

ОТЗЫВ

официального оппонента,

заведующего лабораторией микробиологии антропогенных мест обитания

Института микробиологии им. С.Н. Виноградского Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук»,

кандидата биологических наук

Литти Юрия Владимировича

на диссертационную работу **Хабибуллиной Аиды Рамилевны**

«Биологическая дефосфатация сточных вод в условиях зонной аэрации активного ила»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология

Актуальность темы диссертационного исследования. Стратегия улучшения состояния водоемов по всей стране поддерживается многими федеральными проектами. Основной проблемой, сложно поддающейся контролю и управлению, является поступление большого количества фосфора в составе фосфатов вместе с недоочищенными сточными водами. Являясь важнейшим участником микробного энергетического и конструктивного обмена, фосфор, находящийся в среде, моментально вовлекается в метаболизм одноклеточных организмов, в том числе цианобактерий, что приводит эвтрофикации водоема.

Для удаления растворимых форм фосфора до норм сброса, большинство очистных сооружений использует дефосфатирующие реагенты. Данный способ характеризуется значительными эксплуатационными затратами и риском вторичного загрязнения очищенной воды. В связи с этим перспективным направлением разработок в этой области является биологическая дефосфатация.

В настоящее время количество фосфатов, которое может быть удалено биомассой активного ила в традиционном процессе очистки сточных вод на базе аэротенков, составляет не более 30%. Увеличение степени удаления фосфатов возможно путем активации группы микроорганизмов, способных к фосфатаккумуляции; тем не менее, данный процесс чувствителен к внешним факторам.

В контексте вышеизложенного диссертационное исследование Хабибуллиной Аиды Рамилевны, направленное на разработку научно-практических основ биотехнологии очистки сточных вод от биогенных элементов, в первую очередь, фосфора, с определением условий культивирования активного ила является актуальным, своевременным, имеет теоретическую ценность и практическое значение.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Хабибуллиной А.Р. изложена на 130 страницах

машинописного текста, содержит 39 рисунков и 24 таблиц. Список литературы включает 132 наименования отечественных и зарубежных публикаций. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованных источников и 2 приложений.

Во введении представлены актуальность темы исследований, степень разработанности темы, определены цель и задачи, сформулированы концепция работы, её научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены методология и методы исследований, научные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, личный вклад автора, публикации, структура и объем работы.

В первой главе «Обзор литературы» автором проведен анализ предметной литературы, в котором описаны основные источники поступления фосфора в сточные и природные воды, способы удаления фосфат-ионов из сточных вод. Обсуждены принципы биологического удаления фосфат-ионов за счет механизмов гетеротрофных и фосфатаккумулялирующих микроорганизмов, охарактеризованы наиболее известные микроорганизмы, осуществляющие процесс фосфатаккумуляции в ходе собственного метаболизма. Описаны факторы, влияющие на микробную фосфатаккумуляцию и определяющие ее эффективность, и основные типы технологических схем, реализующих процесс глубокого биологического удаления фосфат-ионов из сточных вод.

Во второй главе «Экспериментальная часть» описаны объекты исследований, этапы проведения экспериментов и методы исследований, в частности, методы выделения фосфатаккумулялирующих бактерий из сообщества активного ила и идентификация культур в составе изолятов, исследование их дефосфатирующего потенциала; методы исследования состава сточных вод в ходе мониторинга и алгоритмы проведения опытно-промышленных испытаний на очистных сооружениях.

В третьей главе «Результаты исследований» диссертантом представлены уравнения материального баланса процесса микробной дефосфатации в ходе фосфатаккумуляции в условиях отсутствия лимитирующих факторов. Детально обсуждены результаты направленного отбора изолятов бактерий активного ила, способных к процессу фосфатаккумуляции. Дана оценка фосфатаккумуляционной способности бактерий в составе выделенных изолятов. Проведена идентификация одного из перспективных изолятов и оценка внутриклеточного накопления фосфора методом сканирующей электронной микроскопии с элементным анализом. Представлен анализ влияния факторов среды на биологическую дефосфатацию сточных вод активным илом в условиях очистных сооружений с построением регрессионной модели данного процесса. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний на очистных сооружениях, позволившие значительно повысить эффективность удаления фосфат-ионов из сточных вод за счет организации зонной аэрации в аэротенках. Показано, что внедрение зонной аэрации имеет также экономическую выгоду.

В заключении автор представляет выводы по диссертации, которые отражают результаты исследований и отвечают поставленным задачам. Заключение сформировано логично на основании ранее представленных и обсужденных результатов исследований.

