ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого



На правах рукописи

ШАРИАТИ

Фаридоддин

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПТИЧЕСКИХ И РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СВОЙСТВА ГРУППЫ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕЗИРУЕМЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ КАК СЛОЖНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.5.2. Биофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург

2026

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель:

профессор, доктор физико-математических наук Цыбин Олег Юрьевич.

Официальные оппоненты:

профессор, доктор технических наук **Филист Сергей Алексеевич**, профессор кафедры биомедицинской инженерии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», г. Курск;

доктор физико-математических наук **Лаврова Анастасия Игоревна**, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории математического моделирования и прогнозирования био-медицинских процессов федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург.

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург.

Защита состоится **« 29 » сентября 2026 г.** в 14:00 на заседании диссертационного совета **У.1.5.2.22** федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29) по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Хлопина 11, корп. 1, Высшая школа биомедицинских систем и технологий, ауд. 209.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте https://www.spbstu.ru/science/the-department-of-doctoral-studies/independent-award-academic-degrees/defences-calendar/ ФГАОУ ВО СПбПУ.

Автореферат разослан: « _____ » _____ 2026 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук — Забродская Яна Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Исследование биологических объектов методами оптической микроскопии и рентгеновской визуализации с последующим анализом изображений является одним из важных направлений в современной науке о жизни, в том числе в медицинской, экспериментальной и математической биофизике. Актуальную для таких исследований группу составляют преимущественно биофизические и биомедицинские объекты, включающие органы и ткани организма человека, для которых получают компьютерные томографические изображения, и данные оптической микроскопии. Это существенно представлено и имеет определяющее значение, например, в лёгочной томографии организма человека, которая позволяет путём анализа изображений выявлять функциональные отклонения, развитие патологий, физиологические нарушения, нозологические формы заболеваний. Изучение таких объектов требует детальной количественной обработки формируемых изображений, выявляющей их морфологические, функциональные и динамические характеристики. Однако, несмотря на прогресс методов анализа изображений, задача максимально полного извлечения из них научной, диагностически и прогностически значимой информации остаётся актуальной.

В данной работе для решения этой задачи и выявления свойств рассматриваемых биологических объектов их радиомические изображения исследуются создаваемыми математическими методами подобно тому, как это осуществляется, например, в спектроскопии и спектрометрии при анализе спектров. Постановка работы состоит в том, что из медицинских и биофизических изображений, полученных методами радиомики, с помощью создаваемых математических моделей извлекаются и анализируются признаки, которые описывают свойства визуализируемых тканей, органов человека и иных биологических систем и сопоставляются со свойствами, полученными из доступных баз биомедицинских и экспериментальных биофизических данных. Отличительные особенности состоят в том, что в задачи работы не входят прямые математические исследования структуры и динамики исходных биологических объектов, поскольку требуемые сведения извлекаются из указанных баз данных. Не ставится также задача исследования методов получения изображений, поскольку имеющиеся методы достаточно развиты и обоснованы.

Степень разработанности темы исследования

За последние 10–15 лет радиомика стала одним из активно развивающихся направлений медицины и биофизики: изображение рассматривается не только как объект визуальной оценки, но и как источник измеряемых количественных данных [Gillies R.J. et al., 2016; Lambin P. et al., 2012; Kumar V. et al., 2012]. Это открывает возможность повысить точность диагностики и прогноза, в том числе при анализе МРТ- и КТ-изображений, и заняло заметное место в персонализированной медицине. Вместе с тем количественный анализ биофизических и

биомедицинских изображений сдерживается недостаточной воспроизводимостью результатов, поэтому особое внимание уделяется стандартизации признаков и процедур их расчёта: инициатива Image Biomarker Standardisation Initiative унифицирует определения и способы вычисления количественных признаков, без чего результаты разных исследований несопоставимы [Zwanenburg A. et al., 2020; Dinapoli N. et al., 2020]; созданы и специализированные библиотеки, упрощающие построение прогностических оценок по признакам изображений [Dinapoli N. et al., 2015].

Наиболее детально эти подходы проработаны в компьютеризированных системах обнаружения патологий (CAD) для КТ-исследований лёгких. Свёрточные и гибридные архитектуры — 3D-CNN, трансформеры, рекуррентные сети — демонстрируют точность свыше 98 % в ряде задач выявления и характеризации рака лёгкого [Alsheikhy A. et al., 2023; Hendrix W. et al., 2023] и поддерживают распределённое обучение на мультицентровых наборах с сохранением конфиденциальности данных [Nguyen D.K. et al., 2024]. Однако воспроизводимость и переносимость результатов между учреждениями и протоколами сканирования всё ещё требуют улучшения [Ozaki K. et al., 2021].

Отдельного внимания заслуживает неинвазивная оценка молекулярно-генетических характеристик опухолей. По данным КТ и гистологических срезов радиомические и глубокие модели улавливают признаки, связанные с мутационным статусом — в частности EGFR и KRAS при немелкоклеточном раке лёгкого, — что позволяет реже прибегать к инвазивной биопсии [Coudray N. et al., 2018; Tomita N. et al., 2022]. Сходная картина складывается в других областях: радиомические биомаркеры МРТ сердца перспективны для оценки жизнеспособности миокарда и стратификации риска, но общепринятых стандартов клинического внедрения пока нет [Максимова А.С. и др., 2023]; в онкологии обсуждение сосредоточено на трудностях радиомики и радиогеномики на всех этапах — от стандартизации данных до валидации моделей и их переноса в клинику [Чернобривцева В.В., Мисюрин А.С., 2022]; показана перспективность анализа изображений в дифференциальной диагностике заболеваний поджелудочной железы [Парамзин Ф.Н. и др., 2023].

Достигнутый прогресс не снимает ряда существенных ограничений, с которыми сталкиваются современные методы анализа радиомических изображений биологических объектов:

- вычислительная сложность и масштабируемость — традиционные схемы сегментации и классификации требуют заметных вычислительных ресурсов;
- обобщающая способность — модели, обученные на узкоспециализированных данных, плохо работают с изображениями из других источников;
- интерпретируемость — многие алгоритмы искусственного интеллекта остаются «чёрными ящиками», что мешает их принятию клиницистами;

- интеграция данных — недостаточность объединения мультимодальных и мультидисциплинарных данных (пространственных, текстурных, генетических, динамических) в единый комплекс;
- верификация методов — сложность и уникальность реальных биологических объектов затрудняют верификацию и взаимную поверку разрабатываемых алгоритмов.

Перечисленные ограничения обусловливают необходимость дальнейшей разработки комплексных, высокоинформативных и универсальных методов анализа биофизических и биомедицинских изображений. Актуальность исследования определена тем, что реализация и развитие биофизических и биомедицинских исследований и технологий существенно ограничены из-за недостаточно изученных связей параметров структурного и функционального состояния, а также количественных закономерностей пространственного структурирования актуальных биологических объектов, выявляемых при биофизических и биомедицинских исследованиях, в том числе при оптической микроскопии биомолекулярных гистологических образцов и компьютерной томографии органов и тканей организма человека. Требуется создать новые эффективные теоретические и практические решения и методы анализа радиомических изображений.

