

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева
Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

УДК 692.772:576.8 (043)

На правах рукописи

Ергалиев Ерасыл Садуакасович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

Бактериальное выщелачивание
золотосодержащих руд и концентратов

Направление подготовки

7М07204 – Metallurgy and enrichment
of useful minerals

Научный руководитель: канд. техн.
наук, ассоц. профессор

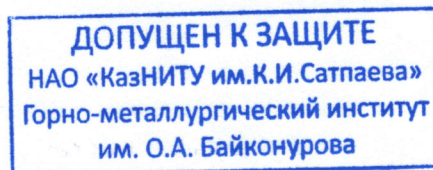
Г.С. Турысбекова
« 06 » 06 2022 г.

Рецензент:

Доктор Ph.D,

С.н.с. лаборатории редких металлов
РГП «НЦ КИМС РК»

Г.К. Малдыбаев
« 07 » 06 2022 г.



Нормоконтроль:

магистр технических наук,
ведущий инженер кафедры
МиОПИ

А.Н. Таймасова
« 02 » 06 2022г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой МиОПИ,
кандидат технических наук

М.Б. Барменшинова
« 07 » 06 2022г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

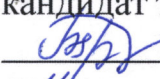
Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургии и обогащения полезных ископаемых»

7М07204 – Metallurgia i obogasheniye poлезных ископаемых

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой МиОПИ,
кандидат технических наук

 М.Б. Барменшинова
«11» 01 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской работы

Магистранту: *Ергалиев Ерасыл Садуакасович*

Тема: *«Бактериальное выщелачивание золотосодержащих руд и концентратов»*

Утверждена приказом Ректора Университета №2026-м от «3» 11.2020 г.

Срок сдачи законченной диссертации «10» июня 2022 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: *золотосодержащее техногенное сырье золотоизвлекательной фабрики месторождения Васильковское, АО «Altyntau-Kokshetau».*

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- a) На основе анализа определить направления исследований для бактериального выщелачивания руд и концентратов*
- b) Изучить режимы процесса бактериального выщелачивания руд и концентратов*
- c) Теоретическая обоснованность*
- d) Экономическая оценка эффективности бактериального выщелачивания.*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены 16 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература:

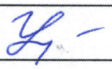
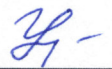
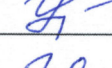
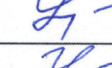
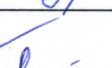
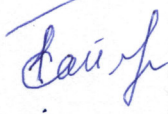
1. Турысбекова Г.С. «Технология бактериального выщелачивания», Алматы, 2014г., стр. 35
2. Дементьев В.Е., Дружина Г.Я., Гудков С.С. Кучное выщелачивание золота и серебра. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 2004.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

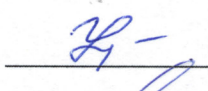
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	06.09.2021	
Аналитический обзор литературы	14.12.2021	
Методика исследований	21.02.2022	
Экспериментальная часть	07.04.2022	
Заключение	15.05.2022	

Подписи

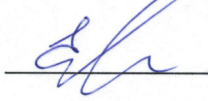
консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую
диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование раздела	Консультанты И.О.Ф (уч.степень, звание)	Дата подписания	подпись
Введение	Г.С. Турысбекова канд.техн.наук, ассоц. профессор	06.09.2021	
Аналитический обзор литературы		14.12.2021	
Методика исследований		21.02.2022	
Экспериментальная часть		07.04.2022	
Заключение		15.05.2022	
Нормоконтролер	А.Н. Таймасова магистр тех. наук, ведущий инженер	2.06.2022	

Научный руководитель

 Турысбекова Г.С.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Ергалиев Е.С.

Дата

« 06 » 09 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Настоящая магистерская диссертационная работа состоит из задания, введения, 5 глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 60 страницах машинописного текста, включает 5 рисунков, 10 таблиц. Список литературы содержит 65 наименований.

Объектом исследования являлись золотосодержащие техногенные сырье золотоизвлекательной фабрики месторождения Васильковское, АО «Altyntau-Kokshetau».

Цель настоящей работы исследование бактериального выщелачивания золотосодержащих руд и концентратов, из упорного техногенного сырья, путем ввода окисляющих реагентов для интенсификации процесса выщелачивания.

В работе приведены данные физико-химических и минералогических исследований золотосодержащего техногенного сырья руд и концентратов месторождения Васильковское АО «Altyntau-Kokshetau», представлены результаты экспериментов по биовыщелачиванию.

В магистерской диссертации исследовалась работа по бактериальному выщелачиванию золотосодержащих руд и концентратов, с содержанием золота в руде 2,62 и с содержанием золота в концентрате 20 г/т, с целью повышение извлечения золота до 90 % с помощью биокультур.

Результаты фазового анализа подтвердили присутствие в минеральном составе сырья значительных включений арсенопирита и пирита. В процессе дальнейших экспериментов была исследована эффективность ввода реагентов окислителей в процессе выщелачивания, в качестве контрольного варианта для сравнения служил метод прямого цианирования. Помимо традиционных методов цианидного выщелачивания были протестированы варианты бактериального окисления. Эксперименты по выщелачиванию золота из руд после бактериального окисления показали достаточно высокое извлечение.

Выполнен литературный анализ характеристики руд и концентратов РК и технологий переработки золотосодержащего сырья.

АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертациялық жұмыс міндеттен, әкімшіліктен, 5 бөлімнен, қорытындыдан, әдебиеттерден тұрады. Жұмыс машинада жазылған мәтіннің 60 бетіне орнатылған, 5 суретті, 10 кестеден тұрады. Пайдаланылған әдебиеттер тізімінде 65 зат бар.

Зерттеу нысаны «Алтынтау-Көкшетау» АҚ Васильковское кен орнының алтын төбелік зауытының құрамында алтын бар техногендік шикізат болды.

Бұл жұмыстың мақсаты - құрамында құрамында құрамында иілген және концентраттардың, сабырлы реагенттерден, шайғыш реагенттерден бактериалды сілтілендіруді зерттеу, шаймалау процесін жандандыру.

Қағазда АҚ «Алтынтау-Көкшетау» Васильковское концентраттарының құрамында алтын құрамы мен минералогиялық зерттеулерінің мәліметтері көрсетілген.

Магистрлік диссертацияда алтын құрамы мен концентраттарының бактериалды шаймалау жұмыстары зерттелді, ал алтынның алтындығы 2,62-г/т де алтын құрамы және алтын құрамы алтын құрамы 20 г/т тонна концентратымен, алтынды 90% -ға дейін арттыру биокультураларды қолдану.

Фазалық талдау нәтижелері арсенопирит пен пириттің едәуір қосылатын шикізат құрамында болғанын растады. Әрі қарай эксперименттерде сілтілендіру процесінде оксидантты реагенттердің тиімділігі зерттелді, тікелей цианизация әдісі салыстыруға арналған басқару нұсқасы ретінде пайдаланылды. Терездендірудің дәстүрлі цианидтік сілтісізден басқа, бактериалды тотығу нұсқалары сыналды. Бактериялық тотығудан кейін рудалардан алынған тәжірибелер жеткілікті жоғары өндіруді көрсетті.

Қазақстан Республикасының кендері мен концентраттарының сипаттамаларын және құрамында алтын құрамы бар шикізаттардың сипаттамаларын әдеби талдау жүргізілді.

ANNOTATION

This master's dissertation work consists of a task, administration, 5 chapters, conclusion, literature of literature. The work is set out on 60 pages of machine-written text, includes 5 drawings, 10 tables. The list of references contains 65 items.

The object of the study was the gold-containing man-made raw materials of the gold-ceiling factory of the Vasilkovskoye deposit, Altyntau-Kokshetau JSC.

The purpose of this work is the study of bacterial leaching of gold-containing ores and concentrates, from a resistant technogenic raw material, by entering oxidizing reagents to intensify the leaching process.

The paper presents the data of physicochemical and mineralogical studies of the gold-containing technogenic raw materials of the ores and concentrates of the Vasilkovskoye JSC "Altyntau-Kokshetau", presented the results of experiments on bio-seeking.

In a master's thesis, work on bacterial leaching of gold-containing ores and concentrates was investigated, with a gold content in ore 2.62 and with a gold content in a 20 g/t concentrate, in order to increase the extraction of gold to 90% using biocultures

The results of phase analysis confirmed the presence in the mineral composition of raw materials of significant inclusions of arsenopyrite and pyrite. In the process of further experiments, the effectiveness of input of oxidant reagents in the leaching process was investigated, direct cyanization method was used as a control version for comparison. In addition to traditional cyanide leaching methods, bacterial oxidation options were tested. Experiments on the leaching of gold from ores after bacterial oxidation showed a sufficiently high extraction.

A literary analysis of the characteristics of ores and concentrates of the Republic of Kazakhstan and the processing technologies of gold-containing raw materials are performed.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
Литературный обзор	
1 Современное состояние переработки золотосодержащего техногенного сырья	11
1.1 Процесс интенсивного цианирования золотосодержащего сырья	12
1.2 Бактериальное окисление	14
1.3 Автоклавное выщелачивание	15
2 Методы исследования, исходное сырье и материалы.	18
2.1 Методы исследования	18
2.2 Исследование химического, фазового и минералогического состава проб	18
3 Факторы влияющие на бактериальное выщелачивание	24
4 Определение оптимальных параметров процесса биовыщелачивания золота	26
4.1 Исследования биоокислительного выщелачивания на золотосодержащем сырье	29
4.2 Исследования биоокислительного выщелачивания золотосодержащих концентратов	31
5 Экономическая оценка эффективности бактериального выщелачивания	35
Заключение	
Список использованной литературы	
Приложение А. Оттиски публикаций по теме магистерской диссертации	
Приложение Б. Рецензии	

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния дел в области переработки золоторудного сырья в настоящее время позволяет сформулировать основные проблемы. Они связаны, в первую очередь, с наличием технологически упорных руд и концентратов, плохо поддающихся обработке общепринятыми в промышленной практике методами. Во-вторых, ухудшением качества перерабатываемого золоторудного сырья. В-третьих, резко возросшими в последние годы требованиями к охране окружающей среды, так как значительное количество золота содержится в хвостохранилищах обогатительных фабрик, негативно влияющих на окружающую среду [1].

В настоящее время в гидрометаллургии благородных металлов интенсивно развивается направление, связанное с применением микроорганизмов. Достижения в этой области имеются в Институте Пастера (Франция), а также в Университете города Дакара (Сенегал). Исследования по биохимическому вскрытию упорных золото- и серебросодержащих руд (концентратов), активно проводятся в научно-исследовательских центрах России, стран СНГ и дальнего зарубежья [2-4]. Описана технология биовыщелачивания, при которой культура железобактерий вводится непосредственно в брикет руды. Рекомендованы процессы биовыщелачивания сульфидных руд, основанные на применении тионовых бактерий, которые окисляют сульфиды металлов и двухвалентное железо, а продукты окисления растворяют золото [5].

Важным преимуществом биотехнологических способов является возможность переработки техногенного сырья в условиях атмосферного давления и при обычной температуре, без загрязнения окружающей среды. В процессе выщелачивания микроорганизмами низкосортного золотосодержащего сырья вскрываются даже субмикрочастицы (в том числе микровключения в сульфиды) золота.

В последние годы для извлечения золота из упорного минерального сырья применяют микробиологическое окисление сульфидных минералов с помощью бактерий *Acidobacillus* (ранее *Thiobacillus*) *ferrooxidans*, которые могут выступать в кислой среде в качестве окислителей для разрушения кристаллических решеток сульфидных минералов, вмещающих золото [6-10]. Все это определяет актуальность и необходимость решения проблем извлечения ценных компонентов из минерального сырья.

Основание и исходные данные для разработки темы. В условиях существенного истощения балансовых запасов руд месторождений Казахстана и снижения их качества необходимо применение новых способов биоокисления, позволяющих повысить эффективность выщелачивания упорного сырья. Основанием для разработки темы является исследование бактериального выщелачивания руд и концентратов.

Обоснование необходимости проведения НИР. Разработанная технология при переработке упорной золотосодержащей руды месторождения

Алтынтау Кокшетау с применением микроорганизмов в процессе биоокисления позволяет повысить степень извлечения золота в раствор.

Обзор научно-технической литературы и патентные исследования в области биохимического вскрытия минерального сырья с использованием микроорганизмов свидетельствуют о новизне предлагаемого для реализации научного проекта, позволяющем повысить извлечение золота при переработке упорного золотосодержащего сырья на 2-3 % [24-29].

Сведения о метрологическом обеспечении НИР. В процессе проведения работ метрологическое обеспечение определялось наличием сертифицированных химико-аналитической лаборатории и лаборатории физических методов анализа. Метрологические измерения выполнялись на поверенных контрольно-измерительных приборах, что обеспечивает достоверность получаемых результатов и анализов.

Актуальность темы. Результаты, полученные при выполнении данного проекта, позволили разработать биогидрометаллургическую технологию переработки золотосодержащей руды. Применение технологии биоокисления показывает, что она является наиболее простым, экономичным, эффективным и экологически безопасным способом переработки золотосодержащего сырья. Технология основана на окислении сульфидных минералов группами ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов, способных использовать в качестве субстрата для жизнедеятельности сульфиды, серу и ее восстановленные соединения, а также ионы двухвалентного железа. В связи с этим разработка способов, повышающих эффективность применения биоокисления для извлечения золота из золотосодержащего сырья, является актуальной задачей.

Научная новизна работы заключается в применении микроорганизмов для эффективной переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов. В качестве комплексного реагента применены тионовые бактерий *Thiobacillus ferrooxidans*.

Целью работы является изучение вещественного состава проб и экологизация действующей эффективной технологии извлечения золота из минерального сырья с применением биохимического метода.

Объектом исследования являются отвалы, бедные, упорные золотосодержащие руды и их концентраты.

Задачи исследования. В соответствии с поставленной целью определены основные задачи настоящего исследования:

- а) На основе анализа определить направления исследований для бактериального выщелачивания руд и концентратов
- б) Изучить режимы процесса бактериального выщелачивания руд и концентратов
- в) Теоретическая обоснованность
- г) Экономическая оценка эффективности бактериального выщелачивания.

