

1025-14
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ

ИССЫК-КУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. К. ТЫНЫСТАНОВА

Диссертационный совет Д 03.24.693

На правах рукописи
УДК 634.5 (575.2) (04)

Бекебаева Мадина Омирхановна

**Микробоцепозы золотоносных месторождений Казахстана
и повышение эффективности технологии выщелачивания руд
микробиологическим методом**

03.02.08 – экология

03.02.03 – микробиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Бишкек – 2025

Работа выполнена в лаборатории биогеохимии и радиозологии Института биологии Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Научные руководители: **Дженбаев Бекмамат Мурзакматович**
доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН КР, заведующий лабораторией биогеохимии и радиозологии Института биологии Национальной академии наук Кыргызской Республики

Канаев Ашимхан Токтасынович
доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биотехнологии Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы

Официальные оппоненты: **Доолоткельдиева Тинатип Доолоткельдиевна.** доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры защиты растений Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина

Джусупова Дария Бекайдаровна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры географии и экологии Казахского национального педагогического университета им. Абая, г. Алматы

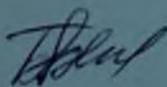
Ведущая организация: Южно-Казахстанский государственный университет им. М. О. Ауэзова, кафедра биологии и географии (160012, Республика Казахстан, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5).

Защита диссертации состоится « 29» декабря 2025 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 03.24.693 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) биологических наук при Институте биологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, соучредитель Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова по адресу: 720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265а. Ссылка доступа к видеоконференции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/032-lvf-co3-zie>

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной библиотеке Национальной академии наук Кыргызской Республики (720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265а), библиотеке Иссык-Кульского государственного университета им. К. Тыныстанова (722200, г. Каракол, ул. К. Тыныстанова, 26) и на сайте: <https://vak.kg>

Автореферат разослан «29» ноября 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат биологических наук



К. Д. Бавланкулова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Одной из центральных проблем геохимической экологии является изучение геохимической деятельности микроорганизмов. Геохимические функции микроорганизмов в природе настолько разнообразны, что выделяют 9 категорий биогеохимических процессов, протекающих в экосистемах с помощью микроорганизмов [Мавжудова А. М. и др., 2005; Xing et al., 2021, Guo et al., 2024]. Среди них особое значение имеют окислительные процессы превращения труднорастворимых минералов, осуществляемые хемолитоавтотрофными бактериями, которые используют элементы с переменной валентностью в энергетических целях в качестве доноров электронов. С их деятельностью в природе связано образование и разрушение полезных ископаемых, они осуществляют важнейшие этапы круговорота минеральных элементов и являются связующим звеном между геохимическими и биологическими процессами.

Способность хемолитоавтотрофных бактерий преобразовывать минералы, содержащие элементы с переменной валентностью, нашла широкое практическое применение и составила основу самостоятельного раздела экологической биотехнологии - биогеометаллургии. Поэтому уже более 50 лет проводится изучение биохимии и физиологии тионовых бактерий. К настоящему времени хорошо изучены пути метаболизма этих бактерий и способы повышения их устойчивости к металлам. По сравнению с этими вопросами менее изучена их экология.

Железоокисляющие тионовые бактерии в экологическом отношении являются ярко выраженными специалистами. Экологической нишей для них служат месторождения сульфидных минералов, кислые рудничные воды. Многие месторождения сульфидных руд изучены в отношении распространения в них тионовых и сопутствующих микроорганизмов. Однако, почти нет исследований по сопоставлению микробиоценозов месторождений отдаленных друг от друга географических районов.

В связи с вышеизложенным, изучение экологии микроорганизмов в месторождениях сульфидных руд разных географических зон и их геохимической деятельности представляется весьма актуальным.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами.

Научная работа проведена в рамках Подпрограммы 102 Республики Казахстан «Грантовое финансирование научных исследований», приоритет: «Разработка биохимической технологии извлечения благородных металлов из

упорных руд казахстанских месторождений с использованием активных ассоциаций хемолитотрофных бактерий», № госрегистрации 0115PK00277.

Цель исследования. Оценка влияния антропогенных факторов на структуру и динамику численности микробсообществ в техногенных экосистемах Восточного Казахстана и повышение эффективности технологии выщелачивания руд микробиологическим методом.

Задачи исследования:

1. Изучить частоту встречаемости *Acidithiobacillus ferrooxidans* и количественная оценка значимости физико-химических факторов, влияющих на состав микроорганизмов характерных для рудных месторождений Восточного Казахстана;
2. Установить сезонную динамику и зависимость от температуры микробсообществ золотосодержащих месторождений Восточного Казахстана;
3. Разработать способ получения ассоциативных и умеренно термофильных культур, выделенных из ряда месторождений Восточного Казахстана;
4. Установить закономерность активизаций культур бактериальных клеток, который является ключевым процессом биоокисления сульфидных руд;
5. Определить количественный состав видов бактериальных клеток и провести их молекулярно-биологическое исследование.

Научная новизна полученных результатов. Впервые получены данные о численности и составе микробсообществ руд и шахтных вод золотосодержащих, техногенных месторождений Восточного Казахстана. Показана зависимость численности тионовых бактерий от сезонных и техногенных стадий. Определены условия интенсификации процесса извлечения золота с использованием хемолитотрофных бактерий для последующего тиосульфатного выщелачивания с помощью тионовых бактерий. Определены оптимальные экологические условия биовыщелачивания золотосодержащих руд с помощью тионовых бактерий. Установлено влияние различных концентраций химических соединений на рост и развитие железоокисляющих бактерий. Определены условия активизации процессов выщелачивания бедных золотомышьяковых концентратов. На основе результатов исследования микробсообщества золотосодержащих руд, кинетических параметров реакций бактериального извлечения золота из бедных, золотосодержащих руд установлен механизм протекания процессов бактериально-химического вскрытия руд.

Практическая значимость полученных результатов. Данные, полученные при изучении биогеохимической деятельности микроорганизмов рудных месторождений, имеют значение для практики выщелачивания цветных металлов. Эти микроорганизмы перспективны как биоэкологический и

биотехнологический объект для использования в гидрометаллургии с целью интенсификации процессов выщелачивания металлов из руд и продуктов их обогащения. Исследования по изучению и выявлению различных способов повышения активности железooksисляющих бактерий, имеют важное практическое значение, так как позволяют длительное время поддерживать культуры в активном состоянии в техногенных экосистемах, что отвечает требованиям эко-технологического процесса, основанного на деятельности этих микроорганизмов.

Материалы диссертационной работы внедрены: ТОО «ДАНИ-НАН экспорт» для использования в производственном регламенте по микробиологическому выщелачиванию руды; используются в учебном процессе при чтении лекций и проведении лабораторно-практических занятий на кафедрах химии и биологии университета «МИРАС».

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Изучены частота встречаемости *A. ferrooxidans* и количественная оценка значимости аутоэкологических (физико-химических) факторов, влияющих на состав микроорганизмов характерных для рудных месторождений Восточного Казахстана.

