

The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, ISSN 1609-1817, DOI 10.52167/1609-1817, Vol. 118, No.3 (2021) pp.71-78

RESEARCH OF THE PROCESS OF COPPER PRODUCTION WITH THE HELP OF MICROORGANISMS

Yusupova Saltanat Abenovna, Cand.Sc.(Tech.), Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, t.chigambayev@aues.kz

Chigambaev Temyrbai Otarbaevich, Cand.Sc.(Tech.), Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, t.chigambayev@aues.kz

Ualiyev Ablay Askhatovich, master student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, ualiyevablay@gmail.com

Abstract. Bioleaching is the extraction of metal from sulphide ores or concentrates using materials that are natural to the environment; namely water, air and microorganisms. In other words, bioleaching is the commercialization of the ability of certain naturally occurring bacteria and archaea to catalyze the oxidation of sulfide minerals. Sulfide mineral leaching distinguishes bioleaching from conventional acid leaching, in which only oxidized minerals are leached.

A related process is biooxidation. It is the oxidation of sulfide minerals associated with, but not necessarily with, the mineral of interest to be recovered. Bioleaching is today used in commercial operations to process copper, nickel, cobalt, zinc and uranium ores, while biooxidation is used in gold processing and coal desulfurization.

Since bioleaching is a natural process, one of the undesirable effects is the formation of metallic acid drainage due to the slow weathering of sulfide mineral outcrops and from abandoned mines. However, as with Rio Tinto in Spain, even this can be turned into an asset by extracting copper from such waters.

This article describes smelting and converting processes, advances in their automation, functional characteristics and configuration of automation systems for copper smelters.

Keywords: Bioleaching, biooxidation, mineral, sulphide ores.

УДК 681.3(075.8)

DOI 10.52167/1609-1817-2021-118-3-71-78

С.А. Юсупова, Т.О. Чигамбаев, А.А. Уалиев

Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г.Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА МЕДИ С ПОМОЩЬЮ МИКРООРГАНИЗМОВ

Аннотация. Биовыщелачивание — это извлечение металла из сульфидных руд или концентратов с использованием материалов, которые являются естественными для окружающей среды; а именно вода, воздух и микроорганизмы. Другими словами, биовыщелачиванием — это коммерциализация способности определенных бактерий и архей, встречающихся в природе, катализировать окисление сульфидных минералов. Выщелачивание сульфидных минералов отличает биовыщелачивание от обычного кислотного выщелачивания, при котором выщелачиваются только окисленные минералы.

В этой статье представлено описание процесса добычи меди с помощью микроорганизмов, достижения в их автоматизации, функциональные характеристики и конфигурация систем автоматизации для медеплавильных заводов.

Ключевые слова: биовыщелачивание, биоокисление, минерал, сульфидные руды.

После ранних разработок и применения в Соединенных Штатах Чили стала крупным разработчиком биовыщелачивания в промышленных масштабах. Сначала было 13 компаний, использующих биовыщелачивание, и 30 компаний в целом использовали технологию выщелачивания. На биовыщелачивание приходится примерно 10% производства меди в Чили, а выщелачивание в кучах и отвалах, в целом, составляло примерно 30% от производства меди в Чили. Первым введенным в эксплуатацию чилийским заводом стал SM Pudahuel. Завод был запущен с использованием процесса тонкослойного бактериального выщелачивания (TLB) - процесса экономии воды - и выщелачивания оксидов меди и вторичных сульфидных минералов.

Процессы биовыщелачивания различаются в зависимости от типа обрабатываемых ресурсов. Сегодня он используется в трех разных режимах в

зависимости от типа обрабатываемого сырья:

1. Выщелачивание на свалках - пустая порода, руда с низким содержанием или хвосты обогатительной фабрики (с низким содержанием, оксиды и вторичные сульфиды) выщелачиваются там, где они размещаются для захоронения.

2. Кучное выщелачивание - недавно добытый рудничный материал (промежуточное содержание, оксиды и вторичные сульфиды) откладывается в кучу на непроницаемой естественной поверхности или подушке и выщелачивается. ROM может выщелачиваться по мере добычи или может быть частично раздроблен и смешан с кислотой перед отложением в кучу.

3. Выщелачивание с перемешиванием - концентраты халькопирита среднего и высокого содержания помещаются в резервуар и выщелачиваются с помощью механического перемешивания.

