

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

УДК 579

На правах рукописи

ХАМУДА РАЖАА АБДЕЛЬ ФАТТАХ АХМЕД

**Роль микроорганизмов в процессах выщелачивания золота из руд
северных областей Казахстана**

Автореферат

диссертации на соискание академической степени доктора философии (Ph.D.) в
области биологии по специальности «биотехнология»

Республика Казахстан
Алматы 2009

Работа выполнена в Казахском национальном университете имени аль-Фараби

Научный руководитель:

доктор биологических наук,
профессор Канаев А.Т.

Рецензенты:

доктор биологических наук,
профессор Абжалелов А.Б.,

доктор биологических наук,
профессор Анапияев Б.Б.

Защита состоится «8» июня 2009 года в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной аттестационной комиссии КазНУ им. аль-Фараби по адресу: 050040, Алматы, пр. аль-Фараби, 71, биологический факультет, ауд. 519.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казахского национального университета имени аль-Фараби.

Автореферат разослан «___»_____2009 года.

Секретарь ГАК

А.С. Баубекова

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена исследованию роли микроорганизмов в процессах выщелачивания золота из руд северных областей Казахстана. С помощью геологических и микробиологических методов проводились следующие исследования: выделение наиболее активных штаммов микроорганизмов, участвующих в окислительных процессах сульфидных руд, в круговороте азота на месторождениях Аксу и Бестюбе; 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 и без них.

Актуальность темы. В последнее время в США, Канаде и других странах мира при использовании бактерий *A.ferrooxidans*, деятельность которых в несколько десятков раз увеличивает скорость окисления сульфидных минералов по сравнению с обычным химическим окислением, способами кучного и подземного выщелачивания получают такие ценные металлы, как медь и уран. Интенсивно ведущиеся исследования в области биогидрометаллургии позволяют вовлекать в переработку огромные запасы забалансовых и отвальных руд, а также промпродукты и отходы обогатительных фабрик. Известных данных в этой области достаточно для того, чтобы считать, что биологический метод является одним из перспективных в области переработки бедных руд и других источников цветных металлов. Этот метод экономически выгоден, исключает загрязнение окружающей среды и обеспечивает комплексное использование минерального сырья.

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.

В действующих объектах кучного выщелачивания (АО "Васильковский ГОК", Горнорудная компания "Балхаш") степень извлечения золота составляет всего 40-60 %, оставшаяся часть золота не поддается цианированию. Применение бактериального способа для цианирования повысило бы степень извлечения золота из смешанных сульфидных и упорных золотомышьяковых руд на 25-40 %.

В Республике Казахстан имеется ряд месторождений, где целесообразно получение металлов способом бактериально-химического выщелачивания. Например, на различных месторождениях (Аксу, Бестюбе, Актогай, Коунрад, Жезказган, Жайрем, Бакырчик, Васильковское и т.д.) имеются огромные запасы бедных, заброшенных, забалансовых и труднообогатимых руд.

Промышленные сточные воды и отработанные отвальные руды горно-обогатительных предприятий содержат простые и комплексные цианиды, ионы мышьяка и тяжелых металлов, которые являются сильными ядами. Наиболее перспективными для извлечения золота в этих условиях можно считать биотехнологические методы с использованием жизнедеятельности микроорганизмов.

Целью настоящей работы являются разработка эффективных микробиологических методов выщелачивания золотосодержащих бедных руд, обеспечивающих приемлемую скорость извлечения золота, удешевление процесса и снижение экологической нагрузки.

Объектом исследования являются отвальные, бедные золотосодержащие руды северных областей Казахстана.

Предметом исследования является процессы микробного выщелачивания золота из золотосодержащих руд месторождений «Аксу», «Бестюбе», «Бакырчик», «Большевик».

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

1. Выделить и исследовать микрофлору сульфидных руд месторождений "Аксу" и "Бестюбе".

2. Установить влияние различных концентраций химических соединений на рост и развитие железобактерий.

3. Определить и исследовать условия активизации процессов выщелачивания бедных золото-мышьяковых концентратов месторождений «Бестюбе», «Бакырчик» и «Большевик» при помощи бактерий *A. ferrooxidans*.

4. Охарактеризовать механизмы бактериального извлечения золота из хвостов концентратов руд Акбакайского месторождения.

Связь исследования с научными программами. Диссертационная работа выполнена на кафедре микробиологии биологического факультета КазНУ им. аль-Фараби. Указанная научная работа проведена в рамках программы фундаментальных исследований «Разработка современных технологий для формирования кластера по биотехнологии в республике Казахстан на 2006-2008 годы» (ЦО382) Национального центра биотехнологии МОН РК по теме «Интенсификация процессов кучного выщелачивания золота и урана из руд с использованием бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*» (номер государственной регистрации № 0106РК00476, в период 2006-2008 гг.).

Научная новизна работы. В работе получены следующие результаты:

- выделены микроорганизмы, участвующие в круговороте азота и серы сульфидных руд месторождений "Аксу" и "Бестюбе";
- установлено влияние различных концентраций химических соединений на рост и развитие железобактерий;
- определены условия активизации процессов выщелачивания бедных золото-мышьяковых концентратов;
- на основе результатов исследования микробценоза золотосодержащих руд, кинетических параметров реакций бактериального извлечения золота из

бедных, золотосодержащих руд установлен механизм протекания процессов бактериально-химического вскрытия руд.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. В сульфидных рудах Аксукского и Бестюбинского месторождений преобладают микроорганизмы рода *Nitrosomonas*.

2. Рост бактерий *A.ferrooxidans* в значительной мере зависит от присутствия в среде солей и оксидов железа, цинка, меди, молибдена, алюминия и кремния.

3. Бактериальное выщелачивание руд культурой *A.ferrooxidans* повышает степень извлечения из них золота при последующем цианировании.

4. В основе повышения эффективности процессов бактериального извлечения золота лежат процессы биоокисления мышьяка и железа.

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.

Разработанная технология бактериально-химического выщелачивания может быть использована для извлечения золота из золото содержащих руд.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы, докладывались и обсуждались на III международном конгрессе студентов и молодых ученых «Мир науки» (КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, 2009); на международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности» (КазНТУ им. К. Сатпаева, г. Алматы, 2008).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликованы 13 научных работ, в том числе 9 статей, 4 тезиса.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из обозначений и сокращений, введения, обзора литературы, материалов и методов исследования, результатов исследования, заключения, списка использованных источников, включающего 218 источников. Текст диссертации изложен на 101 странице машинописи, иллюстрирована 29 таблицами и 29 рисунками.

Место проведения работы. Работа выполнена в Казахском национальном университете им. аль-Фараби.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Выбор направления исследования обусловлен необходимостью определения роли микроорганизмов в процессах выщелачивания золота из руд северных областей Казахстана.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В обзоре литературы приводятся сведения, отражающие распространение ацидофильных бактерий в месторождениях сульфидных руд и их роль в окислении ионов железа и серы, анализируются современное состояние и перспективы бактериально-химического выщелачивания золото-мышьяковистых руд, влияние физико-химических факторов на окислительную активность *A.ferrooxidans* и оптимизация процессов бактериального выщелачивания.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований являлись золотоносные руды месторождений Аксу, Бестобе и Бакырчик, Большевик, Бескемпир.

Среды и условия культивирования. Для культивирования микроорганизмов, участвующих в круговороте азота использовалась среда МПА - для аммонификаторов; для бактерий рода *Nitrobacter* и *Nitrosomonas* – среда Виноградского; для олиготрофилов - среда Эшби; для микобактерий среда Федорова; для микроорганизмов, участвующих в круговороте серы – среда Старкей; для сульфатредуцирующих - среда Ваксмана; для *T.thiooxidans* – среда 9К; для *T.thioparus* - среда Бейеринка; для актиномицетов - крахмал аммиачный агар; для грибов - среда Чапека. Культивирование штаммов проводили при температуре 28 ± 2 °С.

Оценка роста. Рост микроорганизмов, участвующих в круговороте азота и серы определяли по количеству клеток.

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

3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Выделение наиболее активных штаммов бактерий, пригодных в биогетехнологии выщелачивании золота

Проведенные рядом исследователей микробиологические обследования месторождений носили преимущественно эпизодический характер, без учета динамики развития бактериальных окислительных процессов. Известно, что интенсивность последних зависит не только от климатических факторов, но и от типа месторождений, так как природные ассоциации минералов определяют физико-химическую обстановку среды обитания микроорганизмов. Урановые и

золотоносные месторождения в плане микробиологических процессов остаются сравнительно малоизученными, в частности, по сравнению с медными месторождениями.

Эти причины послужили основанием для проведения на Аксуском и Бестюбинском месторождениях ряда микробиологических обследований, позволивших уточнить направление протекающих здесь процессов, а также сравнить изменение состава микрофлоры по мере вскрытия рудного тела горными работами.

Известно, что микроорганизмы сульфидных месторождений, участвующие в окислительных процессах, способствуют ускорению перехода металлов в растворимую форму. Поэтому изучение микрофлоры месторождений и выявление их геохимической деятельности имеет практическое значение для извлечения металлов на месте добычи. В целях выяснения роли микроорганизмов в естественных окислительных процессах проводили микробиологическое обследование различных проб вод и руд Аксуском, и Бестюбинском месторождениях.

Выделение новых микроорганизмов из рудничных месторождений и знание их физиологии позволит расширить применение микробиологических методов, выщелачивания и обогащения руд, которые приобретают все большее значение в связи с истощением запасов богатых руд.

Исследование проводили в отвалах рудника «Аксу». Для микробиологического обследования отбирали пробы карьерных вод и руд из луж под отвалами труднообогатимых руд, руд отвалов, из вскрытых глинистых пород верхнего горизонта.

В таблицах 1-8 показана численность микроорганизмов в отобранных пробах месторождения «Аксу» и «Бестюбе».

