

Заключение

объединенного диссертационного совета 99.2.028.02, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.09.2026 г. № 11

О присуждении Хасановой Айгуль Айратовне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Процессы очистки сточных вод в условиях развития фосфатаккумулялирующих микроорганизмов в сообществах активного ила и биопленки» по специальности 1.5.6. Биотехнология принята к защите 10.07.2026 г. (протокол заседания № 9) объединенным диссертационным советом 99.2.028.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО) «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18; совет утвержден приказом Минобрнауки России № 937/нк от 14.07.2016 г. (приказом Минобрнауки России № 561/нк от 03.06.2021 г., диссертационному совету 99.2.028.02 установлены полномочия по защитах диссертаций на соискание ученой степени

кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на срок действия номенклатуры научных специальностей).

Соискатель Хасанова Айгуль Айратовна, 09.09.1998 года рождения, в 2022 году окончила магистратуру в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». В 2026 году окончила очную аспирантуру в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». Работает в должности ассистента на кафедре промышленной биотехнологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре промышленной биотехнологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Сироткин Александр Семенович, директор Института пищевых производств и биотехнологии, заведующий кафедрой промышленной биотехнологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Официальные оппоненты:

– **Каленов Сергей Владимирович**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», профессор кафедры биотехнологии;

– **Кулаковская Татьяна Валентиновна**, доктор биологических наук, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина Российской академии наук – обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пущинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»), г. Тула, в своем положительном отзыве, утвержденном проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», доктором технических наук, профессором Воротилиным Михаилом Сергеевичем, подготовленном и подписанном Понаморевой Ольгой Николаевной, доктором химических наук, доцентом, заведующим кафедрой биотехнологии ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» и Арляповым Вячеславом Алексеевичем, доктором технических наук, доцентом, директором НИЦ «БиоХимТех» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», указала, что в диссертационной работе Хасановой Айгуль Айратовны установлены закономерности формирования и функционирования микробных сообществ активного ила и биопленки в условиях, обеспечивающих интенсивное удаление соединений фосфора из сточных вод. Полученные результаты позволяют расширить представления о роли фосфатаккумулирующих микроорганизмов в процессах биологической дефосфатации, а также об особенностях функционирования иммобилизованной биомассы при одновременном удалении соединений фосфора и азота. Результаты исследования моно- и бинарных бактериальных биопленок дополняют сведения о характере адаптации микробных сообществ к изменению физико-химических условий. Практически важным является установленный эффект усиления биопленкообразования ряда бинарных культур при стрессовом воздействии, поскольку реальные очистные сооружения функционируют в условиях переменного состава поступающих сточных вод. Полученные результаты открывают перспективы целенаправленного конструирования устойчивых микробных консорциумов для очистки сточных вод, содержащих токсичные компоненты. Диссертационная работа Хасановой Айгуль Айратовны является завершенным научно-квалификационным исследованием, в котором решена актуальная научно-практическая задача – интенсификация процессов очистки сточных вод от соединений фосфора и азота путем направленного формирования функционально

активных микробных сообществ активного ила и биопленки, а также их биоаугментации. Полученные результаты имеют существенное значение для развития экологической биотехнологии, а предложенные технические решения могут быть внедрены в практику проектирования и эксплуатации очистных сооружений малой производительности. По своей актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Хасанова Айгуль Айратовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 научных работ, из них 3 статьи с общим объемом 35 страниц текста в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, а также в научном журнале, индексируемом в международной базе данных и системе цитирования Scopus, 11 публикаций в сборниках Международных и Всероссийских научных конференциях. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем ученой степени, заимствованный материал без ссылки на автора и/или источник заимствования, а также результаты научных работ, выполненных Хасановой А.А. в соавторстве, без ссылок на своих соавторов. Авторский вклад соискателя составляет около 75 %.

