

УДК 622.7: 622.343(575.11)

**К ВОПРОСУ ПЕРЕРАБОТКИ УПОРНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ УГЛИСТЫХ
РУД****Исоков М.У., Хамидуллаев Б.Н., Самандарова Ш.Ю.***Университет геологических наук, ГУ «Институт минеральных ресурсов»*

Узбекистан входит в число стран, обладающих крупнейшими в мире минеральными ресурсами благородных, цветных металлов и урана.

Занимая относительно небольшую территорию земной суши (0,3%) Узбекистан располагает мощным минерально-сырьевым потенциалом по многим видам полезных ископаемых, среди которых уникальные и крупные месторождения благородных, цветных, редких и радиоактивных металлов, а также широкий спектр нерудного сырья.

В связи с истощением сырьевой базы в переработку все больше вовлекаются упорные (труднообогатимые) руды. По оценке экспертов, именно за счет более широкого вовлечения в эксплуатацию труднообогатимых золотых и комплексных золотосодержащих руд можно обеспечить основной прирост добычи золота в мире.

Упорность золотосодержащих руд может быть вызвана различными причинами. В соответствии с этим схемы переработки упорных руд отличаются большим разнообразием. Часто встречаются такие руды, упорность которых обусловлена не одной, а двумя или большим числом причин. В этом случае технологические схемы носят, как правило, комбинированный характер, позволяющий по возможности устранить все причины недоизвлечения золота.

Упорные руды классифицируются на следующие группы:

1. Легкоцианируемые руды, не вызывающие осложнений и перерабатываемые по стандартной технологии.
2. Руды с тонковкрапленным золотом, физически недоступным для контакта с цианидными растворами.
3. Руды, содержащие цианисиды, т. е. потребляющие при своем растворении цианиды, превращая последние в неактивные формы, а также минералы, способствующие образованию пленок на поверхности золота при цианировании.
4. Руды, содержащие вещества органического и неорганического происхождения, обладающие заметной сорбционной способностью по отношению к растворенному золоту.

К причинам, обуславливающим упорность золотосодержащих руд (тонкая вкрапленность золота, наличие природных органических сорбентов, теллуридов, цианисидов, глинистых минералов и др.), в настоящее время относят и различные формы состояния золота в рудах, включающие его

минералы, твердые растворы, кластеры (< 5 нм), коллоиды (> 5 нм) и поверхностные образования.

Наличие в рудах тонковкрапленного золота является одной из главных причин технологической упорности золоторудного сырья. Имеется в виду, что минералы носители тонковкрапленного золота должны обладать плотной механической структурой, абсолютно непроницаемой для цианистых растворов. Именно совокупность двух факторов: плотность структуры минеральных зерен плюс дисперсность заключенного в них золота и обуславливают технологическую упорность золотых руд и концентратов в гидрометаллургическом процессе.

Кроме того, причинами, определяющими упорность руд, могут являться также вмещающие и породообразующие минералы. Если золото входит в состав таких минералов как теллуриды, антимониды и селениды, то упорность обусловлена химической связью золота с другими минералами.

Вмещающими минералами, определяющими упорность руд, могут быть различные сульфиды, силикаты, углеродистое вещество и соединения висмута.

Руды, содержащие минералы – цианисиды и поглотители кислорода, относят к комплексным, большинство из них составляют медно-золотые.

В мире существуют ряд месторождений, руды которых проявляют «двойную» упорность, обусловленную, как правило, наличием субмикронного золота в сульфидах и сорбционно-активного углеродистого вещества, к которому относятся месторождения Престеа и Обуаси, Витватерсрэнд, Карлин, Мак-Интайр-Поркьюпайн, Керр-Эддисон, Бакырчик, Наталкинское, Майское, Олимпиадинское, Морро-Велью, Лайзоу и отечественные месторождения Амантайтау, Каракутан, Аджубугут, Кокпатас, Даугызтау и др.

Следует иметь в виду, что руды, представляющие упорный материал для цианирования, очень часто легко подвергаются механическому обогащению. Так, например, золото, ассоциированное с сульфидами, может быть достаточно полно извлечено из руды методом флотации. Медленно растворяющееся в цианиде крупное золото, а также золото, покрытое всякого рода поверхностями, пленками хорошо извлекается в гравитационные концентраты.