Таблица 1 – Микробиологическое обследование пробы № 1 отвалов рудника «Аксу» (твердый материал, хвостов обогащения)

| Численность микроорганизмов, кл/г | | | |
|---|-----------------|------------------------------------|-----------------|
| МО, участвующие в круговороте азота | | МО, участвующие в круговороте серы | |
| Аммонификаторы | 0 | Сульфатредуцирующие | 10 ² |
| <i>Nitrosomonas</i> | 10 ⁶ | <i>T.thiooxidans</i> | 0 |
| <i>Nitrobacter</i> | 10 ² | <i>A.ferrooxidans</i> | 0 |
| Денитрификаторы | 0 | <i>T.thiopsrus</i> | 0 |
| Олигонитрофилы | 30 | <i>T.denitrificans</i> | 0 |
| Микобактерии | 0 | | |
| Актиномицеты-0; Грибы-1,2x10 ³ | | | |
| Примечание - МО – микроорганизмы. | | | |

Таблица 2 – Микробиологическое обследование пробы № 2 отвалов рудника «Аксу» (жидкий раствор из под отвала)

| Численность микроорганизмов, кл/мл | | | |
|--|-------------------|------------------------------------|---|
| МО, участвующие в круговороте азота | | МО, участвующие в круговороте серы | |
| Аммонификаторы | 1·10 ⁴ | Сульфатредуцирующие | 0 |
| <i>Nitrosomonas</i> | 10 ⁴ | <i>T.thiooxidans</i> | 0 |
| <i>Nitrobacter</i> | 10 | <i>A.ferrooxidans</i> | 0 |
| Денитрификаторы | 0 | <i>T.thiopsrus</i> | 0 |
| Олигонитрофилы | 10 | <i>T.denitrificans</i> | 0 |
| Микобактерии | 7х10 ⁴ | | |
| Актиномицеты-2х10 ⁴ ; Грибы-1,4·10 ² | | | |

Таблица 3 – Микробиологическое обследование пробы №3 отвалов рудника «Аксу» (твердый материал отвала шахты №38)

| Численность микроорганизмов, кл/мл | | | |
|--|----|------------------------------------|---|
| МО, участвующие в круговороте азота | | МО, участвующие в круговороте серы | |
| Аммонификаторы | 0 | Сульфатредуцирующие | 0 |
| <i>Nitrosomonas</i> | 10 | <i>T.thiooxidans</i> | 0 |
| <i>Nitrobacter</i> | 0 | <i>A.ferrooxidans</i> | 0 |
| Денитрификаторы | 0 | <i>T.thiopsrus</i> | 0 |
| Олигонитрофилы | 0 | <i>T.denitrificans</i> | 0 |
| Микобактерии | 0 | | |
| Актиномицеты-0; Грибы- 2·10 ⁴ | | | |

Таблица 4 – Микробиологическое обследование твердого материала карьера «Аксу»

| Численность микроорганизмов, кл/г | | | |
|--|-------------------|------------------------------------|---|
| МО, участвующие в круговороте азота | | МО, участвующие в круговороте серы | |
| Аммонификаторы | 0 | Сульфатредуцирующие | 0 |
| <i>Nitrosomonas</i> | 8·10 ² | <i>T.thiooxidans</i> | 0 |
| <i>Nitrobacter</i> | 4·10 ² | <i>A.ferrooxidans</i> | 0 |
| Денитрификаторы | 0 | <i>T.thiopsrus</i> | 0 |
| Олигонитрофилы | 0 | <i>T.denitrificans</i> | 0 |
| Микобактерии | 0 | | |
| Актиномицеты- 0; Грибы-1·10 ⁴ | | | |

Таблица 5 – Микробиологическое обследование твердого материала, поступившего на кучу до и после измельчения месторождения «Бестюбе»

| Численность микроорганизмов, кл/г | | | |
|---|------------------|------------------------------------|--------|
| МО, участвующие в круговороте азота | | МО, участвующие в круговороте серы | |
| Аммонификаторы | $1,4 \cdot 10^6$ | Сульфатредуцирующие | 10^2 |
| <i>Nitrosomonas</i> | $4 \cdot 10^3$ | <i>T.thiooxidans</i> | 0 |
| <i>Nitrobacter</i> | 10^3 | <i>A.ferrooxidans</i> | 0 |
| Денитрификаторы | 0 | <i>T.thiopsrus</i> | 0 |
| Олигонитрофилы | 60 | <i>T.denitrificans</i> | 0 |
| Микобактерии | $3,3 \cdot 10^6$ | | |
| Актиномицеты – $1,6 \cdot 10^6$; Грибы – $1,6 \times 10^3$ | | | |

Таблица 6 – Микробиологическое обследование цианистого раствора из под отвала после орошения месторождения «Бестюбе»

| Численность микроорганизмов, кл/мл | | | |
|---|---|------------------------------------|---|
| МО, участвующие в круговороте азота | | МО, участвующие в круговороте серы | |
| Аммонификаторы | 0 | Сульфатредуцирующие | 0 |
| <i>Nitrosomonas</i> | 0 | <i>T.thiooxidans</i> | 0 |
| <i>Nitrobacter</i> | 0 | <i>A.ferrooxidans</i> | 0 |
| Денитрификаторы | 0 | <i>T.thiopsrus</i> | 0 |
| Олигонитрофилы | 0 | <i>T.denitrificans</i> | 0 |
| Микобактерии | 0 | | |
| Актиномицеты – 20,0; Грибы – $2,8 \cdot 10^4$ | | | |

Таблица 7 – Микробиологическое обследование цианистого раствора до орошения месторождения «Бестюбе»

| Численность микроорганизмов, кл/мл | | | |
|-------------------------------------|---|------------------------------------|---|
| МО, участвующие в круговороте азота | | МО, участвующие в круговороте серы | |
| Аммонификаторы | 0 | Сульфатредуцирующие | 0 |
| <i>Nitrosomonas</i> | 0 | <i>T.thiooxidans</i> | 0 |
| <i>Nitrobacter</i> | 0 | <i>A.ferrooxidans</i> | 0 |
| Денитрификаторы | 0 | <i>T.thiopsrus</i> | 0 |
| Олигонитрофилы | 0 | <i>T.denitrificans</i> | 0 |
| Микобактерии | 0 | | |
| Актиномицеты – 0; Грибы – 0 | | | |

Таблица 8 – Микробиологическое обследование твердого материала золотоносного карьера месторождения «Бестюбе»

| Численность микроорганизмов, кл/мл | | | |
|--|--------|------------------------------------|---|
| МО, участвующие в круговороте азота | | МО, участвующие в круговороте серы | |
| Аммонификаторы | 10^2 | Сульфатредуцирующие | 0 |
| <i>Nitrosomonas</i> | 10^4 | <i>T.thiooxidans</i> | 0 |
| <i>Nitrobacter</i> | 10^3 | <i>A.ferrooxidans</i> | 0 |
| Денитрификаторы | 10 | <i>T.thiopsrus</i> | 0 |
| Олигонитрофилы | 0 | <i>T.denitrificans</i> | 0 |
| Микобактерии | 0 | | |
| Актиномицеты – 10^7 ; Грибы – 10^8 | | | |

Как видно из данных табл. 1-8, группы микроорганизмов, участвующих в круговороте азота, в частности, аммонификаторы находятся в большом количестве в пробах № 2, 5 - 1×10^4 , $1,4 \times 10^6$ кл/мл соответственно, в небольшом количестве в пробе № 8 - 10^2 кл/мл и отсутствовали в пробах № 1, 3, 4, 6, 7. Наибольшее количество бактерий рода *Nitrosomonas* наблюдалось в пробах № 1, 2, 8 - 10^6 , 10^4 , 10^4 соответственно, их среднее количество обнаружено в пробах № 3, 4, 5 - $10,8 \times 10^2$, 10^3 кл/мл соответственно, в пробах № 6, 7 они отсутствовали. Количество бактерий рода *Nitrobacter* было относительно невысоким и составило в пробах № 1, 2, 4, 5, 8 - 10^2 , 10^1 , 10^3 кл/мл соответственно, в пробах № 3, 6, 7 они обнаружены не были. Денитрификаторы отсутствовали во всех пробах, кроме пробы № 8, где их количество не превышало 10 клеток. Невысокое количество олигонитрофилов наблюдалось в пробах № 1, 2, 5 - 30, 10, 60 клеток соответственно, в пробах № 3, 4, 6, 7, 8 они отсутствовали. Высокая численность микобактерий наблюдалось в пробах № 2 и 5 - 7×10^4 , $3,3 \times 10^6$ кл/мл соответственно, их отсутствие было отмечено в пробах № 1, 3, 4, 6, 7, 8. Актиномицеты в большом количестве встречались в пробах № 2, 5, 8 - 10^4 , 10^6 , 10^7 кл/мл соответственно, их среднее количество обнаружено в пробе № 6 - 20 клеток, в пробах № 1, 3, 4, 7 не обнаружены. Высокая численность грибов отмечена в пробах № 4, 6, 8 - 1×10^4 , $2,8 \times 10^4$, 10^8 кл/мл соответственно, малая численность этой группы отмечена в пробах № 1, 2, 5, в которых их численность составила - $1,2 \times 10^3$, $1,4 \times 10^2$, $1,6 \times 10^3$ кл/мл соответственно, отсутствовали они в пробах № 7. Микроорганизмы, участвующие в круговороте серы не встречались, за исключением сульфатредуцирующих бактерий, которые были обнаружены в небольшом количестве в пробах № 1, 5 - 10^2 , 10^2 соответственно.

Изучение микробного населения золотоносного месторождений Северного Казахстана (Аксу, Бестюбе) выявило слабое развитие тионовых бактерий, особенно представителей ацидофильной группы *A. ferrooxidans*. Причиной этого явления может быть отсутствие благоприятных условий для окисления сульфидов металлов и как следствие этого нейтральная реакция рудничных и

сточных вод. По мере обнажения рудоносных горизонтов, объектов сульфидов металлов с воздухом и водой активизируется деятельность *A. ferrooxidans*.

3.2 Влияние различных физических и химических факторов на окислительную деятельность *Acidithiobacillus ferrooxidans*

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.

Как видно из рис. 1-8, различные концентрации химических соединений (двухвалентное железо, серная кислота, хлориды, ионы цинка, меди, молибдена, безводная окись алюминия, окись кремния) оказывают влияние на окислительную деятельность железоокисляющих бактерий *A. ferrooxidans*. При этом отмечено, что с возрастанием концентраций химических соединений снижается рост и развития бактерий. Оптимальной концентрацией серной кислоты 7 до 11 г /л и двухвалентного железа 15 г /л.

