

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Пермский
Федеральный исследовательский
центр Уральского отделения
Российской академии наук,
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

О.А. Плехов

«29» сентября 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского
федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской
академии наук (ПФИЦ УрО РАН)**

Диссертация Сыровацкой Галины Андреевны «Физиолого-биохимические свойства нитрилгидролизующих бактерий содового шламохранилища города Березники» выполнена на базе лаборатории молекулярной биотехнологии «Института экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее «ИЭГМ УрО РАН»).

В период подготовки диссертации соискатель Сыровацкая Галина Андреевна обучалась в очной аспирантуре «ИЭГМ УрО РАН» по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки с 2021 по 2025 годы, а также работала в ООО «МИП «Эко-Кама» с июня 2021 по февраль 2022 гг. в должности лаборанта, в лаборатории молекулярной биотехнологии «ИЭГМ УрО РАН» с мая по декабрь 2025 г. в должности инженера.

В 2019 г. окончила бакалавриат Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Челябинский государственный университет» по направлению «Биология» (диплом № 107431 0145591).

В 2021 г. с отличием окончила магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский

государственный национальный исследовательский университет» по направлению «Биология» (диплом № 105931 0469523).

В 2025 г. окончила аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук по направлению «Биологические науки» (диплом № 105924 0329086).

Научный руководитель:

д.б.н. (03.02.03 Микробиология), доцент Максимова Юлия Геннадьевна, заведующая лабораторией молекулярной биотехнологии «ИЭГМ УрО РАН» – филиала ПФИЦ УрО РАН.

По итогам обсуждения принято следующее **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**:

Актуальность проблемы. Актуальность изучаемой проблемы обусловлена необходимостью поиска новых экстремотолерантных микроорганизмов, способных к трансформации токсичных нитрильных соединений и устойчивых к деградации нитрилсодержащих полимеров. Интенсивное промышленное использование нитрилов и их производных обуславливает загрязнение объектов окружающей среды, а также последующую аккумуляцию этих веществ в биосфере. При этом способность микроорганизмов к трансформации нитрилов в экстремальных условиях изучена недостаточно. Практически отсутствуют данные о микробной деструкции бутадиен-нитрильного каучука, а также о сочетанном влиянии физико-химического старения полимеров и активности микроорганизмов на нитрильные полимеры. Перспективным направлением решения этой проблемы является поиск микроорганизмов, способных сохранять метаболическую активность в условиях высокой солёности и щёлочности. Экстремофильные и экстремотолерантные микроорганизмы обладают комплексом адаптационных механизмов, позволяющих им функционировать в условиях, неблагоприятных для большинства микроорганизмов. Особый интерес представляют антропогенные экстремальные экосистемы, в которых сочетание высокой минерализации и щёлочности стимулирует формирование уникальных адаптационных свойств. Поэтому исследование нитрилгидролизующих экстремотолерантных бактерий из высокоминерализованных щелочных биотопов актуально для расширения представлений об адаптации микроорганизмов к экстремальным условиям, поиска

новых биокатализаторов и оценки их потенциала в биотрансформации нитрильных загрязнителей и устойчивых полимерных материалов.

Личное участие автора в получении научных результатов. Формулирование темы, постановка цели и задач диссертационного исследования осуществлялись в сотрудничестве с научным руководителем – доктором биологических наук, доцентом Ю.Г. Максимовой. Автором проведён тщательный анализ российской и зарубежной научной литературы по рассматриваемой проблематике, а также выполнена основная экспериментальная часть, включающая физиолого-биохимическую характеристику выделенных из грунта содового шламохранилища изолятов, изучение наличия у них генов нитрилгидратаз, нитрилаз и амидаз, определение их нитрилгидролизующей активности и перспективности для биodeградации в условиях высокого pH и минерализации; изучение способности выделенных изолятов к формированию биопленок в различных физико-химических условиях среды и воздействия галоалкалотолерантных нитрилутилизирующих бактерий на бутадиен-нитрильный каучук.