Список сокращений и условных обозначений состоит из 40 наименований.

Полученные результаты исследований подтверждены документами, согласованными с промышленными объектами и приведенными в приложении. **Приложение** к диссертационной работе включает 2 наименования.

Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Работа носит законченный характер, написана логично, стиль изложения отличается ясностью и доказательностью.

Степень обоснованности научных положений и выводов сформулированных в диссертации

Научные положения и выводы, приведенные в диссертации, теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены. Они посвящены изучению биологического потенциала активного ила для интенсификации процессов биологической очистки сточных вод и разработке предложений по его практическому использованию.

Экспериментальные исследования проведены на достаточно высоком методическом уровне с использованием современных методов исследований, принятых в науке и в отрасли. В диссертации проведено обобщение и математическая обработка экспериментальных данных.

Использованные в диссертации методы исследований и постановки экспериментов, теоретические и практические разработки соответствуют цели и задачам работы. Представленные в работе научные положения и выводы обоснованы и подтверждены значительным объемом полученного экспериментального материала и проведенных испытаний.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертационная работа Хабибуллиной А.Р. является самостоятельной, выполненной соискателем, и направленной на решение актуальной научной проблемы, связанной с получением новых экспериментальных данных по определению условий культивирования активного ила в масштабе очистных сооружений, которые позволяют повысить степень удаляемых биологическим путем загрязняющих веществ.

Степень достоверности результатов исследований диссертационной работы подтверждается проведением достаточного количества экспериментов с

использованием общепринятых и специальных методов исследования, статистической обработкой данных с применением пакетов прикладных программ.

В диссертационной работе Хабибуллиной А.Р. установлено, при использовании изолятов фосфатаккумулирующих бактерий эффективность удаления фосфат-ионов из модельных сред может достигать 45%, а фосфатаккумулирующая способность $1,1 \cdot 10^{-10}$ мг/дм³·КОЕ. На основании данных о составе сточных вод получена регрессионная модель, описывающая зависимость эффективности биологической дефосфатации от внешних факторов. Показано, что концентрация растворенного кислорода оказывает значительное влияние на степень удаления фосфат-ионов активным илом. По результатам опытно-промышленных испытаний установлено, что создание условий с различным содержанием растворенного кислорода в аэротенках позволяет увеличить эффективность биологической дефосфатации на 40-45% без ухудшения качества очистки сточных вод по другим показателям.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Комплексные научные исследования Хабибуллиной А.Р. имеют несомненную ценность для науки, теоретическое и практическое значение. Прикладной характер новых знаний об изолятах способных аккумулировать фосфат бактерий активного ила, факторах, влияющих на способность удаления фосфат-ионов активным илом, позволяют оптимизировать режим работы очистных сооружений с повышением качества очищенной воды и снижением объема использования химических реагентов.

Теоретическая значимость заключается в изучении изолятов активного ила на предмет способности к фосфатаккумуляции, оценке дефосфатирующей способности на основании уравнений материального баланса и влияния факторов на процесс удаления фосфат-ионов из сточных вод на основании статистического анализа данных о составе сточных вод.

Практическая значимость работы Хабибуллиной А.Р. обусловлена разработкой и испытанием технического предложения по модернизации процесса биологической очистки сточных вод за счет создания зон с различным содержанием растворенного кислорода в аэротенках. Предложенная модернизация обеспечивает снижение экологического ущерба и суммы затрат на эксплуатацию очистных сооружений на 1 млн. рублей в год при суточном объеме сточных вод равном 400 м³.

Результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных научных, научно-практических мероприятиях разного уровня, что подтверждает апробацию основных положений и результатов диссертационной работы.

По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в т.ч. 2 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России для публикации результатов диссертационных исследований; 2 статьи в российских журналах (РИНЦ/RSCI); 15 публикаций по материалам докладов на всероссийских и международных конференциях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Совокупность теоретически и экспериментально обоснованных результатов, полученных в диссертации Хабибуллиной А.Р., позволит рационально использовать биологический потенциал активного ила очистных сооружений, специализирующихся на сточных водах коммунально-бытового типа. Результаты исследований могут быть внедрены на предприятиях, имеющих схожие схемы очистки сточных вод.

Недостатки в содержании и оформлении диссертации и автореферата:

1. В разделе «Методы исследования» следовало подробнее описать методику определения фосфатаккумулирующей способности взамен фразы «принятая методика».

2. При определении удельной фосфатаккумулирующей способности изолятов концентрацию биомассы стоило определять в массовых единицах, а не в численных.

