



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

27 ФЕВ 2026

№ 104-960

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Самарского университета

доктор экономических наук, профессор

В.Д. Богатырев

2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева»
на диссертационную работу Дрёмина Виктора Владимировича
на тему «Методы оптической визуализации тканевого метаболизма в задачах
биомедицинской диагностики», представленную на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.5.2. – Биофизика

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Дрёмина В.В. направлена на решение актуальной научной проблемы в области биофизики и биомедицинской фотоники – разработку методов количественной визуализации тканевого метаболизма для задач диагностики и мониторинга патологических процессов. Нарушения микроциркуляции, оксигенации и энергетического обмена являются универсальными маркерами широкого спектра социально значимых заболеваний, включая сахарный диабет, онкологические, сосудистые, нейродегенеративные и другие патологии.

Несмотря на широкое использование в клинической практике методов морфологической визуализации (например, УЗИ, КТ, МРТ), они не позволяют в достаточной мере оценивать функционально-метаболическое состояние тканей. В этой связи особую значимость приобретают оптические методы – гиперспектральная, поляризационная, флуоресцентная и спекл-контрастная визуализация, позволяющие получать информацию о тканевом метаболизме *in vivo* и без введения экзогенных контрастных агентов.

Работа Дрёмина В.В., направленная на развитие мультимодальных методов оптической визуализации, создание алгоритмов обработки и интерпретации данных и экспериментальное подтверждение их диагностической эффективности, является актуальной и отвечает современным тенденциям развития биофизики, биомедицинской фотоники и персонализированной медицины.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Сформулированные в диссертации научные положения и выводы основаны на результатах собственных экспериментальных, модельных и прикладных исследований автора и являются научно обоснованными.

Обоснованность результатов подтверждается следующими факторами: 1) В работе использован широкий спектр современных физических и биофизических методов, включая моделирование распространения света в рассеивающих средах, гиперспектральную, поляризационную, флуоресцентную и спекл-контрастную визуализацию, а также методы машинного обучения и статистического анализа. 2) Приведены данные модельных, *in vitro* и *in vivo* исследований, выполненных с использованием адекватных экспериментальных протоколов и корректных методов обработки данных. 3) Результаты моделирования согласуются с экспериментальными измерениями, что подтверждает физическую и биологическую состоятельность предложенных подходов. 4) Выводы логично следуют из поставленных задач и представленного экспериментального материала.

Обоснованность положений также подтверждается широким объёмом публикаций в рецензируемых международных и отечественных научных журналах и обсуждением результатов на профильных отечественных и международных конференциях биомедицинского, физического и технического профиля. Полученные в диссертационной работе результаты теоретических и прикладных исследований использовались при выполнении нескольких проектов, поддержанных различными научными фондами.

Структура диссертационной работы

Работа состоит из введения, шести тематических глав, заключения, обширного списка использованной литературы, включающего 493 наименования. Каждый структурный элемент выполняет четкую функциональную нагрузку, а главы связаны между собой логическими переходами, образуя целостное научное повествование.

Во **введении** автор определяет концептуальные рамки исследования. Последовательно и аргументированно обосновывается научно-практическая

актуальность проблемы, связанной с нарушением тканевого метаболизма при социально значимых заболеваниях. Четко и конкретно формулируются цель и задачи диссертационного исследования. В разделе научной новизны сформулированы ключевые положения, отражающие авторский вклад. Отдельно и убедительно раскрывается теоретическая и практическая значимость работы, а также дается характеристика методологической базы и апробации результатов.

Первая глава выполняет роль фундаментального теоретического обзора. Она не является формальным перечнем литературных данных, а представляет собой критический анализ. Автор систематизирует современные представления о биохимических и физиологических основах тканевого метаболизма, его регуляции и патологических нарушениях. Особую ценность представляет детальный сравнительный анализ существующих методов исследования (от ПЭТ/МРТ до оптической спектроскопии), их возможностей и ограничений. На этой основе убедительно выводится актуальность и перспективность именно оптических мультимодальных подходов, логически подводя к предмету собственных разработок автора.

