

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра химической и биохимической инженерии

Бағашар Алуа Қуанқызы

Изучение микрофлоры горных пород для бактериального выщелачивания металлов

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела
Кафедра химической и биохимической инженерии

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**
Заведующий кафедрой
«Химическая и биохимическая
инженерия»
Доктор PhD
А. А. Амитова
«12» июня 2024г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Изучение микрофлоры горных пород для бактериального
выщелачивания металлов»

По образовательной программе 6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Выполнила

Багашар А. Қ.

**Рецензент**
Канд. техн. наук
Қуқық және
қарапармен жұмыс
Атапова О.В.
«12» июня 2024 г.

**Научный руководитель**
Канд. техн. наук
Турысбекова Г.С.
«12» июня 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела

Кафедра химической и биохимической инженерии

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

«Химическая и биохимическая
инженерия»

Доктор PhD

А. А. Амитова

«13» июня 2024г.



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающейся Бағашар Алуа Куанкызы

Тема: «Изучение микрофлоры горных пород для бактериального
выщелачивания металлов»

Утверждена приказом проректора по академической работе университета N 548

П/О от «04» декабря 2023 г.

Срок сдачи законченной работы

«4» июня 2024г.

Исходные данные к дипломному проекту: Месторождение «Бакырчиқ»

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) Литературный обзор
- б) Влияние микрофлоры горных пород на процесс бактериального выщелачивания металлов из руд и ее роль в данном процессе
- в) Бактериальное выщелачивание металлов из руд на месторождениях Казахстана
- г) Технологическая часть
- д) Экологическая выгода применения данного процесса в промышленности

АННОТАЦИЯ.

Данная работа фокусируется на изучении микрофлоры, присутствующей в горных породах, с целью применения ее в процессе бактериального выщелачивания металлов. В работе рассматриваются особенности взаимодействия микроорганизмов с минералами горных образований и их потенциал для эффективного извлечения металлов из рудных материалов. Анализируются преимущества использования микроорганизмов в данном процессе, включая уменьшение экологического воздействия, повышение эффективности добычи металлов и стимулирование инноваций в области горнодобычи. Работа представляет собой важный шаг в развитии устойчивых и эффективных методов добычи металлов, открывая новые перспективы для промышленности и экологии.

АНДАТПА.

Бұл жұмыс металдарды бактериялық шаймалау процесінде қолдану мақсатында тау жыныстарындағы микрофлораны зерттеуге бағытталған. Жұмыста микроорганизмдердің тау-кен түзілімдерінің минералдарымен өзара әрекеттесу ерекшеліктері және олардың кен материалдарынан металдарды тиімді алу әлеуеті қарастырылады. Экологиялық әсерді азайтуды, металл өндіру тиімділігін арттыруды және тау-кен саласындағы инновацияларды ынталандыруды қоса алғанда, осы процессте микроорганизмдерді пайда

ANNOTATION.

This work focuses on the study of microflora present in rocks in order to apply it in the process of bacterial leaching of metals. The paper examines the features of the interaction of microorganisms with minerals of rock formations and their potential for effective extraction of metals from ore materials. The advantages of using microorganisms in this process are analyzed, including reducing environmental impacts, increasing the efficiency of metal mining and stimulating innovations in the field of mining. The work represents an important step in the development of sustainable and efficient metal mining methods, opening up new prospects for industry and the environment.

ланудың артықшылықтары талданады. Жұмыс өнеркәсіп пен экологияның жаңа перспективаларын аша отырып, металл өндірудің тұрақты және тиімді әдістерін дамытудағы маңызды қадам болып табылады

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
Литературный обзор.....	8
2 Теоретическая часть.....	10
2.1 Микрофлора горных пород.....	10
2.2 Месторождения золота в Казахстане	11
2.2.1 Выщелачивание золота из руды месторождения «Бакырчик»	11
2.3 «Polymetal International».....	12
2.4 Механизм бактериального выщелачивания	13
2.4.1 Роль микроорганизмов в процессе	14
2.5 Тионовые бактерии.....	14
2.5.1 Выделение штаммов	15
2.5.2 Культивирование микроорганизмов в среде 9к.....	17
2.6 Питательная среда 9К.....	18
2.7 Адаптивность бактерий	19
2.8 Способы выщелачивания для бактериального выщелачивания металлов	20
3 Кинетика процесса	22
4 Экспериментальная часть	24
4.1 Основные параметры процесса	27
5 Экономический эффект.....	29
6 Экологический эффект.....	31
Заключение.....	32
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	34

ВВЕДЕНИЕ

В Казахстане бактериальное выщелачивание при помощи микрофлоры горных пород и дальнейшее использование металлов является ключевым и основным способом добычи и эксплуатации в нашей стране. Благодаря местности и рельефа позволяющих использовать ресурсы для дальнейшего развития промышленности внутри Казахстана. Тема бактериального биологического выщелачивания является актуальной и пользуется огромным спросом, что позволяет нам в огромной степени использовать и развивать ниже рассматриваемые способы, методики и технологии для продвижения и улучшения биотехнологии в горнодобывающей промышленности.

Актуальность работы

Изучение микрофлоры горных пород и ее использование в процессе бактериального выщелачивания металлов является актуальной темой в современном мире, где экологическая устойчивость и эффективность добычи полезных ископаемых имеют ключевое значение.

В данной работе будут рассмотрены основные аспекты взаимодействия микроорганизмов с минералами горных пород и их потенциал для извлечения металлов из рудных материалов.

Цель работы.

Целью данной работы является изучение микрофлоры горных пород и ее использование в процессе бактериального выщелачивания металлов, механизмы взаимодействия микроорганизмов с минералами горных пород и их роль в формировании и разрушении горных пород.

Научная новизна работы.

Научная новизна данной работы заключается в следующем:

- Исследование взаимодействия микроорганизмов с минералами горных пород
- Анализ потенциала микроорганизмов
- Изучение механизма процесса с целью оптимизации
- Оценка экологических и экономических выгод процесса

Практическая значимость работы.

Данная работа имеет практическую значимость для отрасли, обеспечивая новые подходы к добыче металлов, с учетом экологических и экономических аспектов, что способствует устойчивому развитию горнодобывающей промышленности.

1 Литературный обзор

Современное состояние практики бактериального выщелачивания металлов с помощью микрофлоры горных пород в Казахстане

Микрофлора горных пород представляет из себя огромное множество микроорганизмов, которые населяют эти горные породы. Это чаще всего гетеротрофные микроорганизмы, имеющие способность воздействовать на минералы и горные породы.

Микрофлора горных пород имеет неоспоримо важную роль в биовыщелачивании. Бактериальное выщелачивание включает в себя использование специфических химических и биотехнологических реакций для последующего извлечения металлов из горных пород. [21]

Микрофлора горных пород представляет собой сообщество микроорганизмов, обитающих в породах и способных взаимодействовать с минералами. Исследование микрофлоры горных пород и ее дальнейшее использование в бактериальном выщелачивании металлов несет за собой важное значение для эффективности и экологичности горнодобывающей промышленности. Благодаря использованию микроорганизмов можно снизить потребление химикатов и энергии, а также уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Бактерии определенных видов способны вырабатывать органические кислоты и другие соединения, способные растворять минералы, в которых содержится металл.

