

УДКУДК 553.411(479.25)

Н. И. МАГАКЯН, С. С. АКМАЕВА, Ф. А. КАЛАНТАРЯН

## НОВАЯ МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ РУД ОДНОГО ИЗ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На месторождении кроме давно выделенных типов названных (сульфидных) руд установлена новая разновидность руд—реальгар-аурипигментовая с новейшим содержанием золота. Реальгар-аурипигментовые руды хорошо флотировались, а так как золото в основном связано с леллингитом и реальгаром, его извлечение достигает 75%.

Зависимость обогатимости золотосодержащих руд от их состава установлена на всех месторождениях Армянской ССР. Отчетливо проявлена она на изученном месторождении. Выполненными исследованиями [2] показано, что здесь целесообразно выделение трех геолого-технологических типов руд, отличающихся особенностями вещественного состава и показателями обогащения в различных пределах. Таковыми являются: а) окисленные и полуокисленные (смешанные) руды всех минеральных типов, развитые на верхних горизонтах месторождения; б) мышьяковистые (пирит-арсенопиритовые и полисульфидные) руды, локализованные в жильных зонах и жиллообразных телах в пределах метасоматитов; в) полиметаллические руды, приуроченные к дайкам кварцевых липарито-дацитовых порфиров.

Условия выделения геолого-технологических типов указывались ранее. Здесь отметим лишь, что состав и технологические свойства руд варьируют в довольно широком диапазоне—в зависимости от степени проявления различных минеральных ассоциаций.

В соответствии с последними устанавливаются минеральные типы и минерало-технологические разновидности руд—более многочисленны, чем геолого-технологические типы.

Следует также указать, что возможность выявления новых, отличающихся по своим свойствам геолого-технологических типов, а тем более разновидностей и минеральных типов не исключена. Так, среди первичных (сульфидных) руд рассматриваемого месторождения выявлен реальгар-аурипигментовый<sup>1</sup> минеральный тип, с повышенным содержанием золота. Эта новая, весьма своеобразная золото-мышьяковистая минеральная ассоциация приурочена к жиллообразному телу близширотного простирания, прослеженному на 50—150 м., при средней мощности 2 м. Вмещающими породами являются кварц-серицитовые метасоматиты.

В рудном выполнении преобладающими являются минералы мышьяка—до 40% в сумме, представленные леллингитом, низкотемпературным арсенопиритом, реальгаром, самородным мышьяком, аурипигментом. Пи-

<sup>1</sup> Такое наименование принято нами по характерным для данного типа минералам, не встречающимся в других разновидностях руд.

pirit составляет 35—55% рудных. В этих рудах соотношение  $Fe : As$  превышает 0,25—0,30.

Количественная минералогическая характеристика этого типа руд приведена в таблице 1.

Таблица 1

Количественная характеристика реальгар-аурипигментового минерального типа

Пирит	Арсенопирит + леллингит	Марказит	Халькопирит	Реальгар	Аурипигмент	Мышьяк самор.	Проч.
35—55	10—15	5—10	2—5	5—15	5—10	2—5	до 1

Пирит—является преобладающим рудным минералом. Наблюдается в виде трещиноватых, сильно пористых агрегатов, отдельных кристаллов кубической и пентагондодекаэдрической формы размерами 0,15—1 мм.

Арсенопирит и леллингит—наблюдаются в виде отдельных мелких кристалликов ромбической формы, рассеянных в нерудной массе. Образуют тесные срастания между собой, с пиритом и марказитом.

В сростках с леллингитом, на контакте с кварцем отмечаются округлые золотишки размером до 3—6 мкм. Иногда они фиксируются в центре лучистых агрегатов леллингита в полях кварца и реальгара. Размеры зерен арсенопирита и леллингита от 6 мкм до 0,05 мм.

Марказит—образует пористые и трещиноватые зерна неправильной формы, шестоватые кристаллы с каркасной отторочкой, обогащенные участки мелкой вкрапленности в нерудной массе. Отмечаются тесные срастания с пиритом, леллингитом, арсенопиритом. Размеры зерен марказита колеблются от 5 мкм до 0,1 мм. Границы неровные, зазубренные.