Вторая глава посвящена первой ключевой разработке – методу поляризационно-чувствительной гиперспектральной визуализации. Изложение следует строгой научно-инженерной логике: от постановки задачи (диагностика диабетических осложнений) через детальное описание разработанного аппаратно-программного комплекса и методики измерений к созданию принципиально нового инструмента анализа – искусственной нейронной сети, обученной на массиве данных, сгенерированном методом Монте-Карло. Результаты *in vivo* измерений на здоровых добровольцах и пациентах с диабетом демонстрируют работоспособность метода и его диагностическую чувствительность.

Третья глава развивает поляризационное направление, но для решения задачи онкологической диагностики. Автор переходит от гиперспектрального подхода к Стокс-поляризационной визуализации. Глава детально описывает экспериментальную систему и оригинальные алгоритмы анализа (кластеризация в пространстве Стокса, симметричное разложение). Экспериментальная часть на образцах рака молочной железы и толстой кишки наглядно доказывает эффективность метода для безокрасочной цифровой гистологии и дифференциации тканей с помощью машинного обучения.

Четвертая глава расширяет мультимодальность исследования, добавляя флуоресцентную модальность. Автор разделяет подходы к визуализации интенсивности (для интраоперационного картирования опухолей) и времени жизни флуоресценции (для оценки метаболического

статуса). Изложение подкрепляется результатами экспериментов на животных моделях и биопсийном материале, подтверждающими высокий потенциал и информативность методов.

Пятая глава завершает формирование комплексной системы оценки метаболизма, добавляя функциональный компонент – анализ микроциркуляции. Данная глава связана с усовершенствованием метода лазерной спекл-контрастной визуализации за счет внедрения частотно-временного (вейвлет) анализа. Это позволяет перейти от оценки общей перфузии к картированию регуляторных ритмов, что продемонстрировано в экспериментах на животных и человеке.

Шестая глава является метрологическим разделом, обеспечивающим достоверность всех предыдущих исследований. В ней представлена системная работа по созданию набора калибровочных тест-объектов (фантомов), имитирующих поглощающие, рассеивающие, поляризационные и флуоресцентные свойства биологических тканей. Это не только подтверждает техническую грамотность автора, но и закладывает основу для стандартизации и воспроизводимости разработанных методов.

В заключении автор не просто суммирует результаты, а осуществляет их содержательный синтез. Выводы структурированы в соответствии с поставленными задачами и положениями, выносимыми на защиту, демонстрируя достижение цели диссертационного исследования. Формулировки выводов конкретны, доказательны и отражают как теоретические, так и практические достижения работы.

Таким образом, материал диссертационной работы Дрёмина В.В. характеризуется последовательностью изложения; наименование диссертационной работы отражает её содержание; автореферат соответствует основным результатам и выводам диссертационной работы. Опубликованные научные работы полностью отражают основные положения.

Научная новизна и достоверность результатов

Научная новизна работы носит комплексный и многоплановый характер, что отражено в сформулированных автором положениях, выносимых на защиту. Ключевые инновационные аспекты включают:

1) Создание первых в своём роде поляризационно-чувствительных гиперспектральной и Стокс-поляризационной систем визуализации, интегрированных с алгоритмами машинного обучения.

2) Разработку и экспериментальное подтверждение новых диагностических параметров и классификаторов на основе поляризационных, спектральных и флуоресцентных характеристик для выявления диабетических осложнений и дифференциации опухолевых тканей.

3) Применение метода визуализации времени жизни флуоресценции в частотной области для анализа метаболического статуса тканей и действия нейромодуляторов.

4) Предложение нового метода частотно-временной декомпозиции сигналов лазерной спекл-контрастной визуализации для картирования регуляторных ритмов кровотока.

5) Разработку новых типов стабильных оптических фантомов, имитирующих комплексные свойства биологических тканей.

Достоверность полученных научных результатов и выводов убедительно обоснована. Автор применяет комплексную методологию, включающую тщательное математическое моделирование (метод Монте-Карло) с последующей экспериментальной верификацией; использование современных и апробированных методов статистической обработки данных, регрессионного, кластерного анализа и машинного обучения; проведение контролируемых клинических и экспериментальных исследований на достаточных по объему выборках; сопоставление полученных данных с результатами независимых исследований; многократную апробацию результатов на международных и всероссийских конференциях.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы

Теоретическая значимость диссертации заключается в существенном вкладе в развитие научных представлений о взаимодействии оптического излучения с биологическими тканями, закономерностях формирования оптических сигналов в условиях метаболических нарушений. Разработанные численные модели и новые подходы к анализу данных формируют методологическую основу для дальнейших исследований в биофотонике и биомедицинской оптике.

Практическая значимость работы исключительно высока. Разработанные методы и устройства представляют собой готовые или близкие к внедрению технологические решения для:

- неинвазивной ранней диагностики и мониторинга микрососудистых осложнений сахарного диабета (синдром диабетической стопы);

- цифровой гистопатологии и интраоперационного определения границ опухолевой ткани, что может повысить эффективность и снизить травматичность хирургических вмешательств;

- оценки тканевой оксигенации, перфузии и энергетического метаболизма в неврологии, кардиологии, трансплантологии и других областях медицины;

- метрологического обеспечения и стандартизации оптико-диагностических систем с помощью разработанных фантомов.

Также результаты работы уже нашли применение в учебном процессе и используются в рамках выполненных и текущих научно-исследовательских проектов, поддержанных грантами (РФФИ, РНФ, гранты Президента РФ, проекты ЕС H2020), что свидетельствует об их востребованности.

Замечания по диссертационной работе

При знакомстве с работой возникли некоторые вопросы и замечания:

1) В работе было бы полезно более детально и структурированно обсудить существующие барьеры для широкого внедрения предложенных методов в рутинную клиническую практику.

2) Хотя работа содержит сравнение с литературными данными, для некоторых методов (например, гиперспектральной оценки оксигенации при диабете) было бы ценно прямое сравнительное исследование с общепринятыми клиническими методами диагностики осложнений (например, оценкой лодыжечно-плечевого индекса, УЗИ, капилляроскопией и др.)

3) Соискатель использует большое количество англицизмов, например, пинхол, бимсплиттер, хотя существуют русские аналоги.

4) При описании экспериментальных систем отсутствует ряд деталей. Например, какие фильтры были использованы для отсекающего флуоресцентного излучения – интерференционные или абсорбционные; не обосновано использование суперконтинуумного лазера, сильно увеличивающего стоимость поляризационной системы; достаточно ли разрешение гиперспектрометра для анализа целевых тканевых хромофоров и т.п.

5) В работе широко используется метод Монте-Карло. Проводилась ли количественная валидация разработанных моделей до их применения для обучения нейронных сетей? Каковы пределы применимости допущений (семислойная модель кожи, использование фазовой функции Хени-Гринштейна) при переходе от модели к реальным *in vivo* измерениям?

6) Во второй главе в качестве переменных параметров в модели кожи рассматриваются кровенаполнение, толщина эпидермиса, содержание меланина и сатурация. При этом возможное изменение такого важного параметра как гидратация биотканей не учитывается, что ограничивает диагностический потенциал метода. Изменение содержания воды может влиять не только на поглощающие свойства, но и на анизотропию рассеяния и поляризацию.

7) Получено решающее правило на основе линейного дискриминантного анализа (формула 2.34) с $Se=0,95$, $Sp=0,85$. Проводилось

ли тестирование этого правила на независимой выборке пациентов, не участвовавшей в обучении?

8) Вторая глава диссертационного исследования посвящена диагностике диабетических осложнений. Возможно ли с помощью представленного подхода дифференцировать сосудистые нарушения с иной этиологией?

9) Для оценки эффективности классификаторов соискатель обосновано использует ROC-анализ (рисунки 2.23 и 3.23). Однако было бы полезно указать доверительный интервал на представленных ROC-кривых.