Сканирующая электронная микроскопия образцов выполнена в лаборатории геологии месторождений полезных ископаемых «Горного института УрО РАН» – филиала ПФИЦ УрО РАН совместно со старшим научным сотрудником Оксаной Викторовной Коротченковой. Спектроскопия с преобразованием Фурье выполнена в лаборатории структурно-химической модификации полимеров «Института технической химии УрО РАН» – филиала ПФИЦ УрО РАН совместно с Ириной Алексеевной Борисовой. Основная экспериментальная работа выполнена автором лично.

Требования п. 14 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции) «О порядке присуждения ученых степеней» выполнены. В диссертации соискатель ссылается на все источники правомерного заимствования материалов или отдельных результатов и их авторов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Полученные Сыровацкой Г.А. результаты представительны и достоверны, что подтверждается их воспроизводимостью. Результаты не противоречат данным литературы и принятым представлениям о физиологии микроорганизмов. Использованные в исследовании методики корректны. Данные были проверены на

нормальность распределения, значимость различий анализировалась с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), $p < 0,05$, с последующим апостериорным тестом Тьюки (HSD). Результаты получены на современном оборудовании, калибровки обоснованы, использованы современные методики сбора и обработки информации. Выводы диссертационной работы обоснованы и согласуются с полученными результатами.

Научная новизна работы.

В настоящем исследовании впервые дана комплексная характеристика нитрил- и амидутилизирующих бактерий из экстремального антропогенного биотопа – содового шламохранилища г. Березники Пермского края, который характеризуется щелочной средой (до pH 11) и высокой минерализацией (до 17 г/л). Непосредственно из содового шлама выделен изолят, обладающий нитрилгидратазной активностью, идентифицированный как *Rhodococcus qingshengii*. Штамм депонирован в коллекцию алканотрофных микроорганизмов под номером IEGM 1416. Из грунта старой карты шламохранилища (pH 8) выделен гидролизующий нитрилы изолят, идентифицированный как *Rhodococcus erythropolis* и депонированный под номером IEGM 1417. У 16 выделенных изолятов изучено наличие генов ферментов гидролиза нитрилов и оценено проявление их ферментативной активности.

Выявлены оптимальные условия культивирования для двух перспективных штаммов родококков, демонстрирующих исключительную толерантность к высоким концентрациям нитрилов и органических растворителей. Показано влияние адаптации перспективных штаммов родококков к агрессивным условиям среды на нитрилгидролизующую активность в различных условиях. Выявлены особенности формирования биопленок у экстремотолерантных нитрилутилизирующих бактериальных изолятов.

Впервые продемонстрирована способность галоалкалотолерантных родококков к росту на материале нитриловых перчаток – бутадиен-нитрильном каучуке (БНК) как единственном источнике азота после предварительной обработки полимера УФ-излучением и трехкратным замораживанием-оттаиванием, моделирующими природное старение. Получены данные о формировании массивных биоплёнок на поверхности фрагментов, выявлены структурные

изменения полимера, выражающиеся в появлении амидных групп, а также подтверждено окислительное старение полимера, увеличивающееся в ряду БНК без обработки – БНК после УФ-облучения – обработанный УФ БНК после инкубации в стерильной минеральной среде – обработанный УФ БНК после роста бактерий. Обнаружена разнонаправленность химических изменений на разных сторонах материала. Показано, что галоалкалотолерантные нитрилутилизирующие родококки осуществляют первичную поверхностную модификацию бутадиен-нитрильного каучука.

Теоретическая и практическая значимость работы. Работа расширяет представления о физиолого-биохимической адаптации галоалкалотолерантных микроорганизмов и распространении нитрилутилизирующих бактерий. Охарактеризованы два изолята – *R. qingshengii* IEGM 1416 и *R. erythropolis* IEGM 1417, выделенные из высокоминерализованного щелочного содового шламохранилища.

Впервые показана биотрансформация бутадиен-нитрильного каучука экстремотолерантными родококками. Выявлено появление амидных групп в ИК-спектрах полимера после культивирования с бактериями, что связывает нитрилгидратазную активность с химической модификацией бутадиен-нитрильного каучука. Биоплёнообразование родококков на поверхности полимера сопровождается его модификацией и ускорением процессов старения и деструкции. Выполненное исследование вносит существенный вклад в фундаментальные представления о процессе ферментативного гидролиза нитрилов и его роли в модификации синтетических акрилонитрильных полимеров.

