

УТВЕРЖДАЮ

И. о. проректора по научной и инновационной
деятельности Национального исследовательского
Томского государственного университета,
доктор физико-математических наук, профессор

Ворожцов Александр Борисович

«19» сентября 2024 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»**

на диссертационную работу Гамаюновой Екатерины Алексеевны «Исследование температурных зависимостей оптических характеристик биологических объектов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Актуальность темы исследования

Оптические свойства биологических тканей могут меняться при изменении физического состояния этих тканей. Оптические свойства биотканей изменяются даже в физиологическом диапазоне температур. Однако основная часть исследований при физиологической температуре выполнена несколько десятилетий назад. Возникает вероятность того, что использование литературных данных может привести к неправильной оценке условий распространения света через биологическую ткань в живом объекте. Соответственно, ввиду недостаточности информации, возникает актуальность уточнения и получения новых данных об оптических характеристиках биотканей при физиологической температуре.

Диссертационная работа Е. А. Гамаюновой посвящена выявлению закономерностей изменения оптических свойств различных биологических тканей в зависимости от температуры. Основной задачей диссертации являлось исследование различий в оптических характеристиках биологических объектов (кожи, подкожной жировой и мышечной тканей), находящихся в разных

температурных условиях. Основными оптическими характеристиками, которые исследовались в работе были спектры полного пропускания и диффузного отражения с интегрирующей сферой и спектры коллимированного пропускания.

В связи с вышеизложенным можно заключить, что актуальность выбранной темы диссертационной работы Е. А. Гамаюновой не вызывает сомнений.

Научная новизна

1. Впервые показаны обратимые изменения коэффициентов поглощения и рассеяния, а также фактора анизотропии рассеяния кожи, жировой и мышечной ткани при изменении их температуры в диапазоне от комнатной до физиологической.

2. Показано, что при нагреве мышечной ткани от комнатной до физиологической температуры изменяется спектральная зависимость фактора анизотропии при практической неизменности коэффициентов поглощения и рассеяния.

3. Выявлены закономерности изменения оптической плотности исследованных образцов при нагреве вплоть до 60°C.

4. Разработана методика определения температуры наночастиц CuInS₂ по спектрам их люминесценции.

5. Показано, что при прохождении лазерного излучения с длиной волны 800 нм, используемого для лазерной термотерапии, через такую многослойную среду, как кожа/жировая/мышечная ткань крысы, изменение температуры от комнатной до физиологической приводит к уменьшению поглощения в коже и увеличению в мышечной ткани.

6. Впервые показано, что при регистрации сквозь кожу крысы люминесценции наночастиц CuInS₂, внедренных в подкожный слой, зависимость от температуры отношения интенсивностей люминесценции на двух фиксированных длинах волн, соответствующих полувысоте линии люминесценции свободных наночастиц, позволяет выявить вызванные температурой фазовые изменения липидов кожи.

Практическая значимость

Результаты работы дают основу для дальнейших научных исследований оптических свойств биологических тканей при изменении температуры. Данные

исследования могут способствовать созданию малоинвазивного метода диагностики и терапии заболеваний внутренних органов и осуществления мониторинга воспалительных процессов в организме, и развить и оптимизировать методы лазерной терапии и оптической диагностики.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Е. А. Гамаюновой состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 103 страницах и содержит список цитируемой литературы из 66 источников. Оформление работы соответствует требованиям ВАК и отвечает системе стандартов РФ по информации, библиотечному и издательскому делу ГОСТ 7.0.11-2011.

Во введении обоснованы актуальность и новизна представленных исследований, сформулирована цель работы и определены задачи для ее достижения.

В первой главе проведен литературный обзор по тематике исследований. Рассматривается современное состояние исследований в области температурных зависимостей оптических характеристик биотканей и особенности их проведения. Перечислены основные актуальные проблемы в этой области и способы их решения.

Во второй главе описаны методики экспериментальных исследований температурных зависимостей оптических свойств биологических тканей. Описаны материалы, использованные в работе. Исследование было выполнено на образцах биологических тканей крыс: кожа с удаленной шерстью и жиром, мышечная ткань, подкожная жировая ткань.

Описаны методики регистрации спектров. Основными методиками регистрации спектров были спектроскопия с использованием интегрирующих сфер и регистрация спектров коллимированного излучения. Описана важность выбора методики регистрации и влияние ее на получаемые температурные зависимости оптических характеристик биологических объектов. Указаны особенности проведения регистрации спектров биологических тканей при повышении температуры, влияющие на получение корректных результатов, такие как устранения потерь влаги во время регистрации спектра и неоднородность поверхности объекта.

В третьей главе описаны измерения с помощью интегрирующей сферы. Показаны различия оптических свойств мышечной, жировой ткани и кожи крысы при увеличении температуры. Рассчитаны спектральные зависимости коэффициентов поглощения, транспортного коэффициента рассеяния и фактора анизотропии исследованных образцов. Сделаны выводы о том, что основным параметром, изменяющимся при изменении температуры для мышечной ткани, является фактор анизотропии, для кожи коэффициенты поглощения и рассеяния, для жировой ткани коэффициента рассеяния и фактора анизотропии. Так же приведены результаты исследований, которые показывают, что для прохождения света через кожу со стороны эпидермиса и со стороны дермы наблюдается различие оптических характеристик кожи и их зависимости от температуры.

