

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный
технический университет имени
Гагарина Ю.А.»
д.ф.-м.н. профессор




А.И. Землянухин
2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Диссертация «Импульсная лазерная спектроскопия флуоресцирующих случайно-неоднородных сред: фундаментальные ограничения и прикладные аспекты» Дорогова Александра Федоровича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика» выполнена на кафедре «Физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.).

В период подготовки диссертации соискатель Дорогов Александр Федорович являлся ассистентом кафедры «Физика», подготовившим диссертацию на соискание ученой степени кандидата наук на основе результатов, полученных им в СГТУ имени Гагарина Ю.А.

В 2020 г. окончил СГТУ имени Гагарина Ю.А. по направлению подготовки 16.04.01 «Техническая физика» с присвоением квалификации «магистр».

В 2024 г. окончил аспирантуру СГТУ имени Гагарина Ю.А. по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность – 1.3.6 «Оптика», с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь», диплом № 106431 0636637, выдан 01.07.2024.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 325 от 04.08.2025 выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

Научный руководитель – Зимняков Дмитрий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика» СГТУ имени Гагарина Ю.А., утвержденный приказом И.о. ректора СГТУ имени Гагарина Ю.А. № 1071-С от 12.10.2020, представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Тема диссертационной работы утверждена приказом И.о. ректора СГТУ имени Гагарина Ю.А. № 1071-С от 12.10.2020, затем переутверждена приказом ректора СГТУ имени Гагарина Ю.А. № 861-П от 25.11.2025.

По итогам обсуждения диссертации и доклада Дорогова А.Ф. было принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Автор принимал непосредственное участие в проведении исследований на всех ключевых этапах работы. В рамках экспериментальной части соискатель участвовал в разработке методики и проведении измерений для исследования флуоресцентного отклика случайно-неоднородных сред, в подготовке и характеристике образцов, а также в регистрации спектральных и пространственных зависимостей сигнала.

В области теоретического моделирования автором выполнено численное Монте-Карло моделирование процессов переноса излучения в исследуемых флуоресцирующих средах. Соискатель участвовал в разработке кинетической модели отклика локальных эмиттеров флуоресценции и вероятностной модели усиления флуоресценции, которые легли в основу теоретической части работы. Обработка, анализ и интерпретация полученных экспериментальных и модельных данных проводились непосредственно им.

Результаты исследований были обобщены и апробированы на ряде конференций с участием автора. Основные публикации по теме диссертации подготовлены при его непосредственном вкладе. Работа выполнялась под научным руководством д.ф.-м.н., профессора Д.А. Зимнякова, а также в сотрудничестве с к.ф.-м.н. С.С. Волчковым.

2. Степень достоверности результатов проведённых исследований

Достоверность обеспечивается использованием обоснованных и верифицированных экспериментальных и теоретических методов исследований; воспроизводимостью полученных экспериментальных данных и их соответствием результатам теоретического анализа, полученных с использованием адекватных теоретических моделей. Также достоверность подтверждается соответствием полученных результатов аналогичным результатам, полученным другими исследовательскими группами.

3. Новизна и практическая значимость результатов проведённых исследований

1. разработан инструментальный комплекс для исследования флуоресцирующих случайно-неоднородных сред, являющимися как слоями насыщенных лазерными красителями плотноупакованных наночастиц, так и растворами лазерных красителей с добавленными рассеивающими центрами, при различных режимах лазерной накачки;

2. впервые систематически исследован и теоретически интерпретирован эффект уширения зоны флуоресцентного отклика во флуоресцирующих случайно-неоднородных средах при возрастании интенсивности лазерной накачки, обусловленный возрастанием вкладов актов поглощения флуоресцентных квантов средой с их последующим переизлучением в процесс переноса флуоресцентного излучения в среде;

3. рассмотрено фундаментальное ограничение спектрального отклика флуоресцентных наноструктурированных сред с лазерной накачкой в рамках вероятностной модели, устанавливающей связь между коэффициентом улучшения спектрального качества и характерными масштабами распространения и усиления излучения накачки и флуоресценции в среде;

4. проведен анализ ограничений усиления стимулированной флуоресценции во флуоресцентных случайно-неоднородных средах при лазерной накачке, обусловленных стохастичностью переноса излучения и отсутствием спектрально-селективной оптической обратной связи.

