

СПРАВКА

Уважаемые Қ. Бақытжанұлы, Ш.А.Телков, И.Ю. Мотовилов!

От имени международного научного журнала АКАДЕМИК позвольте выразить Вам наше глубокое почтение.

Рады сообщить Вам, что в рамках своей деятельности Ваша статья «ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БАКТЕРИАЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ РУДЫ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ СУЛЬФИДНЫХ РУД АКТОГАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ» принята к публикации

Дата публикации: 20 октября 2025 г.

В приложении к данной справке отправляем Вам сертификат о публикации статьи.

Все поступающие в журнал статьи проходят обязательную проверку редакционной коллегией. На этом этапе оценивается соответствие материала тематике журнала, научная новизна, актуальность, оригинальность и соблюдение требований к оформлению.

Надеемся, что Ваша научная статья будет полезна и способствует дальнейшему развитию науки.

С наилучшими пожеланиями,
Международный научный журнал АКАДЕМИК.

Б.А. ТЕМИРБЕКОВ

Генеральный директор ТОО
Международный научный
журнал "АКАДЕМИК"




16.10.2025 г.

СЕРТИФИКАТ

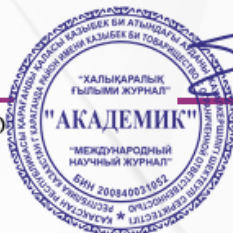
Настоящий сертификат подтверждает публикацию статьи
в международном научном журнале АКАДЕМИК

Қ. БАҚЫТЖАНҰЛЫ, Ш.А.ТЕЛКОВ, И.Ю. МОТОВИЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БАКТЕРИАЛЬНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ РУДЫ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ
СУЛЬФИДНЫХ РУД АКТОГАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Б.А. ТЕМИРБЕКОВ

Генеральный директор ТОО
Международный научный
журнал "АКАДЕМИК"




16.10.2025 г.

Республика Казахстан, г. Астана
www.journal-academic.com

“Международный научный журнал АКАДЕМИК”



№ 1 (285), 2025 г.

ОКТАБРЬ, 2025 г.

Издаётся с июля 2020 года

Астана
2025

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БАКТЕРИАЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ РУДЫ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ СУЛЬФИДНЫХ РУД АКТОГАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Қ.Бақытжанұлы, Ш.А.Телков, И.Ю. Мотовилов
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Аннотация. В статье рассматриваются результаты исследования процесса бактериального выщелачивания медно-молибденовой руды сульфидного типа, добываемой на Актогайском месторождении. Целью работы является разработка эффективной технологии биовыщелачивания, способствующей повышению извлечения меди и молибдена с минимальными затратами и экологическим воздействием. В практической части проведены лабораторные опыты с применением штаммов *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans*. Получены данные, подтверждающие целесообразность применения данной технологии для переработки низкосортных руд.

Ключевые слова: Актогайское месторождение, бактериальное выщелачивание, медно-молибденовая руда, сульфидные руды, биогидрометаллургия, *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

Актогайское месторождение, расположенное на востоке озера Балхаш, является одним из крупнейших в мире по запасам меди, занимая четвёртое место. Оно включает два типа руд: окисленные и сульфидные. Резервы окисленных руд составляют 119 млн тонн с содержанием меди около 0,37%, а сульфидных – 1,27 млрд тонн с содержанием меди 0,38%. Снижение содержания меди в руде усложняет её переработку, требуя внедрения дополнительных этапов обогащения. В декабре 2016 года на горно-обогатительном комплексе Актогай была запущена обогатительная фабрика, производящая концентрат с содержанием меди 20–25%. Однако для повышения эффективности извлечения меди и молибдена из бедных и труднообогатимых руд требуется разработка новых технологий.

Одним из перспективных направлений является бактериальное выщелачивание, основанное на использовании микроорганизмов, способных окислять сульфидные минералы, переводя металлы в растворимую форму. Данный метод особенно актуален для руд с низким содержанием полезных компонентов, где традиционные методы обогащения становятся экономически нецелесообразными. Применение биотехнологий позволяет снизить энергозатраты и уровень химического загрязнения окружающей среды, что соответствует современным требованиям устойчивого развития. Этот метод отличается экологичностью и экономической эффективностью, особенно при переработке низкосортных руд [1–2].

