

АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе диссертанта **Сыздыковой Маржан Нурлановны** на тему «Использование хемотрофных микроорганизмов для очистки органикосодержащих сточных вод предприятий города Шымкент» на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05210- «Экология»

Актуальность темы. Ежегодно на глобальном уровне образуется примерно 410 миллиардов кубических метров сточных вод. Из-за износа оборудования или отсутствия систем очистки значительная часть воды, используемой в промышленности, сбрасывается в окружающую среду без надлежащей очистки.

Казахстан относится к странам с высокой степенью дефицита водных ресурсов. В настоящее время около 50% сточных вод сбрасывается в поверхностные водоёмы страны без предварительной очистки. Такая ситуация связана с использованием несовершенных технологий очистки сточных вод на большинстве перерабатывающих и энергетических предприятий Республики. В некоторых регионах очистные сооружения эксплуатируются длительное время без модернизации. Это представляет серьёзную угрозу для водных экосистем, окружающей среды и здоровья населения. За последнее десятилетие в стране объём производственно-бытовых сточных вод увеличился с 3594,11 млн м³/год до 6039,00 млн м³/год, в то время как объём очищенных сточных вод вырос с 525,1 млн м³/год до 662,2 млн м³/год. Это означает, что очищается лишь около 11% сточных вод.

По данным Бюро национальной статистики, в городе Шымкент из 81 млн м³/год поданной воды через очистные сооружения прошло только 37 млн м³/год, что составляет 45,6%.

На сегодняшний день известно несколько методов очистки сточных вод. Для очистки вод, загрязнённых органическими соединениями, применяются механические (фильтрация, отстаивание, центрифугирование, просеивание), физико-химические (сорбция, аэрация, экстракция, коагуляция, флотация, электролиз, ионный обмен, кристаллизация) и биологические методы очистки (биофильтры, окситенки, аэротенки, погружные биофильтры, анаэробные биофильтры). До настоящего времени биологическая очистка признана экологически безопасной и эффективной. Основными механизмами биологической очистки сточных вод являются сорбция, экстракция, использование загрязняющих веществ в метаболических процессах и другие методы.

В процессе биологической очистки, как правило, используется совокупность различных групп микроорганизмов или активный ил, которые способны очищать воду от загрязняющих примесей на 85%. Основу таких биоценозов составляют гетеротрофные микроорганизмы, такие как бактерии *Pseudomonas* и *Zooglea*, а также микроводоросли *Chlorella vulgaris* KAI и

Oocystis borge ATP. Роль этих микроорганизмов в процессе очистки воды хорошо изучена.

Однако роль автотрофных микроорганизмов в очистке сточных вод на сегодняшний день исследована недостаточно. Известно, что автотрофные микроорганизмы не могут использовать органические соединения в своих метаболических процессах, однако они могут участвовать в этих процессах косвенно — путём выделения различных метаболитов.

Цель работы: Исследование возможностей применения хемотрофных микроорганизмов для очистки сточных вод с органическими загрязнениями, образующихся на предприятиях города Шымкента.

Основные задачи исследования:

- Исследование физико-химических характеристик сточных вод предприятий города Шымкента;
- Изучение микрофлоры органикосодержащих сточных вод предприятий города Шымкента;
- Определение роли хемотрофных микроорганизмов в процессе очистки сточных вод.

Объекты исследования. Коммунально-бытовые сточные воды ТОО «Су ресурстары – маркетинг» города Шымкент, сточные воды ТОО «Петро Казахстан Ойл Продактс», содержащие нефть и нефтепродукты, а также пиррофорные сульфиды железа, образующиеся на стадии крекинга на нефтеперерабатывающем заводе «ПетроКазахстан Ойл Продактс», бактериальные штаммы *Acidithiobacillus ferrooxidans Ach1* и *Acidithiobacillus ferrooxidans BIT1*.

Методы исследования. Гидрохимический анализ проб сточных вод проводился в соответствии с требованиями ГОСТ. Показатели ХПК и БПК воды определялись стандартными методами. Прозрачность, цвет и запах сточных вод определялись органолептическим методом. Содержание жиров в составе сточных вод определялось гравиметрическим методом. Выделение и культивирование тионовых бактерий проводилось методом предельных разведений. Активность тионовых бактерий определялась трилонометрическим методом. Для определения степени окисления Fe^{2+} в бактериальной суспензии использовался спектрофотометрический метод. Для определения степени очистки модельного раствора применялся поляриметрический метод. Содержание Fe^{2+} и Fe^{3+} определялось комплексонометрическим методом.

В микроскопических исследованиях использовались микроскопы «Tauda», «Микмед-5», «Биомед» и OLYMPUS BX51. При обезвреживании пиррофорных сульфидов железа исследование сырья проводилось с использованием масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой; определение элементов проводилось согласно СТ РК ISO 17294-2-2006.

