

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Федеральный  
исследовательский центр  
«Институт общей физики им. А.М. Прохорова  
Российской академии наук»,  
~~доктор физико-математических наук,~~  
академик РАН

С. В. Гарнов

28» апреля 2026 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**  
**Федерального государственного бюджетного учреждения науки**  
**Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М.**  
**Прохорова Российской академии наук»**

на диссертационную работу Шелыгиной Светланы Николаевны «Спектрально-селективная инактивация бактерий инфракрасным излучением фемтосекундного лазера», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности  
1.3.19 – Лазерная физика

Диссертационная работа Шелыгиной Светланы Николаевны «Спектрально-селективная инактивация бактерий инфракрасным излучением фемтосекундного лазера» посвящена исследованию процесса инактивации прокариотических микроорганизмов лазерными импульсами среднего ИК-диапазона.

Обычно для борьбы с микроорганизмами в живых системах применяют антибиотики, реже физические или химические воздействия. Для дезинфекции неживых систем чаще применяются физические воздействия, несколько реже химические. Нужно отметить, что в реальной практике чаще всего используют ультрафиолетовое излучение и высокие температуры. Реже другие физические воздействия, например СВЧ излучение, холодная плазма, плазмоактивированные растворы и т.д. Обычно, эти способы применяются в узкоспециализированных задачах, при этом задач, когда известные способы стерилизации не являются оптимальными предостаточно. В связи с этим идет постоянный поиск новых физических способов стерилизации. В данной работе предлагается способ инактивации прокариотических микроорганизмов лазерными импульсами среднего ИК-диапазона.

Новизна диссертационной работы заключается в использовании фемтосекундных лазерных импульсов среднего ИК-диапазона. Автор диссертационного исследования связывает эффективность предложенного ей метода со спектральным совпадением используемых длин волн лазеров с колебательными полосами поглощения биомакромолекул (C–H-группы углеводородного скелета при ~3 мкм и амидных групп пептидов, белков и пиримидинов нуклеиновых кислот при 6 мкм). Диссертант

предполагает, что предложенный подход позволяет путем спектрально-селективного колебательного возбуждения в пределах одного фемтосекундного импульса реализовать локальный нагрев фрагментов биомакромолекул выше температуры денатурации (до 70 °С для белков и до 90 °С для нуклеиновых кислот). Денатурация биомакромолекул зачастую необратима, денатурировавшие биомакромолекулы обычно теряют свою активность и не могут выполнять свои функции, как в бактериальной клетке, так и клетках эукариот. Результаты, приведенные в диссертации, позволяют полагать, что инактивация биомакромолекул протекает без нагрева клетки в целом, а также без абляции и кавитации. В диссертации ряд контрольных экспериментов проведены с помощью лазера с длиной волны 5,2 мкм. Такой лазер не участвует в возбуждении, ни С–Н-групп, ни амидных групп. Использование такого рода контролей придает рассуждениям, изложенным в диссертации больше достоверности. Исследование спектральной динамики пропускания фемтосекундных импульсов среднего ИК-диапазона монослоем микроорганизмов позволяет ассоциировать наблюдаемые микробиологические эффекты со структурными изменениями биомакромолекул. В работе показана возможность забарьерной инактивации (через полиэтиленовую пленку) микроорганизмов фемтосекундным ИК-излучением, что расширяет потенциальные области применения разработанной диссертантом методики.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы из 201 наименования. Объём диссертации составляет 131 страницу, включая 32 рисунка и 4 таблицы.

**Во введении** изложена актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформулирована цель и задачи диссертационной работы, представлена научная новизна, приведена возможная практическая значимость работы. Также во введении представлены положения, выносимые на защиту, данные о достоверности результатов работы, данные о личном вкладе автора, а также данные об апробации диссертационного исследования, публикациях, структуре и объеме диссертации.

**Глава 1** является литературным обзор физических методов уничтожения микроорганизмов. В главе 1 рассмотрены различные варианты применения ионизирующего излучения, ультрафиолетового излучения и коротковолнового излучения видимого диапазона. Приведена информация о фотодинамической инактивации микроорганизмов, о применении импульсного излучения высокой интенсивности, низкотемпературной плазмы, излучений высокой- и сверхвысокой частот. Особое внимание уделено биологическим мишеням для инфракрасного излучения, широкополосным и селективным источникам среднего инфракрасного диапазона и лазерам, обеспечивающим электронное и колебательное возбуждение. Нужно отметить, что в Главе 1 приведена полезная Таблица 2 (Физические методы инактивации, их механизмы воздействия и ограничения). В целом, информация, изложенная в главе 1, позволяет убедительно полагать, что использование селективного фемтосекундного лазерного воздействия в среднем инфракрасном диапазоне может быть перспективным для инактивации бактерий.

**В главе 2** обосновывается выбор экспериментального подхода и объектов исследования. Описаны экспериментальные установки, использованные микробиологические культуры и подложки для нанесения биологических образцов. Подробно изложены методики воздействия лазерных импульсов на микроорганизмы,

микробиологического анализа, оптического и структурного анализа образцов, а также квантово-механического моделирования.

В главе 3 приведены результаты экспериментального исследования инактивации микроорганизмов путем возбуждения лазерными импульсами фемтосекундной длительности в среднем инфракрасном диапазоне. Рассмотрена инаktivация бактерии *Pseudomonas aeruginosa* при длинах волн 3,4 и 6 мкм, исследована спектральная зависимость порога инаktivации бактерий *Staphylococcus aureus* в диапазоне 3,4–6 мкм. Показана возможность инаktivации патогенных бактерий под полиэтиленовой пленкой. Обсуждается связь эффективности инаktivации с поглощением на резонансных длинах волн и демонстрируется спектральная селективность процесса.

Глава 4 посвящена применению метода спектроскопии пропускания фемтосекундных лазерных инфракрасных импульсов для исследования механизмов инаktivации бактериальных клеток. В главе 4 анализируется спектральная динамика при накачке излучением с длинами волн 3,4 и 6 мкм и обсуждаются ассоциированные с этим структурные превращения. Предполагается, что в основе инаktivации бактериальных клеток при воздействии импульсов с длиной волны 6 мкм (соответствует полосе поглощения амидных групп биомакромолекул) лежит разрыв водородных связей и ангармонические сдвиги.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты. Диссертация заканчивается списком используемых сокращений, благодарностями и списком цитируемой литературы.

Достоверности представленным в диссертации результатам добавляет хорошее соответствие с ранее известными в литературе результатами, а также их логическая непротиворечивость. Результаты опубликованы в 6 статьях в рецензируемых журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, прошли апробацию на 7 научных конференциях и семинарах.

Результаты диссертационной работы Шелыгиной Светланы Николаевны представляют интерес для специалистов в области биофотоники, биологической физики и фотобиологов. Результаты могут быть использованы в будущих исследованиях на базе Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Института спектроскопии РАН, НИЦ эпидемиологии и микробиологии имени Н. Ф. Гамалеи, ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова, ФИЦ Питания и биотехнологии и в других научных учреждениях.

Несмотря на общую положительную оценку, диссертационная работа Шелыгиной Светланы Николаевны не лишена ряда недостатков. Имеется несколько вопросов и замечаний, в частности:

1. Лампы Финзена – первые широкополосные источники, используемые для борьбы с патогенной микрофлорой. Сам Нильс Финзен был удостоен Нобелевской премии за это изобретение. С чем связано отсутствие в обзоре литературы данных о применении ламп Финзена?
2. В работе не приведены данные о погрешности обнаружения жизнеспособных микроорганизмов методом капель, а также не указан способ оценки толщины исследуемого образца. В процессе защиты диссертации нужно обсудить эти вопросы.
3. Диссертант часто использует словосочетание «селективная инаktivация бактерии». Что конкретно подразумевается под селективностью в диссертации

изложено довольно неоднозначно. На защите диссертации нужно обсудить этот вопрос и дать четкое определение.

4. Диссертант использует дистиллированную воду вместо физиологического или хотя бы изотонического раствора. Дистиллированная вода создает гипотонические условия и, безусловно, оказывает влияние на жизнеспособность микроорганизмов. Может ли автор оценить степень этого влияния? Может ли автор аргументировать необходимость использования именно дистиллированной воды?
5. Для экспериментов с инактивацией под полиэтиленовой пленкой явно не указаны диаметры пятна на образце, количество импульсов, максимальное достигнутое повышение температуры, как контролировался эффект собственного поглощения пленки.
6. В целом, в процессе защиты не помешает более подробно обсудить практическое применение полученных диссертантом результатов.
7. Недостаточно прояснен вопрос о содержании воды в исследуемом образце, а также о ее возможном влиянии на интерпретацию полученных результатов. Не понятно, каким образом в работе исключается возможность того, что исследуемые эффекты в значительной степени определяются поглощением лазерного излучения водой, а не отдельными группами биомакромолекул.
8. Для более надежной интерпретации выявленных спектральных эффектов и предлагаемых молекулярных механизмов следовало бы дополнительно проверить их на отдельных модельных молекулах или более простых модельных системах, соответствующих основным молекулярным мишеням бактериальной клетки. Такой подход позволил бы более однозначно установить вклад конкретных функциональных групп и уточнить природу наблюдаемых структурно-спектральных изменений. Необходимо обсудить это в процессе защиты диссертации.
9. Необычные результаты получены при облучении лазерными импульсами с длиной волны 6 мкм образцов *P. aeruginosa* через полиэтиленовую пленку (табл. 3). Получается, что чем дольше идет обработка бактерий лазером, тем больше бактерий выживает. Как диссертант объясняет такие результаты?
10. В тексте имеются орфографические и синтаксические ошибки. Также наблюдается неточность в употреблении терминов: слова «некумулятивный» и «ненакопительный» используются без достаточной определенности, а термин «органелл» в задаче 1 употреблен неуместно.

Тем не менее, отмеченные замечания не уменьшают научную ценность диссертации и не влияют на ее общую положительную оценку.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и корректно представляет достигнутые результаты.

Таким образом, диссертационная работа Шельгиной Светланы Николаевны «Спектрально-селективная инактивация бактерий инфракрасным излучением фемтосекундного лазера» 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 года, а ее автор, Шелыгина Светлана Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Доклад Шелыгиной Светланы Николаевны по материалам диссертации был заслушан и обсужден на научном семинаре Центра биофотоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» 13 апреля 2026 года (протокол семинара №42). Отзыв подготовлен руководителем Центра биофотоники ИОФ РАН, д.б.н. Гудковым Сергеем Владимировичем. Отзыв заслушан и одобрен на заседании научного семинара Центра биофотоники ИОФ РАН от «15» апреля 2026 г. (протокол № 4).

Руководитель Центра биофотоники  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт общей физики им. А.М. Прохорова  
Российской академии наук»,  
доктор биологических наук, профессор  
Профессор РАН

Гудков Сергей Владимирович  
«28» апреля 2026 г.

Учёный секретарь

«28» апреля 2026 г.

Федеральное государственное ~~бюджетное~~ учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»

Почтовый адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Телефон: +7 (499) 503-87-34

E-mail: office@gpi.ru

Официальный сайт организации: <https://www.gpi.ru/>

Основные публикации сотрудников ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» по тематике диссертации Шелыгиной С.Н. в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

1. Konchekov E. M., Gudkova V. V., Burmistrov D. E., Konkova A. S., Zimina M. A., Khatueva M. D., Polyakova V. A., Stepanenko A. A., Pavlik T. I., Borzosekov V. D., Malakhov D. V., Kolik L. V., Gusein-zade N., Gudkov S. V. Bacterial decontamination of Water-containing objects using Piezoelectric Direct Discharge plasma and plasma jet // *Biomolecules*. – 2024. – V. 14. – №. 2. – P. 181. DOI: 10.3390/biom14020181
2. Gudkov S. V., Matveeva T. A., Sarimov R. M., Simakin A. V., Stepanova E. V., Moskovskiy M. N., Dorokhov A. S., Izmailov A. Y. Optical methods for the detection of plant pathogens and diseases // *AgriEngineering*. – 2023. – V. 5. – №. 4. – P. 1789-1812. DOI: 10.3390/agriengineering5040110
3. Sarimov R. M., Serov D. A., Gudkov S. V. Biological effects of magnetic storms and ELF magnetic fields // *Biology*. – 2023. – V. 12. – №. 12. – P. 1506. DOI: 10.3390/biology12121506
4. Gudkov S. V., Li R., Serov D. A., Burmistrov D. E., Baimler I. V., Baryshev A. S., Simakin A. V., Uvarov O. V., Astashev M. E., Nefedova N. B., Smolentsev S. Y., Onegov A. V., Sevostyanov M. A., Kolmakov A. G., Kaplan M. A., Drozdov A., Tolordava E. R., Semenova A. A., Lisitsyn A. B., Lednev V. N. Fluoroplast doped by Ag<sub>2</sub>O nanoparticles as new repairing non-cytotoxic antibacterial coating for meat industry // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – V. 24. – №. 1. – P. 869. DOI: 10.3390/ijms24010869
5. Serov D. A., Khabatova V. V., Vodenev V., Li R., Gudkov S. V. A review of the antibacterial, fungicidal and antiviral properties of selenium nanoparticles // *Materials*. – 2023. – V. 16. – №. 15. – P. 5363. DOI: 10.3390/ma16155363
6. Varlamova E. G., Goltyaev M. V., Simakin A. V., Gudkov, S. V., Turovsky E. A. Comparative analysis of the cytotoxic effect of a complex of selenium nanoparticles doped with sorafenib, “naked” selenium nanoparticles, and sorafenib on human hepatocyte carcinoma HepG2 cells // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2022. – V. 23. – №. 12. – P. 6641. DOI: 10.3390/ijms23126641
7. Serov D. A., Baimler I. V., Burmistrov D. E., Baryshev A. S., Yanykin D. V., Astashev M. E., Simakin A. V., Gudkov S. V. The development of new nanocomposite polytetrafluoroethylene/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPs to prevent bacterial contamination in meat industry // *Polymers*. – 2022. – V. 14. – №. 22. – P. 4880. DOI: 10.3390/polym14224880
8. Gudkov S. V., Burmistrov D. E., Smirnova V. V., Semenova A. A., Lisitsyn A. B. A mini review of antibacterial properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles

//Nanomaterials. – 2022. – V. 12. – №. 15. – P. 2635. DOI:  
10.3390/nano12152635

9. Gudkov S. V., Burmistrov D. E., Serov D. A., Rebezov M. B., Semenova A. A., Lisitsyn A. B. A mini review of antibacterial properties of ZnO nanoparticles //Frontiers in Physics. – 2021. – V. 9. – P. 641481. DOI: 10.3389/fphy.2021.641481
10. Gudkov S. V., Burmistrov D. E., Serov D. A., Rebezov M. B., Semenova A. A. Lisitsyn, A. B. Do iron oxide nanoparticles have significant antibacterial properties? //Antibiotics. – 2021. – V. 10. – №. 7. – P. 884. DOI: 10.3390/antibiotics10070884