

УДК 669.213.634

В.В. Жуков, Ю.В. Шариков, М. Неувонен, И. Турунен

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ
ЗОЛОТОНОСНОГО КОНЦЕНТРАТА
НА ТИОСУЛЬФАТНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ**

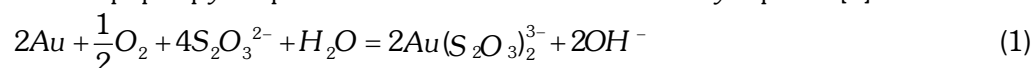
Разработка более экологичного и экономически оправданного метода обработки золотоносных руд и концентратов становится все более актуальной в настоящее время. Некоторые страны отказались от добычи золота путем цианирования в связи авариями на производстве и высокой токсичностью метода. Использование в качестве выщелачивающего агента тиосульфата натрия является многообещающей технологией, нуждающейся в проработке и оценке эффективности процесса. В данной статье представлена оценка эффективности проведения предварительного окисления концентрата на дальнейшее выщелачивания золота.

Ключевые слова: окисление, выщелачивание, тиосульфат, золото.

Данная работа осуществляется в рамках развития международного сотрудничества между Национальным Минерально-Сырьевым Университетом и Лаппеенрантским Технологическим Университетом и является частью программы, называемой «Green Mining», которая обеспечивается компанией Tekes [1, 2].

Замена цианирования, как метода извлечения золота, произойдет, когда технология тиосульфатного выщелачивания будет доведена до совершенства. Для этого необходимо достаточное количество исследований как практических, так и теоретических.

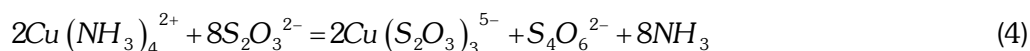
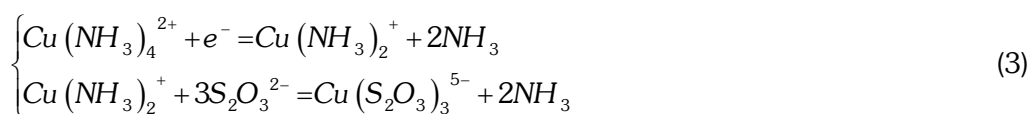
Тиосульфатное выщелачивание золота выполняется при подаче воздуха в тиосульфатный раствор в присутствии ионов аммония и меди. По реакции (1) золото формирует прочный анионный комплекс с тиосульфатом [2]:



Согласно многочисленным публикациям научных отчетов процесс тиосульфатного выщелачивания представляет собой электрохимическую реакцию окисления золота с образованием анионного комплекса с одной стороны и восстановление двухвалентной меди $Cu(NH_3)_4^{2+}$ до одновалентной меди $Cu(S_2O_3)_3^{5-}$ с другой [3].

Общую схему протекания процесса можно описать уравнениями реакций 2—4, показанными ниже [3]:





Применимо к некоторым типам руд, проводить выщелачивание не возможно без предварительных операций, таких как окисление. Данная стадия необходима для вскрытия породы и увеличения доступного для выщелачивания золота

Экспериментальная часть

Для обработки и исследования был взят промышленный концентрат, преимущественно включающий в себя пирит и арсенопирит, подробные данные о котором представлены в табл. 1. Содержание серы после окисления в среднем уменьшалось на 22,4 %, что позволяло осуществлять более эффективное выщелачивание. Средний диаметр частиц в концентрате 36,67 мкм определен посредством гранулометрического анализа, подробные результаты которого отражены в табл. 2.

Таблица 1

Минералогический и химический составы исследуемого концентрата

Минерал	Содержание % (масс.)	Элемент	Содержание % (масс.)	Содержание г/т
Пирит (± Пирротит)	49.4	Ag	0,0111	89
Арсенопирит	27.7	As	12,1366	97300
Сфалерит	5.6	Au	0,0013	10,5
Галенит	0.7	Cd	0,0193	155
Халькопирит	1.1	Co	0,0130	104
Арсениды	0.2	Cr	0,0012	10
Антимониды	0.1	Cu	0,8582	6880
Другие сульфиды	0.7	Fe	41,5364	333000
Кварц	4.9	Mn	0,0252	202
Полевой шпат / слюды	3.6	Mo	0,0009	7
Другие силикаты	1.8	Ni	0,0035	28
Железные окиси / гидроокиси	2.3	Pb	0,7808	6260
Другие	1.9	S	39,7902	319000
		Sb	0,4316	3460
		Zn	4,3906	35200