2. Установлены сезонная динамика микробоценозов хемолитотрофных бактерий золотоносных месторождений Восточного Казахстана, а также их зависимость к температуре окружающей среды.

3. Выделение хемолитотрофных бактерий, первичная идентификация культур на уровне нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК.

4. Выявлены влияние абиотических факторов на процесс биовыщелачивания сульфидных минералов и руд.

5. Разработаны способы получения ассоциативных и умеренно термофильных культур, выделенных из месторождений Восточного Казахстана.

Личный вклад соискателя. Выбор направления исследований, формулирование проблемы, постановке целей и задач, разработке экспериментальных подходов и обобщении результатов выполнены автором лично

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на: Международной научно – практической конференции «Актуальные проблемы биотехнологии, экологии и физико-химической биологии» в рамках IV Международных Фарабиевских чтений , г. Алматы, 6-7 апреля 2017 года (Алматы, 2017); I Международной научно-практической конференции: «Агропромышленный комплекс и сельскохозяйственные науки» г. Шымкент, 17-18 ноября 2017 года (Шымкент, 2017); Международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения

– 16: «Четвертая промышленная революция: новые возможности модернизации Казахстана в области науки, образования и культуры» г. Шымкент, 12-13 апреля 2018 года (Шымкент, 2018); Международной научной конференции «Инновационная наука на пороге XXI века», посвященной 75-летию основания института химии и фитотехнологии НАН КР, г. Бишкек, 25-26 октября 2018 года (Бишкек, 2018);

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, из них 1 научная статья опубликована журнале, индексируемом в системе Web of Science, 3 - в периодических научных изданиях, утвержденных Высшей аттестационной комиссией Кыргызской Республики, 5 – в периодических изданиях, индексируемых в системе РИНЦ, с импакт фактором выше 0,1.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 162 страницах компьютерного текста, состоит из введения, обзора литературы, главы методологии и методов исследования, 4-х глав собственных исследований и их обсуждений, заключения, практических рекомендаций. Список использованных библиографических источников содержит 152 наименований, из них 55 на английском языке. Работа иллюстрирована 19 таблицами, 44 рисунком.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «Введение» представлена актуальность исследования, обоснование необходимости его приведения, цель, задачи, научная новизна, практическая значимость работы, положения диссертации, выносимые на защиту, а также сведения, касающиеся структуры диссертации.

Глава 1. «ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР» посвящен анализу работ зарубежных и отечественных ученых, по изучению биовыщелачивание металлов, роли микроорганизмов и промышленных технологий бактериального выщелачивания руд, с подробным отражением этапов и степени изученности микробоценозов золотоносных месторождений Казахстана.

Глава 2 « МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ»

Объекты исследования. Аборигенные штаммы хемолитотрофных микроорганизмов, распространенные в рудном теле месторождений Казахстана: Риддер-Сокольное и Большевик.

Предмет исследования. Экологические особенности аборигенных штаммов хемолитотрофных микроорганизмов месторождении Восточного Казахстана.

2.1 Методы исследования. Для реализации работы использовались общепринятые микробиологические и экологические методы исследования.

Для выделения различных групп хемолитотрофных бактерий были выбраны действующие золотоносные месторождения Восточного Казахстана: Риддер-Сокольное и Большевик (рисунок 2.1.1).

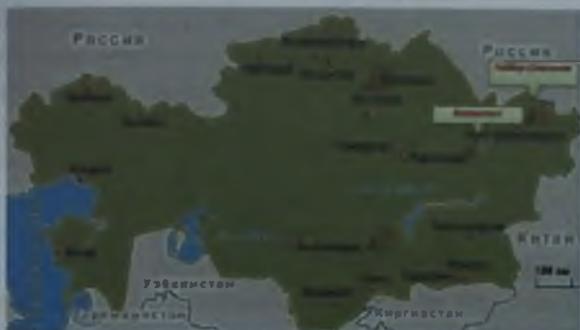


Рисунок 2.1.1 – Карта географического расположения изученных месторождений Казахстана

Чистую культуру выделяли, используя твердую агаризованную среду 9К. Для выделения чистой культуры также использовали методы кратных разведений. Численность микроорганизмов изучали общепринятыми экологическими методами, путем высева на соответствующие каждой группе микроорганизмов питательные среды.

Анализ филогенетического положения микроорганизмов проводили с помощью секвенирования гена *16S rPHK*. Секвенирование проводилось на фирменном приборе марки «Evrogen» по методу Сэнгера. Первичный анализ сходства полученных нуклеотидных последовательностей генов *16S rPHK* проводили с помощью сервера BLAST. Выравнивание последовательностей и построение филогенетического дерева исследуемых бактерий осуществляли с помощью пакета программ MEGA 6.

Химический состав руды, растворов и кеков после выщелачивания определяли в испытательной химико-технологической лаборатории ионообменных материалов ТОО «КАЗАТОМПРОМ-СОРБЕНТ». Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение α -Cu.

Статистическая обработка материала проводилась с помощью компьютерных программ Microsoft Excel, графические иллюстрации построены с использованием программных пакетов Microsoft Excel, карта-схема – программы «Surfer -15».

ГЛАВА 3. «РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ»

3.1 Эколого-геохимическая характеристика руд и микробоценозы золотоносного месторождения Риддер-Сокольное

3.1.1 Микробоценозы азотсодержащих бактерий золотоносного месторождения Риддер-Сокольное. В шахтных водах месторождения Риддер-Сокольное было исследовано геоэкологическое распределение аммонифицирующих бактерий. Общая численность аммонифицирующих бактерий колебалась в пределах 10^1 – 10^4 кл/мл. Наименьшая численность бактерий была отмечена в шахтной воде горизонтов 50 и 290, где вода имеет слабокислую (рН 5,8) среду. На этом горизонте трещинные воды Риддер-Сокольного рудника относятся к грунтовым водам зоны выщелачивания.

Ионно-солевой состав воды шахтных горизонтов 90, 330 формируется за счет процессов растворения и выщелачивания минеральной массы горных пород. Вследствие интенсивного водообмена в водоносном горизонте формируются пресные маломинерализованные воды, гидрокарбонатные кальциево-натриевые по ионному составу, нейтральные или слабощелочные по величине рН с сухим остатком 0,2–0,4 г/дм³. Количество клеток аммонифицирующих бактерий в такой водной среде доходит до 10^4 кл/мл. В воде остальных горизонтов количество аммонификаторов колебалось в пределах 10^2 – 10^3 кл/мл. В период обследования воды имели преимущественно нейтральную и слабощелочную реакцию (рН 7,5–8,2). Анализ физиологических групп бактерий, участвующих в круговороте азота в различных типах пород, слагающих рудное тело, представлен на рисунке 3.1.1.1.

