

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.11,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 20 июня 2024 г. № 3
о присуждении Матвеевой Ирине Александровне, гражданину Российской
Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Метод мультимодального анализа рамановского рассеяния и дерматоскопических изображений для диагностики новообразований кожи» по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения принята к защите 12 апреля 2024 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.2.379.11, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34) приказом Минобрнауки России № 2136/нк от 27 ноября 2023 г.

Соискатель Матвеева Ирина Александровна, 11 августа 1995 года рождения, в 2019 г. освоила программу магистратуры федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 12.04.04 Биотехнические системы и технологии, в 2023 г. освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», работает в должности ассистента на кафедре лазерных и биотехнических систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева» Министерства образования науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре лазерных и биотехнических систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Захаров Валерий Павлович, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», кафедра лазерных и биотехнических систем, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты: Зайцев Кирилл Игоревич, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), ведущий научный сотрудник; Кистенев Юрий Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», заместитель проректора по научной и инновационной деятельности - **дали положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», **в своем положительном отзыве**, подписанном заведующим кафедрой оптики и биофотоники, доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом РАН, заслуженным деятелем науки РФ Тучиным Валерием Викторовичем, утвержденном проректором по научной работе и цифровому развитию, доктором физико-математических наук, профессором Короновским Алексеем Александровичем, указала, что диссертация соответствует специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяет требованиям ВАК России, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Соискатель имеет более 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 работ, из них в рецензируемых научных изданиях – 7 работ. Суммарный объем опубликованного материала в соавторстве составляет 10,9 печатных листов, в том числе 6,1 печатных листов принадлежит соискателю. Из материалов совместных публикаций лично соискателю принадлежат результаты: алгоритм и методика применения разложения многомерных кривых (MCR) для анализа рамановских спектров новообразований кожи методом разложения многомерных кривых (MCR); результаты исследований возможности анализа дерматоскопических изображений новообразований с помощью сверточной нейронной сети архитектуры VGG. Результаты исследования влияния соотношения сигнал/шум рамановских спектров на результат восстановления методом MCR компонентного состава исследуемого образца; метод восстановления спектра при многомерном разрешении спектральных данных рамановского рассеяния и возможность интерпретации компонентного состава образцов кожной ткани при его использовании; программная реализация метода распознавания рамановских спектров кожи для определения типа новообразования с учетом выделения компонентного состава исследуемого образца; апробация метода интеллектуального распознавания изображений при решении классификационных задач определения типа новообразований методами машинного обучения; метод идентификации новообразований кожи на основе мультимодального многомерного анализа спектральных данных рамановского рассеяния и дерматоскопических изображений.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Classification of human skin Raman spectra using multivariate curve resolution (MCR) and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) [Text] (=Классификация рамановских спектров кожи человека с использованием разрешения многомерных кривых (MCR) и дискриминантного анализа с проекцией на латентные структуры (PLS-DA)) / **I. Matveeva**, Y. Khristoforova, A. Moryatov, O. Myakinin, I. Bratchenko, S. Kozlov, V. Zakharov // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 2127, No. 1. – P. 012065. (материалы конференции 0,4 / 0,58 п. л.)

2. Нейросетевой классификатор гиперспектральных снимков кожных патологий [Текст] / В.О. Винокуров, **И.А. Матвеева**, Ю.А. Христофорова, О.О. Мякинин, И.А. Братченко, Л. А. Братченко, А.А. Моряттов, С.В. Козлов, А.С. Мачихин, И. Абдулхалим, В.П. Захаров // Компьютерная оптика, 2021. – Т. 45. – № 6. – С. 879-886. (научная статья 0,25 / 1,27 п. л.)

3. The effect of noise in Raman spectra on the reconstruction of the concentration of amino acids in the mixture by multivariate curve resolution (MCR) analysis [Text] (=Влияние шума в рамановских спектрах на восстановление концентрации аминокислот в смеси с помощью анализа методом разрешения многомерных кривых (MCR)) / **I.A. Matveeva**, L.A. Bratchenko, O.O. Myakinin, E.N. Tupikova, V.P. Zakharov // Journal of Biomedical Photonics & Engineering, 2021. – Vol. 7, No. 2. – P. 020309. (научная статья 0,62 / 1,04 п. л.)

4. Analysis of Raman spectra using the multivariate curve resolution alternating least squares (MCR-ALS) algorithm [Text] (=Анализ рамановских спектров с использованием алгоритма разрешения многомерных кривых методом чередующихся наименьших квадратов (MCR-ALS)) / **I. Matveeva**, Y. Khristoforova, L. Bratchenko, V. Zakharov // Biomedical Spectroscopy, Microscopy, and Imaging II. – Proc. SPIE, 2022. – Vol. 12144. – P. 122-127. (материалы конференции 0,49 / 0,69 п. л.)

