

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук
Братченко Ивана Алексеевича о диссертационной работе
Корневой Надежды Владимировны «Оптическая спектроскопия
для интраоперационной диагностики при лазерных хирургических
вмешательствах в урологии», представленной на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Диссертационная работа Н.В. Корневой посвящена разработке и экспериментальному обоснованию методов интраоперационной оптической диагностики при лазерных хирургических вмешательствах в урологии. Работа направлена на решение двух актуальных клинических задач: автоматическое распознавание типа ткани (почечный камень или слизистая оболочка) во время лазерной литотрипсии и диагностика рака мочевого пузыря *in vivo* с использованием мультимодальной оптической спектроскопии. Объектом исследования выступают ткани и образования мочевыделительной системы человека (слизистая оболочка мочевого пузыря в норме и при раке, почечные камни различных типов).

Диссертация структурирована логично и последовательно: она включает введение, четыре содержательные главы, заключение и список цитируемой литературы. Общий объём составляет 133 страницы текста, содержит 43 иллюстрации и 4 таблицы. Список литературы включает 126 источников, отражающих современное состояние исследований в области оптической биомедицины и урологии.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, определена её научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы защищаемые положения. Приведены сведения об апробации результатов на российских и международных конференциях, а также о публикациях автора по теме диссертации.

Первая глава представляет собой обзор литературы, посвященный методам интраоперационной оптической диагностики в урологии. Рассмотрены оптические свойства здоровых и патологических тканей мочевыделительной системы, а также существующие подходы к оптической навигации при лазерной литотрипсии и диагностике рака мочевого пузыря. Автором обоснована необходимость разработки новых методов, совместимых с хирургическим оптоволоконном и пригодных для использования во время урологических оперативных вмешательств.

Во **второй главе** представлена разработка системы распознавания типа ткани (мягкая ткань/почечный камень) перед хирургическим оптоволоконном на

основе метода спектроскопии диффузного отражения. Автором проведены эксперименты *in vivo* на 22 операциях, в ходе которых регистрировались спектры отражения от различных объектов (неповрежденная слизистая, камень, коагулированная ткань, кровотечение на фоне камня). На основе анализа спектров эффективной оптической плотности в диапазоне 450-650 нм с использованием методов машинного обучения разработаны классификационные модели. Показано, что одна из моделей позволяет определять слизистую и камень с чувствительностью и специфичностью по 93%, а также идентифицировать более сложные случаи (точность определения коагулированной ткани – 67%, кровотечения на фоне камня – 80%). Итоговым результатом является алгоритм, встроенный в тулиевый лазерный аппарат, что подчеркивает высокую практическую значимость работы.

В третьей главе исследуется возможность применения комбинации спектроскопии диффузного отражения и флуоресцентной спектроскопии (трехмерные матрицы возбуждения-эмиссии) для определения состава и плотности почечных камней в условиях, приближенных к интраоперационным. На основе *ex vivo* измерений 118 конкрементов с верификацией состава методом ИК-Фурье спектроскопии и плотности методом компьютерной томографии разработана математическая модель. Установлено, что спектры флуоресценции уратных, оксалатных и гидроксипатитовых камней имеют характерные отличия, а форма спектров эффективной оптической плотности коррелирует с типом конкремента. Комбинированная модель позволила определять доминирующий тип камня с точностью 92% (усредненная по каждому из классов f1-мера), прогнозировать процентное содержание компонентов (относительная ошибка 11-27% в зависимости от типа конкремента) и плотность камней (средняя абсолютная ошибка 290 HU).

В четвертой главе проводится оценка эффективности мультимодальной методики, объединяющей спектроскопию диффузного отражения, флуоресцентную спектроскопию в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, а также спектроскопию комбинационного рассеяния света, для интраоперационного определения новообразований мочевого пузыря. Измерения *in vivo* проведены у 21 пациента. Показано, что спектроскопия КР и БИК-флуоресценция демонстрируют низкий диагностический контраст ($AUC = 0.686$), в то время как использование СДО и флуоресцентной спектроскопии в видимом диапазоне дают значимые различия между здоровой и раковой тканью. На основе анализа спектров диффузного отражения выявлены повышенный индекс общего гемоглобина, пониженная степень оксигенации и повышенное рассеяние в опухолевой ткани. Также зафиксировано снижение интенсивности флуоресценции в видимом диапазоне, связанное с изменением вклада в сигнал эпителиальных клеток. Модель логистической регрессии, использующая эти параметры, показала чувствительность 78% и специфичность 91% при определении рака, а также высокую точность (96.5%) в различении послеоперационных рубцов от опухолевой ткани.

