



ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ  
ОСНОВЫ БИОТЕХНОЛОГИИ»  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

119071, Москва, Ленинский пр-т, д. 33, стр. 2  
Тел. +7 (495) 954-52-83, факс (495) 954-27-32  
www.fbras.ru, info@fbras.ru

28.03.2025

№ 85-01-19/364

На №

от

УТВЕРЖДАЮ:

Директор  
ФИЦ Биотехнологии РАН  
доктор биологических наук

А.Н. Федоров

2025 г.



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук» по диссертационной работе Сулейманова Р.З. «Поиск и метаболическая инженерия новых метанотрофных бактерий как продуцентов кормового белка для аквакультуры»**

Диссертационная работа «Поиск и метаболическая инженерия новых метанотрофных бактерий как продуцентов кормового белка для аквакультуры» была выполнена в лаборатории молекулярной экологии и филогеномики бактерий Института микробиологии им. С.Н. Виноградского Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук» (ФИЦ Биотехнологии РАН).

Сулейманов Руслан Закиевич, 1996 года рождения, в 2018 г. закончил программу бакалавриата Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина по направлению «Биология». В 2022 г. окончил магистерскую программу Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова по направлению «Микробиология». С 2020 по 2024 гг. обучался в очной аспирантуре Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук» по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки, профиль 1.5.11. Микробиология. С 2020 г. по настоящее время Сулейманов Р.З. работает в лаборатории молекулярной экологии и филогеномики бактерий Института микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН в должности младшего научного сотрудника.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана 14 марта 2025 г. в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук».

Тема диссертационной работы утверждена на заседании Ученого совета Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук» (протокол № 5 от 05.10.2020 г.)

Научный руководитель: Дедыш Светлана Николаевна, доктор биологических наук, зав. лабораторией молекулярной экологии и филогеномики бактерий Института микробиологии им. С.Н. Виноградского Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук».

Подготовленная диссертационная работа Сулейманова Р.З. была представлена 14 марта 2025 г. на совместном семинаре лабораторий молекулярной экологии и филогеномики бактерий, реликтовых микробных сообществ, метаболизма экстремофильных прокариот, разнообразия и экологии экстремофильных микроорганизмов Института микробиологии им. С.Н. Виноградского Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

#### **Актуальность темы работы**

Аэробные метанотрофные бактерии – уникальная группа прокариот, способная использовать метана (СН<sub>4</sub>) в качестве источника углерода и энергии. Их деятельность является важным звеном в глобальном цикле углерода, являясь «метановым фильтром» на пути эмиссии этого парникового газа в атмосферу. Однако, помимо экологической функции, эти микроорганизмы обладают значительным биотехнологическим потенциалом. Преобразуя метан – доступное и экономически выгодное сырье – они открывают путь к созданию устойчивых производств продуктов с добавленной стоимостью. Примером такой конверсии метана может быть производство кормового белка. Одним из важных преимуществ таких технологий является значительное сокращение потребления водных и земельных ресурсов по сравнению с традиционными производствами животного или растительного белка. Производимая метанотрофами биомасса по содержанию незаменимых аминокислот не уступает рыбной муке, а по некоторым параметрам превосходит растительные аналоги. Это особенно актуально для России, где дефицит отечественных кормов и зависимость от импорта остаются ключевыми препятствиями для развития такой отрасли сельского хозяйства, как аквакультура. Для промышленного производства белка наиболее перспективны термотолерантные или умеренно термофильные метанотрофы с высокой скоростью роста. Однако, доступное сегодня разнообразие штаммов-продуцентов ограничено представителями рода *Methylococcus*. Введенный в России ГОСТ Р № 71301-2024 на белковую кормовую добавку на основе метанооксиляющих бактерий (Гаприн) предполагает применение именно штаммов *Ms. capsulatus*. Однако, представители этого рода не способны к синтезу каротиноидов, являющихся важным компонентом кормов для аквакультуры, поэтому актуальной задачей является не только увеличение разнообразия биотехнологически перспективных представителей рода *Methylococcus*, но и поиск

быстрорастущих метанотрофов, синтезирующих каротиноиды. Еще одна проблема – зависимость существующих технологий от доступности пресной воды. В условиях глобального дефицита этого ресурса особое значение приобретает разработка биотехнологий культивирования метанотрофов на морской воде с получением белка. Решение этих задач позволит создать более универсальные и экологически чистые биотехнологии, как основы будущей биоэкономики.

Таким образом, поиск альтернативных продуцентов с улучшенными свойствами является одной из актуальных задач в биотехнологии получения кормового белка на основе метанотрофных микроорганизмов. Одним из необходимых условий выбора метанотрофного штамма-продуцента является анализ последовательности его генома, что позволяет получить информацию о метаболическом потенциале микроорганизма и открывает возможности его оптимизации с помощью подходов метаболической инженерии.

