Отзыв официального оппонента

Субочева Павла Владимировича на диссертацию Зотова Арсена Кареновича «Оптические методы мониторинга криодеструкции биологических тканей с использованием сапфировых криоаппликаторов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

Актуальность и содержание работы

Контроль глубины замораживания необходим для управляемого криовоздействия на биологические ткани. Использование оптически прозрачного сапфира позволяет совместить охлаждение и регистрацию оптического отклика через контактную часть инструмента. Разработка такого подхода определяет актуальность диссертации.

Работа объединяет выращивание профилированных кристаллов сапфира, экспериментальное сравнение криоаппликаторов и разработку методов оценки толщины ледяного слоя. Получены выражения для управления выращиванием полых кристаллов. На фантомах изучены температурная динамика и размеры замороженной области при использовании сапфировых, медных и латунных аппликаторов, а также влияние полой конструкции сапфирового инструмента.

Научная новизна и практическая значимость

Основной научный результат состоит в разработке и экспериментальной апробации способа восстановления толщины ледяного слоя по пространственно разрешенным сигналам диффузного отражения с использованием модели двухслойной среды. Исследованы частотно-модулированный вариант на 692 нм и стационарный на 530 нм. В испытаниях на фантомах показана возможность оценки толщины до 8 мм; для стационарного варианта в исследованном диапазоне указана погрешность менее 1,5 мм. Его апробация на печени четырех крыс in vivo выполнена при толщинах замороженной области порядка единиц миллиметров.

Отдельно показана возможность оценки малых глубин замораживания жировой ткани ex vivo методом ТГц импульсной спектроскопии, до приблизительно 0,65 мм. Эти результаты характеризуют различные экспериментальные реализации и диапазоны применимости методов.

Практическую ценность имеют изготовленные сапфировые инструменты с оптическими каналами и возможность упрощения измерительной системы при переходе к стационарной регистрации. Существенным достоинством работы считаю использование физических свойств сапфира для совмещения воздействия на ткань и измерения ее отклика в одной контактной конструкции.

Обоснованность и достоверность результатов

Выводы опираются на модель переноса излучения, инструментальные измерения температуры, оптические измерения и контроль размеров исследуемой области. Эксперименты in vivo дополнены гистологическим подтверждением повреждения ткани. Представленные данные обосновывают работоспособность предложенного

подхода в исследованных условиях; перенос количественных характеристик на другие ткани требует учета их свойств и геометрии воздействия.

Основные результаты отражены в публикациях по теме диссертации и автореферате. В работе приведены девять научных статей и один патент РФ, результаты обсуждались на научных конференциях. Изложение позволяет проследить связь задач, методов и выводов исследования.

Замечания по диссертационной работе

1. Практическую значимость работы существенно усиливает апробация метода на тканях печени in vivo. Вместе с тем в работе желательно яснее сопоставить характерные глубины зондирования для различных измерительных схем с помощью анализа интенсивности диффузного рассеяния и диапазон достоверного восстановления толщины ледяного слоя.

2. В работе продемонстрирована возможность восстановления толщины ледяного слоя до 8 мм, что соответствует характерным задачам криохирургии. Вместе с тем при необходимости контроля более глубоких зон криодеструкции (порядка 1–2 см) возникают принципиальные ограничения, связанные с диффузионным характером распространения излучения и конечным отношением сигнал/шум. Представляет интерес обсуждение того, какие конструктивные и физические факторы, например переход на длины волн порядка 800-850 нм, могут позволить продвижение метода к таким глубинам и какие ограничения при этом возникают.

3. В математическом изложении главы 4 присутствуют отдельные технические опечатки, не влияющие на основные результаты работы. В частности, при определении наклонов на с. 88 для DC-компоненты использовано обозначение, аналогичное AC-компоненте, а на с. 92 приведено соотношение вида $\mu_{a,2} \approx \mu_{a,2}$ которое должно отражать связь коэффициентов поглощения ледяного и незамороженного слоёв. Также целесообразно сверить формулы (31), (33) на с. 89–90 и выражения для эффективного коэффициента ослабления на с. 90 с исходными соотношениями (27)–(30). Отмеченные опечатки носят технический характер и не снижают научной ценности полученных результатов.

Замечания относятся к границам применимости метода и ясности математического изложения. Общая оценка диссертационной работы положительная.

Заключение

Диссертация Зотова Арсена Кареновича «Оптические методы мониторинга криодеструкции биологических тканей с использованием сапфировых криоаппликаторов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача разработки оптических методов мониторинга формирования ледяного слоя в биологических средах с использованием сапфировых криоаппликаторов. Полученные результаты имеют значение для развития физических методов исследования биологических тканей и создания инструментов с оптическим контролем воздействия.

По актуальности, научной новизне, обоснованности результатов и практической значимости диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния». Зотов Арсен Каренович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент
кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.06 - Акустика, заместитель заведующего отделом радиофизических методов в медицине по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»
E-mail: pavel.subochev@gmail.com
Телефон: +7 (831) 416-47-05

_____ / Субочев Павел Владимирович
«28» октября 2026 г.

Согласен на обработку персональных данных

_____ / Субочев Павел Владимирович
«28» октября 2026 г.

Подпись Субочева П.В. заверяю
Ученый секретарь, к.ф.-м.н. _____ / Корюкин Игорь Валерьевич
«28» октября 2026 г.