

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 1 июня 2026 г № 6

О присуждении Шельгиной Светлане Николаевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Спектрально-селективная инактивация бактерий инфракрасным излучением фемтосекундного лазера» по специальности 1.3.19 — Лазерная физика принята к защите 23 марта 2026 года, (протокол заседания №3) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель, Шельгина Светлана Николаевна, 13 сентября 1994 года рождения, в 2018 году окончила магистратуру Университета ИТМО по направлению подготовки 12.04.05 «Лазерная техника и лазерные технологии». В 2020 году поступила в аспирантуру ФИАН, которую окончила в 2024 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана ФИАН в 2024 году. С 2020 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника в лаборатории лазерной нанопластики и биомедицины Центра лазерных и нелинейно-оптических технологий Отделения квантовой радиофизики им. Н. Г. Басова ФИАН.

Диссертационная работа С. Н. Шелыгиной выполнена в Отделении квантовой радиофизики им. Н.Г. Басова ФИАН.

Научный руководитель: Кудряшов Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, доцент, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией лазерной нанофизики и биомедицины Отделения квантовой радиофизики им. Н. Г. Басова ФИАН.

Официальные оппоненты

1. Тучин Валерий Викторович, член-корреспондент РАН, профессор, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой оптики и биофотоники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»;
2. Горин Дмитрий Александрович, доктор химических наук, профессор Центра фотоники и квантовых материалов Автономной некоммерческой образовательной организации высшего профессионального образования «Сколковский институт науки и технологий»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), город Москва, в своем положительном отзыве, подписанном доктором биологических наук, профессором РАН Гудковым Сергеем Владимировичем, руководителем Центра биофотоники ИОФ РАН, и утвержденном академиком РАН, доктором физико-математических наук Гарновым Сергеем Владимировичем, директором ИОФ РАН, указала, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской

Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ, из них 6 работ опубликовано в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем С. Н. Шельгиной работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Kompanets V. O., Kudryashov S. I., Tolordava E. R., Shelygina S. N., Sokolova V. V., Saraeva I. N., Kovalev M. S., Ionin A. A., Chekalin S. V. Femtosecond Infrared Laser Spectroscopy of Characteristic Molecular Vibrations in Bacteria in the 6- μm Spectral Range // JETP Letters. – 2021. – Vol. 11. – Issue 6. – P.365-369. – DOI: 10.1134/S0021364021060060;
2. Kompanets V.O. Shelygina S.N., Tolordava E.R., Kudryashov S.I., Saraeva I.N., Rupasov A.E., Baitsaeva O.I., Khmel'nitskii R.A., Ionin A.A., Yushina Y. K., Chekalin S.V., Kovalev M.S. Spectrally-selective mid-IR laser-induced inactivation of pathogenic bacteria //Biomedical Optics Express. – 2021. – T. 12. – №. 10. – С. 6317-6325. – DOI: 10.1364/BOE.434969;
3. Shelygina S. N., Kompanets V. O., Tolordava E.R., Gonchukov S., Chekalin S.V. and Kudryashov S.I. Ultrafast spectroscopy of CH vibrations in pathogenic bacteria in 3- μm spectral range //Laser Physics Letters. – 2021. – T. 19. – №. 1. – С. 015602. – DOI: 10.1088/1612-202X/ac3eea;
4. Saraeva I. N., Tolordava E.R., Shelygina S.N., Nastulyavichus A.A., Khmel'nitskii R.A., Pokryshkin N., Khmelenin D., Kudryashov S.I., Ionin A.A. and Akhmatkhanov A. FT-IR analysis of *P. aeruginosa* bacteria inactivation by femtosecond IR laser radiation //International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – T. 24. – №. 6. – С. 5119. – DOI: 10.3390/ijms24065119;

5. Shelygina S.N., Saraeva I.N., Tolordava E.R., Nastulyavichus A.A., Kudryashov S.I. Infrared laser inactivation of pathogenic bacteria through a polyethylene film // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2023. – DOI: 10.3103/S1068335623100081;
6. Kudryashov S.I., Shelygina S.N., Kompanets V.O., Chekalin S.V., Efremov I.M., Stolyarov A.V., Tolordava E.R. Microscopic mechanism of protein and nucleic acid denaturation in *P. aeruginosa* bacteria under resonant absorption of femtosecond laser pulses at 6 μm wavelength // JETP Letters. - 2025. - Vol. 122. - No. 3. - DOI: 10.31857/S0370274X25080114.