Цель и задачи

Целью работы является установление связей между параметрами структурного и функционального состояния и выявление количественных закономерностей пространственного структурирования биологических объектов с помощью создаваемых математических моделей и алгоритмов обработки изображений, получаемых методами оптической микроскопии гистологических препаратов и синтезируемых биомолекулярных плёночных систем, а также рентгеновской визуализации, включая компьютерную томографию органов и тканей человека.

Задачи работы:

1. Создание новых математических моделей для аналитической и автоматизированной цифровой обработки, обеспечивающих высокую чувствительность к конфигурационным (геометрическим) и текстурным характеристикам изображений, полученных с помощью оптической микроскопии и рентгеновской визуализации при биофизических и биомедицинских исследованиях, в том числе компьютерной томографии органов человека и биомолекулярных пленочных систем.
2. Комплексное исследование репрезентативной группы биологических объектов, включающей модельные биомолекулярные пленочные системы и медицинские базы данных, в том числе архивные результаты практической медицины и доступные открытые биомедицинские базы.
3. Детальный анализ полученных биофизических и биомедицинских результатов, в том

числе установление связей параметров структурного и функционального состояния и количественных закономерностей пространственного структурирования биологических объектов создаваемыми математическими моделями и алгоритмами обработки изображений, полученных с помощью оптической микроскопии и рентгеновской визуализации при биофизических и биомедицинских исследованиях, в том числе компьютерной томографии органов и тканей организма человека.

Научная новизна

Впервые предложены математические модели, основанные на новых диагностических конфигурационных и текстурных признаках биофизических и биомедицинских радиомических изображений, включая адаптивную контрастность, направленную однородность и показатели совместной встречаемости, а также на новых алгоритмах сегментации.

Впервые реализована последовательность цифровой обработки изображений оптической микроскопии и рентгеновской визуализации, включающая восстановление изображений на основе лапласиановой пирамиды и масштабно-инвариантную фильтрацию на основе разности гауссиан, применимая как в аналитических, так и в комплексных автоматизированных исследованиях.

Впервые разработана специализированная нейронная сеть BioResNet-18, которая при исследовании радиомических изображений биомедицинских образцов решает обратную некорректную задачу восстановления параметров состояния органов и тканей организма человека по текстуре изображения, обеспечивает совместный анализ конфигурационных и текстурных признаков, позволяет прогнозировать подтипы и стадии лёгочных онкологических патологий и классифицировать мутации EGFR и KRAS, восстанавливать условия формирования биомолекулярных плёнок.

Теоретическая и практическая значимость работы

Предложенные математические модели и методы могут быть использованы в практической медицине для выявления признаков новообразований, мутаций, построения прогнозов агрессивности рака при вариации параметров состояния, диагностики НМРЛ, COVID-19 по КТ-изображениям лёгких. Использование диагностического и прогностического потенциала математических моделей представляется перспективным для обоснования персонализированной терапии, включая выбор схемы и интенсивности лечения, оценку и прогноз агрессивности новообразования. Способы получения и применения биомолекулярных плёнок и микрочастиц могут быть использованы для биофизических исследований сложных нелинейных систем, а также для реализации биотехнологий и биофункциональных покрытий.

Методология и методы исследования

Методологическую основу работы составляет системный подход к анализу биологических объектов как сложных нелинейных динамических систем, реализуемый

комплексным математическим аппаратом обработки изображений. Исследование базируется на концепции «структура–динамика–функция», предполагающей наличие фундаментальной связи между пространственной самоорганизацией объекта и скоростью протекания в нем биофизических и физиологических процессов.

В работе использован комплекс следующих взаимно дополняющих объектов и методов.

1. Объекты исследования. Модельные физические объекты, которые использовались для сравнительного анализа и калибровки, представляют синтезированные биомолекулярные плёночные структуры с контролируемыми параметрами самосборки. Медицинские биологические объекты составляют наборы верифицированных клинических КТ-изображений легких с известными диагнозами (НМРЛ, COVID-19) из высокотехнологичных международных баз радиомических данных LIDC-IDRI и NSCLC-Radiomics [Armato S.G. et al., 2011; Bakr S., 2017], а также в клинической выборке КТ (COVID-19 vs отёк лёгких) [Velichko E. et al., 2022]. Дополнительно использованы клинические гистологические пробы с известными молекулярно-генетическими и функциональными характеристиками [Kather J.N. et al., 2016].

2. Получение и цифровая обработка изображений. Кроме изображений из указанных медицинских источников, использованы экспериментальные биофизические данные оптической, в том числе флуоресцентной, микроскопии модельных образцов [Shariaty F. et al., 2024]. Высококачественная структурная обработка изображений, включающая алгоритмы стандартизации, шумоподавления и сегментации, в том числе адаптивные пороговые методы и преобразования границ, обеспечивающая корректность последующего анализа.

3. Математическое моделирование и радиомический анализ. Аналитические методы извлечения физически интерпретируемых признаков, в том числе анализ матриц совместной встречаемости (GLCM, Grey-Level Co-occurrence Matrix) [Haralick R.M. et al., 1973; Galloway M.M., 1975], спектральный фурье-анализ, фрактальный анализ и расчет энтропийных характеристик. Гибридная нейросетевая архитектура, объединяющая классическую радиомику с глубоким обучением и решением обратных задач классификации в многомерном пространстве признаков.

4. Статистический анализ и интерпретация. Корреляционный анализ, связывающий параметры пространственного структурирования изображений с динамическими свойствами (скорость роста, агрессивность) и функциональным статусом (мутации) биомедицинских объектов.

Положения, выносимые на защиту

Математические модели, основанные на предложенных новых диагностических конфигурационных и текстурных признаках биофизических и биомедицинских изображений с помощью оптической микроскопии и рентгеновской визуализации, в том числе при использовании компьютерной томографии органов и тканей человека, включая показатели

адаптивной контрастности, направленной однородности и признаки, основанные на совместной встречаемости, с использованием реализованных алгоритмов сегментации изображений, позволяют выявлять закономерности пространственного структурирования визуализируемых биологических объектов, имеющих выраженную пространственную организацию, и устанавливать связи выявляемых структурных параметров изображений с функциональными и количественными закономерностями пространственного структурирования таких объектов, включая доменную и кластерную самоорганизацию, новообразования, агрессивность и скорость патологических процессов.

Апробированная цифровизация изображений математическими методами, основанными на предложенной системе новых признаков и алгоритмов, обладает возможностями реализации как в аналитических, так и в комплексных автоматизированных компьютерных исследованиях биологических объектов как сложных нелинейных систем.

Разработанная специализированная нейронная сеть BioResNet-18 при исследовании радиомических изображений биомедицинских образцов органов и тканей организма человека выполняет определение свойств в многомерном пространстве, обеспечивает совместный анализ конфигурационных и текстурных признаков, что позволяет прогнозировать параметры структурного состояния, подтипы и стадии легочных онкологических патологий и осуществлять классификацию мутаций.

Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в участии в постановке целей и задач, выборе объектов, разработке и адаптации методик анализа изображений и приготовления лабораторных образцов, разработке трёх новых радиомических признаков для сегментации КТ-узлов, в проектировании и реализации нейросетевой модели BioResNet-18 с модулями EDECOVID-net и Inf-Seg, проведении основных вычислительных экспериментов, участии в анализе результатов, подготовке статей и докладов, а также в участии в клинических апробациях и подготовке биомедицинских протоколов.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов подтверждается использованием представительной базы данных (более 5500 биомедицинских объектов), включая как реальные клинические данные из общедоступных стандартизированных баз КТ-изображений лёгких с узелками (LIDC-IDRI, NSCLC-Radiomics) [Armato S.G. et al., 2011; Bakr S., 2017], клиническую мультицентровую выборку КТ пациентов с COVID-19 и отёком лёгких (больницы Шариати и Талегани, Тегеран) [Velichko E. et al., 2022], а также гистологические изображения тканей с известными молекулярно-генетическими и функциональными характеристиками [Kather J.N. et al., 2016] и синтезированные биомолекулярные плёночные структуры (фантомы), полученные и охарактеризованные в рамках экспериментального исследования [Shariaty F. et al., 2024].

Достоверность также обеспечивается применением комплекса известных современных апробированных методов исследования, обработки и анализа биомедицинских изображений; сравнением с известными данными, а также взаимной верификацией и валидацией разработанных методов и моделей как на фантомных системах, так и на доступных теоретических и практических данных с использованием стандартных метрик качества; воспроизводимостью экспериментальных результатов при реализации синтеза фантомных биомолекулярных структур, согласованностью экспериментальных данных с теоретическими моделями; апробацией результатов в докладах и трудах научных конференций и публикацией результатов в ведущих рецензируемых научных журналах.

Представленные в диссертации результаты получены в период с 2019 по 2025 гг., и прошли апробацию в устных и стендовых докладах, сделанных лично автором и в соавторстве. Список работ, опубликованных по теме диссертации, включает 8 статей в рецензируемых научных изданиях, включённых в перечень ВАК [1-8], 8 статей в рецензируемых зарубежных изданиях [9-16], 22 публикации в материалах конференций [17-38]. Получено 5 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ [39-43].

Основные результаты доложены на 13 научных конференциях.

1. 2025 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), Санкт-Петербург, 2025 г. (https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/11251508/proceeding)
2. 2024 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), Санкт-Петербург, октябрь 2024 г. (https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10755207/proceeding)
3. V Международная конференция по нейронным сетям и нейротехнологиям (NeuroNT'2024), Санкт-Петербург, июнь 2024 г. (https://neuront.etu.ru/assets/files/2024/sbornik-nejro-2024.pdf)
4. 2023 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), Санкт-Петербург, октябрь 2023 г. (https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10318158/proceeding)
5. Всероссийская конференция «Неделя науки ИЭиТ», Санкт-Петербург, 2023 г. (https://hsemst.spbstu.ru/news/nedelya_nauki_ieit_2023/)
6. 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), Санкт-Петербург, октябрь 2022 г. (https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9950734/proceeding)
7. Всероссийская конференция «Неделя науки ИЭиТ», Санкт-Петербург, 2022 г. (https://et.spbstu.ru/conferences/sw2022/)
8. International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies (YETI 2021), Санкт-Петербург, 2021 г. (https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-81119-8)
9. 2021 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), Санкт-Петербург, 2021 г. (https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9614688/proceeding)

Объём и структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, включающих обзор литературы, описание материалов и методов исследования, а также изложение и обсуждение полученных результатов, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Основной текст диссертации изложен на 184 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков и 31 таблицу. Список литературы включает 265 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа посвящена математическому анализу оптических и рентгеновских радиомических изображений и созданию гибридного методического комплекса, объединяющего математическое моделирование, глубокое обучение и физический эксперимент. Исследуется взаимосвязь структурных характеристик изображений — конфигурации границ, текстуры, спектральной энергии — с функционально-динамическим состояние физико-химических систем, а также биомедицинских систем, включающими такие характеристики как скорость роста, агрессивностью, мутационным статусом генов EGFR и KRAS.

Первая глава содержит обзор методов обработки медицинских и биофизических изображений и современных достижений машинного обучения. Выявлены ограничения, связанные с вариабельностью данных, недостаточной обобщающей способностью моделей и проблемой интерпретируемости. Отмечено отсутствие универсальных методик, интегрирующих пространственные и текстурные параметры изображений с генетическими и динамическими данными в единый комплекс.

Во второй главе изложены использованные материалы и методы. Материалом послужил массив верифицированных данных, включающий более 5500 объектов. Основную часть выборки составили клинические данные: свыше 4500 компьютерных томограмм с лёгочными узлами (LIDC-IDRI, NSCLC-Radiomics) [Armato S.G. et al., 2011; Bakr S., 2017], КТ-сканы пациентов с COVID-19 и отёком лёгких из мультицентровой выборки (больницы Шариати и Талегани, Тегеран) [Velichko E. et al., 2022], а также гистологические образцы с известными молекулярно-генетическими характеристиками [Kather J.N. et al., 2016]. В качестве калибровочных фантомов использовались синтезированные биомолекулярные плёночные структуры, полученные медленной дегидратацией или быстрым осаждением из парогазовой фазы [Shariaty F. et al., 2024]. Выбранные объекты — от модельных плёнок до тканей человека — представляют собой сложные нелинейные физические системы, для которых характерны самоорганизация при фазовых переходах в неравновесных условиях и связь пространственного структурирования с собственной динамикой, в том числе с направленным ростом, агрессивностью и мутациями.

Для создания математического аппарата анализа радиомических изображений предложены и реализованы новые диагностические признаки: адаптивная текстурная

контрастность, направленная текстурная однородность и признаки совместной встречаемости текстур. Применялись также модифицированные алгоритмы на основе матриц совместной встречаемости уровней серого (GLCM) и матриц длины серых серий (GLRLM) [Haralick R.M. et al., 1973; Galloway M.M., 1975], позволившие количественно описать неоднородность и энтропийную сложность опухолевых тканей.

Разработана гибридная нейросетевая архитектура BioResNet-18 — модификация ResNet-18 [He et al., 2016], дополненная блоками пространственного и канального внимания и модулем мультимасштабного слияния признаков. Для автоматизации выделения областей интереса создан модуль сегментации Inf-Seg на основе архитектуры YOLACT [Bolya D. et al., 2019] с механизмами внимания, адаптированный для КТ грудной клетки и обеспечивающий инстанс-сегментацию патологических очагов.

Архитектура реализует мультизадачное обучение, одновременно прогнозируя наличие мутаций EGFR/KRAS, гистологический подтип опухоли, стадию заболевания и — для модельных объектов — физические условия формирования структуры. Для интерпретации решений применялись методы объяснимого искусственного интеллекта (Grad-CAM) [Selvaraju et al., 2017]. Статистическая обработка включала анализ корреляций радиомических признаков с клиническими и генетическими данными. Разработана интегральная модель, связывающая текстурные параметры изображений с динамическими характеристиками биосистем, что обосновывает использование статических изображений для прогноза агрессивности патологического процесса.