3. Не отражена динамика изменения рН в процессе культивирования изолятов активного ила. При этом концентрация фосфат-ионов, во многом, определяется значением рН среды, в особенности в процессах, где изменение концентрации фосфатов происходит в пределах 2-3 мг/дм³.

4. Результаты элементного анализа свидетельствуют о том, что при проведении культивирования изолятов активного ила содержание внутриклеточного фосфора увеличилось с 3% до 4%, хотя фосфатаккумулирующая группа микроорганизмов способна накапливать его до 10-15%.

5. Термин «фосфатаккумулирующие» применим к организмам (ФАО), которые не просто накапливают полифосфаты, а характеризуются цикличностью фосфатов, что описано в литературе. В случае данного диссертационного исследования уместно называть изоляты, «способными к синтезу полифосфатов» или «потенциальными ФАО».

6. Для биологического удаления фосфора фосфатаккумулирующие микроорганизмы используют чередование анаэробных (отсутствие или глубокий лимит по акцепторам электронов – кислороду, нитратам, нитритам) условий с аэробными. У автора минимальная концентрация растворенного кислорода при культивировании изолятов на модельной питательной среде – 4 мг/дм³. При этом на очистных сооружениях считается, что 2 мг/дм³ более чем достаточно для проведения обычной аэробной очистки. При этом следует отметить, что в ходе опытно-промышленных испытаний наблюдается существенно более глубокое удаление фосфатов при более низких значениях концентраций растворенного кислорода (1-2 мг/дм³) по сравнению с содержанием кислорода на уровне 3-5 мг/дм³, что закономерно. Тем не менее, о механизме потребления фосфат-ионов судить сложно.

7. В автореферате на стр. 7 есть фраза «экстремальный характер», не совсем понятно, что тут имеется ввиду. На рис. 2 на оси X, 2 раза показано 1.00*e+10.

8. В автореферате на стр. 7 сказано, что «При этом значительное превышение оптимальной концентрации биомассы (более 4×10¹³ КОЕ/см³ для изолята А и более 1×10¹⁰ КОЕ/см³ для изолята Р) также снижает эффективность биологической дефосфатации, поскольку для запуска процесса фосфатаккумуляции

необходим избыток углерода и фосфора». Вопрос, почему тогда этот избыток не создали для проверки?

9. Не верно использовать такие выражения, как «накопительные культуры изолятов ФАО», «культура в составе изолята» или «изолят Р, преимущественно состоящий из бактерий *Pseudomonas atacamensis*». Изолят – это чистая культура, состоящая из одного штамма. Изолят как правило выделяется из накопительных культур. Когда говорится о накопительной культуре, состоящей из двух или более микроорганизмов, то эти микроорганизмы не называют изолятами.

10. В таблице 4 автореферата показан экономический эффект за счет снижения затрат, связанных с использованием дефосфатирующих реагентов и потреблением электроэнергии для аэрации сточных вод. Было бы неплохо указать затраты на закупку дефосфатирующих реагентов и электричества, также какая часть средств из 1 млн. руб. экономится на электроэнергии и какая - на реагентах.

Приведенные замечания не снижают актуальности, научной новизны и практической значимости работы.

Общее заключение


Диссертационная работа Хабибуллиной Аиды Рамилевны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований фундаментального и прикладного характера разработаны научно обоснованные технологические решения по обеспечению условий культивирования фосфатаккумулялирующих микроорганизмов активного ила в процессах дефосфатации сточных вод, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие методов экологической биотехнологии в части повышения качества биологически очищенных сточных вод.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Хабибуллиной А.Р., представленная на соискание ученой степени кандидата технических 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 (с изменениями и дополнениями от 26.10.2023 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология.

Официальный оппонент:

Кандидат биологических наук (специальность 03.02.03 – Микробиология, 03.01.06 – Биотехнология (в т.ч. бионанотехнологии)), заведующий лабораторией микробиологии антропогенных мест обитания Института микробиологии им. С.Н. Виноградского федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук»

Литти
Юрий Владимирович

Вход. № 05-7829
« 11 » 12 2023 г.
подпись 

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук», Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского
117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д. 7, корп. 2
Тел.: +7(499)135-12-29 доб.714, 89263699243
E-mail: litty-yuriy@mail.ru

Я, Литти Юрий Владимирович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Хабибуллиной Аиды Рамилевны, и их дальнейшую обработку.

Подпись Литти Ю.В.
Заверено
Зам. начальника отдела кадров
И.Н. Шиян
07.12.2023г.



Литти Ю.В.

МЛЮД. № 05-4829
« 11 » 12 2023.
ПОДПИСЬ Литти Ю.В.