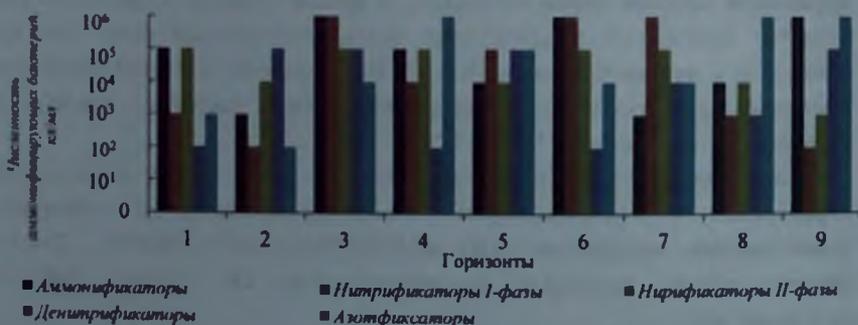


Рисунок 3.1.1.1 – Численность аммонифицирующих бактерий, участвующих в круговороте азота в рудном теле золотоносного месторождения Риддер-Сокольное

Примечание: последовательная нумерация горизонтов рудника - 1- 330; 2 - 290; 3 - 250; 4 - 210; 5 - 170; 6 - 130; 7 - 90; 8 - 50; 9 - 10

Наибольшее количество аммонифицирующих бактерий было отмечено в пробах песчаника верхней алевролито-песчаниковой толщи (3), в кремнистых образованиях (6), в углисто-глинистом аргиллите (9) и составляло 10^6 КОЕ/г. В терригенно-осадочных породах (1) и рудах из горизонта кызыловской зоны смятия (4) количество аммонификаторов доходило до 10^5 КОЕ/г. В остальных исследуемых пробах их численность варьировала в интервале 10^1 и 10^4 КОЕ/г. Как известно, нитрификаторы первой фазы осуществляют окисление аммония до азотистой кислоты ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$) второй фазы – перевод азотистой кислоты в азотную ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$). Максимальное количество нитрификаторов I-фазы наблюдается в пробах взятых с пластов № 3,6,7 - 10^6 КОЕ/г. В остальных пробах их количество варьировало в пределах 10^2 – 10^4 КОЕ/г. Максимальное количество нитрификаторов II фазы отмечалось в пробах с пластов № 1, 3, 4, 6, 7 в количестве 10^5 КОЕ/г. В остальных пробах составляет 10^3 – 10^4 КОЕ/г.

3.1.2 Микробоценозы тионовых бактерий золото-мышьяковистого месторождения Риддер-Сокольное. *A. ferrooxidans* встречались в основном в воде, имеющей слабокислую реакцию среды (pH 5,0-5,5). Наибольшее количество *A. ferrooxidans* было отмечено в пробах шахтной воды горизонта 170, численность варьировала в пределах 10 – 10^3 кл/мл воды, также в рудничных водах горизонтов 210 и 290 с численностью до 10^2 кл/мл воды (рисунок 3.1.2.1). В водах горизонтов 90 и 330 тионовые бактерии не обнаружены, что, видимо, связано с нейтральной реакцией шахтных вод и непродолжительным контактом руд с кислородом воздуха.

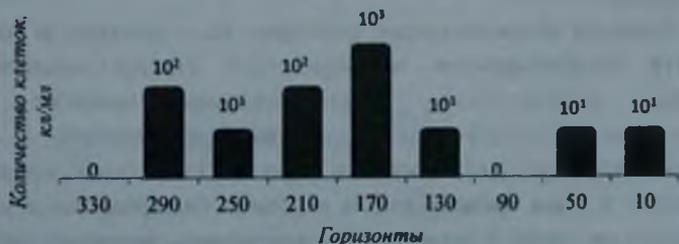


Рисунок 3.1.2.1 – Показатели численности бактерий *A. ferrooxidans* в шахтных водах исследуемого месторождения.

Распространение бактерий *Thiobacillus thiooxidans* в природе зависит от наличия восстановленных соединений серы, используемых этими бактериями для хемоавтотрофного роста. *T. thiooxidans* были обнаружены, в слабокислой водной среде (pH 5,0–5,5). Численность бактериальной клетки в такой среде достигала в количестве от 10 до 10^2 кл/мл. Было установлено, что температура

рудного тела с увеличением глубины горизонта снижается с 12 до 6,5° С, pH колеблется в пределах 5,5–7,5 (рисунок 3.1.2.2.).

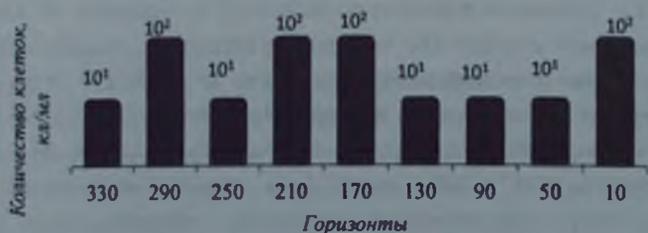


Рисунок 3.1.2.2. Показатели численности бактерий *T. thiooxidans* в шахтных водах исследуемого месторождения.

Таким образом, наличие тионовых бактерий в шахтных водах на различных горизонтах и характеристика экологических условий их жизнедеятельности дают основание считать, что на месторождении Риддер-Сокольное тионовые бактерий выступают в качестве окислителей рудных минералов. Данные о численности и характере распределения *A. ferrooxidans* и *T. thiooxidans* – один из основных показателей степени окислительно-восстановительных процессов. С увеличением глубины горизонта количество *A. ferrooxidans* значительно уменьшалось, распределение же *T. thiooxidans* определялось наличием серы в нижних горизонтах шахтных вод. Ареалы распространения тионовых бактерий также характеризуются слабокислой реакцией среды.

3.1.3 Влияния антропогенных факторов на структуру и динамику численности микробоценозов месторождений Риддер-Сокольное. В золотоносном месторождении Риддер-Сокольное наиболее широко представлена группа сапрофитных микроорганизмов. Например, в шахтных водах их число варьирует в количестве от 3,8 до 108,4 тыс. кл/см³, в руде от 0 до 6,1 тыс. кл/см³ и были представлены в основном бактериальными клетками. Микроскопические грибы и актиномицеты встречались достаточно часто, но в значительно меньших количествах.

На данном месторождении присутствуют различные группы хемолитотрофных бактерий (*Acidithiobacillus*, *Sulfolobus*, *Leptospirillum* и *Acidiplasma*), которые при благоприятных условиях способны окислять сульфидную руду.

3.2 Экология хемолитотрофных бактерий золото-мышьяковистого месторождения Большевик

3.2.1 Влияние различных физико-химических факторов на биовыщелачивания руды золотоносного месторождения Большевик. Руда золото-мышьяковистого месторождения Большевик принадлежит геолого-промышленному типу золоторудных объектов, локализованных в породах углистых песчанико-сланцевых формаций. Это важный в промышленном отношении тип золоторудных месторождений.

Одним из факторов, интенсифицирующих процесс цианирования золотосодержащих руд любого типа, может быть температура выщелачивающего раствора. Для осуществления эксперимента была использована руда месторождения Большевик следующего состава, г/т: Au – 2,9; %: Fe – 3,4; Cu – 0,02; S – 1,2; As- 0,91, культуры бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *A. acidocaldulans* и *Acidiplasma sp.* и их ассоциации. Длительность процесса составляла 24, 48 и 72 часа (таблица 3.2.1.1).

