рассматриваемых проб руд. Данный технологический узел включал предварительное обогащение относительно тонко измельченной руды (85% –0,08мм) в короткоконусном гидроциклоне с последующей перемешиванием полученной тяжелой фракции (пески гидроциклона) на концентрационном (сотрясательном) столе. Разработанный в лабораторных условиях режим узла гравитации обеспечил возможность получения относительно небогатых золотосодержащих концентратов при сравнительно невысокой (как и предполагалось) степени извлечения золота из обоих типов руд. Массовая доля золота в концентрате от полученной окисленной руды не превышала 35 г/т, а от первичной – 85 г/т, при степени извлечения названного металла в пределах 9-10%.

Данный фактор еще раз подтверждает, что основное количество золота в исследованных рудах месторождения представлено мелкими – трудно извлекаемыми гравитацией формами. Однако применение гравитационного способа обогащения в «голове» технологической схемы переработки данного минерального сырья представляется целесообраз-

ным по причинам, отмеченным выше.

Для переработки подобных золотосодержащих сульфидных руд с содержаниями благородных металлов в тонкодисперсном виде в зарубежной практике широко используется *флотационный способ обогащения* (Чантурия, 1998; Меретуков, Орлов, 1991). Данный технологический процесс применяется для извлечения золотосодержащих сульфидов как из хвостов гравитации, так и непосредственно из измельченной до определенной степени руды. Исследования в указанных направлениях были выполнены на рассматриваемых пробах обоих типов руд, а также их смеси.

В результате выполненных экспериментов для каждой из отмеченных проб руд были разработаны оптимальные режимы процесса флотации, обеспечивающие максимально возможную степень извлечения из них благородных металлов. Установлено, что флотационная активность золота и золотосодержащих минералов в окисленных рудах значительно ниже, чем в первичных. Данный фактор обусловлен наличием в этом типе руд большего количества золота, тесно ассоциируемого с трудно извлекаемыми флотацией минералами (оксидами железа и кварцем). Кроме того, присутствие в этих рудах большего количества шламообразующих глинистых минералов затрудняет и сильно нивелирует ведение рассматриваемого технологического процесса.

Разработанные оптимальные режимы комбинированной *гравитационно-флотационной* технологической схемы были подтверждены лабораторными опытами замкнутого цикла, имитирующими непрерывный технологический процесс. Эти испытания были выполнены отдельно на пробе окисленной (№5) и на смеси окисленной (№5) и первичной (№13т) руд в соотношениях ~2:1, предварительно измельченных до оптимальной крупности менее 0,071мм (80-82%).

По результатам этих опытов данная технологическая схема обеспечила возможность выделения из пробы окисленной руды (Au-5,0 г/т, Ag-6,7 г/т) гравитационный и флотационный концентраты с суммарным содержанием в них Au-23,8 г/т и Ag-31,5 г/т, при степени извлечения указанных металлов из руды в эти концентраты 75,0 и 74,9% соот-

ветственно. Из смесевой пробы руды (8,15г/т Au, 18,4 г/т Ag) также получены гравитационный и флотационный концентраты с суммарным содержанием в них 29,3 г/т Au и 64,6 г/т Ag, при степени извлечения указанных металлов из руды в эти концентраты 92,7 и 90,4% соответственно.

Приведенные технологические показатели свидетельствуют, что использование материала первичной руды в смеси с окисленной способствует значительному повышению степени извлечения благородных металлов из рассматриваемого минерального сырья.

Проба первичной руды, при той же крупности измельчения (80-82% $-0,071$ мм), была подвергнута опытам замкнутого цикла только по разработанному режиму флотационной технологической схемы (без гравитационного узла). Результаты этого эксперимента показали, что непосредственная флотация пробы названного типа руды (14,0 г/т Au, 40,5 г/т Ag) обеспечивает возможность получения флотационного сульфидного концентрата (весовой выход от руды – 14,3%) с содержанием Au – 95,6 г/т и Ag – 264,4 г/т, при степени извлечения указанных металлов из руды в этот концентрат 97,5 и 93,2% соответственно.

Данные показатели свидетельствуют о весьма высокой флотоактивности золото- и серебросодержащих сульфидов в первичных рудах и возможности их эффективного выделения флотационным способом обогащения.

Наряду с вышерассмотренными обогащательными процессами, были экспериментально испытаны также *гидрохимические способы* вскрытия благородных металлов как непосредственно из оцениваемых проб руд, так и из полученного из них флотационного золотосодержащего концентрата. Для этих целей был использован активный – агитационный (чановый) способ выщелачивания названных материалов слабыми щелочными растворами цианистой соли.

В процессе этих исследований было изучено влияние различных факторов на показатели растворимости (цианирования) благородных металлов: крупность выщелачиваемого материала, концентрация растворителя, продолжительность процесса, предварительная обработка материала раствором соляной кислоты (для вскрытия тонкодисперсного золота, покрытого

кислоторастворимыми соединениями), сорбционное выщелачивание в присутствии синтетического ионита – анионита АМ-2Б.

В результате выполненных экспериментов установлено, что для *окисленной руды* (проба №5) наиболее предпочтительным является сорбционный способ выщелачивания, так как в этом типе руд присутствуют сорбционно-активные глинистые минералы. Применение названного способа обработки руды указанной пробы крупностью $<0,5$ мм обеспечило возможность сорбционного извлечения из нее 87,9% золота и 89,8% серебра за 24 часа ведения процесса при расходе KCN – 0,72 кг/т руды. Предварительная обработка этой же пробы руды ($-0,5$ мм) 10%-ным раствором соляной кислоты в последующих идентичных условиях цианирования обеспечила возможность повышения растворимости золота до 92,2%, а серебра до 93,4% при снижении расхода цианида до 0,65 кг/т.

