

УТВЕРЖДАЮ
Директор ОИВТ РАН

 Петров О.Ф.

“18” 06 2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **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 темы

Диссертация Совина Кирилла Владимировича посвящена разработке радиочастотных методов исследования обратимых и необратимых изменений в биологических тканях при термическом воздействии, в частности при разогреве лазерным излучением.

Современные малоинвазивные хирургические методы (радиочастотная, микроволновая, лазерная абляция) требуют строгого контроля дозы подводимого тепла для достижения необходимого размера области необратимого воздействия. Эффективным инструментом оптимизации таких вмешательств является математическое моделирование процессов нагрева и дегградации биологических тканей, однако достоверность результатов моделирования напрямую зависит от точности используемых кинетических параметров — частотного фактора A и критической температуры T_{cr} в формализме Аррениуса. Диссертантом предложен прецизионный радиочастотный метод разделения обратимых и необратимых изменений электрических свойств ткани. Этот метод позволяет впервые получить корректные (не искажённые неучтённой температурной зависимостью проводимости) значения A и T_{cr} , которые служат входными параметрами для вычислительных моделей. Использование таких уточнённых параметров, в свою очередь, повышает предсказательную силу моделей и открывает возможность улучшения терапевтических результатов за счёт более точного предоперационного планирования.

В диссертации К.В. Совина разрабатываются радиочастотные методы измерения импеданса и адмиттанса, а также физические модели, описывающие распространение оптического излучения, тепловых потоков и

электрического тока в условиях разогрева биологических тканей. Значимая часть работы посвящена созданию методов, позволяющих в явном виде разделить обратимую и необратимую составляющие изменения радиочастотных свойств, что необходимо для точного определения параметров кинетики деградации.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка публикаций и цитируемой литературы, а также благодарностей. Во введении автором сформулированы актуальность, цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1 содержит обзор литературы по теме диссертации. Введены основные понятия и величины, необходимые для описания электрических свойств биологических тканей и их измерений. Представлены основные методы импедансной спектроскопии, включая синхронное детектирование и четырехэлектродную схему. Отдельные параграфы посвящены термическому воздействию на биоткани, формализму Аррениуса для описания кинетики повреждения, методам нагрева (включая конвективный и оптический), а также модуляционным методам (модуляционная радиочастотная спектроскопия, температурно-модулированная ДСК). Сделан вывод о необходимости разработки методов разделения обратимых и необратимых изменений импеданса в условиях однородного разогрева.

В главе 2 представлена оригинальная методика измерения температурных зависимостей электрических свойств биологических тканей, основанная на однородном объемном нагреве образцов рассеянным излучением ближнего ИК-диапазона (1064 нм). Описана разработанная экспериментальная установка с использованием четырехэлектродной схемы и синхронного детектора. Проведены измерения спектров импеданса печени в диапазоне 10^2 – $4 \cdot 10^6$ Гц, выполнена их аппроксимация на основе модели Коула-Коула. Показано, что нагревание приводит к монотонному уменьшению модуля импеданса, причем низкочастотное сопротивление R_L значительно и необратимо уменьшается в процессе деградации (разрушение клеточных мембран), в то время как параметры C и α слабо зависят от температуры. На основе формализма Аррениуса из кинетик R_L определены параметры деградации ($\ln A$, T_{cr}). Отдельно проведено математическое моделирование влияния неоднородности разогрева на точность определения параметров деградации, которое показало, что оптический разогрев дает меньшую ошибку (до 4 раз) по сравнению с конвективными методами (нагрев воздухом или водой через поверхность).

В главе 3 предложен и реализован модуляционный метод радиочастотной импедансометрии. Использован нагрев модулированным (0,1 Гц) лазерным излучением (970 нм) плоских образцов, помещенных между прозрачными электродами, с регистрацией адмиттанса на фиксированной частоте 10 кГц. Введение модуляции мощности нагрева позволило в явной форме (через разложение в ряд Фурье и выделение амплитудной составляющей) разделить обратимую и необратимую составляющие изменения электрических свойств. Впервые получена экспериментальная зависимость температурного коэффициента модуля адмиттанса в области активного протекания деградаци, показавшая его монотонное уменьшение более чем в 4 раза с ростом температуры. Это опровергает принятое в литературе предположение о линейности температурной зависимости. На основе полученных данных уточнены параметры Аррениуса для ткани куриной печени: $\ln A = 48,5 \pm 3,8 \ln(c^{-1})$, $T_{cr} = 101 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Показано, что использование предположения о линейной зависимости (как в главе 2) приводит к систематическому занижению T_{cr} и завышению $\ln A$. Проведено математическое моделирование однородности модуляционного нагрева, подтвердившее преимущества оптического метода.

