

Е. МАГАД, А. К. КОЙЖАНОВА*, М. М. ИГНАТЬЕВ, Э. М. КАМАЛОВ, Г. А. ЗЕНКОВА

АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения» АО «ННТХ «Парасат»,
Алматы *aigul_koizhan@mail.ru

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА МЕТОДОМ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ИЗ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЕСТОБЕ

В статье представлены результаты аналитических и технологических исследований укрупненных испытаний по перколяционному выщелачиванию золота из пробы руды месторождения Бестобе. С этой целью комплексом физико-химических исследований определен вещественный состав данной руды. Определена оптимальная крупность при дроблении для формирования кучи (-20+10 мм). Накоплено необходимое количество биомассы бактерий *A. ferrooxidans* для обработки руды после кислотной промывки от цветных металлов. Кислотная обработка руды совместно с культуральной жидкостью позволяет значительно увеличить извлечение золота. Для насыщения кислородом в рудную массу вносится твердый пероксид натрия (в соотношении Na_2O_2 : руда = 1:100), при разложении которого в процессе выщелачивания обеспечивалось повышение извлечения золота на ~5 % и ускорялся сам процесс выщелачивания в 1,5 раза. На основании результатов лабораторных исследований проведены укрупненные испытания биохимической технологии извлечения золота из руды при оптимальных режимах выщелачивания с выдачей исходных данных для проектирования участка кучного выщелачивания. Проведенные исследования показали преимущества совместного химического и биохимического кучного выщелачивания бедных руд, которое приводит к интенсификации процесса извлечения золота и экономии цианида натрия. Результаты цианирования руды показали, что в условиях эксперимента степень извлечения золота довольно высокая. Бактериальное вскрытие золота дополнительно поднимает степень извлечения на 8-13 % и при этом общее извлечение золота составляет 83 %.

Ключевые слова: руда, кучное выщелачивание, перколяционное выщелачивание, золото, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, извлечение, бактерии, биохимическая технология.

Введение. Одной из актуальных задач современной золотодобывающей промышленности является вовлечение в производство бедных руд, что позволяет существенно расширить сырьевую базу и увеличить объем производства золота. Общепринятые методы извлечения золота из таких руд, как правило, неэффективны. Для решения этой проблемы требуется нетрадиционный подход.

На территории Казахстана имеется целый ряд крупных и мелких месторождений золота, которые относятся к бедным (с содержанием целевого металла не более 1,5-2,5 г/т руды). Запасы таких руд весьма значительны. Однако в отличие от зарубежных стран в Казахстане методы выщелачивания в настоящее время находятся только на стадии развития, несмотря на то, что некоторые научно-исследовательские институты СНГ и Казахстана при участии золотоизвлекающих предприятий многие годы

проводят исследования в этом направлении.

При этом необходимо отметить, что золотосодержащие руды большинства месторождений нашей республики сложены сульфидными минералами: арсенопиритом и пиритом, тонкая ассоциация золота с которыми делает эти руды упорными. К такому типу, в частности, относится и руда месторождения Бестобе, оруднение которого формировалось в золото-пирит-арсенопиритовую и золотометаллическую стадию, чем и вызываются трудности извлечения золота при выщелачивании.

В настоящее время по экологическим и экономическим соображениям предпочтение отдается биогидрометаллургической технологии, так как при бактериальном выщелачивании упорных золотосодержащих руд микроорганизмы, окисляя сульфидные минералы, разрушают их кристаллические решетки. При этом железо, сера, мышьяк переходят в бактериальный раствор.

С помощью бактерий железо (II) и сера окисляются до железа трехвалентного и серной кислоты. В этих процессах поверхность золота становится доступной для цианирования, и золото легко извлекается [1-4].

Особенно большой прогресс в последние годы достигнут в развитии процессов чанового бактериального выщелачивания, основы которого были разработаны на кафедре обогащения руд цветных и редких металлов МИСиС совместно с Институтом микробиологии РАН.

Практическая ценность метода чанового бактериального выщелачивания заключается в том, что он может применяться для очистки концентратов от вредных примесей, таких, как мышьяк, для разрушения кристаллической решетки сульфидных минералов с целью вскрытия тонковкрапленного золота, для селективного извлечения металлов из коллективных концентратов, для повышения качества некондиционных концентратов и т.п. [5].