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Хасанова А.А. Изучение способности бактерий активного ила к образованию биопленок *in vitro* / А.А. Хасанова, Е.В. Перушкина, А.С. Сироткин // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2024. – Т. 14. – № 2. – С. 207-214. (№ 1281 из Перечня рецензируемых научных изданий (на 29.06.2026 г.); K2 – согласно рекомендации ВАК при Минобрнауки России от 08.12.2023 № 3-пл/1, WOS).
2. Хасанова А.А. Влияние физико-химических факторов среды на устойчивость бактериальных биопленок на основе микробных сообществ

активного ила / А.А. Хасанова, Е.В. Перушкина, А.С. Сироткин // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2024. – Т. 15. – № 4. – С. 535-547. (№ 1281 из Перечня рецензируемых научных изданий (на 29.06.2026 г.); K2 – согласно рекомендации ВАК при Минобрнауки России от 08.12.2023 № 3-нл/1, WOS).

3. Khasanova A.A. Succession of the activated sludge microbial community and phosphorus removal performance in a sequencing batch reactor during transition from an anoxic/aerobic system to EBPR / A. Khasanova, A. Pelevina, E. Gruzdev, A. Dorofeev, V. Grachev, Y. Nikolaev, A. Beletsky, A. Sirotkin, A. Mardanov, N. Pimenov // Water. – 2026. – Vol. 18, № 8. – Art. 951. doi.org/10.3390/w18080951 (Scopus (Q1)).

На автореферат диссертации поступили отзывы от: кандидата биологических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории экологической биотехнологии Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (обособленного подразделения ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан) **Петрова А.М.**; кандидата биологических наук, доцента, старшего научного сотрудника лаборатории молекулярной биотехнологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиала ФГБУН ПФИЦ УрО РАН **Максимова А.Ю.**; доктора технических наук, профессора кафедры промышленной экологии и техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» **Корчагина В.И.**; доктора технических наук, доцента, директора научно-образовательного центра «Промышленные биотехнологии» ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» **Бабич О.О.**; кандидата химических наук, доцента кафедры биотехнологии Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» **Маркевич Р.М.**; доктор технических наук, профессора кафедры водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» **Залетовой Н.А.**; PhD, руководителя лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов ФИЦ «Казанский научный центр» РАН **Валидова Ш.З.** Все отзывы **положительные**. Имеются замечания: 1. Во введении в качестве важного фактора

биоупленкообразования и адаптации клеток упоминается феномен «чувства кворума» (quorum sensing) в микробных сообществах. Однако далее в задачах, защищаемых положениях и выводах экспериментальное изучение или теоретическое обсуждение роли сигнальных молекул в наблюдаемых процессах автором не приводится; 2. Согласно данным рисунка 2 (стр. 8) и описанию таксономического анализа (стр. 10), в SBR-реакторе на 76-е сутки культивирования наблюдалось резкое падение эффективности дефосфатации (до 27-31 %), обусловленное вымыванием основного агента – бактерий рода *Azotobacter* (до уровня менее 1 %). Каким образом можно обеспечить долговременную сукцессионную стабильность специализированного микробиоценоза в промышленных сооружениях, если в лабораторных условиях наблюдается его нестабильность? 3. На представленных графиках кинетики нитрификации (рис. 7в, стр. 14) в системе с биопленкой на 4-7 сутки наблюдается выраженное накопление нитрит-ионов до высоких значений (около 40 мг/куб. дм). Данный факт свидетельствует о временном ингибировании второй фазы нитрификации, что является серьезным технологическим риском, однако этот пик остался без комментариев в тексте автореферата.; 4. В выводе № 4 указывается, что средняя эффективность удаления фосфатов иммобилизованным сообществом в биофилтре составила 95 и 92 %. В то же время в выводе № 5 отмечается, что при интродукции селекционированной культуры *Alcaligenes faecalis* 2 данный показатель составил 91-93 и до 99 %. Имеет смысл пояснить технологическую и экономическую целесообразность усложнения процесса биоаугментацией специально выращенной чистой культурой, если нативная иммобилизованная биомасса демонстрирует аналогичные средние результаты (**Максимов А.Ю.**); 1. В работе показано высокое содержание внутриклеточного фосфора в биомассе, однако не раскрыты вопросы дальнейшей утилизации или регенерации фосфора из отработанной биопленки, что представляет интерес с позиции ресурсосбережения; 2. Отсутствуют данные о долговременной стабильности биофилтра и периодичности его регенерации, что важно для проектирования промышленных систем; 3. Сравнение эффективности разработанной технологии