Каждая глава заканчивается подразделом с выводами, в котором кратко изложены основные полученные результаты. В конце диссертации представлено общее заключение, отражающее основные результаты всей работы. Сформулированные выводы соответствуют задачам и следуют из результатов исследования.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждается использованием современных методов диагностики и измерений, а также соответствием экспериментальных результатов и теоретических оценок.

Поставленные в диссертационной работе задачи решены полностью. Результаты работы представлены в 6 статьях в научных журналах (включая 4 статьи в изданиях, индексируемых Scopus/WoS, и 2 статьи в журналах из перечня ВАК), а также в 6 трудах международных и всероссийских конференций.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Значимость полученных результатов для развития отрасли науки

Результаты диссертации имеют важное значение для радиофизики и медицинской физики, в частности для развития методов радиочастотной диагностики состояния биологических тканей. Разработанный

модуляционный метод позволяет впервые напрямую измерять температурную зависимость проводимости в области деградации, что существенно повышает точность определения кинетических параметров Аррениуса. Эти параметры необходимы для построения корректных математических моделей термической абляции, используемых в предоперационном планировании. Созданные экспериментальные стенды и алгоритмы обработки данных могут быть применены для исследования других типов кровенасыщенных тканей (мозг, сердце, легкие, почки).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

1. Разработанный модуляционный метод измерения температурного коэффициента адмиттанса рекомендуется использовать в лабораторных исследованиях для определения параметров термической деградации различных биологических тканей *ex vivo*.
2. Полученные параметры Аррениуса ($\ln A$, T_{cr}) для ткани печени могут быть использованы при математическом моделировании процессов радиочастотной, микроволновой и лазерной абляции.
3. Вывод о необходимости учета нелинейности температурной зависимости проводимости при высоких температурах следует учитывать при разработке систем мониторинга термических повреждений.
4. Показанное преимущество объемного оптического разогрева перед конвективными методами рекомендуется принимать во внимание при планировании экспериментов по изучению кинетики термических процессов в биологических тканях.

К сильным сторонам работы можно отнести комплексный подход, сочетающий оригинальные экспериментальные методики с детальным математическим моделированием (распространение излучения, теплоперенос, распределение тока). Важным достижением является разработка модуляционного метода, позволяющего в явном виде решить проблему разделения обратимых и необратимых вкладов, что ранее в литературе не было реализовано.

Общие замечания по диссертационной работе

1. В главе 3 на графиках приведены экспериментальные данные зависимостей от времени температуры и адмиттанса, однако не приводятся погрешности полученных данных.
2. В работе приведены значения параметров деградации для шести образцов (в табл. 11), но не проведено сравнение с результатами других авторов для куриной печени (в основном сравнение идет со свиной печенью).

Замечания по оформлению

1. Подписуночную подпись следует располагать на той же странице, что и сам рисунок (рис. 28 и 29).
2. Единицы измерения не следует отрывать от значения величины и переносить на новую строку (стр. 20, 39, 64, 70, 71).

Указанные замечания не затрагивают основных положений и выводов диссертации и не снижают её качества. Диссертационная работа Совина К.В. представляет собой теоретическое и экспериментальное исследование, проведённое на высоком научном уровне. Работа обладает значительной научной и практической значимостью.

Автореферат соответствует требованиям, предусмотренным п. 25 «Положения о присуждении учёных степеней». Его содержание полностью отражает содержание диссертации, полученные результаты и выводы.

Диссертация Совина Кирилла Владимировича представляет собой законченное научное исследование и по объёму результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов удовлетворяет требованиям, предъявляемым «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013, к кандидатским диссертациям, а ее автор, Совин Кирилл Владимировича, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика».

Диссертационная работа была доложена и отзыв на диссертацию был одобрен на общеинститутском семинаре ОИВТ РАН под руководством директора ОИВТ РАН академика Петрова О.Ф., протокол № 10 от 20 мая 2026 г.