Таким образом, микрофлора горных пород играет важную роль в переработке минеральных ресурсов. Процесс бактериального выщелачивания применим в различных отраслях промышленности для извлечения цветных металлов из руд. В Казахстане изучаются микрофлора горных пород в рамках исследований Казахстанского Алтая, который представляет собой систему хребтов южной и юго-западной части Алтая и входит в юго-западную периферию Алтае-Саянской горной системы в бассейне Верхнего Иртыша. [6]

Также в Казахстане изучаются технологии окислительного и бактериального выщелачивания, которые могут быть использованы в процессах переработки золоторудных месторождений. Концентрация растворенного кислорода в пульпе и уровень рН пульпы являются важными параметрами процесса окисления, которые могут влиять на эффективность массообмена и извлечение золота. [6]

В настоящее время горнодобывающая промышленность столкнулась с проблемой уменьшения запасов полезных ископаемых и увеличения экологического воздействия. Поэтому необходимо разработать новые методы добычи и использования полезных ископаемых, которые будут

экологически чистыми и эффективными. Исследование микрофлоры горных пород и ее использование в бактериальном выщелачивании металлов является одним из таких методов.

Кроме того, изучение микрофлоры горных пород может способствовать пониманию ее роли в формировании и разрушении горных пород, что важно для разработки новых методов добычи и использования полезных ископаемых. Это может привести к увеличению эффективности добычи металлов, снижению потребления химикатов и энергии, а также уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Микрофлора горных пород

Микрофлора горных пород представляет собой совокупность микроорганизмов, обитающих в самих горных породах и образованиях. Ее изучение является перспективным в отношении понимания биогеохимических процессов и дальнейшем применении в промышленности. Микрофлора горных пород имеет важную роль в биогеохимических циклах, она оказывает влияние на процессы почвообразования, биовыщелачивания металлов. Горные породы содержат в себе различные сообщества микроорганизмов. Данными микроорганизмами могут являться бактерии, водоросли, грибы и прочие. Основными являются *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum*, *Thiobacillus*, *Ferroplasma*. Причина по которой они являются основными микроорганизмами, содержащихся в горных породах состоит в том, что данные микроорганизмы адаптированы к низкому значению pH, нехватке органических веществ, высокой концентрации металлов и другим экстремальным условиям. [8]

Микрофлора горных пород несет в себе несколько функций:

- а) Почвообразование. Микроорганизмы, при разложении горных пород, способствуют образованию почвенного вещества
- б) Биовыщелачивание. Тионовые бактерии окисляют сульфидные минералы и преобразуют их в водорастворимые формы.
- в) Биовыветривание. Микроорганизмы, содержащиеся в горных породах, ускоряют процессы выделения органических и неорганических кислот, растворяя минералы и способствуя высвобождению металлов и питательных веществ.

На сегодняшний день, изучение микрофлоры горных пород включают в себя микробиологические, молекулярные, биогеохимические методы, такие как:

- Биогеохимический анализ (Исследование взаимодействий микроорганизмов и минеральных субстратов)
- Микроскопия (Выделение и культивирование микроорганизмов на различных средах и изучение их морфологии)
- Метагеномика (Анализ ДНК микробных сообществ)

Микрофлора горных пород активно применяется в биотехнологических процессах, таких как биоремедиация и биовыщелачивание металлов. Чаще всего микроорганизмы применяют для извлечения металлов из руд, очистки участков, загрязненных тяжелыми металлами, превращая их в менее токсичные формы соединений. [23]

2.2 Месторождения золота в Казахстане

Казахстан – обладатель значительных запасов золота. Как страна, Казахстан занимает десятое место по запасам золотых месторождений среди других. Наибольшую концентрацию месторождений золота имеют восточные и северные районы нашей страны. [10]

Васильевское месторождение располагается на востоке Казахстана, 150 км к юго-западу от города Усть-Каменогорск. Месторождение Васильевское входит в число месторождений Западно-Калбинского золоторудного пояса и относится к комплексным золотым месторождениям. Само месторождение считается крупнейшим в своем регионе и имеет сложное геологическое строение, содержит такие рудные минералы как пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит и сфалерит со средним содержанием золота 2,8 грамм на тонну. Ранее, Васильевское месторождение было известно под названием «Актумсык». При работах на данном месторождении применяют метод кучного бактериального выщелачивания, что предоставляет возможность проводить процесс более экологично, с высокой эффективностью извлечения золота и низких затратах. [17]

Месторождение «Бакырчик» расположено в поселке Ауэзов, Абайской области Жарминского района в Казахстане. По величине запасов золота месторождение «Бакырчик» уверенно стоит на втором месте, содержа в себе около 326 тонн золота (с содержанием 9,4 грамм на тонну). Месторождение характеризуется сложным геологическим строением, рудная база составляет примерно 30 миллионов тонн. Основные минералы, содержащие золото – пирит и арсенопирит. Месторождение «Бакырчик» было открыто геологом Ф.С.Подсеваткиным в 1953 году, а работы по добыче золота начались в 2000-х годах и все еще продолжаются. Данное месторождение имеет важную роль для экономики Казахстана, поскольку добыча золота на месторождении Бакырчик составляет немалую часть национального производства драгоценных металлов. [17]

2.2.1 Выщелачивание золота из руды месторождения «Бакырчик»

Бакырчик может быть произведен с использованием очень распространенного метода выщелачивания золота – цианидное выщелачивание. Цианидное выщелачивание – стандартный процесс для многих золотосодержащих месторождений. Этапы его проведения:

- а) Подготовка руды: дробление и измельчение. Для облегчения процесса бактериального выщелачивания, сухую руду пропускают

через процессы дробления и измельчения для того чтобы достичь определенного размера частиц.

б) Выщелачивание. Руда, уже измельченная, помещается в выщелачивающие баки, где проходит контакт с цианидным раствором. Золото в руде реагирует с цианидом образуя растворимые комплексы золота.

в) Фильтрация. Рудосодержащий раствор отфильтровывается в целях отделения растворимых компонентов.

г) Экстракция. Раствор подвергают очистке и экстракции для отделения золота.

д) Осаждение. С использованием цинка осаждают золото из раствора.

ж) Выплавка. После дополнительной очистки осажденного золота, проводят плавку для получения конечного продукта.

На сегодняшний день, для бактериального выщелачивания и добычи золота из месторождения «Бакырчик» запущен проект «Кызыл».

Проект «Кызыл» представляет собой комплекс мероприятий по добыче и переработке золотосодержащих руд и реализуется компанией «Polymetal International», которая приобрела месторождение в 2014 году.

2.3 «Polymetal International»

«Polymetal International» - ведущий производитель золота в Республике Казахстан.

Компания владеет 100 процентами территории месторождения, а проекты геологоразведки происходят на флангах месторождения «Бакырчик». В 2023 году на востоке месторождения производили развелоchnое бурение, целью которого было увеличить минерально – сырьевую базу и расширить карьер. Работы прошли успешно и удалось обнаружить глубокие горизонты рудного тела, что в последствии расширило сырьевую базу и повлекло за собой продолжительный процесс бурения. В 2024 году компания Polymetal поставила цель расширения хвостохранилища и увеличения производительности. [18]

Компания начала свои работы на месторождении «Бакырчик» в 2018 году, добычу осуществляет традиционным открытым способом из залегания руды с ее высокими содержаниями. Как только завершится фаза открытых горных работ, компания планирует перейти на добычу подземным путем. Добычу золота и ее переработку осуществляют методом автоклавного выщелачивания и флотацией.