В третьей главе изложены результаты исследования модельных биомолекулярных систем — плёнок альбумина, полученных изотермической дегидратацией, и микрочастиц аминокислот, синтезированных ультразвуковым методом. Установлена количественная связь между условиями формирования — концентрацией раствора, температурой дегидратации и ионной силой — и морфологией возникающих структур, что создаёт верифицируемую основу для применения тех же методов анализа к клиническим изображениям, где условия формирования структуры недоступны прямому наблюдению.

В четвёртой главе изложены результаты разработки и апробации новых методов количественного описания изображений: текстурных признаков адаптивной контрастности (ATC), направленной однородности (DTU) и совместной встречаемости текстурных переходов (CTT), модели текстурного вида (TAM) для сегментации лёгочных узелков, а также процедуры объединения радиомических и глубоких свёрточных признаков. Оценивается вклад предложенных признаков в решение диагностических задач на клиническом материале.

В пятой главе изложены результаты разработки, обучения и апробации нейросетевых моделей: специализированных модулей EDECOVID-Net и Inf-Seg для задач инфекционной визуализации и гибридной архитектуры BioResNet-18. Модели рассматриваются как инструмент

решения обратной задачи — восстановления параметров состояния объекта по текстуре его изображения. Универсальность архитектуры проверяется её применением как к клиническим данным, так и к модельным биофизическим системам, для которых искомые параметры известны из условий эксперимента.

Табл. 1 показывает, что разработанный комплекс представляет собой не набор независимых методов, а последовательный алгоритм перехода от исходных изображений к количественным признакам, моделям классификации, сегментации, прогноза и биофизической интерпретации.

Таблица 1 – Алгоритмическая схема разработанного комплекса анализа изображений биологических объектов

Блок комплекса	**Входные данные**	**Метод / алгоритм обработки**	**Выходные данные**
1. Формирование исходных данных	КТ-, ПЭТ/КТ-, гистологические и микроскопические изображения клинических и модельных биофизических объектов	Отбор изображений, стандартизация форматов, формирование областей интереса	Набор изображений и областей интереса для анализа
2. Предварительная обработка	Исходные изображения и области интереса	Нормализация интенсивности, шумоподавление, усиление границ, фильтрация артефактов	Улучшенные изображения, пригодные для расчёта признаков
3. Сегментация	Предобработанные КТ- и микроскопические изображения	TAM, Inf-Seg, экспертная разметка и верификация контуров	Маски патологических областей, лёгких, узелков и доменных структур
4. Извлечение признаков	Маски и соответствующие изображения	GLCM/GLRLM, спектральный анализ, фрактальные и энтропийные характеристики, ATC, DTU, CTT	Вектор радиомических, текстурных и структурных признаков
5. Объединение признаков	Радиомические признаки и глубокие сверточные признаки	Feature fusion, PCA/отбор признаков, классификаторы машинного обучения	Оптимизированное признаковое пространство
6. Нейросетевое моделирование	Изображения, маски и признаковое пространство	BioResNet-18, EDECOVID-net, Inf-Seg, алгоритмы машинного обучения	Классификационные, сегментационные и прогностические решения
7. Валидация и интерпретация	Предсказания моделей и экспертные/клинические данные	Метрики точности, Dice, F1-мера, специфичность, чувствительность, Grad-CAM, корреляционный анализ	Оценка качества и биофизическая интерпретация результатов

Микроструктурные характеристики, включая неоднородность текстуры, переходы яркости, сложность границ и доменную организацию, рассматриваются как количественно измеримые характеристики пространственной организации объектов, потенциально отражающие особенности протекающих в них процессов. Общность подхода к их анализу в физико-химических модельных системах самоорганизации и биомедицинских объектах иллюстрирует рис. 1.

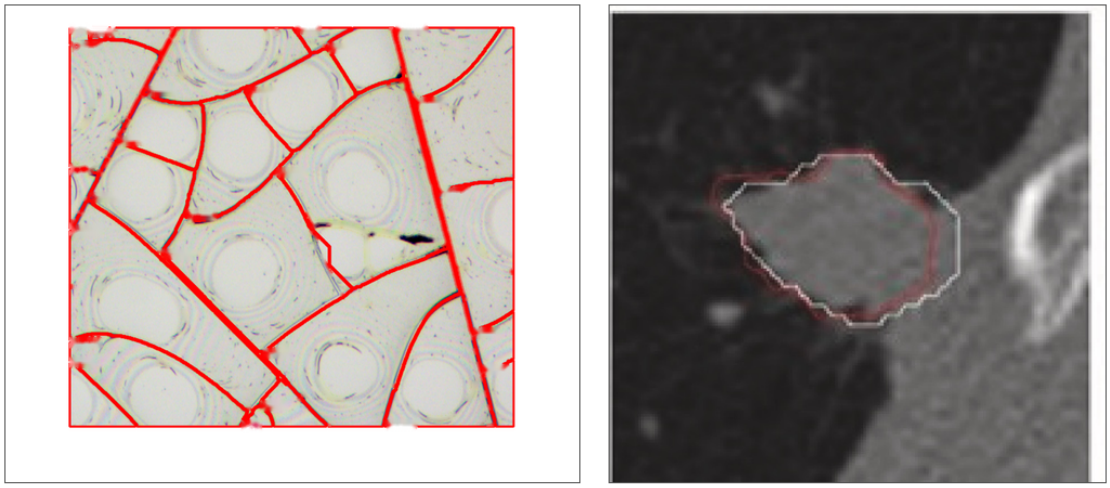

Рисунок 1 – Пространственные структуры, выявляемые единой процедурой анализа: (а) плёнка альбумина, полученная изотермической дегидратацией, с выделенными границами самоорганизованных доменов; (б) лёгочный узелок на КТ с выделенной границей (красная линия — результат алгоритма, белая — разметка врача-специалиста из центра «Жарфа», Тегеран, Иран)

В модельной экспериментальной системе условия формирования задаются экспериментатором и известны точно. Температура дегидратации (293–313 K) и концентрация белка (1–20 %) определяют длительность процесса, составляющую от 2 до 48 часов. Для заданных условий измерены зависимости площади самоорганизованного домена от температуры и концентрации, а также зависимости текстурных характеристик (контраста, энтропии и однородности) от концентрации NaCl в диапазоне 0,313–5 %. Таким образом, установлено, что вычисляемые по изображению признаки отражают изменения физических условий структурообразования, а не условия получения изображения. В клиническом случае условия формирования недоступны наблюдению, и доступно лишь конечное состояние структуры. Те же признаки характеризуют пространственную неоднородность образования, которая независимо сопоставляется с его гистологическим и молекулярно-генетическим статусом. В этом состоит роль модельного объекта как эталонной системы: он позволяет подтвердить физическую содержательность признаков в системе с известными условиями формирования, прежде чем применять их к объектам, для которых эти условия неизвестны.