Канд. физ. – мат. наук

 Ситников Дмитрий Сергеевич

Телефон: +7 (495) 362-55-62

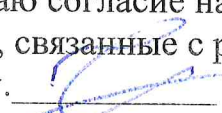
Адрес электронной почты: gjr@mail.ru

Организация – место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур РАН

Должность: Заведующий лабораторией


Web-сайт организации: <https://jiht.ru/>

Почтовый адрес организации: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

Я, Ситников Дмитрий Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку. 

Подпись Д.С. Ситникова и сведения заверяю
Ученый секретарь ОИВТ РАН
Док. физ. – мат. наук



 Киверин Алексей Дмитриевич

Сведения о ведущей организации
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.

Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур РАН
Сокращенное наименование организации	ОИВТ РАН
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования РФ
Место нахождения	г. Москва
Почтовый адрес организации	125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2
Телефон	+7 (495) 485-8345
Адрес электронной почты	office@ihed.ras.ru
Адрес официального сайта в сети «Интернет»	https://jih.t.ru/
Руководитель организации	Петров Олег Фёдорович
Список публикаций сотрудников ОИВТ РАН по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ilina, I. V., Filatov, M. A., Korshunova, D. S., Silaeva, Y. Y., & Sitnikov, D. S. (2022, June). The use of femtosecond laser pulses for controlled laser-assisted hatching of fresh and frozen/thawed mammalian embryos. In 2022 International Conference Laser Optics (ICLO) (pp. 1-1). IEEE. 2. Sitnikov D. S., Ilina I. V., Revkova V. A., et al. Effects of high intensity non-ionizing terahertz radiation on human skin fibroblasts // Biomedical Optics Express. – 2021. – Vol. 12, No. 11. – P. 7122–7138. DOI: 10.1364/BOE.438134. 3. Sitnikov D. S., Pronkin A. A. Assessment of the thermal effect of femtosecond and millisecond laser pulses in microsurgery of mammalian embryos // Quantum Electronics. – 2022. – Vol. 52, No. 5. – P. 482–487. DOI: 10.1070/QEL18040. 4. Sitnikov D. S., Filatov M. A., Ilina I. V. Optimal Exposure Parameters for Microsurgery of Embryo Zona Pellucida Using Femtosecond Laser Pulses // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 20. – P. 11204. DOI: 10.3390/app132011204 . 5. Sitnikov D. S., Revkova V. A., Ilina I. V., et al. Sensitivity of Neuroblastoma and Induced Neural Progenitor Cells to High-Intensity THz Radiation // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Vol. 24, No. 7. – P. 6558. DOI: 10.3390/ijms24076558. 6. Sitnikov D. S., Revkova V. A., Ilina I. V., et al. Studying the genotoxic effects of high intensity terahertz radiation on fibroblasts and CNS tumor cells // Journal of Biophotonics. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – P. e202200212. DOI: 10.1002/jbio.202200212. 7. Sitnikov D. S., Mukhdina D. E., Filatov M. A., Silaeva Yu. Yu. Determination of the Optimal Impact Parameters for Microdissection of Zona Pellucida Using Femtosecond IR Laser Pulses // High Temperature. – 2024. – Vol. 62, No. 3. – P. 401–408. DOI: 10.1134/S0018151X2470025X. 8. Sitnikov D. S., Kubekina M. V., Tvorogova A. V., et al. Studying the Safety of Femtosecond Laser Applications in Assisted Hatching Technology // Technologies. – 2025. – Vol. 13, No. 11. – P. 440. DOI: 10.3390/technologies13110440. 	

Conference Laser Optics (ICLO). – 2022. – P. 1–1. DOI:
10.1109/ICLO54117.2022.9839793.

11. Sitnikov D. S., Ilina I. V., Revkova V. A., et al. Effect of high-power pulses of terahertz radiation on normal and tumor cell lines of the human brain // 2022 International Conference Laser Optics (ICLO). – 2022. – P. 1–1. DOI:
10.1109/ICLO54117.2022.9840248.
12. Revkova V. A., Ilina I. V., Gurova S. A., et al. Effects of high intensity non-ionizing pulses of terahertz radiation on human skin fibroblasts // Progress in Biomedical Optics and Imaging – Proceedings of SPIE. – 2022. – Vol. 11979. – P. 119790G. DOI:
10.1117/12.2606188.

Ученый секретарь ОИВТ РАН
Док. физ. – мат. наук



Киверин Алексей Дмитриевич