

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО"
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16.11.2022 г. № 52

О присуждении Советскому Александру Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Визуализация деформаций и упругих свойств тканей на основе компрессионной оптической когерентной эластографии» по специальности 1.3.4. – Радиофизика принята к защите 29.06.2022 г., протокол №42, диссертационным советом 24.2.340.03, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, приказом Рособрнадзора № 1990-1015/130 от 4 сентября 2007 г.

Соискатель, Советский Александр Александрович, 26 августа 1995 года рождения, окончил с отличием магистратуру радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского в 2018 году. С 2018 по август 2022 года обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН) по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, специальность 1.3.4 «Радиофизика». Работает младшим научным сотрудником в ИПФ РАН.

Диссертация выполнена в Лаборатории волновых методов исследования структурно-неоднородных сред (234) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН). В качестве консультанта привлекалась кандидат биологических наук Губарькова Екатерина Владимировна, работающая в НИИ экспериментальной онкологии и биомедицинских технологий Приволжского исследовательского медицинского университета в должности старшего научного сотрудника Лаборатории оптической когерентной томографии. Привлечение Губарьковой Е.В. в качестве консультанта обусловлено (i) потребностью в экспериментальной апробации разработанных методов и программ при исследовании биотканей в

контексте актуальных клинических задач; (ii) потребностью в верификации полученных сегментированных ОКЭ-изображений гистологическим исследованием, являющимся золотым стандартом при сегментации биотканей; (iii) потребностью в консультировании относительно биологических особенностей различных морфологических компонент.

Научный руководитель доктор физико-математических наук Зайцев Владимир Юрьевич работает в Институте прикладной физики РАН в должности заведующего лабораторией волновых методов диагностики структурно-неоднородных сред.

Официальные оппоненты:

1. Кистенев Юрий Владимирович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (01.04.05 – Оптика), профессор, заместитель проректора по научной и инновационной деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

2. Потлов Антон Юрьевич, гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук (специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения), доцент кафедры «Биомедицинская техника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»)

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, в своем положительном отзыве, утверждённом 24.10.2022 г., подписанном профессором кафедры оптики СГУ доктором физико-математических наук Э.А. Гениной, указала, что диссертация Советского Александра Александровича удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Советский Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 — Радиофизика.

Соискатель по теме диссертации имеет 57 публикаций, из них в рецензируемых научных журналах, индексируемых в WoS/Scopus, опубликовано 16 статей (из них 13 в журналах Q1 на момент опубликования).

Основные результаты диссертации были представлены на международных и всероссийских конференциях. Авторский вклад соискателя заключается в разработке метода «стандартизации» упругого напряжения, воздействующего на сильно нелинейные и пространственно неоднородные

биоткани, что позволило добиться высокой повторяемости получаемых эластограмм и осуществлять сравнения ОКЭ-изображений; в разработке метода отслеживания смещений рассеивателей и метода накопления кумулятивных деформаций, позволивших получать пространственно-разрешенные зависимости «напряжение-деформация», ранее не картируемые методами ОКТ; в развитии «векторного» метода картирования деформации, что позволило довести картирование межкадровых деформаций и эластограмм до реального времени; в разработке методов повышения отношения сигнал-шум при исследовании «медленных» деформаций; в разработке метода «эласто-спектроскопии», позволившего производить сегментацию изображений, опираясь на характерные «спектры жёсткости» подтипов материала.

Автор принимал непосредственное участие в организации исследований, проведении экспериментов, обработке ОКЭ сигналов и лично реализовал и зарегистрировал в Роспатенте программы эластографической обработки ОКТ данных с пользовательским интерфейсом, позволяющим самостоятельно получать эластограммы биофизикам и врачам.