Автоклавное выщелачивание – химический процесс, проводимый для извлечения различных компонентов из твердых веществ при помощи водных растворов щелочей и кислот. Основой процесса выступает реакция, когда

извлекаемый компонент переходит в растворимое состояние.

Плюсы процесса:

- Высокая эффективность извлечения металлов
- Процесс проходит быстрее традиционных методов, за счет высоких температуры и давления
- Обработка сложных руд

Минусы процесса:

Сложность управления процессом

- Высокие затраты
- Экологические риски

Руда, добываемая с месторождения «Бакырчик» перерабатывается компанией «Polymetal International» традиционным флотационным способом на фабрике, с мощностью в 2,4 миллиона тонн. [18]

Производственный цикл (рис.1):

Дробление, измельчение двумя мельницами (шаровая и мельница полусамоизмельчения), после чего идет флотация. Далее концентрат сгущают, проводят фильтрацию, сушку и упаковывают для транспортировки и переработки по технологии автоклавного окисления на Амурский гидрометаллургический комбинат или же перепродажи. [12]

ESG показатели работы компании Polymetal:

ESG (Environmental, Social, Governance) показатели – это индекс, который наглядно показывает заботу предприятия об экологии, условиях труда и стратегии данной компании.

Компания Polymetal с заботой относится к окружающей среде и использует различные технологии для минимизации риска загрязнения:

- Используются электрические экскаваторы, чтобы минимизировать загрязнение от дизельной техники.
- На стадии проектирования у компании имеется солнечная станция, которая позволит покрывать 16-17 процентов электроэнергии
- 90% воды – повторно используется
- 10% электроэнергии выработана возобновляемыми источниками.

Все предприятия компании сертифицированы согласно стандарту ISO 14001 «Система экологического менеджмента».

2.4 Механизм бактериального выщелачивания

Бактериальное выщелачивание – это гидрометаллургический процесс, при котором происходит извлечение химических элементов и их соединений из руд, концентратов, техногенного сырья с помощью микроорганизмов. Для успешного осуществления процессов окисления и выщелачивания создают условия, подходящие окислению в рудах месторождений, где сера и металлы выщелачиваются, переводясь в водорастворимые соединения. Окислителем сульфидов выступает сульфат закиси железа, а не только кислород, сульфаты металлов и серная кислота,

как рассматривали раньше, так как окисление сульфидных минералов принято было считать исключительно химическим процессом. Сама реакция окисления сульфида сульфатом закиси железа протекает так:



Здесь наглядно показано, что по итогу данной реакции сульфат закиси железа в кислой среде постепенно окисляется до сульфата окиси железа. Для того чтобы ускорить процесс требуется добавление тионовых бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, что ускоряет процесс в 180000 раз. [24]

2.4.1 Роль микроорганизмов в процессе

В процессе бактериального выщелачивания металлов микроорганизмы способствуют минеральному разложению солей и последующему выделению металла из руды. Выбор конкретного микроорганизма зависит от таких факторов, как: свойства руды, требуемая эффективность извлечения, условия проводимого процесса. [20]

2.5 Тионовые бактерии

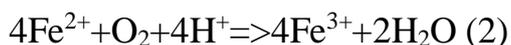
Тионовые бактерии – обладатели способности использовать энергию окисления восстановленных соединений серы в серную кислоту, окисления закисного железа или других органических веществ для ассимиляции углерода, построения клеточной стенки и других функций. Данная их способность широко применяется в промышленном выщелачивании металлов из руд при помощи мезофильных микроорганизмов. [22]

Наиболее эффективными в процессе бактериального выщелачивания металлов из руд считаются ацидофильные мезофильные бактерии - *Acidithiobacillus thiooxidans* и *Acidithiobacillus ferrooxidans*, которые на протяжении долгого времени применяются в промышленности.

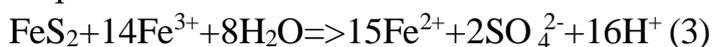
Тионовые бактерии – хемолитоавтотрофы, что дает понять, что в энергетическом процессе с участием этих бактерий источником электронов являются неорганические вещества, бактерии питаются по системе автотрофной ассимиляции углекислоты в органические вещества.

Acidithiobacillus ferrooxidans – граммотрицательная неспорообразующая бактерия, занимающая важное место среди тионовых бактерий благодаря ее способности использовать энергию окисления закисного железа в окисное, помимо свойственной тионовой бактерии способности к автотрофному росту благодаря окислению соединений серы. Это на сегодняшний день дает нам возможность активно применять данный вид бактерий в горнодобывающей промышленности, в биовыщелачивании металлов, таких как медь, золото, никель из сульфидных руд. Имеет палочковидную форму, полярный жгутик и размер не более 0,5 микрометров в диаметре и 1 микрометра в длину. В природе чаще всего встречается одиночными палочками, иногда расположенных парами. Соединения, окисляемые с помощью *A. Ferrooxidans*:

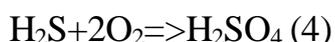
Железо:



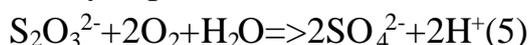
Пирит



Сернистый водород



Тиосульфат

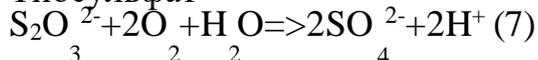


Acidithiobacillus thiooxidans - хемолитотрофная ацидофильная граммотрицательная аэробная бактерия, использующая серу в качестве источника энергии. Имеет форму палочки с закругленными концами, полярным спиралевидным жгутиком, бактерия размером как *A. ferrooxidans* - не более 1 микрометра в длину и 0,5 микрометров диаметром. Одним из важнейших применений этой бактерий можно назвать биовыщелачивание металлов из сульфидных руд. *A. thiooxidans* окисляет сульфиды, параллельно высвобождает металлы, образуя серную кислоту и в дальнейшем разлагая минералы. Размножается *A. thiooxidans* используя деление, редко образуя цепочки из клеток, часто они расходятся. Соединения, окисляемые с помощью *A. thiooxidans*:

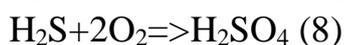
Элементарная сера



Тиосульфат



Сульфиды, к примеру сернистый водород



Полисульфиды



2.5.1 Выделение штаммов

Выделение штаммов бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* для проведения процесса промышленного бактериального выщелачивания включает в себя этапы:

Выделение *Acidithiobacillus thiooxidans*:

а) Сбор образцов. Сбор образцов проводится с горных пород и почв, шахтных вод и рудников, где присутствуют источники железа и серы. Образцы собирают используя строго стерильные инструменты, помещая их в стерильные контейнеры, доставляются в лабораторию при прохладной температуре (4-10 градусов Цельсия)

б) Обработка образцов. Небольшое количество образца (5-10 грамм) добавляют в дистиллированную воду или буферный раствор (50 миллилитров), встряхивается для отделения твердых частиц и далее используется для дальнейшего культивирования.

