

ОТЗЫВ

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Совина Кирилла Владимировича

«Разработка радиочастотных методов исследования обратимых и необратимых изменений в биологических тканях при термическом воздействии»

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Актуальность работы

При проведении ряда хирургических процедур возможно термическое воздействие на ткани организма человека. Это воздействие включает как обратимый термический нагрев, так и необратимую деструкцию тканей при определенных параметрах воздействия. Существует необходимость разделения этих процессов в общей картине термического отклика тканей, установления дозы воздействия, необходимой для необратимой деструкции тканей, что является залогом успешного проведения операции. Одним из наиболее подходящих методов для оценки изменений в биологических тканях, происходящих под воздействием нагрева, обусловленного лазерным излучением, является импедансная спектроскопия, чувствительная к структурным изменениям в тканях. Таким образом, диссертационная работа посвящена решению актуальной проблемы, а именно, разработки методов исследования обратимых и необратимых изменений в биологических тканях при их единовременном протекании в условиях однородного разогрева лазерным излучением на основе измерения их электрических свойств.

Научная новизна работы

Научная новизна представленной работы не вызывает сомнения. В диссертационной работе впервые предложена методика изучения термической деградации биологических тканей с разделением обратимых и необратимых изменений в условиях однородного разогрева модулированным оптическим излучением; впервые была получена зависимость температурного коэффициента адмиттанса в области температур, соответствующих активному протеканию процесса деградации; разработана математическая модель по влиянию степени неоднородности разогрева биологических образцов на точность определения их параметров деградации по формализму Аррениуса, проведено сравнительное исследование по влиянию разных методов нагрева тканей.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы обусловлена важностью полученных результатов, которые демонстрируют возможность разделения вклада одновременно протекающих

процессов обратимой и необратимой термической деградации тканей, с помощью методов радиочастотной импедансной спектроскопии и моделирования.

Полученные результаты имеют большую практическую значимость, поскольку могут быть использованы для оценки параметров деградации биологических тканей при предоперационном планировании лечения с применением термической абляции.

Степень достоверности и обоснованности полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждены ее высоким научно-методическим уровнем, воспроизводимостью экспериментальных результатов и их согласованностью с данными других исследований. В работе автором использован метод измерения радиочастотных электрических свойств биологических тканей с помощью импедансной спектроскопии с применением современной приборной базы. Для теоретического описания процессов термического повреждения тканей используется формализм Аррениуса. Теоретический анализ распределения интенсивности оптического излучения был проведен с применением теории переноса излучения, оценка распределения температуры – с использованием нестационарного уравнения теплопроводности.

Все изложенное выше позволяет считать, что представленные Совиным К.В. результаты достоверны, а научные положения и выводы, в основу которых были положены полученные результаты, полностью обоснованы.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, раздела с благодарностями. Объём диссертации составляет 100 страниц. Работа иллюстрирована 49 рисунками и 12 таблицами. Список литературы содержит 86 источников российских и зарубежных авторов.

Во **Введении** приведена общая характеристика работы, дано обоснование актуальности темы исследования, подкреплённое соответствующими ссылками на литературные источники; представлены цели и задачи работы; сформулированы защищаемые положения, имеются данные об апробации результатов работы, представлены сведения о количестве опубликованных работ по теме диссертации и личном вкладе автора.

В первой главе представлен обзор литературы, в котором последовательно и подробно приводится описание уровней организации живой системы, строения куриной печени, выбранной в качестве объекта исследования, рассмотрены понятия электрического импеданса, электропроводности и диэлектрической проницаемости, приведены

характерные диапазоны этих значений для ткани печени. Описаны модели электрических свойств биологических тканей и обосновывается применение уравнение Коула-Коула. Приводится описание методов радиочастотной импедансной спектроскопии, метода синхронного детектирования с четырёхэлектродной схемой. Отдельный раздел посвящен термическому воздействию на биологические ткани, включающий процессы, происходящие под действием определенной температуры, методы измерения температуры, описание формализма Аррениуса для описания необратимых процессов, рассмотрены способы аналитического описания переноса излучения в тканях, приведены спектры основных хромофоров ткани печени. Приводится описание модуляционных методов радиочастотной спектроскопии, которые анализируют отклик системы на периодическое возмущение и позволяют разделять обратимые и необратимые изменения тканей. В конце главы приводится заключение, в котором формулируются основные выводы по обзору литературы, ставятся цели и задачи диссертационного исследования. Глава хорошо иллюстрирована, содержит 18 рисунков.

