

Изучение Процесса Обогащаемости Золотосодержащих Руд Месторождения Каракудук

М.Е. Мишарева, С.И. Аминжанова

Ташкентский государственный технический университет

АННОТАЦИЯ: В результате изучения вещественного состава руды месторождения Каракудук определено, что изучаемая проба относится к золото-сульфидному кварцевому типу руды; ценным компонентом руды является золото, с содержанием его в средней пробе 6,5 у.е. Показано, что главным минералом и концентратом золота в пробе является пирит, а также арсенопирит. Приведено содержание пирита в средней пробе -17,8%. Отмечено также, что микронные размеры золотин и их приуроченность к пириту и арсенопириту не позволяют отделить золото в самостоятельный концентрат. Получено высокое содержание в пробе слюды (хлоритов, серицита, гидрослюды), которое отрицательно влияет на флотированность руды.

Ключевые слова: арсенопирит, вещественный состав, выход концентрата, золотосодержащая руда, извлечение, обогащаемость, метод обогащения, флотация, цианирование.

Добыча руд и производство цветных, благородных и редких металлов с каждым годом возрастают. В то же время качество перерабатываемых руд и содержание в них металлов непрерывно снижаются.

Руды цветных, благородных и редких металлов отличаются сложностью минерального состава. В большинстве своем они являются комплексными, полиметаллическими, содержащими несколько металлов в виде минералов, совместное присутствие которых затрудняет или исключает применение металлургических процессов без предварительного разделения их методами обогащения.

Ввиду невозможности извлечения золота из упорных руд, непосредственно цианированием, их перерабатывают флотационными или гравитационно-флотационными методами обогащения с последующим извлечением золота из получаемых концентратов пиро-гидрометаллургическими или другими способами. Последние, как правило отличаются большой сложностью и высокими эксплуатационными и капитальными затратами, что вынуждает обратить особое внимание на возможности снижения выхода концентратов при достаточно высоком извлечении металла. Другой особенностью большинства упорных золотомышьяковых руд является присутствие в них углистых сланцев, представляющих собой тонкозернистый глинисто-сланцевый агрегат, пропитанный углистым веществом [1].

При выполнении технологических исследований первостепенный интерес представляют те признаки вещественного состава, которые в наибольшей степени определяют технологию обработки руд. Такими признаками являются: наличие в рудах наряду с золотом других полезных компонентов, имеющих промышленное содержание; наличие в составах руд окисленных минералов по сравнению с сульфидными, т.е. степень окисления руд; наличие в рудах компонентов, существенно осложняющих технологии обработки; характер золота в рудах, в первую очередь крупность частиц золота [2].

Данная статья посвящена технологическим исследованиям обогатимости упорных золотомышьяковых руд. В качестве объекта исследования использована проба золотосодержащей руды месторождения Каракудук.

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 и изучение состояния поверхности минералов.

Для принятия указанных выше решений по обогатимости применялись химический, рациональный и минералогический методы исследования. При изучении вещественного состава упорных золотомышьяковых руд применялись общепринятые методы исследования золотосодержащих руд и учитывались некоторые специфические особенности данного типа руд: присутствие золота в тонкодисперсном состоянии, высокое содержание мышьяка, сурьмы, углеродсодержащего вещества и других примесей.

Подготовка проб к исследованиям упорных золотомышьяковых руд осуществлялась по схеме, принятой для обычных золотосодержащих руд. Схема включала операции дробления, измельчения, сокращения и отбора навесок для лабораторных технологических исследований и различных анализов.

Подготовленную пробу сначала подвергали спектральному анализу для установления содержания редких и рассеянных элементов. Влияние крупности золота на распределение его в руде объясняется освобождением в процессах дробления и измельчения от связи с другими компонентами, в результате, которого обогащаются мелкие фракции. Наиболее интенсивно освобождается золото при измельчении руд до крупности 2-3мм. Причем в процессе измельчения частицы золота в силу своей пластичности мало изменяются по величине [3].