Комбинация гравитационного и флотационного обогащения сложных по составу золотосодержащих руд нередко позволяет получать отвальные хвосты и относительно богатые по золоту концентраты. Однако высокие технологические показатели, достигаемые в процессе механического обогащения золотосодержащих руд, еще не дают основания исключать их из числа упорных. Компоненты, содержащиеся в исходных рудах и способствующие нарушению процесса цианирования, в подавляющем большинстве переходят вместе с золотом в концентраты.

Основной способ переработки золотосодержащих руд и концентратов – цианирование не является приемлемым для большого объема упорных золотосодержащих руд и концентратов без их предварительной обработки.

Основными методами предварительной обработки упорных золотосодержащих руд и концентратов на сегодняшний день являются автоклавное окисление, окислительный обжиг, бактериальное окисление, сверхтонкое измельчение и кислородно-известковое выщелачивание, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Проблема извлечения благородных металлов из технологически упорных руд и концентратов, не поддающихся обработке стандартными, общепринятыми в промышленной практике методами, является одной из наиболее важных в золотодобывающей промышленности.

Как известно, изучение вещественного состава золотосодержащих руд включает определение количественного, химического и минерального состава, определение форм проявления золота и других ценных компонентов, текстурных и структурных характеристик руды, гранулометрического состава и соотношения между свободными зёрнами и сростками минералов при различной крупности руды, определение и уточнение некоторых физических свойств минералов и их агрегатов, а также изучение состояния поверхности минералов.

Целью данной работы является изучение вещественного состава руды различными методами лабораторного анализа для выдачи соответствующих рекомендаций для дальнейшей ее переработки.

Объектом исследований является технологическая проба упорной золотосодержащей руды месторождения Амантайтау.

Перед дроблением из исходной руды отобраны штучные образцы для проведения минералогических исследований. Для определения вещественного состава из исходных проб также отбиралась средняя проба для проведения спектрального, химического, рационального анализа на золото и серебро, минералогического и других видов лабораторного анализа.

Результаты полного химического анализа исследуемой пробы руды, показали, что преобладающую часть руды составляют: SiO_2 -63,94%, Al_2O_3 -13,364%, $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ -7,801%. Содержание основных ценных компонентов в пробе руды составляет: Au-1,51 у.е., Ag-1,08 у.е.. В качестве вредных примесей в составе руды определены: As-0,1% и $\text{C}_{\text{орг}}$ -0,95%.

Углеродистое вещество, присутствующее в упорных золотосодержащих рудах, оказывает отрицательное влияние на переработку руды и продуктов ее обогащения, которое связано с высокой сорбционной активностью органического углерода по отношению к растворенному золоту, а именно к золото-цианистому комплексу.

Также проведен пробирный анализ для определения содержания золота и серебра в составе пробы исследуемой руды, результаты которого соответствуют и подтверждают результаты химического анализа.

По результатам рационального анализа на золото определено, что основное количество золота в руде находится в ассоциации и сульфидным

минералами (пиритом и арсенопиритом), а также значительное количество золота связано с углистым веществом.

Также определены гранулометрические характеристики пробы руды. Для определения распределения основных ценных компонентов по классам крупности исходная проба руды, дробленная до класса крупности -3+0 мм подвергалась ситовому анализу, результаты которого приведены в табл.1.

Таблица 1

Результаты ситового анализа пробы руды

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание, у.е.		Распределение, %	
		Au	Ag	Au	Ag
-3,0+2,5	22,5	1,211	0,869	18,43	19,11
-2,5+1,4	9,0	1,335	0,912	8,10	8,00
-1,4+1,0	19,1	1,284	0,865	16,63	16,20
-1,0+0,5	19,6	1,348	0,936	17,92	17,99
-0,5+0,315	8,6	1,707	1,136	9,89	9,51
-0,315+0,16	6,9	1,832	1,185	8,54	7,98
-0,16+0,08	6,9	2,496	1,869	11,63	12,59
-0,08+0,044	2,1	1,714	1,13	2,47	2,35
-0,044+0	5,4	1,759	1,192	6,39	6,26
Руда	100,0	1,48	1,02	100	100

Как видно из приведенных данных в табл.1, наблюдается незначительное повышение содержания золота и серебра в мелких классах крупности.

