

Проректор по науке, инновациям и  
цифровизации ФГБОУ ВО «ВГУ»

1

ориентированной селекции сахарной свеклы, с 2025 г. — в должности научного сотрудника. С 2020 г. по настоящее время также работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет» на кафедре биохимии и физиологии клетки медико-биологического факультета в должности младшего научного сотрудника.

Сведения о сдаче кандидатских экзаменов по истории и философии науки и иностранному языку приведены в приложении к диплому об окончании аспирантуры Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки.

Справка о сдаче кандидатского экзамена по специальности «Микробиология» выдана в 2022 году Федеральным государственным учреждением «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук».

Научный руководитель: Грабович Маргарита Юрьевна, доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», медико-биологический факультет, кафедра биохимии и физиологии клетки, профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

#### **Актуальность темы работы**

Актуальность работы определяется тем, что, несмотря на длительную историю изучения *Beggiatoaceae*, сведения о физиологии и метаболизме большинства представителей семейства остаются ограниченными, в том числе вследствие трудностей их выделения и культивирования. При этом накопление геномных и метагеномных данных выявило необходимость дальнейшего уточнения таксономической структуры семейства и сопоставления новых геномных данных с ранее описанными таксонами.

Не менее значимой остается проблема диссимиляционного серного метаболизма представителей рода *Beggiatoa*. Несмотря на хорошо известную способность этих бактерий окислять восстановленные соединения серы и накапливать внутриклеточную элементную серу, механизмы ее накопления и последующего превращения изучены недостаточно. В частности, до настоящего исследования оставались неясными причины различий между штаммами *B. leptomitiformis* D-401 и D-402 по способности к накоплению внутриклеточной серы, а также механизм дальнейшего окисления запасенной элементной серы.

**Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

Результаты, представленные в диссертационной работе, получены Руденко Т.С. лично или при ее непосредственном участии на всех этапах исследования, включая постановку научной задачи, планирование экспериментов, анализ и систематизацию данных, интерпретацию результатов, формулирование основных выводов работы и подготовку полученных результатов к публикации.

#### **Степень достоверности и обоснованности результатов проведенных исследований**

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью постановки экспериментов, использованием современных методов исследования и оборудования, воспроизводимостью экспериментальных данных, а также их статистической обработкой.

Обоснованность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждается комплексным характером проведенных исследований и согласованностью результатов, полученных с использованием микробиологических, биохимических, молекулярно-генетических, протеомных, структурно-биологических и биоинформатических подходов. Методология работы была основана на сочетании экспериментальных исследований и анализа геномных данных.

#### **Научная новизна результатов проведенных исследований**

Научная новизна диссертационной работы определяется получением новых данных о механизмах накопления и превращения внутриклеточной элементной серы у *Beggiatoa leptomitiformis*, а также уточнением таксономической структуры семейства *Beggiatoaceae*.

1. Впервые проведен детальный сравнительный геномный анализ штаммов *B. leptomitiformis* D-401 и D-402, характеризующихся выраженными фенотипическими и физиолого-биохимическими различиями при чрезвычайно высоком уровне геномного сходства. Показано, что при идентичном составе генов диссимиляционного метаболизма соединений серы неспособность штамма D-401 к накоплению внутриклеточной элементной серы ассоциирована с транспозонной вставкой в гене предполагаемого белка оболочки серных глобул.

2. Предложен и экспериментально обоснован механизм превращения внутриклеточной элементной серы у *B. leptomitiformis* D-402, в котором ключевую роль играет персульфиддиоксигеназа (PDO). Показана возможная функциональная взаимосвязь PDO и Sox-системы, позволяющая рассматривать внутриклеточную элементную серу как опосредованный эндогенный донор электронов для энергетического метаболизма клетки.

3. Впервые у *B. leptomitiformis* выявлена и охарактеризована персульфиддиоксигеназа I типа, катализирующая кислородзависимое окисление глутатионперсульфида. Определены ее основные физико-химические и биохимические свойства. Впервые для представителя нитчатых бесцветных

сероокисляющих бактерий получена кристаллическая структура персульфиддиоксигеназы, депонированная в базе PDB под номером 8ZBD.