1. Новые радиомические признаки и повышение точности радиогеномной классификации

Разработаны новые текстурные дескрипторы — Adaptive Texture Contrast (ATC), Directional Texture Uniformity (DTU) и Co-occurrence of Texture Transitions (CTT), ориентированные на количественное описание неоднородности и сложности границ патологических образований. Признак ATC основан на выделении доминирующих пространственных частот в области интереса. На первом этапе выполняется двумерное преобразование Фурье. Область интереса переводится в частотную область двумерным преобразованием Фурье, по комплексному спектру вычисляется амплитудный спектр, после чего пороговой обработкой выделяются доминирующие частотные компоненты. Обратное преобразование даёт отклик фильтра, по которому рассчитывается контраст Майкельсона:

После выделения доминирующих частот с использованием пороговой фильтрации выполняется обратное преобразование и рассчитывается контраст Майкельсона:

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}, \quad (1)$$

где L_{max} и L_{min} — максимальное и минимальное значения яркости отклика в пределах маски узла.

DTU предназначен для анализа анизотропии структуры. Применяется направленный фильтр Габора:

$$G(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right)\cos\left(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \psi\right), \quad (2)$$

где λ — длина волны синусоидальной составляющей, θ — ориентация фильтра, ψ — фазовый сдвиг, σ — ширина гауссовой огибающей, γ — пространственное соотношение сторон, x' и y' — координаты, повёрнутые на угол θ.

Отклик фильтра получается свёрткой изображения с ядром Габора; по гистограмме отклика рассчитываются энтропия и дисперсия:

$$H = -\sum p(i)\log_2 p(i), Var = \sum (i - \mu)^2 p(i). \quad (3)$$

где $p(i)$ — вероятность появления значения i в карте отклика фильтра, μ — среднее значение отклика в пределах области интереса.

Меньшие значения энтропии соответствуют большей направленной однородности, что позволяет выявлять структурную анизотропию опухолевой ткани. Признак CTT расширяет классический GLCM-подход, переходя от анализа уровней серого к анализу переходов текстурных паттернов. На первом этапе вычисляется локальный бинарный шаблон (LBP):

$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(i_p - i_c)2^p, \quad s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \tag{4}$$

Далее выполняется кластеризация (K-means) текстурных меток и строится матрица переходов:

$$TTM(i,j) = P(Label_i \rightarrow Label_j). \tag{5}$$

Из матрицы TTM вычисляются статистики:

$$Contrast = \sum (i-j)^2 TTM(i,j),$$

$$Correlation = \sum \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{\sigma_i \sigma_j} TTM(i,j), \tag{6}$$

$$Energy = \sum TTM(i,j)^2.$$

где $TTM(i,j)$ — вероятность перехода от текстурной метки i к метке j; μ_i и μ_j — средние значения, σ_i и σ_j — стандартные отклонения сумм строк и столбцов матрицы соответственно.

Таким образом, CTT отражает пространственную сложность взаимодействия текстурных доменов. На задаче классификации лёгочных узелков по статусу мутации EGFR добавление предложенных признаков к стандартному радиомическому набору повышает точность для всех рассмотренных алгоритмов — SVM, Random Forest, нейронных сетей, градиентного бустинга; наибольший эффект получен для Random Forest [Breiman, 2001]: с 88% до 92% (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение точности методов классификации до и после добавления новых текстурных признаков

Метод	Точность (%)	
	До	После
Метод опорных векторов (SVM)	85	89
Случайный лес (RF)	88	92
Нейронная сеть (NN)	86	90
Градиентный бустинг (GB)	87	91

Клиническая значимость улучшения подтверждена анализом матрицы ошибок: число ложноотрицательных заключений по мутации EGFR (FN) уменьшилось почти вдвое (с 33 до 18) при росте истинно положительных и истинно отрицательных решений (табл. 3).

Методы объяснимого ИИ (Grad-CAM) показали преимущественную фокусировку модели на границах узелков (рис. 2), что согласуется с представлением о том, что фенотипические проявления генотипа отражаются в энтропийной сложности краевой зоны, фиксируемой признаками ATC и DTU.

Таблица 3 – Сравнение параметров матрицы ошибок до и после добавления новых текстурных признаков для алгоритма случайного леса (Random Forest)

	Предсказано EGFR Mutant		Предсказано Wild-Type	
	До	После	До	После
Действ. EGFR Mutant	TP = 155	TP = 161	FN = 33	FN = 18
Действ. Wild-Type	FP = 18	FP = 12	TN = 215	TN = 230

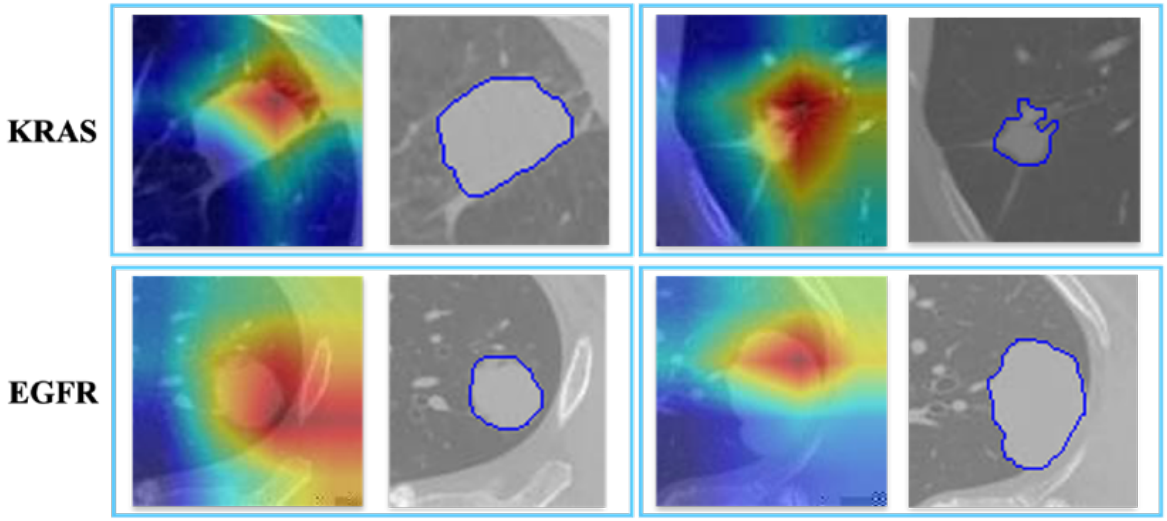

Рисунок 2 – Визуализации Grad-CAM для классификации генных мутаций: модель опирается на признаки краёв узелка

2. Автоматизированное текстурное представление изображения с каналами цветности для задач сегментации

Предложен алгоритм сегментации на основе Texture Appearance Model (TAM): извлечение текстурных и статистических признаков, отбор информативных, обучение модели сегментации (рис. 3). На выборке N = 85 пациентов показана устойчивость TAM к гауссовскому шуму и шуму «соль-перец»: значения Dice и общей точности сохраняются (табл. 4). Контуры сопоставлены с экспертной разметкой врача (рис. 4).