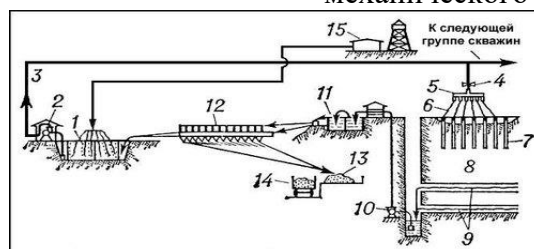


Figure 1 – Bioleaching process

Рисунок 1- Процесс биовыщелачивания

Тип сырья также определяет тип вовлеченных микроорганизмов:

1. При выщелачивании свалок используются мезофильные (при температуре окружающей среды) микроорганизмы, т.е. бактерии.

2. Для выщелачивания халькопирита и выщелачивания концентрата необходимы термофильные микроорганизмы (халькопирит можно выщелачивать с помощью мезофильных бактерий; однако

извлечение низкое, а время удерживания составляет несколько лет).

3. В кучном выщелачивании руды могут быть задействованы мезофильные или термофильные.

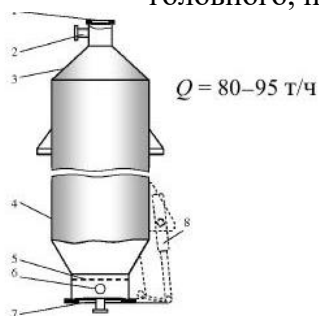
Существующие способы выщелачивания делятся на три группы — проточные, агитационные (перемешивание) и комбинированные, сочетающие два первых способа. Крупные фракции бокситовых спеков

выщелачивают проточным методом. Агитационному выщелачиванию подвергают мелкие фракции бокситового спека и нефелиновые спеки. Таким образом, выбор типа аппарата для выщелачивания спеков зависит от гранулометрического и минералогического состава материала. Комбинированные способы используются для выщелачивания крупных фракций бокситовых и нефелиновых спеков.

Кроме того, благодаря использованию биоокисления теперь можно выщелачивать многие минералы сульфида меди, присутствующие в руде. Хотя халькопирит остается невосприимчивым к биовыщелачиванию при температуре окружающей среды, другие минералы сульфида меди - вторичные сульфидные минералы - такие как халькоцит, ковеллит, борнит и т.д. - вымываются с помощью современных технологий.

При выщелачивании в диффузоре спек загружается в аппарат на металлическую решетку, спек остается неподвижным, растворитель (промвода) подается через патрубок, двигаясь снизу вверх, обогащается Na_2O и Al_2O_3 и отводится через патрубок. Выщелачивание проводится в батарее диффузоров, состоящей из 12-16 аппаратов, соединенных последовательно. В последнем диффузоре осуществляется окончательная промывка шлама.

По окончании отмывки хвостовой диффузор отключают и из него выгружают шлам, а горячую воду подают в предхвостовой диффузор, который становится хвостовым. Освобожденный от шлама диффузор после загрузки в него свежего спека становится головным. Система трубопроводов и запорной арматуры позволяет любой из диффузоров использовать в качестве головного, промежуточного и хвостового



1-верняя крышка, 2- патрубок для отвода раствора, 3-конусная часть, 4- корпус, 5- решетка, 6- патрубок для подвода воды, 7- нижняя крышка, 8- прижимное устройство

Figure 2 – Hardware design for leaching of bauxite cake

Рисунок 2 - Аппаратурное оформление передела выщелачивания бокситового спека

Такие установки дают возможность получить относительно крепкие алюминатные растворы с малым содержанием твердого при совмещении в одном аппарате трех процессов — выщелачивания спека, отделения раствора от шлама и его промывки. Однако периодическая работа таких батарей, их низкая производительность, значительная доля ручного труда и неблагоприятные санитарно-гигиенические условия делают такой аппарат бесперспективным для современных заводов большой

мощности. Недостатки диффузорных батарей частично устранены при выщелачивании спека в ленточных перколяционных выщелачивателях.

Такой аппарат представляет цепной транспортер с системой контейнеров — перколяторов. Перколятор разделен перегородками на ряд вертикальных отсеков: в каждом из них на расстоянии 200-250 мм от днища укреплен стальная съемная сетка. Процесс выщелачивания осуществляется по принципу противотока методом

просачивания (перколяции) раствора через слой спека. В подсеточном пространстве отсеки соединены между собой и имеют выход для раствора через специальные трубы. Загрузка спека (крупностью 6-8 мм) в перколятор осуществляется из бункера с помощью питателя. Растворы подаются в перколяторы насосами по системе трубопроводов. Аппарат разбит на 8-9 зон. В последнюю из них подается

Преимуществами перколяционного выщелачивания перед диффузорным являются непрерывность процесса, высокая производительность, лучшие условия труда, легкость автоматизации процесса. Недостатки перколяционного выщелачивания следующие: громоздкость, высокая удельная металлоемкость, необходимость

горячая вода. Пройдя через слой выщелоченного спека, слабый алюминатный раствор насосами подается в следующую зону и т. д. В предголовную зону вводится содо-щелочной раствор для получения алюминатного раствора с нужным каустическим модулем. Промытый шлам разгружается в приямок и насосами откачивается на шламовое поле.