Вторая глава посвящена измерению температурных зависимостей радиочастотных свойств биологических тканей в процессе однородного разогрева оптическим излучением. Для этого была разработана экспериментальная установка и методика проведения измерений, которая включает объемный нагрев биологических образцов рассеянным излучением ИК лазера длиной волны 1064 нм; сканирование спектра импеданса в широком частотном диапазоне с применением метода синхронного детектирования и четырехэлектродной схемы; исследование полученных спектров импеданса на основе уравнения Коула-Коула и спектральных производных; аппроксимацию данных низкочастотного импеданса на основе формализма Аррениуса. Показано, что нагревание образцов куриной печени приводит к монотонному уменьшению модуля импеданса во всем исследованном спектральном диапазоне. Получены зависимости электрических параметров образцов от температуры и времени воздействия и показано, что при нагреве эти зависимости монотонно увеличиваются с ростом температуры, а при термической деградации наблюдается значительный необратимый спад R_L , связанный с разрушением клеточных мембран. Показано, что оптическое излучение проникает вглубь образца и способствует его равномерному нагреванию по всему объему, что дает наименьшую ошибку определения параметров деградации практически во всем диапазоне рассчитанных толщин образца и времен деградации.

В третьей главе описана разработка нового метода модуляционной импедансометрии, предложенного диссертантом, который позволяет разделить составляющие радиочастотного импеданса, связанные с обратимыми и необратимыми

процессами, происходящими внутри биологических тканей при нагреве. Приведена схема экспериментальной установки на основе диодного лазера длиной волны 970 нм и мощностью до 20 Вт, которая амплитудно модулировалась на частоте 0,1 Гц. Для радиочастотных измерений выбрали частоту 10 кГц, как наиболее чувствительную для регистрации именно структурных изменений, происходящих в ткани в ходе деградации. Определены параметры кинетики деградации тканей печени, проведено сравнение с результатами, полученными в гл.2. и данными других авторов. Проведено моделирование распределения температуры в тканях печени при разных способах нагрева и подтверждено преимущество оптического метода.

В заключении описаны основные результаты работы.

Диссертационная работа Совина К. В. представляет собой полное и законченное исследование. Автором проделан большой объем работы, и его квалификация в области теоретических и экспериментальных исследований не вызывает сомнений.

Принципиальных замечаний по содержанию работы нет. Хотелось бы уточнить:

- 1) В описании моделей электрических свойств биологических тканей (п. 1.2.3) было бы хорошо привести обзор существующих эквивалентных электрических схем и соотнесения их элементов с реальной структурой ткани.
- 2) При аналитическом описании разогрева биотканей (п. 1.4.1) для понимания контекста выполненной работы не хватает более глубокого разбора похожих исследований, где проводились бы измерения импеданса в ходе термического воздействия.
- 3) Может ли денатурация белка в тканях при необратимых температурных изменениях давать вклад в изменение адмиттанса?

Указанные замечания не повлияли на общее хорошее впечатление о данной работе. Диссертация выполнена на высоком научно-методическом уровне. Результаты работы апробированы на международных и всероссийских конференциях, а их достоверность обусловлена применением известных методов и подходов, а также хорошей согласованностью с результатами, полученными другими научными группами. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 6 научных статей, из которых 4 статьи – в зарубежных научных изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science, 2 статьи - в научных журналах, рекомендованных ВАК.

Автореферат полностью отражает содержание работы, однако к нему есть незначительные замечания редакционного характера, а именно, наличие некоторых опечаток, несогласованных предложений и неудачных выражений.

Таким образом, считаю, что диссертационная работа **«Разработка радиочастотных методов исследования обратимых и необратимых изменений в биологических тканях при термическом воздействии»** является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне и полностью соответствующей требованиям новизны, научно-практической значимости и достоверности, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико - математических наук, установленным в Постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 16.10.2024) "О порядке присуждения ученых степеней" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025). Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.4 – Радиофизика, а ее автор, Совин Кирилл Владимирович, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник лаборатории терагерцовой фотоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН)
(630090, г. Новосибирск, пр-кт Академика, Коптюга, 1; тел: (383) 330 79 69; iae@iae.nsk.su; <https://www.iae.nsk.su>)

Доктор биологических наук, (14.03.03 - Патологическая физиология)

24.08.2026

Черкасова Ольга Павловна

Я, Черкасова Ольга Павловна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Подпись	
<i>Черкасовой О.П.</i>	
сотрудника ИАиЭ СО РАН	
заверяю	<i>Н.В.</i>
Начальник отдела кадров	
Кудрявцева Н.В.	
«24»	авг 2026