Область применения. Горно-обогатительная и металлургическая отрасли промышленности Республики Казахстан.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты настоящей диссертационной работы могут быть использованы: как лекционный материал для общих и специальных курсов «биотехнология», «биогеотехнология», «микробиология» и др., в высших учебных заведениях, готовящих селекционеров микрофлору как материал для селекционных программ по получению новых микробоценозов золотосодержащих руд, кинетических параметров реакций бактериального извлечения золота из бедных, золотосодержащих руд установлен механизм протекания процессов бактериально-химического вскрытия руд.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы, докладывались и обсуждались на международной научно-практической конференции «Современное развитие технологий в обогащении полезных ископаемых и металлургии» (КазНУ им. К. Сатпаева, г. Алматы, 2022).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из обозначений и сокращений, введения, обзора литературы, материалов и методов исследования, результатов исследования, заключения, списка использованных источников, включающего 65 источников. Текст диссертации изложен на 60 странице машинописи, иллюстрирована 10 таблицами и 5 рисунками.

1 Современное состояние переработки золотосодержащего техногенного сырья

Современные научные исследования направлены на применение биотехнологических методов извлечения, которые являются наиболее экономически выгодными и экологически безопасными. Перспективным способом в этом отношении является бактериальное окисление с последующим выщелачиванием золота. [11-14].

Разнообразные ландшафтно-климатические условия большинства месторождений Казахстана способствуют концентрированию эндемичных видов микроорганизмов, специфичных только для условий того или иного местообитания

В мировой практике постоянно идет поиск новых современных экологически безопасных технологий переработки золотосодержащих руд. Все большую известность приобретают биогидрометаллургические процессы извлечения золота с изучением микрофлоры различного сырья, выделение, изоляция основных групп микроорганизмов для последующей их генетической идентификации на основании анализа нуклеотидной последовательности гена [15].

В настоящее время на большинстве ЗИФ перерабатывают руды, в которых присутствуют сульфидные минералы. Золото в таких рудах частично ассоциировано с сульфидами, а частично находится в свободном состоянии. В большинстве случаев руды этого типа относятся к категории упорных [16]. На современных ЗИФ эти руды, как правило, обогащаются флотацией. Цианирование с последующим осаждением благородных металлов из растворов цинковой пылью или электролизом, используемое в настоящее время для извлечения золота и серебра из руд, не удовлетворяет все ужесточающимся требованиям к охране окружающей среды и имеет существенные недостатки.

В мировой практике для переработки золотосодержащих руд в последние десятилетия широко используется процесс кучного выщелачивания золота растворами цианидов щелочных металлов. К настоящему времени в горнодобывающей промышленности Республики Казахстан этот процесс получил развитие только в последние годы, в связи с этим преимущества указанного метода переработки руд выявлены недостаточно полно.

Применение бактериального способа для цианирования повысило бы степень извлечения золота из смешанных сульфидных и упорных золотомышьяковых руд на 20-30 % [17].

В Республике Казахстан имеется ряд месторождений, где целесообразно получение металлов способом бактериально-химического выщелачивания. Например, на различных месторождениях (Саяк, Акбакай, Бестобе, Актогай, Коунрад, Жайрем, Бакырчик, Сатпаев, Аксу, Алтынтау, Кокшетау и т.д.) имеются огромные запасы бедных, заброшенных, забалансовых и труднообогатимых руд. (рисунок 1)

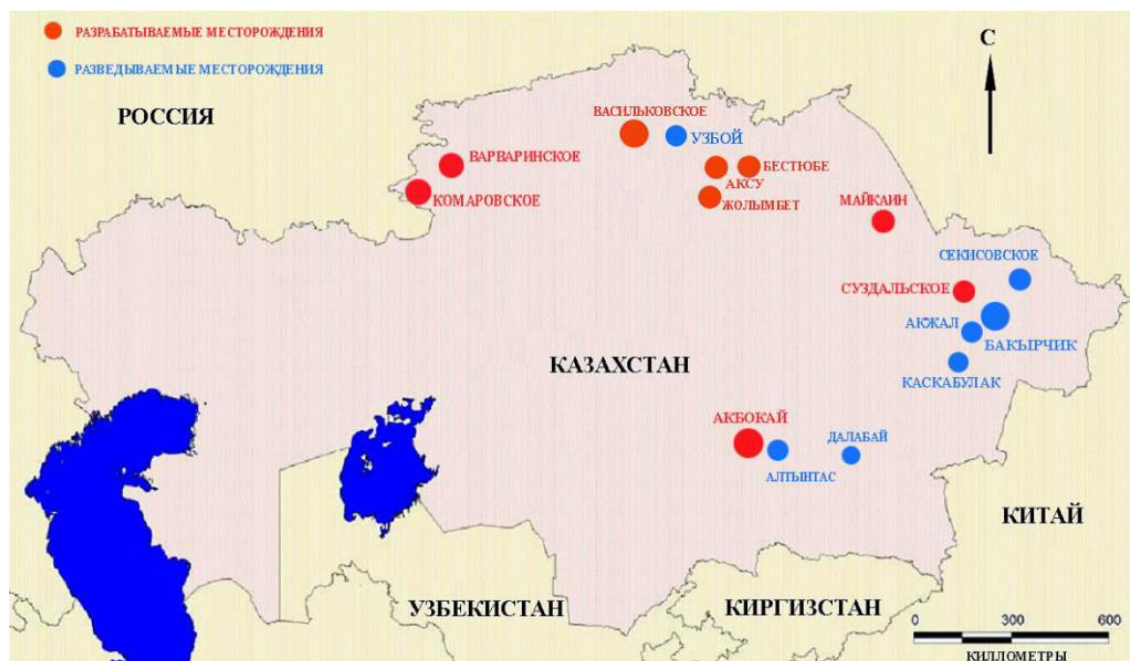


Рисунок 1 – Перспективные золоторудные месторождения Казахстана.

1.1 Процесс интенсивного цианирования золотосодержащего сырья

Процесс интенсивного цианирования основан на использовании высоких концентраций цианида, окислителя (кислород) и щелочи. Кроме того, для интенсификации процесса цианирования возможно применение следующих приемов: повышение температуры, снижение вязкости раствора, применение аэрации, а также возможно применение реагентов-ускорителей. Извлечение золота из упорного сырья, в котором металл зачастую связан с сульфидами, покрыт пленками или находится в тонко вкрапленном состоянии, является важнейшей технологической задачей, способствующей доизвлечению металлов и вовлечению отходов в повторную переработку с применением современных методов [18 - 24].

В настоящее время значительное количество литературных данных посвящено ускорению процессов цианирования благородных металлов с использованием химических добавок. Преимуществами таких методов являются высокая технологичность - отсутствие необходимости менять технологию устоявшегося производственного процесса, не требуется применения специального оборудования и высококвалифицированного персонала. К недостаткам такого подхода следует отнести увеличение экологической нагрузки на окружающую среду, что, однако, является малозначимым при использовании экологически безопасных соединений. Поэтому поиск более дешевых, эффективных и экологически безопасных реагентов-ускорителей является актуальным направлением совершенствования процесса интенсивного цианирования золотосодержащего минерального сырья [25].

Использование окислителей в процессе выщелачивания золота предполагает различные цели и методы их применения. Варьируется также и сам механизм окислительных реакций. В одном из вариантов, окисляющий реагент выступает в качестве дополнительного катализатора процесса цианирования как основной реакции выщелачивания золота. Во втором варианте реализации окислителей преследуется цель вскрытия золото-вмещающих минералов. Также, с помощью окисляющих реагентов возможна предварительная очистка золотосодержащего сырья от вредных примесей и побочных металлов, затрудняющих процесс цианирования. На сегодняшний день, растворы цианидов все еще остаются основным выщелачивающим реагентом на многих золотоизвлекательных фабриках, в то же время ведутся многочисленные исследовательские разработки бесцианидных методов извлечения благородных металлов [26-29].

Однако для успешной реализации бесцианидных методов выщелачивания золота необходимо также в свою очередь учитывать окислительные потенциалы и другие параметры, реагентов, применяемых в качестве альтернативы цианидам.

Еще опытами Фарадея, было показано, что золотой листок, плавающий на поверхности раствора цианистого калия, растворяется в течение 12 минут, тогда как опущенный на дно сосуда – в течение 12 часов. Роль кислорода в цианировании золота была изучена в ряде работ, также экспериментально были рассчитаны константы равновесия и термодинамика изобарно-изотермического потенциала процессов. Было установлено, что величина константы равновесия, а, следовательно, степень гидролиза и потери цианида растут с повышением температуры. Это является одной из причин проведения процесса цианирования при обычных температурах (10-20°C). Дальнейшие работы ряда исследователей углубили и расширили представление о необходимости кислорода для растворения золота. Указанные работы показали, что золото не растворяется в цианиде без кислорода или других агентов, заменяющих кислород, например, без бромистого циана или перекиси натрия [30-31].

В процессе цианирования происходит окисление золота кислородом воздуха до Au^+ и его переход в раствор в виде комплексного аниона $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$. Химизм описывается двумя последовательно протекающими реакциями:



1.2 Бактериальное окисление

Исследования по биохимическому вскрытию упорных золото- и серебросодержащих руд (концентратов), активно проводятся в научно-исследовательских центрах России, стран СНГ и дальнего зарубежья [32].

Процесс биоокисления для переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов был промышленно внедрен в 1986 году, когда технология биоокисления BIOX® была успешно применена на золотом руднике Fairview в Южной Африке [33].

В процессе используется смесь разных групп бактерий для окисления сульфидной минеральной матрицы при температурах около 40-50°C. Типичный цех биологического окисления для переработки флотационного концентрата включает в себя следующие операции: непосредственно процесс в реакторе с баком-смесителем, подача воздуха в реакторы, охлаждение раствора реактора, промывка противоточной декантацией и нейтрализация стоков [34, 35].

Главными преимуществами бактериального окисления можно отметить высокую эффективность перевода двухвалентного железа в трехвалентное, а также недорогую стоимость данной технологии. В тоже время, мнения исследователей и специалистов в области гидрометаллургии расходятся в оценке эффективности применения биохимического выщелачивания и условно их можно разделить на три группы. Так, одна группа исследователей считает применение биохимического выщелачивания перспективным и эффективным направлением гидрометаллургии, что наглядно показано в многочисленных работах отечественных и зарубежных ученых [36-39]. Отношение другой группы гидрометаллургов к биовыщелачиванию можно охарактеризовать как крайне скептическое. Отсутствие критических статей, отчетов, а также научных работ с негативными оценками биохимической технологии, обусловлено тем, что ученые и специалисты из данной группы просто исключают подобное направление в своих исследованиях. Третья группа специалистов склоняется больше к мнению, что применение бактериального окисления наиболее актуально для регионов с теплым климатом, а для условий северных широт невозможно, либо носит ограниченный, сезонный характер. Однако, несмотря на то, что наибольшее распространение данная технология приобрела в ЮАР, Австралии, странах Латинской Америки, показательным будет пример финской компании Talvivaara, которая в условиях северных широт в 2009-2010 годах, при внедрении биохимической технологии на месторождении Колмисоппи добила увеличения производства в 2,7 раз [40].

Зачастую, биохимическое выщелачивание золота сочетает в себе ряд различных гидрометаллургических методов, согласно которым руду предварительно обогащают, затем полученный концентрат подвергают кислотной промывке. Пульпу отмывают в присутствии сульфата железа (II),

после чего проводят обработку бактериальным раствором, содержащим железо (II) и культуру бактерий *Thiobacillus ferrooxidans*, железо(II) окисляется бактериями. Окисленную пульпу, после водной промывки уже подвергают цианированию [31].

Также проводились многочисленные исследования бактериального окисления золотосодержащих сульфидных концентратов с последующим извлечением золота цианированием [34-39]. Предварительная обработка железоокисляющими тиобактериями повышает извлечение золота и серебра из свинцово-цинковых сульфидных отвалов тиомочевинной в присутствии окислителей: Au с 23 до 92,3 %, Ag с 45 до 78,4 % [42].

В настоящее время бактериальное выщелачивание широко используется в ряде стран для получения также и других металлов из руд в промышленных масштабах. Интенсивно ведущиеся исследования в области биогидрометаллургии позволяют вовлекать в переработку огромные запасы забалансовых и отвальных руд, а также промпродукты и отходы обогатительных фабрик. Этот метод экономически выгоден, снижает загрязнение окружающей среды и обеспечивает комплексное использование минерального сырья.

На сегодняшний день в Казахстане активно ведутся научные работы по внедрению биохимического выщелачивания в сферу гидрометаллургии благородных металлов. В то же время, отечественные разработки в области бактериального окисления забалансового сырья пока не нашли массового применения в производстве. Наиболее часто используемый класс железоокисляющих бактерий *Acidithiobacillus Ferrooxidans*, имеет многочисленные штаммы, различающиеся как генетикой, так и особенностями метаболизма. Поэтому, один и тот же штамм бактерий не может служить универсальным окислителем абсолютно для каждого типа сырья. Поэтому, в процессе исследования биохимической технологии требуется выведение и опробование штаммов железоокисляющих бактерий, максимально адаптированных к условиям минералогии горных пород, составу гидросферы и литосферы конкретного месторождения. В ряде случаев, элементный и минеральный состав золотосодержащего сырья может оказаться полностью не пригодным для применения бактериального окисления.

1.3 Автоклавное выщелачивание

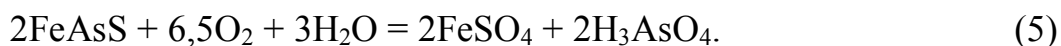
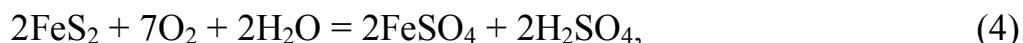
Для выщелачивания под давлением в основном используют горизонтальные многокамерные автоклавы, с футеровкой из кислотостойкого кирпича. Процесс происходит при 700-800°C и давлении кислорода 200-700 кПа (общее давление в автоклаве 1800-3200 кПа); благодаря данным параметрам практически полностью исключается возможность образования молекулярной серы. Обычная продолжительность автоклавного выщелачивания в большинстве случаев не превышает 1-1,5 ч [23].

Автоклавный метод, в сравнении с окислительным обжигом, имеет следующие преимущества: более высокий процент извлечения золота; исключаются газовые выбросы соединений мышьяка и серы, а вывод мышьяка из системы происходит в виде малотоксичного арсената железа, сброс которого возможен в обычное хвостохранилище; минимальное влияние примесей, таких как сурьма и свинец (снижающих извлечение золота в случае применения обжига); возможность переработки, как флотационных концентратов, так и исходных руд.