в) Культивирования на питательной среде 9К. Супернатант добавляют в стерильную среду, инкубируют при 28-30 градусах Цельсия с постоянной аэрацией * встряхивание при 150-200 оборотов в минуту)

г) Выделение чистых культур. В момент, когда наблюдается рост бактерий, образец переносят на твердую среду 9К с агаром применяя метод разведения на чашках Петри для изоляций отдельных колоний. В течении 5-10 дней инкубируют чашки при температуре 28-30 градусов Цельсия.

д) Идентификация штамма. Идентификацию проводят биохимическими тестами (определяют способность к окислению железа и других субстратов), молекулярными методами: тест PCR(амплификацией специфических генов, к примеру 16S рРНК ген), секвенирование, флуоресцентная гибридизация *in situ*

ж) Оценка способности к бактериальному выщелачиванию. Для оценки способности выделенного штамма к бактериальному выщелачиванию проводят ряд процедур: Берут руду или концентрат, содержащий серные соединения, для приготовления минерального субстрата. В среде, содержащей данный субстрат, инокулируют культуру полученных бактерий, регулярно измеряя концентрацию выщелачиваемых металлов. [22]

Выделение *Acidithiobacillus ferrooxidans* проводится аналогично:

а) Сбор образцов. Сбор образцов проводится с горных пород и почв, шахтных вод и рудников, где присутствуют источники серы. Образцы

собирают используя строго стерильные инструменты, помещая их в стерильные контейнеры, доставляются в лабораторию при прохладной температуре (4-10 градусов Цельсия)

б) Обработка образцов. Небольшое количество образца (5-10 грамм) добавляют в дистиллированную воду или буферный раствор (50 миллилитров), встряхивается для отделения твердых частиц и далее используется для дальнейшего культивирования.

в) Культивирования на питательной среде 9Ж. Супернатант добавляют в стерильную среду, инкубируют при 28-30 градусах Цельсия с постоянной аэрацией.

г) Выделение чистых культур. В момент, когда наблюдается рост бактерий, образец переносят на твердую среду с агаром методом разведения на чашках Петри для изоляции отдельных колоний. В течении 5-10 дней инкубируют чашки при температуре 28-30 градусов Цельсия.

д) Идентификация штамма. Идентификацию проводят биохимическими тестами (определяют способность к окислению серных соединений), молекулярными методами: тест PCR (амплификацией специфических генов, к примеру 16S рРНК ген), секвенирование, флуоресцентная гибридизация *in situ*

ж) Оценка способности к бактериальному выщелачиванию. Для оценки способности выделенного штамма к бактериальному выщелачиванию проводят ряд процедур: Берут руду или концентрат, содержащий серные соединения, для приготовления минерального субстрата. В среде, содержащей данный субстрат, инокулируют культуру полученных бактерий, регулярно измеряя концентрацию выщелачиваемых металлов. [22

От правильности проведения выделения штаммов в дальнейшем зависит эффективность процесса бактериального выщелачивания, стабильность и устойчивость параметров процесса, адаптация к условиям месторождения, экологическая безопасность и экономическая выгода.

2.5.2 Культивирование микроорганизмов в среде 9ж

Условия культивирования бактерий:

Acidithiobacillus ferrooxidans требует условий, обеспечивающих метаболическую активность. Важно внимательно отнестись к обеспечению условий для обеспечения активного накопления биомассы на стадии ее же наращивания, что повысит интенсивность проводимого биовыщелачивания.

Основные этапы культивирования *Acidithiobacillus ferrooxidans*:

а) Подготовка питательной среды: для *A.ferrooxidans* питательная

среда обязана содержать в себе компоненты, нужные для метаболической активности и жизнедеятельности. Зачастую – сульфаты аммония, сульфаты железа, органические источники азота и углерода, источники энергии (сульфидные минералы).

б) Настройка параметров pH и температуры: *A.ferrooxidans* – ацидофильные бактерии, предпочитающие кислые среды со значением pH от 1,5 до 4,5 (оптимальное значение роста 2,0 – 2,5). Температурные показатели играют решающую роль в активности и росте данных бактерий, способных расти при температуре до 40 градусов Цельсия, но оптимальным считается температурный диапазон в 20 – 35 градусов Цельсия.

в) Обеспечение кислорода: *A.ferrooxidans* – аэробная бактерия, наличие кислорода обязательно для метаболизма и роста штамма. Для обеспечения кислорода используют аэрацию либо интенсивное перемешивание среды.

г) Мониторинг роста: рост штамма бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* при проведении процесса культивации отслеживается с помощью измерения оптической плотности культуры. Для этого используется спектрофотометр либо же используя камеру подсчета считается количество живых клеток.

Основные этапы культивирования *Acidithiobacillus thiooxidans*:

а) Подготовка питательной среды: для *A.ferrooxidans* питательная среда обязана содержать в себе компоненты, нужные для метаболической активности и жизнедеятельности. Зачастую – калий фосфат как источник фосфора, хлорид кальция как источник кальция, сульфат аммония, элементарная сера, источники энергии (сульфидные минералы).

б) Настройка параметров pH и температуры: *A.thiooxidans* – ацидофильные бактерии, предпочитающие кислые среды со значением pH от 2,0 до 4,0 (оптимальное значение роста 2,0 – 3,0). Температурные показатели играют решающую роль в активности и росте данных бактерий, способных расти при температуре до 35 градусов Цельсия, но оптимальным считается температурный диапазон в 28-30 градусов Цельсия.

в) Обеспечение кислорода: *A.thiooxidans* – аэробная бактерия, наличие кислорода обязательно для метаболизма и роста штамма. Аэрация обеспечивается в биореакторе с постоянным перемешиванием и подачей воздуха.

г) Мониторинг роста: рост штамма бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* при проведении процесса культивации отслеживается с помощью измерения оптической плотности культуры. Измеряется спектрофотометром при длине волны 600 нм для оценки биомассы. Измерения проводятся регулярно. Концентрацию серных соединений

учитывают для контроля эффективности окисления серы, проводится при помощи титрования либо спектрофотометрии.

2.6 Питательная среда 9К

Наиболее часто используемой питательной средой, применяемой в бактериальном выщелачивании для культивирования микроорганизмов (в частности бактерий рода *Acidithiobacillus*) является питательная среда 9К (среда Silverman and Lundgren). Разработала эту среду американский микробиолог Сильвия Стейнхаус. 9К – обозначает, что в ней содержится 9 грамм на литр Fe^{2+} . На сегодняшний день среда активно применима в биотехнологии для культивирования бактерий, участвующих в процессах биовыщелачивания металлов. Состав среды (на 1 литр):

- Сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ – источник азота
- Хлорид калия KCl - источник калия
- Гидроортофосфат калия K_2HPO_4 – источник фосфора
- Эпсомит $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – источник магния
- Нитрат кальция $Ca(NO_3)_2$ – источник кальция
- Купорос железный технический $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ - источник Fe^{2+} , основной субстрат окисления

Рецепт для приготовления среды:

- $(NH_4)_2SO_4$: 3,0 грамм
- KCl: 0,1 грамм
- K_2HPO_4 : 0,5 грамм
- $MgSO_4 \cdot 7H_2O$: 0,5 грамм
- $Ca(NO_3)_2$: 0,01 грамм
- $FeSO_4 \cdot 7H_2O$: 44,2 грамм

Приготовление среды:

- а) С помощью аналитических весов все компоненты взвешиваются с высокой точностью.
- б) В дистиллированной воде, нагретой до 50 градусов Цельсия, перемешиваются все компоненты за исключением сульфата железа (II) до полного растворения.
- в) Добавляется сульфат железа (II) в анаэробных условиях из за риска его окисления в присутствии воздуха.
- г) Раствор фильтруется через фильтр (толщина 0,2 микрометра) с целью исключения возможных примесей.
- д) Среду помещают в автоклав (температура 121 градус Цельсия) для стерилизации на 15-20 минут.