Сведения об официальном оппоненте

по диссертации Совина Кирилла Владимировича «Разработка радиочастотных методов исследования обратимых и необратимых изменений в биологических тканях при термическом воздействии» по специальности 1.3.4 – Радиофизика на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Фамилия, имя, отчество	Черкасова Ольга Павловна
Гражданство	Гражданин Российской Федерации
Ученая степень	Доктор биологических наук, 14.03.03 – Патологическая физиология
Ученое звание	нет
Основное место работы:	
Почтовый индекс, адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта организации	630090, г. Новосибирск, пр-кт Академика Коптюга, 1; (383) 330 79 69; iae@iae.nsk.su; https://www.iae.nsk.su
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук
Наименование подразделения	Лаборатория терагерцовой фотоники
Должность	Ведущий научный сотрудник
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	
1.	Nurgalieva P. K. The freeze-thaw cycle effect on blood serum autofluorescence, Raman and SERS: implications for sample classification and disease diagnostics / P. K. Nurgalieva, B. P. Yakimova, O. D. Parashchuk, O. P. Cherkasova , E. A. Tokar, D. Yu. Parashchuk, V. I. Kukushkin, N. I. Sorokin, O. Yu. Nesterova, M. G. Varentsov, L. A. Bratchenko, I. A. Bratchenko, A. A. Kamalov, E. A. Shirshin // Analyst. – 2025. – Vol. 150, № 4. – P. 727-739. - URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39838905/ . - DOI: 10.1039/d4an01215a. (Scopus).
2.	Cherkasova O. P. Terahertz nanoantenna sensor for detection of biomarker L-2-Hydroxyglutarate, design optimization and testing / O. P. Cherkasova, S. A. Kuznetsov, A. A. Rybak, M. R. Konnikova, D. E. Utkin, N. A. Nikolaev // Optical and Quantum Electronics. – 2025. – Vol. 57. – Article number 340. – 14 p. P. 340. https://doi.org/10.1007/s11082-025-08260-7 . (Scopus).
3.	Тепляков В. В. Мощный источник терагерцового излучения для изучения воздействия на конформацию белка / В. В. Тепляков, О. П. Черкасова , М. М. Назаров, М. Р. Конникова, В. А. Твердислов, П. М. Готовцев // Оптика и спектроскопия. – 2025. – Т. 133, вып. 5. – С. 585 – 592. DOI: 10.61011/OS.2025.05.60798.22-25.
4.	Vrazhnov D. Terahertz Time-Domain Spectroscopy of Blood Serum for Differentiation of Glioblastoma and Traumatic Brain Injury / D. A. Vrazhnov, D. A. Ovchinnikova, T. V. Kabanova, A. G. Paulish, Y. V. Kistenev, N. A. Nikolaev, O. P. Cherkasova // Applied Sciences-Basel. - 2024. - Vol. 14, is. 7. - Article number 2872. - 21 p. - URL: https://doi.org/10.3390/appl4072872 . - DOI: 10.3390/appl4072872. (Web of Science).
5.	Cherkasova O. P. Terahertz Spectroscopy of Mouse Blood Serum in the Dynamics of Experimental Glioblastoma / O. P. Cherkasova, M. R. Konnikova, M. M. Nazarov, D. A. Vrazhnov, Y. V. Kistenev, A. P. Shkurinov // Journal of Biomedical Photonics &

	Engineering. - 2023. - Vol. 9, № 3. - Article number 030308. - 7 p. - URL: https://jbpe.ssau.ru/index.php/JBPE/article/view/8990/3320 . - DOI: 10.18287/JBPE23.09.030308. (Scopus).
6.	Cherkasova O. Terahertz Time-Domain Spectroscopy of Glioma Patient Blood Plasma: Diagnosis and Treatment / O. Cherkasova, D. Vrazhnov, A. Knyazkova, M. Konnikova, E. Stupak, V. Glotov, V. Stupak, N. Nikolaev, A. Paulish, Y. Peng, Y. V. Kistenev, A. P. Shkurinov // Applied Sciences-Basel. - 2023. - Vol. 13, is. 9. - Article number 5434. - 17 p. - URL: https://doi.org/10.3390/appl13095434 . - DOI: 10.3390/appl13095434. (Web of Science).
7.	Shevelev O. B. In vivo MRS study of long-term effects of traumatic intracranial injection of a culture medium in mice / O. B. Shevelev, O. P. Cherkasova , I. A. Razumov, E. L. Zavjalov // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii. - 2023. - Vol. 27, № 6. - P. 633-640. - URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38223456 . - DOI: 10.18699/VJGB-23-74. (Scopus).
8.	Vrazhnov D. Analysis of Mouse Blood Serum in the Dynamics of U87 Glioblastoma by Terahertz Spectroscopy and Machine Learning / D. Vrazhnov, A. Knyazkova, M. Konnikova, O. Shevelev, I. Razumov, E. Zavjalov, Y. Kistenev, A. Shkurinov, O. Cherkasova // Applied Sciences-Basel. - 2022. - Vol. 12, № 20. - Article number 10533. - 18 p. - URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/12/20/10533 . - DOI: 10.3390/appl22010533. (Web of Science).
9.	Kistenev Y. V. Label-free laser spectroscopy for respiratory virus detection: A review / Y. V. Kistenev, A. Das, N. Mazumder, O. P. Cherkasova , A. I. Knyazkova, A. P. Shkurinov, V. V. Tuchin, I. K. Lednev // Journal of Biophotonics. - 2022. - Vol. 15, № 10. - Article number e202200100. - 18 p. - URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35866572 . - DOI: 10.1002/jbio.202200100. (Web of Science).

Официальный оппонент
24.08.2026

О. П. Черкасова