В **заключении** подведены итоги диссертационного исследования, сформулированы основные научные результаты и выводы, соответствующие поставленным цели и задачам работы.

Диссертационное исследование проведено на высоком научном уровне, его основные положения прошли широкую апробацию: результаты опубликованы в 5 рецензируемых научных журналах, удовлетворяющих требованиям ВАК, а также представлены в 8 докладах на всероссийских и международных конференциях. Наиболее значимыми **достоинствами** работы можно назвать следующее:

1. Работа обладает логичной структурой и полнотой изложения материала. Каждая экспериментальная глава содержит исчерпывающее описание объектов, методов, дизайна исследования и статистической обработки, что делает результаты прозрачными и воспроизводимыми.
2. Работа выделяется тем, что в ней впервые проведено комплексное исследование оптического отклика тканей мочевого пузыря непосредственно в ходе операции, что позволило выявить реальные диагностические маркеры (оксигенация, гемоглобин) без использования экзогенных контрастов.
3. Диссертационная работа отличается выраженной практической направленностью. Это редкий случай, когда результаты кандидатской диссертации доведены до стадии готового медицинского изделия, способного непосредственно повысить безопасность лазерной литотрипсии. Патентование разработки дополнительно подтверждает её инновационность и востребованность.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

В то же время к работе имеются замечания:

- Каким образом в главе 3 осуществлялся отбор 60% данных для обучения при наличии образцов со смешанным составом? Учитывалось ли при разбиении на обучающую и тестовую выборки, чтобы все точки измерений одного и того же камня не попадали одновременно в обе выборки?
- В разделе 3.1.3 автор описывает построение математических моделей для определения состава камней, однако из текста остаётся не до конца ясным, какая именно задача классификации решалась при определении доминирующего типа конкремента. Использо-

лась ли многоклассовая классификация (multi-class), предполагающая отнесение каждого образца ровно к одному из трёх классов (урат, оксалат, гидроксипатит), или же решалась задача многоцелевой классификации (multi-label), допускающая одновременное присутствие нескольких типов в одном образце?

- При анализе данных методом главных компонент в главе 3 автор не приводит сведений о том, наблюдалась ли корреляция между значениями главных компонент и типами конкрементов. Было бы целесообразно визуализировать распределение образцов в пространстве первых двух-трёх главных компонент и оценить, насколько хорошо они разделяются по типам ещё до применения классификатора. Это позволило бы судить о том, какие спектральные особенности вносят основной вклад в разделение уратных, оксалатных и гидроксипатитовых камней.
- В разделе 4.1.4, посвящённом классификации здоровой и опухолевой тканей, автор указывает, что для обучения отбиралось по 200 случайных спектров здоровой и раковой ткани с каждой операции, а затем «предсказание типа ткани проводилось по всем измерениям». Такая формулировка создаёт впечатление, что тестирование выполнялось на тех же данных, которые использовались для обучения, что методологически некорректно. Далее автор упоминает, что качество классификации оценивалось с использованием погрупповой кросс-валидации, где в качестве группы выступали спектры с одной операции. Остаётся неясным, какой из этих подходов применялся в итоге. Кроме того, требует пояснения выбор именно 200 спектров с каждой операции для обучения.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки проделанной соискателем работы. Получено значительное количество важных и новых результатов, имеющих как фундаментальное, так и прикладное значение для развития методов интраоперационной оптической диагностики в урологии.

Считаю, что диссертация «Оптическая спектроскопия для интраоперационной диагностики при лазерных хирургических вмешательствах в урологии» соответствует специальности 1.3.6. Оптика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и оформлена согласно приложениям № 8 и 9 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени

М.В. Ломоносова», а её автор — Корнева Надежда Владимировна — заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Официальный оппонент:

Братченко Иван Алексеевич,
доктор физико-математических наук

Место работы и должность:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Научно-образовательный центр «Фундаментальная и прикладная фотоника. Нанопотоника», ведущий научный сотрудник

_____ И.А. Братченко
«19» марта 2026 года

Адрес места работы:

236041, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14
Телефон: +7 (4012) 59-55-95
E-mail: post@kantiana.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена докторская диссертация:

1.5.2. Биофизика

Подпись Братченко Ивана Алексеевича ЗАВЕРЯЮ:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

Телефон: +7 (4012) 59-55-95

E-mail: post@kantiana.ru