В сравнении же с бактериальным выщелачиванием, обработка сырья в автоклавах позволяет достигать более полного окисления сульфидов (в т.ч. упорного пирита), что впоследствии обеспечивает более высокое извлечение золота. Внедрение автоклавного, как и биологического окисления, а также инновационных технологий в окислительном обжиге в середине 1980-х гг. значительно повлияли на переработку упорных золотосодержащих руд и позволили разрабатывать ранее нерентабельные месторождения.

Основной принцип действия автоклавного окисления сводится к тому, что концентрация окислителя, кислорода воздуха, при нормальном давлении мала и процесс идет медленно. Повышение давления приводит и к увеличению парциального давления кислорода, что в свою очередь ускоряет процесс за счет. Автоклавное вскрытие сульфидных золотосодержащих минералов может протекать как в кислой, так и в щелочной средах.

Процесс разложения сульфидных минералов (пирита и арсенопирита) в кислой среде описывается следующими окислительно-восстановительными реакциями:



Дальнейшая окислительная реакция переводит ионы двухвалентного железа кислородом до трехвалентного состояния по реакции:



При этом трехвалентное железо является сильным окислителем и окисляет пирит и арсенопирит по уравнениям:

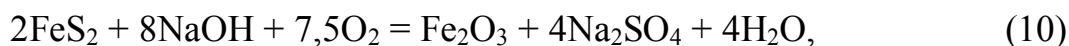


Мышьяк в дальнейшем осаждается в виде малорастворимого арсената железа (III):



Данные реакции (4-7) протекают в течение 2 - 4 ч в температурном диапазоне 120 – 180°C и давлении ≈ 500 кПа. Золото, освобожденное из вскрытых сульфидных минералов, переходит в осадок, из которого его затем извлекают.

В щелочной среде окисление пирита и арсенопирита будет уже происходить по следующим реакциям:



В процессе протекания реакций (10-11) раскрытое золото и железо в оксидной форме переходят в осадок, а сера и мышьяк перейдут в раствор в виде сульфатов и арсенатов.

При автоклавной обработке сырья, на вскрываемом золоте исключается образование пленок легкоплавких соединений и примесей, что зачастую характерно для окислительного обжига. Таким образом, последующее цианирование автоклавных осадков дает наиболее высокие показатели извлечения золота (до 96 – 98 %), чем при цианировании огарков.

К недостаткам автоклавного выщелачивания можно отнести ограниченность по объему, дорогостоящие эксплуатационные затраты, а также необходимость дополнительного повышенного контроля к оборудованию. Тем не менее, данный способ был запатентован и нашел широкое применение в США, где для переработки упорных сульфидных золотосодержащих руд применяют автоклавное окисление сульфидов кислородом под давлением в присутствии H_2SO_4 , а получаемый после нейтрализации кислой среды осадок цианируют [33]. В 1986 году на предприятии МакЛафлин Голд Майн (США) была запущена первая промышленная установка автоклавного выщелачивания для переработки упорного золотосодержащего сырья [44-45]. На сегодняшний день в американской золотодобывающей отрасли функционирует уже восемь производств, использующих автоклавное окисление.

2 Методы исследования. Исходное сырье и материалы.

2.1 Методы исследования

Аналитические исследования имеющихся проб были выполнены на современных поверенных контрольно-измерительных приборах.

Химический состав определяли масс-спектрометрическим методом на атомно-абсорбционном спектрометре AA240 «Varian» с индуктивно-связанной плазмой («Varian Optical Spectroscopy Instruments», Австралия) по ГОСТ 27329-87.

Электронную растровую микроскопию и рентгеноспектральный микроанализ осуществляли на электронном растровом микроскопе с электронно-зондовым микроанализатором JEOLJXA-8230 («JEOL», Япония).

Рентгенофлуоресцентный анализ проводили на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре Venus 200 Axios PANalytical B.V. (Голландия).

Рентгенофазовый анализ осуществлен на рентгеновском дифрактометре D8-ADVANCEBRUKER (Германия).

Минералогический анализ проведен на поляризационном микроскопе LEICADM 2500 P (Германия).

Исследуемые пробы отбирали в соответствии с имеющимся руководством. Количественный и качественный учет микроорганизмов проводили методом прямого подсчета клеток в камере Горяева под микроскопом Leica DMLED (Германия), а также методом посева на элективные среды в двух – трехкратных повторениях.

2.2 Исследование химического, фазового и минералогического состава проб

Объектом исследования являлась руда и наработанный концентрат флотации, полученный из месторождения Васильковского золоторудное месторождение, расположено в Казахстане, в 17 км к северо-западу от г. Кокшетау.

Длина лентовидных рудных тел 30—100 м, глубина более 700 м. Основные минералы: пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, халькопирит, золото, кварц, графит, карбонаты. Золото сконцентрировано в основном в пирите и арсенопирите, немного в кварце. Размер золотых частиц — микроскопический и мелкодисперсный (0,001 до 0,1 мм, иногда 0,5 мм) [46].

Для проведения научно-исследовательских работ использованы представительные проб руды и флотоконцентрата ЗИФ Васильковского месторождения ТОО «Altyntau-Kokshetau». (рисунок 2,3)



Рисунок 2 – Технологическая проба руда Васильковского месторождения



Рисунок 3 – Концентрат флотации Васильковского месторождения

Для определения формы нахождения золота в пробах, месторождения Васильковское, был выполнен рациональный фазовый анализ, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты рационального фазового анализа проб Васильковского месторождения

Формы нахождения золота	Руда	
	Au в г/т	Au %
Тонкодисперсное самородное золото	0,6	22,9
Самородное золото	0,9	34,3
Золото, связанное с кристаллической решеткой минерала	1,06	40,5
Золото в кварце	0,06	2,29
Общее содержание	2,62	100,0

В золотосодержащей руде золота в основном связано с кристаллической решеткой минерала, тонкодисперсное и видимое самородное золото составляет по 34,3 %, в кварце при этом содержится всего 2,29 %. Как и в первом образце, основная масса благородного металла связана с кристаллической решеткой минералов – 40,45%, на тонкодисперсное самородное золото приходится 22,9 %.

Для определения химического состава проб, в первую очередь были выполнены рентгенофлуорисцентный и химический анализы, результаты которых представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты рентгенофлуорисцентного анализа проб месторождений Васильковское

Руда				Концентрат			
Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%
O	52,229	Fe	0,117	O	50,8	Cr	0,018
Na	0,821	Co	0,04	Na	1,82	Mn	0,018
Al	8,044	Cu	0,115	Al	6.479	Fe	3.879
Si	29,889	Zn	0,006	Si	26.379	Co	0,041
P	0,034	As	0,675	P	0.131	Ni	0,015
S	0,15	Rb	0,006	S	5,025	Cu	0,113
Cl	0,048	Sr	0,007	Cl	0,072	As	13,627
K	3,46	Zr	0,012	K	1.686	Rb	0.014
Ca	0,309	Sb	0,027	Ca	2.037	Zr	0.050
Ti	0,103	Bi	0,065	Ti	0,108	Bi	0,07

Таблица 3 – Результаты химического анализа проб месторождения АО Васильковское

Проба	Au г/т	Ag г/т	Fe	S	Cu	Zn
Руда	2,62	0,92	0,3	0,25	0,1	0,005
Концентрат	20	1,67	18,23	5,37	0,11	0,004

Из данных таблицы 2-3 видно, что основная массовая доля элементного состава в образце руды и концентрата, приходится на кислород и кремний, что характерно для кварца SiO_2 ; отмечены значительные содержания в концентрате - мышьяка – 13,6 %, железа – 3,8 %, и серы – 5,02 %. Это характерно соединениям по типу пирита и арсенопирита. Также в пробе присутствует заметное количество алюминия – 6,4 %. В руде, также отмечены содержания железа – 0,117 %, мышьяка – 0,675 %, содержание серы – 0,15 %.

Тяжелые цветные металлы в обоих образцах, были зафиксированы в малых количествах: Cu – 0,113-0,115%, Zn – 0,004-0,005%, Ni – 0,015%. Содержание легких цветных металлов, в исследуемых образцах, обнаруживалось уже в достаточно заметных количествах: Al – 3,7- 4,5%, Ti – 0,1-0,11%.

Рентгенофазовым анализом в первой пробе было установлено кварца – 50,39 % остальная масса приходилась на различные алюмосиликатные включения. Вторая проба оказалась более многообразной в плане алюмосиликатных и магнитных минеральных фаз, содержание арсенопирита 5,1 %, пирита – 2,3 %. (таблица 4)

Таблица 4 – Рентгенофазовый анализ технологических проб Васильковского месторождения

Руда		
Название соединения	Формула	%
Кварц	SiO_2	50,39
Микроклин	KAlSi_3O_8	32,40
Альбит	$(\text{Na}, \text{Ca}) \text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$	8,55
Мусковит	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	6,43
Каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	2,23
Концентрат		
Название соединения	Формула	%
Кварц	SiO_2	55,8
Клинохлор	$(\text{Mg}, \text{Fe})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	12,1
Альбит	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	11,3
Микроклин	KAlSi_3O_8	6,9
Luogufengite, syn	Fe_2O_3	4,5
Мусковит	$\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$	4,5
Пирит	FeS_2	5,1
Арсенопирит	FeAsS	2,3

Минералогический анализ проб осуществлялся под микроскопом марки OLYMPUSBX – 51, в иммерсионных средах и в полированных искусственных брикетах, изготовленных из изучаемого материала, микроскопом в брикетах в отраженном свете и в иммерсионных препаратах из сыпучего материала проб. В иммерсионных препаратах изучался состав нерудной составляющей пробы и продуктов обогащения, в искусственных полированных аншлифах – брикетах рудные минералы. Съемка минералов с определением их состава, выполнялась при режимах: COMPO, WDS. (рисунок 4,5)

Образцы руды представляют собой золотоносное месторождение, в виде тонкозернистого сыпучего материала, черного цвета. Зерна в брикете очень мелкие, размером в сотые доли мм и до 0,01 – 0,09-0,1 мм. Большая часть обломков зерен неправильной формы. Зерна обычно свободные, но встречаются и в виде включений в нерудной массе. Породообразующие минералы по данным минералогического и рентгенофазового анализов представлены арсенопиритом, пиритом, кварцем, мусковитом и альбитом.

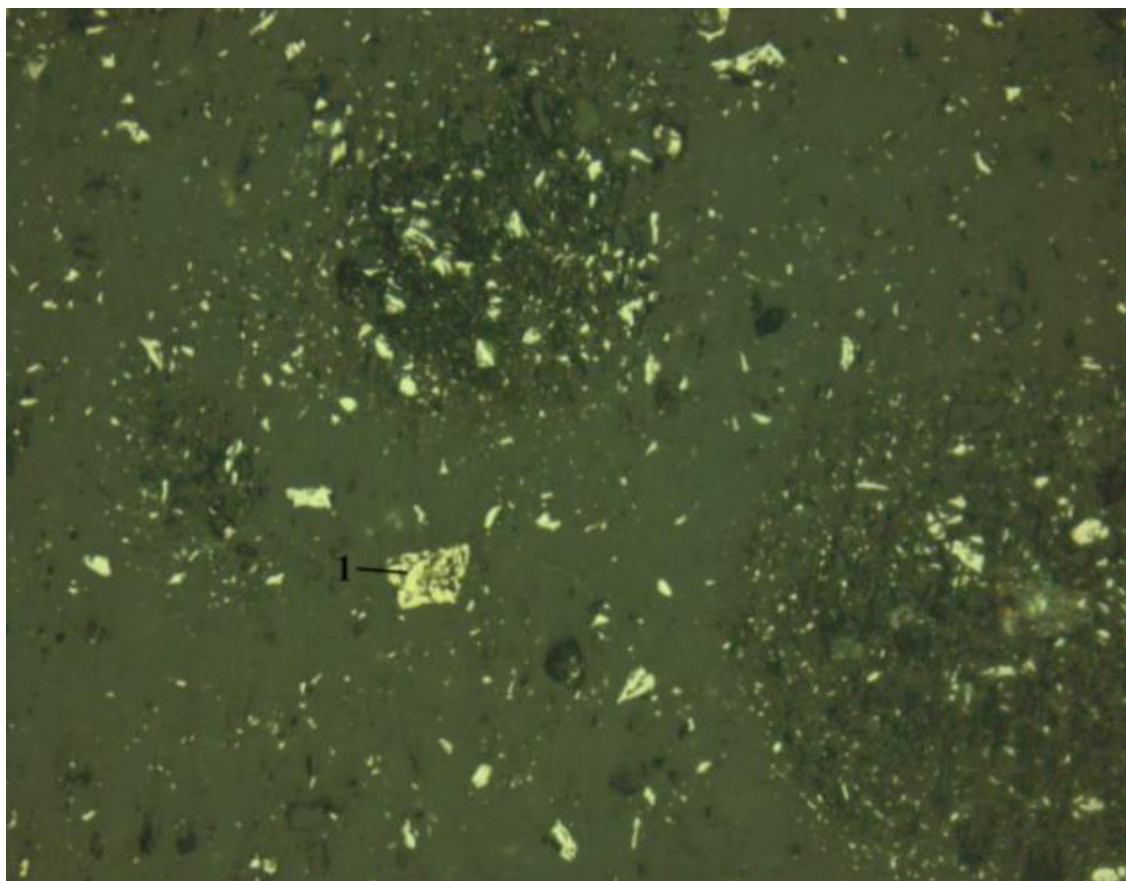
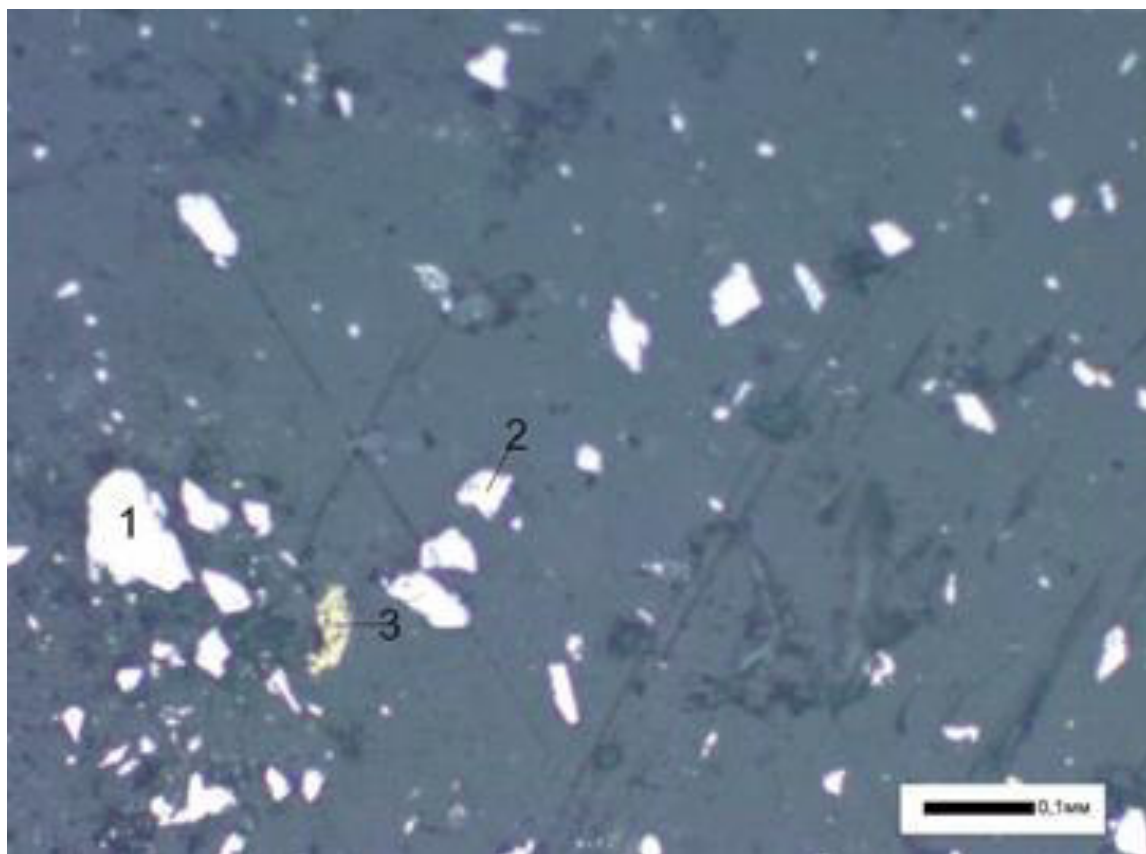