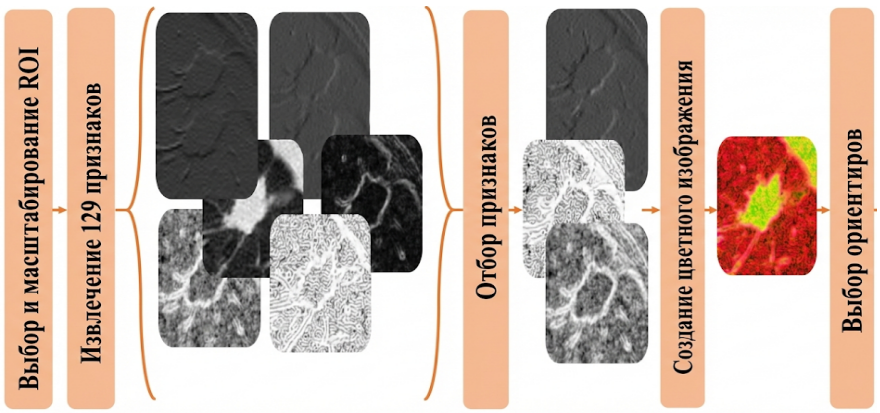

Рисунок 3 – Общая архитектура предложенного алгоритма сегментации на основе TAM

Таблица 4 – Средние результаты производительности алгоритма сегментации ТАМ на КТ-изображениях легких (N=85)

Тип изображения	Прецизионность, %	Чувствительность, %	Специфичность, %	Коэффициент Дайса (Dice), %	Общая точность, %	Доля ложных обнаружений, %
Без шума	86.56	97.84	88.25	84.75	96.27	13.37
Гауссовский шум	81.84	83.52	97.46	82.51	96.07	18.07
Шум «соль-перец»	90.92	65.61	98.98	75.92	95.38	9.00

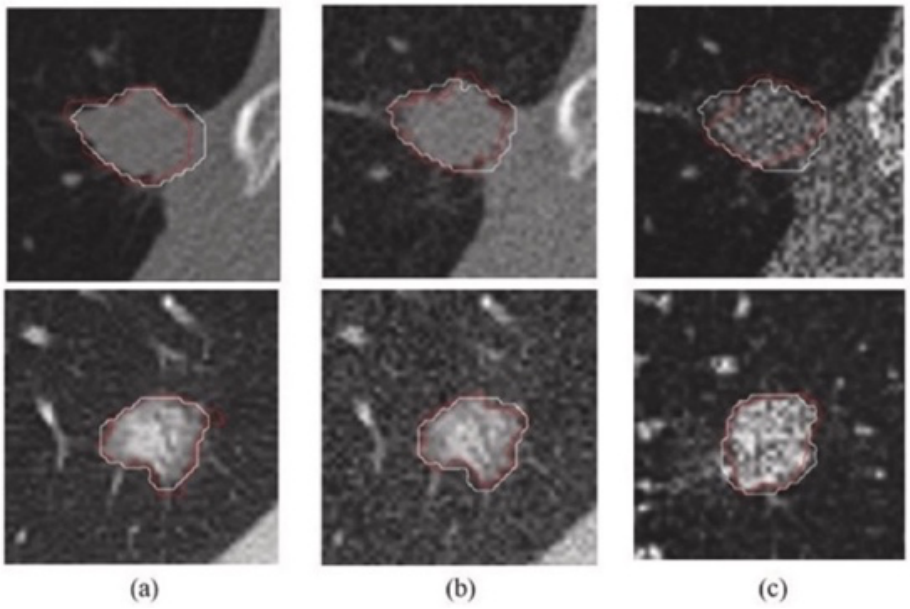

Рисунок 4 – Сравнение сегментации. Красная линия — контур алгоритма, белая — сегментация врача-специалиста (центр «Жарфа», Тегеран)

3. Гибридная нейросетевая платформа BioResNet-18 и модульные клинические решения (мутации, терапия, стадирование, инфекции)

Разработана гибридная нейросетевая архитектура BioResNet-18, интегрирующая механизмы внимания и мультимасштабной фузии признаков. Она рассматривается как базовая платформа, в рамках которой реализованы специализированные решения для онкологической и инфекционной визуализации.

3.1. Радиогеномика. В задачах предсказания статусов EGFR и KRAS объединение глубоких свёрточных признаков BioResNet-18 с радиомическими даёт синергетический эффект и улучшает метрики по сравнению с использованием только радиомики или только глубоких признаков.

3.2. Персонализированная терапия. Оценена применимость BioResNet-18 для выбора химиотерапевтического агента (Карбоплатин vs Цисплатин) по данным КТ.

3.3. Стадирование опухоли. Комбинация свёрточных признаков BioResNet-18 с

радиомическими наиболее информативна для классификации Т-стадий; после снижения размерности (PCA) SVM-классификатор достигает высоких значений точности и F1-меры.

3.4. Инфекционная визуализация как модульное расширение BioResNet (EDECOVID-net и Inf-Seg). В составе общей платформы BioResNet реализованы специализированные модули для инфекционной диагностики и количественной оценки поражений:

- EDECOVID-net — модуль дифференциальной диагностики COVID-19 и отёка лёгких на КТ, использующий трехканальное входное представление, сформированное из наиболее информативных радиомических признаков (рис. 5). Диагностические характеристики сети приведены в табл. 5.
- Inf-Seg — модуль сегментации на основе модифицированной архитектуры YOLACT, интегрированный в контур BioResNet для автоматической сегментации областей поражения и лёгких (табл. 6 и рис. 6).



Рисунок 5 – Предлагаемая архитектура глубокого обучения для автоматизированной дифференциации COVID-19 и отёка лёгких на КТ-сканах

Таблица 5 – Результаты предложенной сети EDECOVID-net (PPV, NPV — положительная и отрицательная прогностическая ценность)

Модель	Точность (%)	Чувствительность (%)	Специфичность (%)	PPV (%)	NPV (%)
EDECOVID-net	98	98	98	97.8	98.3

Таблица 6 – Результаты предложенных методов Inf-Seg и сегментации легких.

Метод	Точность	Чувствительность	F-мера	Коэффициент Дайса	Специфичность
Inf-Seg	0.99	0.96	0.97	0.97	0.99
Lung-seg	0.99	0.97	0.98	0.98	0.99

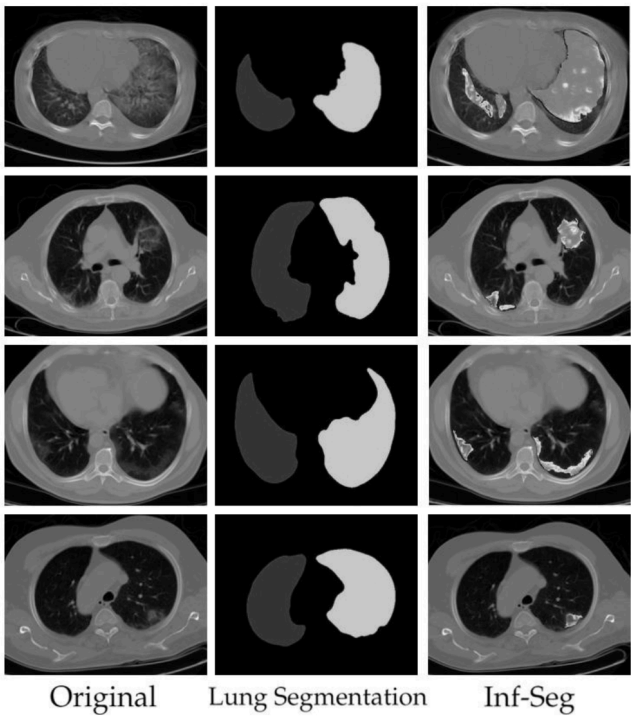

Рисунок 6 – Визуальные результаты сегментации поражений при COVID-19 методом Inf-Seg

4. Фундаментальная верификация на модельных биофизических системах и физическая интерпретация

Универсальность и физическая интерпретируемость алгоритмов подтверждены на синтезируемых модельных объектах: биомолекулярных плёнках и микрочастицах с контролируемыми параметрами структуры. Сеть BioResNet-18 решает обратную задачу восстановления физико-химических условий синтеза по текстуре изображения (табл. 7).