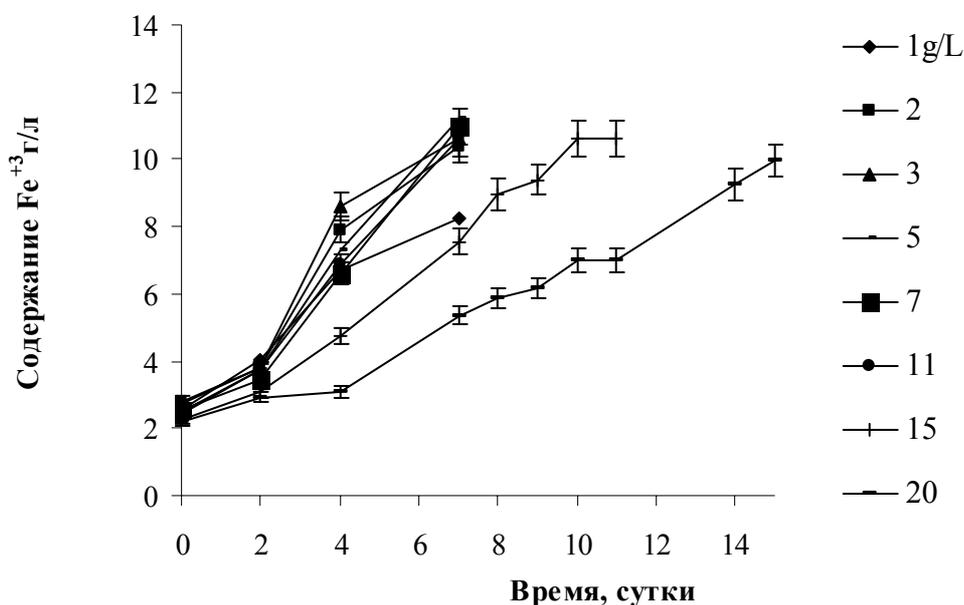


Рисунок 1 – Влияние различных концентраций H_2SO_4 (г/л) на окислительную деятельность *A. ferrooxidans*

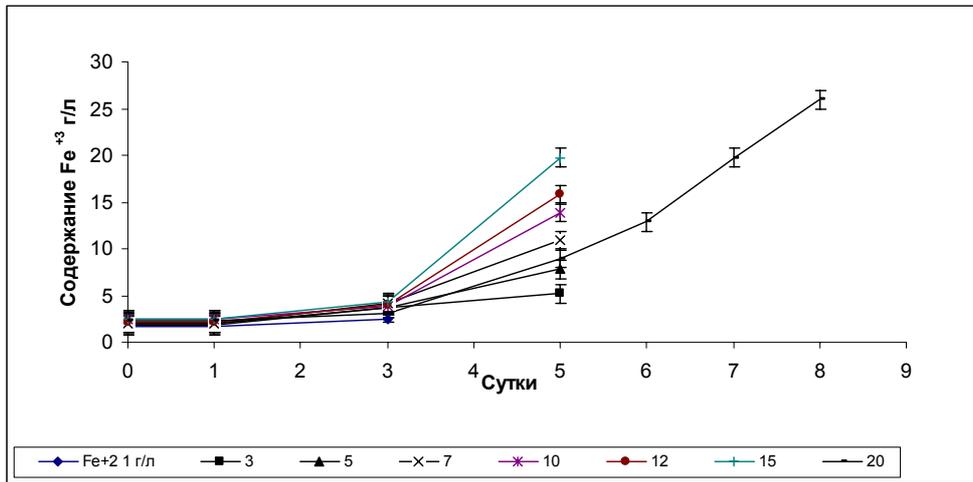


Рисунок 2 – Влияние различных концентраций Fe^{2+} на окислительную деятельность *A.ferrooxidans*

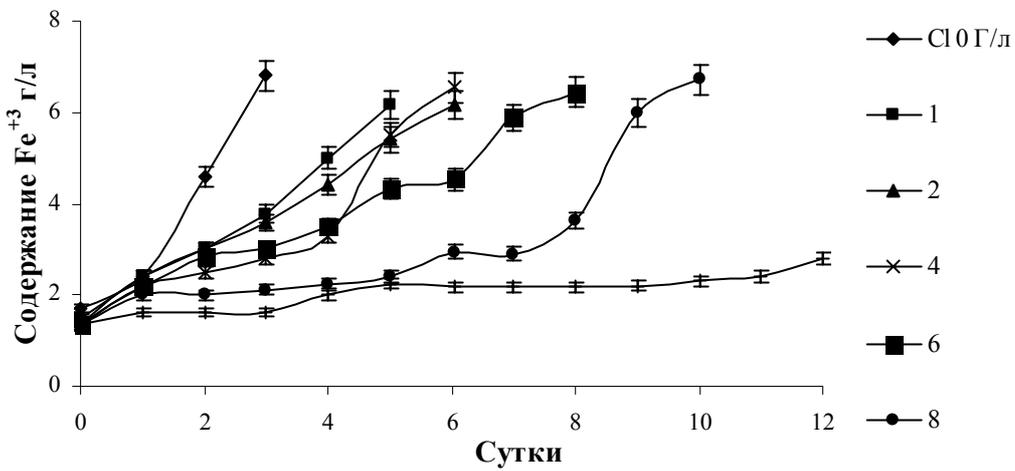


Рисунок 3 – Влияние различных концентраций Cl на окислительную деятельность *A.ferrooxidans*

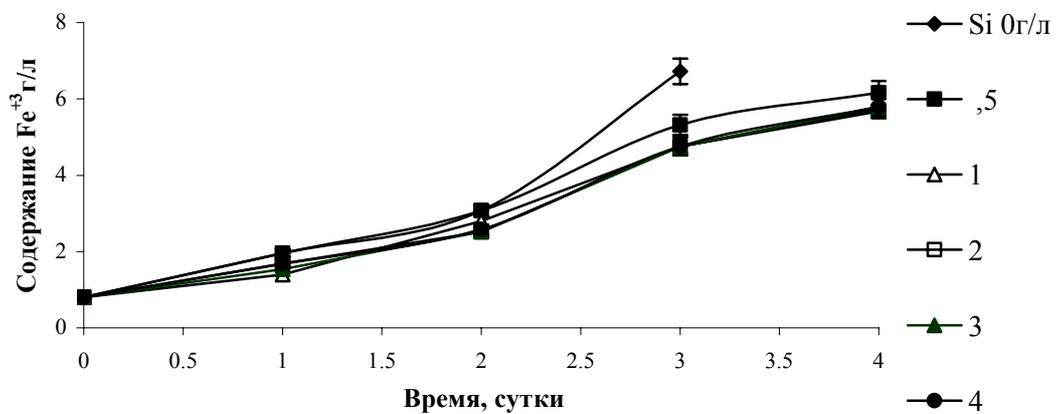


Рисунок 4 – Влияние различных концентраций Si на окислительную деятельность *A.ferrooxidans*

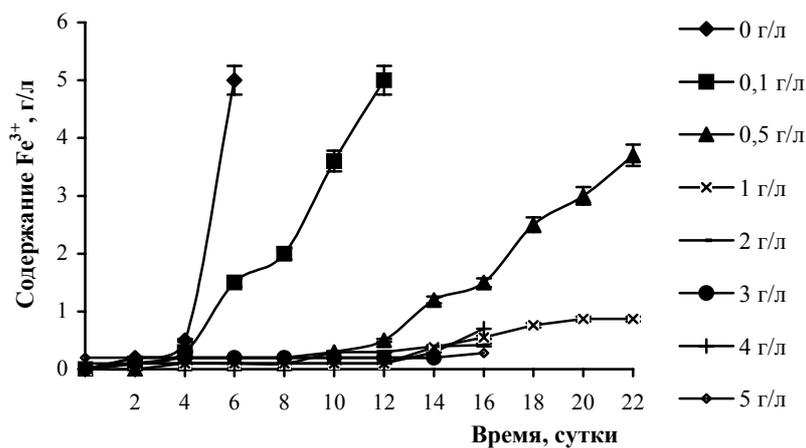


Рисунок 5 – Влияние концентрации Cu на активность исходной культуры *A.ferrooxidans*

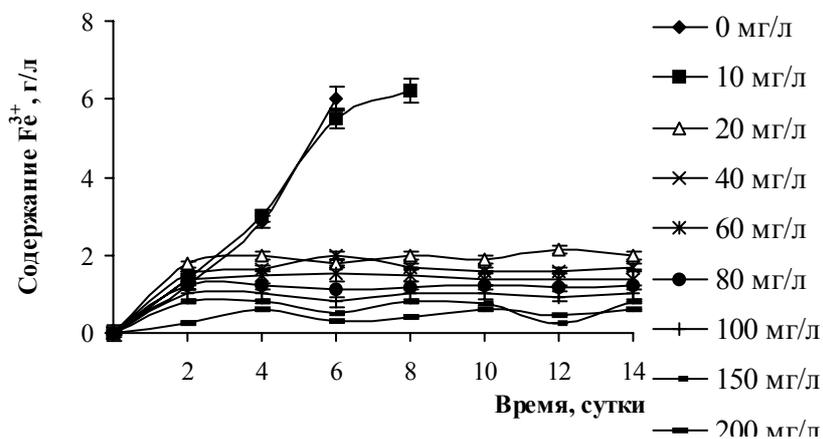


Рисунок 6 – Влияние концентрации Mo на активность исходной культуры *A.ferrooxidans*

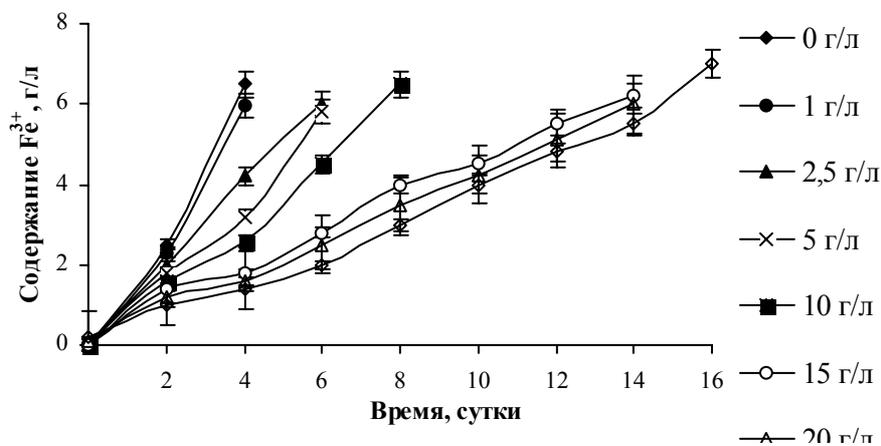


Рисунок 7 – Влияние концентрации Zn на активность исходной культуры *A.ferrooxidans*

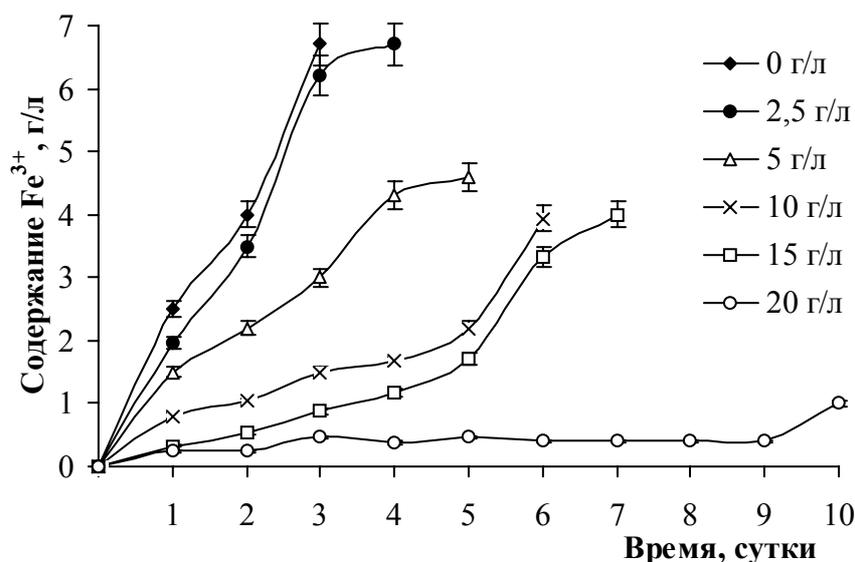


Рисунок 8 – Влияние концентрации Al на активность исходной культуры *A.ferrooxidans*

