

Л. Л. ОСИПОВСКАЯ, А. К. КОЙЖАНОВА, Д. М. ЕСИМОВА, М. Б. ЕРДЕНОВА,
Э. М. КАМАЛОВ, Д. Р. МАГОМЕДОВ*

*АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», Алматы, *dina-28@inbox.ru*

КОМБИНИРОВАННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СУЛЬФИДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЕСТОБЕ

Данная статья посвящена комбинированному способу извлечения благородных металлов в кислой среде из сульфидных руд месторождения Бестобе. В экспериментах использовали фракции размером 5-10 мм. В лабораторных исследованиях при кислотном выщелачивании золота применялся комбинированный подход, который предусматривал два направления: физико-химическое (в присутствии окислителей – хлорида железа и гипохлорита натрия) и биохимическое с использованием железooksисляющих бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, которые выращивали в лаборатории по общепринятым методикам на питательной среде. Предложенное сочетание серной кислоты, окислителей (хлорида железа и гипохлорита натрия) и ацидофильных бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* вместо цианистого растворителя способствует повышению степени извлечения золота до 61,0, а серебра – до 31,1 % (за 48 часов). Совокупность предложенных методов обеспечивает эффективность и экологическую безопасность технологии переработки сырья.

Ключевые слова: извлечение металлов, сульфидные руды, гипохлорит натрия, хлорид железа, золото, серебро, ацидофильные бактерии.

Введение. По производству золота Казахстан занимает 3 место среди стран СНГ после России и Узбекистана. Самым крупным производителем золота является компания *Kazakh-Gold Group Ltd*, которая владеет тремя месторождениями золота Аксу, Бестобе и Жолымбет [1-4]. В настоящее время запасы легкообогащаемого золотосодержащего сырья близки к истощению. Лидирующее положение занимают золотосульфидные руды, с которыми связано более 40 % мировых запасов металла. Золото присутствует в тонко дисперсной форме в сульфидах (пирите, арсенопирите, халькопирите) [5-8]. В переработку включаются упорные (сульфидные) руды, характеризующиеся относительно невысоким содержанием золота (3,6 г/т), тонкой вкрапленностью и неравномерным распределением. В последнее время решаются задачи более полного и комбинированного извлечения благородных металлов из упорного сырья путем тонкого механического измельчения, бактериального и химического окисления.

Особое внимание уделено влиянию химических и органических добавок на извлечение благородных металлов. Их применение способствует воздействию химически активных веществ, стимулирует такие процессы, как гидролиз, окисление. Подобно катализаторам добавки

способны ускорять многие физические и химические процессы. Например, при кислотнo-гипохлоритном воздействии отмечается высокая скорость растворения золота. Кроме того эти реагенты доступны, стоимость их невелика. Применение таких добавок является альтернативным цианированию и соответственно оказывает менее негативное воздействие на окружающую среду.

На месторождении Бестобе присутствуют первичные золотосульфидные и окисленные руды, поэтому целью исследования явилась разработка бесцианидной, комбинированной технологии переработки сульфидных золотосодержащих руд для последующего извлечения благородных металлов. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- выбор комбинированных способов для извлечения благородных металлов из упорных руд;
- использование окислителей при извлечении Au и Ag в кислой среде;
- создание четкой схемы бесцианидного выщелачивания золота и серебра при подземном и кучном выщелачивании на месторождении Бестобе.

Используемые материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования была выбрана золотосодержащая ма-

лосульфидная руда месторождения Бестобе (жила дальняя).

Методы исследования основывались на проведении лабораторных опытов. Составы твердых фаз изучены рентгеноспектральным, рентгенофлуоресцентным, химическим, пробирно-атомно-абсорбционными методами анализа. Вещественный состав продуктов изучали на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение α -Cu.

Для анализа растворов использовали следующие методы: микроскопический, биологический, химический, атомно-абсорбционный.

Определение pH растворов проводили с помощью мультипараметрового прибора Sen-sion 156.

Электронно-микроскопические исследования проб руды были проведены на электронном растровом микроскопе с анализатором JEOL JXA-8230 (JEOL, Япония).

Химический состав исходной руды до и после выщелачивания осуществляли на атомно-абсорбционном спектрометре AA-7000 Shimadzu (Япония).