ж) Питательная среда далее разливается в стерильные флаконы и хранится при температуре 4°C до использования.

Данный состав питательной среды 9Ж - базовый. В зависимости от конкретных целей и условий культивирования, состав среды может быть адаптирован для оптимизации роста и метаболической активности *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans*.

2.7 Адаптивность бактерий

Бактерии рода *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* хорошо адаптируются к различным условиям окружающей среды, так как являются микроорганизмами, обитающими в кислотной среде. Их адаптивность к экстремальным условиям отражается в следующих пунктах:

- Толерантность к кислоте. *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* способны выживать и размножаться при очень низком уровне pH.
- Устойчивость к токсинам. *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* – это обладатели возможности выделять экстраклеточные полимеры, которые в свою очередь нейтрализуют, поглощают тяжелые металлы. Также, данные микроорганизмы обладают системой детоксикации внутри клеток.
- Метаболическая пластичность. Данные штаммы бактерий имеют широкий спектр метаболических путей и используют разные источники энергии и углерода.
- Окислительные возможности. Окисляют серу и железо.
- Генетическая адаптация. *Acidithiobacillus thiooxidans* имеют генетическую пластичность и способность к горизонтальному переносу генов.

2.8 Способы выщелачивания для бактериального выщелачивания металлов

Дамповый метод – старейший способ выщелачивания минерального сырья. В ходе работы вершину дам постоянно орошают либо же выщелачивающим раствором (подкисленная вода или кислый раствор сульфата железа III валентного). Для повышения уровня извлечения металлов можно еще использовать аэрацию и термическую изоляцию.

Преимущество процесса:

- Низкие затраты на энергию и трудовые ресурсы

- Не требует сложного оборудования
- Меньший объем выбросов
- Разнообразие сырья

Недостатки процесса:

- Низкий коэффициент извлечения
- Большая длительность процесса
- Трудности в контроле над процессом
- Риск загрязнения грунтовых вод и почвы

Чановое выщелачивание – процесс в каскаде реакторов, применяемый для переработки богатых концентратов ил руд. Встречается данный метод в горнодобывающей промышленности, им извлекают уран, золото, медь, серебро, упорные концентраты.

Преимущество процесса:

- Высокая эффективность извлечения
- Регуляция процесса и минимизирование потерь
- Быстрое выщелачивание

Недостатки процесса:

- Высокие затраты на оборудование
- Весьма энергозатратен
- Ограниченный объём чанов
- Токсичность отходов

Кучное выщелачивание – промышленный процесс, обычно данным методом выщелачивают уран, медь, драгоценные металлы. Руда раскладывается в виде штабелей, смачивается для вымывания металлических элементов. Применим метод кучного выщелачивания для мелкоизмельченной руды, не способной подвергаться методу флотации.

Преимущество процесса:

- Низкие капитальные затраты
- Легкость в реализации
- Меньшие выбросы в окружающую среду
- Разнообразие подходящих руд

Недостатки процесса:

- Низкий коэффициент извлечения
- Длительный срок процесса
- Климатические ограничения
- Меньший контроль управления процессом

Подземное выщелачивание – выщелачивание *in situ* в месте залегания руды. Обычно проводится в заброшенных рудниках. Выщелачивающий раствор прокачивают сквозь рудное тело вместе с микроорганизмами, далее

раствор откачивают насосом в установку и извлекают металлы. Выполняется для извлечения урана и меди.

Преимущество процесса:

- Экономическая эффективность
- Не нужны открытые работы, сохраняется ландшафт
- Точность управления
- Минимизация водопотребления

Недостатки процесса:

- Ограничение по типу руды
- Технические проблемы, трудности прогнозирования

Длительный срок выщелачивания

3 Кинетика процесса

Понимание кинетики процесса бактериального выщелачивания металлов с помощью микрофлоры горных пород важно для оптимизации процесса и создания новейших экологически безопасных и экономически более выгодных технологий для горнодобывающей промышленности. Кинетика процесса зависит от:

- Состав микрофлоры. На скорость и эффективность процесса влияет разнообразие и активность применяемых микроорганизмов.
- Условия окружающей среды. Параметры задаваемые при проведении процесса (температура, концентрация кислорода, давление, pH) влияют на результат процесса.
- Состав руды. Физико – химические показатели руды (содержание металла, минералогический состав, размер частиц) влияют на кинетику процесса.

Для полного описания кинетики процесса бактериального выщелачивания металлов применимо уравнение Монода (1) или уравнение Михаэлиса – Ментен (2). В данных реакциях наглядно показывается зависимость скорости реакции от концентрации субстрата и активности используемых микроорганизмов:

$$\mu = \mu_{\max} \cdot S / (S + K_S) \quad (1)$$

где μ – удельная скорость роста бактерий,
 μ_{\max} – максимальная удельная скорость роста,
 S – концентрация субстрата,
 K_S – константа насыщения субстрата.

$$d/dt = - V_{\max} / K_m \quad (2)$$

где d – концентрация вещества
 dt - концентрация
 V_{\max} – максимальная скорость реакции,
 K_m – константа Михаэлиса.

Кинетика бактериального выщелачивания захватывает взаимодействие химических и биологических процессов, описываемых двумя приведенными уравнениями Монода и Михаэлиса – Ментен. Моделирование данного процесса позволяет оптимизировать процесс и улучшить его эффективность, но требует учета всех параметров. [13]

4 Экспериментальная часть

В ходе изучения процесса бактериального выщелачивания, была приготовлена среда для культивации 9К (среда Сильвермана - Люндгрена) (рисунок 1)



Рисунок 1 – среда 9К с микроорганизмами

Среда 9К культивируется в биореакторе с аэратором.

Чтобы приготовить среду 9К нужно приготовить 2 раствора.

а) Приготовление первого раствора. В 700 миллилитрах дистиллированной воды растворяют:

- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 3,0 грамм
- KCl : 0,1 грамм
- K_2HPO_4 : 0,5 грамм
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,5 грамм
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 0,01 грамм
- 10 процентный $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 44,2 грамм

б) Приготовление второго раствора. в 300 миллилитрах дистиллированной воды добавляют 1 миллилитр серной кислоты и растворяют 44,2 грамма $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Показатель pH 1,5-2,5.

в) Растворы стерилизуют отдельно. Первый раствор при 1 атмосфере, второй раствор при 0.5 атмосфер. Затем оба раствора смешивают.

г) Инкубируют при 30 градусах Цельсия до появления роста. Возникает бурый окрас, показывающий что образовался Fe^{3+} .