Спектральным анализом изучался химический состав вещества, основанный на исследовании спектров испускания и поглощения атомов или молекул. Эти спектры определяются свойствами электронных оболочек атомов и молекул, колебаниями атомных ядер в молекулах и вращением молекул, а также воздействием массы и структуры атомных ядер на положение энергетических уровней; кроме того они зависят от взаимодействия атомов и молекул с окружающей средой.

Спектральный полуколичественный анализ на 25 элементов выполняли методом просыпки (вдувания) на приборе СТЭ-1 (спектрограф со смешанной дисперсией).

Прибор СТЭ-1 оснащен фотоэлектронной приставкой ФЭК-9 (фотоэлектрокалориметр), что позволяет получать расшифровку спектрограмм сразу же в процессе сжигания проб с выводом результатов на дисплей компьютера.

Результаты полуколичественного спектрального анализа проб руды приведены в табл. 1.

Таблица 1 Результаты полуколичественного спектрального анализа пробы руды

Элементы	Содержание, %	Элементы	Содержание, %
Кремний	>1	Олово	0,001
Алюминий	>1	Свинец	0,06
Магний	>1	Серебро	0,001
Кальций	>1	Сурьма	0,018
Калий	>1	Хром	0,002

Натрий	0,2	Кобальт	0,018
Железо	>1	Цинк	0,01
Марганец	0,02	Кадмий	-
Никель	0,001	Галлий	0,001
Титан	0,5	Бериллий	<0,001
Ванадий	0,001	Стронций	-
Молибден	0,002	Барий	0,05
Вольфрам	0,015	Висмут	-

С целью определения химического состава исследуемых проб руды был проведен химический анализ, в результате которого количество исследуемого элемента определяют по количеству продукта реакции или по количеству (объему) реактива, затраченного на реакцию с соединением определяемого элемента.

В табл. 2 приведены результаты химического анализа средней пробы руды.

Таблица 2 Результаты химического анализа средней пробы руды

Компонента	Содержание, %	Компонента	Содержание, %
Кремнезем	43	Оксид фосфора(+5)	0,16
Железо оксид(3+)	13	Сера общ.	9,99
Железо оксид(2+)	1,98	Сера сульфид	9,56
Оксид титана	0,7	Оксид серы(+6)	1,08
Оксид марганца	0,04	Оксид углерода	3,52
Глинозем	13,2	-H ₂ O _{гигр}	0,72
Оксид кальция	2,3	Мышьяк	0,2
Оксид магния	2,4	п.п.п.	10,36
Оксид калия	2,89	Золото.у.е	6,5
Оксид натрия	0,44	Серебро.у.е	4,8

Как видно, из приведенных данных в табл. 2, основными промышленно-ценными компонентами руды является золото и серебро, содержание которых составляет 6,5 и 4,8 у.е. соответственно.

Формы нахождения благородных металлов в различных пробах руды изучались с помощью рационального анализа, который основан на последовательном выщелачивании измельченной руды (крупностью 85% кл. -0,074) цианистым раствором после предварительного освобождения золота и серебра от ассоциации с другими рудными и породообразующими компонентами. В схему анализа были включены следующие операции: цианирование руды, щелочная обработка хвостов I цианирования с последующим очередным цианированием, солянокислотная обработка хвостов II цианирования и затем III цианирование, далее азотнокислотная обработка хвостов III цианирования с последующим цианированием нерастворимого остатка.

В табл. 3 приведены результаты рационального анализа на золото.

Таблица 3 Результаты рационального анализа на золото средней пробы руды

Форма нахождения благородных металлов и характер их связи с рудными компонентами	Распределение	
	у.е.	%
Золото самородное, в сростках с другими минералами: хлориды, простые сульфиды серебра (цианируемое)	2,81	44,05
Золото, ассоциированное с минералами и химическими соединениями сурьмы и мышьяка (кроме арсенопирита и соединений 5-ти валентной сурьмы)	-	-
Золото, связанное с кислоторастворимыми минералами, окисленными минералами железа и марганца (карбонаты, оксиды и гидроксиды)	0,18	2,87
Золото, тонковкрапленное в сульфидах (пирите и арсенопирите)	3,4	52,8
Золото, в кварце, алюмосиликатах и др. порообразующих минералах	0,12	0,18
Итого в руде:	6,5	100,0

Содержание свободного золота и его сростков с минералами породы определялось цианированием. Количество золота, покрытого различными пленками и связанного с сульфидами определялось цианированием после щелочной, соляной и азотнокислотной обработок.