Методика эксперимента. Для анализа образцы исходной руды были измельчены в щековой дробилке и разделены на фракции с помощью механического сита. В экспериментах использовали фракции размером 5-10 мм. В лабораторных исследованиях при кислотном выщелачивании золота применялся комбинированный подход, который предусматривал два направления: физико-химическое (в присутствии окислителей хлорида железа и гипохлорита натрия) и биохимическое с использованием железобактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, которые выращивали в лаборатории по общепринятым методикам на питательной среде следующего состава: FeSO_4 – 5 г/дм³, H_2SO_4 – 1,5 г/дм³, KH_2PO_4 , MgSO_4 и концентрированная серная кислота (1 мл/дм³). О развитии микроорганизмов судили по появлению бурой окраски среды, вызванной образованием соединений трехвалентного железа.

Предусматривалась предварительная обработка руды сернокислотным раствором. При биовыщелачивании разрушаются сульфиды, и частицы золота

становятся доступными для выщелачивающих агентов: цианида, хлори-

да железа, тиосульфата и др. Извлечение благородных металлов проводили агитационным методом.

Результаты и их обсуждения. Спектральным анализом пробы исследуемой руды определено содержание небольших количеств золота, серебра, свинца, цинка, марганца, натрия, алюминия, кремния.

При изучении физико-механических свойств исследуемой руды обнаружены свойства, свидетельствующие о ее упорности, одним из которых является низкий коэффициент фильтрации.

Проведенные рентгенофазовые исследования проб малосульфидной руды месторождения Бестобе до и после выщелачивания серной кислотой показали, что вещественный состав данной руды представлен основными рудными (арсенопирит, пирит, сфалерит, халькопирит, галенит) и нерудными (кварц, кальцит, хлориты, альбит, целестин) минералами (таблица 1).

Таблица 1 – Вещественный состав руды месторождения Бестобе

Название	Формула	%
Кварц	SiO_2	42,3
Арсенопирит	FeAsS	14,9
Доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	11,6
Альбит	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	2,0
Кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	8,7
Мусковит	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	6,6
Клинохлор	$(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	2,4
Пирит	FeS_2	2,3

По результатам рентгенофазового анализа подтвердилось наличие больших количеств железа, кремния, алюминия. Относительно высокое содержание золота (3,6 г/т), видимо, связано с неравномерным его распределением, содержание серебра составляет 1,5 г/т.

Спектральным анализом пробы исследуемой руды определено содержание небольших количеств следующих элементов: золота, серебра, цинка, натрия, алюминия, кремния (таблица 2).

Химический состав руд месторождения Бестобе позволяет отнести их к золотокварцевому малосульфидному типу. По результатам химического анализа в исходной руде (жила Даль-

Таблица 2 – Атомно-эмиссионный спектральный анализ

Au	Ag	Cu	Fe	Zn	As	Si	Al	Na	Mg
≥ 3 г/т	$\sim 0,001$ %	$> 0,01$ %	> 3 %	перекр. Na	$> 0,01$ %	> 1 %	много	много	> 3 %

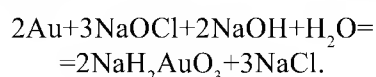
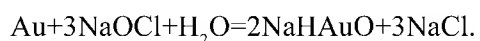
няя) содержится: Au – 3,6, Ag – 1,5 г/т, Cu – 0,011, Fe – 3,7, Zn – 0,014, Co – 0,75, Ni – 0,11, As – 0,45, Sb – 0,078, C – 1,52, S_{общ.} – 0,76, Si > 1 %.

Изучение химического состава и физико-механических свойств исследуемой руды показало необходимость применения комбинированных способов эффективного извлечения благородных металлов при агитационном выщелачивании.

Агитационный метод выщелачивания благородных и сопутствующих металлов объединил следующие операции: предподготовка исходной руды (измельчение до 0,074 мм). Навеска руды месторождения Бестобе составляла 100 грамм, концентрация серной кислоты – 2 % (11,6 г/дм³) и поддерживалась в диапазоне pH 4,0–8,0. Время выщелачивания (8, 16, 32, 48) часов. Температура 20 °С. Физико-химические методы исследования при извлечении Au и Ag из растворов предусматривали применение окислителей (хлорида железа и гипохлорита натрия). Для исследования были взяты растворы следующего состава: H₂SO₄ + бактерии (A. ferrooxidans); H₂SO₄ + бактерии + FeCl₃; H₂SO₄ + бактерии + FeCl₃ + NaOCl (таблица 3).