В ходе работы применялись методы синтеза, анализа и обобщения результатов исследований, статистических данных, экспериментальных оценок, физико-химических и инженерно-экологических изысканий. Анализы выполнялись в региональных лабораториях. Все опыты

проводились в трехкратной повторности, стандартное отклонение рассчитывалось при $0,91 > P > 0,85$. Статистическая обработка данных осуществлялась на ПК Pentium-IV с использованием статистического программного пакета Microsoft Excel.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Уточнены физико-химические и микрофлоральные характеристики коммунально-бытовых и нефтесодержащих сточных вод города Шымкента, а также определена эффективность биокоагуляционной очистки данных вод.

2. Установлено, что на процесс биологического окисления двухвалентного железа штаммом *A. ferrooxidans Ach 1* влияет температурный режим; оптимальная температура составляет $+30 +35$ °С.

3. При очистке модельного раствора, содержащего молочные продукты, эффективность применения суспензии *A. ferrooxidans* в качестве биокоагулянта в концентрации $40,0 \pm 5,0\%$ подтверждена экспериментально.

4. Для снижения показателя ХПК в сточных водах нефтеперерабатывающего завода, содержащих моющие средства, до максимума $88,1 \pm 7,9\%$ установлены оптимальные дозировки трехвалентного железа (полученного бактериально-химическим методом) и бентонита, а также определены оптимальные условия культивирования штамма *A. ferrooxidans* в растворах, содержащих пиррофорные сульфиды железа.

Основные результаты исследования:

1. Уточнены физико-химические характеристики сточных вод коммунально-бытового сектора и нефтеперерабатывающего предприятия города Шымкента. При очистке сточных вод коммунально-бытового происхождения с использованием бактериальной суспензии *A. ferrooxidans* степень удаления загрязняющих веществ составила: нефтепродукты – $95,1 \pm 0,5\%$, аммонийный азот – $57,5 \pm 0,5\%$, фосфаты – $73,7 \pm 0,5\%$, жиры – $60,0 \pm 0,5\%$, фенол – $75,0 \pm 0,5\%$. После биокоагуляционной очистки сточных вод нефтеперерабатывающего завода содержание нефтепродуктов снизилось на $89,8 \pm 0,5\%$, взвешенных веществ – на $24,1 \pm 0,1\%$, показатель ХПК – до $69 \pm 0,5\%$, степень удаления фенола достигла $73,3 \pm 0,3\%$. Микрофлора сточных вод преимущественно представлена простейшими, в частности инфузориями, а также водорослями. На основе результатов исследований была разработана технологическая схема очистки сточных вод для данных предприятий.

2. В ходе экспериментов установлено значительное влияние температурного фактора на биологическое окисление двухвалентного железа микроорганизмами. При окислении железа штаммом *A. ferrooxidans Ach 1* при температуре $+30 +35$ °С содержание Fe^{2+} снижалось с $10 \pm 0,1$ г/л до $1,6 \pm 0,1$ г/л за 2 суток, что соответствует шестикратному уменьшению. При температуре $+10$ °С за 3 суток концентрация железа снижалась до $1,0 \pm 0,1$ г/л. Максимальная скорость окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} составила $0,5 \pm 0,1$ г/л в час.

3. При очистке модельного раствора, содержащего молочные продукты, с использованием *A. ferrooxidans Ach 1* в качестве биокоагулянта, степень очистки достигла $92,5 \pm 0,5\%$, а прозрачность воды повысилась до $80,0 \pm 3,5\%$. Процесс биокоагуляции продолжался 6 минут.

4. Для снижения ХПК в сточных водах нефтеперерабатывающего завода, содержащих моющие средства, подтверждена эффективность применения бактериально-химического метода в сочетании с бентонитом. По результатам математического моделирования, максимального снижения показателя ХПК ($88,1 \pm 7,9\%$) удалось достичь при использовании $1,75$ г/л бактериально-химически полученного трехвалентного железа в комбинации с $600,0$ мг/л бентонита. Также установлены оптимальные условия культивирования тионовых бактерий *A. ferrooxidans* на растворах, содержащих пиррофорные сульфиды железа, как источника Fe^{2+} : температура $+28$ °С, рН $2,0-2,5$, соотношение Ж:Т = $1:10 \pm 2$.

Обоснование новизны и важности полученных результатов:

– Впервые установлены оптимальные условия для культивирования штамма *A. ferrooxidans* и его жизнедеятельности, а также определена скорость окисления железа при различных температурных режимах. При окислении двухвалентного железа штаммом *A. ferrooxidans Ach 1* при температуре $+30$ – $+35$ °С его концентрация снизилась с исходных $10 \pm 0,1$ г/л до $1,6 \pm 0,1$ г/л за 2 суток, что соответствует шестикратному снижению.