В четвертой главе описаны исследования коллимированного пропускания света биологическими объектами. Показана динамика изменений коэффициентов ослабления коллимированного излучения биологических объектов при ступенчатом повышении температуры. Исследовались изменения спектров коллимированного пропускания при ступенчатом повышении температуры в диапазоне 25–70 °С без поддержания влажности и с поддержанием влажности. Наблюдается нелинейный характер изменений спектров, причем эти изменения различны для разных участков спектра. Можно сделать вывод о необходимости поддержания влажности в измерительной камере. Так же подтверждаются ранее полученные результаты - коэффициенты ослабления для излучения, проходящего со стороны эпидермиса и со стороны дермы различны.

Пятая глава посвящена регистрации люминесценции наночастиц, помещенных под кожу. Исследовались спектры ослабления коллимированного излучения, а также люминесценции синтезированных наночастиц $\text{NaYF}_4:\text{Yb,Er}$ [7], излучающих в диапазоне 520–550 нм. Сбор люминесценции проводился при помощи широкоапертурной линзы. Исследованы образцы мышц и кожи крысы с обеих сторон. Сравнение полученных коэффициентов затухания показывает постоянство их отношения с незначительной погрешностью. На основании этих данных делается вывод, что использование данных коллимированного пропускания для учета затухания люминесценции при прохождении через

биологические ткани и сборе излучения в широкой апертуре является правильным. Также описана методика синтеза и характеристика наночастиц $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$. В результате синтеза образуются наночастицы, свойства которых изменяются в течение некоторого времени после синтеза. Люминесценция созревших наночастиц находится в области 600–850 нм. Покрытие наночастиц оболочкой ZnS значительно увеличивает люминесценцию. Исследовалось изменение спектров люминесценции наночастиц $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$, расположенных под слоем кожи со стороны дермы. Показано, что результаты восстановления температуры наночастиц по спектрам, полученным при прохождении излучения через кожу, зависят от геометрии эксперимента. Показано, что регистрация отношения интенсивностей люминесценции внедренных в биоткань наночастиц $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ на полувысоте спектральной линии позволяет выявлять фазовые переходы в биоткани.

В заключении автор суммирует итоги проведенного исследования, приводит выводы, обобщая результаты работы.

Вопросы и замечания по диссертации

1. Для расчета оптических характеристик биотканей в работе использовалась хорошо известная программа IAD. Однако данная программа не учитывает дисперсию стекол кюветы и самого исследуемого вещества. Следует ожидать, что получаемые данные несколько искажены по спектру, однако степень таких искажений автором не анализируется.

2. Утверждение автора о том, что используемый режим регистрации люминесценции с использованием световода и коллиматоров требует доказательства.

3. Визуальный анализ и сравнение спектров поглощения затрудняется тем, что на спектрах не указываются положения полос поглощения.

4. Непонятно, почему в работе спектры различных тканей приведены в различных спектральных диапазонах. Единообразие представления отсутствует.

5. Приведенная на рис. 5.21 зависимость отношения интенсивностей люминесценции от температуры имеет явное отклонение от линейности в диапазоне 28–34⁰С. В то же время автором проведена линейная аппроксимация по всему температурному диапазону. Следует ожидать, что аппроксимирование по

диапазону 34–46⁰С позволила бы определять температуру с меньшей погрешностью.

Приведенные замечания не умаляют высокой оценки диссертационной работы.

Гамаюнова Екатерина Алексеевна является соавтором 8 статей по тематике исследований, в том числе 2 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук; 4 статьи в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science; 2 статьи в сборниках материалов конференций. Результаты работы Е. А. Гамаюновой были представлены на российских и международных конференциях.

Степень достоверности полученных результатов

Достоверность результатов, полученных в ходе выполнения диссертационного исследования, подтверждается сопоставлением, использованием современного научно-исследовательского оборудования и программного обеспечения и применением апробированных методик измерений и расчета, воспроизводимостью экспериментальных и расчетных данных, а также их согласованностью с результатами независимых исследований других авторов.

Заключение

По актуальности решаемых задач, объему выполненных исследований, уровню их обсуждения и научной значимости диссертация Е. А. Гамаюновой является законченным научным исследованием. Научные положения и результаты диссертации четко обоснованы. Автореферат дает полное представление о содержании диссертации.

Таким образом, актуальность исследований, новизна, достоверность и практическая значимость выводов, сделанных в диссертационной работе Гамаюновой Екатерины Алексеевны «Исследование температурных зависимостей оптических характеристик биологических объектов» не вызывают сомнений. Полученные результаты вносят существенный вклад в спектральную оптику. Диссертация отвечает требованиям п. 9–11, 13, 14, предъявляемым к диссертациям

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук действующим Положением о присуждении ученых степеней, а автор диссертационной работы, Гамаюнова Екатерина Алексеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры оптики и спектроскопии физического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета (протокол № 11/24 от 19 сентября 2024 года).

Отзыв составил:

Заместитель проректора по научной и инновационной деятельности, заведующий лабораторией лазерного молекулярного имиджинга и машинного обучения НИ ТГУ, доктор физико-математических наук (01.04.05 – Оптика), профессор

Кистенев Юрий Владимирович



19 сентября 2024 г.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36

Телефон: +7 (3822) 52-98-52

e-mail: rector@tsu.ru

Официальный сайт организации: www.tsu.ru