Таблица 3.2.1.1 - Влияние температуры на извлечение золота из руды месторождения Большевик

Продолжительность выщелачивания, час	Исходное содержание Au в руде, %	крупность руды, по классам, мм	Температура °С	Извлечение золота, %		
				с культуральной ассоциацией №1	с культуральной ассоциацией №2	Контроль без ассоциаций культур
24	2,9	0,074	20	85,0	94,5	12,9
			30	78,0	92,4	27,8
			40	25,0	14,2	54,7
48	2,9	0,074	20	86,0	94,6	13,3
			30	78,0	94,6	27,9
			40	31,2	22,5	63,2
72	2,9	0,74	20	88,4	94,9	15,6
			30	78,1	94,8	31,4
			40	39,1	27,6	66,6

Данные таблицы 3.2.1.1 свидетельствуют о значительной интенсификации процесса тиосульфатного выщелачивания с повышением температуры процесса. Однако влияние температуры на образцы руды, предобработанной ассоциацией бактериальной культурой, выглядит неоднозначно. В первом случае оно

настолько сильное, что появляются негативные явления, выражающиеся в усилении кинетических осложнений, приводящих к разрушению тиосульфатных комплексов и переосаждению металла, о чем говорит резкое снижение извлечения золота при 40°C.

Повышение температуры примерно на 20-30°C положительно влияет на процесс биовыщелачивания золота. Помимо этого, указанные уровни температуры значительно интенсифицирует как биохимические, так и химические процессы извлечения золота. Оптимальным для биохимического тиосульфатного выщелачивания следует считать 20-30°C. При этом продолжительность процесса может быть сокращена до 8-12 часов.

В экспериментах по выбору подходящего растворителя для выщелачивания золота была использована двухстадийная схема. Руда выщелачивалась моно- и ассоциативными бактериальными культурами, состоящими из *A. ferrooxidans* и *Acidiplasma sp.* (ассоциация 1) и *A. caldulans* и *Acidiplasma sp.* (ассоциация 2) (таблица 3.2.1.2)

Таблица 3.2.1.2 – Активность накопления Fe^{3+} при биовыщелачивании руды месторождения Большевик моно и смешанными культурами ацидофильных бактерий

Культуры	Биовыщелачивание, (сутки)	pH	Концентрация железа, г/л	
			Fe^{3+}	Fe^{2+}
<i>A. ferrooxidans</i>	1	2,0	7,4	0
	3	2,0	5,8	0
	5	2,0	5,8	0
<i>A. caldulans</i>	1	1,8	6,2	0
	3	2,0	5,0	0
	5	2,0	6,6	0
<i>Acidiplasma sp.</i>	1	2,0	5,8	0
	3	2,0	6,2	0
	5	1,6	8,2	0
Ассоциация 1	1	2,0	8,4	0
	3	1,8	6,4	0
	5	1,6	6,6	0
Ассоциация 2	1	2,0	8,6	0
	3	1,8	6,8	0
	5	1,5	6,8	0

Из таблицы 3.2.1.2. видно, что смешанные культуры энергичнее окисляют трехвалентное железо, особенно в течение первых 24 часов биовыщелачивания. В дальнейшем это преимущество сохраняется, но на более низком уровне, т.к.

трехвалентное железо постоянно тратится на окислительные процессы в процессе биовыщелачивания. Концентрация бактерий снижается на два-три порядка в первые сутки, затем восстанавливается, причем, численность *A. ferrooxidans* и *A. caldulus* в ассоциированных с *Acidiplasma sp.* вариантах выше по сравнению с моновариантами.

3.2.2 Проверка устойчивости моно и смешанных культур к токсичным элементам руды (сера, мышьяк). Для проверки устойчивости моно и смешанных культур к соединениям серы использовали концентрации SO_4^{2-} - 5,0; 10,0 и 14,0 г/л, в течение 5 суток. Из всех испытанных микроорганизмов сильнее всего токсикант влияет на *Acidiplasma sp.* При культивировании в течение 3-5 суток соединения серы подвергаются дальнейшему окислению, и титр бактерий восстанавливается. При этом ассоциативные культуры в этих процессах более успешны. Так, в присутствии 15,0 г/л серной кислоты *A. ferrooxidans* за 5 суток эксперимента в монокультуре накопил 10^2 кл/мл, в ассоциации с *Acidiplasma sp.* - 10^{10} кл/мл. Анализируя влияние соединений серы на численность ацидофильных бактерий в моно и смешанных вариантах, представленные в таблицах 3.2.2.1 и 3.2.2.2, можно сделать вывод, что концентрация серной кислоты 5,0 г/л практически не влияет на данный показатель. Однако дальнейшее увеличение содержания соединений серы оказывает отрицательное воздействие, особенно в первые 24 часа процесса.

Таблица 3.2.2.1 – Влияние соединений серы на численность монокультур ацидофильных бактерий

Бактерии	Длительность наблюдения, сутки	lg численности бактерий, кл/мл			
		Контроль	Концентрация SO_4^{2-} г/л,		
			5,0	10,0	15,0
<i>A. ferrooxidans</i> исходн. титр 10^6 кл/мл	1	4	4	0	0
	3	4	4	1	1
	5	10	10	10	2
<i>A. caldulus</i> исходн. титр 10^6 кл/мл	1	3	2	0	0
	3	4	8	5	2
	5	10	10	10	4
<i>Acidiplasma sp.</i> исходн. титр 10^6 кл/мл	1	3	2	1	1
	3	3	4	3	2
	5	10	10	10	6

Таблица 3.2.2.2 – Влияние соединений серы на численность ассоциативных культур ацидофильных бактерий

Ассоциац ии	Бактерии	Длительность наблюдения, (сутки)	lg численности бактерий			
			Контр- оль	Концентрация SO_4^{2-} г/л		
				5,0	10,0	15,0
1	<i>A. ferrooxidans</i> исходн. титр 10^6 кл/мл	1	3	3	0	0
		3	5	6	5	1
		5	10	10	10	10
	<i>Acidiplasma sp</i> исходн. титр 10^6 кл/мл.	1	3	1	1	1
		3	3	5	1	1
		5	10	10	10	10
2	<i>A. caldulus</i> исходн. титр 10^6 кл/мл	1	7	3	0	0
		3	7	8	8	1
		5	10	10	10	9
	<i>Acidiplasma sp</i> исходн. титр 10^6 кл/мл.	1	6	6	0	0
		3	7	8	6	1
		5	10	10	10	9

Сравнительные данные по влиянию мышьяка на численность бактерий в моно и смешанных вариантах приведены на рисунках 3.2.2.1, 3.2.2.2, 3.2.2.3.