Отношение культуры *A.ferrooxidans* к повышенным температурам и адаптация к ним

Перспектива применения *A.ferrooxidans* в гидрометаллургических процессах требует увеличения устойчивости бактерий к высоким концентрациям различных компонентов и температуры в выщелачивающих растворах. Оптимальной для развития *A.ferrooxidans* является температура 28-37°C как видно на рис (9; 10)

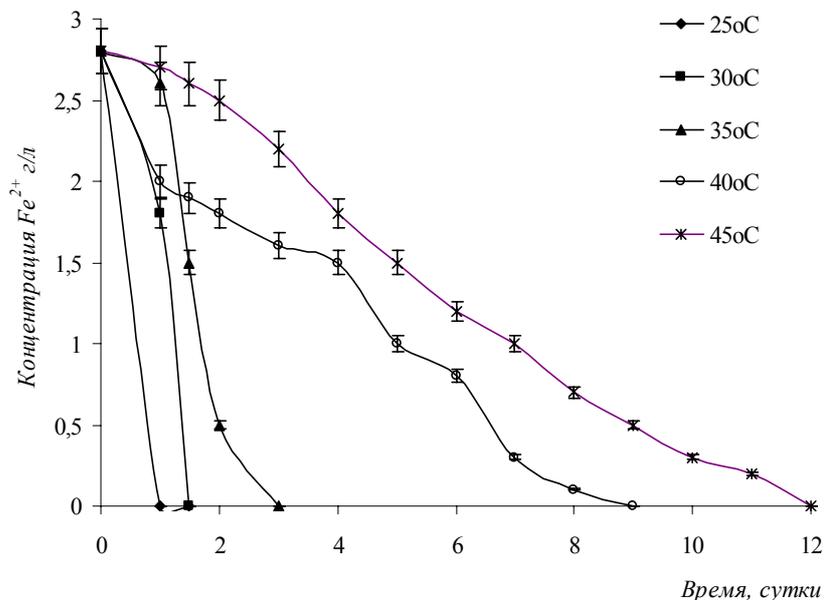


Рисунок 9 – Скорость окисления железа исходной культурой *A.ferrooxidans* при различных температурах

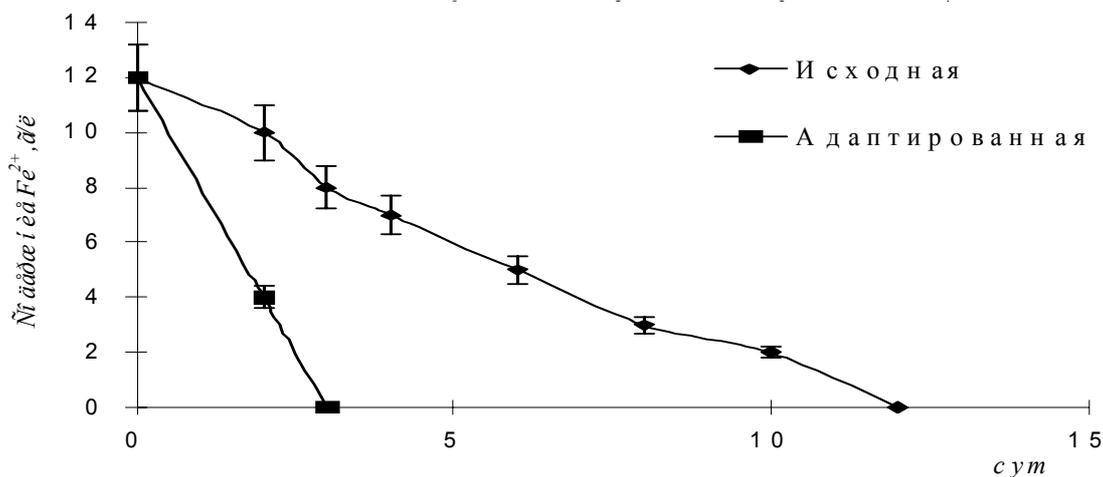


Рисунок 10 – Влияние концентрации железа на скорость окисления его при повышенной температуре (45°C)

Таким образом, численные значения основных температурных точек (минимальной, оптимальной и максимальной), а также интервал температур, в котором возможен рост, у культуры *A.ferrooxidans* варьируют в широких пределах.

3.3 Роль *Acidithiobacillus ferrooxidans* в бактериально-химическом выщелачивании железа и серы

3.3.1 Роль *Acidithiobacillus ferrooxidans* в окисление серы

Нами была изучена окислительная способность исходных культур *A.ferrooxidans* и их адаптация (рис.11- 12). При последовательном увеличении концентраций серы в среде культивирования, показатели окисления серы у адаптированных штаммов *Acid.ferrooxidans* увеличиваются, по сравнению с неадаптированными.

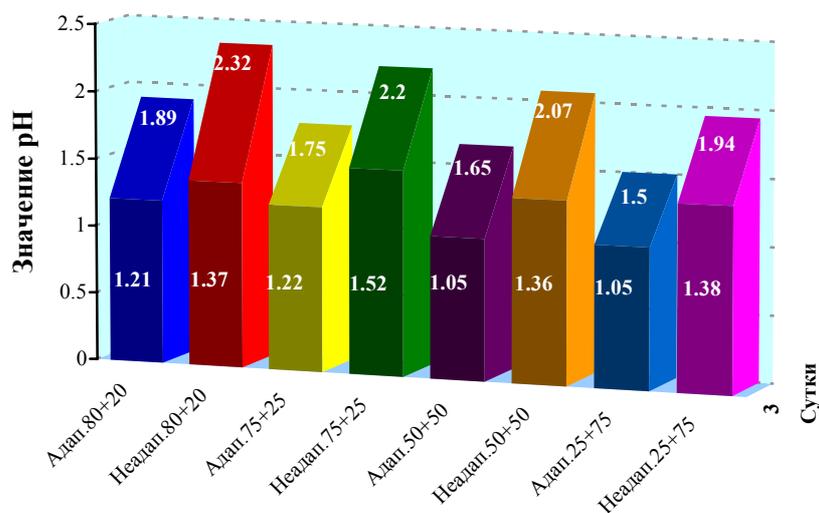


Рисунок 11 – Показатели значения pH при окислении S⁰ культурой *Acid.ferrooxidans*

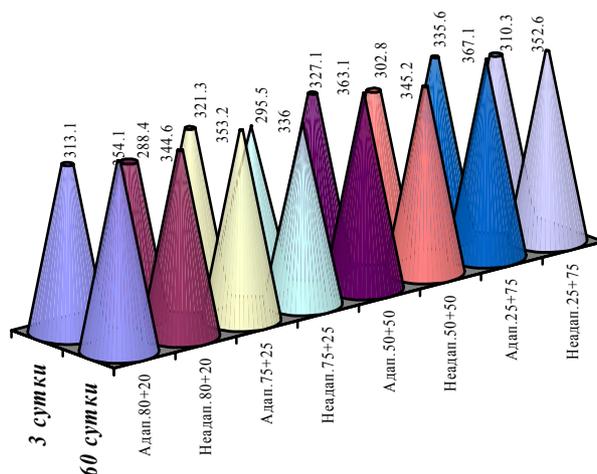


Рисунок 12 – Показатели окислительно-восстановительного потенциала при окислении S^0 культурой *Acid.ferrooxidans*

3.3.2 Окисление дисульфида железа

Опыты по изучению деятельности бактериального штамма *A.ferrooxidans* для окисления дисульфида железа на средах (9К и 5К) показали, что скорость окисления дисульфида железа *A.ferrooxidans* на средах 5К выше, чем на среде 9К (рис.13).

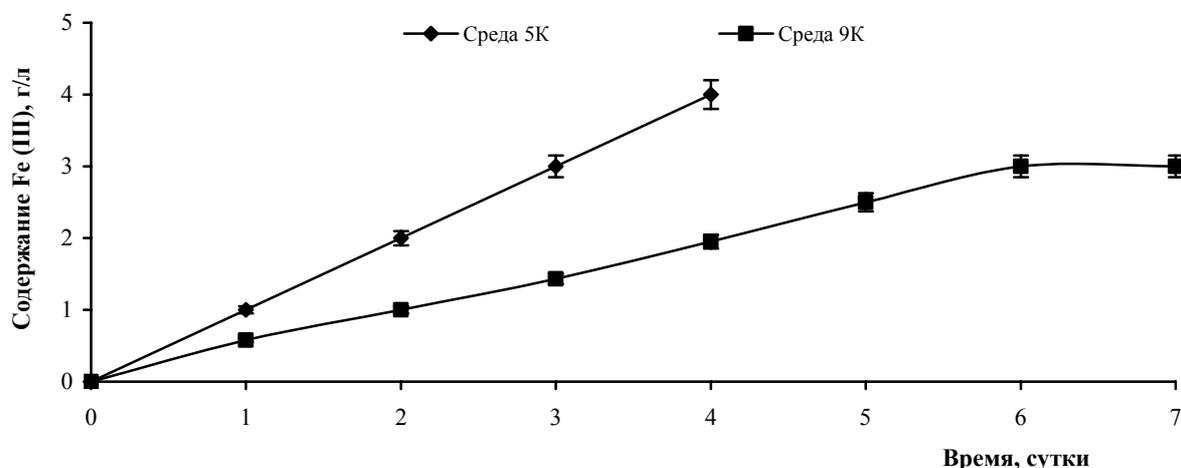


Рисунок 13 – Концентрация ионов Fe^{+3} во время окисления дисульфида железа культурой *A.ferrooxidans* на средах 5 К и 9 К

3.4 Лабораторные опыты по бактериальному выщелачиванию золотосодержащих руд и продуктов их обогащения

3.4.1 Перколяционные опыты по бактериальному выщелачиванию карьерных руд Аксуйского месторождения

После рабочий раствор с концентрацией $NaCN=0,3$ г/л, рН – 10-11 для орошения руды, подавался сверху из упорного бака самотеком по шлангу диаметром 3 мм, через дозирующее устройство со скоростью 8 мм в минуту (из расчета 10 л/м² час). Количество использованного раствора в перколяторе

составляло 2 л. Процесс выщелачивания в перкаляторе останавливали, когда содержание золота в продуктивном растворе устойчиво понижалось до 0,05 мг/л. В таблице приводятся результаты процесса цианирования. Как видно из полученных данных в бактериальном варианте цианирования в течение 3 суток из руды было извлечено 12,94 мг золота (64,82%), а в контрольном варианте (прямого цианирования) было извлечено 10,4 мг золота (52,12 %), т.е. на 10 % меньше, чем при бактериальной обработке руды.