промежуточных перекачек растворов, высокая чувствительность к гранулометрическому составу спека (нормальная работа при спеке $\geq 1-2$ мм).

Вертикальный выщелачиватель — предназначен для непрерывного проточного выщелачивания спека в плотном движущемся слое.



Figure 3 – Leaching process depending on the grade of ore and the size of grinding
Рисунок 3 – Ленточный выщелачиватель

Аппарат состоит из бункера спека, шибера, вертикальной трубы с переменным диаметром для выщелачивателя, секторного разгрузителя шлама и гидравлической системы подачи в выщелачиватель горячей и холодной воды и маточного раствора. Спек поступает в аппарат сверху и постепенно опускается. Снизу подается вода, которая выщелачивает спек и превращается в алюминатный раствор. Благодаря переменному сечению аппарата обеспечивается увеличение скорости восходящего потока

алюминатного раствора при повышении концентрации раствора.

Алюминатный раствор сливается из верхней части аппарата в бак-сборник. Образующийся при выщелачивании шлам выгружается из аппарата с помощью секторных разгрузителей. Отбор шлама и количество загружаемого спека регулируют изменением скорости вращения разгрузителя. Через секторные выгрузители шлам попадает в напорный шламопровод, где репульпируется водой и транспортируется к насосам шламоудаления. По высоте аппарата на нескольких уровнях предусмотрена

циркуляционная перекачка раствора, которая служит для выравнивания концентрации раствора по сечению аппарата и поддержания температурного режима выщелачивания. Вертикальный выщелачиватель предназначен для выщелачивания

кускового спека крупностью 6-8 мм. Он позволяет получать крепкие (~150 г/л Al₂O₃) и не требующие осветления растворы с высоким извлечением Na₂O и Al₂O₃ (86-88 % Al₂O₃ и 90-93 % Na₂O).



Figure 4 – Leaching process depending on the grade of ore and the size of grinding
Рисунок 4 – Процесс выщелачивания в зависимости от сорта руды и размера измельчения

Для агитационного выщелачивания используют мешалки и мельницы. Для мелких классов бокситовых спеков применяют выщелачивание в мешалках. В них происходит интенсивное перемешивание спека, что создает условия для быстрого растворения алюмината. Однако при реализации этого способа отмечаются трудности с отделением шлама от раствора и промывкой, несмотря на то, что процесс протекает для слабых растворов (промвод) при больших отношениях ж:т, а также в связи с большой величиной вторичных потерь Al₂O₃.

Схема P&ID (схема труб и контрольно-измерительных приборов) представлена на рисунке 5.

Выщелоченная пульпа центробежным насосом подается в гидроциклон на классификацию, откуда слив (пульпу) направляется в сборную мешалку и затем на обескремнивание. Пески с гидроциклона направляются в мельницу, работающую на спеке или в отдельную (песковую) мельницу на домол. Аппарат из комбинированной группы, в котором сочетаются два

принципа — агитационный и проточный, — это трубчатый выщелачиватель. Он представляет собой стальной барабан 1 диаметром 3—5 м и длиной 30—50 м, вращающийся с помощью привода через венцовую шестерню (зубчатое колесо) 5. Барабан опирается бандажками на роликовые опоры и имеет наклон 35° в сторону загрузки спека. Спек выщелачивается по принципу противотока. Он транспортируется вдоль барабана при помощи двух- или трехзаходной винтовой спирали, приваренной внутри него. Между перегородками спирали приварены полки, препятствующие сползанию массы материала по корпусу барабана. Для перетока растворителя, поступающего с другого конца аппарата через слой материала, витки спирали имеют по 3 отверстия, которые смещены относительно друг друга.

