

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор Южного
федерального университета,

доктор химических наук

А.В. Метелица

«26» *сентября* 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южный федеральный университет»
на диссертацию Сапожниковой Кристины Юрьевны
«Микробиологический синтез полигидроксиалканоатов
на жиросодержащих субстратах» по специальности 1.5.6. Биотехнология на
соискание учёной степени кандидата биологических наук

Актуальность темы диссертации.

Представленная к защите диссертация Кристины Юрьевны Сапожниковой посвящена исследованию потенциальной возможности биотехнологического синтеза полигидроксиалканоатов (ПГА) при использовании жиросодержащих углеродных субстратов различного происхождения, в том числе отходов, а также изучению состава и физико-химических свойств этих полимеров. ПГА, как известно, обладают благоприятными физико-химическими свойствами, ввиду чего рассматриваются в качестве альтернативы синтетическим пластикам и находят применение в различных отраслях. Основная проблема биотехнологии ПГА – высокая стоимость производства этих полимеров, поэтому поиск более дешёвых субстратов является актуальным направлением исследований. Привлечение жировых субстратов потенциально может снизить затраты на получение ПГА, однако, особенностью использования такого типа субстрата является его нерастворимость в питательных средах, что снижает его доступность для продуцентов. Это подразумевает использование микроорганизмов, обладающих липолитической активностью для утилизации такого субстрата, а также специализированных условий их культивирования. Это направление исследований находится в процессе становления и является перспективным.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.

Результаты исследований диссертационной работы соответствуют пп. 2 (Генетические, селекционные и иммунологические исследования в прикладной

микробиологии, вирусологии и цитологии. Технологии культивирования микроорганизмов-продуцентов, культур тканей и клеток растений и животных), 3 (Микробная и клеточная биотехнология), 26 (Технологии биополимеров и биокompозитных материалов) паспорта специальности 1.5.6. Биотехнология.

Исследован биотехнологический синтез биоразрушаемых полимеров (ПГА) при использовании ранее не изученных жиросодержащих субстратов различного происхождения высокопродуктивным природным штаммом бактерий *Cupriavidus necator* В-10646. В работе рассмотрены различные группы жиросодержащих углеродных субстратов на предмет пригодности и эффективности их использования в качестве источника углерода для синтеза резервных ПГА. Результаты свидетельствуют о перспективности и эффективности привлечения жиросодержащих источников углерода, в частности низкостоймых отходов пищевой промышленности, в качестве нового и малоисследованного субстрата для синтеза биополимеров и являются основой для дальнейшего масштабирования процесса биосинтеза «зеленых пластиков».

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

Научная новизна диссертации не вызывает сомнений. Впервые показана способность природного штамма *C. necator* В-10646 к росту на жиросодержащих углеродных субстратах различного происхождения и состава, в том числе на жировых отходах рыбопереработки. Впервые продемонстрирована пригодность использования этих источников углерода для биосинтеза ПГА исследованным штаммом. Установлено, что жиросодержащие углеродные субстраты, включая отходы рыбопереработки, позволяют получать сополимерные ПГА с макровключениями 3-гидроксивалерата и 4-гидроксибутирата, характеризующиеся пониженной степенью кристалличности, что облегчает переработку этих полимеров в изделия и улучшает потребительские свойства полученных из них продуктов.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов.

Результаты диссертационной работы расширяют представления о закономерностях синтеза ПГА на жиросодержащих субстратах различного происхождения и доказывают принципиальную возможность использования этого класса источников углерода. С практической точки зрения в работе разработана и реализована биотехнология производства востребованных целевых продуктов (разрушаемых биопластиков ПГА) при использовании в качестве углеродного субстрата жиросодержащего сырья, в частности, отходов рыбопереработки. Это позволяет снизить экономические затраты на синтез ПГА разного состава и свойств.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Диссертационная работа представляет собой комплексное исследование, основанное на использовании базовых методов биотехнологии, а также классических микробиологических и физико-химических методов. Достоверность результатов подтверждается не только комплексным характером диссертационной работы, но и числом экспериментов, проведенных на отдельных этапах исследования, а также соответствующей адекватной статистической обработкой полученных данных. Обоснованность научных результатов доказана достаточно репрезентативной группой исследованных объектов: 15 различных жиросодержащих источников углерода, относящихся к различным группам соединений (растительные масла, жирные кислоты, жировые отходы рыбопереработки, низкосортные животные жиры), а также 4 типа прекурсоров, использованных для синтеза сополимеров четырех типов на указанных жировых субстратах. Научные положения и выводы работы основаны на изучении большого числа фундаментальных и прикладных работ отечественных и зарубежных авторов. Полученные результаты систематизированы и сопоставлены с известными опубликованными данными других исследователей. Выводы диссертации соответствуют поставленным задачам и согласуются с основными результатами проведенного исследования.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению.

Диссертационная работа Кристины Юрьевны Сапожниковой носит завершенный характер и оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ, построена по традиционному плану и состоит из введения, главы обзора литературы, главы, освещающей объекты и методы исследования, трех глав собственных результатов и обсуждений, заключения, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 184 источника, в том числе 5 отечественных и 179 иностранных. Работа изложена на 113 страницах, проиллюстрирована 32 рисунками и 15 таблицами.

Во «Введении» соискатель обосновывает актуальность темы исследования, излагает цель и задачи работы, формулирует положения, выносимые на защиту, обозначает научную новизну, теоретическую и практическую значимость работ, апробацию результатов.

Глава «Обзор литературы» содержит актуальные данные о характеристике микробных полигидроксиалканоатов как объекте исследования и ценном продукте биотехнологии. Автор работы дает представление о микроорганизмах-продуцентах ПГА, субстратах и свойствах полимеров, областях их применения. Стоит отметить цитирование в тексте значительного количества современных литературных

источников (2016-2024 гг), что подчеркивает актуальность и интерес научного сообщества к вопросу расширения субстратной базы для синтеза ПГА.

Глава «Объекты и методы исследований» содержит подробное описание использованных в работе материалов и методов. Дана детальная информация по реагентам, протоколам анализов, что сопровождается ссылками на первоисточники.

Результаты собственных исследований и их обсуждение изложены в третьей, четвертой и пятой главах. В третьей главе представлено исследование закономерностей синтеза ПГА на жирах растительного происхождения (растительные масла – пальмовое, рыжиковое и подсолнечное в двух вариантах, а также на индивидуальных жирных кислотах (насыщенных - лауриновая, миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, а также моноеновой - олеиновой).

В четвертой главе рассмотрены жировые отходы рыбопереработки и низкосортные животные жиры как субстраты для биотехнологического синтеза ПГА, показана перспективность их применения.

Пятая глава описывает химический состав и свойства ПГА, синтезированных на жировых субстратах. В главе освещен синтез сополимерных ПГА, полученных на жировых субстратах при добавлении прекурсоров соответствующих мономеров. В отношении всех полученных образцов ПГА исследованы их физико-химические свойства, включая анализ молекулярно-массового распределения, термическое поведение, степень кристалличности.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

Содержание автореферата полностью отражает основные идеи и выводы диссертационной работы.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

Основные результаты диссертационного исследования полностью отражены в 25 работах, среди которых 10 статей в международных высокорейтинговых научных изданиях, входящих в международные системы научного цитирования Web of Science и Scopus (большая часть которых относится к Q1-2), 1 патент РФ, 14 тезисов в материалах конференций.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней № 842 от 24 сентября 2013 г.

Таким образом, диссертация Сапожниковой Кристины Юрьевны является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи расширения субстратно-сырьевой базы для синтеза биоразрушаемых полигидроксикарбоновых кислот и повышения экономической эффективности процесса путем привлечения дешевых источников углерода, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, и соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного

постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Отзыв подготовлен доктором биологических наук по специальности 1.5.4. «Биохимия» г.н.с., с.н.с. Академии биологии и медицины им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета Владимиром Анатольевичем Чистяковым.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры биохимии и микробиологии Академии биологии и медицины им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета, протокол № 3 от «26» декабря 2025 г.

Г.н.с., с.н.с. Академии биологии и медицины им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета доктор, биологических наук,


Владимир Анатольевич Чистяков

И.о. заведующего кафедрой
биохимии и микробиологии Академии биологии и медицины им. Д.И.
Ивановского Южного федерального университета, кандидат биологических наук,
доцент


Андрей Владимирович Городцов



Государственное автономное
образование высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Личную подпись Городцов А.В.

ЗАВЕРЕНО:

Главный специалист по управлению персоналом

 Подшивалова М. И.
«26» декабря 2025 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Южный федеральный университет»
344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая
Садовая, 105/42

8(863) 305-19-90, info@sfedu.ru