Для культивации микроорганизмов проводили процесс культивации в

культиваторе объемом 5 литров, подливая питательную среду каждые 3-4 дня. Ждали пока культура размножится и станет активной. (рисунок 2)



Рисунок 2 – Культивирование микроорганизмов в биореакторе

Процесс бактериального выщелачивания протекать в лабораторных условиях – не сложно. Оборудование, имеющееся в стенах нашего университета, применяется для осуществления процесса.

В качестве микрофлоры использовалась руда, добытая взрывным методом (рисунок 3)



Рисунок 3 - Руда, добытая взрывным методом.

Руду, отправляют в дробилку (рисунок 4) для измельчения и доведения до концентратов (размером 3-5 миллиметров). (рисунок 5)



Рисунок 4 – Дробилка



Рисунок 5 – Руда после дробилки

Далее все отправляется на обогащение для проведения реакции обогащение руды до концентрата, чтобы далее отправить концентраты на выщелачивание. Руда, после измельчения попадает в шаровую мельницу (рисунок 6), где за счет трения, вибрации и скорости руда измельчается еще больше (рисунок 7)



Рисунок 6 - Шаровая мельница



Рисунок 7 – измельченная руда

Далее измельченная руда и бактериальная суспензия смешиваются в ректорах, поддерживают температуру 28-30 градусов Цельсия, кислый рН 1,5-2,5, аэрация, берут отборы проб на анализ при помощи спектрофотометра (рисунок 8) (томно-абсорбционной спектроскопии (AAS) или индуктивно-связанной плазменной масс-спектрометрии (ICP- MS)). Культивировали 5 дней.

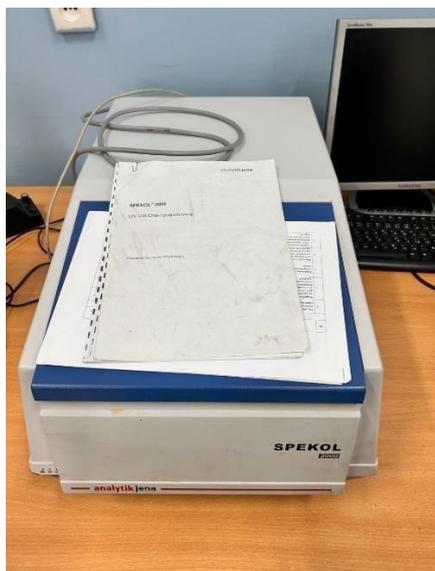


Рисунок 8 – Спектрофотометр

Далее, основываясь на содержание металлов в растворе делают анализ и считают процент извлечения металла из руды (рисунок 9)



Рисунок 9 – результат эксперимента, золото в растворе.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Параметры	Единицы измерения	День 1	День 3	День 5
Концентрация золота	Миллиграмм/литр	1,1	3,3	4,9
Концентрация Fe ²⁺	Миллиграмм/литр	150	139	125
Концентрация Fe ³	Миллиграмм/литр	45	65	80
Концентрация SO ₄ ²⁻	Миллиграмм/литр	120	160	200
Оптическая плотность (OD600)		0,2	0,3	0,4
pH раствора		2,5	2,3	2,1

4.1 Основные параметры процесса

Бактериальное выщелачивание металлов – это сложный биогеохимический процесс, который требует большого количества внимания к деталям процесса. Для успешного окисления сульфидов микроорганизмами, высвобождения металлов нужно тщательно контролировать следующие параметры: [24]

а) Тип микроорганизмов. Так как микроорганизмы в данном процессе несут за собой ключевую роль, важно ответственно отнестись к выбору штамма микроорганизма, способного окислять сульфидные минералы и поддерживать кислую среду.

б) Показатель pH. Не менее важную роль имеет показатель pH. Железо- и сероокисляющие тионовые бактерии *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* функционируют при низком pH среды (от 1,5 до 3,0). Низкий pH обеспечивает растворение металлов, не допуская осаждения железа, что важно для поддержания активности микроорганизмов

в) Температура. Температурный режим влияет на активность микроорганизмов, в нашем случае тионовых бактерий, которые являются мезофильными, поддержание оптимальной температуры в 30-35 градусов Цельсия очень важно.

г) Концентрация кислорода. Поскольку аэробным микроорганизмам нужен кислород для окисления сульфидов, показатель концентрации кислорода является важным параметром. Аэрация производится с помощью непрерывной подачи воздуха либо постоянным перемешиванием.

д) Концентрация бактерий. Для успешного бактериального выщелачивания нужно поддерживать концентрацию бактерий, обеспечивающую максимальный уровень активности окислительных процессов. Для бактерий рода *Acidithiobacillus ferrooxidans* оптимальная концентрация составляет 10^7 - 10^8 клеток на миллилитр.

ж) Питательные вещества. Основные элементы (азот, фосфор, калий) обязательно должны быть в достаточном количестве.

5 Экономический эффект

Экономическая часть данной дипломной работы посвящена деятельности компании «Polymetal» в добыче золота с месторождения «Бакырчик». [12]

Компания разработала комплексную программу финансирования своих проектов,

Таблица 2 – описание финансовых показателей компании

	Анализ финансовых показателей	Основной источник доходов – перепродажа третьим лицам или АМГ, финансирование инвесторами, биржевая торговля. Основные расходы – оборудование и его обслуживание, затраты на добычу, переработку, персонал, транспортировку
	Затратная часть	Постоянные затраты -Сырье и материалы -Обслуживание оборудования -Заработная плата сотрудникам компании -Административные расходы Переменные затраты: -Затраты на электроэнергию -Затраты на утилизацию отходов -Затраты на внедрение новых технологий
	Финансовый анализ	Активы и пассивы компании: Акции, капитал собственный, активы, операционные расходы.
	Экономическая эффективность биовыщелачивания	Преимущества: -Снижение воздействия на окружающую среду -Увеличение степени извлечения металла -Снижение затрат на переработку
	Финансовые риски	В основном технологические связанные с оборудованием, реагентами, микроорганизмами.

Внедрение бактериального выщелачивания в деятельность компании увеличивает выход продукции, оптимизирует затраты и повышает конкурентоспособность компании, делая ее устойчивой на рынке.

Бактериальное выщелачивание металлов в Республике Казахстан имеет немалый экономический эффект за счет снижения капитальных затрат, создания новых рабочих мест, уменьшения экологического воздействия на окружающую среду, снижения затрат на переработку руды, эффективное использование ресурсов и повышение общей доходности горнодобывающей отрасли.

Рассматривая другие существующие проекты добычи золота и других металлов, на таких месторождениях, как например Варваринское, внедрение биотехнологических методов, а именно бактериального выщелачивания – значительно улучшить экономические показатели проектов и увеличит процент извлечения металлов.