4. Уточнена таксономическая структура семейства *Beggiatoaceae*. На основании анализа новых MAG и доступных геномных последовательностей установлено соответствие кандидатного рода «UBA10656» роду *Candidatus Parabeggiatoa*, а представители кандидатного рода «BB20» отнесены к новому роду *Candidatus Albibeggiatoa* gen. nov. MAG WS\_Bin1 отнесен к виду *Candidatus Parabeggiatoa communis*, тогда как MAG WS\_Bin3 представляет новый род и вид *Candidatus Albibeggiatoa psychrophila* gen. nov., sp. nov. Сравнительный анализ геномов представителей исследованных родов выявил различия в их метаболическом потенциале, прежде всего в метаболизме азота и углерода.

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов проведенных исследований**

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в расширении представлений о механизмах накопления и окисления внутриклеточной элементной серы у нитчатых бесцветных серобактерий, в частности у *Beggiatoa leptomitiformis*, а также о филогенетическом разнообразии и таксономической структуре семейства *Beggiatoaceae*. Полученные результаты дополняют современные представления о физиологии и диссимиляционном серном метаболизме представителей семейства.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных данных при дальнейшем изучении представителей семейства *Beggiatoaceae*, играющих важную роль в биогеохимических циклах серы и азота в водных экосистемах. Особенности распространения представителей семейства *Beggiatoaceae* и формирование ими бактериальных матов могут служить индикаторами гипоксических и сульфидных условий, высокой органической нагрузки и нарушений кислородного режима в донных осадках. Вместе с тем возможности непосредственного практического использования представителей семейства в настоящее время ограничены трудностями их культивирования и недостаточной изученностью физиологии и метаболизма.

#### **Ценность научных работ соискателя и полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах**

По теме диссертации Руденко Т.С. опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 статьи в международных рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, и 5 тезисов конференций. Материалы диссертационной работы были представлены на международных и всероссийских научных конференциях.

Статьи в научных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science:

1. **Rudenko T.S., Tarlachkov S.V., Shatskiy N.D., Grabovich M.Y.** Comparative genomics of *Beggiatoa leptomitiformis* strains D-401 and D-402<sup>T</sup> with contrasting

- physiology but extremely high level of genomic identity // *Microorganisms*. — 2020. — V. 8, № 6. — P. 928. doi: 10.3390/microorganisms8060928.
2. **Rudenko T.S.**, Trubitsina L.I., Terentyev V.V., Trubitsin I.V., Borshchevskiy V.I., Tishchenko S.V., Gabdulkhakov A.G., Leontievsky A.A., Grabovich M.Y. Mechanism of intracellular elemental sulfur oxidation in *Beggiatoa leptomitiformis*, where persulfide dioxygenase plays a key role // *International Journal of Molecular Sciences*. — 2024. — V. 25, № 20. — P. 10962. doi: 10.3390/ijms252010962.
  3. Ravin N.V., **Rudenko T.S.**, Beletsky A.V., Smolyakov D.D., Mardanov A.V., Grabovich M.Y., Muntyan M.S. Phylogeny and metabolic potential of new giant sulfur bacteria of the family *Beggiatoaceae* from coastal-marine sulfur mats of the White Sea // *International Journal of Molecular Sciences*. — 2024. — V. 25, № 11. — P. 6028. doi: 10.3390/ijms25116028.

Тезисы докладов на российских и международных конференциях:

1. Мунтян М.С., **Руденко Т.С.**, Равин Н.В., Грабович М.Ю. Метаболический потенциал новых серных бактерий семейств *Beggiatoaceae* и *Thiotrichaceae* // Физико-химическая биология в год 270-летия МГУ. Сборник материалов международной научной конференции, посвященной 120-летию со дня рождения А.Н. Белозерского и 90-летию со дня рождения В.П. Скулачёва, Москва, 20–22 февраля 2025 г. — Москва: Издательство Московского университета, 2025. — С. 132–133. ISBN 978-5-19-012229-9.
2. Грабович М.Ю., **Руденко Т.С.**, Смольяков Д.Д., Равин Н.В. Геномика и физиология нитчатых бесцветных серобактерий // Биоинформатика регуляции и структуры геномов / системная биология: Четырнадцатая международная мультikonференция: Тез. докл. (Россия, Новосибирск, 5–10 авг. 2024 г.). — Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2024. — С. 1390–1394. ISBN 978-5-91291-067-8.
3. **Руденко Т.**, Трубицина Л., Грабович М. Механизм окисления элементной серы у представителя нитчатых серобактерий из семейства *Beggiatoaceae* — *Beggiatoa leptomitiformis* // Тезисы 4-го Российского микробиологического конгресса (Томск, 24–29 сентября 2023 г.). — С. 151–152.
4. **Руденко Т.**, Тарлачков С., Трубицина Л., Грабович М. Новые аспекты метаболизма бесцветных нитчатых серобактерий // 3-й Российский микробиологический конгресс (г. Псков, 26 сен. – 1 окт. 2021 г.): материалы конгресса. — Псков: Псковский государственный университет, 2021. — С. 78–79. ISBN 978-5-00200-015-9.
5. **Rudenko T.**, Tarlachkov S., Grabovich M. Revealing of reasons for remarkable phenotypic differences between *Beggiatoa leptomitiformis* strains D-401 and D-402<sup>T</sup> // FEMS 2020 ONLINE Conference on Microbiology (28–31 October 2020, Belgrade, Serbia). — P. 455.

Результаты, представленные в опубликованных работах Руденко Т.С., расширяют представления о механизмах накопления и превращения внутриклеточной элементной серы у *Beggiatoa leptomitiformis* и вносят вклад в уточнение филогении и таксономии семейства *Beggiatoaceae*. Основные результаты и положения диссертационной работы в достаточной степени отражены в опубликованных научных трудах соискателя.

**Соответствие диссертации требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа Руденко Т.С. «Новые аспекты диссимиляционного серного метаболизма *Beggiatoa leptomitiformis* и филогеномный анализ новых представителей семейства *Beggiatoaceae*» соответствует требованиям п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842.

При использовании в диссертации заимствованных материалов или отдельных результатов приведены ссылки на их авторов и (или) источники заимствования. При использовании результатов научных работ, выполненных Руденко Т.С. лично и (или) в соавторстве, данное обстоятельство отмечено в диссертации.

**Научная специальность, отрасль науки, которой соответствует диссертация**

Диссертационная работа Руденко Т.С. соответствует п. 1 «Систематика и филогения микроорганизмов», п. 5 «Физиология и метаболизм микроорганизмов», п. 7 «Ферменты микроорганизмов» и п. 11 «Геномный и метабеномный анализ микроорганизмов и их сообществ» паспорта научной специальности 1.5.11 «Микробиология», отрасль науки — биологические науки.

Считать диссертационную работу Руденко Т.С. «Новые аспекты диссимиляционного серного метаболизма *Beggiatoa leptomitiformis* и филогеномный анализ новых представителей семейства *Beggiatoaceae*» законченным научно-квалификационным исследованием, соответствующим требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции от 18.07.2026).

Диссертация «Новые аспекты диссимиляционного серного метаболизма *Beggiatoa leptomitiformis* и филогеномный анализ новых представителей семейства *Beggiatoaceae*» Руденко Татьяны Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.11 — Микробиология.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры биохимии и физиологии клетки медико-биологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» с участием кафедры генетики, цитологии и биоинженерии, кафедры биофизики и биотехнологии, кафедры медицинской биохимии, молекулярной и клеточной биологии.

Присутствовало на заседании 12 человек. Результаты голосования: «за» — 12 чел., «против» — нет, «воздержалось» — нет, протокол № 9 от 09.09.2026 г.



Федорин Дмитрий Николаевич,  
кандидат биологических наук, доцент,  
медико-биологический факультет,  
кафедра биохимии и физиологии  
клетки, заведующий

тел.: +7 (473) 220-88-77

e-mail: [rybolov@mail.ru](mailto:rybolov@mail.ru)

ФГБОУ ВО «ВГУ», 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1.;  
тел.: +7 (473) 220-75-21, e-mail: [office@main.vsu.ru](mailto:office@main.vsu.ru)

