

ОТЗЫВ

официального оппонента,

доктора физико-математических наук, доцента

Гениной Элины Алексеевны на диссертационную работу

Фролова Олега Олеговича на тему «Разработка способа анализа спектров комбинационного рассеяния для применения в стоматологии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа соискателя Фролова О.О. посвящена разработке способа анализа спектров комбинационного рассеяния для диагностики стоматологических заболеваний и оценки состава биоматериалов. В условиях высокой распространённости заболеваний пародонта и необходимости их раннего выявления особую актуальность приобретает создание неинвазивных, высокоинформативных и объективных методов диагностики, способных выявлять структурно-химические изменения твёрдых тканей зубов и костной ткани на доклинических стадиях. Существенные ограничения традиционных рентгенологических и клинико-инструментальных методов, а также сложность интерпретации спектральных данных комбинационного рассеяния (КР) вследствие флюоресцентного фона и перекрытия спектральных линий, обуславливают необходимость совершенствования алгоритмов обработки и анализа КР спектров.

Таким образом, достижение поставленной цели диссертационной работы является актуальным направлением исследований в области разработки современных методов медицинской диагностики и анализа биоматериалов.

Научная новизна проведенных исследований и результатов

Научную новизну исследования представляют следующие результаты:

- Разработан итеративный алгоритм декомпозиции КР спектров биологических материалов, основанный на автоматической оптимизации числа спектральных линий, а также их положений, амплитуд и ширин. Алгоритм обеспечивает корректную декомпозицию при взаимном перекрытии спектральных полос до 75 % с точностью определения положений линий не хуже $0,1 \text{ см}^{-1}$ и относительной погрешностью определения амплитуд и ширин не более 0,3 % при коэффициенте детерминации модели $R^2 \geq 0,995$.

- Предложен способ оценки деминерализации дентинных материалов, основанный на извлечении информативных признаков из декомпозированных КР спектральных линий в диапазоне $630\text{--}1450 \text{ см}^{-1}$ и использовании логистической регрессии для вероятностной классификации образцов по наличию признаков деминерализации с высокой точностью.

- Разработан способ экспресс-диагностики пародонтита, основанный на выявлении структурных изменений твёрдых тканей зуба при комплексной обработке декомпозированных КР спектров с применением логистической регрессии, обеспечивающий достаточно высокую диагностическую эффективность.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в развитии методов анализа КР спектров биологических материалов

Входящий № *206-1077*
Дата 16 ФЕВ 2026
Самарский университет

и расширении возможностей их применения в задачах медицинской диагностики. В теоретическом плане обоснован и реализован новый подход к декомпозиции многокомпонентных КР спектров с высоким коэффициентом перекрытия спектральных линий, что позволяет повысить точность восстановления параметров спектральных компонент и устойчивость анализа к флуоресцентному фону и шумам. Полученные результаты формируют основу для дальнейшего развития методов количественной интерпретации КР спектральных данных в биомедицинских исследованиях и при построении интеллектуальных систем анализа медицинской информации.

Практическая значимость работы заключается в разработке способа и программного обеспечения для анализа КР спектров, предназначенных для неинвазивной диагностики пародонтита, оценки состояния твёрдых тканей зубов и контроля деминерализации дентинных материалов. Предложенные методы могут быть использованы в клинической стоматологии, научно-исследовательских и производственных лабораториях для повышения точности и информативности спектроскопических исследований, а также для создания автоматизированных диагностических систем.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, обеспечивается корректной постановкой цели и задач исследования, использованием современных методов экспериментальной КР спектроскопии, цифровой обработки сигналов, математического моделирования, статистического анализа и машинного обучения. Полученные результаты основаны на анализе экспериментальных данных, полученных на сертифицированном спектроскопическом оборудовании, и подтверждены применением количественных статистических критериев оценки качества моделей, включая коэффициент детерминации, показатели чувствительности, специфичности и площади под кривой ошибок классификации (ROC-AUC).