6 Экологический эффект

Бактериальное выщелачивание обладает внушительным рядом преимуществ и на сегодняшний день является предпочтительнее традиционных методов добычи руд и их дальнейшей переработки, так как технология процесса экологически безопасна. Бактериальное выщелачивание значительно снижает использование агрессивных и опасных химических реагентов, минимизирует вредоносные выбросы в атмосферу и воду благодаря тому, что происходит при более мягких условиях, сокращает объемы отходов, так как отходы производства и хранилищ постоянно перерабатываются. Бактериальное выщелачивание происходит при низких температурах, следовательно, энергозатратность также падает, а реагенты, используемые в процессе бактериального выщелачивания в большинстве случаев – биоразлагаемы. [19]

Экологическая политика компании Polymetal направлена на снижение рисков на всех этапах реализации проектов компании, проводится непрерывный мониторинг и постоянные работы в области устойчивого развития. [11]

В рамках СЭМ (Системы Экологического Менеджмента) компания определила экологические цели, компания Polymetal ежегодно публикует отчеты о достижениях целей, которыми являются:

- Соблюдения требований экологического законодательства Республики Казахстан.
- Обеспечение обучения сотрудников и готовности к чрезвычайным ситуациям.
- Оповещение общественности об экологическом аспекте работы компании.
- Снижение негативного экологического воздействия деятельности компании.
- Правильное проведение мероприятий по закрытию или открытию месторождений.
- Снижение воздействия деятельности компании на биоразнообразие и его сохранение.
- Увеличить долю повторно используемых вскрытых пород

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе были рассмотрены процесс бактериального выщелачивания и роль микрофлоры горных пород в этом процессе, а именно тионовых бактерий *Acidithiobacillus thiooxidans* и *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Метод выщелачивания основывается на биогеохимических процессах. Бактериальное выщелачивание очень перспективно в горнодобывающей промышленности в Казахстане, так как страна владеет обширным запасом руд. Основные выводы работы:

- Бактериальное выщелачивание оказалось высокоэффективным в окислении сульфидных минералов, что в последствии способствует извлечению металлов. В Казахстане много запасов руд с низким содержанием металлов, что делает бактериальное выщелачивание экономически предпочтительным нежели традиционные методы.
- Бактериальное выщелачивание отличается более мягким экологическим воздействием. Это уменьшает загрязнение окружающей среды и снижается необходимость очистки экосистем.
- Бактериальное выщелачивание – экономически более выгодно, в сравнении с традиционными методами, так как затраты (как капитальные, так и эксплуатационные) снижаются.

Бактериальное выщелачивание, как и любой процесс, имеет свои плюсы и минусы. К плюсам процесса можно отнести:

- а) Экономическая выгодность.
- б) Экологическую безопасность
- в) Простоту масштабирования

К недостаткам изученного процесса относят:

- а) Ограниченное разнообразие применяемых руд
- б) Постоянная потребность в контроле состоянии окружающей среды и подходящих для процесса параметров.
- а) Продолжительность процесса
- б) Риск загрязнения окружающей среды бактериальными культурами или продуктами их жизнедеятельности.

Продолжение исследований в области бактериального выщелачивания и оптимизации данного процесса, для дальнейшего внедрения новшеств в горнодобывающую промышленность Казахстана окажет положительное влияние на гидрометаллургическую отрасль и экономику страны в целом. Для этого необходимо своевременно проводить

исследования бактерий и оптимальных для них условий, проводить эксперименты с разными типами руд, оценку экологического воздействия, оптимизацию процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Баймуханов, А. А. Микробиологические процессы в добыче полезных ископаемых / А. А. Баймуханов. — Алматы: Издательство КазНУ, 2018. — 320 с
- 2 Шумилова, Е. А. Микробиология и биотехнологии выщелачивания металлов / Е. А. Шумилова. — Пермь: ПГТУ, 2018. — 270 с
- 3 Турысбекова, Г. С., Бектай, Е. К. Технология бактериального выщелачивания / Г. С. Турысбекова, Е. К. Бектай. — Алматы: КазНУ, 2021. — 320 с.
- 4 Сагинтаев, К. Е. Влияние бактерий на процессы выщелачивания металлов в Казахстане // Казахский химический журнал. — 2018. — Т. 50, № 4. — С. 34-41.
- 5 Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. Золото: Инновации в химии и металлургии. Алматы, 2015 г. 632 стр
- 6 Алтынбеков, К. (2019). "Биометаллургия: новые перспективы в казахстанской горнодобывающей промышленности". Научный журнал "Горное дело и экология", 17(4), 42-48
- 7 Нуртаев, М. А. Основы микробиологии горных пород / М. А. Нуртаев, Ж. К. Абдрахманова. — Алматы: Экономика, 2019. — 290 с.
- 8 "Биотехнология: Учебник для вузов" (Липницкий, А. В., Кременцов, А. А., & Веселовский, А. В., 2010)
- 9 Иванов, А. А. Безопасность труда в биотехнологических процессах. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.
- 10 Официальные отчеты и публикации государственных и научных геологических организаций Казахстана, таких как "Казгеология" и "Геологический комитет Министерства промышленности и инфраструктуры Республики Казахстан".
- 11 Rawlings, D. E., & Johnson, D. V. (2020). *Biomining: Theory, Microbes, and Industrial Processes* (2nd ed.).
- 12 Сагинтаев, К. Е. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из рудных месторождений Казахстана
- 13 Методические рекомендации компании Polymetal International при работе бактериального выщелачивания металлов из руд
- 14 Отчеты компании Polymetal International об устойчивом развитии от 2021, 2022 гг.
- 15 "The kinetics of gold dissolution in aerated cyanide solutions" (Haque, K. E., & Hughes, L. O., 2001)
- 16 "Микробиология промышленных процессов: учебное пособие" (Джангириян, Л. А., Сергеева, Е. Г., & Страус, О. П., 2008)
- 17 "Mineral resources of Kazakhstan and their importance for the country's economy" (Nikitin, A., 2016)
- 18 Кодекс, стандарты и политики компании Polymetal International
- 19 Смирнов, А. С., & Кузнецова, Т. В. (2015). Биотехнологические методы добычи металлов и их влияние на окружающую среду. Экологическая безопасность и рациональное природопользование, (4), 82-89.
- 20 Харченко, Л. В., & Тарасова, Л. С. (2019). Микроорганизмы в горном деле и их использование при биотехнологическом обогащении полезных ископаемых.
- 21 Григорьев, А. В., & Иванов, К. Д. (2020). Биотехнологические методы обогащения рудных материалов.
- 22 Боковиков, В. П., & Павлова, Н. В. (2015). Микробиология горных пород и ее значение для биотехнологического обогащения руд. Уральский горный журнал, (8), 72-78.

- 23 Лебедев, Ю. А., & Степанов, Д. С. (2019). Роль *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* в биолеачинге металлов. *Экология и промышленность*, 23(2), 45-52
- 24 Лебедев, Ю. А., & Степанов, Д. С. (2019). Механизмы бактериального выщелачивания металлов: роль микроорг

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу

Багашар Алуа Куанқызы

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Тема: Изучение микрофлоры горных пород для бактериального
выщелачивания металлов.

В данной дипломной работе на тему «Изучение микрофлоры горных пород для бактериального выщелачивания металлов», Багашар А. изучила процесс бактериального выщелачивания с применением тионовых бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans*, приведя в пример работу компании по добыче золота Polymetal International.

В экспериментальной части своей работы Багашар А. была приготовлена среда 9К для культивирования микроорганизмов, далее культивировала бактерии для последующего выщелачивания золота.

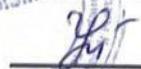
Багашар А. привела в своей работе казахстанскую и иностранную литературу последних лет, то есть подробно раскрыла изучаемый процесс и его технологию.