– Впервые исследована и доказана возможность использования бактериальной суспензии *A. ferrooxidans Ach 1* в качестве биокоагулянта для очистки модельного раствора, содержащего молочные продукты. При данном способе степень очистки составила $92,5 \pm 0,5\%$, а прозрачность воды повысилась до $80,0 \pm 3,5\%$.

– Полученное бактериально-химическим способом трёхвалентное железо на основе штамма *A. ferrooxidans* впервые применено для очистки сточных вод предприятий города Шымкента. Степени очистки составили: нефтепродукты – до $95,1 \pm 0,5\%$, аммонийный азот – до $57,5 \pm 0,5\%$, фосфаты – до $73,7 \pm 0,5\%$, жиры – до $60,0 \pm 0,5\%$, фенол – до $75,0 \pm 0,5\%$. После биокоагуляционной очистки сточных вод нефтеперерабатывающего завода содержание нефтепродуктов снизилось на $89,8 \pm 0,5\%$, взвешенных веществ – на $24,1 \pm 0,1\%$.

– Впервые определены оптимальные условия культивирования тионовых бактерий *A. ferrooxidans* в растворах, содержащих пиррофорные сульфиды железа как единственный источник двухвалентного железа. Оптимальные параметры: температура $+28$ °С, рН $2,0-2,5$, соотношение Ж:Т = $1:10 \pm 2$.

Теоретическая и практическая значимость работы.

В результате проведённых экспериментальных исследований установлена возможность очистки сточных вод промышленных предприятий и коммунально-бытовых объектов с использованием хемотрофных микроорганизмов. Данные результаты подтверждены актом опытно-

промышленных испытаний на производственной базе ТОО «Су ресурстары-Маркетинг» города Шымкента.

Физико-химические характеристики сточных вод могут быть использованы в дальнейших исследованиях и экологическими организациями.

Результаты микрофлористического анализа органосодержащих сточных вод предприятий города Шымкента предлагается использовать при стандартизации и сертификации качества водных ресурсов.

Бактериальный биокоагулянт — суспензия *A. ferrooxidans* в концентрации $40,0 \pm 5,0\%$ — рекомендуется к практическому применению на предприятиях, имеющих органосодержащие сточные воды. Основными потребителями являются предприятия молочной, хлебобулочной, пивоваренной и других отраслей пищевой промышленности.

Результаты исследования могут быть использованы в учебном процессе по образовательной программе «6B05210 – Экология», а также в практических и лабораторных занятиях по дисциплинам «Производственная экология», «Технология очистки сточных вод».

Соответствие диссертации направлениям развития науки или государственным программам.

Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательского плана МБ НИР21-03-04 «Устойчивое развитие южного региона Казахстана и зеленые технологии» кафедры «Экология» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова на 2021–2025 гг., а также в рамках гранта №85/ЖФ-5-24-26 Комитета науки МОН РК «Технология очистки органосодержащих сточных вод с использованием хемотрофных микроорганизмов» (2024–2026 гг.).

Личный вклад докторанта в подготовку каждой публикации.

По материалам диссертационной работы опубликовано 14 научных работ, из них 3 статьи — в журналах, входящих в базу данных Scopus, 1 статья — в журнале, рекомендованном КН МОН РК, и 10 статей — в сборниках материалов международных конференций. Получено 1 авторское свидетельство.

1. В статье « $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and bentonite use to reduce COD indicators in waste water containing detergents», опубликованной в журнале Journal of Ecological Engineering, автор принимал участие в подготовке обзора, анализе данных, получении результатов, оформлении и редактировании материала в соответствии с требованиями журнала.

2. В статье «Use of *Acidithiobacillus ferrooxidans* for Decontamination of Explosive Waste from oil Refineries» (Journal of Ecological Engineering) — участие в проведении экспериментов, сравнительный анализ данных, обработка и обсуждение результатов.

3. В статье «Buffer Effects in Submersed Denitrifying Biofilter» (Journal of Ecological Engineering) — подготовка обзора, анализ данных, получение и обработка результатов.

4. В статье «Ағынды суды тазалауда пайдаланылатын *Acidithiobacillus ferrooxidans* Ach 1 бактериялық штамының темірді биохимиялық тотықтыру жылдамдығын зерттеу» (журнал Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки) — непосредственное участие в экспериментах, сравнительный анализ данных, оформление и редактирование статьи в соответствии с требованиями журнала.

Структура и объем диссертации.

Диссертация объемом 123 страниц включает введение, четыре главы, общие выводы, список использованной литературы, содержащий 205 наименований, и приложение объемом 8 страниц. В тексте работы приведены 30 рисунков и 19 таблиц.