с известными зарубежными аналогами EBPR-систем приведено в общем виде; целесообразно было бы представить количественное сравнение по удельным показателям (**Корчагин В.И.**); 1. Из представленного текста не в полной мере понятно, каким образом необходимо проводить иммобилизацию биомассы микроорганизмов на носитель (нужно ли предварительно проводить адсорбцию клеток или необходимо проводить культивирование непосредственно на носителе)? (**Бабич О.О.**); 1. Однако в автореферате следовало бы указать концентрацию фосфатов, достижимую и рекомендуемую, для разработки технологической схемы и расчета сооружений при практическом применении предложенного технического решения; 2. Для успешного применения на практике рекомендуемой технологической схемы очистки в дальнейшем необходимо дополнительно предложить способ регенерации носителя с биопленкой, разрастающейся (а затем и отмирающей) в ходе очистки (**Залетова Н.А.**).

Выбор официальных оппонентов обоснован их компетенциями в области биотехнологии, микробиологии и биохимии микроорганизмов как чистых культур, так и в составе микробных сообществ для определения научной новизны и практической значимости диссертационного исследования А.А. Хасановой. Научные достижения оппонентов тесно связаны с тематикой диссертации, а именно с исследованиями биотехнологических процессов с использованием микроорганизмов, в том числе активного ила и биопленок, разработкой методов их культивирования и применения в условиях воздействия различных факторов среды, изучением биохимии и метаболизма соединений фосфора у микроорганизмов, а также их адаптации к стрессовым воздействиям; наличием публикаций в ведущих рецензируемых российских и международных научных журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России и международные реферативные базы данных и системы цитирования.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», в лице сотрудников кафедры биотехнологии и научно-исследовательского центра «БиоХимТех», известна своими работами в области

биотехнологии, включая исследования в области молекулярной биотехнологии, биоэлектрохимии и биоэлектрокатализа, разработки микробных биосенсоров и биосенсорных систем для экологического мониторинга, получения вторичных метаболитов микробного происхождения, а также синтеза и модификации наноматериалов для биотехнологических целей, результаты которых отражены в публикациях сотрудников в российских и зарубежных научных изданиях.

Диссертационный совет 99.2.028.02 отмечает, что наиболее существенные результаты, полученные лично соискателем, и их научная новизна заключаются в следующем:

- *установлены* закономерности сукцессии микробного сообщества активного ила в условиях циклического культивирования при реализации процесса глубокого удаления фосфора; *определены* доминирующие функциональные группы фосфатаккумулирующих микроорганизмов, в том числе представитель рода *Azonexus*, доля которого в сформированном сообществе достигала 24 %, при содержании внутриклеточного фосфора до 12 % от сухой массы клеток;

- *оценена* устойчивость бактериальных биопленок моно- и бинарных культур микроорганизмов активного ила при воздействии физико-химических факторов среды, *доказано*, что бинарные культуры характеризуются более выраженным биопленкообразованием в условиях стрессового воздействия по сравнению с монокультурами: массивность биопленки ассоциации *Bacillus subtilis* и *Achromobacter pulmonis* ПНОС при pH 5,0 и 10,0 увеличивалась в среднем на 46 и 45 % соответственно, а ассоциации *Alcaligenes faecalis* 2 и *Bacillus subtilis* в присутствии додецилсульфата натрия в концентрациях 5-10 мг/дм³ – в среднем на 22 %;

- *установлено* преимущество использования иммобилизованного микробного сообщества активного ила в биофильтре по сравнению с суспендированной биомассой: пусковой период процесса биофильтрации сокращается в два раза за счет интенсивного накопления биопленки и устойчивого формирования функциональных групп микроорганизмов, при этом эффективность удаления фосфатов повышается на 20-25 %, а аммонийного азота – на 30-35 %; эффективность удаления фосфат-ионов в биофильтре достигает в среднем 95 % по сравнению с 78

% при использовании суспендированной биомассы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- *расширены* представления о закономерностях формирования и функционирования микробных сообществ активного ила и биопленки в условиях развития фосфатаккумулирующих микроорганизмов и глубокого удаления соединений фосфора базовые для интенсификации процессов биологической очистки сточных вод.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- *разработана* методика диагностики фосфатаккумулирующей способности активного ила в технологии очистки сточных вод, позволяющая проводить оперативную оценку влияния физико-химических факторов среды на активный ил в процессе удаления фосфат-ионов из сточных вод;