Таблица 2

Гранулометрический состав исследуемого концентрата

Распределение	Размер частиц, мкм
< 10 %	3,46
< 25 %	10,02
< 50 %	25,22
< 75 %	51,52
< 90 %	86,47

Таблица 3

Условия и результаты предварительного окисления с последующим выщелачиванием

№ опыта	Условия предварительного окисления				Извлечение после выщелачивания, %		
	Концентрации реагентов, моль/л	Температура в реакторе, °С	Расход газа, л/мин	Длительность опыта, час	Au	Ag	
Исходный материал					36,1	20,8	
1.1	C(NaOH)	0,125 М	30	0,6 (воздух)	6	51,6	-
1.2	C(H ₂ O ₂) C(NaOH)	0,2 М 0,125 М	30	0,6 (воздух)	9	52,2	25,4
2	C(H ₂ O ₂) C(NaOH)	0,2 М 0,2 М	30	0,6 (воздух)	6	51,6	-
3.1	C(NaOH)	1 М	50	0,6 (воздух)	6	75,6	-
3.2	C(NaOH)	1 М	50	0,6 (воздух)	9	78,2	35,4
4	C(NH ₃) C(Cu ²⁺)	0,6 М 0,0157 М	50	0,4 (кислород)	6	55,0	20,2
5	C(NH ₃) C(Cu ²⁺)	1 М 0,0157 М	50	0,4 (кислород)	6	51,7	26,3
6	C(NH ₃)	1 М	30	0,6 (воздух)	18	51,6	19,5

Таблица 4

Условия выщелачивания

Параметр	Значение
C(S ₂ O ₃ ²⁻)	0,2 М
C(Cu ²⁺)	0,0157 М
C(NH ₃)	0,2 М
Содержание твердого в пульпе	20 %
Температура	30 °С
Скорость перемешивания	700 об/мин
Расход воздуха	0,2 л/мин
Объем пульпы в реакторе	0,85 л
pH рабочего раствора	9,5-10,5

Окисление и последующее выщелачивание проводилось в реакторе периодического действия общим объемом 1 литр с перемешивающим устройством при атмосферном давлении. Конструкция позволяла осуществлять питание газом с нижней части реактора. В крышке реактора были размещены следующие датчики для получения информации о ходе процесса: 1 – температуры смеси в реакторе, 2 – pH и окислительно-восстановительного потенциала, 3 – растворенного кислорода. Аэрация осуществлялась как воздухом, так и кислородом с различными значениями по расходу газов. Реактор также оборудован устройством пробоотбора для проведения анализа промежуточных проб в ходе вы-

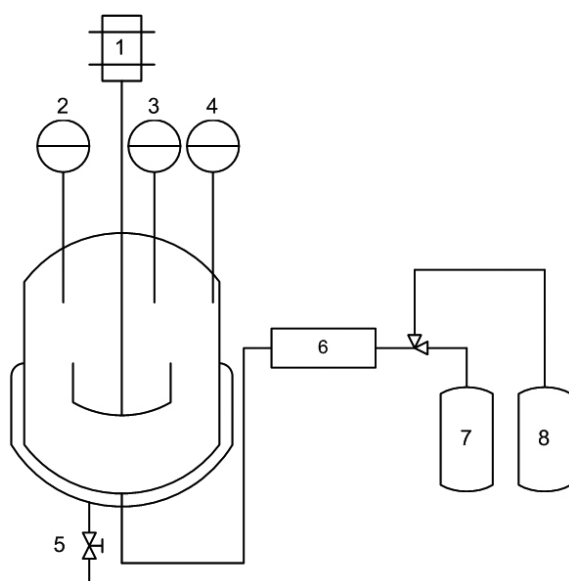


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – перемешивающее устройство с приводом, 2 – система контроля и индикации температуры в реакторе, 3 – датчик pH / окислительно-восстановительного потенциала, 4 – датчик содержания растворенного кислорода, 5 – устройство пробоотбора, 6 – система контроля и индикации подачи газа в реактор, 7 и 8 – баллоны с воздухом и кислородом соответственно

фильтрации, то есть хранение проб не производилось, в виду того, что с течением времени данные образцы могут устаревать и показывать неверные значения концентраций. Имея данные о концентрациях золота и серебра в последней пробе, производились расчеты извлечения после выщелачивания, которые также представлены в табл. 3.