Все изученные культуры более успешны в ассоциативных вариантах. Причем, в случае с *Acidiplasma sp.* отмечены более высокие результаты в ассоциации с *A. caldulus*. Повышенную устойчивость смешанных культур к мышьяку можно объяснить более быстрой его детоксикацией из-за повышенной концентрации продуцируемого бактериями трехвалентного железа.

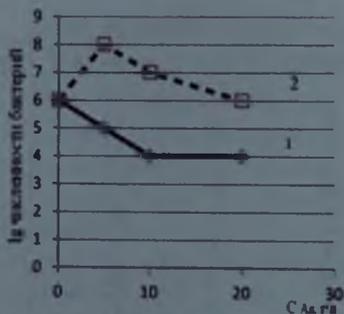


Рисунок 3.2.2.1 – Влияние концентрации соединений мышьяка на численность *A. ferrooxidans* в моно (1) и ассоциативной (2) культуре

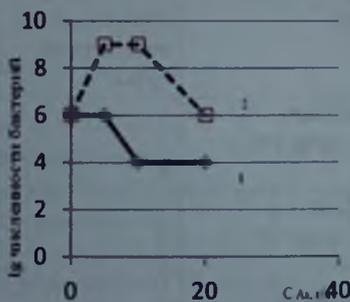


Рисунок 3.2.2.2 – Влияние концентрации соединений мышьяка на численность *A. caldulus* в моно (1) и ассоциативной (2) культуре.

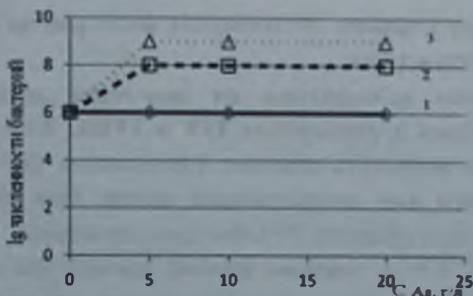


Рисунок 3.2.2.3 - Влияние концентрации соединений мышьяка на численность *Acidiplasma sp.* в монокультуре (1), в ассоциации №1(2) и в ассоциации № 2 (3).

3.2.3 Определение активности разрушения основных золотовмещающих минералов руды (арсенопирит, пирит). Сравнительное изучение фазового состава в процессе биовыщелачивания и последующего тиосульфатного выщелачивания выявило преимущество использования ассоциированных культур для более глубокой переработки руды. Кроме того, наличие в пробах руды, обработанных ацидофильными бактериями, гидратированного ярозита, облегчает дальнейшую переработку руды, так как не засоряет ее осевшими окислами железа.

3.3 Изучение рентгенофазового свойства золото-мышьяковистой руды месторождения Большевик после биовыщелачивания *Acidithiobacillus ferrooxidans*. С применением бактериально-химического метода выщелачивания образцов впервые полуколичественным рентгенофазовым анализом обнаружены минералы, встречающиеся в образцах золотосодержащих руд коры выветривания месторождения Большевик, такие как галлузит-10Å $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$ и иллит $K_{0.75}(H_3O)_{0.25}Al_2(Si_3Al)O_{10}((H_2O)_{0.75}(OH)_{0.25})_2$. Установлено, что рудный материал обогащён железом, кремнием и алюминием, а его минеральная структура представлена главным образом кварцем, мусковитом и иллитом (таблица 3.3.1).

Таблица 3.3.1 – Фазовый состав руды месторождений Большевик после биовыщелачивания *A.ferrooxidans*

Наименование	Формула	S-Q
Quartz, syn	SiO_2	70,0
Hydronium Jarosite	$(K_{0.84}(H_3O)_{0.16})Fe_{2.73}(SO_4)_2((OH)_5.19(H_2O)_{0.81})$	10,9
Pyrite, cuprian, syn	$(Cu_{0.4} Fe_{0.6})S_2$	4,2
Iron Titanium Oxide	$FeTiO_3$	3,2
Pyrite, arsenian	$Fe(S_{0.99} As_{0.01})_2$	3,1
Halloysite-10 anstrom	$(OH)_8Al_2Si_2O_3$	2,3
Muscovite-1M, syn	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	2,2
Chloritoid-M	$FeAl_2Si_3O_5(OH)_2$	2,1
Illite	$K(AlFe)_2AlSi_3O_{10}(OH)_2 \cdot H_2O$	2,1

3.4 Изучение влияния абиотических факторов на культуру бактерий *A. ferrooxidans* TFV и TFBK

3.4.1 Влияние температуры на окисление двухвалентной железа культурой бактерий *A. ferrooxidans* TFV и TFBK. Влиянии температуры на физиологическую активность штаммов *A. ferrooxidans* TFV и TFBK судили по скорости окисления ими двухвалентного железа. При проведении опытов в среды инокулировали примерно 10^7 кл/мл каждого штамма.

На рисунке 3.4.1.1 показано влияние температуры на окисление железа культурами бактерии *A. ferrooxidans*. Полученные результаты показывают, что исследуемые бактериальные культуры имеют близкие оптимальные температурные диапазоны. Для обеих культур наибольшая скорость окисления железа наблюдалась при 30–32 °С. При температурах 25° С и 35 ° С процесс окисления проходил лишь немного медленнее. При 40° С окислительная активность практически полностью отсутствовала.

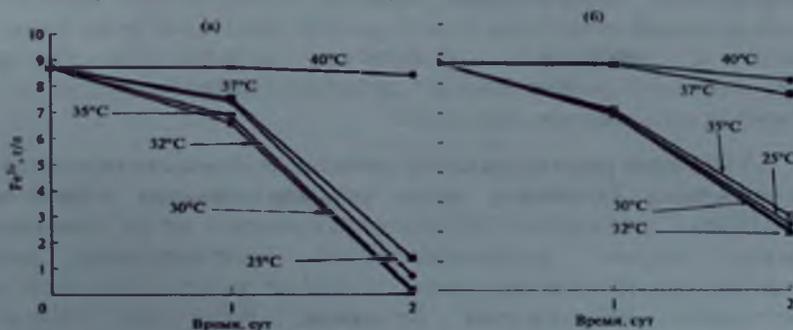


Рисунок 3.4.1.1 – Процесс окисления ионов двухвалентного железа бактериальными культурами *A. ferrooxidans* штаммов TFV и TFBK при различных температурных режимах.

Примечание: а – динамика колебания концентрации ионов двухвалентного железа в среде при его окислении культурой бактерии TFV, б – динамика колебания концентрации ионов двухвалентного железа в среде при его окислении культурой бактерии TFBK.

Полученные данные подтверждают ранее определенные данные, согласно которым штаммы *A. ferrooxidans* могут различаться по верхней температурной границе роста: некоторые обнаруживают термотолерантность и могут развиваться при температурах, приближительно приближаясь к 40 °С, тогда как другие лишаются жизнеспособности при растаивании выше 35–37 °С.

На рисунке 3.4.1.2 приведены результаты исследования влияния концентрации NaCl в среде на окисление железа бактериями *A. ferrooxidans*. Согласно полученным данным, повышение содержания хлорида натрия приводит к ингибированию окислительных процессов у обеих исследуемых культур, что указывает на их чувствительность к солевому фактору.