Таблица 7 – Показатели производительности BioResNet-18

Параметр	Точность (%)	F1-мера	Полнота	Специфичность
Температура дегидратации	95.51	0.95	0.95	0.98
Концентрация NaCl	84.81	0.85	0.85	0.96

Результат соответствует второй и третьей задачам работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов сформулированы следующие **выводы**:

1. Разработан интегрированный методический комплекс анализа оптических и рентгеновских изображений биологических объектов как сложных нелинейных систем. Сформирован единый протокол подготовки клинических КТ-данных, гистологических проб и синтезированных плёночных/микрочастичных образцов; обеспечена сопоставимость источников и воспроизводимость количественных оценок на большой выборке. Комплекс обеспечивает синтез физически обоснованных биомолекулярных фантомов, корректную цифровизацию и радиомический анализ, статистико-термодинамическое моделирование и адаптированные алгоритмы искусственного интеллекта.

2. Предложены и реализованы способы целенаправленного синтеза биомолекулярных плёночных структур с управляемой морфологией — ультразвуковая активация растворов и осаждение из парогазовой фазы. Отработаны управляемый синтез фантомов и алгоритмы их количественной оценки. Фантомы устойчиво воспроизводили доменные, кристаллические и спиральные мотивы, что дало возможность ставить трассируемые эксперименты и настраивать процедуры извлечения признаков. Тем самым они воспроизводят ключевые механизмы самоорганизации и пригодны для калибровки и верификации радиомических и ИИ-подходов.

3. Разработаны математические модели неравновесной термодинамики биомолекулярных плёнок, связывающие параметры внешней среды с морфогенезом доменных структур через фрактальные и энтропийные характеристики. Введены количественные маркеры сложности структуры, используемые для прогноза морфологии и сопоставления с медицинскими изображениями. Выполнен расчёт параметров порядка, фрактальной размерности и энтропийных характеристик; установлен переход от упорядоченных к хаотическим состояниям при варьировании внешних условий и показана воспроизводимая зависимость радиомических признаков от условий синтеза.

4. Сформирован комплекс математических моделей для цифровой обработки изображений, включающий предобработку, сегментацию (водораздел, преобразование Хафа), выделение и описание текстур (GLCM/GLRLM), согласованную оценку микроструктуры в радиомических изображениях фантомов и КТ-данных. Модели успешно решают задачи прогноза параметров синтеза и классификации мутаций по КТ, при этом тепловые карты Grad-CAM подтверждают морфологическую обоснованность решений.

5. Предложена и апробирована гибридная нейросетевая архитектура BioResNet-18 для мультизадачного анализа. Показана её применимость к прогнозу параметров синтеза плёнок и классификации мутаций EGFR/KRAS по КТ при обеспечении высокой точности и устойчивости к вариабельности данных, а также обеспечена интерпретируемость решений средствами XAI

(Grad-CAM). Объединены фантомные эксперименты, цифровизация, радиомика, теоретическое моделирование и ИИ в единый верифицируемый контур, обеспечивающий перекрёстную проверку и калибровку на сопоставимых по сложности сценариях.

6. Показана практическая значимость комплекса данных, в том числе улучшена точность компьютерной диагностики по КТ лёгких, продемонстрированы возможности радиогеномной стратификации, а также потенциальные применения в биосенсорике, функциональных покрытиях, биопринтинге и биоэлектронике. Обоснована полезность комплекса для персонализированной медицины (CAD-системы, радиогеномика), а также для материаловедения и нанотехнологий (биосенсорные и функциональные плёнки, элементы биоэлектроники и биопринтинга).

Развиты и применены высокотехнологичное физическое и математическое моделирование биологических объектов, аналитическая и цифровая обработка изображений, а также адаптированные и теоретически обоснованные алгоритмы искусственного интеллекта. Полученные результаты в совокупности демонстрируют, что предложенный и апробированный научно-методический инструментарий позволяет создавать высокоточные и робастные системы для анализа изображений сложных биологических объектов. Универсальность модели подтверждена тем, что она применена как для количественного определения физико-химических параметров синтеза по изображениям фантомных систем, так и широкий спектр клинических задач: неинвазивное предсказание генетических мутаций, ответа на терапию, Т-стадии и гистологического подтипа рака легкого. Взаимная верификация методов на фантомных и реальных клинических данных закладывает основу для их дальнейшего применения как в фундаментальных биофизических исследованиях, так и в практической медицине.

В результате достигнута поставленная цель работы, а именно получение наиболее полной биофизической информации о природных и синтезируемых биологических объектах, рассматриваемых как сложные динамические нелинейные системы на основе углубленного анализа их двумерных и трёхмерных оптических и рентгеновских (радиомических) изображений и их связей с клинически удостоверенными динамикой и функциональностью. В целом, реализация поставленной цели способствует развитию медицинской и вычислительной биофизики, повышает воспроизводимость и клиническую применимость результатов, создает предпосылки для разработки новых биоматериалов и технологических решений на основе контролируемых биомолекулярных структур и открывает новые возможности практического использования выявленных закономерностей в научных, методических, технологических и клинических приложениях.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, включённых в перечень ВАК:

1. Шариати, Ф., Павлов, В. А. Новые текстурные радиомические сигнатуры для неинвазивного прогнозирования статуса мутации EGFR в легочных узелках // Вестник рентгенологии и радиологии. 2025. Т. 106, № 1–3. С. 45–52.

2. Шариати, Ф., Павлов, В. А. Повышение эффективности анализа КТ-изображений с помощью новых текстурных радиомических признаков // Компьютерная оптика. 2025. Т. 49, № 5. С. 811–817.

3. Шариати, Ф., Павлов, В. А. Совместное применение глубокого обучения и радиомических признаков для классификации КТ-изображений легких // Известия высших учебных заведений России. 2025. Т. 28, № 1. С. 126–137.

4. Шариати, Ф., Павлов, В. А., Завьялов, С. В., Махди, О., Первунина, Т. М. Применение модели внешнего вида текстуры для сегментации легочных узлов при компьютерной томографии грудной клетки // Известия высших учебных заведений России. 2022. Т. 25, № 3. С. 96–117.

5. Павлов, В. А., Завьялов, С. В., Федоров, С. А., Шариати, Ф. Применение методов глубокого обучения для синтеза КТ-изображений // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2023. № 1. С. 67–75.

6. Шариати, Ф., Павлов, В. А., Завьялов, С. В. [и др.]. Применение комбинации свёрточных, текстурных и радиомических признаков для классификации рака легких // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2023. № 4. С. 69–75.