Халькопирит—отмечается очень редко в виде небольших ксеноморфных включений в пирите, размером 0,015 мм.

Реальгар—наблюдается в виде прожилков, гнезд, отдельных кристаллов, примазок, натечных форм и мелкой вкрапленности. Призматические кристаллы реальгара 3—5 мм отмечаются в друзовых пустотках кальцита. Натечные, почковидные формы развиваются вокруг агрегатов самородного мышьяка. В шлифах, в отраженном свете реальгар отмечается в интерстициях кристаллов пирита, леллингита, арсенопирита, кварца и карбоната. Иногда наблюдается в виде тонких каемок до 0,06 мм вокруг округлых зерен самородного мышьяка. В реальгаре отмечается мелкая вкрапленность золота до 15 мкм и призмы размером 9—45 мкм светлого, анизотропного минерала, возможно лорандита (?).

Аурипигмент—встречается совместно с реальгаром. Образует тонкие пленки, землистые мелкокристаллические массы, реже таблитчатые, гребенчатые, радиально-лучистые агрегаты размером до 2 см. В шлифах отмечается в виде ксеноморфных агрегатов размером 0,5 мм по контакту кварца и реальгара.

Мышьяк самородный—образует маломощные прожилки, округлые зерна, вкрапления до 2—3 мм в кварце. В карбонатной друзе отмечено «гроздьевидное» скопление самородного мышьяка размером 5—

7 мм с ромбоэдрическим обликом сросшихся кристаллов. В свежем изломе самородный мышьяк серебристо-белый, с металлическим блеском. На воздухе минерал в течение нескольких дней покрывается окисной пленкой темного цвета с серо-синим оттенком, а затем совершенно чернеет, в результате образования арсенолита ( $As_2O_3$ ). Самородный мышьяк цементирует раздробленные кристаллы пирита, арсенопирита, леллингита и марказита. По самородному мышьяку развивается реальгар, чаще всего по периферии.

Золото самородное—наблюдается довольно часто в реальгаре, кварце, арсенопирите, леллингите, реже в самородном мышьяке, в виде вкрапленников; прерывистые прожилки отмечены в реальгаре и в кварце. Размеры вкраплений от 1 до 21 мкм. Золотины преимущественно мелких классов от 1 до 9 мкм. Форма золотины в срезе шлифа каплевидная, округлая, овальная, палочковидная, дендритная, пластинчатая.

Шихта золотоносных руд месторождения обогащается по комбинированной схеме, включающей гравитацию, флотацию, а также сорбционное выщелачивание хвостов флотации. В связи с этим при минералоготехнологических исследованиях определяется эффективность всех указанных переделов.

Таблица 2

Результаты рационального (фазового) анализа на соединения мышьяка, железа и серы

Продукты и минералы	Содержание элементов, %					
	мышьяк		железо		серы	
	абсол.	относ.	абсол.	относ.	абсол.	относ.
1. Исходная проба	2,1	100	5,2	100	5,64	100
а) Сульфиды	1,86	88,6	4,23	81,0	5,64	100
Пирит	—	—	3,58	69,0	4,1	73,0
Арсенопигит + леллингит	0,86	41,0	0,65	12,5	0,37	6,6
Реальгар + аурипигмент	1,0	47,6	—	—	0,54	9,6
б) Мышьяк самородный	0,24	11,4	—	—	—	—
2. Флотоконцентрат	4,9	100	10,45	100	12,65	100
а) Сульфиды	3,85	78,6	9,14	87,5	12,65	100
Пирит	—	—	7,92	75,8	9,0	71,1
Арсенопирит + леллингит	1,63	33,3	1,22	11,7	0,7	5,5
Реальгар + аурипигмент	2,22	45,3	—	—	1,2	9,5
б) Мышьяк самородный	1,05	21,4	—	—	—	—

Проба реальгар-аурипигментовых руд, а также продукты ее обогащения изучались в полированных (частью сварных) шлифах и подвергались спектральному, силикатному, химическому и пробирному анализам. Наряду с обычными, были выполнены рациональные анализы золота и на соединения мышьяка, железа и серы [1, 3]. Результаты последних приведены в таблице 2.