На автореферат диссертации поступил отзыв от доктора медицинских наук Аветисян Лусине Ремуальдовны, заведующей лабораторией эпидемиологии оппортунистических инфекций Национального исследовательского центра эпидемиологии и микробиологии имени Н. Ф. Гамалеи. В отзыве Аветисян Л. Р. отмечается, что новизна работы состоит в демонстрации эффективного метода инактивации микроорганизмов излучением фемтосекундного лазера среднего ИК-диапазона, результаты диссертации являются обоснованными и достоверными. В качестве замечаний отмечено, что исследования молекулярных механизмов инактивации выполнены только с помощью спектроскопических методов, из группы клинически значимых бактерий ESCAPE были исследованы только *S. aureus* и *P. aeruginosa*. В отзыве указано, что соискатель С. Н. Шелыгина заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области лазерной физики и биофотоники, а ведущей организации – ее репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области спектроскопии и биофотоники.

Диссертационная работа Шелыгиной С. Н. посвящена экспериментальному изучению спектрально-селективной инактивации грамположительных и грамотрицательных патогенных микроорганизмов

культур *Staphylococcus aureus* (Золотистый стафилококк) и *Pseudomonas aeruginosa* (Синегнойная палочка) под действием фемтосекундных лазерных импульсов среднего ИК-диапазона с длинами волн 3.4 и 6 мкм. Эти длины волн соответствуют резонансному поглощению колебаний С–Н-связей в углеводородном каркасе биомолекул, а также амидных колебаний белков и нуклеиновых кислот. Повышение устойчивости микроорганизмов к антимикробным препаратам провоцирует кризис антибиотикорезистентности. В связи с этим необходимы разработки новых подходов к борьбе с патогенными микроорганизмами, которые не способствуют формированию у них резистентности. Применение фемтосекундных лазерных импульсов среднего ИК-диапазона для селективной инактивации микроорганизмов отвечает указанному требованию. Данный подход представляет собой бесконтактный и экологически безопасный метод, не вызывающий мутагенных изменений в клетках млекопитающих и индукцию мультирезистентных форм микроорганизмов, что обуславливает перспективность его использования в медицине и пищевой промышленности.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Инактивация патогенных бактерий культур *S. aureus* и *P. aeruginosa* при воздействии фемтосекундными лазерными импульсами среднего инфракрасного диапазона с длинами волн 3.4 и 6 мкм, соответствующими полосам поглощения С–Н-колебаний и амидных колебаний белков и нуклеиновых кислот бактериальной клетки, реализована в некумулятивном режиме.
2. Установленные пороговые интенсивности инактивации патогенных бактерий имеют более высокие значения для длины волны воздействия 3.4 мкм ($\sim 3 \times 10^2$ ГВт/см²), чем для длины волны 6 мкм ($\sim 1 \times 10^2$ ГВт/см²), что определяется величиной оптической плотности бактериальных культур на

данных длинах волн и свидетельствует о спектральной селективности процесса.

3. При исследовании возбуждения бактерий культуры *P. aeruginosa* фемтосекундными лазерными импульсами с длиной волны 6 мкм методом спектроскопии изменения относительного пропускания по мере роста интенсивности лазерных импульсов от 0.03×10^2 ГВт/см² до 3×10^2 ГВт/см² зарегистрированы спектральные изменения: просветление полосы C=O; «синий» сдвиг полосы C=O на ~ 200 см⁻¹, связанный с разрывом водородных связей; ангармонический «красный» сдвиг полосы C=O на 300 см⁻¹.
4. Величина изменения относительного пропускания фемтосекундных лазерных импульсов с длиной волны 3.4 мкм в диапазоне интенсивностей $(0.1-1.1) \times 10^2$ ГВт/см² демонстрирует просветление полос C-H-колебаний углеводородного скелета биомолекул, связанное с переходом с основного на первый колебательный уровень.
5. Реализована некумулятивная термическая инактивация фемтосекундными лазерными импульсами с длиной волны 6 мкм патогенных бактерий культуры *P. aeruginosa* через полиэтиленовую пленку, прозрачную в данном диапазоне, что делает метод потенциально применимым для обеззараживания упакованной продукции.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Новизна обусловлена тем, что:

- Впервые реализована термическая инактивация патогенных бактерий *S. aureus* и *P. aeruginosa* в некумулятивном режиме при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов среднего ИК-диапазона с длинами волн 3.4 и 6 мкм, соответствующими резонансному поглощению C-H-колебаний углеводородного скелета биомолекул, а также амидных колебаний белков и нуклеиновых кислот.
- Впервые показано, что пороговая интенсивность инактивации грамположительных бактерий *S. aureus* и грамотрицательных бактерий *P.*

aeruginosa определяется оптической плотностью бактериальных образцов на соответствующей длине волны. Установлено, что при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов с длиной волны 6 мкм пороговая интенсивность инактивации приблизительно в три раза ниже, чем при облучении импульсами с длиной волны 3,4 мкм.

- Впервые выполнено спектроскопическое исследование механизмов инактивации бактерий фемтосекундными лазерными импульсами с длиной волны 6 мкм в диапазоне интенсивностей вплоть до порогового значения. Показано, что наблюдаемые спектральные изменения связаны с просветлением перехода с 0 на 1 колебательный уровень в полосах амидных групп, разрушением водородных связей, стабилизирующих пространственную структуру макромолекул, а также возбуждением высоких колебательных уровней амидных полос, что приводит к термической инактивации бактерий в некумулятивном режиме.
- Впервые показана некумулятивная термическая инактивация бактерий *P. aeruginosa* фемтосекундными лазерными импульсами с длиной волны 6 мкм через прозрачную в данном диапазоне полиэтиленовую плёнку.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается возможностью их использования при разработке новых физических методов дезинфекции и стерилизации, не связанных с применением антимикробных препаратов и, следовательно, не приводящих к формированию резистентности микроорганизмов. Полученные данные позволяют определить эффективные режимы некумулятивной термической инактивации патогенных бактерий фемтосекундными лазерными импульсами среднего ИК-диапазона, что представляет интерес для медицины, пищевой промышленности и биотехнологий. Результаты исследования механизмов инактивации методом динамической спектроскопии способствуют более глубокому пониманию процессов, происходящих при абляции биотканей ультракороткими импульсами, применяемой в микрохирургии.

Полученные результаты могут быть применены в таких организациях как НИЦ эпидемиологии и микробиологии имени Н. Ф. Гамалеи, ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, ФИЦ Питания и биотехнологии, Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Институт спектроскопии РАН.

Экспериментальные результаты, выявленные закономерности и новые эффекты, представленные в диссертационной работе Шельгиной С. Н., получены с применением комплекса взаимодополняющих исследовательских методов, что позволило сформировать целостное представление об изучаемом явлении. Достоверность выполненных автором экспериментальных исследований обеспечивается использованием сертифицированного измерительного оборудования, применением совокупности независимых методик измерения, а также сопоставлением полученных данных с экспериментальными и расчетными результатами, опубликованными другими исследователями.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Шельгиной С. Н., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автором выполнен комплекс экспериментальных исследований, положенных в основу диссертационной работы. Исследована инактивация микроорганизмов фемтосекундными лазерными импульсами с длинами волн 3.4, 5.2 и 6 мкм, включая подбор режимов облучения и анализ зависимости эффективности инактивации от параметров воздействия. Изучены механизмы инактивации методом спектроскопии изменения относительного пропускания бактериальных образцов в широком диапазоне интенсивностей. Проведена характеристика контрольных и облученных образцов с применением электронной микроскопии, энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа и ИК Фурье-спектроскопии. Автор участвовал в постановке задач, обработке и интерпретации данных, подготовке публикаций и представлении результатов на научных конференциях.

В ходе защиты соискатель Шелыгина С. Н. аргументированно ответила на заданные ей вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 1 июня 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Шелыгиной С. Н. учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по разработке метода спектрально-селективной инактивации патогенных бактерий фемтосекундными лазерными импульсами среднего ИК-диапазона, а также исследование механизмов этого процесса, связанных с резонансным возбуждением молекулярных колебаний биомолекул бактериальной клетки.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 22 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.19 — Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 22,
против присуждения учёной степени - 0,
недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета
академик РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

1 июня 2026 г.