Таблица 9 – Результаты цианирования

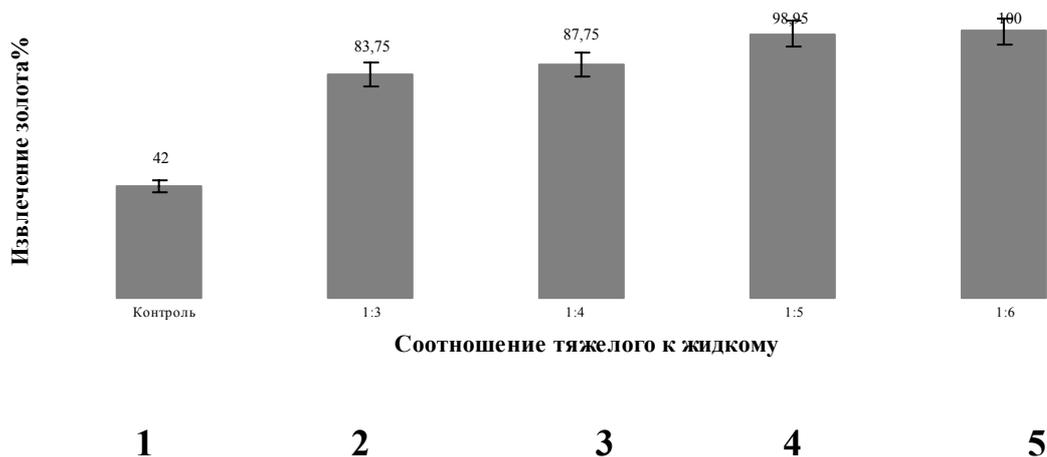
| Варианты | Пр сито | NaCN, г/л | рН | Извлечение золота | |
|---|---------|-----------|-------|-------------------|-------|
| | | | | мг | % |
| Прямое цианирования | 23 | 0,3 | 10-11 | 10,4 | 52,12 |
| Цианирование остатка после бактериального выщелачивания | 23 | 0,3 | 10-11 | 12,94 | 64,82 |

3.4.2 Изучение влияния неадаптированной культуры *A.ferrooxidans* и химических окислителей на выщелачивание золота в месторождения Бестюбе

Бестюбинское золотоносное месторождение эксплуатируется с 1931 года подземным способом. Как известно, эффективность применяющихся технологий добычи и получения золота предопределяется характеристиками месторождений. Вещественный состав руд определяется главным образом развитием золоторудных кварцевых тил, которые широко развиты на всех участках месторождения и являются объектом промышленной добычи золота.

В работе применяли лабораторные штаммы бактерий *A.ferrooxidans*, неадаптированные к высоким содержаниям цветных металлов, мышьяка и серной кислоты к Т:Ж = 1:3, 1:4, 1:5, 1:6.

Как видно из рис.14 при цианировании исходного концентрата извлекается 42 % золота. Бактериальное выщелачивание поднимает степень извлечения при цианировании до 83.75, 87.75, 98.95, 100 %, Т:Ж 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 соответственно в течение 45 дней. Все технологии непосредственно включают бактериальное разложение сульфидных и мышьяк-содержащих минералов, очистку бактериальных растворов после выщелачивания с использованием их в обороте и цианирование кеков выщелачивания.



1 - контрольный вариант без бактериальной обработки;
2, 3, 4, 5 – после обработки NaCN.

Рисунок 14 – Степень извлечения золота из флотоконцентратов Бестюбе после биовыщелачивания

3.4.3 Влияние химических окислителей на степень извлечения золота

Как видно из данных рис. 15 при цианировании исходного концентрата извлекается 42 % химических веществ. Выщелачивание поднимает степень извлечения при цианировании до 53 %, 44,6 %, 59,56 % серной кислоты, соли сернокислого железа, гипохлорита соответственно.

Таким образом, полученные результаты показателем влияния расход серной кислоты, соли сернокислого железа $Fe_2(SO_4)_3$, гипохлорит калия на подкисление руды, так и в процессе выщелачивания на подкисление оборотных растворов. Установлено, что их слабых окислителей выщелачивания чем биовыщелачивания.

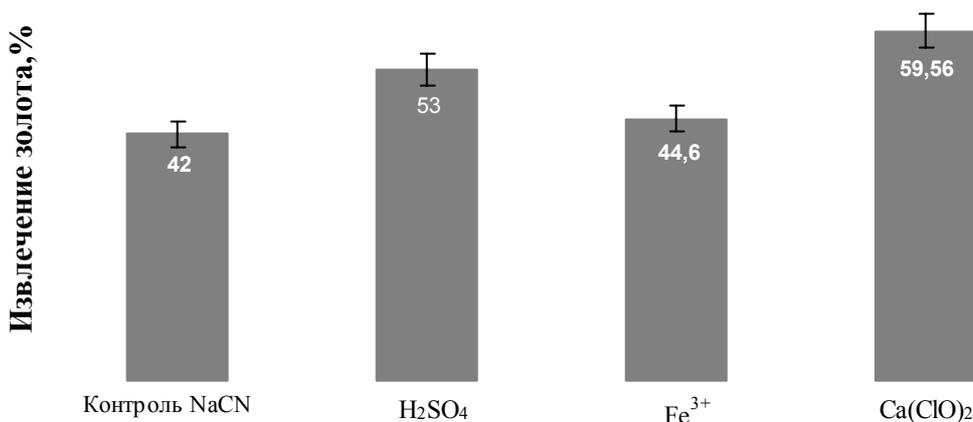


Рисунок 15 – Влияние химических окислителей на степень извлечения золота

3.4.4 Бактериальное выщелачивание золото-мышьяковых концентратов руд месторождений «Бестюбе», «Бакырчик» и «Большевик»

Для проведения лабораторных исследований использовали в качестве объекта упорные сульфидные флотоконцентраты «Бестюбе», «Бакырчик» и «Большевик». Химический состав соответствующих флотоконцентратов приводится в табл.10.

Таблица 10 – Химический состав концентратов «Бестюбе», «Бакырчик» и «Большевик»

| Флотоконцентраты | Содержания, % | | | | | | |
|------------------|------------------|-------|------|-------|-----|---------|---------|
| | SiO ₂ | Fe | S | C | As | Au, г/т | Ag, г/т |
| Бестюбе | 29,5 | 11,7 | 12,5 | - | 6,5 | 42 | 27,5 |
| Бакырчик | 30-35 | 10-12 | 14,3 | 11,7 | 5,8 | 70,3 | - |
| Большевик | 20-40 | 8,17 | 4-10 | 3-5,5 | 3,5 | 21,4 | 0,5-3 |

До начала биовыщелачивания определяли оптимальный расход серной кислоты для нейтрализации карбонатов и на создание необходимой кислотности в последующем процессе биовыщелачивания. При обработке концентратов 2 % раствором серной кислоты при Т:Ж = 1:5 в раствор извлекается железо и мышьяк до 2,01 г/л и 147,5 мг/л соответственно (из концентрата «Бестюбе»), из концентрата «Бакырчик» 1,55 г/л железа и 305,2 мг/л мышьяка. Извлечение железа и мышьяка из концентрата «Большевик» составили - 1,37 г/л и 225,5 мг/л соответственно.

Расход серной кислоты для концентратов «Бакырчик» и «Большевик» составляли от 55 до 60 кг/т, а для концентрата «Бестюбе» – 88,2 кг/т. После кислотной обработки остатки концентратов выщелачивали бактериальным раствором, содержащим 6- 6,5 г/л ионов Fe³⁺, до 3 г/л H₂SO₄ и 10⁷ кл/мл бактерий *A.ferrooxidans* при Т:Ж=1:5 в течение 7 дней. Результаты опытов приводятся в на рис. 16, 17.

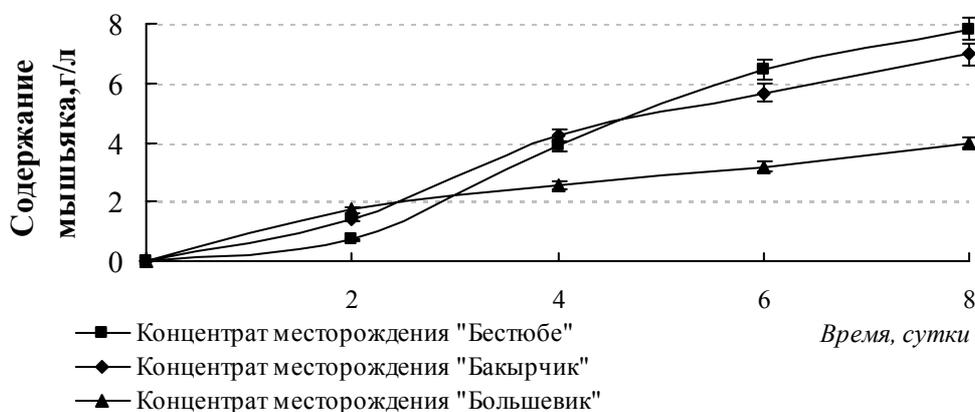


Рисунок 16 – Кинетика извлечения мышьяка в окислительном растворе

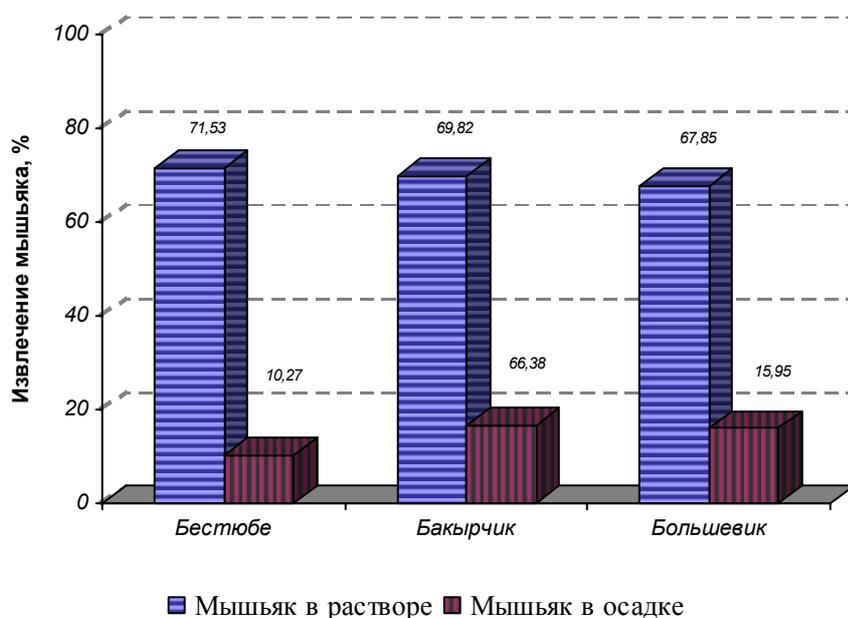


Рисунок 17 – Степень извлечения мышьяка из различных концентратов

Из данных рис.17 видно, что общее извлечение мышьяка из концентратов «Бестюбе» составляет 82,4 %, из них 71,5 % в растворе и 10,8 % выпадает в осадок. Извлечение мышьяка из концентрата Бакырчик – 86,2 %, из них 16,3 % в осадке. Из концентрата «Большевик» извлечено 83,8 % мышьяка, из них 15,9 % в осадке.