Проверка текста диссертации не выявила неправомερных заимствований. Исследования являются оригинальными и представляются к защите впервые. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **A.A. Sovetsky**, A.L. Matveyev, L.A. Matveev, E.V. Gubarkova, A.A. Plekhanov, M.A. Sirotkina, N.D. Gladkova, and V.Y. Zaitsev, Full-optical method of local stress standardization to exclude nonlinearity-related ambiguity of elasticity estimation in compressional optical coherence elastography // *Laser Phys. Lett.* 2020. Vol. 17, № 6. P. 065601. <https://doi.org/10.1088/1612-202X/ab8794>
2. **A.A. Sovetsky**, A.L. Matveyev, L.A. Matveev, D.V. Shabanov, and V.Y. Zaitsev, Manually-operated compressional optical coherence elastography with effective aperiodic averaging: demonstrations for corneal and cartilaginous tissues // *Laser Phys. Lett.* 2018. Vol. 15, № 8. P. 085602. <https://doi.org/10.1088/1612-202X/aac879>
3. V.Y. Zaitsev, S.Y. Ksenofontov, **A.A. Sovetsky**, A.L. Matveyev, L.A. Matveev, A.A. Zykov, and G.V. Gelikonov, Real-Time Strain and Elasticity Imaging in Phase-Sensitive Optical Coherence Elastography Using a Computationally Efficient Realization of the Vector Method // *Photonics*. 2021. Vol. 8, № 12. P. 527. <https://doi.org/10.3390/photonics8120527>
4. V.Y. Zaitsev, L.A. Matveev, A.L. Matveyev, **A.A. Sovetsky**, D.V. Shabanov, S.Y. Ksenofontov, G.V. Gelikonov, O.I. Baum, A.I. Omelchenko, A.V. Yuzhakov, and E.N. Sobol, Optimization of phase-resolved optical coherence elastography for highly-sensitive monitoring of slow-rate strains // *Laser Phys. Lett.* 2019. Vol. 16, № 6. P. 065601. <https://doi.org/10.1088/1612-202X/ab183c>
5. V.Y. Zaitsev, A.L. Matveyev, L.A. Matveev, G.V. Gelikonov, O.I. Baum, A.I. Omelchenko, D.V.

- Shabanov, **A.A. Sovetsky**, A.V. Yuzhakov, A.A. Fedorov, V.I. Siplivy, A.V. Bolshunov, and E.N. Sobol, Revealing structural modifications in thermomechanical reshaping of collagenous tissues using optical coherence elastography // J. Biophotonics. 2019. Vol. 12, № 3. <https://doi.org/10.1002/jbio.201800250>
6. V.Y. Zaitsev, A.L. Matveyev, L.A. Matveev, E.V. Gubarkova, **A.A. Sovetsky**, M.A. Sirotkina, G.V. Gelikonov, E.V. Zagaynova, N.D. Gladkova, and A. Vitkin, Practical obstacles and their mitigation strategies in compressional optical coherence elastography of biological tissues // J. Innov. Opt. Health Sci. 2017. Vol. 10, № 06. P. 1742006. <https://doi.org/10.1142/S1793545817420068>
7. E.V. Gubarkova, **A.A. Sovetsky**, L.A. Matveev, A.L. Matveyev, D.A. Vorontsov, A.A. Plekhanov, S.S. Kuznetsov, S.V. Gamayunov, A.Y. Vorontsov, M.A. Sirotkina, N.D. Gladkova, and V.Y. Zaitsev, Nonlinear Elasticity Assessment with Optical Coherence Elastography for High-Selectivity Differentiation of Breast Cancer Tissues // Materials. 2022. Vol. 15, № 9. P. 3308. <https://doi.org/10.3390/ma15093308>
8. E.V. Gubarkova, **A.A. Sovetsky**, D.A. Vorontsov, P.A. Buday, M.A. Sirotkina, A.A. Plekhanov, S.S. Kuznetsov, A.L. Matveyev, L.A. Matveev, S.V. Gamayunov, A.Y. Vorontsov, V.Y. Zaitsev, and N.D. Gladkova, Compression optical coherence elastography versus strain ultrasound elastography for breast cancer detection and differentiation: pilot study // Biomed. Opt. Express. 2022. Vol. 13, № 5. P. 2859. <https://doi.org/10.1364/BOE.451059>

На автореферат поступило 5 отзывов от:

1. Захаров Валерий Павлович, доктор физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики, руководитель НИЛ–96 Фотоника, заведующий кафедрой лазерных и биотехнических систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».
2. Дунаев Андрей Валерьевич, доктор технических наук по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения, доцент, ведущий научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, профессор кафедры приборостроения, метрологии и сертификации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «ОГУ имени И.С. Тургенева».
3. Зайцев Кирилл Игоревич, кандидат технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы, ведущий научный сотрудник отдела субмиллиметровой спектроскопии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН).
4. Александровская Юлия Михайловна, кандидат технических наук по специальностям

02.00.04 – Физическая химия и 02.00.09 – Химия высоких энергий, с.н.с. Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской Академии Наук.