7. Завьялов, С. В., Павлов, В. А., Федоров, С. А. [и др.]. Автоматическая сегментация и классификация COVID-19 на КТ-изображениях // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2023. № 4. С. 76–83.

8. Павлов, В. А., Завьялов, С. В., Первунина, Т. М. [и др.]. Применение глубокого обучения для классификации COVID-19 и отека легких на КТ-изображениях легких // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2022. № 1. С. 65–72.

Статьи в рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах данных:

9. Pavlov V. A., Shariaty F., Baranov M. A., Serebrenikov N. A. Improving diagnosis and treatment of lung cancer using a combination of deep learning, radiomics and genomic analysis // Computer Optics. 2025. Vol. 49, no. 4. P. 674–681.

10. Shariaty F., Baranov M. A., Tsybin O. Y. Structure of biomolecular films through advanced imaging and statistical analysis // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2024. Vol. 702. Art. 134920.

11. Shariaty F., Mohebi M., Barzegar-Golmoghani E., Pavlov V., Sarmi S. H. A., Behzadpour M. H. [et al.]. Deep vessel segmentation with U-Net and texture representation of image (TRI) features provides a foundation for improved objective and automated analysis of coronary artery disease from angiography // Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2025. Art. 109072.

12. Baranov M. A., Shariaty F., Tsybin O. Y. Dynamics of glycine, diphenylalanine, and tryptophan oligomers: Computer simulation in an IR electric field with different forms and polarization // Journal of Biomolecular Structure and Dynamics. 2024. P. 1–8.

13. Velichko E., Shariaty F., Orooji M., Pavlov V., Pervunina T., Zavjalov S. [et al.]. Development of computer-aided model to differentiate COVID-19 from pulmonary edema in lung CT scan: EDECOVID-net // Computers in Biology and Medicine. 2022. Vol. 141. Art. 105172.

14. Shariaty F., Orooji M., Velichko E. N., Zavjalov S. V. Texture appearance model, a new model-based segmentation paradigm, application on the segmentation of lung nodule in the CT scan of the chest // Computers in Biology and Medicine. 2022. Vol. 140. Art. 105086.

15. Baranov M., Velichko E., Shariaty F. Determination of geometrical parameters in blood serum films using an image segmentation algorithm // Optical Memory and Neural Networks. 2020. Vol. 29, no. 4. P. 330–335.

16. Shariaty F., Mousavi M. Application of CAD systems for the automatic detection of lung nodules // Informatics in Medicine Unlocked. 2019. Vol. 15. Art. 100173.

Публикации в материалах конференций:

17. Baranov M.A., Shariaty F., Medvedeva E., Musorin A., Alekseev A., Popov M., Tsybin O. " A Research Toolkit for Biomolecular Components in Post-CMOS Electronics" In 2025 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), IEEE, 2025

18. Shariaty F., Pavlov V. " Comparative Analysis of Multi-Modal Feature Fusion Strategies for Non-Invasive EGFR and KRAS Mutation Classification in NSCLC using Radiomics and Deep Learning" In 2025 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), IEEE, 2025

19. Shariaty F., Tsybin O., Pavlov V., Baranov M., "BioResNet-18: A Deep Learning Framework for Quantitative Analysis of Biomolecular Film Microstructures " In 2025 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), IEEE, 2025

20. Shariaty F., Baranov M., Tsybin O. " Growing of biomolecular micro particles and surface films with ultrasound activation of solution" In 2024 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), IEEE, 2024

21. Shariaty, F., Pavlov, V., & Serebrennikov, N. (2024, October). Application of Deep Learning for Classification of CT Images in Order to Predict EGFR and KRAS Mutations in Oncology. In 2024 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) (pp. 138-141). IEEE

22. Shariaty, F., Pavlov, V. A., Fedyashina, S. V., & Serebrennikov, N. A. (2024, June). Integrating deep learning and explainable AI for non-invasive prediction of EGFR and KRAS mutations in NSCLC: a novel radiogenomic approach. In 2024 V International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NeuroNT) (pp. 32-35). IEEE

23. Шариати Ф., Павлов В., Федяшина С., Серебренников Н., Объединение глубокого обучения и объяснимого ИИ для неинвазивного прогнозирования мутаций EGFR и KRAS в NSCLC: новый радиогеномный подход, V Международная конференция по нейронным сетям и нейротехнологиям (NeuroNT'2024). Сборник докладов конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 41-44.

24. Ji Y., Shi J., Gong W., Wan Y., Shariaty F., Integrating laplacian pyramid restoration and gaussian differential scale-invariance for enhancement of segmentation performance, В сборнике: Неделя науки ИЭиТ. Материалы Всероссийской конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 102-104.

25. Shariaty, F., Baranov, M., & Tsybin, O. (2023, October). Quantitative Analysis of Biomolecular Films: Automated Detection and Characterization of Leaves and Spiral Structures. In 2023 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) (pp. 136-139). IEEE

26. Rostami, M., Mokari, N., Shariaty, F., & Gelgor, A. (2023, October). Potential of Brain-Computer Interfaces in Dementia. In 2023 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) (pp. 132-135). IEEE

27. Skalunova, M., Shariaty, F., Rozov, S., & Radmard, A. R. (2023, October). Personalized Chemotherapy Selection for Lung Cancer Patients Using Machine Learning and Computed Tomography. In 2023 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) (pp. 128-131). IEEE

28. Shariaty, F., Baranov, M., & Tsybin, O. (2022, October). Automatization of Biofilms Image Processing for Biomolecular Electronics and Life Science. In 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) (pp. 79-82). IEEE

29. Shariaty, F., Duan, L., Pavlov, V., Mousavi, M., & Pervunina, T. (2022, October). A Novel Gene Assay Combined with Medical Imaging for Accurate Prognosis and Prediction of Cancer Type. In 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) (pp. 118-121). IEEE

30. Taranova, D., & Shariaty, F. (2022). Radiomic analysis for prediction of T stage parameter (T1-T2) in lung cancer patients. В сборнике: Неделя науки ИЭиТ. материалы Всероссийской конференции. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Санкт-Петербург, 2022. С. 77-80.

31. Pavlov, V. A., Shariaty, F., Orooji, M., & Velichko, E. N. (2022). Application of deep learning techniques for detection of COVID-19 using lung CT scans: model development and validation. In

International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies: Proceedings of the YETI 2021, St. Petersburg, Russia (pp. 85-96). Springer International Publishing

32. Shariaty, F., Mousavi, M., Moradi, A., Oshnari, M. N., Navvabi, S., Orooji, M., & Novikov, B. (2022). Semi-automatic segmentation of COVID-19 infection in lung CT scans. In International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies: Proceedings of the YETI 2021, St. Petersburg, Russia (pp. 67-76). Springer International Publishing

33. Mousavi M., Shariaty F., Velichko E., Orooji M., The performance of active-contour and region growing methods against noises in the segmentation of Computed-Tomography scans, В сборнике: Springer Proceedings in Physics. Сер. "International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies - Proceedings of the YETI 2020" 2021. С. 573-582.

34. Shariaty, F., Pavlov, V., