



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный
исследовательский технологический
университет»
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

РЕКТОР

К. Маркса ул., д.68, Казань, 420015
тел. (843) 231-42-00, факс (843) 238-56-94;
e-mail: office@kstu.ru, www.kstu.ru

ОКПО 02069639, ОГРН 1021602854965,
ИНН/КПП 1655018804/165501001

13.05.2024 № 160-344/6-6/01

На № _____ от _____

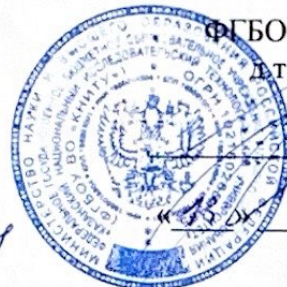
«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор

ФГБОУ ВО «КНИТУ»,

д.т.н., профессор

Ю.М. Казаков



05

2024 г

ОТЗЫВ

ведущей организации - федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»
на диссертационную работу **Пелевиной Анны Витальевны**
«**Особенности метаболизма фосфат-аккумулирующих бактерий и их роль в
микробных сообществах очистных сооружений**», представленную на
соискание ученой степени кандидата биологических наук
по специальности 1.5.11. Микробиология

Актуальность темы диссертационного исследования

Исследования процессов биологической очистки сточных вод с глубоким извлечением фосфора являются чрезвычайно актуальными, поскольку направлены на удаление ключевого биогенного элемента, определяющего эвтрофикацию водоемов, связаны с дальнейшим развитием биотехнологий обезвреживания сточных вод, предполагают снижения количества или отказ от использования дефосфатирующих химических реагентов – коагулянтов и флокулянтов.

Детальные микробиологические и молекулярно-генетические исследования сообществ фосфат-аккумулирующих организмов (ФАО) очистных сооружений биологической очистки сточных вод, изучение их таксономического состава, физиологических особенностей, взаимоотношений с другими компонентами микробного сообщества активного ила являются базисными для определения новых подходов к культивированию микробных

сообществ, обогащенных ФАО, и разработки современных технологий биологической очистки сточных вод.

Кроме того, с учетом того, что фосфоритная мука – основной источник фосфора в производстве удобрений считается критическим невозобновляемым ресурсом, способность отдельных ФАО накапливать в своей биомассе до 38% фосфора представляет безусловный научный и практический интерес.

Всё вышесказанное определяет актуальность темы диссертационного исследования.

Новизна исследования, полученных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Многие результаты диссертационной работы, а также положения и выводы, сделанные на их основании, отличаются научной новизной.

Так, разработаны способы циклического анаэробно-аэробного культивирования микробных сообществ, обогащенных ФАО, в отъемно-доливном реакторе и модифицированном биореакторе последовательно-периодического действия (SBR – Sequencing Batch Reactor). В первом случае получено микробное сообщество, в составе которого доминировали фосфатаккумулирующие бактерии родов *Dechloromonas* и *Zoogloea* семейства *Rhodocyclaceae*, которые обеспечивали удаление фосфора из среды до 50 % в течение 6-ти часового цикла культивирования.

Во втором случае получено длительно и стабильно функционирующее фосфат-аккумулирующее микробное сообщество с доминированием типичного представителя ФАО – *Ca. Accumulibacter*, обеспечивающего эффективную дефосфатацию среды (до 87 %) и высокое накопление фосфора в биомассе (до 16 % по сухому весу). При этом выявлена способность фосфат-аккумулирующего микробного сообщества к формированию плотных агрегатов в виде гранул и установлено, что этот процесс определяется биологическими факторами: изменением таксономического состава и функциональной активности участников сообщества.

Получены новые экспериментальные данные о способности ФАО *Ca. Accumulibacter* использовать пируват и сукцинат в качестве источников углерода и возможности использования микробного сообщества, обогащенного *Ca. Accumulibacter*, для удаления спектра органических веществ в циклическом анаэробно/аэробном процессе культивирования.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Теоретическая значимость работы заключается в комплексном анализе физиологических особенностей фосфатаккумулирующих микроорганизмов в процессах их культивирования в составе микробных сообществ с оценкой динамики таксономического разнообразия микробного сообщества в циклическом процессе анаэробно/аэробного преобразования фосфатов.

На основании характеристик кинетики и стехиометрии высвобождения/поглощения фосфора и метагеномного анализа микробного сообщества лабораторного биореактора построена метаболическая модель *Ca. Accumulibacter* с потреблением различных источников углерода с учетом мультисубстратного состава реальных сточных вод.

На базе оригинальной лабораторной установки отработаны режимы циклических процессов анаэробно/аэробного культивирования микробных сообществ, обогащенных ФАО, для дальнейшего развития биотехнологий удаления фосфора из водных сред.

Результаты диссертации обсуждены на конференциях и форумах разного уровня, а также опубликованы в виде 13-ти печатных работ, в т.ч. 5-ти экспериментальных статей в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России или включенных в базы данных Scopus/Web of Science (RSCI), а также одного патента.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты экспериментальных исследований фосфат-аккумулирующего сообщества, обеспечивающего удаление более 86% фосфора, могут быть применены для модернизации процессов биологического удаления фосфора на очистных сооружениях, а также могут быть использованы при разработке и проектировании современных очистных сооружений.

Кроме того, полученные результаты следует использовать в учебном процессе в высших учебных заведениях при преподавании дисциплин микробиологического и экобиотехнологического профилей.

Общая оценка работы

Диссертация А.В. Пелевиной структурно построена в традиционном ключе и состоит из введения, обзора литературы в составе трех глав и заключением к нему, четырех глав экспериментальной части, включая главу «Материалы и методы исследования», главы экспериментальных исследований и заключения к ним, а также выводов, списка сокращений и условных

обозначений, списка использованной литературы.

Диссертация изложена на 131 странице машинописного текста, иллюстрированного 27-ю рисунками и 5-ю таблицами. Список литературы по теме диссертации содержит 187 наименований иностранных источников за редким исключением ссылок на отечественную литературу, причем за авторством диссертанта, что также свидетельствует об актуальности рассматриваемой диссертации.

Тема диссертационной работы «Особенности метаболизма фосфат-аккумулирующих бактерий и их роль в микробных сообществах очистных сооружений» полностью отражает суть диссертационной работы.

В диссертации четко сформулированы и определены цель и задачи исследования.

Во *введении* автор обосновывает актуальность исследуемой проблемы, определяет цель и задачи работы, характеризует научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы, формулирует личный вклад и приводит сведения об апробации результатов работы.

В *обзоре литературы* последовательно представлены базовые и современные данные научной литературы, характеризующие фосфат-аккумулирующие микроорганизмы (ФАО), их представителей и механизмы удаления фосфора с участием ФАО. Далее рассмотрены физико-химические факторы, определяющие метаболизм ФАО и эффективность биологического удаления фосфора из жидких сред. Наконец, обсуждены биотехнологические аспекты удаления фосфора из сточных вод в непрерывном и отъемно-доливном процессе, представлены технологические схемы основных процессов дефосфатации сточных вод с участием ФАО, рассмотрены феномены микробного агрегирования в сообществах и конкуренция ФАО за субстрат с гликоген-аккумулирующими организмами (ГАО).

Обзор литературы составлен предметно и соответствует экспериментальным объектам диссертации.

В главах *экспериментальной части* описываются объекты исследования, методы и материалы для постановки экспериментальных работ и проведения аналитических исследований. Следует отметить обоснованно выбранный набор всех необходимых современных методов аналитического контроля объектов исследований: физико-химических, микробиологических, молекулярно-биологических, в том числе числе метагеномного анализа микробных

сообществ. Представлен богатый материал по исследованию динамики микробных сообществ и идентификации ФАО в отъемно-доливном процессе и циклическом последовательно-периодическом реакторе (SBR – Sequencing Batch Reactor). При этом хотелось бы отметить, что автор тщательно анализирует физико-химические и биологические параметры, а также инженерные аспекты процесса фосфат-аккумуляции с учетом сложности их сочетания в условиях микробного сообщества, аккуратно варьирует их значениями для обеспечения накопления ФАО и максимальной эффективности процесса дефосфатации культуральных сред и фосфат-аккумуляции. Важнейшим результатом работы является получение стабильно функционирующего на протяжении длительного времени (более 1 года) фосфат-аккумулирующего микробного сообщества с высоким накоплением фосфора в биомассе (до 16% от сухой биомассы) и удалением до 86% P из культуральной среды.

Заключение по результатам экспериментальных исследований и выводы по диссертационной работе четко сформулированы, обоснованы и соответствуют поставленным задачам.

При обсуждении диссертации возникли следующие вопросы и замечания:

1. В диссертации в качестве отдельного раздела не сформулированы положения, выносимые на защиту; тем не менее, в контексте диссертации становится понятно их содержание.

2. В разделе «Научная новизна и теоретическая значимость работы», указано, что разработан «новый способ культивирования микробного сообщества, обогащенного ФАО, в модифицированном биореакторе последовательно-периодического действия (SBR – Sequencing Batch Reactor)». Корректнее было бы сказать «определены режимы культивирования ФАО с целью их доминирования в микробном сообществе активного ила»; сам способ культивирования в биореакторе последовательно-периодического действия (SBR) известен.

3. С. 37: при описании UCT-процесса указано, что «технология также использует нитратный рецикл, который возвращает некоторую долю образующихся нитратов из аэробной зоны обратно в аноксидную зону, что предотвращает попадание нитратов в анаэробную зону, где начинается процесс

удаления фосфора». Вероятно, речь идет не об удалении фосфора из сточных вод, а об его выделении в виде фосфатов из микробных клеток в составе УСТ-рецикла?

4. Не указано, каков объем биореактора для последовательно-периодического культивирования (SBR) ФАО (п. 4.2.2, с. 46)

5. Крайне лаконично представлена характеристика образцов активного ила Люберецких очистных сооружений (ЛОС) (п. 4.3, с. 47). Какова его концентрация (доза) до инокуляции биореакторов и каков его объем для инокулирования? Какова исходная зольность ила, что является важным для оценивания изменения зольности биомассы в SBR на 200 сутки, которая составила ~ 36%?

6. С. 55:

- непонятна фраза «На 5 сутки культивирования была 4,9 мг/л, эффективность удаления фосфора составляла 21%». Вероятно, речь идет об удалении 4,9 мг/л фосфора из среды, что составляет 21% от его начальной концентрации»;

- исходя из представленных данных, концентрация биомассы в отъемно-доливном реакторе (ОДР) снижалась на 15-е сутки культивирования до критически малых величин (0,2 г сухого вещества/л), что не обеспечит эффективность процесса очистки по комплексу показателей (ХПК, БПК, концентрация соединений азотной группы и др.).

7. Если в ОДР предотвращается агрегирование клеток, и в сообществе не накапливаются внеклеточные полимерные вещества, что является резервуаром фосфора вне клеток, если верить выводу на с. 60 о том, что фосфор аккумулируется не только внутри клеток, но и в межклеточном пространстве?

8. Таблица 2 (с. 69):

- представлена без метрологической обработки данных (не указана дисперсия данных);

- что значит «содержание фосфора в биомассе»? Это – внутриклеточный фосфор или его суммарное содержание вместе с запасенным во внеклеточном пространстве с участием экзополисахаридов (ЭПС)?

9. С. 88: Какие культуры в полученных ФАО-обогащенных микробных консорциумах следует отнести к ЭПС-продуцентам, благодаря которым наблюдалась спонтанная агрегация активного ила?

10. В работе встречаются грамматические и пунктуационные ошибки,

досадные опечатки, несмотря на общее хорошее впечатление от грамотности текста и стиля работы.

Представленные вопросы имеют уточняющий характер, а замечания не умаляют достоинств диссертационной работы, которая представляет собой законченное, логично выстроенное исследование, полностью соответствующее требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Заключение

Работа заслуживает безусловной положительной оценки, несомненной является новизна полученных результатов и технических решений. Научные положения диссертационного исследования имеют определяющее значение для постановки исследований микроорганизмов и их сообществ, развития методов прикладной микробиологии и биотехнологии.

Следует отметить, что соискатель ученой степени лично принимал участие на всех этапах работы, включая планирование и постановку экспериментов, обработку и анализ данных, апробацию основных положений на различных конференциях, подготовку публикаций по теме диссертации.

Автореферат и опубликованные автором научные статьи полностью отражают содержание диссертационной работы.

Таким образом, диссертационная работа Пелевиной Анны Витальевны «Особенности метаболизма фосфат-аккумулирующих бактерий и их роль в микробных сообществах очистных сооружений» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи по исследованию фосфат-аккумулирующих микроорганизмов в микробных сообществах, участвующих в процессах очистки сточных вод, имеющей важное значение для развития методов прикладной микробиологии и экологической биотехнологии, а ее содержание в полной мере соответствует специальности 1.5.11. Микробиология.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа Пелевиной А.В., представленная на соискание ученой степени кандидата биологических наук, полностью удовлетворяет требованиям ВАК Минобрнауки России в соответствии с п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (в действующей редакции), а ее

автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.11. Микробиология.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры промышленной биотехнологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (протокол № 11 от 06.05.2024 года).

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой промышленной биотехнологии
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», доктор технических наук
по специальностям 03.00.23 – Биотехнология, 03.00.16 – Экология;
профессор

Сироткин Александр Семенович

Доцент кафедры промышленной биотехнологии
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», кандидат технических наук
по специальности 03.00.16 – Экология,
доцент

Закиров Рустем Каюмович



Полное название организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Почтовый адрес: 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68

Тел./факс: 8(843)238-56-94

E-mail: office@kstu.ru