### **Конкретное участие автора в получении научных результатов**

Данные, представленные в данной работе, были получены лично автором или при его непосредственном участии на всех этапах исследований, включая планирование и проведение экспериментов, сбор и обработку данных, оформление результатов и подготовку их к публикации.

### **Степень обоснованности научных положений, рекомендаций и выводов, полученных соискателем**

Диссертационная работа выполнена с применением методов классической и молекулярной микробиологии. Представленные в работе данные были получены с использованием современных методов и современного сертифицированного оборудования. Достоверность полученных данных подтверждена с использованием методов статистической обработки и оценки погрешности результатов. Обоснованность научных положений, сделанных на основании полученных в работе результатов, подтверждена их публикациями в рецензируемых научных журналах.

### **Научная новизна работы**

В ходе работы из образцов с высоким содержанием метана и кислорода был получен спектр новых изолятов родов метанотрофных бактерий *Methylococcus*, *Methylomonas* и *Methylomarinum*. С использованием методов периодического культивирования, а также культивирования в биореакторе, были определены их ростовые и продукционные характеристики. Полные последовательности геномов новых изолятов метанотрофов были определены и депонированы в GenBank, что существенно расширило число доступных геномов этой группы микроорганизмов. Показано, что редактирование геномов представителей *Methylococcus* позволяет получить штаммы с улучшенными биотехнологическими характеристиками. Описаны два новых вида метанотрофов рода *Methylomonas* – *Mm. rapida* и “*Mm. montana*”. Показан высокий потенциал *Mm. rapida* для получения кормового белка, обогащенного каротиноидами. Описанный в работе “*Mm.*

*montana*” является первым и пока единственным видом рода *Methylomonas*, представители которого не синтезируют пигменты. Описан новый вид галофильных метанотрофов рода *Methylomarinum*, “*Mr. roseum*”, способный расти на средах, сходных по составу с морской водой. Типовые штаммы новых видов метанотрофов депонированы в международных коллекциях микроорганизмов.

### **Практическая значимость**

Полученные в работе новые штаммы метанотрофных бактерий родов *Methylococcus*, *Methylomonas* и *Methylomarinum* имеют высокий потенциал для использования в качестве продуцентов кормового белка из метана. Ростовые характеристики штаммов рода *Methylococcus*, KN2 и MIR, не уступают таковым у известных штаммов-продуцентов *Mc. capsulatus* Bath и *Mc. capsulatus* ВСБ-874. Полученный в работе штамм *Mc. capsulatus* MIR с делециями генов гликогенсинтаз *glgA1* и *glgA2* имеет сокращенную лаг-фазу с быстрым переходом к логарифмической фазе роста, что экономически выгодно для биотехнологических процессов с использованием накопительного и отъемно-доливного режимов.

Новые штаммы рода *Methylomonas* способны продуцировать обогащенный каротиноидами биопроtein, который может быть востребован на рынке кормов для аквакультуры.

Изолят рода *Methylomarinum* может найти применение в технологии получения биопроteина на морской воде или грунтовых водах повышенной солености, что актуально для производств, расположенных в регионах с дефицитом пресной воды.

### **Специальность, которой соответствует диссертация**

Диссертационная работа Сулейманова Р.З. соответствует п. 1 «Систематика и филогения микроорганизмов», п. 3 «Биологическое разнообразие микроорганизмов, включая разнообразие типов энергетического обмена и источников углерода», п. 5 «Физиология и метаболизм микроорганизмов, в том числе физиология и физико-химические параметры роста микроорганизмов», п. 11 «Геномный и метагеномный анализ микроорганизмов и их сообществ» и п. 17 «Экстремофильные микроорганизмы, в том числе термофильные, галофильные, афидофильные и алкалофильные микроорганизмы» паспорта специальности 1.5.11. «Микробиология», отрасль науки – Биологические науки.

### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем научной степени**

Соискатель имеет 9 печатных работ по теме диссертации, из которых 9 экспериментальных статей в изданиях, входящих в международные системы научного цитирования Scopus и Web of Science. Результаты исследований изложены в виде стендовых докладов на всероссийских и международных конференциях. Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Ошкин И.Ю., Данилова О.В., Сулейманов Р.З., Тихонова Е.Н., Малахова Т.В., Мурашова А.И., Пименов Н.В., Дедыш С.Н. Термотолерантные метанотрофные