5. Multivariate Curve Resolution Alternating Least Squares Analysis of In Vivo Skin Raman Spectra [Text] (=Анализ методом разрешения многомерных кривых с использованием метода чередующихся наименьших квадратов in vivo рамановских спектров кожи) / **I. Matveeva**, I. Bratchenko, Y. Khristoforova, L. Bratchenko, A. Moryatov, S. Kozlov, O. Kaganov, V. Zakharov // Sensors. – 2022. – Vol. 22, No. 24. – P. 9588. (научная статья 1,46 / 2,43 п. л.)

6. VGG Convolutional Neural Network Classification of Hyperspectral Images of Skin Neoplasms [Text] (=Классификация гиперспектральных изображений новообразований кожи с помощью сверточной нейронной сети архитектуры VGG) / B.V. Grechkin, V.O. Vinokurov, Y.A. Khristoforova, **I.A. Matveeva** // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. – 2023. – Vol. 9, No. 4. – P. 040304. (научная статья 0,2 / 0,69 п. л.)

7. Multidimensional analysis of dermoscopic images and spectral information for the diagnosis of skin tumors [Text] (=Многомерный анализ дерматоскопических изображений и спектральной информации для диагностики новообразований кожи) / **I.A. Matveeva**, A.I. Komlev, O.I. Kaganov, A.A. Moryatov, V.P. Zakharov // Journal of

Biomedical Photonics & Engineering. – 2024. – Vol. 10, No. 1. – P. 010307. (научная статья 0,62 / 1,04 п. л.)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от следующих организаций и специалистов:

1. ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», подписан кандидатом технических наук, доцентом, старшим научным сотрудником научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Потаповой Еленой Владимировной. Замечания: в научной новизне указано, что предложенный алгоритм выделения и интерпретации компонентного состава ткани кожи на основе разрешения многомерных кривых спектральных данных рамановского рассеяния позволяет автоматически выделять вклад оптико-электронного тракта прибора регистрации спектров, но далее по тексту автореферата не ясно, каким образом это производится; Соискатель пишет: «Выбор числа компонентов разложения проводился на основании анализа рамановских спектров методом сингулярного разложения (SVD). Показано, что SVD разложение достаточно быстро и плавно сходится, и первые 8 компонентов содержат не менее 95% информации.» Каким образом были посчитаны 95%? И что они означают, весовой вклад? Соискатель пишет: «В результате подбора гиперпараметров максимальное количество деревьев установлено равным 100». Под максимальным количеством деревьев имеется в виду глубина? Каким образом глубина связана с гиперпараметрами? Оценивалась ли точность классификации при различной глубине, больше или меньше указанной 100?

2. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», подписан доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой «Физика» физико-технического факультета Зимняковым Дмитрием Александровичем. Замечания: недостаточность в автореферате информации о текущем состоянии и перспективах внедрения результатов исследования в клиническую практику, поскольку внедрение результатов исследований в определенной степени ожидаемо для диссертаций на соискание степени кандидата технических наук.

3. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», подписан кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником физического факультета Луговцовым Андреем Егоровичем. Замечания: в тексте автореферата используются сокращения заболеваний (ММ, ВСС), которые даются на странице 9. Однако в графиках и таблицах данные сокращения очень сложно воспринимать и желательно бы их расшифровывать на каждой странице для лучшего восприятия. На стр. 5 появляется термин ROC AUC, который повсеместно используется для предоставления результатов и сравнения эффективности методов обработки, рассматриваемых в работе. Однако данная величина не расшифровывается и ее смысл не обсуждается в тексте. Можно только догадываться, что под ROC подразумевается receiver operating characteristic - кривая ошибок, а AUC это скорость под кривой. В тексте автореферата про вторую главу диссертации сообщается, что были проведены работы по измерению спектров кожи при широком ряде патологий. Остается не до конца понятным вклад автора в получение этих экспериментальных данных. Данные были получены при участии автора, либо автор участвовал только в разработке средства

регистрации RS спектров кожи и дерматоскопических изображений, а с пациентами работали медики? Было бы полезно включить в текст автореферата информацию, о времени, которое требуется для программной обработки данных для одного пациента и получения заключения на основе разработанного метода мультимодального анализа.

4. ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, подписан кандидатом биологических наук, научным сотрудником научной лаборатории оптической спектроскопии и микроскопии научно-исследовательского института экспериментальной онкологии и биомедицинских технологий Елагиным Вадимом Вячеславовичем. Замечаний не содержит.