Следует отметить, что фазовый анализ на соединения мышьяка в рудах месторождения до сих пор не производился, т. к. в изученных ранее сульфидных рудах основным носителем мышьяка являлся арсенопирит. Наличие указанных выше минералов мышьяка потребовало проведения соответствующего фазового анализа. Нами была применена схема, позволяющая осуществить последовательное избирательное растворение самородного мышьяка, далее реальгара и аурипигмента с остав-

лением арсенопирита и леллингита в нерастворимом остатке. С этой целью исходная проба обрабатывалась 3%  $H_2O_2$  при перемешивании в течение 1 часа. В фильтрате определялся элементарный мышьяк, а осадок после промывки обрабатывался 2N раствором  $Na_2CO_3$  при кипячении. Остаток отфильтровывался и промывался горячей водой. В фильтрате определялся мышьяк реальгара и аурипигмента, а в остатке— мышьяк арсенопирита и леллингита.

Рациональным анализом золота установлено, что к легкоцианируемому относится 23,4% общего его количества в данной разновидности руд. Все оно представлено «свободной» формой.

В реальгар-аурипигментовых рудах резко повышено золото-серебряное отношение: по результатам анализа рассматриваемой пробы оно составляет 6 : 1, в то время как для других минеральных типов и в целом для месторождения характерно отношение 1 : 1,5—1 : 2.

Для изучения обогатимости реальгар-аурипигментовой разновидности проведены следующие опыты:

- а) прямая флотация;
- б) гравитационное обогащение с последующей флотацией;
- в) полная комбинированная схема—гравитация, флотация, цианирование.

Таблица 3

Результаты обогащения по полной комбинированной схеме

Продукты	Выход %	Извлечение, %	
		Au	Ag
Гравитоконцентрат	2,64	8,1	11,8
Флотоконцентрат	33,9	66,6	50,9
Золотосод. раствор	—	5,7	18,6
Итого извлечено	36,54	80,4	81,3
Хвосты	63,46	19,6	18,7
Исходная проба	100,0	100,0	100,0

Таблица 4

Результаты опыта по выделению мышьяксодержащего продукта

Продукты	Выход %	Извлечение, %			
		Au	Ag	S	As
Концентрат As	8,6	17,8	28,1	17,0	64,7
Хвосты	91,4	81,2	71,9	83,0	35,3
Исходная проба	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Кроме этого, сделана попытка выделения мышьяксодержащей головки. При прямой флотации пробы в концентрат извлекается 75% золота и 86% мышьяка. Результаты других опытов приводятся в таблицах 3, 4.

Флотоконцентраты и хвосты флотации подвергались минералогическим исследованиям. Изучение продуктов обогащения в сварных шлифах показало следующее.

В флотационном концентрате из рудных минералов преобладает пирит (около 70%). Вся остальная масса рудных практически представлена минералами мышьяка—арсенопиритом, леллингитом, реальга-

ром, аурипигментом и самородным мышьяком. Характерно, что во флотоконцентрате более ощутимо присутствие самородного мышьяка в виде многочисленных мелких (3—6 мкм) зерен. Следует отметить однако, что эти зерна очень быстро покрываются окисной пленкой, что затрудняет диагностику минерала. В концентрате зафиксированы единичные зерна халькопирита, вкрапления самородного золота размером от 1 до 6 мкм.

Хвосты флотации этой пробы более чем на 90% представлены нерудными минералами. Среди рудных отмечен тот же комплекс. При этом пирит и арсенопирит представлены большей частью ороствками с нерудными, а самородный мышьяк переизмельченными тонкими зернами.

В гравитационном концентрате пробы преобладают арсенопирит, леллингит, далее пирит, реальгар, самородный мышьяк и аурипигмент. Рудные составляют до 70% концентрата.

Приведенные данные позволяют установить заметные отличия технологических свойств (обогащаемости) реальгар-аурипигментовых руд по сравнению с другими разновидностями, соответствующие свойства которых описаны ранее.