Для изучения минерального состава пробы золотосодержащей руды проведен минералогический анализ в лаборатории технологической минералогии ГУ «ИМР».

Из образцов были изготовлены прозрачные и полированные шлифы, из концентратов тяжелой фракции проб – брикеты. Их микроскопические особенности – состав, структура, текстура руд, пород, а также отдельные породообразующие и рудные минералы были изучены под микроскопом Nikon ECLIPSE LV 100N POL, с увеличением от 40 до 1000 раз. Исследования также проводились с использованием электронного микрозонда и сканирующего электронного микроскопа.

Самородное золото в образцах диспергировано преимущественно с пиритом, арсенопиритом, углеродистым веществом. В них золото встречается в трех значениях пробности - высокопробное, умеренно высокопробное и относительно низкопробное. По результатам сканирующего электронного микроскопа пробнус чистого золота составляет от 539‰ до 937‰ (табл. 2). Формы золотинок часто коротко призматические, дугообразные, игольчатые, округленные, прожилковые и фигурные (рис.1). Размер от 0,001мм до 0,004мм.

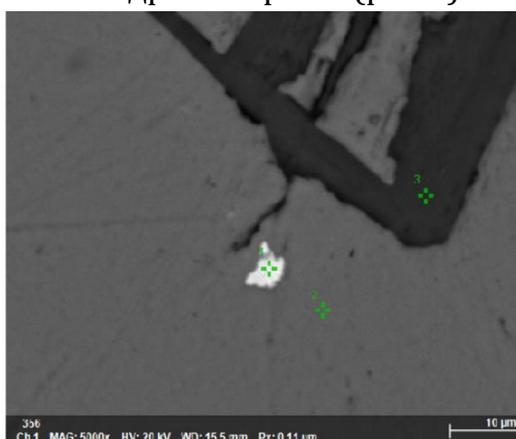
Таблица 2

Результаты электронно-микросондового анализа проб

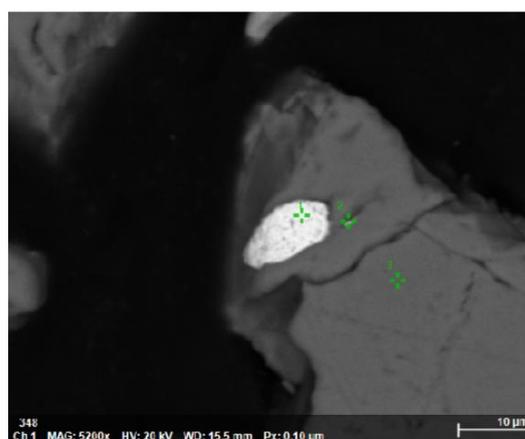
Минералы	Элементный состав, %							
	Самородные минералы							
	№	Fe	Au	Ag	Cu	S		
Электрум в пирите	10-1	3.04	74.73	22.23				
	10-5	4.26	63.61	32.18	0.04			
Золото в пирите		4.43	89.10	2.62		3.86		
		3.81	90.60	3.14		2.45		
			93.78	6.22				
		5.45	88.00	2.13		4.43		
Сульфидные минералы								
		Fe	S	Co	Cu	Ni	As	Sb
Пирит	10-2	46.03	51.08	0.33		0.13	2.42	
	10-3	46.99	52.68	0.22		0.07	0.0	
	10-4	46.67	53.17	0.16		0.01	0.01	
	Ай-15-1	44.97	54.86	0.19		0.06	0.08	
	Ай-15-2	45.72	53.98	0.21		0.09		
		Fe	S	Ag	Cu	Sb	Zn	
Антимонит	10-6	9.66	32.31	0.13	0.03	57.94		
Тетраэдрит	10-7	6.87	25.38	0.45	36.43	28.27	1.33	
		8.53	25.77		37.29	25.17	3.44	
		Fe	S	Co	Cu	Ni	As	Sb
Арсенопирит	10-8	35.13	20.74	0.03		0.38	43.47	0.26
		36.19	21.49				42.32	
		Fe	S	Zn	Cu	Cd		
Сфалерит	10-9	4.54	34.82	60.62	0.15	0.13		

В результате парагенетического анализа минералов, т.е. анализа особенностей их совместной встречаемости и количественного распределения, выделены следующие продуктивные парагенезисы: золото-пиритовый; золото-пирит-арсенопирит-халькопиритовый и золото-серебро-кварц-слюдистый.