5. ООО «ФОТОН-БИО», подписан кандидатом физико-математических наук, генеральным директором Кукушкиным Владимиром Игоревичем. Замечания: автором указано, что предложенный метод распознавания новообразований на основе анализа спектральных данных работает в условиях высоких шумов, однако соотношения сигнал-шум, при которых регистрировались рамановские спектры, в автореферате отсутствуют; при оценке моделей классификации используются пять метрик (ROC-кривая, ассигасу, precision, чувствительность и специфичность), но сравнение производится только по ROC AUC;

6. ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», подписан доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, заведующим лабораторией волновых методов исследования структурно-неоднородных сред Зайцевым Владимиром Юрьевичем. Замечания: при изложении содержания главы 4 в автореферате достаточно подробно охарактеризованы два набора обучающих данных, использованных для выявления пространственных признаков возникновения новообразований. При этом, когда идет речь про результат обучения и совместного диагностического использования с данными по рамановским спектрам, не совсем понятно, использовались ли при этом дополнительные данные, не входившие в обучающие выборки? У рис. 4 приведена очень краткая общая подпись и нет подписей осей и цветовой легенды, что затрудняет его понимание;

7. ФГБУН «Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук», подписан доктором физико-математических наук, заведующим отделом акустооптических информационных систем Пожаром Витольдом Эдуардовичем. Замечания: в автореферате не приведена схема экспериментальной установки, что затрудняет понимание некоторых деталей исследования, например, вопроса равномерности подсветки объекта. Разработанный метод основан, по сути, на комплексировании первичных данных, т.е. совместной обработке двух независимых множеств данных разных типов, относящихся к одному объекту, с целью повышения надежности выводов (диагностики) и результатов такого комплексного анализа. С этой точки зрения представляется более последовательно назвать анализ именно комплексным или совместным, в том время как термин «мультимодальный анализ» больше ассоциируется с математической обработкой одного множества данных разными способами. К сожалению, единого системного подхода к названию каждого нового

метода пока не разработано.

Все отзывы **положительные**. В отзывах, содержащих замечания, отмечено, что указанные недостатки не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на общую **положительную** оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Матвеевой И.А. учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Выбор Зайцева К. И. в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается тем, что он является известным специалистом в области оптических методов медицинской диагностики и мультиспектральной визуализации, биофотоники, разработки средств регистрации и методов спектрального анализа медицинских данных для медицинских систем;

Выбор Кистенева Ю. В. в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается тем, что он является крупным специалистом по разработке медицинской техники на новых физических принципах, в область его научных интересов входят применение спектроскопии рамановского рассеяния в медицине, методы анализа и интерпретации медицинских изображений, разработка методов искусственного интеллекта для медико-биологических исследований;

Выбор ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» в качестве ведущей организации обосновывается достижениями ее специалистов в области фундаментальных и прикладных исследований по биофотонике и медицинской технике, в области разработки методов и средств регистрации и анализа медицинских изображений, методов, моделей и алгоритмов, обеспечивающих повышение эффективности медико-биологических исследований, лазерной спектроскопии, оптических методов диагностики биологических тканей, программного обеспечения, предназначенного для диагностики заболеваний и проведения медицинских исследований.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан алгоритм определения и диагностической интерпретации компонентного состава исследуемого участка кожи на основе разрешения многомерных кривых спектральных данных *in vivo* рамановского рассеяния в ближнем инфракрасном диапазоне при возбуждении лазерным излучением с центральной длиной волны 785 нм с использованием метода чередующихся наименьших квадратов, учитывающий неотрицательность и замкнутость спектральных профилей выделяемых компонентов, позволяющий учитывать вклад оптико-электронного тракта прибора регистрации спектров;

предложены:

– метод распознавания рамановских спектров новообразований, зарегистрированных в ближнем инфракрасном диапазоне, на основе алгоритма градиентного бустинга при разрешении спектральных признаков с выделением вклада меланина, белков, воды и липидов;

– метод мультимодальной идентификации новообразований кожи на основе совместного анализа спектральных признаков, получаемых при разрешении

рамановских спектров, и пространственных признаков, выделяемых сверточной нейронной сетью на дерматоскопическом изображении;

доказано:

– увеличение точности идентификации доброкачественных и злокачественных новообразований, злокачественной меланомы и доброкачественных пигментных новообразований, злокачественной меланомы и себорейного кератоза предложенным методом распознавания рамановских спектров, выраженное в виде увеличения площади под ROC кривой моделей классификации на 7%, 13% и 6%, соответственно, по сравнению анализом методом PLS-DA;

– увеличение точности идентификации злокачественной меланомы и доброкачественных пигментных новообразований за счет комплексного анализа пространственных и спектральных признаков по сравнению с анализом только пространственных или только спектральных признаков, выраженное в виде увеличения площади под ROC кривой модели классификации на 7% и 12%, соответственно.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что:

изложена идея решения задачи определения и интерпретации компонентного состава кожи на основе разрешения многомерных кривых спектральных данных *in vivo* рамановского рассеяния с использованием метода чередующихся наименьших квадратов, учитывающего неотрицательность и замкнутость спектральных профилей выделяемых компонентов;

доказана сходимость разложения рамановских спектров разработанным алгоритмом по выделяемым компонентам, обеспечивающая ошибку интерпретации спектра кожи не более 5% при использовании не менее 8 групп химических компонентов кожи;

изучено влияние химических и морфологических особенностей новообразований кожи на их идентификацию на основе мультимодального анализа;

применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в т. ч. методов обработки сигналов и изображений, математической статистики, методов машинного обучения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены методы и алгоритмы мультимодального многомерного анализа, позволяющие обеспечить распознавание типа новообразования и поднять точность диагностики онкологических заболеваний кожи, выраженную повышением площади под ROC-кривой, за счет объединения пространственных, спектральных и компонентных признаков;

создано программно-алгоритмическое обеспечение, реализующее указанные алгоритмы и методы;

алгоритмы и программные модули **внедрены** в научно-исследовательскую и клиническую деятельность ГБУЗ «Самарский областной клинический онкологический диспансер».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные данные получены на сертифицированных оптических приборах, показана воспроизводимость результатов;

теория построена на известных фактах и согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта оптической и спектральной диагностики новообразований кожи;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное и количественное соответствие авторских результатов с результатами, представленными из независимых источников по данной тематике;

использованы современные методы сбора и обработки информации, строгие методы математического анализа и машинного обучения, современные методы искусственного интеллекта.

Личный вклад соискателя заключается в самостоятельном выполнении предварительной обработки данных, **разработке** методов анализа спектральных и пространственных данных, **реализации** алгоритмов глубокого обучения, выполнении интеллектуального **анализа** спектральных данных рамановского рассеяния и дерматоскопических изображений, **построении** моделей классификации, **разработке** метода мультимодального анализа спектральных и пространственных признаков, **визуализации** и **интерпретации** компонентного состава и полученных результатов, **подготовке** основных публикаций по выполненной работе. Изложенные в диссертации оригинальные результаты получены автором лично либо при его непосредственном участии.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результаты научных работ, выполненные соискателем учёной степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Результаты работы **получены** при выполнении гранта Самарского университета на развитие стартап-проектов в 2022 году в целях реализации Программы развития Самарского университета на 2021-2030 годы в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» по теме «Разработка программно-аппаратного дерматоскопического комплекса для автоматической неинвазивной диагностики новообразований кожи» (соглашение № ПР-НУ/2.5-02-2022/01 от 26.09.2022), в рамках которого соискателем построена модель интеллектуального анализа дерматоскопических изображений, и гранта по теме «Разработка неинвазивной технологии определения биохимического состава кожи», конкурс «УМНИК-Фотоника» в рамках программы УМНИК Фонда содействия инновациям (договор № 18063ГУ/2022 от 23.11.2022).

Предложенный метод идентификации новообразований кожи и интерпретации их компонентного состава на основе мультимодального многомерного анализа спектральных данных рамановского рассеяния и дерматоскопических изображений новообразований кожи может быть использован в клинической деятельности ГБУЗ «Самарский областной клинический онкологический диспансер» и других лечебно-профилактических учреждениях, осуществляющих медицинскую помощь в сфере онкологии.

Разработанный алгоритм выделения и интерпретации компонентного состава кожи, метод распознавания рамановских спектров кожи могут быть использованы при разработке спектрометров для клинического использования на предприятиях ООО «ФОТОН-БИО», ООО «Научно-производственное предприятие «Инжект» и других организациях, занимающихся проектированием высокотехнологичных оптоэлектронных медицинских приборов.

Учитывая универсальность предложенных методов, также рекомендуется использование результатов диссертации в учебном процессе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», ФГБОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» и их внедрение в учебный процесс других вузов, осуществляющих подготовку в области разработки и проектирования медицинских приборов и биотехнических систем.

В ходе защиты диссертационной работы критические замечания не высказаны. Соискатель Матвеева И. А. ответила на все задаваемые ей в ходе заседания вопросы.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, отвечает критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. В работе содержится решение задачи разработки метода идентификации новообразований кожи и интерпретации их компонентного состава на основе мультимодального многомерного анализа спектральных данных рамановского рассеяния и дерматоскопических изображений новообразований кожи.

На заседании 20 июня 2024 г. диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, принял решение присудить Матвеевой И.А. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета 24.2.379.11
д.т.н., профессор



В. В. Сергеев

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.379.11
д.т.н., доцент

21.06.2024

В. А. Зеленский