Для разработки оптимального технологического режима обогащения необходимо проанализировать каждый из факторов, влияющих на процесс флотации, и определить, каким образом можно регулировать их для достижения наилучших результатов. Следует выделить те параметры, изменение которых оказывает наибольшее воздействие на эффективность флотации. К ключевым технологическим факторам относятся: степень измельчения руды, плотность пульпы, условия аэрации и перемешивания, продолжительность флотации, уровень pH, скорость потока пульпы, интенсивность съема пены и другие. Учет этих факторов позволит повысить селективность процесса и извлечение целевых компонентов из сложных руд. Комплексное взаимодействие флотационных и биотехнологических методов открывает новые возможности в переработке бедных руд Актогайского месторождения.

Цель работы – разработка эффективной технологии бактериального выщелачивания медно-молибденовой сульфидной руды Актогайского месторождения с использованием штаммов *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans*, направленной на повышение извлечения меди и молибдена при минимальных затратах и экологическом воздействии.

Результаты

На сегодняшний день извлечение цветных металлов из низкосортных и труднообогатимых руд остаётся актуальной задачей горной и металлургической промышленности. Сульфидные медно-молибденовые руды требуют эффективных методов переработки, способных обеспечивать высокие показатели извлечения при минимальных затратах и экологических рисках. Одним из таких методов является бактериальное (биологическое) выщелачивание, основанное на способности хемолитотрофных микроорганизмов ускорять окисление сульфидных минералов и способствовать переходу ценных металлов в раствор [3].

В ходе настоящего исследования проведено сравнение традиционного химического выщелачивания и биовыщелачивания с использованием культур *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans*. Испытания проводились в лабораторных условиях, с контролем параметров среды (pH, ОВП, температура), и сопровождались регулярным отбором проб для анализа содержания металлов в растворе. Результаты показали явное преимущество биовыщелачивания в плане эффективности и глубины извлечения как меди, так и молибдена [4-5].

Одним из ключевых критериев оценки эффективности процесса является степень извлечения меди. На рисунке 1 представлены усреднённые значения извлечения меди при химическом и бактериальном выщелачивании.

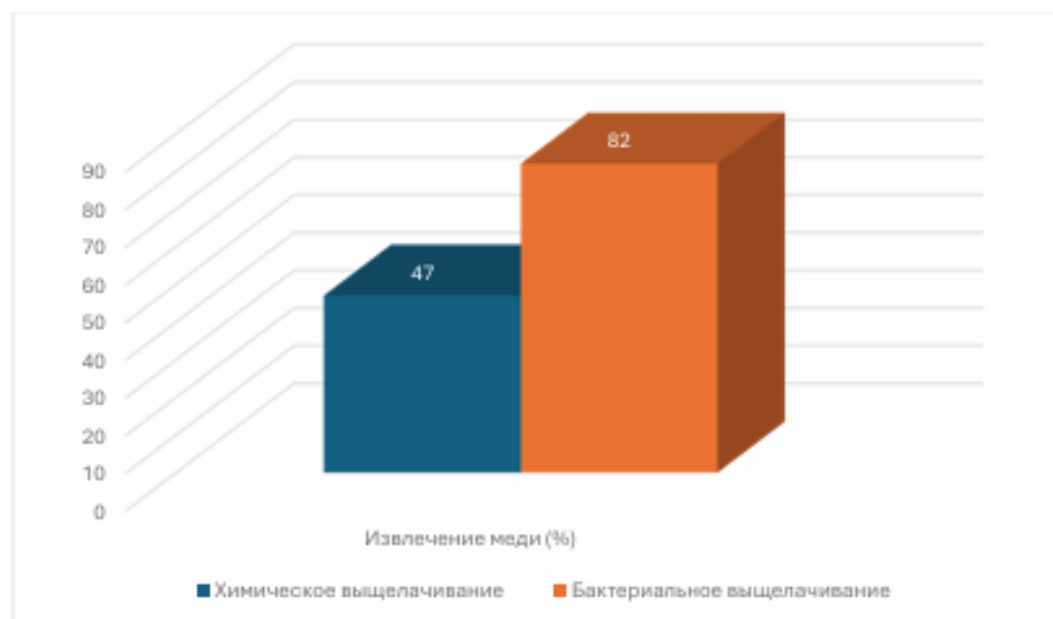


Рис. 1. Сравнение извлечения меди при различных методах выщелачивания
 Сурет 1. Әртүрлі сілтісіздендіру әдістерін қолдана отырып, мысты алууды салыстыру
 Figure 1. Comparison of copper recovery using different leaching methods

На данном рисунке видно, что применение биовыщелачивания позволило почти в 1,75 раза повысить извлечение меди по сравнению с химическим методом. Это объясняется активной деятельностью бактерий, которые окисляют железо и серу в составе сульфидов, в результате чего медь высвобождается и переходит в раствор в форме ионов Cu^{2+} .