10) В разделе 3.4.2 анализируется ряд поляриметрических параметров. Можно ли выделить параметр, являющийся наиболее ранним маркером малигнизации? Также может ли поляриметрия выявить дисплазию высокой степени в образце, который гистолог классифицирует как «подозрительный, но неоднозначный»?

11) На стр. 196 показано увеличение контраста при 495 нм. Однако спектры коллагена, НАДН и ФАД перекрываются. За счет какого именно флуорофора (или их соотношения) достигается шестикратное улучшение контраста в модели ГЦК? Проводился ли анализ срезов после визуализации для подтверждения, что флуоресцирующая область точно соответствует гистологическим границам опухоли?

12) В разделе 6.2 представлены эластичные фантомы на основе ПАА с ФАД. Какова долговременная стабильность флуоресцентных свойств этих фантомов при хранении (в днях/месяцах)? Происходит ли фотообесцвечивание при многократном облучении в процессе калибровки?

13) В работе предложены 4 различных метода для оценки разных сторон метаболизма. Возможно ли предложить единый интегральный показатель, вычисляемый на основе комбинации гиперспектральных, поляризационных, флуоресцентных и спекл-данных с одного участка ткани?

Поставленные вопросы носят уточняющий характер, не снижают научной ценности диссертационной работы и не влияют на ее общую положительную оценку.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Дрёмина В.В. на тему «Методы оптической визуализации тканевого метаболизма в задачах биомедицинской диагностики» является завершенной научно-квалификационной работой, характеризуется единством изложения, содержит новые научно обоснованные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие биофизики, обладает научной новизной и практической значимостью.

Полученные автором результаты диссертации достоверны, выводы обоснованы и своевременно опубликованы в открытой печати.

Диссертация отвечает критериям, изложенным в пп. 9-11, 13, 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор работы, Дрёмин Виктор Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.5.2. – Биофизика.

Отзыв подготовлен профессором кафедры лазерных и биотехнических систем Самарского университета, доктором физико-математических наук (специальность 01.04.01. – Приборы и методы экспериментальной физики), профессором Захаровым Валерием Павловичем.

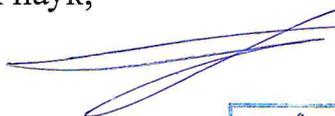
Диссертационная работа и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры лазерных и биотехнических систем федерального государственного автономного образовательного учреждения «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (протокол № 6 от 2 февраля 2026 г.).

И.о. заведующего кафедрой
лазерных и биотехнических систем
Самарского университета
кандидат физико-математических наук



Д.Н. Артемьев

Профессор кафедры
лазерных и биотехнических систем
Самарского университета
доктор физико-математических наук,
профессор



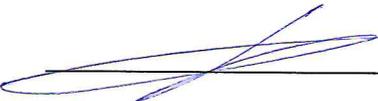
В.П. Захаров

Сведения об организации:

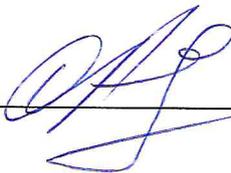
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, (846) 335-18-26, rector@ssau.ru, www.ssau.ru

Подпись	<i>Артемьева Д.Н., Захарова В.П.</i>	удостоверяю.
Начальник отдела сопровождения деятельности		
ученых советов Самарского университета		
	<i>Бояркина</i>	Бояркина У.В.
	<i>« 25 » февраля</i>	20 <i>26</i> г.

Я, Захаров Валерий Павлович, даю согласие на обработку моих персональных данных (Приказ Минобрнауки России от 01.07.2015 №662) и на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени доктора физико-математических наук Дрёмина Виктора Владимировича.

«25» 02 2026 г.  В.П. Захаров

Я, Артемьев Дмитрий Николаевич, даю согласие на обработку моих персональных данных (Приказ Минобрнауки России от 01.07.2015 №662) и на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени доктора физико-математических наук Дрёмина Виктора Владимировича.

«25» 02 2026 г.  Д.Н. Артемьев