- *разработана* технологическая схема биологической очистки коммунально-бытовых сточных вод для очистных сооружений малой производительности 400 м³/сут с попеременным поступлением сточной воды на последовательно работающие биофильтры;

- *определена* экономическая эффективность предлагаемого технического решения: расчетный срок окупаемости составляет около 5 лет, платы за сверхнормативный сброс соединений азота и фосфора сократятся на 1, 75 млн. руб. в год;

- *подтверждено* практическое использование результатов диссертационного исследования актом от МУП «Водоканал» г. Казани.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- достоверность результатов обеспечена применением комплекса современных микробиологических, молекулярно-биологических, физико-химических и аналитических методов исследования, а также воспроизводимостью полученных экспериментальных результатов;

- использование математических методов статистической обработки экспериментальных данных с применением пакета прикладных программ

Microsoft Excel 2019 подтверждает обоснованность полученных результатов и сделанных на их основе выводов; оценку достоверности полученных результатов по критерию Стьюдента-Фишера с использованием параметрического t-критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Все указанное подтверждает **достоверность и обоснованность** полученных результатов и сделанных на их основе выводов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном выполнении экспериментальных исследований на всех этапах работы. Соискатель принимал участие в постановке цели и задач диссертационного исследования, поиске и анализе литературных данных, обработке, статистическом анализе, обсуждении и обобщении полученных экспериментальных результатов, формулировании выводов, подготовке публикаций по теме диссертации и представлении результатов исследований на Всероссийских и международных научных конференциях.

По своему содержанию диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.6. Биотехнология: пункту 7 «Разработка новых технологических процессов на основе микробиологического синтеза, биотрансформации, биокатализа, иммуносорбции, биодеструкции, биоокисления, и создания систем биокомпостирования различных отходов, очистки техногенных отходов (сточных вод, газовых выбросов и др.), создание замкнутых технологических систем микробиологического производства, последние с учетом вопросов по охране окружающей среды».

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования.

Разработанные в диссертации подходы к формированию устойчивых микробных биопленок и биоаугментации иммобилизованного микробного сообщества фосфатаккумулялирующими микроорганизмами, а также технологическая схема биологической очистки коммунально-бытовых сточных вод с использованием биофильтров могут быть использованы в научно-исследовательских организациях, занимающихся разработкой и совершенствованием биотехнологий очистки сточных

вод, а также организациями и предприятиями, осуществляющими проектирование, реконструкцию и эксплуатацию биологических очистных сооружений, в частности, в ФГБУН «ФИЦ Биотехнологии РАН», «ФИЦ «Казанский научный центр» РАН», ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева», Учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» (г. Минск), МУП Водоканал г. Казани, водоканалах городов и населенных пунктов Российской Федерации. Разработанная методика диагностики фосфатаккумулирующей способности активного ила может применяться для сопровождения технологических процессов очистки сточных вод и проведении научно-исследовательских работ в области экологической биотехнологии. Результаты диссертационной работы могут быть внедрены в образовательный процесс высших учебных заведений при подготовке обучающихся по направлению «Биотехнология», а также по направлениям «Техносферная безопасность», «Водоснабжение и водоотведение» при преподавании дисциплин, связанных с объектами и методами промышленной и экологической биотехнологии.

В ходе защиты диссертации не было высказано принципиальных критических замечаний. Хасанова Айгуль Айратовна полно и убедительно ответила на вопросы, заданные ей в ходе заседания.

Диссертационным советом сделан вывод, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 23.09.2026 г. объединенный диссертационный совет 99.2.028.02 принял решение: за разработку и научное обоснование интенсивных процессов очистки сточных вод путем направленного формирования микробных сообществ активного ила и биопленки в условиях развития фосфатаккумулирующих микроорганизмов, имеющих существенное значение для развития методов экологической биотехнологии, присудить Хасановой

Айгуль Айратовне ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология.

При проведении тайного голосования объединенный диссертационный совет 99.2.028.02 в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.5.6. Биотехнология (технические науки), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного
совета 99.2.028.02

Ученый секретарь диссертационного
совета 99.2.028.02

23.09.2026 г.