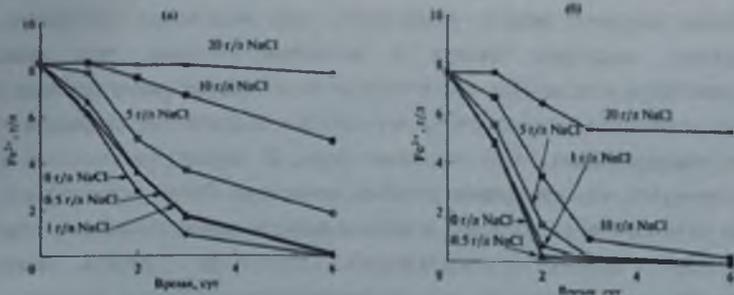


Рисунок 3.4.1.2 Окисление двухвалентного железа культурой бактерии *A. ferrooxidans* TFV и TFBK при разных концентрациях NaCl.

Примечание: а — изменение концентрации двухвалентного железа в процессе окисления бактерией *A. ferrooxidans* TFV; б — динамика окисления Fe^{2+} культурой *A. ferrooxidans* TFBK.

Для культуры *A. ferrooxidans* TFBK влияние хлорида натрия на окисление серы оказалось более выраженным. При содержании NaCl 10,0 г/л наблюдалось заметное снижение скорости реакции: через шесть суток концентрация сульфатов в средах с 0,0 и 5,0 г/л NaCl составляла примерно 130 мМ, тогда как при 10,0 г/л — около 100 мМ (рисунок 3.4.1.3).

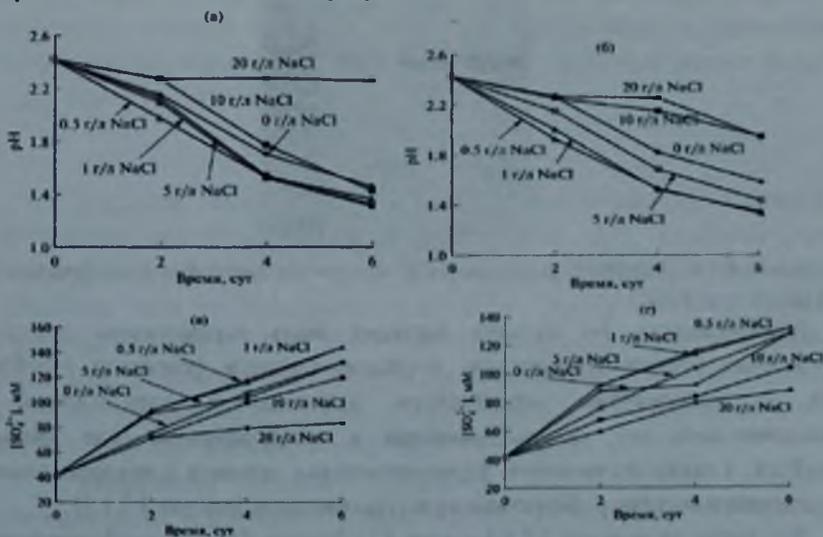


Рисунок 3.4.1.3. Окисление элементарной серы культурой бактерии *A. ferrooxidans*. Штаммы TFV и TFBK в среде с различным содержанием NaCl.

Примечание: а — изменение показателя pH при окислении серы культурой TFV, б — динамика pH среды при окислении серы культурой TFBK; в — накопление сульфатов в процессе окисления серы бактерией TFV; г — изменение концентрации сульфатов в среде под воздействием культуры TFBK.

Таким образом, можно утверждать, что окисление штаммами серы подавлялось хлоридом натрия в меньшей степени, чем окисление двухвалентного железа. Это соответствует полученным ранее данным о том, что окисление железа штаммами *A.ferrooxidans* подавляется хлоридом в более низких концентрациях, чем окисление серы. В целом, полученные данные демонстрируют, что изученные штаммы несколько более устойчивы к NaCl. Анализ результатов, полученных в данном исследовании, и сопоставление их с результатами других исследователей, позволяет сделать вывод о приспособленности вида *A.ferrooxidans* к широкому диапазону условий.

Филогенетическое положение микроорганизмов определяли с помощью секвенирования гена 16S рРНК. Секвенирование проводилось на фирменном приборе марки «EvoGen» по методу Сэнгера. Первичный анализ сходства полученных нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК проводили с помощью сервера BLAST. Выравнивание последовательностей и построение филогенетического дерева, исследуемых бактерий осуществляли с помощью пакета программ MEGA 6.



Рисунок 3.4.1.4. Электрофореграмма ПЦР продуктов амплификации фрагмента 16S rRNA гена ДНК.

Идентификация 3-х культур бактерий была осуществлена методом определения прямой нуклеотидной последовательности фрагмента *16SrRNA* гена, с последующим определением нуклеотидной идентичности с последовательностями, депонированными в международной базе данных GeneBank, а также построением филогенетических деревьев с нуклеотидными последовательностями референтных культуры бактерии (рисунок 3.3.1.3)

Как видно на рисунке 3.3.1.3 у всех 12 образцов были амплифицированы специфические фрагменты молекулярной массой около 800 п.н. Определены нуклеотидной последовательности. Очистку ПЦР продуктов от не связавшихся праймеров проводили, ферментативным методом используя, Exonuclease (Fermentas) и щелочную фосфатазу (Shrimp, Alkaline, Phosphatase, Fermentas).

3.4.2 Демэкология ассоциативных культур *Acidithiobacillus ferrooxidans* и способы получения эффективной культурой бактерий.

Анализируя данные по численности и активности изученных групп бактерий можно сделать вывод о том, что на исследованных месторождениях деятельность основных возбудителей окислительно-восстановительных процессов невелика, в связи с чем по данным рентгенофазового анализа находки окисленных фаз в рудах редки. Для интенсификации процессов разрушения пирита и арсенопирита, основных золотомещающих минералов, необходимо интенсифицировать деятельность хемолитотрофных бактерий по разрушению вышеназванных минералов.

С учётом того, что руды изученных месторождений обладают высокой устойчивостью к переработке, была сформирована смешанная культура, включающая штаммы *A. acidocaldarius* и *Acidiplasma* sp. Штамм *A. acidocaldarius* был в течение месяца последовательно адаптирован к повышенным концентрациям металлов в питательной среде путём многократных пересевов. Таким образом, был разработан способ получения ассоциативных культур, выделенных из ряда месторождений Казахстана и получена устойчивая популяция умеренно термофильных *A. ferrooxidans* и *Acidiplasma* sp., характеризующаяся повышенной скоростью роста и окисления двухвалентного железа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлена частота встречаемости хемолитотрофных бактерий *A. ferrooxidans* при последовательных пересевах на среде 9К Сильвермана и Лундгрена. Установлено, что все выделенные 14 культур были очищены, в результате чего их численность увеличилась до 10^6 кл/мл, а активность составила 5,0–6,0 г/л Fe^{2+} за трое суток культивирования. После двухнедельной адаптации к повышенному содержанию железа в среде 9К численность бактерий возросла до 10^7 кл/мл, а активность — до 7,0–9,0 г/л Fe^{2+} за трое суток. Наилучшие показатели отмечены у культур ТФV и ТФВК.