5. Мизева Ирина Андреевна, кандидат физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, старший научный сотрудник Института механики сплошных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук.

Все отзывы **положительные**. В отзывах отмечается актуальность темы исследования, новизна полученных результатов и их значимость для науки и практики.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания.

Замечания из отзыва ведущей организации.

Принципиальных замечаний, снижающих ценность представленного исследования, нет. Вместе с этим, в ходе ознакомления с содержанием работы возникли следующие замечания дискуссионного и уточняющего характера:

- В связи с чем в работе рассматривается стандартизация эластограмм к определенному уровню приложенного давления, а не конкретному уровню кумулятивных деформаций в ткани?

- Аналогичным образом, почему в диссертации рассматривается только возможность использования калибровочного силиконового слоя, расположенного над биотканью малой толщины? Не может ли расположение такого слоя под биотканью улучшить сигнал от самой ткани?

- С точки зрения дополнительного подтверждения достоверности эластографической визуализации уместно было бы провести сравнение эластограмм, полученных для одного образца ткани при использовании силиконов с разной жёсткостью (модулем Юнга). Выполнялось ли при работе над диссертацией такое сравнение?

Замечания из отзыва официального оппонента Кистенева Ю.В.

- В первой главе, связанной с описанием метода картирования деформаций нет явного обсуждения артефактных эффектов, которые, судя по различным примерам эластографических изображений, могут проявляться в окрестности различных полостей (сечения сосудов и т.п.). Понимание таких артефактных эффектов важно для практических применений ОКЭ метода.

- Во второй главе при обсуждении примеров получения нелинейных кривых «напряжение-деформация» не рассматриваются случаи более сложного нелинейного поведения, например, гистерезисной нелинейности, которую наблюдали в биотканях ранее традиционными методами (тесты на растяжение и т.д.). Можно ли развитым ОКЭ методом получать такие нелинейные

зависимости более сложного типа?

- В третьей главе обсуждаются нагревные деформационные процессы для извлечённой роговицы, что важно для предварительных исследований, но практически менее интересно чем нагрев *in vivo*. Можно ли применить развитый метод *in vivo* для контроля при выполнении медицинских операций с использованием лазерного воздействия? В качестве рекомендации можно также отметить, что проведение картирования деформаций при исследовании осмотических процессов в хрящах под действием просветляющих агентов можно было бы провести с единовременным картированием величины просветления вглубь образца.

- По четвертой главе. Возможна ли количественная оценка нелинейности по анализу только спектров жёсткости? Какие конкретно аналитические функции использовались для аппроксимации экспериментально получаемых нелинейных кривых? Возможно ли дополнительное использование структурного ОКТ сигнала для дифференцирования морфологических компонент, имеющих одинаковую жёсткость при определённом давлении?

Замечание из отзыва официального оппонента Потлова А.Ю.

Критических замечаний по работе нет. Явные недостатки не обнаружены. В качестве мелкого замечания-пожелания, можно отметить, что одной из ключевых трудностей при переносе лабораторных решений в области оптической когерентной томографии и особенностей эластографии в реальную клиническую практику является компенсация многочисленных артефактов движения. Соискателем при получении и обработке интерференционных сигналов этот аспект явно учитывался (качество полученных изображений это подтверждает), но в диссертации он описан лишь вскользь.

Замечания из отзыва на автореферат Захарова В.П.

При прочтении автореферата возникли следующие вопросы:

1. При описании применения векторного метода автор использует понятие «быстрой» и «медленной» деформации, которые интуитивно понятны, но тем не менее критериально не определены.
2. Из текста автореферата по главе 4 не совсем понятно с какой погрешностью выделяется граница опухоли и как на ее величину влияют частотные характеристики ОКЭ.

Однако эти замечания не носят принципиального характера и не затрагивают общую положительную оценку диссертации, ее научную и практическую значимость. Работа характеризуется хорошим уровнем проводившихся экспериментальных исследований и квалифицированной интерпретацией полученных результатов.