В настоящее время в ряде организаций проводятся исследования, чтобы сделать биовыщелачивание более эффективным и коммерчески жизнеспособным процессом. Из-за того, что все еще требуется длительное время удерживания, использование технологии

резервуаров с мешалкой для извлечения меди было отложено из-за ее высокой потребности в мощности для перемешивания пульпы с низкой плотностью. Chuquicamata SBL, операция кучного выщелачивания руды с низким содержанием руды, например, требует 4-летнего рабочего цикла, и даже в этом случае извлекается только около 50% содержащейся меди. Таким образом, проводятся исследования по улучшению кинетики кучного выщелачивания; то есть сокращение времени удерживания с лет до месяцев и улучшение

массопереноса в реакторах с мешалкой для уменьшения времени удерживания с недель до дней. Одним из примеров являются исследования по созданию оптимальных рабочих условий, способствующих здоровью бактерий. К ним относятся: контроль температуры кучи или реактора, обеспечение питательными веществами (низкие концентрации сульфата аммония, сульфата калия и гидрофосфата диамония) и обеспечение достаточного количества кислорода и углекислого газа для роста клеток

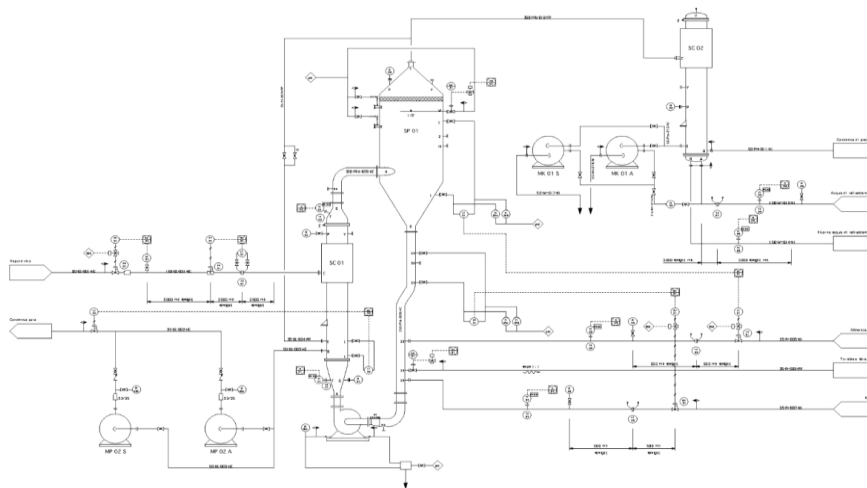


Figure 5 – P&ID Scheme
Рисунок 5 – Схема P&ID

Примерно 20% всей меди, производимой в настоящее время в мире, производится путем выщелачивания преимущественно оксидных руд.

Неустановленное количество меди в настоящее время извлекается из сульфидных руд с помощью встречающихся в природе микроорганизмов. Если можно снизить затраты, эквивалентные стоимости самого процесса плавки, биовыщелачивание может быть использовано для обработки медных концентратов в ситуациях, когда капитальные затраты на плавильную печь не оправданы и / или экологические соображения исключают плавку в этом месте. Благодаря недавно разработанным

технологиям, которые сейчас проходят демонстрационные испытания, и продолжающимся исследованиям улучшенных технологий, мы можем с уверенностью предсказать, что биовыщелачивание в конечном итоге будет способствовать увеличению доли меди, производимой каждый год.

Однако биовыщелачивание дает ряд преимуществ, таких как:

1. Возможность рентабельной переработки рядовых низкосортных сульфидных руд
2. Возможность обрабатывать руды, которые невозможно выплавлять по экологическим причинам.

Можно с уверенностью сказать, что биовыщелачивание не заменит

полностью плавку по крайней мере по трем причинам:

1. Биовыщелачивание не восстанавливает драгоценные металлы в руде. Драгоценные металлы часто являются важным компонентом рентабельности операций.

2. Требование к плавильному заводу производить кислоту для обычного выщелачивания и дополнять биовыщелачивание, если в рудном теле много минералов, потребляющих кислоту. Серной кислоты не хватает, и ее дорого доставлять в отдаленные районы.

3. И наоборот, в некоторых рудных телах недостаточно минералов,

потребляющих кислоту, поэтому образовавшуюся остаточную кислоту необходимо нейтрализовать вне процесса выщелачивания - дорогостоящая альтернатива. В таком случае плавка будет единственным жизнеспособным способом обработки.

Внедрение АСУТП выщелачивания дало увеличение производства цинка со 130 тыс. тонн до 180 тыс. тонн в год без значительных капитальных вложений в новое производство с повышением качества меди при сохранении удельных затрат на электроэнергию.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Хубер, Г. и К.О. Стеттер, " *Sulfolobus metallicus*, sp. nov., a novel strictly chemolithoautotrophic thermophilic archaeal species of metal-mobilizers ", Syst. Appl. Microbiol. 17, стр. 372-378. October 1991.