Перед дипломантом были поставлены цели: изучить процесс бактериального выщелачивания, роль микрофлоры горных пород в данном процессе и провести лабораторные работы по приготовлению среды, работы с оборудованием. Багашар А. отлично справилась со всеми задачами.

Я, как научный руководитель, заметила, что эта дипломная работа была разработана в соответствии со всеми требованиями и стандартами, в процессе были выполнены все поставленные цели. Учитывая это, отмечаю, что Багашар А. достойна к присуждению академической степени бакалавра по образовательной программе 6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия и заслуживает высокую оценку «отлично» (94).



Научный руководитель
Канд. техн. наук, профессор

 Турысбекова Г.С.

«12» июня 2024 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на _____
_____ дипломную работу _____
(наименование вида работы)

_____ Бағашар Алуа Қуанқызы _____
(Ф.И.О. обучающегося)

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

(шифр и наименование ОП)

На тему: «Изучение микрофлоры горных пород для бактериального выщелачивания металлов»

- а) графическая часть на _____ листах
б) пояснительная записка на _____ 38 _____ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Тема исследования применения микроорганизмов в промышленности, в том числе в металлургии цветных металлов, является актуальной, с возможным прикладным применением.

В дипломной работе проведен анализ технологии применения основных железо- и сероокисляющих бактерий, в приложении к использованию на золотодобывающих предприятиях Казахстана, для определения эффективности бактериального выщелачивания, технология представлена в сравнении с одной из передовых технологий по автоклавной переработке руды, используемой компанией «Polymetal International». Рассмотрены механизм и кинетика процесса бактериального выщелачивания. Проведенные опыты по культивации бактерий, описанные в экспериментальной части подтверждают выводы, сделанные при работе с научной литературой. Так же в дипломной работе даны описания экономического и экологического эффекта при использовании в золотодобывающей отрасли биотехнологических способов извлечения металла.

В целом работа логически выстроена и завершена, цели, поставленные дипломным руководителем, выполнены.

Оценка работы

Дипломная работа выполнена на уровне, достаточном для получения квалификации «Бакалавр» с оценкой «отлично» 90 баллов.

Рецензент

В.Н.С. кандидат тех наук
Атанова О.В. Күкық және
(должность, уч. степень, звание)

Ф. И.О.

«12» _____ 2024 г.

Копы/подпись _____
Атановой О.В.

растаймын / заверяю
Ғылыми хатшы / Ученый секретарь
«Металлургия және кен байыту институты» АҚ
«12» 06 20 24 ж. _____



Metadane

Tytuł

Микрофлора горных пород для бактериального выщелачивания металлов

Autorizy

Багашар Алуа Куанкызы

Promotor

Гаухар Турысбекова

Jednostka organizacyjna

ИГИНГД

Alerty

W tej sekcji znajdują się statystyki występowania w tekście zabiegów edytorskich, które mogą mieć na celu zaburzenie wyników analizy. Niewidoczne dla osoby zapoznającej się z treścią pracy na wydruku lub w pliku, wpływają na frazy porównywane podczas analizy tekstu (poprzez celowe błędy pisowni) w celu ukrycia zapożyczeń lub obniżenia wyników w Raporcie podobieństwa. Należy ocenić, czy zaznaczone wystąpienia wynikają z uzasadnionego formatowania tekstu (nadwrażliwość systemu), czy są celową manipulacją.

Znaki z innego alfabetu		2
Rozstrzelenia		0
Mikrospacje		1
Ukryte znaki		0
Parafrazy		8

Metryka podobieństw

Należy pamiętać, że wysokie wartości Współczynników nie oznaczają automatycznie plagiatu. Raport powinien zostać przeanalizowany przez kompetentną / upoważnioną osobę. Wyniki są uważane za wymagające szczegółowej analizy, jeśli WP 1 wynosi ponad 50%, a WP 2 ponad 5%.



25
Długość frazy dla WP 2



5972
Liczba słów



48664
Liczba znaków

Aktywne listy podobieństw

Uwagi wymagają szczególnie fragmenty, które zostały włączone do WP 2 (zaznaczone pogrubieniem). Użyj linku "Pokaż w tekście" i zobacz, czy są to krótkie frazy rozproszone w dokumencie (przypadkowe podobieństwa), skupione wokół siebie (parafraza) lub obszerne fragmenty bez wskazania źródła (tzw. "kryptocytaty").

10 najdłuższych fragmentów

Kolor w tekście

LP	TYTUŁ LUB ADRES URL ŹRÓDŁA (NAZWA BAZY)	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)	
1	https://kulart.ru/uz/diagnosis/cu-cennye-ukazaniya-okislitelno-vosstanovitelnye-reakcii-h2o-okislitelno/	13	0.22 %
2	РПЗ_ Рахимов А.Б._Арх-18-12(20) 5/18/2023 Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering (Kazgasa) (ДАПК)	12	0.20 %
3	https://kulart.ru/uz/diagnosis/cu-cennye-ukazaniya-okislitelno-vosstanovitelnye-reakcii-h2o-okislitelno/	10	0.17 %

4	Бактериальное выщелачивание упорных концентратов 6/17/2021 Satbayev University (ИХиБТ)	10	0.17 %
5	http://ibpm.ru/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=25&Itemid=102	10	0.17 %
6	https://kular.ru/uz/diagnosis/cu-cennye-ukazaniya-okislitelno-vosstanovitelnye-reakcii-h2o-okislitelno/	8	0.13 %
7	https://kular.ru/uz/diagnosis/cu-cennye-ukazaniya-okislitelno-vosstanovitelnye-reakcii-h2o-okislitelno/	7	0.12 %
8	http://ibpm.ru/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=25&Itemid=102	6	0.10 %
9	https://kular.ru/uz/diagnosis/cu-cennye-ukazaniya-okislitelno-vosstanovitelnye-reakcii-h2o-okislitelno/	6	0.10 %
10	https://kular.ru/uz/diagnosis/cu-cennye-ukazaniya-okislitelno-vosstanovitelnye-reakcii-h2o-okislitelno/	6	0.10 %

z bazy RefBooks (0.00 %)

LP	TYTUŁ	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)
----	-------	--------------------------------

z bazy macierzystej (0.33 %)

LP	TYTUŁ	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)
1	Бактериальное выщелачивание упорных концентратов 6/17/2021 Satbayev University (ИХиБТ)	20 (3) 0.33 %

z Programu Wymiany Baz (0.20 %)

LP	TYTUŁ	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)
1	РПЗ_ Рахимов А.Б._Арх-18-12(20) 5/18/2023 Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering (Kazgasa) (ДАПК)	12 (1) 0.20 %

z Internetu (1.62 %)

LP	ADRES URL ŹRÓDŁA	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)
1	https://kular.ru/uz/diagnosis/cu-cennye-ukazaniya-okislitelno-vosstanovitelnye-reakcii-h2o-okislitelno/	60 (8) 1.00 %
2	http://ibpm.ru/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=25&Itemid=102	37 (6) 0.62 %

Lista zaakceptowanych fragmentów (brak zaakceptowanych fragmentów)

LP	TREŚĆ	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)
----	-------	--------------------------------