Таким образом, в течение 6-7-ми суточного выщелачивания из концентратов сульфидных минералов извлечено более 82 % мышьяка, арсенопирита, при этом происходит вскрытие золота, связанное с сульфидными минералами концентрата.

Остатки бактериального выщелачивания промывали водой до нейтральной реакции и для извлечения золота готовили различные растворители (табл.11).

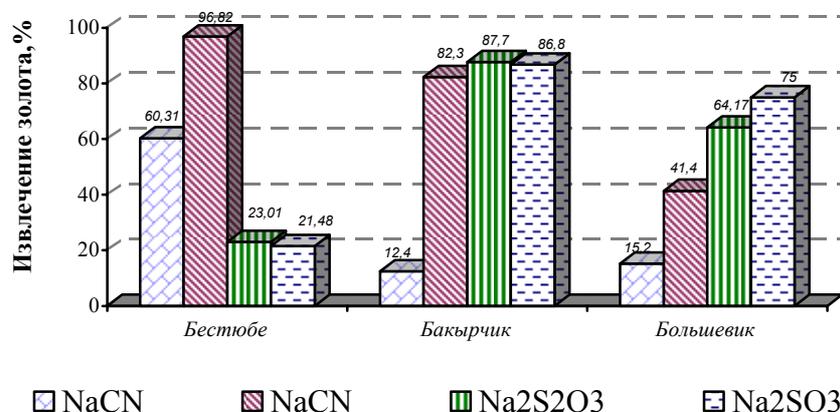


Рисунок 18 – Степень извлечения золота из флотоконцентратов с различными растворителями

Как видно из рис.18 при цианировании исходного концентрата «Бестюбе» извлекается 60,3 % золота, а после бактериальной обработки 96,8 %. Из исходного концентрата «Бакырчик» цианированием извлекается всего – 12,4 %. Бактериальное выщелачивание поднимает степень извлечения золота до 82,7 %. Тиосульфатное и сульфатное извлечение золота дало положительные результаты для концентратов «Бакырчик» и «Большевик». Извлечение золота из этих концентратов составляли 86 и 75 % соответственно.

Таблица 11 – Извлечение золота из остатков биовыщелачивания с разными растворителями

| Материал | Au г/т | Состав растворителей, % | | | | | Извлечение золота | | |
|--|-----------|-------------------------|------|---|---------------------------------|-------------------|----------------------|-------|-------|
| | | NaCN | NaOH | Na ₂ S ₂ O ₃ | Na ₂ SO ₃ | CuSO ₄ | мг/л | мг | % |
| Концентрат «Бестюбе» исходный | 42,0 | 0,2 | 0,15 | - | - | - | 7,60 | 0,76 | 60,31 |
| Остаток биовыщелачивания флотоконцентрата «Бестюбе» | " | 0,2 | 0,15 | - | - | - | 12,20 | 1,22 | 96,82 |
| | " | - | 1,5 | 0,8 | - | 0,01 | 2,90 | 0,29 | 23,01 |
| | " | - | 1,5 | - | 0,8 | 0,01 | 2,77 | 0,277 | 21,98 |
| Концентрат «Бакырчик» | 70,3 | 0,2 | 0,15 | - | - | - | 2,61 | 0,261 | 12,4 |
| Остаток биовыщелачивания флотоконцентрата «Бакырчик» | " | 0,2 | 0,15 | - | - | - | 17,32 | 1,732 | 82,3 |
| | " | - | 0,5 | 0,8 | - | 0,01 | 18,45 | 1,845 | 87,7 |
| | " | - | 0,5 | - | 0,8 | 0,01 | 18,27 | 1,827 | 86,8 |
| Концентрат «Большевик» | 21,4 | 0,2 | 0,15 | - | - | - | 0,97 | 0,097 | 15,2 |
| Остаток биовыщелачивания флотоконцентрата «Большевик» | " | 0,2 | 0,15 | - | - | - | 2,66 | 0,266 | 41,4 |
| | " | - | 0,5 | 0,8 | - | 0,01 | 4,20 | 0,420 | 64,17 |
| | " | - | 0,5 | - | 0,8 | 0,01 | 4,82 | 0,482 | 75,0 |

В начальный период опыта в результате окислительных и восстановительных процессов концентрация Fe⁺³ железа снижается до 4 г/л и в среде появляются ионы Fe⁺². Бактерии заново окисляют закисное железо, в конце опыта все железо в растворе находится в трехвалентной форме.

Концентрация мышьяка в растворе доходит до 2,96 г/л и при этом извлечение его составляет – 67,8 % (рис. 19).

При работе со свежими хвостами, отобранные из пульпопровода завода, твердый материал содержал 13,62 г/т золота, 2,49 % мышьяка и 0,03 % сурьмы (рис 20). При шестисуточной бактериальной обработке концентрация железа снижается от 7,5 до 4,5 г/л за счет кислотности среды. Как известно, при pH 2,2-2,5 20-30 % пятивалентного мышьяка связывается с ионами Fe⁺³ и выпадает в осадок в виде FeAsO₄.

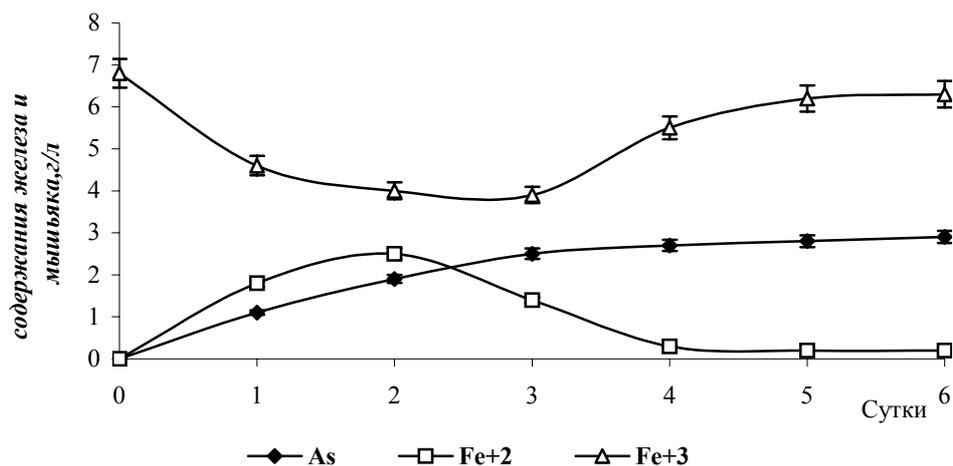


Рисунок 19 – Динамика изменения концентрации железа и извлечение мышьяка при бактериальном выщелачивании лежалых старых хвостов (Au – 7,6 г/т)

Именно по этой причине в растворах выщелачивания всегда наблюдается снижение концентрации Fe⁺³ и As⁺⁵. В этой работе извлечение мышьяка составило 56,2 %. Результаты цианирования этого кека подтвердили выводы предыдущих опытов, степень извлечения золота составила 95 %, а в контрольном варианте - 32,3% (табл.12).

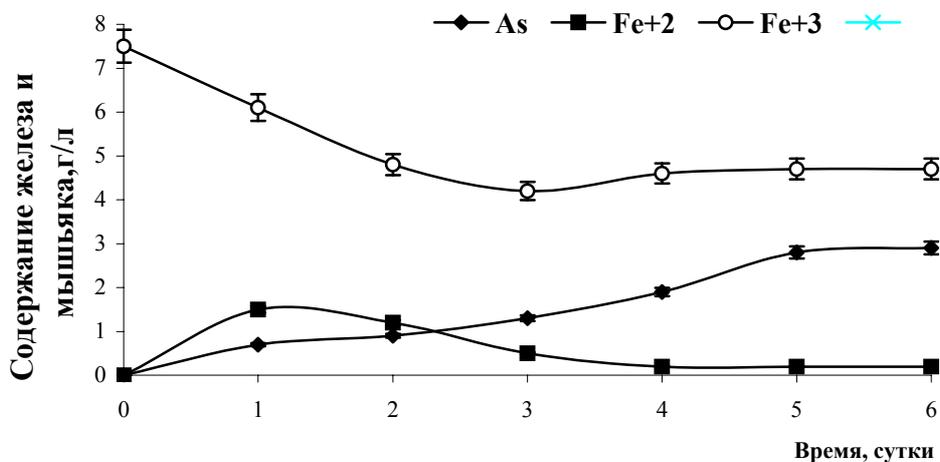


Рисунок 20 – Динамика изменения концентрации железа и извлечение мышьяка при бактериальном выщелачивании свежих хвостов (Au - 13,62 г/т)

На основании лабораторных исследований проводили укрупненный опыт в агитаторе емкостью 20 л (табл. 13). Вначале 3 кг хвостов промывали 15 л 1 % раствором серной кислоты. Исходное содержание золота в этом материале – 18 г/т. После фильтрации промытый кек выщелачивали 15 л бактериальным раствором, приготовленном на воде Бескемпир. Бактериальный раствор содержал 6,2 г/л Fe^{+3} , 10^8 кл/мл *A.ferrooxidans*.