2. Установлена сезонная динамика микробоценозов золотоносных месторождений и их температурная зависимость. Выявлено, что повышение температуры существенно интенсифицирует биохимические и химические процессы извлечения золота из руды месторождения Большевик. Оптимальной для биохимического тиосульфатного выщелачивания является температура 20–30 °С, при которой продолжительность процесса сокращается до 8–12 часов.

3. Разработан способ получения ассоциативных культур, выделенных из месторождений восточного Казахстана, и получена устойчивая популяция

умеренно термофильных *A. ferrooxidans* и *Acidiplasma* sp., характеризующаяся повышенной скоростью роста и интенсивностью окисления двухвалентного железа. По окончании эксперимента концентрация *A. ferrooxidans* в растворе достигла 10^9 кл/мл, что в 1000 раз превышает исходное содержание «живого вещества».

4. Установлено, что активизация *Acidiplasma* sp. является ключевым этапом биоокисления сульфидных руд, тесно связанным с активизацией бактерий рода *Acidithiobacillus*. Оптимальным технологическим параметром для биохимического выщелачивания золота является плотность пульпы 33,3 % при классе измельчения 0,074 мм.

5 Проведена молекулярно-генетическая идентификация 3-х культур бактерий методом прямой нуклеотидной последовательности фрагмента *16SrRNA* гена. Полученные результаты свидетельствуют о высокой перспективности использования ассоциаций хемолитотрофных бактерий, выделенных непосредственно на месторождениях, для биовыщелачивания упорных руд, а также для последующего извлечения благородных металлов при переработке руд месторождений Восточного Казахстана и улучшения экологической обстановки.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

При проведении работ по биовыщелачиванию золотосных и золотомышьяковистых руд рекомендуется использовать аборигенные штаммы хемолитоавтотрофных микроорганизмов, выделенные из месторождений Восточного Казахстана (Ridder-Сокольное, Большевик), так как они обладают высокой адаптивностью к локальным геохимическим условиям и устойчивостью к токсичным элементам рудных тел.

Результаты диссертационной работы внедрены в ТОО «ДАНИ – НАН экспорт» в форме: научно-технической документации (инструкции, регламенты, технологические карты), производственного регламента по использованию микробиологического выщелачивания, повышения квалификации персонала по применению биотехнологий в горнорудной промышленности.

Материалы диссертационной работы внедрены и используются в учебном процессе при чтении лекций в университете «Мирас» по курсам: «Основы микробиологии и вирусологии».

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Percolation bioleaching the gold from ores of Kazakhstan [Tekst]/ A. A. Konyshbayeva*, A. T. Kanayev, M. S. Kurmanbayeva, M. O. Bekbayeva, at all

//*Journal of Biotechnology*. – 2016.- P. 231-239. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/305737614>

2. Бекебаева, М.О. Выявление наиболее оптимальной степени измельчения руды для эффективного извлечения золота микробиологическим методом [Текст] / М. О. Бекебаева, А. Канаев, К. Баймырзаев [и др.] // Вестн. Каз. нац. ун-та. Сер. экологическая. – 2017. – №2 (51). – С. 103-113. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bulletin-ecology.kaznu.kz/index.php/1-eco/article/view/771/715>
3. Бекебаева, М.О. Эффективное использование микробиологического метода очистки экологической системы Казахстана [Текст] / М. О. Бекебаева, А. Канаев // Материалы I Междунар. науч.-практ. конф. «Агропромышленный комплекс и сельскохозяйственные науки», Шымкент, 17-18 нояб., 2017 г. – Шимкент, 2017. – С. 137-140.
4. Бекебаева, М. О. Особенности химического состава руд месторождения Риддер-Сокольное [Текст] / М. О. Бекебаева, А. Т. Канаев // «Актуальные проблемы биотехнологии, экологии и физико-химической биологии» в рамках IV Международных Фарабиевских чтений, Алматы, 6-7 апр., 2017 г. – Алматы, 2017. – С. 111-113.
5. Бекебаева, М. О. Микробиологическая оценка золотоносного месторождения Риддер-Сокольное [Текст] / М. О. Бекебаева // Труды Междунар. науч.-практ. конф. «Ауэзовские чтения – 16: «Четвертая промышленная революция: новые возможности модернизации Казахстана в области науки, образования и культуры». – Шымкент, 2018. – С. 186-189.
6. Bekebayeva, M. O. Аккумуляция тяжелых металлов эндемичными растениями хребта Каратау [Текст] / М. О. Бекебаева, К. М. Баймырзаев, А. Т. Канаев [и др.] // Изв. Нац. АН Кырг.Респ. – 2018. – № 5. – С. 89-95.
7. Bekebayeva, M. O. Assessment of the state of the dominant vegetation species of anthropogenic disturbed areas of the southern slope of the Karatau ridge [Текст] / Bekebayeva M. O., Kanaev A. T., Tokseyt D. E. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2019. – № 1. – С. 38-43. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_38250476_18086984.pdf
8. Бекебаева, М. О. Влияние антропогенных факторов на состав и структуру растительных сообществ [Текст] / М. О. Бекебаева, А. Т. Канаев // Вестник современных исследований. – Омск, 2019. – № 2/12 (29). – С. 7-13. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37126771>
9. Бекебаева, М. О. Влияние оптимальных параметров температуры и размера частиц на процесс биовыщелачивания золота из золото-мышьяковистой руды

- месторождения «Большевик» [Текст] / М. О. Бекебаева, А. Т. Канаев, А. С. Спабекова, К. М. Токпаев // Евразийское научное объединение. – М., 2021. – № 5-2 (75). – С. 71-75. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_46200537_68462045.pdf
10. Бекебаева, М. О. Определение численности микроорганизмов в золотоносных месторождениях Казахстана [Текст] / М. О. Бекебаева, А.Т. Канаев // Евразийское научное объединение. – М., 2021. – № 5-2 (75). – С. 76-77. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_46200538_31601540.pdf
11. Бекебаева, М. О. Изучение микробоценозов золотоносных месторождений Риддер-Сокольное и Большевик и повышение эффективности технологии выщелачивания руд микробиологическим методом [Текст] / Дженбаев Б. М., М. О. Бекебаева, А. Т. Канаев // The scientific heritage (Будапешт). – 2024. – № 133 (133) (2024) – С. 40-48. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zenodo.org/records/10866563>

Бекебаева Мадина Омрхановнанын «Казахстандын алтын кени бар аймактарынын микробоценоздуру жана микробиологиялык ыкма менен кендерди эритүү аркылуу болуп алуу технологиясынын натыйжалуулугун жогорулатуу» деген темада 03.02.08 – экология жана 03.02.03 – микробиология адистигтерин боюнча биология илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: Хемолитотрофтук микроорганизмдер, топтоочу культуралар, идентификация, ассоциативдик культуралар, биошаймалоо.

