

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт фундаментальной медицины и биологии  
Кафедра микробиологии

Направление подготовки (специальность): 06.03.01 – Биология

Профиль (специализация): Биология


ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ИММЕРСИОННАЯ КОРРОЗИЯ СТАЛЬНЫХ КУПОНОВ  
В УСЛОВИЯХ СТИМУЛЯЦИИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ  
НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Обучающийся 4 курса  
группы 01-005



Кардакова И.И.

Научный руководитель  
канд. биол. наук, доцент



Зиганшина Э.Э.

Заведующий кафедрой  
микробиологии  
д-р биол. наук, профессор



Ильинская О.Н.

Казань – 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> .....	2
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	7
1.1 Коррозия – мировая проблема .....	7
1.2 Микробная коррозия металлов.....	9
1.3 Коррозия нефтедобывающей отрасли и микроорганизмы, .....	14
ответственные за нее.....	14
1.4 Пути решения проблемы биокоррозии.....	21
1.5 Исследования микробных сообществ нефтепромысловых вод .....	23
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ</b> .....	29
<b>2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ</b> .....	29
2.1 Образцы пластовых вод и их характеристика.....	29
2.2 Иммерсионные испытания стальных купонов в пластовых водах.....	30
2.3 Анализ потери веса и поверхности стальных купонов .....	32
2.4 Анализ скорости коррозии стальных купонов в пластовых водах.....	32
2.5 Определение таксономического разнообразия бактериальных сообществ .....	33
.....	33
2.6 Обработка данных.....	33
<b>3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ</b> .....	34
3.1 Характеристика образцов исследуемых пластовых вод и иммерсионные коррозионные испытания в них.....	34
3.2 Анализ поверхности стальных изделий и продуктов биокоррозии в смоделированных условиях .....	36
3.3 Представители бактериальных сообществ пластовых вод и их потенциальная роль в развитии биокоррозии .....	40
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	49
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	50

## ВВЕДЕНИЕ

Коррозия металла в широком смысле определяется как ухудшение состояния поверхности металла в результате химических или электрохимических реакций между металлом и окружающей его средой. Микробная коррозия представляет собой форму биокоррозии, инициация и развитие которой связаны с деятельностью разнообразных микроорганизмов и наличием в среде таких агрессивных соединений, как сульфиды, органические и неорганические кислоты. Ассоциированные с биокоррозией микроорганизмы называют коррозионно-опасными [Lekbach *et al.*, 2021].

Разрушение металлических конструкций наносит значительный ущерб морской инфраструктуре и множеству предприятий (нефтегазодобывающие, нефтеперерабатывающие, нефтехимические предприятия, электростанции, сталелитейные заводы, целлюлозно-бумажные фабрики), а также урон окружающей среде. Микробная коррозия является одной из самых частых причин повреждений труб и конструкций в нефтегазовой отрасли [Little *et al.*, 2020; Lavanya, 2021].

Коррозия металлов не только приводит к серьезным повреждениям и убыткам, но и подвергает опасности жизнь и здоровье людей, снижает биоразнообразие экосистем, так как преждевременный износ приводит к поломке и обрушению установок и конструкций, а также утечке опасных соединений. Сумма финансовых убытков составляет 3–3.5% от валового внутреннего продукта [Gatilova, 2019]. В России уровень коррозии превышает мировые нормы [Abramova *et al.*, 2021].

В процесс микробной коррозии включены микроорганизмы определённых физиологических групп, взаимодействующие с поверхностью металлов и продуцирующие агрессивные метаболиты [Lekbach *et al.*, 2021]. Список микроорганизмов, ассоциированных с биокоррозией, расширяется, но пробелы в данной отрасли, к сожалению, не сужаются. Когда в биокоррозию вовлечены разнообразные микроорганизмы, редко возможно

предсказать такую коррозию и экономически оценить ее воздействие. Известно, что на борьбу с коррозией, вызванную воздействием микроорганизмов, приходится не менее 20% от общих годовых затрат [Вахрушева с соавт., 2019]. Поэтому, чтобы сделать борьбу с биокоррозией эффективной, необходимо изучать биоразнообразие коррозионно-опасных микроорганизмов, продукты их жизнедеятельности, напрямую или косвенно влияющие на коррозию и ее скорость, а также условия развития и ингибирования данных микроорганизмов. Это позволит разработать эффективные методы профилактики и борьбы с биокоррозией, в частности методы, основанные на ингибировании микроорганизмов и/или отдельных путей их метаболизма, а также минимизировать как экономический, так и экологический ущерб [Lavanya, 2021].

Сегодня кроме актуальной задачи предотвращения и борьбы с биокоррозией к значимым задачам нефтепромысловой отрасли относят разработку новых технологий, позволяющих увеличить нефтеотдачу разрабатываемых пластов. Микробиологический метод повышения нефтеотдачи (Microbial Enhanced Oil Recovery, MEOR) представляет группу биотехнологий, главным образом направленных на активизацию пластовой микрофлоры. Данная технология позволяет повышать нефтеотдачу пластов путем закачки в пласт питательных веществ для микроорганизмов, однако данные мероприятия создают риски, связанные с изменением структуры природных микробных сообществ, образованием биопленок и стимуляцией коррозионных процессов [Purwasena *et al.*, 2019; Liang *et al.*, 2022]. Таким образом, чтобы удовлетворить растущий спрос на нефть и нефтепродукты в условиях строгих экологических норм и экономического и технического давления, необходимо разрабатывать и внедрять новые методы мониторинга и борьбы с коррозионно-опасными микроорганизмами нефтяной отрасли.

Так, целью настоящей работы стало выявление эффекта стимуляции микробных сообществ пластовых вод месторождений Республики Татарстан на развитие и скорость коррозии стальных изделий.

В ходе исследования решались следующие задачи:

1) Определение характеристик пластовых вод нефтяных месторождений Республики Татарстан, на участках которых были диагностированы признаки биокоррозии.

2) Проведение и анализ иммерсионных испытаний образцов-свидетелей коррозии в условиях стимуляции и без стимулирования микробных сообществ пластовых вод.

3) Определение таксономического разнообразия бактериальных сообществ смоделированных систем.

## ВЫВОДЫ

1) Исследованные пластовые воды содержали ионы  $\text{Na}^+$  (7.32–8.65 г/л),  $\text{Mg}^{2+}$  (0.33–0.38 г/л),  $\text{Ca}^{2+}$  (0.69–0.90 г/л),  $\text{Cl}^-$  (10.4–10.7 г/л),  $\text{SO}_4^{2-}$  (3.45–6.35 г/л),  $\text{NH}_4^+$  (16.1–17.2 мг/л) и  $\text{PO}_4^{3-}$  (2.4–12.4 мг/л).

2) Иммерсионные испытания образцов-свидетелей коррозии в пластовых водах позволили оценить влияние ростовых факторов на скорость коррозии представителями микробных сообществ исследованных пластовых вод. Так, максимальная скорость коррозии образцов-свидетелей была отмечена в пластовых водах с дополнительным внесением ростовых факторов.

3) Таксономическое разнообразие бактериальных вод смоделированных систем показало преобладание тиосульфат- и сульфатвосстанавливающих бактерий.