Такой результат демонстрирует целесообразность использования бактериального метода для переработки руд с пониженным содержанием меди, особенно в промышленных масштабах, где значительное увеличение извлечения позволяет экономически обосновать эксплуатацию бедных участков месторождения [6].

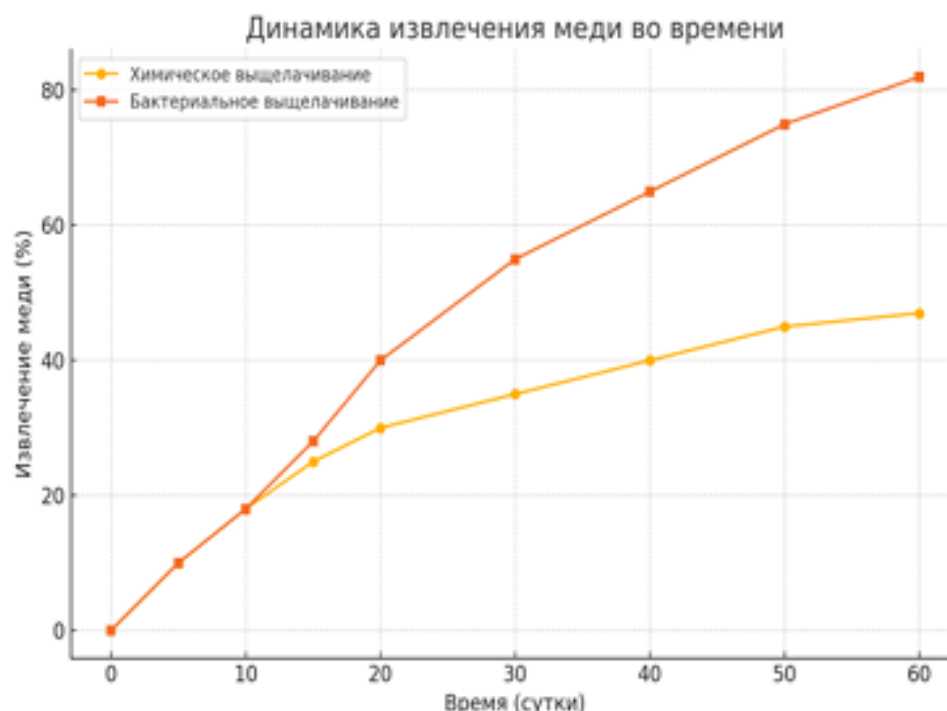


Рис. 2. Динамика извлечения меди в зависимости от времени

Сурет 2. Уақытқа байланысты мыс алу динамикасы

Figure 2. Dynamics of Copper Extraction Over Time

На рисунке 2 представлены две кривые: одна — для химического выщелачивания, вторая — для бактериального. По оси абсцисс отложено время (сутки), по оси ординат — степень извлечения меди в процентах. В начальные 10 суток оба метода показывают схожие результаты (до 20%), однако начиная с 15–20 суток кривая биовыщелачивания начинает резко расти, в то время как кривая химического выщелачивания выходит на плато. К 60-му дню биовыщелачивание обеспечивает извлечение до 82% меди, в то время как химическое — лишь около 47%. Это связано с тем, что микробиологические процессы продолжают активно протекать даже на поздних стадиях, тогда как химическое выщелачивание ограничено по кинетике реакций и растворимости [7].

Влияние параметров процесса. Для обеспечения стабильной работы биовыщелачивающих систем необходимо строго контролировать физико-химические параметры раствора, влияющие на активность бактерий и кинетику окисления сульфидных минералов.

pH среды
Оптимальный диапазон кислотности среды для активности бактерий составлял 1,8–2,2. В этом диапазоне сохраняется высокая скорость окисления железа и серы, а также активный рост микробной популяции. При повышении pH выше 2,5 наблюдалось заметное снижение скорости выщелачивания, что обусловлено снижением окислительной активности бактерий [8].

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП). Показатель ОВП достигал 480–550 мВ в системе с бактериями, что указывает на сильную окислительную среду. Высокий ОВП необходим для эффективного окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} который активно участвует в окислении халькопирита (CuFeS_2).

Температурный режим. Оптимальной температурой для функционирования используемых штаммов бактерий оказалась зона 30–35°C. В этих условиях наблюдается максимальная скорость метаболизма микроорганизмов и высокая эффективность

выщелачивания. Температуры ниже 25°C приводили к замедлению процессов, а выше 37°C – к снижению жизнеспособности бактерий [9-10].