Изилдөөнүн объектилери: Казакстандын Риддер-Сокольное жана Большевик кендеринин рудалык тулкусунда кеңири таралган хемолитотрофтук микроорганизмдердин жергиликтүү штаммдары.

Изилдөөнүн предмети: Чыгыш Казакстандагы кендердин хемолитотрофтук микроорганизмдеринин аборигендик штаммдарынын экологиялык өзгөчөлүктөрү.

Изилдөөнүн максаты: Чыгыш Казакстандын техногендик экосистемаларында микробоценоздордун түзүлүшү жана сандык динамикасына антропогендик факторлордун таасирин баалоо жана кендерди микробиологиялык ыкма менен биошаймалоо технологиясынын натыйжалуулугун жогорулатуу.

Изилдөөнүн ыкмалары: Жалпы кабыл алынган микробиологиялык жана экологиялык.

Изилдөөнүн натыйжасы жана жаңылыгы: биринчи жолу Казахстандын алтын-кен, техногендик аймактарындагы шахта сууларынын жана кендердин микробоценоздорунун курамы жана саны жөнүндө маалыматтар алынды. Тиондук бактериялардын санынын мезгилдик жана техногендик өсүү баскычынан көз карандылыгы көрсөтүлгөн. Хемолитотрофтук бактерияларды пайдалануу аркылуу, жана андан кийинки тиосульфаттык эритүү үчүн тиондук бактериялардын жардамында алтынды бөлүп алуу процессин күчөтүүнүн шарттары аныкталды. Алтынды максималдуу ажыратып алууну камсыздоо үчүн кендерди тиондук бактерияларды пайдаланып, биологиялык эритип бөлүп алуунун оптималдуу шарттары аныкталды. Темир-кычкылдандыруучу бактериялардын өсүүсүнө жана өрчүүсүнө түрдүү концентрациядагы химиялык бирикмелердин таасири такталды. Алтын кармаган кендердин микробоценоздорун изилдөөнүн жана алтынды бактериалдык бөлүп алуу реакцияларынын кинетикалык параметрлеринин натыйжаларынын негизинде кендердин бактериалдык-химиялык табуу процесстеринин жүрүү механизмери такталды.

Колдонууга сунуштар: алынган материалдар, хемолитотрофтук бактериялардын өндүрүштүк баалуу ассоциативдик культуралары Казахстандын аймактарында кендерди бөлүп алуу үчүн ийгиликтүү колдонуусу ыктымал.

Колдонуу тармагы: экология, биогеохимия, тоо-кен өнөр жайы.

РЕЗЮМЕ

диссертации Бекебаевой Мадины Омирхановны на тему: «Микробоценозы золотоносных месторождений Казахстана и повышение эффективности технологии выщелачивания руд микробиологическим методом» на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальностям 03.02.08 – экология и 03.02.03 – микробиология.

Ключевые слова: Хемолитотрофные микроорганизмы, накопительные культуры, идентификация, ассоциативные культуры, биовыщелачивание.

Объекты исследования: Аборигенные штаммы хемолитотрофных микроорганизмов, распространенные в рудном теле месторождении Казахстана: Риддер-Сокольное и Большевик.

Предмет исследования: Экологические особенности аборигенных штаммов хемолитотрофных микроорганизмов месторождений Восточного Казахстана.

Цель исследования: Оценка влияния антропогенных факторов на структуру и динамику численности микробиоценозов в техногенных экосистемах Восточного Казахстана и повышение эффективности технологии выщелачивания руд микробиологическим методом.

Методы исследования: Общепринятые микробиологические и экологические.

Полученные результаты и их новизна: Впервые получены данные о численности и составе микробиоценозов руд и шахтных вод золотоносного, техногенного месторождений Казахстана. Показана зависимость численности тионовых бактерий от сезонных и техногенных стадий. Определены условия интенсификации процесса извлечения золота с использованием хемолитотрофных бактерий для последующего тиосульфатного выщелачивания с помощью тионовых бактерий. Определены оптимальные условия биовыщелачивания золотоносных руд с помощью тионовых бактерий, обеспечивающих максимальное извлечение золота. Установлено влияние различных концентраций химических соединений на рост и развитие железозакисляющих бактерий. Определены условия активизации процессов выщелачивания бедных золото-мышьяковых концентратов. На основе результатов исследования микробиоценоза золотосодержащих руд, кинетических параметров реакций бактериального извлечения золота из бедных, золотосодержащих руд установлен механизм протекания процессов бактериально-химического вскрытия руд.

Рекомендации по использованию: Полученные материалы, производственно-ценные ассоциативные культуры хемолитотрофных бактерий могут быть использованы для выщелачивания руды на месторождениях Казахстана.

Область применения: экология, биогеохимия, горнодобывающая промышленность.

SUMMARY

of the dissertation of Madina Bekebayeva Omirkhanovna on the «Microbiocenoses of gold-bearing deposits of Kazakhstan and increasing the efficiency of leaching technology of ores by microbiological method» for the

degree of **Kandidate of Biological Sciences on specialty 03.02.08 – ecology and 03.02.03 – microbiology**

Key words: chemolithotrophic microorganisms, accumulative cultures, identification, associative cultures, bioleaching.

Objects of the research: aboriginal strains of chemolithotrophic microorganisms, common in the ore body of the Kazakhstan deposit: Ridder-Sokolnoe, Bolshevik.

Subject of the research: ecological features of native strains of chemolithotrophic microorganisms in the deposit of East Kazakhstan.

Objective of the research: assessment of the influence of anthropogenic factors on the structure and dynamics of the number of microbiocenoses in man-made ecosystems of East Kazakhstan and improving the efficiency of ore leaching technology by microbiological method.

Methods of the research: conventional microbiological and environmental.

The results and novelty: for the first time, data were obtained on the number and composition of microbiocenoses of ores and mine waters of the gold-bearing, technogenic deposits of Kazakhstan. The dependence of the number of thionic bacteria on seasonal and technogenic stages is shown. The conditions for the intensification of the gold extraction process using chemolithotrophic bacteria for the subsequent thiosulfate leaching using thionic bacteria were determined. Optimal conditions for bioleaching of gold-bearing ores using thionic bacteria, ensuring maximum gold recovery, are determined. The influence of various concentrations of chemical compounds on the growth and development of iron-oxidizing bacteria has been established. The conditions for the activation of leaching processes of poor gold-arsenic concentrates are determined. Based on the results of the study of the microbiocenosis of gold-bearing ores, the kinetic parameters of the reactions of bacterial gold extraction from poor gold-bearing ores, the mechanism of the processes of bacterial-chemical opening of ores has been established.

Recommendation for implementation: obtained materials, production-valuable associative cultures of chemolithotrophic bacteria, which can be successfully used for leaching ore at the deposits of Kazakhstan.

Area of implementation: ecology, biogeochemistry, mining industry.