Таблица 12 – Извлечение золота из кека хвостов бактериального выщелачивания

| Варианты | Т:Ж | Продолжительность, ч | Состав растворителя, % | | Извлечение Au | | |
|--------------------------------------|-----|----------------------|------------------------|------|---------------|-------|------|
| | | | NaOH | NaCN | мг/л | мг | % |
| Хвосты исходные (контроль) | 1:5 | 24 | 0,5 | 0,2 | 0,84 | 0,42 | 32,3 |
| Хвосты после бактериального вскрытия | 1:5 | 24 | 0,5 | 0,2 | 2,47 | 1,235 | 95,0 |

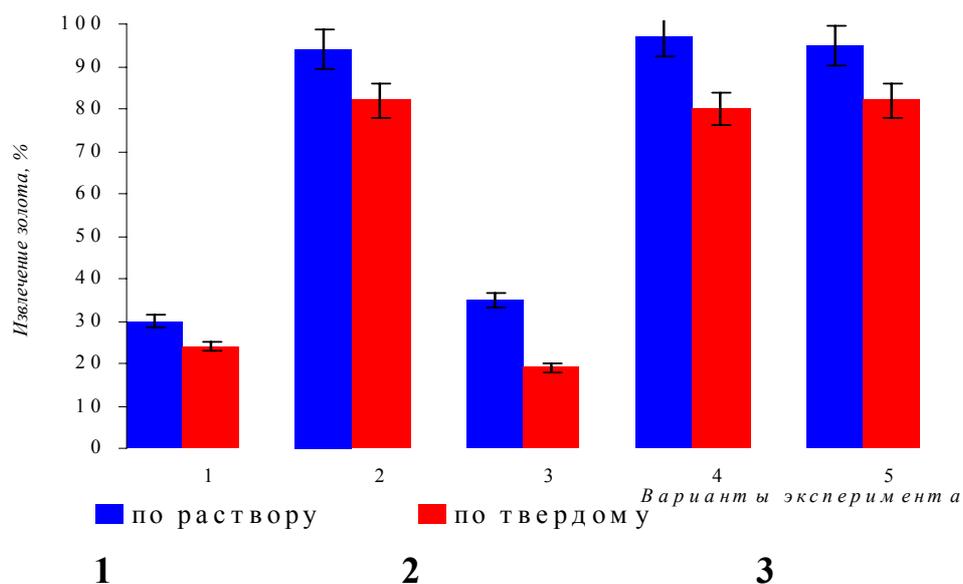
После 7 суточного выщелачивания в растворе все железо окислялось до Fe^{3+} и в раствор переходило 42,7 г мышьяка, т.е. извлечение его составило 57,3 %. Извлечение сурьмы было незначительным – всего 3,66 %.

Таблица 13 – Бактериальное выщелачивание золотосодержащих хвостов перед цианированием (Au - 18 г/т)

| Время выщелачивания | Т°С | рН | Колич. <i>A.ferrooxidans</i> кл/мл | Содержание железа, г/л | | | Извлечение мышьяка | | | Извлечение сурьмы | | |
|---------------------|-----|-----|------------------------------------|------------------------|----------|---------------|--------------------|-------|------|-------------------|------|------|
| | | | | Fe_{+3} | Fe_2^+ | $Fe_{щ}^{об}$ | мг/л | мг | % | мг/л | мг | % |
| 1 | 10 | 2,5 | 10^8 | 6,2 | Сл | 6,2 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 10 | 2,5 | 10^8 | 5,7 | Сл | 5,7 | 505,0 | - | - | 2,42 | - | - |
| 3 | 11 | 2,5 | - | 5,0 | 0,7 | 5,7 | 1047,5 | - | - | 1,7 | - | - |
| 4 | 23 | 2,5 | 10^7 | 4,6 | 0,3 | 4,9 | - | - | - | 1,47 | - | - |
| 5 | 25 | 2,5 | 10^8 | 4,6 | Сл | 4,9 | 305,6 | - | - | 1,75 | - | - |
| 6 | 27 | 2,5 | - | 5,1 | 0 | 5,1 | - | - | - | 1,98 | - | - |
| 7 | 25 | 2,5 | 10^8 | 5,0 | 0 | 5,0 | 2850,8 | 42760 | 57,3 | 2,2 | 33,0 | 3,66 |

Таблица 14 – Извлечение золота из кека укрупненного опыта (Au – 18 г/т; Ag - 5,4 г/т)

| Кек,г | Т: Ж | Состав растворителя, % | | Извлечение золота | | | Извлечение серебра | | | Продолжительность, час |
|-------|---------|------------------------|------|-------------------|-------|------|--------------------|------|------|------------------------|
| | | NaOH | NaCN | мг/л | мг | % | мг/л | мг | % | |
| 100 | 1:5 | 0,4 | 0,3 | 3,27 | 1,635 | 90,8 | 0,88 | 0,44 | 81,4 | 24 |



1, 2 - лабораторные опыты; 3 - укрупненный опыт;
 1, 3 – контрольные варианты (без бактериальной обработки);
 2, 4, 5 - опытные варианты (после бактериальной обработки).

Рисунок 21 – Степень извлечения золота при цианировании

Результаты цианирования кека укрупненного опыта (табл. 14) показали, что бактериальное вскрытие золота поднимает степень извлечения до 90 %, а извлечение серебра 81,4 %.

Результаты приборных анализов также показали преимущество бактериальной обработки, так, в контроле, где цианировали конечные материалы, извлечение золота составило всего 19-22 %, тогда как в вариантах с бактериальной обработкой эта величина на 60 % выше и составляет более 82 % (рис. 21).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы по диссертации

1. Выявлено, что в сульфидных рудах Аксуского и Бестюбинского месторождений широко распространены нитрифицирующие микроорганизмы

рода *Nitrosomonas*.

2. Установлено, что с возрастанием концентраций химических соединений (двухвалентное железо, серная кислота, хлориды, ионы цинка, меди, молибдена, безводная окись алюминия, окись кремния) в среде снижаются рост и развитие железоокисляющих бактерий.

3. Выявлено, что цианирование золото–мышьяковых концентратов месторождений «Бестюбе», «Бакырчик» и «Большевик» после бактериального выщелачивания приводит к возрастанию извлечения золота, причем, наилучшие результаты получены в тех случаях, когда процедурам тиосульфатного и сульфатного выщелачивания предшествует обработка культурой *A. ferrooxidans*.

4. Установлено, что при бактериальном выщелачивании хвостов вскрытие золота происходит за счет биоокисления мышьяка и железа, способствующей повышению степени извлечения золота при повторном цианировании. Так, цианирование руды месторождения «Аксу» после бактериальной обработки повышает степень извлечения золота на 12 %.

Оценка полноты решений поставленных задач. Задачи, поставленные в диссертационной работе, решены полностью. В результате проведенных исследований была изучена условия бактериально-химического способа выщелачивания мышьяка из концентратов руд золотоносных месторождений Северного Казахстана; изучена кинетика процесса бактериально-химического выщелачивания руд и концентратов; исследованы параметры и условия выщелачивания отвалных и бедных золотосодержащих руд бактериально-химическим способом выщелачивания; разработаны научно-практические основы добычи золота биотехнологическим способом КВ на территории функционирования комбината и реализация её при промышленной добыче.

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.

Разработка и испытание предлагаемой технологии бактериального выщелачивания золота проводились на рудниках г. Степногорска.

Оценка технико-экономической эффективности. Окончательным результатом настоящей работы является разработка и обоснование эффективных методов биовыщелачивания золотосодержащих бедных руд, обеспечивающих приемлемую скорость, удешевление технологии выщелачивания и снижение экологической нагрузки, так как исключается вероятность выброса мышьяковистых газов в окружающую атмосферу.

Оценка научного уровня выполненной работы. В диссертационной работе впервые исследованы условия бактериального выщелачивания золото-мышьяковистых руд месторождений «Аксу», «Бестюбе», «Бакырчик» и

разработан способ вскрытия концентратов, отличающийся высокими технологическими показателями, меньшей токсичностью, чем окислительный обжиг концентрата, так как исключается вероятность выброса мышьяковистых газов в окружающую атмосферу.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 **Канаев, А.Т., Хамуда, Р.А., Камалов, М.Р.** Влияние концентрации меди, молибдена, цинка и алюминия на окисляющую активность *Acidithiobacillus ferrooxidans* // Биотехнология. Теория и практика. - 2008. - № 3. - С. 86-90.

2 **Hamouda, R.A., Kanaev, A., Kanaeva, Z., Kamalov, M.** Bioleaching gold by *Acidithiobacillus ferrooxidans* from gold - Arsenic concentrates ore // Современный научный вестник. - 2008. - Vol. 53, № 27. - С. 98-104.

3 **Камалов, М.Р., Канаев А.Т., Хамуда, Р.А.** Биотехнология доизвлечения золота из хвостов цианирования // Биотехнология. Теория и практика. - 2008. - № 2. - С. 94-99.

4 **Канаев, А.Т., Камалов, М.Р., Хамуда, Р.А., Канаева, З.К.** Бактериальное вскрытие золота из упорных золотомышьяковых концентратов месторождения Большевик // Современный научный вестник. - 2008. - Vol. 53, № 27. - С. 55-61.

5 **Hamouda, R.A., Kanaev, A., Kanaeva, Z., Kamalov, M.** Microbial leaching of iron, sulphur and pyrite using *Acidithiobacillus ferrooxidans* // J. Biol. Environ. Sci. Ain. Shams university. - 2008. - Vol. 3, № 4. - P. 207-216.

6 **Канаев, А.Т., Хамуда, Р.А., Камалов, М.Р., Канаева, З.К.** Химический состав и кучное бактериальное выщелачивание золотосодержащих месторождений Аксу // Современный научный вестник. - 2009. - Vol. 60, № 4. - С. 29-33.

7 **Хамуда, Р.А., Канаев, А.Т., Камалов, М.Р., Канаева, З.К.** Влияние ионного состава серноокислотных растворов на окислительную активность штаммов бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* // Современный научный вестник. - 2009. - Vol. 60, № 4. - С. 65- 73.

8 **Канаев, А.Т., Хамуда, Р.А., Канаева, З.К., Камалов, М.Р.** Микробиологические основы химико-технологических процессов глубокого извлечения золота из концентратов месторождения Бакырчик // Вестник КазНПУ. Серия экологическая. - 2009. - № 2. - С. 25-32.

9 **Хамуда, Р.А., Канаев, А.Т., Канаева, З.К., Камалов, М.Р.** Влияние неадаптированной *Acidithiobacillus ferrooxidans* и химических окислителей на выщелачивание золота // Вестник КазНПУ. Серия экологическая. - 2009. - №2. - С. 32-38.

10 **Хамуда, Р.А.** Бактериальное выщелачивание золото–мышьяковых концентратов руд месторождений Бестюбе, Бакырчик и Большевик // III международный конгресс студентов и молодых ученых «Мир науки», посвященный 75-летию КазНУ им. аль-Фараби, 28-30 апреля. - Алматы, 2009. –

С. 142.

11 **Хамуда, Р.А.** Биотехнология доизвлечения благородных металлов из хвостов цианирования Акбакайского месторождения // III международный конгресс студентов и молодых ученых «Мир науки», посвященный 75-летию КазНУ им. аль-Фараби, 28-30 апреля. - Алматы, 2009. - С. 144.