Результаты и выводы

По результатам проведенной серии экспериментов можно заключить, что в среднем извлечение увеличилось на 58,44 % по золоту и на 25,36 % по серебру за счет проведения окисления. Длительное выщелачивание, порядка 18 часов, и сильное увеличение концентрации аммиака не требуется. Более высокие показатели достигаются при увеличении температуры окисления. Максимально возможные значения по извлечению золота относительно экспериментов без предварительного окисления получены в опытах 3.2 и 4 – это увеличение на 116,62 % и 52,35 % соответственно, по извлечению серебра опыт 3.2 – увеличение на 70,19 %. Данная серия экспериментов показала, что окисление приводит к увеличению извлечения золота за счет увеличения его доступности. С точки зрения комплексного использования данного сульфидного золотосодержащего концентрата, чтобы результаты по извлечению золота и серебра после выщелачивания достигали существенных значений, необходимо осуществлять дополнительные операции, например, проведение повторного окисления с последующим направлением на выщелачивание (рецикл).

щелачивания. В качестве окислителя использовался пероксид водорода, аммиак, двухвалентная медь и добавки гидроксида натрия.

Полные данные о проведенных опытах представлены ниже в табл. 3.

За стадией окисления следовала стадия тиосульфатного выщелачивания, которая длилась от 6 до 18 часов, в зависимости от эксперимента, с базовыми условиями, указанными в табл. 4.

После окончания выщелачивания осуществлялся пробоотбор, фильтрация и анализ, который проводился на атомно-абсорбционном спектрометре (ААС) на концентрации золота и серебра сразу же после

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cooperation with Russia in the Green Mining Programme* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lut.fi/en/lut/news/2012/pages/cooperation-with-russia-in-the-green-mining-programme.aspx>.
2. *GreenMining – Projects* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tekes.fi/programmes/GreenMining/Projects?id=10673726>.
3. *Hilson G. Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future?* / G. Hilson, A.J. Monhemius // *Journal of Cleaner Production – Elsevier*, 2006 – № 14 P. 1158 – 1167.
4. *Aylmore M.G. Thiosulphate leaching of gold – a review* / M.G. Aylmore, D.M. Muir // *Minerals Engineering – Elsevier*, 2001 – Vol. 14, № 2 P. 135-174. **ГЛАВ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Жуков Владимир Владимирович — аспирант, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Лаппеенрантский технологический университет, Vladimir.Zhukov.spb@mail.ru,
Шариков Юрий Васильевич — доктор технических наук, профессор, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», yvshar@mail.ru,
Турунен И. — профессор, Ilkka.Turunen@lut.fi,
Неувонен М. — магистрант, Marja.neuvonen@lut.fi
Лаппеенрантский технологический университет.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ПРОБЛЕМЫ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА

Голик Владимир Иванович — доктор технических наук, профессор, Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, v.i.golik@mail.ru,

Полухин Олег Николаевич — горный инженер, доктор политических наук, профессор, ректор Белгородского государственного национального исследовательского университета.

Показана роль Белгородской области в добыче железных руд. Произведена оценка перспектив добычи подземным способом с закладкой пустот твердеющими смесями. Сформулирована концепция утилизации хвостов: некондиционное минеральное сырье при использовании эффективных технологий обеспечивает эколого-экономический эффект. Приведены сведения о технологиях приготовления закладочных смесей с использованием техногенных компонентов. Рекомендована технология извлечения металлов из хвостов обогащения путем механохимической активации в аппаратах. Сформулированы задачи развития механохимической технологии и указаны защищенные патентами направления решения проблемы.

Ключевые слова: диверсификация, горное производство, подземный способ, добыча, руда, технология, твердеющая смесь, техногенные компоненты, извлечение металлов, хвосты обогащения, механохимия, активация, горные инженеры.

PROBLEMS OF UNDERGROUND DEVELOPMENT OF ORE FIELDS OF CMA

Golik V.I., Poluhin O.N.

Shows the role of the Belgorod region in the extraction of iron ores. Assessment of prospects of underground mining with the bookmark voids mixtures. Formulated the concept of recycling of tailings: unmarketable mineral raw materials with the use of effective technologies provides ecological-and-economic effect. Provides information on the technology of the preparation of stowing mixtures with the use of technological components. Recommended by the technology of extraction of metals from the tailings enrichment by mechanochemical activation of the apparatus. The formulated tasks of the development of mechanochemical technologies and indicated protected by the patents of the ways to solve the problem.

Key words: diversification, mining, underground, mining, ore, technology, solid stowing a mixture of man-made components, the extraction of metals, tailings, by Mechanochemistry, activation, mining engineers.