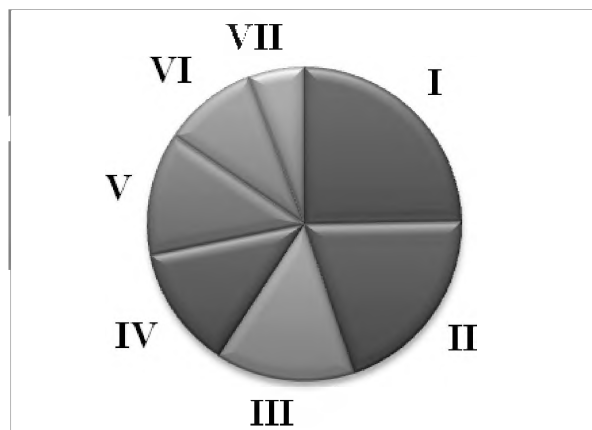
Как видно из таблицы 3 лучшие результаты повышения степени извлечения благородных металлов прослеживаются в растворах (H₂SO₄ + бактерии + FeCl₃ + NaOCl) уже через 8 часов контакта и составляют 38,7 Au и Ag 15,6 %. Через 48 часов степень извлечения золота в таком растворе увеличивается до 60,1, Ag – 30,1 %. Видимо, это связано с высокой активностью хлора, который участвует в раскрытии части минералов, скрывающих дисперсное золото.

Химическое взаимодействие золота с гипохлоритом можно представить следующим образом:



В таком составе выщелачивающего раствора золото предположительно образует следующие комплексы: NaH₂AuO₃ или Na₂HAuO₃ и Ag + (AgCl) [9, 10].

На круговой диаграмме (рисунок 1) показана доля извлечения золота в зависимости от применения



I – H₂SO₄ + FeCl₃ + гипохлорит, II – H₂SO₄ + FeCl₃ + A. ferrooxidans, III – H₂SO₄ + A. ferrooxidans + тиомочевина, IV – H₂SO₄ + FeCl₃ + NaOCl, V – бактериальный раствор, VI – цианирование, VII – H₂SO₄ + A. ferrooxidans

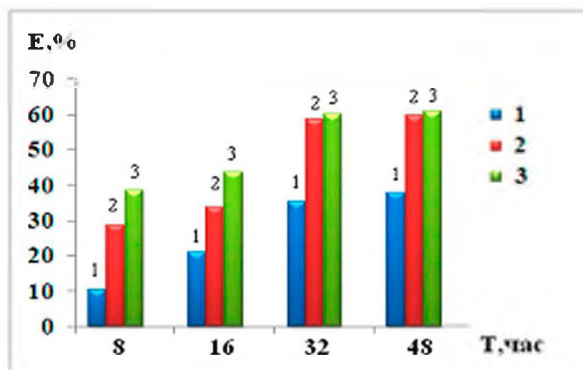
Рисунок 1 – Влияния химических окислителей и A. ferrooxidans на извлечение золота

окислителей. Проведенный анализ наглядно показал, что доля золота в выщелачивающем растворе H₂SO₄ + FeCl₃ + NaOCl увеличивается, а доля золота после цианирования уменьшается (I, VI).

При биохимическом окислении сульфидов использовали железоокисляющие бактерии A. ferrooxidans, которые хорошо окисляют сульфидные минералы рудного сырья. В начальный период исследований в результате окислительных и восстановительных процессов концентрация Fe⁺³ снижается с 3 до 1,5 г/дм³.