В последние годы наблюдается значительный рост интереса ученых всего мира к проблемам биогидрометаллургии. За несколько десятков лет прошло множество крупных международных симпозиумов, посвященных проблемам бактериально-химического извлечения металлов и элементов.

Как показали исследования и большой практический опыт эксплуатации промышленных установок за рубежом, технология бактериального выщелачивания по сравнению с окислительным обжигом и автоклавным выщелачиванием обладает высокой экономической эффективностью за счет снижения капитальных затрат (в 5 раз) и уменьшения эксплуатационных расходов (в 3 раза) [6-9].

Эффективное извлечение благородного металла из таких руд может быть достигнуто путем их предварительной обработки с вскрытием тонкодисперсного золота, ассоциированного сульфидными минералами.

Цель настоящих исследований – интенсификация извлечения золота методом кучного выщелачивания из руды месторождения Бестобе.

Экспериментальная часть. Объект исследований – золотосодержащая руда месторождения Бестобе.

Реагенты. Цианид натрия NaCN технической; пероксид натрия Na_2O_2 квалификации "хч".

Подготовка биомассы бактерий. Выделение микроорганизмов, важных для гидроме-

таллургии, проводят путем посева соответствующих проб руды или растворов на питательные среды. Таким путем получают накопительные культуры. С этой целью была приготовлена питательная среда для бактерий *A. ferrooxidans*: $\text{FeSO}_4 - 5 \text{ г/дм}^3$; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 1,5 \text{ г/дм}^3$; $\text{MgSO}_4 - 0,5 \text{ г/дм}^3$; $\text{K}_2\text{HPO}_4 - 0,5 \text{ г/дм}^3$; pH среды довели до 2,0 серной кислотой.

В колбы Эрленмейера на 0,1 л вносят 0,030 л стерильной среды Сильвермана и Люндгрена 9 К и пробы рудничной воды или руды из месторождений сульфидных руд, затем инкубируют при 30 °С до появления роста. О развитии бактерий судят по появлению бурой окраски среды, вызванной образованием соединений трехвалентного железа.

Перед бактериальным выщелачиванием биомассу бактерий *A. ferrooxidans* выращивали в течении 7 суток.

Методы анализа. Химический состав руды по данным атомно-адсорбционного анализа следующий, %: Cu 0,001; Zn 0,014; Ni 0,11; Co 0,075; Fe 3,7; As 0,45; Sb 0,078; MgO 0,8; C 1,52; $S_{\text{общ}}$ 0,76; Si >1; Ag 1,5 г/т; Au - 3,0 г/т.

Методика проведения экспериментов. Приведенные гранулометрические характеристики, типичные для kernового материала: низкий выход рудной мелочи без дробления и только при дроблении до -20 мм и мельче выход мелкого материала приобретает нормальный вид. Результаты гранулометрического анализа после дробления и измельчения руды приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав руды месторождения Бестобе

Класс, мм	Выход класса, %		
	без дробления	дробление до -50 мм	дробление до -20 мм
+50	51,4	–	–
-50+35	38,5	56,0	–
-35+20	4,7	18,3	–
-20+10	3,9	19,3	46,475
-10+6	0,7	3,7	17,375
-6+2	0,2	1,3	17,475
-2+0	0,6	1,4	18,675
Сумма	100	100	100

Учитывая наличие в руде цветных металлов, которые могут образовать цианидные комплексы, и, как следствие, повышать расход NaCN в процессе выщелачивания золота, возникает не-

обходимость предварительного удаления этих компонентов из руды, что достигается обработкой раствором $5 \text{ г/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$.

Для вскрытия тонкодисперсного золота нами была успешно применена обработка золотосодержащей руды химическими (Na_2O_2) и биологическими (*A. ferrooxidans*) окислителями. Последние окисляют сульфиды, разрушая их кристаллическую решетку. Как следствие, поверхность золота становится доступной для выщелачивающего агента (NaCN).

Таковыми способами можно исключить недостатки кучного выщелачивания а именно низкое извлечение золота, неуправляемость процесса и большую продолжительность цикла выщелачивания.