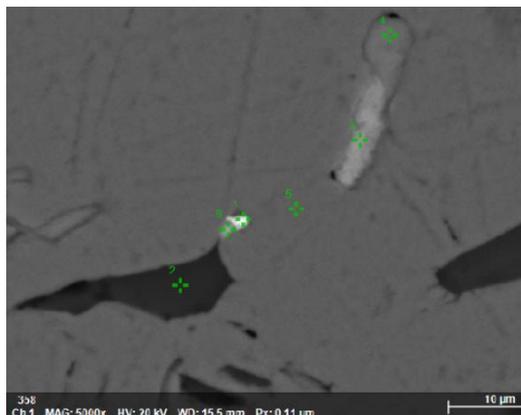
Основным рудным минералом является пирит. Вместе с пиритом встречаются самородное золото, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, анкерит, сульфасоли и др. минералы (рис.1).



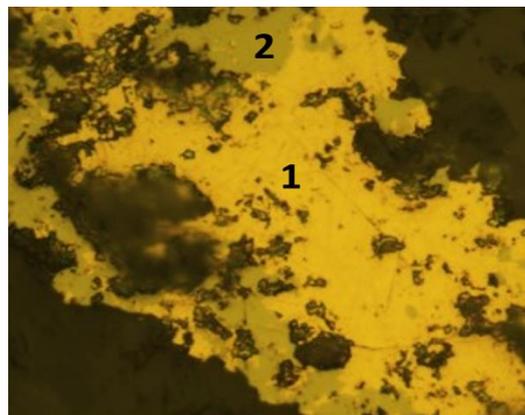
а)



б)



в)



г)

Рис 1. а) золото (1) и анкерит (3) в пирите (2); б) золото (1-2) в пирите (3); в) золото (1), анкерит (2), халькопирит (3-4) и тетраэдрит (6) в пирите (5); г) блеклая руды (2) в сростке с халькопиритом (1).

Основные рудные минералы - самородные золото, электрум, серебро, пирит, арсенопирит, антимонит, халькопирит, сфалерит, тетраэдрит, борнит, галенит и ковеллин; нерудные минералы - кварц, плагиоклаз, мусковит, биотит, хлорит и карбонаты (кальцит, анкерит, доломит), акцессорные минералы - апатит, барит, целестин, магнетит, циркон, рутил, ильменит, корунд, ксенотим и монацит.

В результате изучения вещественного состава проба руды определено, что для дальнейшей переработки с учетом упорности руды необходимо применение тонкого измельчения. Также для обогащения данной руды рекомендуется применение метода флотации, возможно отдельное выделение углистого и сульфидного концентратов с дальнейшей их гидро- или пирометаллургической переработкой перед операцией сорбционного цианирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зеленов В.И. Методика исследования золотосодержащих руд. М., Недра, 1978, 301с.
2. Санакулов К.С., Эргашев У.А. Теория и практика освоения переработки золотосодержащих упорных руд Кызылкумов. Ташкент, ГП «НИИМР», 2014, 286с.
3. Цыпин, Е. Ф. Предварительная концентрация руд. Учебное пособие. Екатеринбургский горный институт, 1991.
4. Меретуков М.А. Золото и природное углистое вещество. М., Изд. дом «Руда и Металлы. - 2007. - 528 с.
5. Биогeотeхнология металлов. Практическое руководство / Москва. ГКНТ, Изд-во Центра Международных проектов, (под ред. Каравайко Г.И.), 1989, 375с.
6. Интернет ресурс ЗОЛОТОДОБЫЧА (<https://zolotodb.ru/article/12094>)