[2] Дью, Д. В. и Д. М. Миллер, «Извлечение меди, никеля и кобальта», Патент США 6 245 125 June 12, 2001..

[3] Малуф Е.Е. и Пратер Дж.Д., Роль бактерий в изменении сульфидов, J. Metals, Нью-Йорк, v13, p353-356. 2015.

REFERENCES

[1] Huber, G and KO Stetter, "Sulfolobus metallicus, sp. nov., a novel strictly chemolithoautotrophic thermophilic archaeal species of metal-mobilizers," Syst. Appl. Microbiol. 17, pp 372 - 378. 2020. [https://doi.org/10.1016/s0723-2020\(11\)80312-7](https://doi.org/10.1016/s0723-2020(11)80312-7)

[2] Dew, DW and DM Miller, "Copper, nickel and cobalt recovery," U.S. Patent 6,245,125, June 12. 2001.

[3] Malouf, E.E. and Prater, J.D., Role of Bacteria in the Alteration of Sulphide, J. Metals, New York, v13, p353-356. 1961.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА МЕДИ С ПОМОЩЬЮ МИКРООРГАНИЗМОВ

Юсупова Салтанат Абеновна, кандидат технических наук, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан, s.yusupova@aes.kz

Чигамбаев Темырбай Отарбаевич, кандидат технических наук, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан, t.chigambayev@aes.kz

Уалиев Аблай Асхатович, магистр, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан, ualievablay@gmail.com

МИКРООРГАНИЗМДІ ПАЙДАЛАНЫП МЫС ӨНДІРУ ПРОЦЕССИН ЗЕРТТЕУ

Юсупова Салтанат Абеновна, техника ғылымдарының кандидаты, Алматы энергетика және байланыс университеті. Ғ. Дәукеева, Алматы қ., Қазақстан, s.yusupova@aes.kz

Чигамбаев Темырбай Отарбаевич, техника ғылымдарының кандидаты, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан, t.chigambayev@aes.kz

Уалиев Аблай Асхатович, магистр, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан ualievablay@gmail.com

Андатпа. Биолизация - қоршаған ортаға табиғи материалдарды қолдана отырып, сульфидті кендерден немесе концентраттардан метал алу; атап айтқанда су, ауа және микроорганизмдер. Басқаша айтқанда, биолизирлеу - бұл белгілі бір табиғи бактериялар мен архейлердің сульфидті минералдардың тотығуын катализдеу қабілетін коммерцияландыру. Сульфидті минералдарды сілтілеу әдеттегі қышқыл сілтілендіруінен биологиялық сілтілеуді ажыратады, онда тек тотыққан минералдар шайылады.

Бұл мақалада микроорганизмдер көмегімен мыс өндіру процесінің сипаттамасы, оларды автоматтандыру жетістіктері, функционалдық сипаттамалары және мыс балқытатын автоматтандыру жүйесінің конфигурациясы келтірілген.

Түйінді сөздер: Биологиялық тазарту, биоксидтеу, минералды, сульфидті кендер.

The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyspayev, ISSN 1609-1817, DOI 10.52167/1609-1817, Vol. 118, No.3 (2021) pp.78-85

PROCESSING TECHNOLOGY OF KAZAKHSTAN COPPER ORE - PROSPECTS FROM PAST EXPERIENCE

Chigambaev Temyrbai Otarbavich, Cand.Sc.(Tech.), Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, t.chigambayev@aes.kz

Yusupova Saltanat Abenovna, Cand.Sc.(Tech.), Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, t.chigambayev@aes.kz

Ualiyev Ablay Askhatovich, master student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, ualievablay@gmail.com

Abstract. The article is based on the use of deposits in the world and the most common beneficiation technologies. Typical elements of the current technological scheme for copper processing.

The beneficiation of ores and the reasons for their use were discussed.

Also, the article describes some of the methods of processing Kazakh copper ores. The main proposed technologies are: abandonment, in justified cases, the separation of ore into fractions with an increased content of sandstone and carbonate ores, flotation in the grinding circuit as part of the final preparation of ore for coarser flotation, a classical cleaning system, product processing with a grinding system in new type mills, classification and tailings flotation.

Keywords: copper ore, copper, beneficiation, flotation, mill.

УДК 681.3(075.8)

DOI 10.52167/1609-1817-2021-118-3-78-85

Т.О. Чигамбаев, С.А. Юсупова, А.А. Уалиев

Алматинский университет энергетике и связи имени Г. Даукеева. г. Алматы, Казахстан