Замечания из отзыва на автореферат Дунаева А.В.

Из изложения в автореферате, однако, остаются недостаточно ясными следующие важные моменты:

1. Какой контраст по жёсткости между исследуемой биотканью и используемым в качестве сенсора локального давления силиконового слоя следует выбирать при ОКЭ исследованиях?
2. Помимо приведенных в автореферате 2D эластограмм возможно ли снятие 3D эластограмм?

Отмеченные вопросы не снижают общую высокую оценку научной и практической значимости работы.

Замечание из отзыва на автореферат Зайцева К.И.

К автореферату диссертации имеется следующий уточняющий вопрос. Известно, что разрешение классических оптических томографов определяется длиной когерентности излучения (по глубине) и диаметром зондирующего лазерного пучка (в латеральных направлениях), достигая десятков и даже единиц микрометров; глубина зондирования тканей обычно достигает одного-двух миллиметров. Снижаются ли пространственное разрешение (по глубине и латеральным направлениям) и глубина зондирования тканей при переходе от классической оптической когерентной томографии к работе системы в режиме эластографа? Если эти характеристики снижаются, то с чем это связано и какие показатели могут быть достигнуты?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается значительным опытом выполнения ими научно-исследовательских работ по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено следующее.

Анализ фазы сравниваемых ОКТ сканов с использованием предложенного векторного метода позволяет выполнять оценивание аксиальных деформаций даже при наличии сверхволновых смещений рассеивателей без необходимости предварительного снятия неопределенности фазовых вариаций с точностью до целого числа периодов. Развитый векторный метод обладает исключительной робастностью по отношению к ошибкам измерений и шумам и является вычислительно эффективным.

Использование установленной высокой линейности таких полимерных материалов, как биоподобные силиконы, позволяет выполнять не только количественные оценки модуля Юнга на основе компрессионного подхода, но и получать нелинейные зависимости «напряжение-деформация» для реальных биотканей, характеризующихся выраженной нелинейностью.

Накопление межкадровых деформаций с корректным отслеживанием текущих смещений рассеивающих частиц позволяет визуализировать достаточно большие деформации (до десятков процентов) и использовать такой метод для бесконтактного изучения деформационных процессов различной природы (термических, связанных с механическим нагружением, релаксацией

внутренних напряжений, высыханием, осмотических деформаций и т.д.) с характерными временами изменчивости от ~ десятка миллисекунд до тысяч секунд

Развитый метод квазистатической ОКТ-эластоспектроскопии на основе установленных различий упругого модуля морфологических компонент биотканей позволяет дифференцировать подтипы опухолей рака молочной железы и контролировать чистоту границы резекции, исследуя непосредственно свежие образцы ткани (с возможностью интраоперационного применения), а для модельных опухолей животных позволяет вести *in vivo* мониторинг морфологических изменений в ходе лечения и естественного развития опухолей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что развитый в диссертации метод высокоразрешающей визуализации деформаций открыл ранее недоступные возможности для детального исследования деформационных процессов различной природы, построения описывающих их теоретических моделей и их верификации. В частности, выполненные исследования позволили экспериментально проверить теоретически предсказанный эффект, заключающийся в том, что максимальные лазерно-индуцированные деформации в облучаемой коллагеновой биоткани локализуются не просто в области максимальной температуры, но также определяются термо-упругими напряжениями, локализуемымися в области максимальных градиентов температуры. ОКТ-визуализация осмотических процессов в ходе диффузии неізотонического раствора вглубь ткани впервые позволила наблюдать нетривиальную динамику знакопеременных осмотических деформаций, что углубляет понимание сложной пространственно-временной динамики осмотических явлений. Развитые в диссертации методы анализа сигналов для использования в фазочувствительной оптической когерентной томографии являются весьма общими и могут быть использованы применительно к другим зондирующим полям, в частности, для развития новых вариантов ультразвуковой диагностики.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что развитый в диссертационной работе метод эластографической визуализации впервые позволил получать пространственно-разрешенные зависимости «напряжение-деформация» для исследуемой ткани и выполнять количественное картирование текущего значения модуля Юнга биотканей для выбираемого уровня упругого напряжения. Это создало основу нового метода оптической биопсии, дающего возможность автоматизированно выполнять морфологическую сегментацию эластографических изображений с использованием установленных различий упругих свойств структурных компонент биотканей. По точности и информативности этот новый метод оказался сравнимым с результатами традиционной гистологической сегментации, но, в отличие от время- и трудозатратной традиционной гистологии, эластографическое ОКТ-исследование не требует специальной подготовки свежих образцов тканей и даже выполним *in vivo*. Эти новые возможности уже показали высокую востребованность в задачах онкологии (например, для точной оценки чистоты границы резекции опухолей), для диагностики ряда неонкологических

заболеваний в гинекологии и ряда других важных диагностических применений, что подтверждается прилагаемым актом внедрения, предоставленным НИИ экспериментальной онкологии и биомедицинских технологий при Приволжском исследовательском медицинском университете.

Оценка достоверности полученных результатов исследования выявила, что получаемые развитым в диссертационной работе эластографическим методом данные согласуются с (i) результатами исследований других авторов в данной области (для частных случаев); (ii) с данными компьютерного моделирования ОКТ-сигналов для деформируемых образцов и их эластографических изображений, получаемых развитым методом, и (iii) согласованием с результатами физических экспериментов, выполненных как с фантомными образцами с известным распределением упругих свойств, так и образцами различных биотканей, для которых выявляемые структурные неоднородности были подтверждены гистологическими исследованиями.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии автора как в создании методов и алгоритмов эластографического анализа ОКТ сканов, так и в их экспериментальной апробации, в том числе проведении совместных с соавторами - биологами и медиками экспериментов по эластографическому исследованию опухолей непосредственно на экспериментальных животных и образцах пост-операционных опухолевых тканей. Соискателем полностью разработан и реализован пользовательский интерфейс, интегрированный с программами эластографической обработки ОКТ данных, которые в последние годы используются в Приволжском медицинском университете (г. Нижний Новгород) и Институте фотонных технологий (г. Москва) с ОКТ приборами, произведенными в ИПФ РАН.

В ходе защиты диссертации были сформулированы следующие замечания:

- 1) В связи с представлением в докладе векторного метода диссертанта попросили подробнее пояснить формульное представление метода для его реализации в программном виде.
- 2) Аналогичный уточняющий вопрос был задан про использованные в работе методы статистической обработки данных и моделирования ОКТ-сигналов, регистрируемых от деформируемой среды.
- 3) Был задан вопрос, по каким причинам и до какой степени разрежение записи позволяет улучшить отношение сигнал/шум.

Соискатель Советский А.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

- 1) Векторный метод использует комплексные числа, которые в программе представляются в виде двух переменных (реальной и мнимой части комплексного числа, рассматриваемых как координаты вектора в комплексной плоскости). Использование математических операций со

сформированными числами реальной и мнимой части позволяет реализовать векторные операции, не выделяя фазу сигнала в явном виде вплоть до самого последнего этапа.

2) Статистический анализ и моделирование, в основном, проводились моим соавтором Матвеевым Александром Львовичем, поэтому в докладе основное внимание было уделено именно тем моментам, где личный вклад был определяющим.

3) Метод разрежения используется при оценивании медленно меняющихся деформаций, для которых межкадровые вариации фазы очень малы. При этом увеличение временного интервала между сравниваемыми сканами когерентно накапливает искомую межкадровую разность фаз приблизительно пропорционально коэффициенту разрежения, тогда как уровень шумов приемной линейки для соседних и разреженных кадров остается приблизительно неизменным. В результате отношение сигнал/шум первоначально возрастает, однако при слишком большом разрежении возрастание межкадровых деформаций уже начинает приносить дополнительные декорреляционные шумы, так что отношение сигнал/шум снова падает. В диссертации приведены соответствующие выражения для выбора оптимальной степени разрежения.

На заседании 16.11.2022 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи по созданию нового метода эластографической визуализации, предназначенного для широкого спектра биомедицинских и иных применений и основанного на использовании радиофизических подходов к анализу сигналов фазочувствительной оптической когерентной томографии, присудить Советскому А.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек из них 9 докторов наук по специальности 01.04.03 (1.3.4.) – Радиофизика, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени — 19, против присуждения ученой степени — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Гурбатов Сергей Николаевич

Клюев Алексей Викторович

16.11.2022