Рисунок 4 - Технологическая проба руды

Анализом было установлено, что основной сульфидный минерал концентратов – арсенопирит. Он характеризуется всеми присущими ему свойствами - цветом, отражательной способностью, анизотропией (рисунок 4). Обнаружены также пирит арсенопирит. Содержание пирита соответственно в пробах порядка 6-7% и 4-5%.



1 - арсенопирит, 2 – пирит, 3 –халькопирит

Рисунок 5 - Концентрат арсенопиритовый. Аншлиф, увел. 200.

3 Факторы влияющие на бактериальное выщелачивание

Эффективность выщелачивания во многом зависит от эффективности микроорганизмов, а также от химического и минералогического состава выщелачиваемой руды. Максимальные выходы извлечения металлов могут быть достигнуты только тогда, когда условия выщелачивания соответствуют оптимальным условиям роста бактерий [44]. Микроорганизмы, используемые для извлечения металлов из сульфидных материалов, являются хемолитоавтотрофными бактериями, поэтому для роста требуются только неорганические соединения. Обычно минеральные питательные вещества поступают из окружающей среды и выщелачиваемого материала. Для оптимального роста можно добавлять соединения железа и серы вместе с солями аммония, фосфата и магния [45].

Достаточное поступление кислорода является предпосылкой для хорошего роста и высокой активности выщелачивающих бактерий. В лаборатории это может быть достигнуто путем аэрации, перемешивания или встряхивания. В техническом масштабе, особенно в случае отвального или кучного выщелачивания, достаточное снабжение кислородом может вызвать некоторые трудности. Двуокись углерода - единственный требуемый источник углерода, но нет необходимости добавлять CO_2 [46].

Регулировка правильного значения pH является необходимым условием для роста бактерий выщелачивания и имеет решающее значение для растворения металлов. Значения pH в диапазоне 2,0–2,5 являются оптимальными для бактериального окисления двухвалентного железа и сульфида. При значениях pH ниже 2,0 будет происходить значительное ингибирование *T. ferrooxidans*, но *T. ferrooxidans* можно адаптировать к еще более низким значениям pH, увеличивая добавление кислоты [47].

pH среды следует довести до оптимального значения для максимального роста микроорганизмов, а также для получения раствора с подходящим диапазоном pH для растворения металлов. Известно, что наиболее благоприятные условия для выщелачивания большинство металлов встречаются при низком pH раствора, так как они увеличивают растворимость металлов.

Процессы биовыщелачивания осуществляются в диапазоне температур от температуры окружающей среды до демонстрационной установки, которая работала при 80°C [48]. Типы микробов, обнаруживаемых в процессах, которые происходят от температуры окружающей среды до 40°C, имеют тенденцию быть похожими независимо от минерала, как и микробы, находящиеся в диапазоне температур 45–55°C и 75–80°C (термофильные бактерии). Как описано ниже, существуют две широкие категории процессов разложения минералов с биологической помощью. Руда или концентрат

помещаются в кучу или отвал, где они орошаются, или тонко измельченная минеральная суспензия помещается в резервуар с мешалкой, где она интенсивно аэрируется. Как правило, процессы растворения минералов являются экзотермическими, и при использовании резервуаров требуется охлаждение, чтобы поддерживать оптимальную температуру процессов, которые функционируют при 40°C.

Оптимальная температура окисления двухвалентного железа и сульфидов *T. ferrooxidans* составляет от 28 до 30° С. При более низких температурах будет происходить уменьшение извлечения металлов, но даже при 4°C наблюдалась бактериальная солубилизация меди, кобальта, никеля и цинка [39-55].

4 Определение оптимальных параметров процесса биовыщелачивания золота

Для определения ионов Fe^{+2} и Fe^{+3} в растворах использовался объемный трилонометрический метод, для определения серной кислоты объемный метод. Содержание Mn в растворах определяли атомно-сорбционным методом. pH и Eh среды измеряли на pH-метре. Определение цианидов проводили в технологических растворах - титрованием азотнокислым серебром. Количественное определение мышьяка проводили иодометрическим титрованием с помощью модифицированного метода.

С помощью геологических и микробиологических методов проводились следующие исследования:

- выделение наиболее активных штаммов микроорганизмов, участвующих в окислительных процессах сульфидных руд, на месторождении Алтынтау-Кокшетау;
- изучение физиологических особенностей штаммов *Aciditobacillus ferrooxidans* и их адаптации к повышенному содержанию ионов металлов;
- изучение окислительной активности штаммов *A.ferrooxidans*; извлечение золота из бедных руд биовыщелачиванием с использованием цианистых растворов.

В процессах кислотного выщелачивания различных типов сульфидных руд в технологических растворах происходит рост и развитие ацидофильных железо- и сероокисляющих бактерий, в процессе чего формируется солевой состав продуктивных растворов. Извлечение и накопление различных ионов в растворе может отрицательно влиять на активность бактерий *A.ferrooxidans*.

Роль микроорганизмов в процессах биовыщелачивания металлов определяли по способности бактерий *A. ferrooxidans* к окислению ионов железа. Для этого определяли влияние различных концентраций ионов металлов на биоокисление ионов железа.

При бактериальном окислении пирита на его поверхности также присутствует гетит до 30 %, однако количество элементной серы значительно возрастает (до 40 %). Подобные реакции отмечены также при окислении халькопирита и халькозина. Причем в каждом отдельном случае на поверхности минералов идет образование элементной серы. Из этого можно сделать вывод, что взаимодействие микроорганизмов с поверхностью минералов осуществляется, прежде всего, через твердые продукты окисления сульфидной поверхности. И если элементная сера - единственный твердый продукт окисления всех сульфидных минералов, то взаимодействия

микроорганизмов с поверхностью минералов сводится, в первую очередь, к взаимодействию их с элементарной серой.

При окислении пирита в присутствии бактерий *A. ferrooxidans* происходит непрерывное накопление трехвалентного железа в растворе и в слое, прилегающем к поверхности минерала, в то время как при химическом окислении в растворе накапливается Fe (III). Увеличение в растворе содержания Fe (III) можно объяснить окислением бактериями закисного железа:

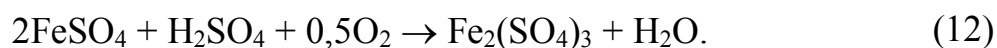


Рисунок 6 – Клетки тионовых бактерий под микроскопом



Рисунок 7 – Изменение содержания трехвалентного железа от продолжительности процесса

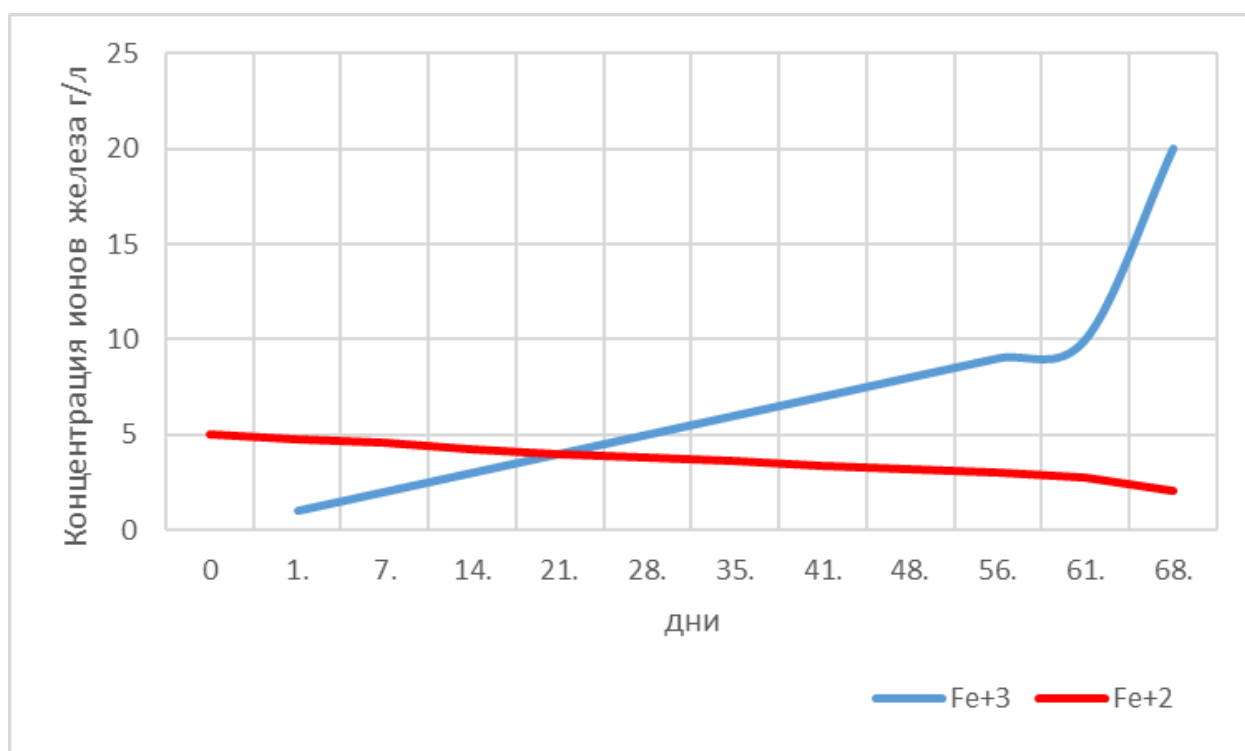


Рисунок 8 – Переход двухвалентного железа в трехвалентное

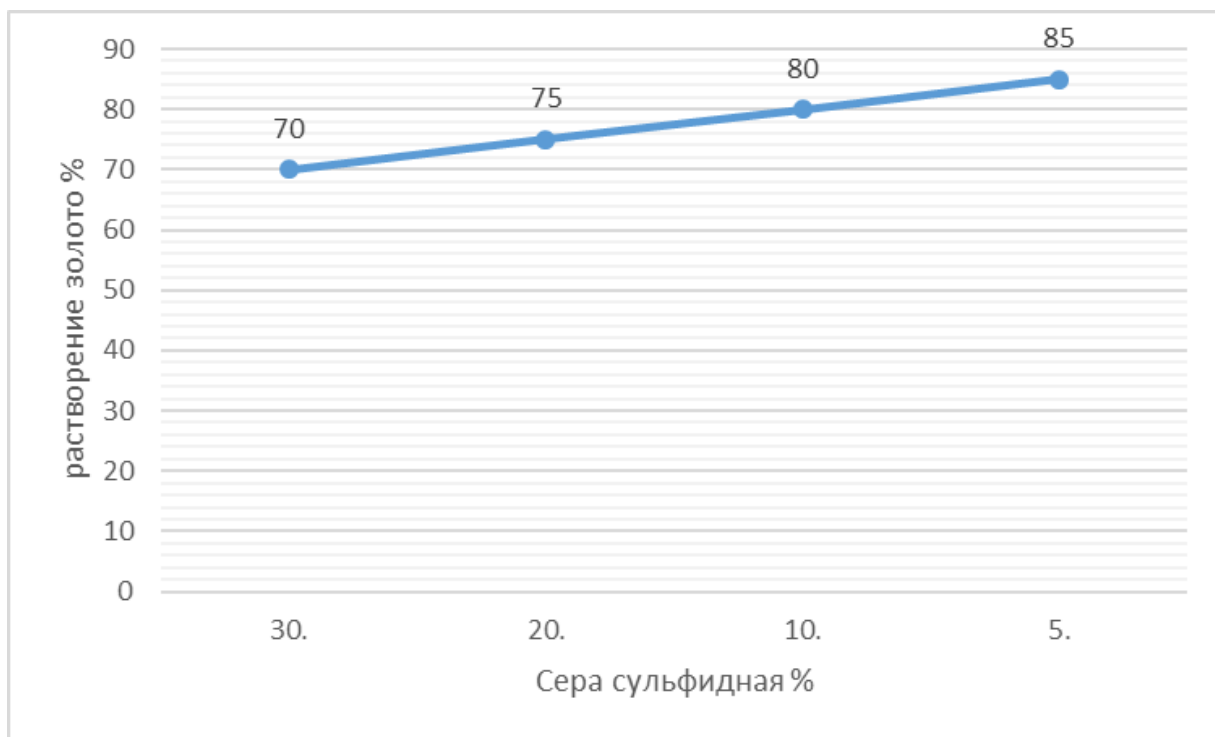


Рисунок 9 – Взаимосвязь растворенного золота по сравнению с окислением сульфида месторождения Алтынтау- Кокшетау

4.1 Исследования биовыщелачивания на золотосодержащем сырье

Для определения нужной концентрации биораствора для окисления сульфидной руды поставлены следующие опыты. Биоокисление сырья проводили с бактериальными растворами разной концентрации. (5,10,20 г/л Fe^{+3})

Растворы для биоокисления готовили на среде 9К с принудительной аэрацией в течении 20 суток. Определяли количество образовавшегося трехвалентного железа. Выращивание биомассы производилось в лабораторных условиях на основе ранее полученных штаммов бактерий *A. Ferrooxidans*.

Для нормального роста и развития бактерий требуется наличие в растворе минеральных солей, прежде всего содержащих азот, фосфор и калий, используемых клетками в энергетическом метаболизме. Выращивание бактерий проводилось на основе среды 9К (Люнгрена- Сильвермана).

Состав среды 9К на 1 литр воды: 10 мл серной кислоты, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - 3г; KCl -0,1 г; K_2HPO_4 - 0,5 г; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,5 г; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 0,01 г, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - до требуемой концентрации.

Активность бактерий определялось по скорости окисления двухвалентного железа в растворе. Содержание бактерий в растворе доводилось до 3-5 г/литр. Определение содержания бактерий определялось центрифугирование и использование микроскопа. А также проводился

подсчет колоний клеток микроорганизмов, которые составили: в 1 опыте - 4×10^5 , в 2 опыте- $2 \cdot 10^6$, в 3 опыте- 6×10^6 .

В качестве объектов для исследований были выбраны: руда золотоизвлекательной фабрики Алтынтау Кокшетау Au 2,62 г/т. Руду окисляли биораствором при температуре 20 °С в течении 10 суток при Т: Ж-1:5:

1) 200 гр. руда+1000 мл бактериального раствора *Thiobacillus ferrooxidans*. Концентрацией Fe^{+3} 5 г/л. Количество клеток *A. Ferrooxidans* $4 \cdot 10^5$.

2) 200 гр. руда +1000 мл бактериального раствора *Thiobacillus ferrooxidans*. Концентрацией Fe^{+3} 10 г/л. Количество клеток *A. Ferrooxidans* $2 \cdot 10^6$.

3) 200 гр. руда +1000 мл бактериального раствора *Thiobacillus ferrooxidans*. Концентрацией Fe^{+3} 20 г/л. Количество клеток *A. Ferrooxidans* $6 \cdot 10^6$.

Таблица 5 – Результаты химического анализа бактериального выщелачивания

Жидкая фаза						
Au	Fe, г/л	Cu, мг/л	Zn, мг/л	Ni, мг/л	As, г/л	SO ₄
-	3,87	1,9	10,67	1,36	0,014	14,33
-	4,04	2,61	12,23	3,57	0,018	15,68
	4,8	2,73	12,9	3,6	0,020	16,70
Твердая фаза						
Au, г/т	Fe, %	Cu, %	Zn, %	Ni, %	As, %	S, %
2,48	3,71	0,006	0,007	0,012	0,09	4,2
2,60	3,49	0,001	0,0065	0,010	0,07	3,26
2,62	2,05	0,001	0,005	0,01	0,06	2,90

Как видно из результатов анализа, основная часть цветных металлов после процесса биоокисления перешла в раствор, что благоприятно сказывается на дальнейшем выщелачивании золота из полученного кека. Такие металлы как медь, извлечение в раствор в опыте №3 с концентрацией трехвалентного железа-20 г/л и количеством колоний- $6 \cdot 10^6$, составило 98,57 %, цинк-50 %, мышьяк-67 %, никель-33,3 %. Из результата в видно, что биораствор с концентрацией трехвалентного железа 20 г/л показал наилучшие показатели.

Таблица 6 – Бактериальное выщелачивание золотосодержащего сырья перед цианированием (Au – 2,62 г/т)

Опыты Бактериального выщелачивания	Т°С	рН	Колич. <i>A.ferrooxi- dans</i> кл/мл	Содержание железа, г/л		
				Fe ⁺³	Fe ⁺²	Fe _{общ}
1	10	2,5	10 ²	6,2	Сл	6,2
2	10	2,5	10 ⁵	5,7	Сл	5,7
3	11	2,5	10 ⁵	5,0	0,7	5,7
4	23	2,5	10 ⁶	4,6	0,3	4,9
5	25	2,5	10 ⁶	4,6	Сл	4,9
6	27	2,5	-	5,1	0	5,1
7	25	2,5	10 ⁶	5,0	0	5,0

Таблица 7 – Результаты выщелачивания золота из руды месторождения АО «Altyntau-Kokshetau» (Au 2,62 г/т)

Параметры выщелачивания	рН	Кек Au г/т	Е Au, %
NaCN 0,1%	10,5	2,62	75,5
NaCN 0,05%	10,5	2,62	35,2
бактерии; 10 г + NaCN 0,1%	2,0	2,62	80
бактерии; 15 г + NaCN 0,1%	2.0	2,62	82
бактерии; 20 г/л + NaCN 0,1%	2.0	2,62	85

Результаты цианирования этого кека подтвердили выводы предыдущих опытов, степень извлечения золота составила 85 %, а в контрольном варианте – 75,5 %

4.2 Исследования биовыщелачивания золотосодержащих концентратов

Для определения нужной концентрации биораствора для окисления сульфидной части концентрата поставлены следующие опыты.

Биоокисление сырья проводили с бактериальными растворами разной концентрации. (5,10,20 г/л Fe⁺³) Растворы для биоокисления готовили на среде 9К с принудительной аэрацией в течении 20 суток. Определяли количество образовавшегося трехвалентного железа. Выращивание биомассы производилось в лабораторных условиях на основе ранее полученных штаммов бактерий *A.Ferrooxidans*.

Для нормального роста и развития бактерий требуется наличие в растворе минеральных солей, прежде всего содержащих азот, фосфор и калий, используемых клетками в энергетическом метаболизме. Выращивание бактерий проводилось на основе среды 9К (Люнгрена- Сильвермана).

Состав среды 9К на 1 литр воды: 10 мл серной кислоты, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - 3г; KCl -0,1 г; K_2HPO_4 - 0,5 г; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,5 г; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 0,01 г, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - до требуемой концентрации.

Растворы для биоокисления готовили на среде 9К с принудительной аэрацией в течении 20 суток. Определяли количество образовавшегося трехвалентного железа. А также проводился подсчет колоний клеток микроорганизмов, которые составили: в 1 опыте- 4×10^5 , во 2 опыте- $2 \cdot 10^6$, в 3 опыте- 6×10^6 . В качестве объектов для исследований были выбраны: концентрат золотоизвлекательной фабрики Алтынтау Кокшетау Au 20 г/т. Концентрат окисляли биораствором при температуре 20 °С в течении 10 суток при Т: Ж-1:5

а) 200 гр. концентрата+1000 мл бактериального раствора *Thiobacillus ferrooxidans*. Концентрацией Fe+3 5 г/л. Количество клеток *A. Ferrooxidans* $4 \cdot 10^5$.

б) 200 гр. концентрата+1000 мл бактериального раствора *Thiobacillus ferrooxidans*. Концентрацией Fe+3 10 г/л. Количество клеток *A. Ferrooxidans* $2 \cdot 10^6$.

с) 200 гр. концентрата+1000 мл бактериального раствора *Thiobacillus ferrooxidans*. Концентрацией Fe+3 20 г/л. Количество клеток *A. Ferrooxidans* $6 \cdot 10^6$.

Таблица 8 – Бактериальное выщелачивание золотосодержащего концентрата перед цианированием (Au - 20 г/т)

Опыты бактериального выщелачивания	Т°С	рН	Колич. <i>A.ferrooxidans</i> кл/мл	Содержание железа, г/л		
				Fe ⁺³	Fe ⁺²	Fe _{общ}
1	10	2,5	10^2	7,2	Сл	7,2
2	10	2,5	10^5	7,7	Сл	7,7
3	11	2,5	10^5	6,0	0,7	6,7
4	23	2,5	10^6	5,6	0,3	5,9
5	25	2,5	10^6	5,6	Сл	5,9
6	27	2,5	-	6,1	0	6,1
7	25	2,5	10^6	6,0	0	6,0

Таблица 9 – Извлечение золота из кека укрупненного опыта (Au – 20 г/т)

		Состав растворителя, %	Извлечение золота	Извлечение серебра	
--	--	------------------------	-------------------	--------------------	--

Концен- трат ,г	Т: Ж	NaOH	NaCN	мг/л	мг	%	мг/л	мг	%	Продол- житель- ность, час
100	1:5	0,4	0,3	3,27	1,635	90,8	0,88	0,44	81,4	24

Таблица 10 – Рентгенофлуоресцентный анализ концентрата после биовыщелачивания

Состав конц.	Содержание, %	Состав конц.	Содержание, %
O	49.301	Ti	0.570
Na	1.322	Co	0.015
Mg	1.491	Cr	0.012
Al	4.981	Mn	0.041
Si	21.322	Fe	6.621
P	0.154	Ni	0.010
S	3.110	Cu	0.007
Cl	0.016	Zn	0.008
K	1.469	As	0.156
Ca	1.661	Rb	0.013
Sr	0.022	Ba	0.278
Zr	0.044	Pb	0.020

Химический анализ отработанного бактериального раствора после окисления пульпы, показал наличие следующих элементов: железо – 0,84 г/л, медь – 25,4 мг/л, мышьяк – 1,0 г/л. В процессе окисления, содержащийся в пробе минералы арсенопирита, согласно реакции (6) переходят в основном в нерастворимые арсенаты AsO_4^{3-} и остаются в твердой фазе пульпы, в раствор при этом переходит не более 1,5-2,0 % от общего содержания мышьяка. Микробиологическим анализом зафиксировано значительное сокращение живых клеток в отработанном бактериальном растворе с 10^6 до 10^3 кл/см³. Окисленная пульпа, после декантации и удаления бактериального раствора, использовалась в экспериментах по выщелачиванию золота.

Результаты экспериментов показали целесообразность применения окисляющих реагентов в процессе выщелачивания золота из упорного сырья. Обычное прямое цианирование, рассмотренное в качестве контрольного варианта, позволяет извлекать от 16,1% до 26,4 %, в зависимости от используемой концентрации цианида натрия. В то же время, повышение концентрации цианида более 1 г/л не приводит в дальнейшем к заметному увеличению показателя извлечения. Также, для сравнения методов, предполагающих использование цианида как основного реагента в процессе выщелачивания золота, были рассмотрены варианты с дополнительным окислением пробы бактериями. Максимальный показатель извлечения - 79,5%, отмечен в эксперименте с предварительным окислением

бактериальной культурой *A.Ferrooxidans*, с последующим выщелачиванием раствором цианида.

5 Экономическая оценка эффективности бактериального выщелачивания

Бактериальное выщелачивание имеет ряд преимуществ по сравнению с цианидом и другими процессами выщелачивания, включая:

- a) Пригодность для упорных и низкосортных руд
- b) Рентабельность, Безопасная, простая, проверенная технология
- c) Бактериальное окисление происходит при атмосферном давлении и температуре от 20 °C и выше.

Эффект достигается за счет разрушения бактериями и продуктами их жизнедеятельности кристаллической решетки сульфидных минералов (пирит и арсенопирит), что позволяет высвободить, микровключения золота, которые легко извлекаются цианированием.

Процесс может проводиться в куче, чане или столбике дробленой, или измельченной руды. Для эффективной работы необходимо установить и контролировать параметры, включая штамм бактерий, температуру, доступный кислород, соленость, углекислый газ и оксид железа. Для успеха полномасштабного процесса бактериального выщелачивания необходимы точные испытания руды и разработка технологической схемы, соответствующей назначению. Тестирование бактериального выщелачивания имеет целью оптимизировать четыре параметра:

a) Оптимальный размер твердых частиц для бактериального выщелачивания должен быть установлен экспериментально

b) Концентрация твердого вещества в пульпе, на которой проводится бактериальное выщелачивание, считается критическим параметром, более важным, чем даже гранулометрический состав сырья.

в) Оптимизация добавления питательных веществ должна быть определена во время лабораторных исследований. Небольшие количества калия, фосфора и азота необходимы в растворе для поддержания активности бактерий и роста популяции.

г) Аэрация при относительно низких скоростях потока (0,5–1,0 л/мин на литр суспензии) считается достаточной для поддержания скорости окисления и роста бактерий. Как уже упоминалось, для оптимальной активности и роста бактерий необходимо поддерживать температуру около 35°C. В промышленных масштабах реакторы бактериального выщелачивания должны быть оборудованы системами охлаждающих змеевиков, чтобы поддерживать рабочую температуру в оптимальном диапазоне.

Использование двустадийной схемы переработки упорных

золотосодержащих руд и концентратов при прямом цианировании показало извлечение до 79,5%. Увеличение извлечения с 26,4 % (цианирование) до 79,5 % (двустадийная схема биовыщелачивание-цианирование) показывает экономическую целесообразность применения биовыщелачивания для рассматриваемых типов руд и концентратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка полноты решений поставленных задач. Задачи, поставленные в диссертационной работе, решены полностью. В результате проведенных исследований были изучены условия бактериально-химического способа выщелачивания из концентратов руд золотоносных месторождений Казахстана; изучена кинетика процесса бактериально-химического выщелачивания руд и концентратов; исследованы параметры и условия выщелачивания отвальных и бедных золотосодержащих руд бактериально-химическим способом выщелачивания.

Рекомендации по конкретному использованию результатов исследований. Полученные в ходе исследований результаты могут быть применены при использовании технологии биовыщелачивания для извлечения золота из бедных руд. Преимуществом предлагаемого микробиологического способа вскрытия концентратов являются высокие технологические показатели и меньшая токсичность по сравнению с окислительным обжигом концентрата.

Оценка технико-экономической эффективности. Окончательным результатом настоящей работы является исследование и обоснование эффективных методов биовыщелачивания золотосодержащих бедных руд и концентрата обеспечивающих приемлемую скорость, удешевление технологии выщелачивания и снижение экологической нагрузки.

Оценка научного уровня выполненной работы. В диссертационной работе впервые исследованы условия бактериального выщелачивания золото-мышьяковистых руд.

В результате выполнения магистерской работы решены все поставленные задачи:

- выполнен анализ литературных данных и исследований по методам извлечения золота из техногенного упорного сырья, отмечены преимущества и недостатки каждого метода, на основе чего сделан выбор направления проведения исследований;

- методами физико-химического анализа представлены характеристики золотосодержащего техногенного сырья;

- отработка технологических параметров и биохимического выщелачивания благородных металлов из техногенного сырья;

Таким образом, достигнута цель магистерской работы - «Бактериальное выщелачивание руд и концентратов».

Социальная ценность работы заключается в том, что при научном подходе определены оптимальные условия извлечения золота из техногенного сырья, что будет способствовать разработке рациональной технологии его извлечения, сокращению отходов в хвостохранилищах, оздоровлению экологической обстановки в регионе, увеличению золотого запаса.

1) Исследования исходных проб показали:

– в результате рентгенофазового анализа установлено, что в составе исследуемых образцов ценным компонентом является золото, которое находится в ассоциациях с кристаллической решеткой минералов, и присутствует в основном тонкодисперсном виде в сростках, что требует тщательного подхода при выборе способа извлечения благородного металла - золота.

– исследования рентгенофлуоресцентного анализа основная массовая доля элементного состава в образце руды и концентрата, приходится на кислород и кремний, что характерно для кварца SiO_2 ; отмечены значительные содержания в концентрате - мышьяка – 13,6 %, железа – 3,8 %, и серы – 5,02 %. Это характерно соединениям по типу пирита и арсенопирита. Также в пробе присутствует заметное количество алюминия – 6,4 %. В руде, также отмечены содержания железа – 0,117 %, мышьяка – 0,675 %, содержание серы – 0,15 %.

Тяжелые цветные металлы в обоих образцах, были зафиксированы в малых количествах: Cu – 0,113-0,115%, Zn – 0,004-0,005%, Ni – 0,015%. Содержание легких цветных металлов, в исследуемых образцах, обнаруживалось уже в достаточно заметных количествах: Al – 3,7- 4,5%, Ti – 0,1-0,11%.

– результаты рентгенофазового анализа также показали в первой пробе было установлено кварца – 50,39 % остальная масса приходилась на различные алюмосиликатные включения. Вторая проба оказалась более многообразной в плане алюмосиликатных и магнитных минеральных фаз, содержание арсенопирита 5,1%, пирита – 2,3%.

– рациональным фазовым анализом было установлено, в золотосодержащей руде золота в основном связано с кристаллической решеткой минерала, тонкодисперсное и видимое самородное золото составляет по 34,3 %, в кварце при этом содержится всего 2,29 %. Как и в первом образце, основная масса благородного металла связана с кристаллической решеткой минералов – 40,45%, на тонкодисперсное самородное золото приходится 22,9 %.

– минералогический анализ проб было установлено образцы руды представляют собой золотоносное месторождение, в виде тонкозернистого сыпучего материала, черного цвета. Зерна в брикете очень мелкие, размером в сотые доли мм и до 0,01 – 0,09-0,1 мм. Большая часть обломков зерен неправильной формы. Зерна обычно свободные, но встречаются и в виде включений в нерудной массе. Породообразующие минералы по данным минералогического и рентгенофазового анализов представлены арсенопиритом, пиритом, кварцем, мусковитом и альбитом.

Основной сульфидный минерал концентратов – арсенопирит. Он характеризуется всеми присущими ему свойствами - цветом, отражательной способностью, анизотропией (рисунок 4). Обнаружены также пирит и халькопирит. Содержание пирита соответственно в пробах порядка 6-7 % и 4-5%. Халькопирит в пробе флотоконцентрата полученного при pH=9

составляет 3-4%, в пробе с диспергацией и добавлением сульфида натрия – менее 0,2 %.

2) Эксперименты по биовыщелачиванию золота из руды показали:

Основная часть цветных металлов после процесса биоокисления перешла в раствор, что благоприятно сказывается на дальнейшем выщелачивании золота из полученного кека. Такие металлы как медь, извлечение в раствор в опыте №3 с концентрацией трехвалентного железа-20 г/л и количеством колоний- $6 \cdot 10^6$, составило 98,57 %, цинк-50 %, мышьяк-67 %, никель-33,3 %. Из результата видно, что биоораствор с концентрацией трехвалентного железа 20 г/л показал наилучшие показатели.

Результаты цианирования этого кека подтвердили выводы предыдущих опытов, степень извлечения золота составила 85 %, а в контрольном варианте – 75,5 %

3) Экспериментами по бактериальному выщелачиванию концентрата были подтверждены:

основная часть цветных металлов после биоокисления извлекается в раствор. Медь 2,61 мг/дм³, цинк-12,23 мг/дм³, никель-3,57 мг/дм³, мышьяк - 0,018 мг/дм³.

В процессе окисления, содержащийся в пробе минералы арсенопирита, согласно реакции (6) переходят в основном в нерастворимые арсенаты AsO_4^{3-} и остаются в твердой фазе пульпы, в раствор при этом переходит не более 1,5-2,0 % от общего содержания мышьяка. Микробиологическим анализом зафиксировано значительное сокращение живых клеток в отработанном бактериальном растворе с 10^6 до 10^3 кл/см³. Окисленная пульпа, после декантации и удаления бактериального раствора, использовалась в экспериментах по выщелачиванию золота

Результаты экспериментов показали целесообразность применения окисляющих реагентов в процессе выщелачивания золота из упорного сырья. Обычное прямое цианирование, рассмотренное в качестве контрольного варианта, позволяет извлекать от 16,1% до 26,4 %, в зависимости от используемой концентрации цианида натрия. В то же время, повышение концентрации цианида более 1 г/л не приводит в дальнейшем к заметному увеличению показателя извлечения. Также, для сравнения методов, предполагающих использование цианида как основного реагента в процессе выщелачивания золота, были рассмотрены варианты с дополнительным окислением пробы бактериями. Максимальный показатель извлечения - 79,5%, отмечен в эксперименте с предварительным окислением бактериальной культурой *A.Ferrooxidans*, с последующим выщелачиванием раствором цианида.

Исследован способ вскрытия концентратов, отличающийся высокими технологическими показателями, меньшей токсичностью, чем окислительный

обжиг концентрата, так как исключается вероятность выброса мышьяковистых газов в окружающую атмосферу.

4) Бактериальное выщелачивание имеет ряд преимуществ по сравнению с цианидом и другими процессами выщелачивания, включая:

- a) Пригодность для упорных и низкосортных руд
- b) Рентабельность
- c) Безопасная, простая, проверенная технология
- d) Бактериальное окисление происходит при атмосферном давлении и температуре от 20 °С и выше.

Использование двустадийной схемы переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов при прямом цианировании показало извлечение до 79,5%. Увеличение извлечения с 26,4 % (цианирование) до 79,5 % (двустадийная схема биовыщелачивание-цианирование) показывает экономическую целесообразность применения биовыщелачивания для рассматриваемых типов руд и концентратов.

Процесс может использоваться как кучное выщелачивание или чановое выщелачивание, а также их модификации. Для эффективной работы необходимо установить и контролировать параметры, включая штамм бактерий, температуру, доступный кислород, соленость, углекислый газ и оксид железа. Для успеха полномасштабного процесса бактериального выщелачивания необходимы точные испытания руды и разработка технологической схемы, соответствующей назначению

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дементьев В.Е., Дружина Г.Я., Гудков С.С. Кучное выщелачивание золота и серебра. – Иркутск: Иргиредмет -2004. -350 с.
- 2 Каравайко Г.И., Дубинина Г.А., Кондратьева Т.Ф. Литотрофные микроорганизмы окислительных циклов серы и железа // Микробиология. - 2006. Т. 75, № 5. - С. 593-629.
- 3 Патент Россия 2385959. МПК C22 В Способ получения золота из сульфидных золотосодержащих руд /Смолянинов В.В., Шехватова Г.В., Смагин В.А. Опубл. 10.04.2010.
- 4 Седельникова Г. В., Савари Е. Е., Заулочный П. А., Кошель Е. А. Извлечение золота из упорных высокосульфидных концентратов с применением биогидрометаллургии // Цветные металлы. - 2012. - № 4. - С. 37–41.
- 5 Willner J., Fornalczyk A. Extraction of metals from electronic waste by bacterial leaching // Environment protection engineering. - 2013. Vol. 39, No. 1. - P. 197–208.
- 6 Hussin A. M. Ahmed, Ayman A. El-Midany. Statistical optimization of gold recovery from difficult leachable sulphide minerals using bacteria // Materials Testing. 2012. Vol. 54, No. 5. P. 351–357.
- 7 Koizhanova A., Osipowskaja L. New biochemical technology of gold leaching from sulfide ores // Proceedings of the 19th International Biohydrometallurgy Symposium. Changsha, China, 2011. Vol. 2. - P. 756–759.
- 8 Койжанова А. К., Ерденова М. Б., Осиповская Л. Л., Магомедов Д. Р., Даришева А. М. Совершенствование технологии кучного выщелачивания золота из упорных полиметаллических руд // Комплексное использование минерального сырья. - 2015. - № 1. - С. 30–36.
- 9 Арыстанова Г. А., Койжанова А. К., Есимова Д. М., Абдылдаев Н. Н., Бейсахметов Д. А. Использование ассоциаций гетеротрофных микроорганизмов для извлечения золота из техногенных отходов // Международное совещание «Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья» (Плаксинские чтения — 2015). - Иркутск: Изд-во ИПУ, 2015. - С.493–496.
- 10 Hackl R.P., Wright F. R. Gormely L.S. Bioleaching of refractory gold ores-out of the lab into the plant // Biohydrometallurgy. 1989. – P.533-549.

- 11 Johnson D. B., Grail B. M., Hallberg K. B. A new direction for biomining: extraction of metals by reductive dissolution of oxidized ores // Minerals. 2013. No. 3 (1). P. 49–58.
- 12 Nancharaiah Y. V., Venkata Mohan S., Lens P. N. L. Biological and bioelectrochemical recovery of critical and scarce metals // Trends in Biotechnology. -2016. Vol. 34, No. 2. P. 137–155.
- 13 Полькин С.И., Адамов Э.В., Панин В.В. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. М., Недра, 1982. -286 с.
- 14 Полькин С.И., Адамов Э.В., Панин В.В. Чановый процесс бактериального выщелачивания. Технология и схемы переработки цветных металлов. // Биогeотехнология металлов, 1985. - С. 243.
- 15 Адамов Э.В., Каравайко Г.И. Процессы бактериального выщелачивания в комбинированной технологии переработки минерального сырья // Доклад на симпозиуме «Неделя Горняка 99» Москва, МГГУ. –1999. – С. 46-51.
- 16 O. Celep, E.Y. Yazici, H. Deveci. Characterization of A Gold and Silver Bearing Refractory Flotation Tailings by Diagnostic Leaching. IMPC - EURASIA 2019. pp. 533-535.
- 17 Черняк А. С., Сафронов А. Ю., Кашевский А. В. Биотехнология и бионеорганическая химия благородных металлов: состояние и перспективы // Матер. науч.-практ. конф. «Химия и хим. технология на рубеже тысячелетий» (Томск, март 2000): Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – Т. 1. – С. 169–172
- 18 Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. Золото: иновации в химии и металлургии. -г Алматы 2015. с -185.
- 19 Добыча золоторудного сырья в Казахстане. Лекция №85 https://zinref.ru/000_uchebniki/01600geologia/077_lekcii_geologia_01/085.htm (дата обращения: 06.01.2020).
- 20 Койжанова А.К., Седельникова Г.В., Камалов Э.М., Ерденова М.Б., Абдылдаев Н.Н. К вопросу извлечения золота из лежалых хвостов золотоизвлекательной фабрики. Отечественная геология, № 6 / 2017 с. 98-103.
- 21 Канаев А.Т., Канаева З.К., Мырзаханова И.А. и др. Глубокое извлечение золота из хвостов обогащения месторождения Акбакай культурой *Aciditobacillus ferrooxidans* Успехи современного естествознания. 2013. № 6. С. 115–120.
- 22 Рудой Г.Н., Волкова Н.А., Шадрунова И.В., Зелинска И.В. Технологические, экономические и экологические аспекты переработки техногенного сырья горно-металлургических предприятий. Мат-лы междунар. совещания «Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2011, 19–24 сентября). – Верхняя Пышма, 2011. С. 6–12.
- 23 Бочаров З.В., Игнаткина В.А., Абрютин Д.В. Технология переработки золотосодержащего сырья. – М.: Издат. дом МИСиС, 2011.

24 Холматов М.М., Калинин В.П. Проблемы переработки техногенных отходов // Горный вестник Узбекистана. 2003. № 4. С. 10–11

25 Евдокимов А.В. Исследование процесса интенсивного цианирования золотосодержащих гравитационных концентратов: диссертация на соискание степени кандидата технических наук: 05.16.02 /Иркутск, 2012. - 124 с.

26 Mehmet Tanrıverdi, H. Mordoğan, Ü. İpekoğlu Leaching of Ovacık gold ore with cyanide, thiourea and thiosulphate March 2005 Minerals Engineering 18(3): DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.012 P. 363-365

27 HiwaSalimi, LoghmanMoradi, Stephen R, Foley Gold leaching in organic solvents: simple and mild reaction conditions for fast gold dissolution. COM 2015 | The Conference of Metallurgists Hosting AMCAA | America's Conference On Aluminum Alloys. Published by the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum | www.metsoc.org

28 Ubaldini S., Fornari P., Massidda R., Abbruzzese C. An innovative thiourea leaching process. Hydrometallurgy 48. 1998. P. 113-124.

29 Иванников С.И., Эпов Д.Г., Крысенко Г.Ф., Медков М.А., Братская С.Ю. и Юдаков А.А. Комплексный подход к извлечению золота из техногенных объектов золотодобычи Дальнего Востока России ВЕСТНИК ОНЗ РАН, ТОМ 5, NZ1001, doi:10.2205/2013NZ000115, 2013

30 Металлургия благородных металлов. Учебник для вузов /Масленицкий И. Н., Чугаев Л. В., Борбат В. Ф. и др./Под редакцией Чугаева Л. В.— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Metallurgy, 1987, 432 с.

31 Плаксин И.Н. Металлургия благородных металлов. -М.: Metallurgizdat. 1943.

32 Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. В 2-х томах. Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999. С. 76-82.

33 Набойченко С.С., Шнеерсон Я.М. и др. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов. Екатеринбург. ГОУ ВПО УГГУ-УПИ. 2009. т. 2. с. 353.

