

# Summary

The process of alkaline aluminate solution decomposition was investigated under hydrothermal conditions by using dispersed and factory seeds. For the decomposition process there were used factories aluminum hydroxide and aluminum hydroxide with the dispersed composition, which was previously obtained from the process of chemical precipitation under certain conditions. Structural studies of the aluminum hydroxide particles obtained by decomposition were carried out by means of the electron-probe microanalysis and scanning electron microscopy, and phase composition of products was determined by means of X-ray diffraction analysis. The result of experiments shows that at the decomposition of solution with concentration of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  127 g/dm<sup>3</sup> and  $\alpha_k$  1.5 the speed and degree of decomposition will be higher when dispersed seed is used compared to case of factories seed. The degree of maximal decomposition - 73.9% was obtained after 7 hours decomposition; under these conditions dispersed aluminum hydroxide was obtained and 90% of its particles size not exceeding 100 nm. It was established that this product in form of dispersed seed obtained by us considerably reduces the duration of the decomposition process, allows to obtain dispersed aluminum hydroxide

**Keywords:** aluminum hydroxide, dispersed seed, decomposition, particle diameter, nanoparticles, degree of decomposition, alkali aluminate solution.

Поступила 11.09.2013.

УДК 622.772:669.21:573.6.086

Комплексное использование  
минерального сырья. № 3. 2013.

Г.В. СЕМЕНЧЕНКО\*, А.Т. АБУБАКРИЕВ, Д.Р. МАГОМЕДОВ

АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», Алматы, \*ao.cnzmo@rambler.ru

## РАЗРАБОТКА УЧАСТКА БИОХИМИЧЕСКОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОТВАЛОВ АКБАКАЙСКОЙ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Для извлечения благородных металлов из отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики был разработан участок двухстадиального биохимического выщелачивания. На первой стадии отвалы подвергаются предобработке смешанной популяцией равного количества ацидофильных (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) и гетеротрофных (*Pseudomonas aureofaciens*) бактерий. Условия предобработки: перемешивание – 50-100 об./мин, pH = 2,0-2,5, длительность 120 часов. Затем смесь отстаивается (или фильтруется в фильтровальной машине), верхняя часть отправляется на рекультивацию ацидофильных бактерий, а нижняя – в чан для выщелачивания. На второй стадии отвалы выщелачиваются комплексным выщелачивающим раствором, состоящим из ингредиентов в концентрациях: аминокислота – 0,04 моль/дм<sup>3</sup>, роданид – 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, цианид – 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, концентрация гетеротрофных бактерий – 10<sup>6</sup> кл./см<sup>3</sup>. Условия выщелачивания: pH 9,8-10,0; температура – 20-23 °С, перемешивание в чане – 100 об./мин; соотношение Т:Ж = 1:2. При необходимости смена выщелачивающего раствора производится 2-3 раза. Смесь отстаивается. Осветленный раствор поступает на сорбцию, обеззолоченные отвалы – в хвостохранилище. Технология испытана в лабораторных условиях на отвалах акбакайской золотоизвлекательной фабрики с содержанием золота 2,2 г/т. Извлечение золота составило около 92%. Преимущества двухстадиального участка биохимического выщелачивания: предобработка смешанной популяцией ацидофильных и гетеротрофных бактерий дает возможность использовать минерализованную воду из местного источника Бескемпир, которая инактивирует монокультуру ацидофилов. Дополнительная переработка отвалов способствует снижению антропогенной нагрузки на природные экосистемы и увеличивает сквозное извлечение золота.

**Ключевые слова:** биовыщелачивание, отвалы, благородные металлы, золото, бактерии

**Введение.** На горнорудных предприятиях, добывающих сульфидные руды металлов, отработанная горная порода складировается и хранится в отвалах. При контакте ее с водой в толще отвалов самопроизвольно протекают

процессы окисления остатков сульфидов металлов кислородом воздуха до растворимых сульфатов с каталитическим участием населяющих отвалы микроорганизмов, в частности, *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

Сульфаты выносятся водой из точек образования и в отсутствие профилактических мер загрязняют реки и водоемы металлами. Разумное управление этими процессами позволяет одновременно решать две крупные проблемы:

- использовать отвалы горных пород как дополнительный забалансовый ресурс производства благородных и цветных металлов;
- ограничить загрязнение водного бассейна металлами за счет вывода их в товарную продукцию.

На примере одного из отвалов добычи полиметаллических руд в Восточном Казахстане (площадь > 50 га; высота – до 60 м с содержанием сульфидов меди, цинка и железа порядка 0,1; 0,3; и 2,0 % соответственно) изучены самопроизвольно протекающие в нем процессы бактериального окисления сульфидов и вымывания их водой. Разработан режим получения из раствора выщелачивания коллективного медно-цинкового концентрата (до 50% цинка и 1-3% меди). Реализация разработанной технологии предусматривает сокращение продолжительности вымывания ценных компонентов из отвалов с сотен до десятков лет, исключает необходимость капитальных затрат на строительство очистных сооружений дренирующих изпод отвала сточных вод, а также необходимость в очистных сооружениях в течение более 500 лет до полного вымывания металлов из отвала. Предлагаемая технология рекомендована для реализации на действующих отвалах добычи сульфидных полиметаллических руд [1,2]. Как следует из представленных данных, популяция ацидофильных бактерий формируется в самих отвалах, хранящихся в хвостохранилищах. Важно обеспечить им подходящие условия для жизнедеятельности. Однако, в складированных отвалах зачастую содержатся токсичные элементы – мышьяк и сурьма, препятствующие развитию таких чувствительных бактерий как *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Сочетанное использование ацидофильных и гетеротрофных бактерий, устойчивых к различным токсичным элементам позволяет активизировать *Acidithiobacillus ferrooxidans* и поднять эффективность окислительных процессов. Причем, наилучший эффект получен в закрытом объеме – биореакторе. В частности, показаны преимущества использования биореактора для эффективной деятельности ацидофильных бактерий при выщелачивании меди. Проведены испытания нового биореактора, имитирующего кучное биовыщелачивание бедных халькопиритных руд. В качестве микроорганизмов использовались штаммы различных Fe-окисляющих бактерий. Биореактор позволяет

проводить исследования развития микробиологических колоний при кучном биовыщелачивании. Продолжительность биопроцесса варьировали от 20 до 96 суток [3].

Использование биореактора позволило также усовершенствовать процесс биовыщелачивания путем наложения электрического поля. Проведено сравнение эффективности биовыщелачивания халькопиритного концентрата с использованием умеренно-термофильных микроорганизмов и без наложения электрического поля. Показано, что извлечение Cu в раствор повышается на ~35% при окислительно-восстановительном потенциале системы 400-425 мВ. Это связано с тем, что при этом уменьшается пассивация поверхности частиц концентрата оксидами железа и ярозитом. Поэтому извлечение Cu в раствор достигает 90% [4].

В Московском институте стали и сплавов разработан аппарат восходящего потока раствора. Установка состоит из 2-х аппаратов кипящего слоя, снабженная дополнительными патрубками и расходомером для выгрузки твердых частиц. С целью повышения извлечения цветных металлов в установке имеется газоздушная горелка под углом 70° в зоне стыка желоба и аппарата восходящего потока [5, 6].

В США для извлечения благородных металлов создан вращающийся реактор. Жидкую фазу использовали для электролитического извлечения золота [7]. При переработке сульфидных руд проводили предварительное биоокисление. Полученный продукт разделяли на легкую и тяжелую фракции, из первой извлекали золото, серебро, металлы платиновой группы [8].

В Иргиредмет была разработана пилотная установка для выщелачивания золота из упорных руд месторождений России. В нее входили два резервуара – головной, для подачи выщелачивающего раствора и конечный – для сбора выщелатов, а также колонна для перколяционного выщелачивания вместимостью 2,5 т. Выщелачивание проводили цианидным и тиосульфатным способом. Как показали исследования, из руды, имеющей в своем составе пирит и арсенопирит в качестве золотовмещающих минералов, за 500 суток извлеклось 85-86% золота. По мнению авторов, этот метод создает хорошую альтернативу кучному выщелачиванию [9]. Сконструирована пилотная установка для агитационного биовыщелачивания упорных концентратов, предусматривающая вскрытие пирита и арсенопирита в течение 15 суток ацидофильными бактериями с последующей рас-

пульповкой и цианированием. Результат – 93% выход золота [10]

Все вышеописанные установки, используемые для биовыщелачивания, не предусматривают стадию стерильного выращивания культуры и не отслеживают титр клеток по стадиям процесса, с тем, чтобы дать право микроорганизмам преимущественного влияния на процесс и убедиться в их непосредственном присутствии. Поскольку все процессы выщелачивания идут в нестерильных условиях, существенное влияние может оказать микрофлора, обитающая в самой руде и даже свести на нет ожидаемое положительное воздействие на минералы изучаемой культуры. Поэтому для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов в аппаратах, имитирующих тот или иной вид выщелачивания, важно соблюдать ряд важных условий, имеющих принципиальное значение для развития микроорганизмов: питание, аэрация, закрытое жизненное пространство, немаловажное значение имеет также конкурентоспособность культуры. В связи с этим необходим постоянный (желательно автоматический) контроль за pH, температурой, титром бактерий и составом смешанной популяции микроорганизмов. Именно этот подход был использован при разработке участка биохимического выщелачивания отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики.

Цель работы - разработка участка биохимического выщелачивания благородных металлов из отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики.

**Экспериментальная часть.** Ранее была подтверждена активизация ацидофильных бактерий с помощью гетеротрофных бактерий, продуцирующих биологически активные вещества, что отражается в дополнительном извлечении благородных металлов из отвалов золотоизвлекательной фабрики. Поэтому достигнутые положительные результаты легли в основу разработки технологической схемы переработки отвалов. Данная работа является продолжением опубликованных материалов [11].

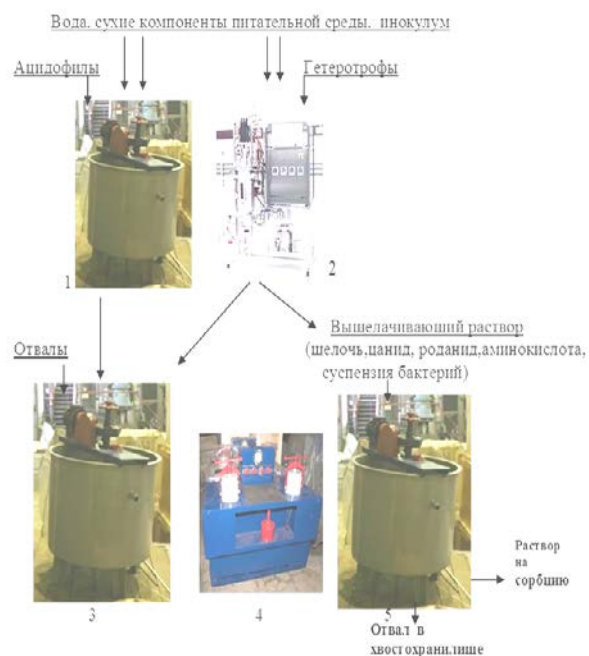
Для извлечения благородных металлов из отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики был разработан участок двухстадийного биохимического выщелачивания. На первой стадии отвалы подвергаются предобработке смешанной популяцией равного количества ацидофильных (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) и гетеротрофных (*Pseudomonas aureofaciens*) бактерий. На второй стадии отвалы выщелачиваются комплексным раствором, состоящим из ингредиентов в концентрациях: аминокислота - 0,04 моль/дм<sup>3</sup>, роданид - 0,01

моль/дм<sup>3</sup>, цианид – 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, концентрация гетеротрофных бактерий – 10<sup>6</sup> кл./см<sup>3</sup>.

Технологическая схема участка биохимического выщелачивания отвалов золотоизвлекательной фабрики включает следующие операции: приготовление питательной среды; наращивание биомассы ацидофильных и гетеротрофных бактерий; приготовление комплексного биохимического выщелачивающего раствора; выщелачивание отвалов ЗИФ; контроль параметров выщелачивания и состава популяции микроорганизмов, химико-аналитические исследования. Аппаратурная схема участка приведена на рисунке.

Участок укомплектован основными аппаратами: ферментер (биореактор), тремя емкостями объемом 10-15 м<sup>3</sup> – для выращивания ацидофильных бактерий, для проведения процесса предобработки отвалов и для их выщелачивания.

*Приготовление питательной среды.* Технологический процесс приготовления раствора для выщелачивания золота с использованием гетеротрофных бактерий осуществляется в ферментере, где происходит растворение сухого питательного бульона, стерилизация, охлаждение, засев и выращивание бактерий, выгрузка культуральной жидкости бактерий.



1 – емкость для выращивания ацидофильных бактерий, 2- биореактор для выращивания гетеротрофных бактерий, 3 – чан для предобработки, 4 – фильтровальная машина, 5 – чан для выщелачивания

Рисунок – Аппаратурная схема биохимического выщелачивания отвалов ЗИФ акбакайского ГМК

Процесс начинается с приготовления стерильной питательной среды (2,5 – 2,6 % гидролизата рыбной муки или 1,5 – 2 % раствора мелассы).

Стерилизация осуществляется в ферментере при давлении 111,46 кПа, в течение 30 мин, (105 °C).

*Наращивание основного объема биомассы гетеротрофных бактерий.* В ферментер с остуженной до 20 – 24°C питательной средой наливают из маточного чана бактериальную суспензию с титром  $10^4$  кл./см<sup>3</sup>. Время выращивания в ферментере 3–4 суток до титра бактерий  $10^8$  кл./см<sup>3</sup> и появления желто-оранжевого пигмента. Необходимые контролируемые параметры: температура 18-25°C, перемешивание, аэрация – 6-8 г/дм<sup>3</sup> кислорода, pH 8,5 – 9,0. По окончании выращивания контролируется титр бактерий и визуально оценивается суспензия бактерий. Необходимым является присутствие пигмента, отсутствие гнилостного запаха и грибного заражения (мицелиального роста). Культуральную жидкость затем транспортируют в чаны для проведения предобработки и выщелачивания.

*Наращивание ацидофильных бактерий.* Культивирование ацидофильных бактерий осуществляется нестерильно. Питательный субстрат – 1% суперфосфат и 2,5% соль двухвалентного железа. Условия культивирования: pH среды - 1,8-2,0; аэрация – 6-8 г/дм<sup>3</sup> кислорода, перемешивание – 50-100 об./мин, длительность 7-10 суток до содержания трехвалентного железа 6-8 г/дм<sup>3</sup>. Бактериальный раствор затем поступает в чан для предобработки отвалов.

*Приготовление комплексного биохимического выщелачивающего раствора.* В отдельную емкость из ферментера сливают суспензию выросших бактерий (0,9 объема). Оставшаяся 0,1 часть суспензии откачивается в маточный резервуар для воспроизведения затем популяции бактерий. Определяют необходимый титр бактерий ( $10^6$  кл./см<sup>3</sup>), доводят pH до 9,9 – 10,0, затем добавляют оставшиеся ингредиенты выщелачивающего раствора в конечных концентрациях: аминокислота - 0,04 моль/дм<sup>3</sup>, роданид - 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, цианид – 0,1 моль/дм<sup>3</sup> (перед подачей цианида контролируют pH 9,9-10). В целях более эффективного использования оборудования комплексный раствор можно готовить непосредственно в чане для выщелачивания перед подачей отвалов.

*Предобработка отвалов.* Предобработки отвалов производится жидкостью, состоящей из смеси равного количества ацидофильных и гетеротрофных бактерий при перемешивании – 50-100 об./мин, pH = 2,0-2,5 в течение 120 ча-

сов. Затем смесь отстаивается (или фильтруется в фильтровальной машине), верхняя часть отправляется на рекультивацию ацидофильных бактерий, а нижняя - в чан для выщелачивания.

*Выщелачивание отвалов.* В чане для выщелачивания осуществляются все операции, связанные с переработкой отвалов – дозирование необходимых реагентов – аминокислоты, роданида, щелочи, цианида, культуральной жидкости бактерий. Происходит подача воды; загрузка-выгрузка твердой фракции, подогрев при необходимости, осуществляемый циркуляцией горячей воды в рубашке, регулируемое по интенсивности перемешивание, отсадка твердой фракции, транспортировка жидкой фракции для сорбции.

В рабочую емкость заливают необходимое количество воды и все ингредиенты комплексного выщелачивающего агента. При включенной мешалке засыпают отвалы и выщелачивают в течение 4 часов, затем отстаивают. Жидкую часть фракции отправляют на сорбцию, в твердую добавляют свежий выщелачивающий раствор и процесс возобновляется. При необходимости смена выщелачивающего раствора производится 2-3 раза. Условия выщелачивания: pH 9,8-10,0; температура – 20-23 °C, перемешивание в чане – 100 об./мин; соотношение Т:Ж = 1:2- 1:4, концентрация бактерий –  $10^6$  кл./см<sup>3</sup>.

Описанная технология была проверена в лабораторных условиях на отвалах акбакайского ГМК с содержанием золота Au – 2,2 г/т. Крупность измельчения: +0 - 0,045 мм – 20%; +0,045 – 2мм – 80%.

Извлечение золота в раствор составило около 92%.

**Обсуждение результатов.** В золотодобывающей промышленности разработано множество схем по выщелачиванию благородных металлов из различного техногенного сырья с использованием сочетанного действия микроорганизмов и химических веществ. При этом большое внимание уделяется выбору сопутствующего химического агента, поскольку он, с одной стороны, может оказаться токсичным, с другой, подходящим питательным субстратом. В последнем случае он расходуется в основном на поддержание жизнедеятельности микроорганизмов. Классическим решением в этом отношении является двухстадийная схема переработки сырья. Сначала обработка микроорганизмами, затем химическое выщелачивание [12]. В некоторых случаях эффективна комбинированная обработка фотоэлектрохимическим, а затем бактериальным методом [13].

Принципиальным отличием описанной в

работе схемы переработки техногенного сырья является использование микроорганизмов на двух стадиях переработки – сначала бактерии – альное окисление смешанной популяцией *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Pseudomonas aureofaciens*, затем выщелачивание комплексным выщелачивающим агентом на основе *Pseudomonas aureofaciens*. Как показали исследования, технология, основанная на комплексном воздействии на отвалы ЗИФ различных по типу питания микроорганизмов, более эффективна по сравнению с использованием только автотрофных ацидофильных бактерий и может быть с успехом использована на акбакайской золотоизвлекательной фабрике, которая после реконструкции приступила к переработке собственных отвалов.

**Выводы.** Разработана технологическая схема переработки отвалов ЗИФ Акбакайского месторождения, основанная на использовании двухстадиального бактериального окисления сырья. На первой стадии отвалы подвергаются предобработке смешанной популяцией равного количества ацидофильных (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) и гетеротрофных (*Pseudomonas aureofaciens*) бактерий. На второй – отвалы выщелачиваются комплексным выщелачивающим раствором, состоящим из ингредиентов в концентрациях: аминокислота – 0,04 моль/дм<sup>3</sup>, роданид – 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, цианид – 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, концентрация гетеротрофных бактерий – 10<sup>6</sup> кл./мл.

Предложена аппаратная комплектация процесса, подробно описаны стадии переработки материала, условия процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Тасекеев М.С. Достижения биотехнологии в нефтяной и горнометаллургической отраслях (обзорное исследование). - Алматы, 2008. - 98 с.
- 2 Башлыкова Т.В., Живаева А.Б., Амосов Р.А., Дорошенко М.В. Применение бактериального выщелачивания для переработки металлургических отходов // Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья с извлечением благородных металлов: Тр. Междунар. научно-техн. конф., Екатеринбург, Россия, 2002. - Ч.3. - С.3-10.
- 3 Harrison Susan T.L., Becker Megan, van Hille Robert P. In situ investigation and visualization of microbial attachment and colonization in a heap bioleach environment: The novel biofilm reactor // Miner. Eng. – 2010. - V. 23, №6. - P. 486-491.
- 4 Ahmadi A., Schaffie M., Manafi Z., Ranjbar M. Electrochemical bioleaching of high grade chalcopyrite flotation concentrates in a stirred bioreactor // Hydrometallurgy. - 2010. - 104, №1. - P. 99-105.
- 5 Пат. 1115480 СССР. Установка для извле-

чения цветных металлов выщелачиванием /Салихов З.Г.; опубл. 16.02.1982, Бюл. № 16. - 2 с.: ил.

6 Пат. 1059903 СССР. Установка для извлечения цветных металлов выщелачиванием /Салихов З.Г., Иванов В.А., Ходов Н.В., Бимбасов К.М.; опубл. 27.02.1980 – Бюл. № 16. - 2 с.: ил.

7 Пат. 9947714 WO, А1 США. Способ и устройство для извлечения ценных металлов /Lewis-Gray, Alexander Hamilton; опубл. 01.03.1999. Вып. 48, № 9. - 2 с.: ил.

8 Пат. 5948375 США. Биологическое окисление для извлечения золота и основных металлов /Stallknecht, Hendrik. Billiton Sa Limited; опубл. 10.06.1997. Вып. 48, № 9. - 2 с.: ил.

9 Gudkov S.S., Yemelianov Y. Ye, Shketova L.E., Mikhailova A.N.. The study on heap leaching for gold recovery from refractory ores using non-cyanide luxivants //Biohydrometallurgy: Biotech key to unlock mineral resources value: Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Biohydrometallurgical Symposium. Central South University Press, Changsha, China, 2011.- V.2 - P. 813-817.

10 Shketova L.Ye., Emelianov Yu.Ye., Kopylova N.V. The treatment of gold-bearing refractory concentrates using biooxidation //Biohydrometallurgy: Biotech key to unlock mineral resources value: Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Biohydrometallurgical Symposium, Central South University Press, Changsha, China, 2011. – V.2 - P.629-631.

11 Семенченко Г.В., Магомедов Д.Р., Абу-бакриев А.Т. Опыт использования биовыщелачивания при извлечении благородных металлов из отвалов акбакайской золотоизвлекательной фабрики //Комплексное использование минерального сырья. - 2013. - №2.- С. 109-119.

12 Резник Ю.Н., Шумилова Л.В. Экспериментальные исследования влияния двухстадиального окисления на вскрытие упорных геоматериалов //Кулагинские чтения: Труды 11 Междунар. научно-практ. конф., Чита, Россия, 2011. - Ч.3. - С. 8-12.

13 Шумилова Л.В., Резник Ю.Н. Комбинированные методы кюветного и кучного выщелачивания упорного золотосодержащего сырья на основе направленных фотоэлектрохимических воздействий //Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного сырья (Плаксинские чтения 2011): Матер. Междунар. совещ., Верхняя Пышма, Россия, 2011. – Екатеринбург, 2011. - С. 453-457.

## REFERENCES

- 1 Tasekeev M. S. *Dostizheniya biotekhnologii v neftyanoy i gornometallurgicheskoy otraslyakh (obzornoe issledovanie)*. Almaty, 2008, 98 (in Russ).
- 2 Bashlykova T.V., Zhivaeva A.B., Amosov R. A., Doroshenko M.V. *Scientific bases and practice of investigation and processing of ores and technogenic raw materials with extraction of precious metals: Trudy Mezhdunar.nauchno-techn. konf.*, Ekaterinburg, Russia, 2002, 3, 3-10 (in Russ.).
- 3 Harrison Susan T.L., Becker Megan, van Hille

Robert P. *Miner. Eng.* **2010**, 23, 6, 486-491 (in Eng.).

4 Ahmadi A., Schaffie M., Manafi Z., Ranjbar M. *Hydrometallurgy*. **2010**, 104, 1, 99-105 (in Eng.).

5 Pat. 1115480 USSR. Salihov Z.G., **16.02.1982**, bul.16 (in Russ.).

6 Pat. 1059903 USSR. Salihov Z.G., Ivanov V. A., Chodov N.V., Bimbassov K.M., **27.02.1980**, bul.16 (in Russ.).

7 Pat. 9947714, WO A1 US. Lewis-Gray, Alexander Hamilton. **01.03.1999**, 48, 9 (in Eng.).

8 Pat. 5948375 US. Stallknecht, Hendrik., **10.06.1997**, 48, 9 (in Eng.).

9 Gudkov S.S., Yemelianov Y. Ye., Shketova L.E., Mikhailova A.N. *Biohydrometallurgy: Biotech key to unlock mineral resources value: Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Biohydrometallurgical Symposium, Changsha, China, 2011*, 2, 813-817 (in Eng.).

10 Shketova L.Ye., Emelianov Yu. Ye., Kopylova N.V. *Biohydrometallurgy: Biotech key to unlock mineral resources value: Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Biohydrometallurgical Symposium, Changsha, China, 2011*, 2, 629-631 (in Eng.).

11 Semenchko G. V., Magomedov D.R., Abubakriev A.T. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya*, **2013**, 2, 1-10 (in Russ.).

12 Reznik Yu.N., Shumilova L.V. *Kulaginskii chteniya: Trudy 11 Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. Chita, Russia, 2011*, 3, 8-12 (in Russ.).

13 Shumilova L.V., Reznik Yu.N. *Novye technologii obogashcheniya i kompleksnoj pererabotki prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya (Plaksinskii chteniya): Mater. Mezhdunar. Soveshch. Ekaterinburg, Russia, 2011*, 453-457 (in Russ.).

## Түйіндеме

Ақбақай алтын шығаратын фабрикадағы үймелерден асыл металдарды алу үшін екі кезеңнен тұратын биохимиялық шаймалау тәлімі әзірленді. Бірінші кезеңде үймелер аралас популяциялық тең көлемінде ацидофильды (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) және гетерофты (*Pseudomonas aureofaciens*) бактериялары алдын ала өңдеуден өтті. Алдын ала өңдеудің шарты: араластыру – 50-100 об/мин, pH = 2,0-2,5, ұзактығы – 120 сағат. Сонымен қоспа тұнады (немесе филтрдан өткізу машинасында филтрдан өткізіледі), жоғарғы бөлігі ацидофилді бактерияларының рекультивацияға барады, ал төменгі бөлігі – күбіге шаймалану үшін. Екінші кезеңде қалдықтар шаймалану ашпа кешені шаймаланудан өтеді, мынау ингредиенттардан тұратын: аминқышқылы – 0,04 моль/дм<sup>3</sup>, роданид – 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, цианид – 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, гетеротрофты бактерияның шоғырлануы – 10<sup>6</sup> кл/см<sup>3</sup>. Шаймалау шарты: pH– 9,8-10,0; қызу – 20-23<sup>0</sup>С, араластыру күбіде – 100 об/мин; арақатынасы Қ:С =1:2. Керек жағдайда шаймалау ашпаы 2-3 рет ауыстыры мүмкін. Қоспа тұнады. Ақшылдалған ашпа сорбцияға жыберледі, алтын қалмаған үймелер – қоймаға кетеді. Технология Ақбақай алтын шығаратын фабрикасында лабораториялық шарттармен сыналған алтынның көлемі 2,2 г/т. Алтынның шыққан көлемі 92% болды. Биохимиялық шаймаланудың екісатылы тәлімінің артықшылықтары: ацидофил және гетеротрофты бактерияның дүрегей популяциясының алдын ала өңдеу Бескемпір жергілікті бастаудан минералды суды пайдалануға мүмкіндік береді, ацидофилдің мономәдениетін жақсы етеді. Үйменің қосымша өңдеуі антропоген жүктің төмендетуі табиғи экожүйелерге пайда тигезеді және алтынның шығуын көбейтеді.

**Түйін сөздер:** биошаймалау, қалдықтар, асыл металдар

## Summary

The two-stage biochemical leaching site for noble metals extraction from Akbakaj gold-extracting factory dumps has been developed. At the first stage dumps are preprocessed by the mixed population of equal quantity of acidophilic (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) and heterotrophic (*Pseudomonas aureofaciens*) bacteria. Preprocessing conditions were: stirring - 50-100 rpm, pH = 2.0-2.5, duration - 120 hours. Then the mix is settled (or is filtered in the filtering apparatus), the top part is put to acidophilic bacteria recultivation, and bottom - to a tub for leaching. At the second stage dumps were leached with complex leaching solution consisting of components in concentration: amino acid – 0.04 M, thiocyanate - 0.01 M, cyanide – 0.1 M, heterotrophic bacteria concentration was 10<sup>6</sup> cells/cm<sup>3</sup>. Leaching conditions were: pH 9.8-10.0; temperature - 20-23<sup>0</sup> C, agitation rate – 100 rpm; ratio of S:L = 1:2. If it is necessary, solution changes 2-3 times. The mix is settled. The cleansed solution arrives for sorption, gold free slag-heap - to tailing dump. The technology is tested in laboratory conditions on Akbakaj gold-extracting factory dumps with the gold content 2.2 g/t. Gold extraction was about 92 %. The advantages of two-stage site of biochemical leaching are: dumps preprocessing with the mixed population of acidophilic and heterotrophic bacteria gives the chance to use water with high salinity from local water spring Beskempir, which inactivates acidophilic monoculture. The additional dumps processing promotes decrease of anthropogenic load on environment and increases through gold extraction.

**Keywords:** bioleaching, dumps, noble metals, acidophilic and heterotrophic bacteria, gold

Поступила 29. 05. 2013.