Как видно из приведенных в табл. 3 данных, в цианируемой форме самородное золото представлено на 44,05%, золото, покрытое окисными минералами железа и марганца -2,87%, золото тонкодисперсное в кварце -0,18%.

Для выяснения распределения основных ценных компонентов по классам крупности руды был проведен гранулометрический анализ. Для этого исходная руда после дробления до 3-0мм подвергалась ситовому анализу с последующим определением ценных компонентов в классах крупности. Результаты гранулометрического анализа приведены в табл. 4.

Таблица 4 Результаты гранулометрического анализа дробленной руды

Класс крупности, мм	Выход, %		Содержание, у.е.		Распределение по классам, %	
	частный	суммарный	Au	Ag	Au	Ag
-3,0+2,5	8,46		6,4	0,55	7,37	6,65
-2,5+1,5	22,64	31,1	5,68	0,74	23,69	23,95
-1,5+1,0	11,19	42,29	4,59	0,79	11,57	12,65
-1,0+0,5	18,9	61,19	5,9	0,68	20,35	18,36
-0,5+0,25	17,16	78,35	3,19	0,61	16,82	15,0
-0,25+0,1	14,43	92,78	6,5	0,68	12,78	14,0
-0,1+0,074	6,22	99,0	4,59	0,9	6,4	8,0
-0,074+0	1,0	100,0	5,1	0,95	1,02	1,39
Руда	100,0		6,5	0,7	100,0	100,0

Из табл. 4 видно, что содержание золота в мелких классах пробы выше, чем в крупных. Однако выход крупных классов -3,0+0,315 мм - гораздо больше, чем мелких, поэтому основная масса золота и серебра связана с ними.

Минералогический анализ руды месторождения Каракудук проводился на материале средней пробы с привлечением химического, атомно-абсорбционного, спектрального (методом просыпки) анализов. Вещественный состав пробы изучался на штучных образцах, изготовленных из них шлифах, аншлифах и брикетах [3].

На основании проведенного минералогического анализа установлено, что технологическая проба относится к золото-сульфидно-кварцевому типу руды. Проба частично окислена.

Кусковой материал представлен обломками рудного колчедана, углеродисто-графитистых сланцев, алевролитов и гранитоидов (кварц-полевошпатового состава). В них встречаются прожилки баритцелестинового состава.

Вмещающие породы подверглись гидротермальным изменениям - березитизированы. Материалы пробы зоны окисления и коры выветривания: рыхлые, рассыпчатые, обесцвеченные и сильно измененные -аргиллизированы и лимонитизированы.

Рудная минерализация во вмещающих породах характеризуется неравномерным распределением в виде секущих прожилков, маломощных жилков, межслойчатых линейных прослоек, гнезд, линз и вкрапленников.

Сульфиды в пробе образуют массивную, плитчатую, линейно-слойчатую, прожилковую, пятнистую и вкрапленную текстуру.

В изучаемой пробе присутствует более 42 различных минералов, но лишь немногие из них имеют промышленное значение. Ценным компонентом руды является золото, присутствующее в пробе в самородной форме. Главными рудными минералами пробы являются пирит, арсенопирит, гидрооксиды железа и ярозит.

Нерудная часть пробы представлена, в основном, кварцем, серицитом, полевыми шпатами (альбит, ортоклаз), карбонатами, хлоритами и каолинитом. Отмечено постоянное присутствие углеродистого вещества и графита [4].

Акцессорные минералы представлены монацитом, цирконом, ксенотимом, корундом, сфеном и эпидотом. Они присутствуют в виде сростков и включений в гипогенных и гипергенных минералах.

Остальные рудообразующие и рудовмещающие минералы присутствуют в незначительных количествах и единичных значениях.