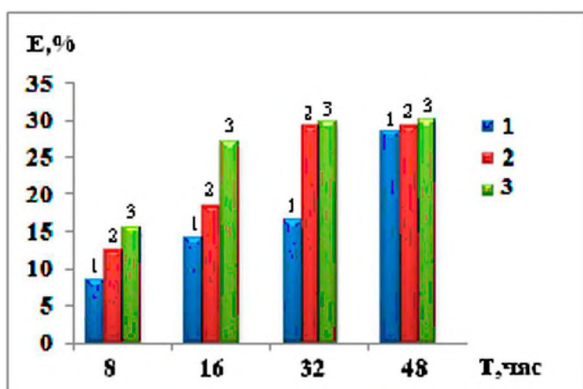
Таблица 3 – Извлечение благородных и сопутствующих металлов агитационным методом (месторождение Бестобе)

Выщелачивающий раствор	pH	Т, час	Степень извлечения металлов (Е, %)				
			Au	Ag	Cu	Zn	Fe
H ₂ SO ₄ + бактерии	5,1	8	10,4	8,5	1,3	1,8	10,5
	5,5	16	28,7	14,1	1,9	1,9	11,4
	5,7	32	35,3	16,5	2,3	2,1	13,8
	5,9	48	37,8	28,4	4,5	2,8	19,7
H ₂ SO ₄ + бактерии + FeCl ₃	3,4	8	20,8	12,5	1,1	1,9	10,8
	6,5	16	33,9	18,6	1,4	2,1	13,6
	6,3	32	58,7	20,3	2,0	2,7	15,8
	5,9	48	59,6	29,4	2,6	3,8	20,3
H ₂ SO ₄ + бактерии + FeCl ₃ + NaOCl	8,4	8	38,7	15,6	1,7	1,8	1,4
	8,7	16	43,8	27,2	1,1	2,2	2,1
	8,8	32	60,2	29,9	2,9	3,4	23,9
	8,8	48	61,0	30,1	3,4	3,9	24,5



1 – H₂SO₄+бактерии, 2 – H₂SO₄+бактерии+FeCl₃,
3 – H₂SO₄+бактерии+FeCl₃+NaOCl

Рисунок 2 – Степень извлечения золота из сульфидной руды месторождение Бестобе (жила дальняя)



1 – H₂SO₄+бактерии, 2 – H₂SO₄+бактерии+FeCl₃,
3 – H₂SO₄+бактерии+FeCl₃+NaOCl

Рисунок 3 – Степень извлечения серебра из сульфидной руды месторождение Бестобе (жила дальняя)

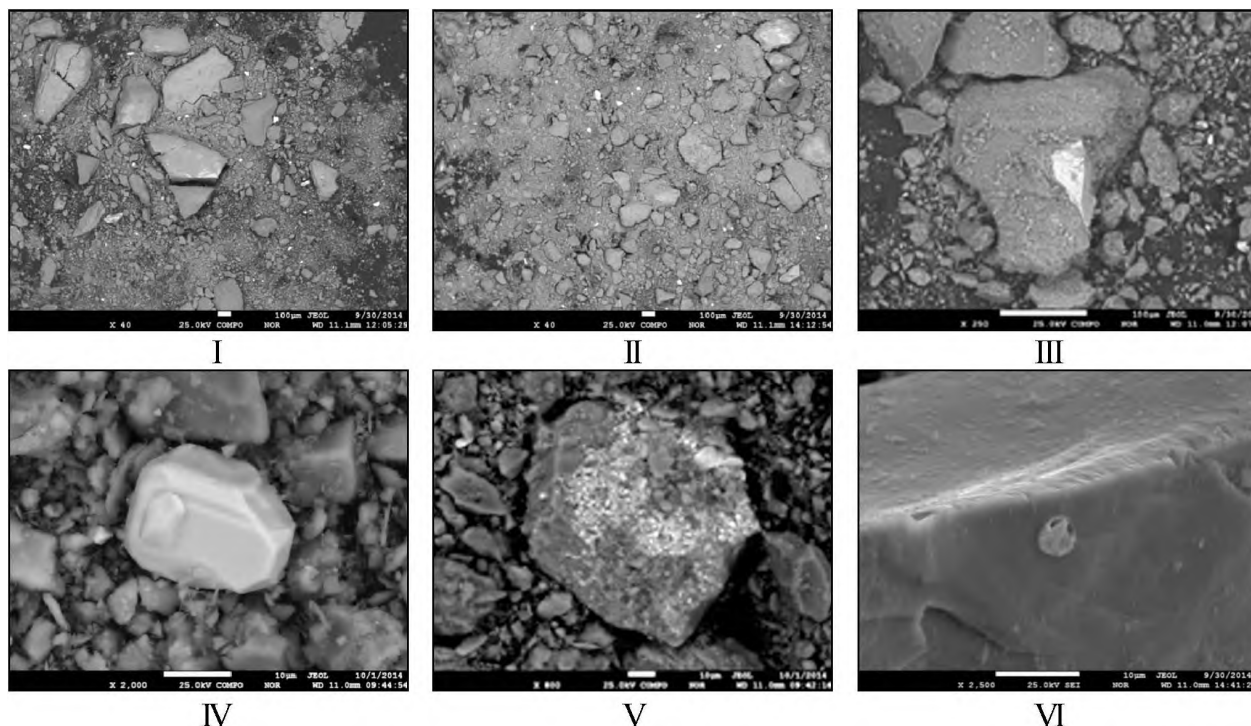
A.ferrooxidans заново окисляют закисное железо, которое принимает вновь трехвалентную форму. Механизм биовыщелачивания золота относительно прост. При биовыщелачивании золота разрушаются сульфиды и частицы золота становятся доступными для таких выщелачивающих реагентов как тиосульфат, тиомочевина, цианид и др. Непосредственно в кислых растворах 3-валентное железо превращается в мощный окислитель и разрушает сернистые соединения, освобождая прочные связи с металлами. При выщелачивании руды в присутствии серной кислоты и бактерий извлекается 10,4 Au и 8,5 % Ag в течение 8 часов, при pH 5,1, а спустя 48 часов выщелачивания степень извлечения золота составила 37,8, серебра 27,4 %. При введении окислителей (H₂SO₄+FeCl₃+бактерии)