Прежде всего отмечается несоответствие относительного количества «свободного» золота (23,4%) его извлечению в гравиконоцентрат ( $\approx 8\%$ ), что объясняется мелкими и весьма мелкими размерами визуально наблюдаемых золотинок, а также их формой (пластинчато-чешуйчатой).

Флотационная способность реальгар-аурипигментовых руд ощутимо выше, чем соответствующая характеристика пирит-арсенопиритовой разновидности: извлечение золота при прямой флотации 75% против 65%. Здесь, видимо, сказалась достаточно высокая флотируемость носителей золота—леллингита и реальгара (в качестве активатора последнего применяется медный купорос). В соответствии с этим извлечение мышьяка во флотоконцентрат достигает 86%. Суммарное извлечение золота в гравиконо- и флотоконцентраты соответствует таковому при прямой флотации. Циклирование хвостов флотации повышает общее извлечение на 5—6%. В целом, реальгар-аурипигментовые руды обогащаются по полной схеме несколько лучше, чем мышьяковистые (пирит-арсенопиритовые) и полисульфидные в метасоматитах, но хуже полиметаллических (полисульфидных) в липарито-дацитовых кварцевых порфирах. Представляет интерес возможность выделения мышьяковистого продукта, в котором содержание мышьяка достигает 14%, а хвосты резко обедняются указанным элементом (0,72%). В то же время большая часть (81,2%) золота остается именно в хвостах.

Таким образом, реальгар-аурипигментовые руды по комплексу свойств (составу и обогащаемости) могут рассматриваться в качестве особой минералого-технологической разновидности (II-ой мышьяковистой). В настоящее время, однако, не ясны масштабы ее проявления и соответственно, возможное влияние на состав шихты. В случае, если количество таких руд окажется значительным, это следует учесть при регулировании режима переработки (в частности, использовать узел выделения мышьяковистого продукта).

Во всех случаях возможность выявления золотосодержащих реальгар-аурипигментовых руд необходимо иметь в виду при дальнейших геологоразведочных работах как на рассматриваемом, так и на других месторождениях.

Армнипроцветмет

Поступила 19. VII. 1981.

Ն. Ի. ՄԱՂԱՔՅԱՆ, Ս. Ս. ԱԿՄԱԵՎԱ, Յ. Ա. ՔԱԼԱՆՔԱՐՅԱՆ

ՈՍԿՈՒ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻՑ ՄԵԿՈՒՄ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՄԻ ՆՈՐ  
ՄԻՆԵՐԱԼՈԳԱ-ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՏԱՐՐԵՐԱԿԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հանքավայրում, բացի վաղուց հայտնի առաջնային (սուլֆիդային) հանքանյութերից, հայտնաբերված է ռեալգար-աուրիպիգմենտային նոր միներալային տիպի ոսկու բարձր պարունակությամբ:

Ռեալգար-աուրիպիգմենտային հանքանյութերը լավ են ենթարկվում ֆլոտացիայի և, քանի որ ոսկին հիմնականում կապված է լյոլինգիտի և ռեալգարի հետ՝ նրա կորզումը հասնում է 75 տոկոսի:

N. I. MAGHAKIAN, S. S. AKMAYEVA, F. A. CALANTARIAN

A NEW MINERALOGICAL-TECHNOLOGICAL VARIETY OF  
ORES FROM A CERTAIN GOLD ORE DEPOSIT

Abstract

Besides the well-known types of primary (sulphide) ores a realgar-orpiment variety with high contents of gold is established. Realgar-orpiment ores are well-flotable and because the gold is generally connected with lollingite and realgar its extraction from ores reaches to 75%.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Доливо-Добровольский В. В., Клименко Ю. В. Рациональный анализ руд. Metallurgizdat, M., 1947.
2. Магакян Н. И. Зависимость технологических свойств золотосодержащих руд от их минерального состава. Промышленность Армении, № 10, 1978.
3. Филиппова Н. А. Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. «Химия», М., 1975.