Таким образом, на основании изучения вещественного состава руды месторождения Каракудук можно сделать следующие выводы: изучаемая проба относится к золото-сульфидному с кварцем типу руды; ценным компонентом руды является золото. Золото находится в пробе в самородном виде. Содержание его в средней пробе 6,5 у.е.; главным минералом и концентратом золота в пробе является пирит, а также арсенопирит. Содержание пирита в средней пробе ~17,8%. Пиритовые зерна часто катаклазированы. Проявление процесса катаклаза имеет большое значение в распределении золотин в минерале; микронные размеры золотин и их приуроченность к пириту и арсенопириту не позволяют отделить золото в самостоятельный концентрат; главными нерудными минералами пробы являются кварц, серицит, полевые шпаты, карбонаты, хлориты и каолинит; попутными компонентами в руде является: серебро, содержание которого в средней пробе составляет 0,9 у.е.; высокое содержание в пробе слюд (хлоритов, серицита, гидрослюды) отрицательно влияют на флотированность руды.

В результате изучения вещественного состава руды, характера вкрапленности минералов, а также литературы и опыта, ранее проведенных исследований аналогичных по вещественному составу руд, для изучаемой руды в качестве основного метода переработки был принят флотационный [5], и в качестве вспомогательного метода- цианирование руды и продуктов ее обогащения.

Литература

1. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. – Москва, МГГУ, 2005. – 247с.
2. Авдохин В.М. Технология обогащения полезных ископаемых. – М.: МГГУ, 2006. – 325 с.
3. Лобанов В.И. Методика исследования золотосодержащих руд. –М.: Недра, 2012. – 231с.
4. Попов Е.Л. Современные методы переработки труднообогатимых золотосодержащих руд и концентратов. // В сб. «Инновационные технологии прогноза, оценки и освоения минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых Республики Узбекистан». Материалы международной научно-технической конференции «УЗГЕОИННОВАЦИЯ – 2010». – Ташкент. 2010, с.139–141.
5. Мишарева М.Е. Внедрение технологии обогащения золотосодержащей руды месторождения Каракудук, с использованием новых реагентов. //Материалы международной конференции «Инновация 2013», 2013.с. 189-190.
6. Мишарева М. Е. (2015). Взаимодействие полимеров с сульфидами. In *Reproduce of the resources, low-waste and environmental technology exploitation of mineral resources* (pp. 185-186).
7. Аминжанова, С. И. (2015). Повышение эффективности действия собирателя при флотации. In *Reproduce of the resources, low-waste and environmental technology exploitation of mineral resources* (pp. 199-201).
8. Khayitov, O. G., Salizhanova, G. K., Mutalova, M. A., Aminzhanova, S. I., & Mishareva, M. Y. (2021). Oil and Gas Potential in the Territory of the South-Eastern Part of the Bukhara-Khiva Region. *REVISTA GEINTEC-GESTAO INOVACAO E TECNOLOGIAS*, 11(4), 4699-4708.
9. М.Е. Мишарева. ИЗУЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ФЛОТАЦИОННОМ ОБОГАЩЕНИИ РУД. *Scientific progress*. 2021/2/7. (pp. 879-887).
10. UMAROVA, I., AMINJANOVA, S., & IBRAGIMOV, J. (2020). THE STUDY OF THE FEATURES OF THE SUBSTANTIAL COMPOSITION OF COPPERMOLYBDENUM ORE KALMAKYR DEPOSITS. *INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE USE OF NATURAL RESOURCES*, 144. [
11. Umarova, I. K., Salijanov, G. Q., & Avinjanova, S. I. (2018). Study on the enrichment of polymetallic ores of the deposit Handiza. *Recommended for publication by the Scientific Research Council of the University of Petroşani, 05.03. 2019 Recommended for publication by the Academic Board of the KryvyiRih National University, Minutes № 7, 26.02. 2019*, 286.
12. Aminjanova, S. I., Muratova, M. I., Mirzajonova, S. B., Karimova, T. P., & Saidova, M. S. Research of Sulfuric Acid Leaching of Copper Off-Balance Ores.
13. Умарова, И. К. Аминжанова, С. И. Салижанова, Г. К., & Каландаров, К. С. (2020). Технологические исследования на обогатимость полиметаллической руды месторождения Хандиза. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, (4), 70-79.