- бактерии из осадков реки Черная, Крым, и оценка их ростовых характеристик // Микробиология. – 2021. – Т. 90(5). – С. 553–563.
2. Oshkin I.Y., Danilova O.V., But S.Y., Miroshnikov K.K., **Suleimanov R.Z.**, Belova S.E., Tikhonova E.N., Kuznetsov N.N., Khmelenina V.N., Pimenov N.V., Dedysh S.N. Expanding characterized diversity and the pool of complete genome sequences of *Methylococcus* species, the bacteria of high environmental and biotechnological relevance // *Frontiers in Microbiology*. – 2021. – V. 12. – art. 756830.
  3. Oshkin I.Y., **Suleimanov R.Z.**, Khmelenina V.N., Mardanov A.V., Pimenov N.V., Dedysh S.N. Complete genome sequence of *Methylococcus capsulatus* MIR, a methanotroph capable of growth on methanol // *Microbiology Resource Announcements*. – 2022. – V. 11(9). – art. e00542-22.
  4. Oshkin I.Y., Tikhonova E.N., **Suleimanov R.Z.**, Ashikhmin A.A., Ivanova A.A., Pimenov N.V., Dedysh S.N. All kinds of sunny colors synthesized from methane: genome-encoded carotenoid production by *Methylomonas* species // *Microorganisms*. – 2023. – V. 11(12). – art. 2865.
  5. **Сулейманов Р.З.**, Тихонова Е.Н., Ошкин И.Ю., Данилова О.В., Дедыш С.Н. *Methylomonas montana* sp. nov., первый непигментированный метанотроф рода *Methylomonas*, выделенный из донных отложений горной реки // *Микробиология*. – 2023. – Т. 92(6) – С. 766-774.
  6. Tikhonova E.N., **Suleimanov R.Z.**, Miroshnikov K.K., Oshkin I.Y., Belova S.E., Danilova O.V., Ashikhmin A.A., Konopkin A.A., But S.Y., Pimenov N.V., Dedysh S.N. *Methylomonas rapida* sp. nov., a novel species of fast-growing, carotenoid-producing obligate methanotrophs with high biotechnological potential // *Systematic and Applied Microbiology*. – 2023. – V. 46(2). – art. 126398.
  7. Tikhonova E.N., **Suleimanov R.Z.**, Oshkin I.Y., Konopkin A.A., Fedoruk D.V., Pimenov N.V., Dedysh S.N. Growing in saltwater: biotechnological potential of novel *Methylotuvimicrobium*-and *Methylomarinum*-like methanotrophic bacteria // *Microorganisms*. – 2023. – V. 11(9). – art. 2257.
  8. But S.Y., **Suleimanov R.Z.**, Oshkin I.Y., Rozova O.N., Mustakhimov I.I., Pimenov N.V., Dedysh S.N., Khmelenina V.N. New solutions in single-cell protein production from methane: construction of glycogen-deficient mutants of *Methylococcus capsulatus* MIR // *Fermentation*. – 2024. – V. 10(5). – art. 265.
  9. **Suleimanov R.Z.**, Oshkin I.Y., Danilova O.V., Suzina N.E., Dedysh S.N. *Methylomarinum roseum* sp. nov., a novel halophilic methanotrophic bacterium from the hypersaline lake Elton // *Microbiology*. – 2024. – V. 93(6). – P. 724-729.

Считать диссертационную работу Сулейманов Руслана Закиевича «Поиск и метаболическая инженерия новых метанотрофных бактерий как продуцентов кормового белка для аквакультуры» законченным научно-квалификационным исследованием, которое соответствует пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством РФ от 24.09.2023 г. № 842 (с изменениями и дополнениями в редакции № 62 от 25.01.2024). Работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и может быть представлена к защите на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.11.

Микробиология.

Заключение по диссертации Сулейманова Р.З. «Поиск и метаболическая инженерия новых метанотрофных бактерий как продуцентов кормового белка для аквакультуры» принято на совместном научном семинаре лабораторий молекулярной экологии и филогеномики бактерий, реликтовых микробных сообществ, метаболизма экстремофильных прокариот, разнообразия и экологии экстремофильных микроорганизмов Института микробиологии им. С.Н. Виноградского Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук» путем открытого голосования. Результаты голосования: «за» – 37 человек, «против» – нет, «воздержавшихся» – нет. Протокол № 7 от 14.03.2025 г.

Председатель семинара

зав. лабораторией реликтовых микробных сообществ

д.б.н.

  
\_\_\_\_\_ / Пименов Н.В./

Рецензент

зав. лабораторией разнообразия и экологии экстремофильных микроорганизмов


д.б.н. .

  
\_\_\_\_\_ / Слободкин А.И./

Рецензент

зав. лабораторией метаболизма экстремофильных прокариот

к.б.н.

  
\_\_\_\_\_ /Фролов Е.Н. /

Секретарь

с.н.с. лаборатории молекулярной экологии и филогеномики бактерий

к.б.н.

  
\_\_\_\_\_ /Белова С.Э./