Практическая значимость работы определяется биотехнологическим потенциалом изученных штаммов. Благодаря устойчивости к широкому диапазону pH и минерализации родококки перспективны для биокаталитического гидролиза нитрилов и биоремедиации загрязнённых сред. Экспериментально показана возможность их использования для биodeградации бутадиен-нитрильного каучука, а предварительная обработка полимера УФ-облучением и замораживанием–оттаиванием усиливает формирование биоплёнки. Полученные результаты создают основу для разработки экологически безопасных методов утилизации отходов бутадиен-нитрильного каучука.

Ценность научных работ соискателя. Ценность научных работ Г.А. Сыровацкой заключается в получении новых знаний о потенциале высокоминерализованных щелочных биотопов антропогенного происхождения как источнике выделения экстремотолерантных микроорганизмов. Дополнено понимание вопроса, связанного с участием нитрильных соединений в азотном цикле. Выделены штаммы, перспективные для трансформации нитрилов в условиях высокого pH и низкой активности воды, а также для разработки технологии процесса утилизации акриловых полимеров. Исследована поверхностная модификация бутадиен-нитрильного каучука при росте экстремотолерантных нитрилгидролизующих бактерий без дополнительного источника азота. Научные работы Г.А. Сыровацкой опубликованы в центральных и региональных изданиях, а также в журналах по специальности, входящих в международные базы данных.

Опубликованные результаты будут востребованы в поиске устойчивых производственных штаммов, осуществляющих трансформацию нитрилов и биодеструкцию нитрилсодержащих полимеров. Результаты диссертации используются при чтении лекций студентам магистратуры биологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета.

Научная специальность, которой соответствует диссертация. По тематике, методам исследования, научным положениям и полученным экспериментальным данным диссертационная работа полностью соответствует паспорту специальности научных работников 1.5.11. Микробиология (биологические науки) в направлении исследований, соответствующих п. 5 (Физиология и метаболизм микроорганизмов, в том числе физиология и физико-химические параметры роста микроорганизмов).

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 12 научных работах, из них 4 работы, опубликованные в журналах белого списка, входящих в перечень ВАК РФ, и индексируемых в международно-аналитических базах Scopus и/или Web of Science. Изложенные материалы полностью отражают результаты диссертационной работы:

1. Maksimova, Yu.G. Nitrile-Hydrolyzing Haloalkalitolerant *Rhodococci* of Soda Sludge Storage / Yu.G. Maksimova, G.A. Syrovatskaya, A.Yu. Maksimov // Indian Journal of Microbiology. – 2026. – V. 66, № 1. – P. 141–149.
2. Syrovatskaya, G.A. Haloalkalitolerant Nitrile-Utilizing *Rhodococcus* Strains Promote the Biodegradation of Nitrile-Butadiene Rubber / G.A. Syrovatskaya, A.Yu. Maksimov, O.V. Korotchenkova, Yu.G. Maksimova // International Journal of Microbiology. – 2026. – V. 2026. – Article 7513883.
3. Сыровацкая, Г.А. Экстремофильные и экстремотолерантные нитрилгидролизующие микроорганизмы: распространение и биотехнологический потенциал (обзор) / Г.А. Сыровацкая, А.Ю. Максимов, Ю.Г. Максимова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2026. – Т. 62, № 4. – С. 509–533.
4. Сыровацкая, Г.А. Филогенетическое разнообразие нитрилутилизующих бактерий содового шламохранилища и их некоторые физиолого-биохимические особенности / Г.А. Сыровацкая, А.Ю. Максимов, Ю.Г. Максимова // Вестник Пермского университета. Серия «Биология». – 2025. – № 3. – С. 279–288.

Диссертация «Физиолого-биохимические свойства нитрилгидролизующих бактерий содового шламохранилища города Березники» Сыровацкой Галины Андреевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.11. Микробиология.

Заключение принято на заседании Проблемной комиссии «ИЭГМ УрО РАН» по специальности «Микробиология». Присутствовало на заседании 11 чел. из 14 списочного состава. Результаты голосования: «за» – 11 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел. Протокол №3 от 22.09.2026

Секретарь заседания Проблемной комиссии
по микробиологии, зам. директора «ИЭГМ УрО РАН»
по научным вопросам,
д.б.н., доцент

Дарья Олеговна Егорова