отмечается увеличение степени извлечения золота за 8 часов до 20,8, серебра – 10,5 %, через 48 часов было зафиксировано увеличение степени извлечения золота до 59,6 и 29,4 % серебра (таблица 3, рисунки 2, 3). Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что хлорид железа и гипохлорит натрия являются наиболее эффективными окислителями при бесцианидном выщелачивании благородных металлов в кислой среде, что имеет важное значение для экологической безопасности окружающей среды.

По данным микрозондовых исследований установлено, что химический состав следующий, вес, %: CaO – 1,35; P₂O₅ – 1,18; F – 1,44 %.

Электронно-микроскопические исследования показали*, что основную массу исходной руды составляют минералы природных силикатов, хорошо оформленные, плоскопризматические (рисунок 4, I). Кварц имеет однотипную структуру и крупность (рисунок 4, II). На развитой поверхности среди сульфидов преобладают пирит и арсенопирит. В меньшем количестве присутствуют антимонит, сфалерит, халькопирит, галенит. Форма зерен кварца представлена неправильной формы призмы (рисунок 4, III). Как видно на рисунке представлен кварцевый обломок с гладкой поверхностью, без посторонних налетов. Однако часть таких кварцевых зерен сохраняет на себе мусковитные корочки (рисунок 4, VI). С помощью электронно-микроскопических исследований был установлен химический состав поверхности кварцевых зерен. На их поверхности было обнаружено более десяти химических элементов, включающих Al, Fe, Na, K, Mg, Ca, Si. Причем установлено, что Al, Fe, K, Mg относятся к числу постоянно присутствующих в кварце примесей, тогда как элементы Na, Ca, Zn не являются постоянными. Электронно-микроскопические исследования показали, что после выщелачивания руды серной (2 %) кислотой в присутствии окислителей (гипохлорит натрия) на поверхности кварца уменьшается количество Al, Fe, Na, K, Mg, Ca. Содержание химических элементов составило в среднем Mg 1,9, Ca 1,33 %, остальное – кислород. Необходимо отметить, что в процессе биоокисления в значительной степени изменяются зерна пирита.

* Авторы статьи выражают благодарность за проведенные электронно-микроскопические исследования ведущему научному сотруднику АО ЦНЗМО, кандидату технических наук Б. М. Сукурову.



I – общий вид исходной руды, II – чистое кварцевое зерно, III – руда после выщелачивания H_2SO_4 +гипохлорит, IV – кварцевое зерно, V – поверхностные кварцевые зерна, VI – руда+мусковитовые корочки

Рисунок 4 – Электронно-микроскопические изображения пробы руды месторождения Бестобе

Более крупные зерна пирита скорее подвержены интенсивному разрушению, что ведет естественно к различным изменениям в составе. Совсем мелкие фрагменты зерен при выщелачивании порой не разрушаются. При этом остаются практически не затронутыми разрушением мелкие зерна пирита, которые содержат золото.

Выводы. Полученные экспериментальные данные по извлечению благородных металлов из упорных руд показывают, что использование комбинированного подхода, включающего сочетание методов рудоподготовки, применения биохимической обработки и химических окислителей для снижения упорности сырья обеспечивают эффективность и экологическую безопасность технологии переработки такого сырья.

Применение окислителей (хлорида железа и гипохлорита натрия) при извлечении благородных металлов способствует повышению степени извлечения их в раствор. Наилучшие результаты прослеживаются в растворах ($H_2SO_4 + FeCl_3 + NaOCl$) через 8 часов контакта и составляют 38,7 Au и 15,6 % Ag, а через 48 часов увеличиваются до 61,0 и 30,1 % соответственно.

Использование ацидофильных бактерий (*Acidithiobacillus ferrooxidans*), раствора серной кислоты с различными окислителями вместо

цианистого растворителя позволяет достигнуть хороших результатов по извлечению золота в раствор при сокращении продолжительности выщелачивания в 2 раза. Однако, с возрастанием концентрации химических соединений – серной кислоты, хлоридов, двухвалентного железа и т. д. – в среде снижается рост и развитие железоокисляющих бактерий.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Даукеев С.Ж. Золоторудный потенциал Казахстана // Минеральные ресурсы Казахстана. – 1994. – № 1. – С. 79-98.
- 2 Муканов Д. Металлургия Казахстана: состояние, инновационный потенциал, тренд развития. – Алматы: РГП НЦ КПМС РК, 2005. – 290 с.
- 3 Бегаев И.В., Степаненко Н.И. Золотоносные коры выветривания Северного Казахстана и Семипалатинского Прииртышья // Геология и разведка недр Казахстана. – 1995. – № 5. – С. 29-34.
- 4 Кокетаев А., Мейрманова А., Жактаева Р., Артыкбаев К., Тамабаева С. Стратегические ориентиры развития горно-металлургического комплекса // Промышленность Казахстана. – 2009. – № 4(55) – № 5(56). – С. 31-34.
- 5 Лодейщиков В.В. Панченко А.Ф. Технологическая оценка некоторых растворителей золота // Бюлл. ЦИИПцветмет. – 1967. – № 24. – С. 8-10.
- 6 Лодейщиков В.В., Панченко А.Ф., Брянцева Л.И.

Применение тиомочевина в качестве растворителя золота из руды // Тр. ин-та Иргиредмет. Иркутск. – 1968. – Т. 19. – С. 72-84.

7 Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: В 2-х томах. – Иркутск: ОАО Иргиредмет, 1999. – 786 с.

8 Лодейщиков В.В., Панченко А.Ф., Хмельницкая О.Д. Тиокарбамидное выщелачивание золотых и серебряных руд // Гидрометаллургия золота: сб. трудов под ред. Ласкорина Б.Н., М.: Наука, 1980. – С. 26-35.

9 Черняк А.С., Овчинникова О.В. Вторичные ионообменные явления в процессах выщелачивания золота и серебра // Гидрометаллургия золота: сб. трудов под ред. Ласкорина Б.Н., М.: Наука, 1980. – С. 152-156.

10 Еденбаев С.С., Жунусова Г.Ж., Алтайбаев Б.Т., Таймасова А.Н., Кальянова О.А. Поведение золота в системах $\text{Au-H}_2\text{SO}_4\text{-NaClO}$ и $\text{Au-H}_2\text{SO}_4\text{-KClO}_3$ // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: Матер. Междунар. научно-практич. конф., Санкт-Петербург, Россия, 4-5 декабря 2012. – С. 161-168.

REFERENCES

- 1 Daukeev S.Zh. *Mineral'nye resursy Kazakhstana*, 1994, 1, 79-98 (in Russ).
- 2 Mukanov D. *Metallurgiya Kazakhstana: sostoyanie, innovatsionnyj potentsial, trend razvitiya*. Almaty.

RGP NTs KPMS RK, 2005, 290 (in Russ).

3 Begaev I.V., Stepanenko N.I. *Geologiya i razvedka nedr Kazakhstana*. 1995, 5, 29-34 (in Russ).

4 Koketaev A., Mejmanova A., Zhaktaeva R., Artykbaev K., Tamabaeva S. *Promyshlennost' Kazakhstana*, 2009, 4(55)-5(56), 31-34 (in Russ).