Международный опыт применения технологии. Технология биовыщелачивания успешно применяется на ряде крупных месторождений в мире:

Месторождение Escondida (Чили) – крупнейшее медное месторождение в мире, где биовыщелачивание применяется для обработки окисленных и вторично-сульфидных руд. Использование технологии позволило существенно снизить операционные затраты и обеспечить устойчивое производство.

Месторождение Talvivaara (Финляндия) – здесь используется технология бактериального выщелачивания для добычи никеля, цинка и меди. Проект стал одним из крупнейших в Европе по внедрению промышленных биотехнологий в горной отрасли.

Проект Mt. Gordon (Австралия) – в 2000-х годах применялась биотехнология для переработки медных сульфидных руд. Результаты показали более 80 % извлечения меди при значительном снижении затрат по сравнению с пирометаллургическими методами.

Таким образом, результаты исследования однозначно подтверждают преимущество бактериального метода выщелачивания при переработке медно-молибденовых сульфидных руд. Дальнейшее масштабирование данной технологии может существенно повысить экономическую эффективность эксплуатации месторождений с низким содержанием меди и молибдена, таких как Актогайское.

Заключение

Проведённые исследования подтвердили эффективность бактериального выщелачивания сульфидной медно-молибденовой руды Актогайского месторождения. Использование штаммов *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* позволяет значительно повысить извлечение меди и молибдена по сравнению с традиционными методами. Оптимизация параметров процесса, таких как pH, температура и ОВП, способствует максимальной активности бактерий и эффективности выщелачивания.

Рекомендуется внедрение данной технологии в промышленный масштаб для переработки бедных и труднообогатимых руд, что позволит увеличить общий выход металлов и снизить экологическое воздействие на окружающую среду.

Таким образом, бактериальное выщелачивание представляет собой перспективное направление в развитии технологий переработки медно-молибденовых руд. Его широкое применение может обеспечить устойчивое развитие горнодобывающей отрасли, особенно в условиях снижения содержания полезных компонентов в сырье. Кроме того, использование биотехнологий соответствует глобальным тенденциям экологизации производства и может способствовать повышению конкурентоспособности отечественных горно-металлургических предприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бобракова А.А., Александрова Т.Н. Особенности флотации сульфидных минералов из молибденовых руд алюмосиликатного состава //Материалы IX Конгресса обогатителей стран СНГ, 2013.- Т.1.- С.115-117.
2. Гетман С.В. Инновационный подход к разработке технологии обогащения молибденовых руд //Материалы IX Конгресса обогатителей стран СНГ, 2013.- Т.1.- С.161-165.
3. Морозов В.В., Пестряк И.В., Баатархуу Ж., Хандмаа С. Повышение эффективности обогащения медно-молибденовых руд с применением комбинированной флотационно-биогидрометаллургической технологии //Изв. вузов. Горный журнал.- 2012.- № 4.- С.68-74.
4. Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Мухамедилова А.М., Муханова А.А., Сугурбекова А.К. Усовершенствование технологии флотации медно-молибденовой руды с применением модифицированных реагентов //Комплексное использование минерального сырья.- 2013.- № 4.- С.3-11.

5. Абубакриев А. Т., Магад Е., Игнатъев М. М., Койжа нова А. К., Есимова Д. М. Отработка оптимальных параметров и режимов выщелачивания медьсодержащих руд Байского месторождения // Ресурсосберегающие технологии в обогащении руд и металлургии цветных металлов: материалы Международной конференции, Алматы, 14–17 сентября 2015 г. – Астана : ТОО «Арко», 2015. – С. 172–175.
6. Koizhanova A. K., Magomedov D. R., Tastanov E. A., Ken-zhaliyev B. K., Sedelnikova G. V., Berkinbayeva A. N. Intensification of copper leaching from heaps using biological oxidation // Metalurgija. – 2022. – V. 61, № 3–4. – P. 789–792.
7. Lyu X., Zhao H., Zhang Y., Yan Z., Zhao Y., Zheng H., Liu W., Xie J., Qiu G. Active destruction of pyrite passivation by ozone oxidation of a biotic leaching system // Chemosphere. – 2021. – V. 277. – 130335.
8. Абдирассил, К. Р. Интенсивное обогащение сульфидной медно-молибденовой руды и получение эффективного медно-молибденового концентрата (коллективного) / К. Р. Абдирассил. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 15 (514). — С. 147-151.
9. Хайнасова Т. С. Факторы, влияющие на бактериально-химические процессы переработки сульфидных руд // Записки Горного института. 2019. Т. 235. С. 47–54.
10. Яковлева Т. А., Ромашев А. О., Машевский Г. Н. Оптимизация дозирования флотационных реагентов при флотации руд цветных металлов с применением цифровых технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-2. — С. 175—188.