

УДК 669.213

СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ СОДЕРЖАЩИХ ЖЕЛЕЗА И МЕДЬ

Л. С. Стрижко

Профессор*

Контактный тел.: (929) 517-00-26

E-mail: sls_2007.47@mail.ru

И. Р. Бобоев

Аспирант*

Контактный тел.: (929) 517-00-26

E-mail: bobev-i@mail.ru

Наведено результати дослідження по попередній обробці золотовмісних продуктів каустичною содою. Запропоновано аміачно-ціанідний метод вилучення золота з мідновмісних продуктів. Відображені результати сорбції золота із застосуванням активованого вугілля і смоли

Ключові слова: золотовмісний продукт, залізо, мідь, попередня каустична обробка, аміачно-ціанідний метод розчинення

Приведены результаты исследования по предварительной обработке золотосодержащих продуктов каустической содой. Предложено аммиачно-цианидный метод извлечения золота из медносодержащих продуктов. Отражены результаты сорбции золота с применением активированного угля и смолы

Ключевые слова: золотосодержащий продукт, железо, медь, предыдущая каустическая обработка, аммиачно-цианидный метод растворения

*Кафедра цветных металлов и золота

Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов»
пр.Ленинский, 4, г. Москва, Россия, 119049

1. Введение

Способ извлечение золота из железа и медь содержащих продуктов, что является одной из основных проблем золотодобывающей промышленности XXI века. Как правило, наличия железа снижает эффективность технологических процессов и показатели извлечения золота вследствие больших расходов цианида, что делает необходимым использование дополнительных операций по переводу железа в нерастворимую форму, и интенсификации процесса цианирования.

Другим немаловажным фактором, влияющим на извлечение золота и большой расход цианида, является присутствие минералов меди в золотосодержащих продуктах. Медь потребляет большое количество цианида. Цианид меди является более стабильным, чем свободный цианид и оказывает пагубное влияние на окружающую среду.

2. Постановка проблемы

Цианирование золота из железа- и медь-содержащих продуктов представляют сложную задачу. Один из возможных способов решение данной задачи является обработка продукта каустической содой при повышенных концентрациях кислорода для перевода железа в нерастворимую форму с последующим аммиачно-цианидным растворением золота. Использование в цикле цианирования соединений аммиака позволит достичь высоких показателей извлечения золота в растворе при умеренном растворении меди и, соответственно, значительно меньшем расходе цианида. Проблемой данной

технологии является подбор оптимальных условий извлечения золота из продукта, удовлетворяющей требованием технологического процесса.

3. Основная часть

3.1. Анализ литературных источников по теме исследования

Как правило, сульфиды железа и минералы меди, присутствующие в золотосодержащих продуктах являются причиной больших потерь цианида вследствие образования цианистых и комплексно - цианистых соединений, и повышенный расход кислорода на окислении, снижая его концентрацию в растворе, что приводит к уменьшению скорости растворения золота. Вредное влияние меди и элементарной серы выделяющейся при окислении сульфидов, объясняется не только понижением концентрации ионов свободного цианида в растворе, но и образованием на поверхности золота плотных пленок, замедляющих процесс растворения[1,2].

Как следует из литературы[3], железо в зависимости от значений pH среды в пульпе может находиться в различных формах. При pH = 2 в растворе в основном присутствуют катионы приближается к 1, а при pH = 6, это отношение становится равным $4,5 \cdot 10^6$, и преобладающими являются катионы $Fe(OH)_2$. Концентрация общего железа в растворе при pH ≥ 6 снижается в связи с выпадением в осадок $Fe(OH)_3$.

Что касается меди, то она присутствует как в окисленной, так и в сульфидной форме. Как известно, медь, находясь в одной группе периодической системы с золотом и серебром, образует целый ряд цианистых соединений. При цианировании медистых руд подавляющая часть цианида расходуется на образование медных цианистых комплексов, оказывающее пагубное влияние на окружающую среду, что является первым фактором, ограничивающим применение цианирования к рудам данного состава [4,5,6].

Другим не менее важным фактором, является неблагоприятное влияние комплексных соединений меди на растворение золота в цианиде и на сорбцию его из растворов [5,7]. Опыт работы золотодобывающих фабрик показывают, что один из способов, рентабельно обрабатывать медистые руды, является аммиачно-цианидный метод растворения [6,8,9].