Испытания *первичной руды* (проба №13т) с той же крупностью материала ($-0,5$ мм) показали, что непосредственное ее цианирование (без использования сорбционного процесса) в течение 24-х часов обеспечивает растворимость содержащегося в ней золота – 90,4% и серебра – 96,2% при расходе KCN – 0,8 кг/т руды. Вероятно, при уменьшении крупности этой руды и использовании сорбционного способа цианирования показатель растворимости золота может быть повышен.

Для пробы *смеси указанных типов руд* сорбционное цианирование (48 час.) с предварительной солянокислотной (10% HCl) обработкой материала крупностью $-0,5$ мм, обеспечило растворимость содержащегося в ней золота – 93,8% и серебра – 89,3% при расходе KCN – 0,98 кг/т руды.

Оценка показателей гидрохимической обработки *флотационного концентрата* была выполнена на названном продукте (26,2 г/т Au, 56,4 г/т Ag), полученном из вышерассмотренной смесевой пробы руды. Установлено, что непосредственное цианирование этого концентрата в течение 24 часов обеспечивает растворимость золота на 87,1% и серебра на 84,5% при расходе цианида – 2,1 кг/т. Предварительная обработка концентрата 10%-ным раствором HCl с последующим агитационным цианированием в течение 48 часов способствует повышению

показателя растворимости золота до 95,1% и серебра – до 94,8%, при снижении расхода цианида до 1,6 кг/т концентрата.

Представленные результаты гидрохимической обработки флотоконцентрата носят предварительный – оценочный характер, что обусловлено спецификой лабораторных экспериментов, не позволяющих получать достаточно большой весовой объем концентрата, и, как следствие, возникают трудности с изысканием оптимального режима этого процесса. Вероятно, одним из вариантов повышения показателей непосредственного цианирования этого продукта может быть применение сорбционного процесса с использованием соответствующих природных либо синтетических сорбентов. В зарубежной практике широко используется такой процесс цианирования, носящий аббревиатуру – СІР (уголь в пульпе).

Выводы

Детальным изучением вещественного состава многочисленных технологических проб, характеризующих различные природные типы руд Гошинского золоторудного месторождения, установлены в них формы нахождения и структурной связи благородных металлов с основными рудными и нерудными минералами. Как в первичных – сульфидных, так и в окисленных рудах основное количество самородного золота и минералов серебра представлено относительно мелкими, порой дисперсными формами, частично заключенными (покрытыми) в соответствующих минералах. При этом в первичных рудах часто наблюдается тесная ассоциация самородного золота с теллуридами серебра и висмута, приуроченными к массивному пириту, а в окисленных рудах основным концентратом золота является гетит.

С целью выделения благородных металлов из рассматриваемых руд экспериментально оценены различные технологические схемы их обработки, включающие как механические методы обогащения, так и гидрометаллургические процессы. Следует отметить,

что наличие в обоих типах руд в основном мелких форм благородных металлов обуславливает необходимость применения для их раскрытия предварительного достаточно тонкого измельчения этого минерального сырья (–0,07мм в пределах 80-85%).

С учетом вышеприведенных экспериментальных технологических показателей, для переработки первичных руд наиболее рациональной представляется флотационная технология обогащения с последующим сорбционным цианированием полученного золотосодержащего сульфидного флотоконцентрата. Для переработки окисленных руд наиболее эффективным представляется чановый – агитационный способ сорбционного цианирования материала указанной крупности. Следует также отметить рассмотренную выше возможность эффективного извлечения благородных металлов из окисленных руд флотацией, посредством подшихтовки их к первичным. Выбор соответствующей технологии переработки рассматриваемых типов руд рекомендуется осуществлять соответствующими технико-экономическими расчетами после проведения более детальных геологоразведочных работ на месторождении и уточнения реальных запасов этих природных разновидностей руд.

ЛИТЕРАТУРА

- БАБА-ЗАДЕ, В.М., МУСАЕВ, Ш.Д., НАСИБОВ, Т.Н., РАМАЗАНОВ, В.Г. 2003. Золото Азербайджана. Азербайджан Милли Энциклопедиясы. Баку. 424.
- ЗЕЛЕНОВ, В.И. 1989. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд. Недра. Москва. 302.
- МАСЛЕНИЦКИЙ, И.Н., ЧУГАЕВ, Л.В., БОРБАТ, В.Ф. и др. 1987. Metallургия благородных металлов. Metallургияиздат. Москва. 432.
- МЕРЕТУКОВ, М.А., ОРЛОВ, А.М. 1991. Metallургия благородных металлов. Зарубежный опыт. Metallургияиздат. Москва. 317.
- ФИЛИПОВА, Н.А. 1963. Фазовый анализ руд цветных металлов и продуктов их переработки. Metallургияиздат. Москва. 212.
- ЧАНТУРИЯ, П.Я., СЕДЕЛЬНИКОВА, Г.В. 1998. Развитие золотодобычи и технологии обогащения золото-содержащих руд и россыпей. *Горный журнал*, 5, 4-9.

Рецензент: академик А.Дж.Исмаил-Заде