5 Lodejshchikov V.V., Panchenko A.F. *Byull. TsIIPsvet. met*, 1967, 24, 8-10 (in Russ).

6 Lodejshchikov V.V., Panchenko A.F., Bryanceva L.I. *Primenenie tiomocheviny v kachestve rastvoritelya zolota iz rudy. Tr. in-ta Irgiredmet*. 1968, 19, 72-84 (in Russ).

7 Lodejshchikov V.V. *Tekhnologiya izvlecheniya zolota i serebra iz upornykh rud. V 2-h tomakh. Irkutsk. OAO Irgiredmet*, 1999, 786 (in Russ).

8 Lodejshchikov V.V., Panchenko A.F., Khmel'nitskaya O.D. *D. Tiokarbamidnoe vyshchelachivanie zolotykh i serebryanykh rud. Gidrometallurgiya zolota. sb.trudov pod red. Laskorina B.N. M. Nauka*. 1980, 26-35 (in Russ).

9 Chernyak A.S., Ovchinnikova O.V. *Vtorichnye ionoobmennye yavleniya v protsessakh vyshchelachivaniya zolota i serebra. Gidrometallurgiya zolota. Sb.trudov pod red. Laskorina B.N. M. Nauka*. 1980 (in Russ).

10 Edenbaev S.S., Zhunusova G.Zh., Altaibaev B.T., Tajmasova A.N., Kal'yanova O.A. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya, razrabotka i primenenie vysokikh tekhnologij v promyshlennosti i ehkonomie. Mater. Mezhdunar. nauchno-praktich. konf. St. Petersburg, Russia*, 4-5.12.2012, 161-168 (in Russ).

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақала Бестөбе кенорнының сульфидті кендерінен асыл металдарды қышқылдық ортада бөліп алу-дың құрамдастырылған әдісіне арналған. Тәжірибелерде 5-10 мм мөлшердегі фракциялар қолданды. Алтынды қышқылдық шаймалау кезінде лабораториялық зерттеулерде екі бағытты ескерген құрамалы әдістер қолданылды: физика – химиялық (темір хлориді және натрий гипохлориты тотықтырғыштары көмегімен) және биохимиялық әдіс: қоректендіргіш ортада белгілі әдістемелер бойынша лабораторияда өсірген *Acidithiobacillus ferrooxidans* темір тотықтыратын бактерияларды қолдануымен. Цианды еріткіштің орнына ұсынылған күкірт қышқылының, тотықтырғыштардың (темір хлориді және натрий гипохлориты) және ацидофилді бактериялардың *Acidithiobacillus ferrooxidans* тіркесімі алтынның бөліну дәрежесін 61,0 %-ға, ал күмістің – 31,1 %-ға (48 сағатта) арттыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған әдістердің жиынтығы шикізатты өңдеу технологиясының тиімді және экологиялық қауіпсіз болуын қамтамасыз етеді.

Түйінді сөздер: металдарды бөліп алу, сульфидті кендер, натрий гипохлориті, темір хлориді, алтын, күміс, ацидофилді бактериялар.

SUMMARY

The article is devoted to combined method of extraction of precious metals in acidic medium from sulphidic ore of Bestobe deposit. In the experiments the fractions with size of 5-10 mm were used. In the laboratory studies of gold acidic leaching the combined approach was applied, that involves two directions: physical-chemical (in the presence of oxidizers – iron chloride and sodium hypochlorite) and biochemical with using iron-oxidizing bacteria *Acidithiobacillus ferrooxidans*, which were grown in the laboratory by standard methods on nutrient medium. The proposed combination of sulphuric acid, oxidizing agents (iron chloride and sodium hypochlorite) and acidophilous bacteria – *Acidithiobacillus ferrooxidans*, instead of cyanic solvent promotes increasing the degree of gold extraction up to 61,0 and silver – up to 31,1 % (for 48 hours). Combination of proposed methods provides effective and ecological safety technology of raw materials processing.

Keywords: metals recovery, sulphidic ore, sodium hypochlorite, iron chloride, gold, silver, acidophilous bacteria.

Поступила 31.10.2014