12 **Нагуманова, Л.А., Хамуда, Р.А.** Применение микроорганизмов в процессах извлечения золота на объектах кучного выщелачивания Аксуйского и Бестюбинского золотомышьякового месторождений // III международный конгресс студентов и молодых ученых «Мир науки», посвященный 75-летию КазНУ им. аль-Фараби, 28-30 апреля. - Алматы, 2009. - С. 199.

SUMMARY

of the author abstract submitted to the academic degree of Philosophy Doctor (Ph.D.)
in Biology by the speciality “biotechnology”

Ragaa Abd El-fatah Ahmed Hamouda

ROLE MICROORGANISMS IN PROCESSES LEACHING GOLD FROM ORES NORTHERN ZONE KAZAKHSTAN

Object of research are dump, poor gold ores of northern areas of Kazakhstan

The purpose of the present work are working out of effective microbiological methods of leaching gold ores, and also working out of biotechnology with using method bacterial leaching gold from the poor ores, providing comprehensible speed, reduction in price of process and ecological pollution decrease.

For object in view achievement in work are used modern method; Definition Fe^{+2} and Fe^{+3} in solutions was used terelonmetric, definition of sulfuric acid was used a volumetric method. In the work for definition of maintenance Me. has been used atomic absorption method.

Results of our researches have shown, that:

1. Ores Aksusky and Bestobesky deposits it is a lot of microorganisms participating in nitrogen circulation and a few microorganisms participating in sulphur circulation.

2. Studying of various concentration of metals (Fe^{+2} ; H_2SO_4 ; Cl; Zn; Cu; Mo; Al_2O_3 ; SiO_2) on oxidising activity bacteria *A.ferrooxidans* has shown, that inhibition of growth of bacteria with increase of concentration of chemical compounds.

3. Cyanidation gold- Arsenic concentrates ore of deposits Bectobe, Bakrchik and the Bolshevik after bacterial leaching leads to increase of extraction of gold, however the best results of extraction of gold for concentrates Bakrchik and the Bolshevik were given by use thiosulphate and sulphatic leaching after processing by culture *A.ferrooxidans*.

4. In process cyanidation concentrates ores Akbakasky deposit the considerable part of gold (to 20 г/т) remains in tails, at bacterial leaching tails there is an opening of gold at the expense of biooxidations of arsenic and iron. Results that degree of extraction gold in processes repeated cyanidation after bacterial leaching was raised. In the deposit ore «Акcy», was applied cyanide after bacterial processing, that resulted 12,94 mg of gold (64,8 %), that is means 12 % more than in a control variant.

The basic constructive, technological and techno-operational characteristics. For leaching gold from gold- arsenic poor, balance-sheet and hard ores developed ecologically sparing way based on using active reagent of culture bacteria *A.ferrooxidans*. It is investigated kinetics decomposition of gold from persistent ores and concentrates.

Scope. The results received during researches can be applied at carrying out of an estimation of use of technologies bioleaching gold from poor and hard ores, on a site leaching effectively apply a way bacterial-chemical leaching with culture

A.ferrooxidans.

Recommendations. The results received during researches can be applied at carrying out of an estimation of using technologies bioleaching gold from poor ores, their rational parameters are established, and also technical recommendations about the constructive device of stacks heap leaching are developed. A way of technology bacterial-chemical leaching gold-arsenic ores of deposits «Аксы», « Бектобе», «Бакрчик », «Болшевик» have been developed. The developing way of opening of concentrates conferred high technological indicators, smaller toxicity, than oxidising roasting of a concentrate as the probability of emission arsenic gases in surrounding atmosphere is excluded.

Economic efficiency. Definitive result of the present work is working out and a substantiation of effective methods leaching gold-bearing ores the poor ores providing comprehensible speed, technology reduction in price leaching and ecological pollution decrease as the probability of emission arsenic gases in surrounding atmosphere is excluded.

Prognosis assumptions of development objects of research. By results of the present research working out and a substantiation of effective methods bioleaching gold from poor and hard ores, on a site of gold bearing in various deposits of Republic Kazakhstan.

Хамуда Ражаа Абдель Фаттах Ахмед

ҚАЗАҚСТАННЫҢ СОЛТҮСТІК ОБЛЫСТАРЫНЫҢ КЕНІНДЕГІ АЛТЫНДЫ СІЛТІСІЗДЕНДІРУ ПРОЦЕСІ КЕЗІНДЕГІ МИКРООРГАНИЗМДЕРДІҢ РӨЛІ

«Биотехнология» мамандығы бойынша биология саласындағы философия докторы (Ph.D.) академиялық дәрежесін алу үшін дайындаған диссертация авторефератына
ТҮЙІН

Зерттеу нысаны ретінде Қазақстанның солтүстік аудандарының алтынға кедей, қалдықты кендері алынды.

Жұмыстың негізгі мақсаты құрамында алтыны аз кедей кендерді сілтісіздендірудің қолайлы жылдамдығын, процестің арзандығын және экологиялық жүктеменің төмендеуін қамтамасыз ететін тиімді микробиологиялық әдісін өңдеу болып табылады.

Жұмыста қойылған мақсаттарға жету үшін жаңа әдістер қолданылды. Ерітінділердегі Fe^{+2} мен Fe^{+3} анықтау көлемді трилометриялық, күкірт қышқылы көлемділік әдісімен анықталды. Жұмыста металдардың құрамын анықтау үшін атомды-адсорбциялық әдіс қолданылды.

Жұмыстың нәтижелері

1. «Ақсу» мен «Бестөбе» кен орындарында ортаның бейтарап жағдайында *Nitrosomonas* туысының нитрификациялаушы микроорганизмдері кең таралған.

2. Химиялық қосылыстардың (екі валентті темір, күкірт қышқылы, хлоридтер, мырыш, мыс, молибден иондары, алюминидің тотығы, кремний тотығы) концентрацияларының өсуімен *A.ferrooxidans* бактерияларының өсімі мен дамуы тежеледі, ол өз кезегінде темірдің тотығу жылдамдығын төмендетеді.

3. «Бестөбе», «Бақыршық» және «Большевик» кен орындарының алтынды-мышьяқты концентраттарын бактериалды сілтісіздендіруден кейін цианирлеу нәтижесінде алтынның шығымы ұлғаяды, бірақ «Бақыршық» және «Большевик» концентраттары үшін *A.ferrooxidans* дақылымен өндегеннен кейін тиосульфатты и сульфатты сілтісіздендіру жақсы нәтиже берді.

4. «Ақбақай» кен орнының концентраттарын цианирлеу процесінде алтынның белгілі-бір бөлігі (20%) қалдықта қалады, ал қалдықтарды бактериалды сілтісіздендіру кезінде мышьяк пен темірдің биототығуы есебінен алтынның бөлінуі жүреді. «Ақсу» кен орнын бактериалды өндеуден кейін цианирлеу кезінде 12,94 мг алтын (64,8 %) бөлініп алынды, бұл бақылау нұсқасымен салыстырғанда 12 % жоғары.

Негізгі құрылымдық, технологиялық, техникалық-экономикалық сипаттамалар. Алтынды-мышьяқты құрамы кедей, тастанды, баланстан тыс және қиын байытылатын кендерден алтынды сілтісіздендіру үшін белсенді реагент ретінде *A.ferrooxidans* бактерия дақылын қолдануға негізделген экологиялық тиімді әдіс өңделді. Күрделі кендер мен концентраттардан

алтынның биосілтiсiздендiру процесiнiң кинетикасы зерттелдi.

Қолданылу аймағы. Зерттеу барысында алынған нәтижелер кенге кедей және қиын байытылатын кендерден алтынды биосілтiсiздендiру технологиясын қолдануды бағалауда пайдалануы мүмкiн. Сiлтiсiздендiру аудандарында *A.ferrooxidans* бактерия дақылымен бактериалды-химиялық сiлтiсiздендiрудi қолдану тиiмдi болып табылады.

Техникалық-экономикалық тиiмдiлiк. Осы жұмыстың нақты нәтижесi алтынған кедей кендердi сiлтiсiздендiрудiң тиiмдi әдiсiн өңдеу және негiздеу болып табылады. Ол тиiмдi жылдамдылықты, сiлтiсiздендiру технологиясының арзандауын және экологиялық ауырпалықтың төмендеуiн қамтамасыз етедi, өйткенi мышьяқты газдың қоршаған атмосфераға бөлiну мүмкiндiгi жойылады.

Ендiру деңгейi. Алынған зерттеу нәтижелерi бiрiздiлiктi, сонымен қатар жүргiзiлген жұмыстар мен нәтижелер ғылыми жаңалық болып саналады. Диссертациялық жұмыс мазмұны мен мәнi бойынша, теориялық және тәжiрбиелiк маңызға сөзсiз, ие. Бұл жұмыстың теориялық мәнi берiк алтынды кендердi бактериалды сiлтiсiздендiруде қатысатын микроорганизмдер сульфидтi минералдарды тотықтыра отырып, олардың кристалды торларын бұзумен негiзделедi. Осылайша, алтынның одан әрi өндiрiлуi үшiн қолайлы жағдай туады.

Нұсқаулар. Зерттеу барысында алынған нәтижелер кедей кендерден алтынды биосілтiсiздендiру технологиясын бағалау үшiн қолданылуы мүмкiн. Олардың рационалды параметрлерi, сонымен бiрге ҮС қатарлы (штабельдерiнiң) құрылымы бойынша техникалық нұсқаулар құрастырылған. Ақсу», «Бестөбе», «Бакыршық», «Большевик» кен орындарының алтынды-мышьяқты кендерiн бактериалды-химиялық технологиясының әдiсi өңделдi. Концентраттарды бөлiп алудың бұл әдiсi жоғары технологиялық көрсеткiштермен ерекшеленедi, концентраттарды тотықтыра жағумен салыстырғанда төмен уытты, өйткенi мышьяқты газдың қоршаған атмосфераға бөлiну мүмкiндiгi жойылады.

Экономикалық тиiмдiлiгi. Осы жұмыстың нақты нәтижесi алтынға кедей кендердi сiлтiсiздендiрудiң тиiмдi әдiсiн өңдеу және негiздеу болып табылады. Ол тиiмдi жылдамдылықты, сiлтiсiздендiру технологиясының арзандауын және экологиялық ауырпалықтың төмендеуiн қамтамасыз етедi, өйткенi мышьяқты газдың қоршаған атмосфераға бөлiну мүмкiндiгi жойылады.

Зерттеу нысанының дамуы туралы болжамдар мен ұсыныстар. Берiлген жұмыстың нәтижесi Қазақстан Республикасындағы әртүрлi алтынды кен орындарындағы кенге кедей, қалдықты, баланстан тыс және қиын байытылатын кендердi биосілтiсiздендiрудiң тиiмдi әдiстерiн негiздеу және өңдеу болып табылады.