Для этих целей наработано необходимое количество биомассы бактерий *A. ferrooxidans*, которой обрабатывалась руда в процессе кислотной промывки от цветных металлов. Такой технологический прием необходим для экономии дорогостоящего цианида натрия в процессе дальнейшего выщелачивания золота. Кислотная обработка руды совместно с культуральной жидкостью позволяет значительно увеличить извлечение золота.

Для насыщения кислородом в исследуемую пробу руды вносится твердый пероксид натрия, при разложении которого в процессе выщелачивания обеспечивалось повышение извлечения золота на ~5 % и ускорялся сам процесс выщелачивания почти в 1,5 раза.

Результаты и их обсуждение. По результатам предварительных исследований предложена технологическая схема укрупненных испытаний (рисунок), которая включает следующие стадии:

- усреднение руды с отбором проб для анализа;
- рудоподготовка (дробление и измельчение руды);
- рассев по фракциям;
- загрузка в перколяторы руды определенной крупности с добавлением твердого Na_2O_2 ;
- подготовка химических и бактериальных растворов для выщелачивания;
- агитационное химическое и биохимическое выщелачивание золота (для сравнения с перколяционным выщелачиванием);
- обработка рудной массы в малых колонках раствором серной кислоты ($\text{H}_2\text{SO}_4 - 5 \text{ г/дм}^3$) и бактериальным раствором для удаления цвет-

ных металлов с целью снижения расхода NaCN при выщелачивании золота;

- водная отмывка руды в перколяторах от остаточного содержания серной кислоты;
- защелачивание руды до $\text{pH} = 10,5-11,0$;
- выщелачивание золота раствором NaCN с концентрацией 1 г/дм^3 ;
- анализ руды после выщелачивания золота.

Схема укрупненных испытаний предусматривает:

- дробление руды до крупности $-20+10 \text{ мм}$, которую загружают в перколяторы емкостью по 20 кг каждый. Фракцию $-10+0 \text{ мм}$ (в случае промышленных испытаний) необходимо гранулировать с подачей гранул на кучу для выщелачивания;
- наработку биомассы *A. ferrooxidans* для интенсификации окислительных процессов;
- подготовку растворов для выщелачивания золота (раствор серной кислоты с концентрацией $5 \text{ г/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$; цианистый раствор с концентрацией $1 \text{ г/дм}^3 \text{ NaCN}$ и $\text{pH} = 10,5-11,0$).

Ранее для насыщения кислородом в исследуемую пробу руды вносили твердый пероксид натрия в соотношении Na_2O_2 : руда = $1:100$. На начальном этапе испытаний руду орошали растворами $\text{H}_2\text{SO}_4 - 5 \text{ г/дм}^3$ и бактериальным для удаления присутствующих цветных металлов, "оттягивающих" на себя цианиды и нарушающих ход реакции растворения золота. После обработки серной кислотой руда в перколяторах подвергалась промывке водой до нейтральной реакции, а затем защелачивалась раствором NaOH до pH вытекающего раствора $10,5-11,0$.

После проведения подготовительных операций следовал этап непосредственных укрупненных испытаний, который начался с орошения руды раствором NaCN с концентрацией, равной 1 г/дм^3 , и $\text{pH} = 10,5$ на начальном этапе.

Проведенные исследования показали преимущества биохимического кучного выщелачивания бедных руд, которое заключается в интенсификации процесса извлечения золота и экономии цианида натрия.

Результаты цианирования руды показали, что в условиях эксперимента степень извлечения золота довольно высокая. Бактериальное вскрытие золота дополнительно поднимает степень извлечения на $8-13 \%$ и при этом общее извлечение золота составляет 83% .

Укрупненные испытания практически мож-

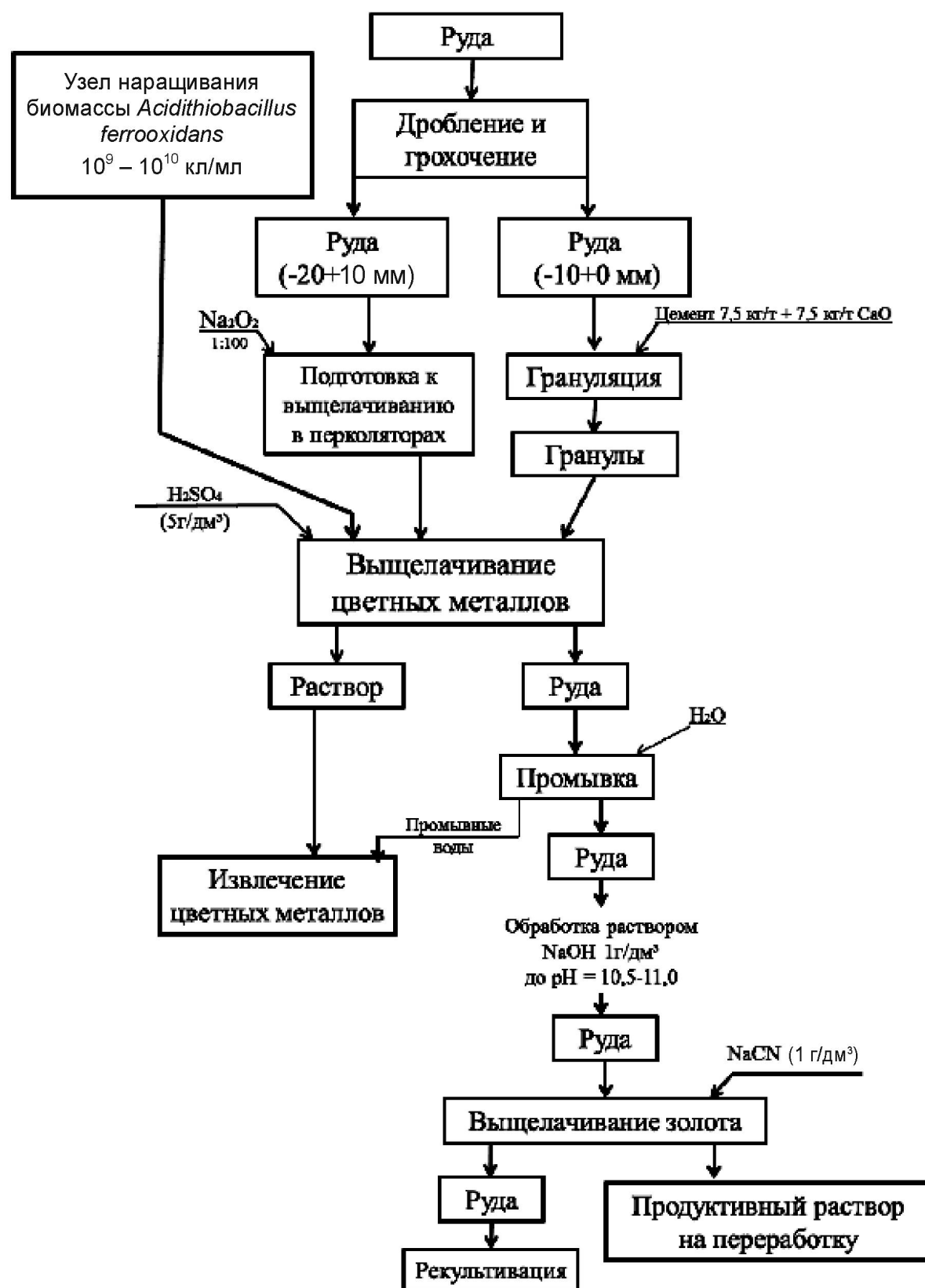


Схема укрупненных испытаний золотосодержащей руды месторождения Бестобе

но разделить на два основных этапа:

- подготовительные операции;
- непосредственное извлечение золота в продуктивный раствор.

С учетом литературных сведений по кучному выщелачиванию золота и практических результатов, полученных в процессе укрупненных испытаний, при проектировании участка кучного выщелачивания золота из руды месторождения Бестобе, необходимо руководствоваться исходными данными, представленными в таблице 2, для достижения 80-83 % извлечения золота.

Таблица 2 – Исходные параметры и условия кучного выщелачивания золота из руды месторождения Бестобе

Крупность дробления руды	-20+10 мм
Количество стадий дробления	2 (щековая и конусная дробилки)
Влажность руды	~5 %
Формирование площадки для кучного выщелачивания	Гидроизоляционное основание
Толщина глиняного защитного основания (уплотнения)	300-500 мм
Толщина защитной пленки	Не менее 0,5-0,7 мм в два слоя
Толщина защитного слоя песка	200-300 мм
Формирование рудного штабеля	
высота яруса	8 м
насыпной вес руды	1,53 т/м ³
угол естественного откоса	40°
Кучное выщелачивание	
Концентрация H ₂ SO ₄ в промывном растворе	5 г/дм ³
Концентрация бактерий в растворе	10 ⁶ -10 ⁹ кл/мл
Концентрация Fe ₂ (SO ₄) ₃	5 г/дм ³
Метод орошения	Капельный
Интенсивность орошения, сут.	0,22-0,26 м ³ /м ²
Потери воды на испарение	20 %
Концентрация NaCN в рабочем растворе	0,5 г/дм ³
pH рабочего раствора	10,5-11,0
Извлечение золота	80-83 %

Выводы. Проведены исследования по переработке золотосодержащей руды месторождения Бестобе с извлечением золота методом биохимического кучного выщелачивания. С этой

целью комплексом физико-химических исследований определен вещественный состав данной руды. Определена оптимальная крупность при дроблении для формирования кучи (-20+10 мм). Накоплено необходимое количество биомассы бактерий *A. ferrooxidans* для обработки руды в процессе кислотной промывки от цветных металлов. Кислотная обработка руды совместно с культуральной жидкостью позволяет значительно увеличить извлечение золота.

Проба руды представлена kernовым материалом с относительно невысоким содержанием полезных компонентов: меди 0,001 %, железа 3,7 %, никеля 0,11 %, золота 3,0 г/т и серебра 1,5 г/т.

Для насыщения кислородом в рудную массу вносится твердый пероксид натрия, при разложении которого в процессе выщелачивания обеспечивалось повышение извлечения золота на ~5 % и ускорялся сам процесс выщелачивания почти в 1,5 раза.

На основании результатов лабораторных исследований проведены укрупненные испытания биохимической технологии извлечения золота из руды при оптимальных режимах выщелачивания с выдачей исходных данных для проектирования участка кучного выщелачивания.

Проведенные исследования показали преимущества совместного химического и биохимического кучного выщелачивания бедных руд, которое приводит к интенсификации процесса извлечения золота и экономии цианида натрия.

Результаты цианирования руды показали, что в условиях эксперимента степень извлечения золота довольно высокая. Бактериальное вскрытие золота дополнительно поднимает степень извлечения на 8-13 % и при этом общее извлечение золота достигает 83 %.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Камалов М.Р. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1990. – 183 с.
- 2 Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. Кн. 1. – М.: МИСИС, 2005. – 431 с.
- 3 Дементьев В.Е., Гудков С.С., Емельянов Ю.Е. Сопоставление вариантов цианирования CIP и RIP продуктов бактериального окисления золотосодержащих концентратов // Цветные металлы. – 2005. – № 2. – С.18-19.
- 4 Каравайко Г.И. Микробиологические процессы выщелачивания. – М.: Наука, 1984. – 88 с.

5 Адамов Э.В. Чановый процесс бактериального выщелачивания // Цветная металлургия. – 1989. – № 8. – С. 11-14.

6 Rojas-Chapana I.A., Tributsch H. Biochemistry of sulfur extraction in biocorrosion of pyrite by *Thiobacillus ferrooxidans* // Hydrometallurgy. – 2001. – 59, № 2-3. – P. 291-300.

7 Tributsch H. Direct versus indirect bioleaching // Hydrometallurgy. – 2001. – 59, № 1-2. – P. 177-185.

8 Седельников Г.В., Савари Е.Е., Ким Д.Х. Использование биотехнологии – перспективный путь вовлечения в эксплуатацию месторождений с упорными рудами золота // Горный журнал. – 2006. – № 10. – С.52-57.

9 Jonson D.B. Importance of microbial ecology in development of new mineral technologies // Hydrometallurgy. – 2001. – 59, № 2-3. – P. 147-157.

REFERENCES

1 Kamalov M. R. *Rol' mikroorganizmov v vyshchelachivaniy metallov iz rudy v Kazakhstane* (Role of microorganisms in leaching of metals from ores in Kazakhstan). Alma-Ata: Nauka, 1990. 183 (in Russ.).

2 Kotlyar Yu.A., Meretukov M.A., Strizhko L.S. *Metallurgiya blagorodnykh metallov* (Metallurgy of noble metals). Book 1. Moscow: National University of Science and Technology MISIS, 2005. 431 (in Russ.).

3 Dement'ev V.E., Gudkov S.S., Emel'yanov Yu.E. *Sopostavlenie variantov tsianirovaniya CIP i RIP*

produktov bakterial'nogo okisleniya zolotosoderzhashchih kontsentratov (Comparison of cyanidation variants of CIP and RIP products of bacterial oxidation of gold-bearing concentrates). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. 2005. 2, 18-19 (in Russ.).

4 Karavaiko G.I. *Mikrobiologicheskie protsessy vyshchelachivaniya* (Microbiological processes for leaching). Moscow: Nauka, 1984. 88 (in Russ.).

5 Adamov E.V. *Chanovyy protsess bakterial'nogo vyshchelachivaniya* (Tank process of bacterial leaching). *Tsvetnaya metallurgiya = Non-ferrous metallurgy*. 1989. 8. 11-14. (in Russ.).

6 Rojas-Chapana I.A., Tributsch H. *Biochemistry of sulfur extraction in biocorrosion of pyrite by Thiobacillus ferrooxidans*. *Hydrometallurgy*. 2001. 59. 2-3. 291-300. (in Eng.).

7 Tributsch H. *Direct versus indirect bioleaching*. *Hydrometallurgy*. 2001. 59. 1-2. 177-185 (in Eng.).

8 Sedel'nikov G.V., Savari E.E., Kim D.Kh. *Ispol'zovanie biotekhnologii - perspektivnyi put' vovlecheniya v ekspluatatsiyu mestorozhdeniy s upornymi rudami zlota* (Use of biotechnology is perspective way involving in exploitation deposits with persistent gold ores). *Gornyy zhurnal = Mining journal*. 2006. 10. 52-57 (in Russ.).

9 Jonson D.B. *Importance of microbial ecology in development of new mineral technologies*. *Hydrometallurgy*. 2001. 59. 2-3. 147-157 (in Eng.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада Бестөбе кен орнынан алынған кен сынамаларынан алтынды перколяциялы шаймалау әдісімен алу үшін жүргізілген аналитикалық және технологиялық зерттеулер жұмыстарының нәтижелері келтірілген. Осыған орай кешенді физико-химиялық зерттеу нәтижесінде кен сынамаларының заттық құрамы анықталып, үйінді қалыптастыру үшін кен сынамаларын ұсақтаудың тиімді ірілігі (-20+10мм) белгіленді. Кен сынамаларын түсті металлдардан ажырату мақсатында қышқылмен шаю үрдісімен қоса өңдеуге қажетті *A. ferrooxidans* бактерияларының биомассасы алынды. Кен сынамаларын қышқыл ерітінділермен шаюмен бірге қосымша бактерияларды қолдану алтын алуды жоғарылатындығы дәлелденді. Кен сынамаларын оттегімен байыту үшін қатты түрдегі натрий асқын тотығын қосылды (Na_2O_2 ; кен сынамасы = 1:100), шаймалау кезінде ол ыдырап, нәтижесінде ~5 % алтын алуды жоғарылатып, шаймалау үрдісін 1,5 есеге жылдамдатқан. Лабораториялық зерттеу нәтижелері негізінде үймелеп шаймалау учаскелерін жобалау мақсатында шаймалаудың тиімді жағдайларын қолдана отырып, кен құрамынан биохимиялық технологиямен алтын алудың ірілендірілген сынақтары жүргізілді. Жасалған зерттеулер кедей кендердің құрамынан алтын алу үрдісін жеделдету және натрий цианидтің шығынын үнемдеу үшін химиялық және биохимиялық үймелеп шаймалау әдістерін бірлесе қолданған ең тиімді екенін дәлелдеді. Кен сынамаларынан цианидті шаймалау әдісін қолдана отырып, жоғары деңгейде алтын алуға болатындығын дәлелдейді. Сонымен қатар алтын алуда қосымша бактерияларды қолдану нәтижесінде алтын алу деңгейі 8-13 % жоғарылап, жалпы алынған алтын мөлшері 83 % құрағаны дәлелденді.

Түйінді сөздер: кен, шаймалау, алтын, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, алу, перколяциялы шаймалау, бактериялар, биохимиялық технология.

SUMMARY

The article presents the results of the analytical, technological research and tests on enlarged percolation leaching of gold from ore samples of Bestobe deposit. With this purpose material composition of the ore was determined by complex of physicochemical researches, also an optimal size of particles at ore crushing was determined (-20+10 mm) for heap formation. The required amount of biomass of *A. ferrooxidans* bacteria was accumulated for ore processing after the acid washing from non-ferrous metals. Acid treatment of the ore along

with culture liquid - allow significantly increase gold recovery. The solid sodium peroxide is applied to oxygenate the ore mass (ratio $\text{Na}_2\text{O}_2:\text{Ore} = 1:100$). Decomposition of the peroxide at leaching provides increase of gold recovery by $\sim 5\%$ and speeds of leaching process ~ 1.5 times. Enlarged tests of biochemical technology for gold recovery from the ore were carried out at the optimum leaching conditions found at laboratory researches and the initial data for projection of heap leaching site were issued. The researches showed the benefits of combined chemical and biochemical heap leaching of low-grade ores, which leads to intensification of the process of gold extraction and saving of sodium cyanide. Ore cyanidation results showed that in the experimental conditions gold extraction degree is quite high. Bacterial gold opening raises the extraction by 8-13 % and the total gold recovery up to 83 %.

Key words: ore, heap leaching, gold, Acidithiobacillus ferrooxidans, extraction, percolation leaching, bacteria, biochemical technology.

Поступила 13.02.2015



УДК 669.295/15/787.046:541.1

Комплексное использование
минерального сырья. № 1. 2015

М. А. НАЙМАНБАЕВ*, С. М. УЛАСЮК, М. И. ОНАЕВ,
Ж. К. ДЖУРКАНОВ, Н. Ш. АЛЖАНБАЕВА

АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения»,
Алматы, *madali_2011@inbox.ru

ВЛИЯНИЕ БРИКЕТИРОВАНИЯ ИЛЬМЕНИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ВИДА ВОССТАНОВИТЕЛЯ НА СОСТАВ ПРОДУКТОВ РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАВКИ

Определены условия брикетирования. Показано, что прочность брикетов зависит от количества связующего вещества, природы и крупности углеродистого восстановителя, крупности зерен ильменитового концентрата. Проведены исследования по плавке брикетов шихты, состоящей из ильменитового концентрата и восстановителя. В качестве восстановителя использовались коксовая мелочь, антрацит и полукокс, полученный из шубаркольского угля. Определен оптимальный расход восстановителя: для коксовой мелочи и полукокса – 70 %, для антрацита – 90 % от необходимого количества, используемого для восстановления оксидов железа до металла. При восстановительной плавке брикетов, состоящих из ильменитового концентрата и коксовой мелочи, получены шлаки, содержащие 84,9 % TiO_2 и 6,9 % FeO; с антрацитом – 85,6 % TiO_2 и 6,1 % FeO; с полукоксом, полученным из шубаркольского угля – 86,0 % TiO_2 и 5,9 % FeO. При плавке брикетированной шихты обеспечивается более тесный контакт ильменита с восстановителем, восстановление протекает полнее и более интенсивно. В результате время плавки сокращается на 0,5 ч, а температура плавки на 50 °С. Для переработки титансодержащего сырья рекомендовано использовать вместо импортного антрацита полукокс, полученный из казахстанского шубаркольского угля.

Ключевые слова: электроплавка, ильменитовый концентрат, брикетирование, оксид титана, оксид железа, титановый шлак, шихта.

Введение. Подготовка шихтовых материалов к плавке в руднотермических печах имеет большое значение для эффективности процесса. При выплавке титановых шлаков подготов-

ка сырья проводится методом брикетирования шихты.

Вопрос о целесообразности брикетирования концентратов перед плавкой является дискус-