34 Старков А.М., Рябухин Е.А. Метод выщелачивания золота в цианистом растворе в присутствии альтернативных окислителей // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по мат. XLII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 1(41). URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1\(41\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1(41).pdf) (дата обращения: 16.03.2019)

35 Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. Золото: инновации в химии и металлургии. -г Алматы 2015. с -185.

36 Добыча золоторудного сырья в Казахстане. Лекция №85 https://zinref.ru/000_uchebniki/01600geologia/077_lekcii_geologia_01/085.htm (дата обращения: 06.01.2020).

37 Койжанова А.К., Седельникова Г.В., Камалов Э.М., Ерденова М.Б., Абдылдаев Н.Н. К вопросу извлечения золота из лежалых хвостов золотоизвлекательной фабрики. Отечественная геология, № 6 / 2017 с. 98-103.

38 Канаев А.Т., Канаева З.К., Мырзаханова И.А. и др. Глубокое извлечение золота из хвостов обогащения месторождения Акбакай культурой

Acidithiobacillus ferrooxidans Успехи современного естествознания. 2013. № 6. С. 115–120.

39 Semenchenco G.V., Mukusheva A.S. Structurally-phase transformations of pyrite in biochemical solution system. World Congress on Engineering and Technology (CET), Shanghai, China, Oct.28-Nov.2, 2011. Vol. 3 -P. 856-859.

40 Semenchenco G., Magomedov D. Bioleaching gold from refractory ores. // II-я Международная научно-практическая конференция «Современные ресурсосберегающие технологии. Проблемы и перспективы», 1-5 октября, Одесса ОНУ им. Мечникова 2012 г. – С. 193 - 197.

41 Semenchenco G. Bioleaching of noble metals from Kazakhstan's refractory raw materials. Biohydromet'12, Falmouth, UK, 18-20 June 2012. –P. 135-139.

42 Semenchenco G.V., Mukusheva A.S. Structurally-phase transformations of pyrite in biochemical solution system. World Congress on Engineering and Technology (CET), Shanghai, China, Oct.28-Nov.2, 2011. Vol. 3 -P. 856-859.

43 Foo Kevin Bath. Перспективы новых технологий в производстве золота. Gold Forum Technol. And Pract Littleton, 1989, P. 233-250.

44 Меретуков М.А. Металлургия благородных металлов. Зарубежный опыт / М.А. Меретуков, А.М. Орлов // М.: Металлургия, 1991. 416 с.

45 Патент США. № 5071477. Способ извлечения золота из упорных руд. Оpubл. 10.12.91.

46 Патент. № 13159 Способ извлечения золота из сурьму- и серу содержащих руд и концентратов Оpubл. 15.08.2006

47 Патент. № 16977 Способ извлечения золота из упорных углистых пирит-арсенопиритных золотосодержащих руд. Оpubл. 15.02.2006

48 Патент. № 20557 Способ извлечения золота из концентратов, полученных от переработки упорных золотосодержащих руд. Оpubл. 15.12.2008

49 Патент. № 16837 Способ переработки упорных золотосодержащих руд. Оpubл. 16.01.2006

50 Патент. № 7519 Способ извлечения золота из упорных углистых пирит-арсенопиритных золотосодержащих руд. Оpubл. 15.03.2001

51 Thomas K.G., «Pressure oxidation overview», in Developments in Mineral Processing (ed: M D Adams), (Elsevier), 2005. pp. 346-369

52 Васильевское золоторудное месторождение // Казахстан. Национальная энциклопедия. -Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2004. — Т. I. — ISBN 9965-938

53 Elbehti A, Brasseur G, Lemesle-Meunier D: Первое свидетельство существования восходящего переноса электронов через оксидоредуктазы ацидофильной облигатной хемолитотрофной бактерии, окисляющей ионы железа, *Thiobacillus ferrooxidans*. J Bacteriol. 2000, 182: 3602-3606. 10.1128/JB.182.12.3602-3606.2000.

54 Foucher S, Battaglia-Brunet F, d'Hugues P, Clarens M, Godon JJ, Morin D: Эволюция бактериальной популяции во время периодического

биологического выщелачивания кобальтинового пирита в пузырьковой колонке с взвешенными твердыми частицами и сравнение с механическим перемешиванием реактор. Гидрометаллургия. 2003, 71: 5-12. 10.1016/S0304-386X (03) 00142-7.

55 Friedrich CG, Rother D, Bardischewsky F, Quentmeier A, Fischer J: Окисление восстановленных неорганических соединений серы бактериями: появление общего механизма. Appl Environ Microbiol. 2001, 67: 2873-2882. 10.1128/AEM.67.7.2873-2882.2001.

56 Герке Т., Телегди Дж., Тьерри Д., Санд В. Важность внеклеточных полимерных веществ из *Thiobacillus ferrooxidans* для биовыщелачивания. Appl Environ Microbiol. 1998, 64: 2743-2747.

57 Джонсон Д.Б.: Биоразнообразие и экология ацидофильных микроорганизмов. FEMS Microbiol Ecol. 1998, 27: 307-317. 10.1016 / S0168-6496 (98) 00079-8.

58 Джонсон Д.Б., МакГиннесс S: Восстановление трехвалентного железа ацидофильными гетеротрофными бактериями. Appl Environ Microbiol. 1991, 57: 207-211.

59 Джонсон Д.Б., Роберто Ф. Ф.: Гетеротрофные ацидофилы и их роль в биовыщелачивании сульфидных минералов. Биодобыча: теория, микробы и промышленные процессы. Под редакцией: Rawlings DE. 1997, Берлин: Springer-Velag, 259-279.

60 Кусано Т., Такешима Т., Иноуэ С., Сугавара К. Доказательства двух наборов структурных генов рибулозобифосфаткарбоксилазы у *Thiobacillus ferrooxidans*. J Bacteriol. 1991, 173: 7313-7323.

61 Льюис AJ, Миллер JDA: Окисление ионов олова и меди с помощью *Thiobacillus ferrooxidans*. Может J Microbiol. 1977, 23: 319-324.

62 Groudev SN (1987 г.) Использование гетеротрофных микроорганизмов в минеральной биотехнологии. Acta Biotechnol. 7, 299-306.

63 Норрис PR: Термофилы и биовыщелачивание. Биодобыча: теория, микробы и промышленные процессы. Под редакцией: Rawlings DE. 1997, Берлин: Springer-Verlag, 247-258.

64 Норрис П.Р., Мюррел Дж. К., Хинсон Д.: Потенциал diazotroфии у ацидофильных бактерий, окисляющих железо и серу. Arch Microbiol. 1995, 164: 294-300. 10.1007 / s002030050267.

65 Окибе Н., Джонсон ДБ: Биоокисление пирита определенными смешанными культурами умеренно термофильных ацидофилов в биореакторах с контролируемым pH: значение микробных взаимодействий. Biotech Bioeng. 2004, 87: 574-583. 10.1002 / бит.20138.

**"СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ-2022. ҚАЗІРГІ ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ
ТРЕНДТЕРІ" ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ
КОНФЕРЕНЦИЯ ЕҢБЕКТЕРІ**

12 сәуір 2022 ж.

III Том

**ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «САТБАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022. ТРЕНДЫ
СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

12 апреля 2022 г.

Том III

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE "SATBAYEV CONFERENCE - 2022. TRENDS IN MODERN
SCIENTIFIC RESEARCH"**

12 April 2022

Volume III

Алматы 2022

ИССЛЕДОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Г.С. Турысбекова^{id}, Е.С. Ергалиев^{id}
Satbaev University, г. Алматы, Казахстан
erasulergaliev@gmail.com

Аннотация. В данной работе предоставлены исследования бактериального выщелачивания золотосодержащих руд. Бактериальное окисление относится к одной из современных и эффективных технологий в области переработки упорных золотосодержащих сульфидных руд. Данная технология характеризуется простотой технологического оформления и экологической безопасностью. Золотосодержащую руду подавали в состав бактериального выщелачивания в виде суспензии. Для окисления использовали бактерии *Thiobacillus ferrooxidans*. В результате была достигнута высокая степень извлечения металла. Установлены основные параметры технологии биологического окисления для данных концентратов сульфидных упорных руд: температура среды 25–28 °С, уровень pH = 1.5–1.6. В результате гидрометаллургическим методом установлено, биоораствор с концентрацией трехвалентного железа 20 г/л и количеством колоний $6 \cdot 10^6$, извлечение в раствор составило меди – 98,57 %, цинка – 50 %, мышьяка – 67 %, никеля – 33,3 %.

Ключевые слова. золотосодержащая руда, биоокисление, бактериальное выщелачивание, бактерия *thiobacillus ferrooxidans*.

Введение. Все это определяет актуальность и необходимость решения проблем извлечения ценных компонентов из минерального сырья.

Проблема извлечения благородных металлов из технологически упорных руд и техногенного сырья, не подлежащих обработке простыми (общепринятыми в промышленной практике) методами, является одной из наиболее важных и актуальных в цветной металлургии. Современные научные исследования направлены на применение биотехнологических методов извлечения, которые являются наиболее экономически выгодными и экологически безопасными. Перспективным способом в этом отношении является бактериальное окисление сульфидных минералов последующим выщелачиванием золота.

Биоокисление и биовыщелачивание сегодня — один из простых способов извлечения металлов из техногенного сырья, так как микроорганизмы, используемые в этом процессе, являются постоянными аборигенами месторождений цветных и благородных металлов. Разнообразные ландшафтно-климатические условия большинства месторождений Казахстана способствуют концентрированию эндемичных видов микроорганизмов, специфичных только для условий того или иного местообитания. Многими учеными показаны преимущества процессов биовыщелачивания и биоокисления с использованием промышленно ценных штаммов микроорганизмов для извлечения золота и сопутствующих металлов из техногенного сырья. Обзор научно-технической литературы и патентные исследования в области биохимического вскрытия минерального сырья с использованием микроорганизмов свидетельствуют о новизне предлагаемого для реализации научного проекта, позволяющем повысить извлечение золота при переработке упорного золотосодержащего сырья на 2–3 %. [1]–[9].

В Республике Казахстан имеется ряд месторождений, где целесообразно получение металлов способом бактериально-химического выщелачиванием. Например, на различных месторождениях (Аксу, Бестобе, Актогай, Коунрад, Жезказган, Жайрем, Бакырчик, Васильковское и т.д.) имеются огромные запасы бедных, заброшенных, забалансовых и труднообогатимых руд. Наиболее перспективными для извлечения золота в этих условиях можно считать биотехнологическим методом.

Методика проведения лабораторных исследований. При проведении исследований были использованы физико-химические методы анализа; бактериологический, рентгено-флуоресцентный, рентгенофазовый. По результатам рационального анализа содержание

золото, составило 2,62 г/т. После определения элементного состава, рентгенофазовым анализом определялись основные фазовые компоненты. Согласно данным рентгенофазового анализа установлено, что основная масса породообразующего материала представлена кварцем 55,5 %, в заметных количествах присутствуют также альбит 11 %, клинохлор 12 % и мусковит 7,5 %.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Основной задачей процесса биовыщелачивания является окисление сульфидных минералов и выделение тонко вкрапленного золота для следующего цикла цианирования. Для выполнения этой задачи бактерии должны быть жизнеспособными и активными. Сера и железа образуют химический окислитель Fe^{3+} и растворитель - серную кислоту. Поэтому расход H_2SO_4 при бактериальном выщелачивании снижается. Fe^{3+} . Наибольшая скорость бактериального выщелачивания достигается при тонком измельчении руды (200 меш и меньше), в плотных пульпах (до 20% твёрдого), при активном перемешивании и аэрации пульпы, а также оптимальных для бактерий рН, температуре и высоком содержании клеток бактерий (10×10^6 в 1 мл пульпы). Скорость окисления сульфидных минералов в присутствии бактерий возрастает в сотни и тысячи раз, по сравнению с химическим процессом. На рисунке 1 предоставлены клетки тионовых бактерий *Thiobacillus ferrooxidans*.



Рисунок 1 - Клетки тионовых бактерий *Thiobacillus ferrooxidans* под микроскопом

Биоокисление сырья проводили с бактериальными растворами разной концентрации 5,10,20 г/л Fe^{+3} . Растворы для биоокисления готовили с аэрацией в течении 10 суток на среде Сильвермана и Люндгрена 9К г/л: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 3$; $\text{KCl} - 0,1$; $\text{K}_2\text{HPO}_4 - 0,5$; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 0,5$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 0,01$; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 44,2$. Определяли количество образовавшегося трехвалентного железа. А также проводился подсчет колоний клеток микроорганизмов, которые составили: в опыте №1 - 4×10^5 , в опыте №2 - $2 \cdot 10^6$, в опыте №3 - 6×10^6 . После процесса биоокисления пульпа отфильтровывалась, кек и фильтрат на анализ.

Основная часть цветных металлов после процесса биоокисления перешла в раствор, что благоприятно сказывается на дальнейшем выщелачивании золота из полученного кека. Такие металлы как медь, извлечение в раствор в опыте №3 с концентрацией трехвалентного железа-20 г/л и количеством колоний- $6 \cdot 10^6$, составило 98,57 %, цинк-50 %, мышьяк-67 %, никель-33,3 %. Из результатов видно, что биораствор с концентрацией трехвалентного железа 20 г/л показал наилучшие показатели.

Выводы. Исследования показали, что, бактериальное выщелачивание- это современный эффективный и экологичный способ переработки золотосодержащих руд. Успешный опыт применения подобной технологии для переработки упорных сульфидных руд в различных странах мира позволяет её использовать на казахстанских производствах. Установлены основные параметры технологии биологического окисления для сульфидных упорных руд:

температура среды если активный перенос, то 25–30 °C, уровень pH =1,5–1,6., биоораствор с концентрацией трехвалентного железа 20 г/л.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Каравайко Г.И., Дубинина Г.А., Кондратьева Т.Ф. Литотрофные микроорганизмы окислительных циклов серы и железа // Микробиология. - 2006. Т. 75, № 5. - С. 593-629.
- 2 Патент Россия 2385959. МПК C22 В Способ получения золота из сульфидных золотосодержащих руд /Смолянинов В.В., Шехватова Г.В., Смагин В.А. Оpubл. 10.04.2010.
- 3 Седельникова Г. В., Савари Е. Е., Заулочный П. А., Кошель Е. А. Извлечение золота из упорных высокосульфидных концентратов с применением биогидрометаллургии // Цветные металлы. - 2012. - № 4. - С. 37–41.
- 4 Johnson D. B., Grail B. M., Hallberg K. B. A new direction for biomining: extraction of metals by reductive dissolution of oxidized ores // Minerals. 2013. No. 3 (1). P. 49–58.
- 5 Nancharaiyah Y. V., Venkata Mohan S., Lens P. N. L. Biological and bioelectrochemical recovery of critical and scarce metals //Trends in Biotechnology. - 2016. Vol. 34, No. 2. P. 137–155.
- 6 Hussin A. M. Ahmed, Ayman A. El-Midany. Statistical optimization of gold recovery from difficult leachable sulphide minerals using bacteria // Materials Testing. 2012. Vol. 54, No. 5. P. 351–357.
- 7 Koizhanova A., Osipowskaja L. New biochemical technology of gold leaching from sulfide ores // Proceedings of the 19th International Biohydrometallurgy Symposium. Changsha, China, 2011. Vol. 2. - P. 756–759.
- 8 Полькин С.И., Адамов Э.В., Панин В.В. Чановый процесс бактериального выщелачивания. Технология и схемы переработки цветных металлов. //Биогеотехнология металлов, 1985. - С. 243.
- 9 Адамов Э.В., Каравайко Г.И. Процессы бактериального выщелачивания в комбинированной технологии переработки минерального сырья // Доклад на симпозиуме «Неделя Горняка 99» Москва, МГТУ. –1999. –С. 46-51.

Құрамында алтын бар кендерді бактериялық сілтісіздендіруді зерттеу Г.С. Турысбекова^{ib}, Е.С. Ергалиев^{ib}

Аннотация. Бұл жұмыста құрамында алтын бар кендердің бактериялық сілтісізденуін зерттеу ұсынылған. Бактериялық тотығу-құрамында алтыны бар сульфидті кендерді өндеу саласындағы заманауи және тиімді технологиялардың бірі. Бұл технология Технологиялық дизайнның қарапайымдылығымен және экологиялық қауіпсіздігімен сипатталады. Құрамында алтын бар кендер суспензия түрінде бактериялық сілтісіздендіру құрамына берілді. Тотығу үшін *Thiobacillus ferrooxidans* бактериялары қолданылды. Нәтижесінде металл алудың жоғары деңгейіне қол жеткізілді. Сульфидті табанды кендердің концентраттары үшін биологиялық тотығу технологиясының негізгі параметрлері белгіленді: орта температурасы 38-40 °C, pH деңгейі =1.5-1.6. Нәтижесінде гидрометаллургиялық әдіспен үш валентті Темірдің концентрациясы 20 г/л және колониялардың саны $6 \cdot 10^6$ болатын биоотын анықталды, ерітіндіге алу мыс-98,57 %, мырыш - 50 %, мышьяк -67 %, никель -33,3% құрады.

Негізгі сөздер. құрамында алтын бар кен, био-қышқылдану, бактериялды шаймалау, *thiobacillus ferrooxidans* бактериялары

Investigation of bacterial leaching of gold-bearing ores G.S. Tueysbekova^{ib}, E Ergaliev^{ib}

Abstract. This paper presents studies of bacterial leaching of gold-bearing ores. Bacterial oxidation refers to one of the modern and effective technologies in the field of processing resistant gold-bearing sulfide ores. This technology is characterized by simplicity of technological design and environmental safety. The gold-bearing ore was fed into the bacterial leaching in the form of a suspension. *Thiobacillus ferrooxidans* bacteria were used for oxidation. As a result, a high degree of metal extraction was achieved. The main parameters of the biological oxidation technology for these concentrates of sulfide resistant ores have been established: the medium temperature is 38-40 °C, the pH level is 1.5-1.6. As a result, a hydrometallurgical method has established a bio-solution with a concentration of trivalent iron 20 g / l and the number of colonies is $6 \cdot 10^6$, extraction into solution was copper - 98.57%, zinc - 50%, arsenic -67%, nickel -33.3%.

Keywords. gold-bearing ore, biooxidation, bacterial leaching, *thiobacillus ferrooxidans* bacteria

"МАТЕРИАЛТАНУ ЖӘНЕ ЖАҢА МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫ" БӨЛІМІ

Нұрбаев Б.М.

ИЛГІШ ПЛАСТИКАЛЫҚ СУБСТРАТТАРДА КҮН БАТАРЕЯЛАРЫНЫҢ
ЖЕТІСТІКТЕРІ..... 177

Серікпаева А.Қ., Исмағұлова М.Ш., Майлина Х.Р., Паничкин А.В.

СУТЕК ГАЗЫНДАҒЫ АУЫСПАЛЫ МЕТАЛДАР НЕГІЗІНДЕГІ МЕМБРАНАЛАРДЫ
КЕҢЕЙТУ 185

Какимов У.К., Каипова А.А.

X70-X100 ТИПТІ ЖОҒАРЫ БЕРІКТІГІ ТӨМЕН ЛЕГИРЛЕНГЕН БОЛАТТАРДЫ
ТЕРМОМЕХАНИКАЛЫҚ ӨНДЕУДІҢ ЗАМАНАУИ ДАМУЫ..... 190

Рябикин Ю.А., Толубаев К.С., Байтимбетова Б.А.

НАНОӨЛШЕМДІ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ПАРАМАГНИТТІК СИПАТТАМАЛАРЫН
ЗЕРТТЕУ..... 194

"МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ИНЖЕНЕРИЯ" БӨЛІМІ

Галипаулы Ш., Койшина Г. М.

ТИТАНДЫ БОЛАТТАҒЫ ҚОСЫНДЫЛАРДЫ 3-D ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ..... 197

Бердіқұлова Ф.А., Жәрменов Ә.А., Терлікбаева А.Ж., Ковзаленко Т.В.,

Мазулевский Е.А. 201

ҚОРҒАСЫНДЫ ШЛАМНАН РЕНИЙДІ БӨЛІП АЛУ ӘДІСІ 207

Қали А.Ә., Бошкеева Л.Т., Джуманкулова С.К., Акубаева Д.М., Айдарханов Д.А.

КҮРДЕЛІ ҚҰРАМДЫ ВАНАДИЙЛІ КЕНДЕРДІ ӨНДЕУ ӘДІСТЕРІ..... 207

Молдабаева Г. Ж., Кульчикеева А.

ҚОРҒАСЫН СУЛЬФАТТАРЫНЫҢ ТЕРМОХИМИЯЛЫҚ ЫДЫРАУ 212

КИНЕТИКАСЫ..... 217

Рымканова Т.Е., Дюсенова С.Б.

ҚЫЗЫЛ ШЛАММЕН ТЕМІРЛІ ҚҰМДАРДЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН
ЗЕРТТЕУ..... 221

Шевко В.М., Айтқұлов Д.К., Бадикова А.Д., Миркаев Н.М.

ТЕМІР СИЛИЦИДТЕРІНІҢ ТҮЗІЛУІМЕН КРЕМНИЙ ОКСИДІН АЛЮМИНИЙ
КАРБИДІМЕН ЖӘНЕ АЛЮМИНИЙ ОКСИКАРБИДІМЕН ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРУ..... 226

Турысбекова Г.С., Ергалиев Е.С.

ҚҰРАМЫНДА АЛТЫН БАР КЕНДЕРДІ БАКТЕРИЯЛЫҚ СІЛТІСІЗДЕНДІРУДІ
ЗЕРТТЕУ..... 226

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ергалиев Ерасыл

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Бактериальное выщелачивание золотосодержащих руд и концентратов

Научный руководитель: Гаухар Турысбекова

Коэффициент Подобия 1: 10.5

Коэффициент Подобия 2: 4.6

Микропробелы: 13

Знаки из других алфавитов: 8

Интервалы: 11

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

Дата
25.05.2022 г.

Заведующий кафедрой МиОПИ
Бариевникова М.Б.


Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ергалиев Ерасыл

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Бактериальное выщелачивание золотосодержащих руд и концентратов

Научный руководитель: Гаухар Турысбекова

Коэффициент Подобия 1: 10.5

Коэффициент Подобия 2: 4.6

Микропробелы: 13

Знаки из здругих алфавитов: 8

Интервалы: 11

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

Дата

25.05.2022 г.

У—

проверяющий эксперт

Турысбекова Г.С.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую работу
(наименование вида работы)

Ергалиев Ерасыл Садуакасович

(Ф.И.О. магистранта)

7M07204 - Металлургия и обогащение полезных ископаемых

(шифр и наименование специальности)

На тему: Бактериальное выщелачивание золотосодержащих руд и концентратов

Выполнено:

- а) графическая часть на 16 слайдах
б) пояснительная записка на 49 страницах

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:

1. Соответствие работы специальности и отрасли науки

Представленная для рецензирования магистерская работа соответствует специальности 7M07204 - Metallургия и посвящена исследованию на изучение вопросов, связанных с возможностью повышения извлечение золота при переработке упорного золотосодержащего сырья на 2-3 %.

2. Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами (запросами практики и развития науки и техники)

В связи с истощением золотосодержащих руд в производство вовлекаются все более бедные смешанные руды, отвалы и хвосты. Для переработки такого вида сырья широко применяются гидрометаллургические технологии, включающие процессы выщелачивание, жидкостная экстракция и электролиз. Процесс выщелачивания хвостов может проводиться разными способами. Как показывает практика действующих предприятий биовыщелачивание все шире применяется в мире для извлечения металлов из упорных смешанных руд и концентратов, а также для переработки сырья хвостохранилищ. В РК пока такая технология к упорным золотосодержащим рудам не применяется, и разработка экономически эффективной биотехнологии является актуальной проблемой. Избранная тема магистерской диссертации посвящена актуальной проблеме изучению применения технологии бактериального выщелачивания упорных золотосодержащих руд.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого результата (научного положения), выводов и заключений, сформулированных в магистерской диссертации

Выполненные магистрантом исследования, показали, что использование бактериально-химического выщелачивания позволяет достигнуть извлечения золота из 7 исследуемых образцов степень извлечения золота составила 85 %, а в контрольном варианте – 75,5 %. Рекомендовано использование бактериального сернокислотного выщелачивания для интенсификации процесса. Приведенные в магистерской диссертации результаты исследований, выводы и заключения достаточно обоснованы и достоверны, поскольку проведен обширный литературный обзор по изучению данной темы, в работе использованы современные методы физикохимических исследований и анализов, а также стандартные методы аналитической химии.

4. Степень новизны каждого научного результата (положения), выводы и заключение, сформулированные в диссертации

Научная новизна полученных результатов: установлены основные закономерности по биовыщелачиванию золота. Подтверждение достаточной полноты публикаций основных положений, результатов, выводов диссертации. По теме опубликован 1 доклад в сборнике Международной конференции, материалы которых охватывают результаты исследовательской работы, соответствуют выводам диссертации и является вполне достаточным для соискателей академической степени – магистра технических наук по специальности «Металлургия и обогащение полезных ископаемых».

5. Оценка внутреннего единства и направленности полученных результатов на решение соответствующей актуальной проблемы теоретической или прикладной задачи

Представленная для оппонирования работа отличается внутренним единством и направленностью исследований на решение поставленной актуальной научной и прикладной задачи – получение титанового шлака (пригодного для дальнейшего хлорирования) из низкосортных ильменитовых концентратов в присутствии соды в виде флюса.

6. Подтверждение достаточной полноты публикаций основных положений, результатов, выводов диссертации

По теме работы опубликована статья, материалы которых охватывают наиболее важные результаты исследовательской работы, соответствуют выводам диссертации. Количество работ является вполне достаточным для соискателей академической степени – магистра технических наук со сроком 2.0 года.

7. Замечания к работе

Замечания и пожелания:

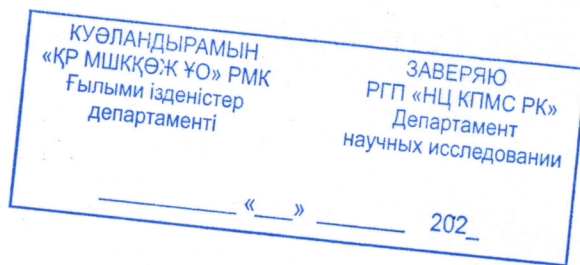
1. не приведены спектрограммы физико-химического анализа;
2. не приведены результаты изучения кинетики биовыщелачивания меди из образцов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОЦЕНКА РАБОТЫ

Несмотря на указанные замечания и недостатки, считаю, что диссертационная работа Ергалиев Е.С. соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, и может быть оценена на «отлично» (95 %), а автор заслуживает присуждения ему академической степени магистра технических наук по специальности 7М07204 - Metallurgy and enrichment of useful minerals.

ОППОНЕНТ:

Доктор Ph.D,
С.н.с. лаборатории редких металлов
РГП «НЦ КПМС РК»



ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию

(наименование вида работы)

Ергалиев Ерасыл Садуакасович

(Ф.И.О. обучающегося)

7M07204 – Металлургия и обогащение полезных ископаемых

(шифр и наименование специальности)

Тема: «Бактериальное выщелачивание золотосодержащих руд и концентратов»

Биотехнологии все шире применяются в мире для извлечения металлов из руд и концентратов. Данная работа направлена на изучение вопросов, связанных с возможностью доизвлечения золота.

Диссертация направлена на повышение технико-экономических показателей процесса биовыщелачивания золотосодержащих руд и концентратов. Исследования, проведенные в данной работе, показывают, что технология бактериального выщелачивания может использоваться для переработки золотосодержащих руд и концентратов. Тема и поставленные решаемые задачи исследований актуальны для развития практики в области биотехнологии металлов

Соискателем проведен литературный обзор по методам бактериального выщелачивания, химизм и особенности протекания процессов при биовыщелачивания.

Соискателем выполнены исследования, связанные с проведением экспериментов бактериального выщелачивания золотосодержащих руд и концентратов, которые показали возможность до извлечения золота. На основании этих исследований предложена технологическая схема использования бактериального выщелачивания при переработке золотосодержащих руд.

В результате выполненных автором исследований определены технологические параметры процесса и оптимальные условия для извлечения золота.

Считаю, что представленная работа является законченной квалификационной работой, и отвечает требованиям, предъявляемым к магистерским работам, а ее автор заслуживает отличной оценки (95%) и присуждения звания магистра по специальности 7M07204-Металлургия и обогащение полезных ископаемых.

Научный руководитель

К.т.н., ассоц. профессор

Турысбекова Г.С.

(подпись)

«06» 06 2022 г.