Достоверность выводов подтверждается воспроизводимостью экспериментальных измерений, согласованностью полученных результатов с данными, представленными в работах других авторов, а также успешной апробацией и внедрением разработанного способа анализа спектров комбинационного рассеяния в профильных научных и клинических организациях. Соискателем опубликовано 7 статей в научных журналах и изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией и/или рецензируемых базой данных Scopus и WoS. Получено 1 свидетельство о регистрации РИД.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемых сокращений, литературных источников и двух приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены объект и предмет исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** выполнен анализ современного состояния оптических и спектроскопических методов исследования биоматериалов в стоматологии. Рассмотрены методы диагностики заболеваний пародонта и оценки дентинных материалов, показаны

преимущества и ограничения существующих подходов, обоснована целесообразность применения КР спектроскопии.

Во *второй главе* представлен обзор методов обработки спектральных данных КР многокомпонентных сред, включая алгоритмы предобработки, коррекции базовой линии и декомпозиции спектров, а также сформулированы требования к разрабатываемому способу анализа.

В *третьей главе* описан разработанный соискателем итеративный алгоритм декомпозиции КР спектров, приведена его математическая формализация, исследованы устойчивость к шуму, точность восстановления параметров спектральных линий и оценка неопределённостей.

В *четвёртой главе* рассмотрено применение разработанного способа анализа КР спектров для оценки дентинных материалов, включая анализ процессов деминерализации, сравнительное исследование ювенильного дентина и брeфоматриксoв, а также построение и валидацию моделей классификации.

В *пятой главе* приведены результаты применения разработанного способа для экспресс-диагностики пародонтита и оценки эффективности его лечения на основе анализа КР спектров эмали и костной ткани, включая результаты исследований *in vivo*.

В *заключении* сформулированы основные результаты диссертационной работы, приведены выводы по выполненным исследованиям и обозначены направления дальнейших исследований.

В *приложениях* представлены копии актов о внедрении результатов диссертационной работы соискателя в клиническую практику Самарского государственного медицинского университета и Центра восстановительной стоматологии.

В качестве положительных особенностей работы хочется отметить, во-первых, внедрение разработанного метода в клинику, о чём свидетельствуют приложенные акты о внедрении результатов, а во-вторых, широкий обзор публикаций по теме диссертации, включающий как классические работы, так и результаты недавних исследований. Однако работа несвободна от некоторых недостатков.

Замечания по диссертационной работе:

1. В тексте присутствует достаточно большое количество опечаток и стилистических погрешностей.
2. Нет единообразия в ведении сокращений. Так аббревиатуры и ROC-AUC вводятся только в списке сокращений на стр. 165, а аббревиатуры ОКТ и КР вводятся в тексте, причём несколько раз.
3. Присутствуют нерасшифрованные сокращения в защищаемых положениях.
4. Используется сленг, например «Рамановский пробник».

Тем не менее, указанные замечания не имеют принципиального характера и не влияют на высокую оценку данного завершённого научного исследования.

Общее заключение

Диссертационная работа Фролова О.О. «Разработка способа анализа спектров комбинационного рассеяния для применения в стоматологии» является научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладающей научной

новизной и практической значимостью. Полученные соискателем результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Название и содержание диссертации соответствует пунктам 14, 21 и 22 области исследования паспорта специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения. Представленная диссертационная работа удовлетворяет критериям, предъявляемым к кандидатской диссертации «Положением о присуждении ученых степеней» (в частности, п. 9-11, 13), утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а автор работы, Фролов Олег Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Генина Элина Алексеевна,

официальный оппонент, доцент, доктор
физико-математических наук по специальности
03.01.02 - биофизика, профессор кафедры оптики и
биофотоники, федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

10.02.2026 г

Контактные данные:

410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

тел.: +7 (8452) 21-07-16

e-mail: geninaea@sgu.ru