Известно, что в аммиачно-цианистых растворах образуются медно-аммиачно-цианистые соединения. Последние, вступая в реакцию с золотом, служат источником цианида. Медь в комплексе с аммиаком взаимодействует с ОН радикалом образуя $\text{Cu}(\text{OH})_2$, который выпадает в осадок [9].

3.2. Результаты исследование

В соответствии с вышеизложенным, были проведены исследования по предварительной обработке пробы каустической содой в лабораторных агитаторах интенсивного перемешивания, в которых установлен ультразвуковой преобразователь для повышения содержания растворенного кислорода в растворе. В результате образуется осадок гидрата окиси железа (III) не взаимодействующей с цианистыми растворами. Ультразвуковой преобразователь не только повышает содержание растворенного кислорода в растворе, но и как известно [10], под его воздействием молекулы воды разлагаются ($\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^- + e^-$) с образованием ОН-радикалов, которые вносят также заметный вклад при образовании осадка гидрата закиси железа.

На рис. 1 показана зависимости рН среды от концентрации Fe в цианистых растворах после предварительной обработки.

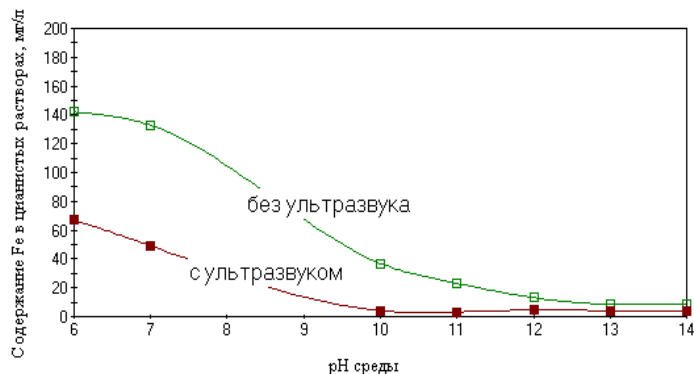


Рис. 1. Зависимости содержания железа после предварительной обработки с последующим выщелачиванием в цианистых растворах от подачи кислорода ультразвуковыми преобразователями

Как видно из рис. 1, с применением ультразвукового преобразователя содержание железа в цианистых растворах после предварительной каустической обработки при значении рН 10 и более, значительно ниже. Это объясняется тем, что при повышении концентрации кислорода наблюдается интенсивное осаждение гидроксида закиси железа (III) в осадок. В связи с этим, была проведена серия экспериментов по изучению зависимости содержания железа в цианистых растворах после обработки каустической содой от концентрации кислорода и времени (рис. 2).

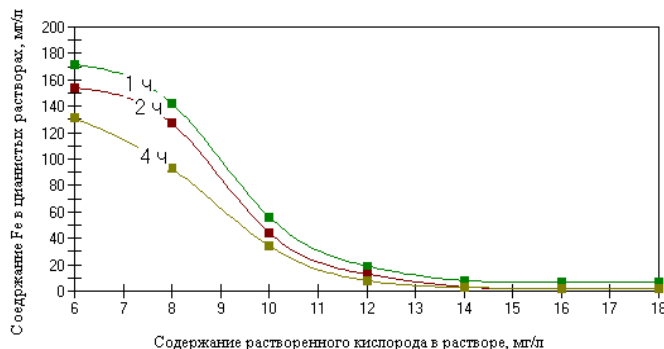


Рис. 2. Зависимости содержания железа в растворе от концентрации кислорода и времени

При концентрации кислорода 14 мг/л и более, в цианистых растворах после предварительной каустической обработки (2 ч) наблюдается незначительное количество железа. Дальнейшее его увеличение мало сказывается на скорости окисления.

При применении ультразвукового преобразователя в лабораторных агитаторах с мешалками наблюдалось еще более быстрое продвижение пульпы, что также уменьшает толщину диффузионного слоя и как следствие увеличивает скорость перехода Fe (II) на Fe (III). Этот факт подтверждает теоретически установленную зависимость, согласно которой, толщина диффузионного слоя обратно пропорционально корню квадратному из скорости относительного движения фаз [7,10].

Были проведены исследования по извлечению золота из обработанного каустической содой материала по схеме, включающей аммиачно-цианистое растворение золота, фильтрацию пульпы с промывкой кеков, с сорбцией металлов на активированных углях и смоле.

Следует отметить, что концентрация цианида, аммиака, кислорода, и рН раствора оказывают влияние на скорость выщелачивания золота в аммиачно-цианистых растворах и поэтому концентрация каждого должна быть строго оптимизирована. В связи с этим были экспериментально определены следующие оптимальные условия проведения экспериментов: крупность материала – 85% класса – 0,074 мм; Ж/Т = 2/3; расход $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 18 кг/т; рН = 9,8÷11.

Полученные данные показывают, что с уменьшением загрузки NaCN извлечение золота незначительно меняется и находится на уровне 87-93,4%. Концентрация Cu и NH_4^+ в рас-

творе составляет, соответственно, 160-180 и 2018 мг/л. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования аммиачно-цианистых растворов в процессе, с понижением расхода цианида без изменения показателей извлечения золота.

Проведены исследования кинетики растворения золота и меди в зависимости от времени. Это позволило подобрать оптимальную продолжительность процесса и наблюдать за поведением меди в растворе.

Таблица 1

Зависимость степени извлечения золота от концентрации цианида

Опыт	Расход цианида, кг/т	Содержание компонентов в растворе, мг/л			Содержание Au в твердом остатке, г/т	Извлечение золота, %
		Au	Cu	NH ₄ ⁺		
1.	0,5	3,84	127	1128	0,57	87,0
2.	0,7	3,30	152	1460	0,49	92,2
3.	0,8	3,30	158	2002	0,49	93,0
4.	0,9	3,50	166	2018	0,52	93,4
5.	1	3,64	173	2014	0,54	93,2
6.	1,1	3,03	212	1910	0,45	92,7
7.	1,2	2,83	248	1740	0,42	92,8

Таблица 2

Зависимость степени извлечения золота от длительности процесса аммиачно-цианидного выщелачивания

Опыт	Время выщелачивания, ч	Концентрации компонентов в растворе, мг/л		Содержание золота в хвостах, г/т	Извлечение золота, %
		Au	Cu		
1.	2	2,90	310	1,03	83,6
2.	4	3,12	333	0,84	85,9
3.	6	3,29	325	0,53	92,8
4.	8	3,25	192	0,53	92,6
5.	12	3,46	160	0,49	92,9
6.	24	3,51	153	0,44	93,6
7.	36	3,76	137	0,39	93,6
8.	48	3,64	108	0,37	93,8
9.	72	3,69	112	0,37	93,7

Из полученных данных следует, что оптимальное время выщелачивания 24 часа. Концентрация меди в растворе начинает снижаться после 4 часа выщелачивания. Это объясняется тем, что в осадок медь выпадает в виде $Cu(OH)_2$, удерживая в растворе определенную концентрацию.

В ходе выщелачивания в аммиачно-цианистых растворах не принимались никакие меры для подачи кислорода в раствор, т.к. предварительные опыты показали, что воздух, находящийся в свободном объеме колбы и раствор насыщенный кислородом, вполне достаточно для полного растворения золота.

С целью оценки возможности выделения золота из аммиачно-цианидного раствора был испытан метод сорбционного извлечения золота с применением активированного угля марки NWSG6*12 и смолы

AuRiX®100. Как следует из литературы, отделение золота от меди можно наблюдать уже при $pH > 11,5$ [11].

По результатам экспериментов установлено, что в отсутствии свободного цианида или при низких концентрациях NaCN, медь сорбируется на угле и смоле более эффективно по сравнению с золотом. Самым оптимальным является схема «Уголь в растворе». С увеличением концентрации NaCN в растворе от 0,4 г/л, емкость угля по золоту увеличивается от 3,5 мг/г и более, а по меди - ноль. Это свидетельствует о высокой селективности активированного угля по отношению к золоту в данной химической среде.

Таким образом, разработана принципиальная технологическая схема извлечения золота из продуктов, содержащих железо и медь окисленной руды Тарорского месторождения, которая включает в себя две операции: предварительная обработка золотосодержащего продукта каустической содой при повышенных концентрациях кислорода; растворение в аммиачно-цианистых растворах с последующей сорбцией золота на активированных углях марки NWSG6*12, позволяют достичь высокую степень извлечения на уровне 94 %.

Таблица 3

Лабораторные исследования сорбции золота на активных углях и смолы марки AuRiX®100

Метод	pH среды	NaCN, гр/м ³	Время, ч	Расход сорбента, гр	Емкость по Au, мг/г	Емкость по Cu, мг/г
Смола в пульпе (SIP)	9,8-11	0,66-0	48	15	2-2,5	290-300
Смола в растворе (SIS)	>11,5	--	8	10	3-3,6	80-85
Уголь в пульпе (CIP)	9,8-11	0,66-0	48	15	3-3,4	180-185
Уголь в растворе (CIS)	9,8-11	>0,4	6	10	>3,5	0

Литература

1. Стрижко Л. С. Исследование и разработка технологии извлечения золота из окисленных руд одного из крупнейших месторождений Таджикистана / Бобохонов Б. А., Бобоев И. Р. // Цветные металлы. – 2012. – № 7. – С. 41-44.
2. Бобохонов Б. А. СП «Зарафшон»: Технологии переработки золотосодержащих руд / Рабиев Б. Р., Бобоев И. Р. // Горный журнал. – 2012. Специальный выпуск. – С. 46-50.
3. Бочаров В. А. О роли железа и его соединений в процессах обогащения сульфидных руд цветных и благородных металлов / Игнаткина В. А. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. – 2007. – № 5. – С. 4-12.

4. Стрижко Л. С. Разработка технологии извлечения золота из окисленных руд содержащих мышьяк / Бобохонов Б. А., Бобоев И. Р. // Сборник научных трудов SWorld. – 2011. Октябрь. – С. 37-43.
5. Котляр Ю. А. Металлургия благородных металлов / Меретуков М. А., Стрижко Л. С. М.:МИСиС, Издательский дом «Руда и Металлы», 2005. кн. 1 – 431 с. ; кн. 2 – 391 с.
6. Лодейщиков В. М. Аммиачное цианирование медистых золотых руд / Хмельницкая О. Д., Войлошников Г. И. // Цветные металлы. – 2010. – №8. – С. 87-90.
7. Меретуков М. А. Золото: химия, минералогия, металлургия / М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2008. – 528 с.
8. Costello M.C. Use of the ammonia cyanide leach system for gold copper ores with reference to the retreatment of the torco tailings / Ritchie I.C., Lunt D.J. // Minerals Engineering. – 1992. October-December. – P. 1421-1429.
9. Jeffrey M.I. A kinetic and electrochemical study of the ammonia cyanide process for leaching gold in solutions containing copper / Linda L., Breuer P.L., Chu C.K. // Minerals Engineering. – 2002. September-October. – P. 1173–1180.
10. Филиппов А. П. Редокс-процессы и интенсификация выщелачивания металлов / Нестеров Ю. В. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», – 2009. – 543 с.
11. Gray A. H. The Use of AuRIX®100 Resin for the Selective Recovery of Gold and Silver From Copper, Gold and Silver Solutions / Hughes T., Abols J. // First Extractive Metallurgy Operators' Conference. Brisbane, QLD. – 2005. November. – 5 p.

Abstract

We suggest a way of gold extraction from iron and copper containing products, which is one of the major challenges of gold mining industry of XXI century. As a rule, the presence of iron reduces the efficiency of processes and performances of gold extraction due to the high consumption of cyanide. This creates the necessity of additional processes of the transformation of iron into an insoluble form, and the intensification of the cyanide process. In this regard, we suggest the results of research on preliminary processing of the gold-containing product with caustic soda in the laboratories with ultrasonic transducers to increase the content of dissolved oxygen.

We studied the effect of oxygen on the rate of transformation of iron into the form insoluble in cyanide solutions. Another important factor, which influences the gold extraction and high consumption of cyanide, is the presence of copper minerals in gold-containing products. Copper consumes large amount of cyanide. Copper cyanide is more stable than free cyanide, and it is harmful for the environment. In this regard, we suggest ammonium cyanide method of extraction of gold from the copper-containing products. The optimal conditions for the dissolution of gold from copper-containing products in ammonium cyanide solutions were determined.

*We studied the effect of copper and ammonia on the kinetics of gold extraction. We showed that the presence of ammonia in the solution reduces the amount of cyanide consumed to 0.7 kg / t without changing the performances of gold extraction. The article represents the results of study of gold sorption from ammonium cyanide solutions using activated carbon NWS G6 * 12 and resin AuRIX ® 100 as well as the advantage of the sorption properties of coal compared to resins.*

Keywords: *gold-containing product, iron, copper, preliminary caustic processing, ammonium cyanide method of dissolution*