Практическая значимость результатов заключается в создании научной основы для разработки новых методов эффективной оптической диагностики биологических тканей, контроля функциональных наноматериалов и экологического мониторинга. Полученные результаты, прошедшие апробацию на ведущих международных и российских конференциях и опубликованные в рецензируемых журналах, соответствуют мировому уровню исследований в области фотоники сложных систем. Работы соискателя вносят конкретный вклад в развитие одного из ключевых междисциплинарных направлений современной науки.

4. Ценность научных работ соискателя.

Научные работы соискателя, представленные в диссертации, обладают высокой фундаментальной и прикладной ценностью. Они вносят существенный вклад в теорию переноса излучения и нелинейной оптики случайно-неоднородных сред, устанавливая новые количественные закономерности и ограничения для усиления флуоресценции в условиях лазерной накачки. Разработанные автором оригинальные теоретические модели, в частности, модель спекл-ассоциированных локальных эмиттеров, и экспериментальные методики позволяют по-новому интерпретировать комплексные спектрально-временные данные импульсной флуоресцентной спектроскопии.

5. Научная специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Дорогова Александра Федоровича «Импульсная лазерная спектроскопия флуоресцирующих случайно-неоднородных сред:

фундаментальные ограничения и прикладные аспекты» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук выполнена по научной специальности 1.3.6 «Оптика». Работа соответствует паспорту научной специальности 1.3.6 «Оптика» пп. 5,6,7,10.

6. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основные научные результаты диссертационного исследования опубликованы в рецензируемых научных изданиях, соответствующих установленным требованиям. По теме диссертации соискателем опубликовано 12 работ, включая статьи в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, а также в изданиях из перечня ВАК («белый список»). Среди них присутствуют 3 работы уровня Q1/Q2, что свидетельствует о высоком качестве и международном признании полученных результатов.

Авторский вклад соискателя является определяющим и заключается в непосредственном участии в постановке задач, проведении экспериментальных исследований, разработке теоретических моделей, анализе и интерпретации данных. Общий объем публикаций, в которых отражено содержание диссертации, составляет более 40 страниц в рецензируемых журналах, что полностью покрывает ключевые положения, выносимые на защиту.

7. Результаты диссертационного исследования опубликованы в научных работах (общим объемом ~ 5.22 п.л., вклад соискателя ~ 1.34 п.л.), из них работ, опубликованных в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК – 6.

Результаты диссертационной работы были представлены на следующих конференциях российского и международного уровня: Saratov Fall Meeting -2022, -2023 (Саратов, Россия); The 28th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'21)-2021 (Москва, Россия); 6th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology -2020 (Самара, Россия); XXI Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазм-2023 (Самара, Россия); «Advanced Laser Technologies» (ALT-2022), (Москва, Россия); ЕНИСЕЙСКАЯ ФОТОНИКА – 2024 (Красноярск, Россия); XI Международная конференция по фотонике и информационной оптике -2022 (Москва, Россия).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России

1. О предельной длине усиления флуоресценции при лазерной накачке случайно-неоднородных сред / Зимняков Д.А., Волчков С.С., Кочкуров Л.А., Дорогов А.Ф. // Письма в ЖЭТФ, том 116, вып. 2, с. 67 – 73, (Журнал ВАК категория К1, «Белый список» 1-й уровень, включен в Scopus, WoS, RSCI).

2. Особенности переноса флуоресценции в многократно рассеивающих случайно-неоднородных слоях при интенсивной лазерной накачке / Зимняков Д.А., Волчков С.С., Кочкуров Л.А., Дорогов А.Ф. // «Квантовая электроника», 50,

№ 11 (2020).- С. 1007-10014 (Журнал ВАК категория К1, «Белый список» 1-й уровень, включен в Scopus, WoS, RSCI).

3. Эффект радиационных потерь в локализованной флуоресценции при лазерной накачке флуоресцирующих случайно-неоднородных сред/ Зимняков Д.А., Волчков С.С., Кочкуров Л.А., **Дорогов А.Ф.**, Токарев А.С., Никифоров А.А., Маркова Н.С.// Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2021. Т.21, вып.2. С.145–156 (Журнал ВАК категория К2, «Белый список» 2-й уровень, включен в Scopus, WoS, RSCI).

Статьи, опубликованные в иных научных изданиях

4. Fluorescence amplification in laser-pumped random media: Fundamental limitations / Zimnyakov, D.A., Volchkov, S.S., Kochubey, V.I., Plekhanova, I.A., **Dorogov, A.F.**// Journal of Luminescence, 2024, 272, 120667, («Белый список» 1-й уровень, включен в Scopus, WoS, RSCI).

5. Saturated Emission States in Fluorescent Nanostructured Media: The Role of Competition between the Stimulated Emission and Radiation Losses in the Local Emitters of Fluorescence. / Zimnyakov, D.A.; Volchkov, S.S.; Kochkurov, L.A.; **Dorogov, A.F.** // Nanomaterials 2022, 12, 2450, («Белый список» 1-й уровень, включен в Scopus, WoS, RSCI).

6. Low coherence reflectometry of randomly inhomogeneous media: basic approaches to data processing / Ushakova E.V., **Dorogov A.F.**, Zimnyakov D.A.//2020 International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). - IEEE, 2020. - pp. 1-3, (включен в Scopus, WoS).

7. Features of the laser-pump-induced fluorescence response of multiple scattering random media / Zimnyakov, D.A., Volchkov, S.S., **Dorogov, A.F.**// Материалы Международной научно-практической конференции. Саратов, 2021. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью Издательство «КУБиК» (Саратов) Тип: статья в сборнике трудов конференции Язык: английский Год издания: 2021 Страницы: 39-44

8. Optical non-linearity and light diffusion in laser- pumped fluorescent nanocomposites: from a spontaneous fluorescence emission to a random lasing./ Zimnyakov, D.A.; Volchkov, S.S.; Kochkurov, L.A.; **Dorogov, A.F.** // ADVANCED LASER TECHNOLOGIES ALT`21 Book of abstracts the 28th International Conference. Moscow, 2021

9. Насыщение спектрального качества флуоресценции при лазерной накачке флуоресцирующих случайно-неоднородных сред: влияние спекл-модуляции светового поля накачки в среде. / Зимняков Д.А., Волчков С.С., **Дорогов А.Ф.**, Кочкуров Л.А.// Сборник статей девятой Всероссийской научной школы-семинара. Саратов, 2022. Страницы: 145-147.

10. Индуцированная флуоресценция при лазерной накачке случайно-неоднородных сред: фундаментальные ограничения, обусловленные когерентностью излучения накачки / Зимняков Д.А., Волчков С.С., **Дорогов А.Ф.**,

Кочкуров Л.А. // XI Международная конференция по фотонике и информационной оптике 26 — 28 января 2022 года

11. Quasi-equilibrium saturated states of fluorescence emission by laserpumped fluorescent random media: the fundamental role of characteristic scales of radiative transfer/ Zimnyakov, D.A.; Volchkov, S.S.; Kochkurov, L.A.; **Dorogov, A.F.** // ALT`22 INTERNATIONAL CONFERENCE Advanced Laser Technologies September 11-16, 2022г.

12. Предельные состояния флуоресцентного отклика случайно-неоднородных сред при интенсивной лазерной накачке: лимитирующее влияние характерных масштабов переноса излучения в среде и нелинейного отклика активных центров флуоресценции. / Зимняков Д.А., Волчков С.С., **Дорогов А.Ф.**, Кочкуров Л.А. // ЕНИСЕЙСКАЯ ФОТОНИКА – 2022 Всероссийская научная конференция с международным участием тезисы докладов Том 1. Красноярск 2022г.

Диссертация «Импульсная лазерная спектроскопия флуоресцирующих случайно-неоднородных сред: фундаментальные ограничения и прикладные аспекты» Дорогова Александра Федоровича является законченной научной работой, посвященной комплексному исследованию закономерностей генерации и переноса флуоресцентного излучения в случайно-неоднородных средах, таких как наноструктурированные матрицы, насыщенные лазерными красителями, при импульсной лазерной накачке. В работе экспериментально и теоретически изучены фундаментальные ограничения усиления флуоресценции, обусловленные стохастичностью переноса излучения и эффектом спекл-модуляции накачивающего поля, что проявляется в насыщении спектрального качества отклика. Установлено, что ключевым фактором, определяющим предельную населенность возбужденного состояния и флуоресцентный выход, является конкуренция между процессами индуцированного излучения и радиационных потерь в ансамбле локализованных эмиттеров. Разработанные вероятностные и кинетические модели адекватно описывают наблюдаемые эффекты. Полученные результаты формируют теоретическую основу для создания новых методов высокоточной спектроскопической диагностики биологических тканей, композитных материалов и разработки сенсорных систем на основе эффекта некогерентного усиления флуоресценции в случайно-неоднородных средах.

Материалы диссертации полностью отражены в научных работах, опубликованных автором. Текст диссертации не содержит заимствованного материала без ссылок на авторов, а также материалов совместных работ без ссылок на соавторов.

Диссертация «Импульсная лазерная спектроскопия флуоресцирующих случайно-неоднородных сред: фундаментальные ограничения и прикладные аспекты» Дорогова Александра Федоровича, выполненная на кафедре «Физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», соответствует заявленной специальности 1.3.6 «Оптика», а также требованиям п.п. 9–11 и 13, 14 «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других организаций.

На заседании по обсуждению диссертации Дорогова А.Ф. присутствовали следующие сотрудники кафедры «Физика» СГТУ имени Гагарина Ю.А.:

1. Зимняков Дмитрий Александрович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Физика»;
2. Алонова Марина Васильевна, к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»;
3. Беляев Илья Викторович, к.т.н., доцент кафедры «Физика»;
4. Гестрин Сергей Геннадьевич, д.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика»;
5. Горбатенко Борис Борисович, д.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика»;
6. Исаева Анна Андреевна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры «Физика»;
7. Исаева Елена Андреевна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры «Физика»;
8. Никишин Евгений Леонардович, к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»;
9. Павлова Мария Валентиновна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры «Физика».

На заседании присутствовали также специалисты по профилю диссертации из других организаций:

1. Дербов Владимир Леонардович, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
2. Березин Кирилл Валентинович, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
3. Генина Элина Алексеевна, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
4. Глухова Ольга Евгеньевна, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой радиотехники и электродинамики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;
5. Романова Елена Анатольевна, д.ф.-м.н., профессор кафедры медицинской физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»;

6. Скрипаль Анатолий Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой медицинской физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»; *
7. Тен Галина Николаева, д.ф.-м.н., профессор кафедры радиотехники и электродинамики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Рецензенты диссертации:

Гестрин Сергей Геннадьевич, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры «Физика» СГТУ имени Гагарина Ю.А. предоставил положительную рецензию, в котором указал, что диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям;

Исаева Анна Андреевна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры «Физика» СГТУ имени Гагарина Ю.А. предоставила положительную рецензию, в котором указала, что диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям;

Горбатенко Борис Борисович, д.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика» СГТУ имени Гагарина Ю.А. предоставил положительную рецензию, в котором указал, что диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям;

Присутствовало на заседании 16 человек. Результаты голосования: «за» – 16 чел.; «против» – нет, «воздержались» – нет (протокол № 7 от 23.01.2026 г.).

Председатель заседания
д. ф.-м. н., профессор

С.Г. Гестрин

Подпись профессора Сергея Геннадьевича Гестрина заверяю

Ученый секретарь ученого совета
СГТУ имени Гагарина Ю.А.



А.В. Потапова

« 26 » 01 2026 г.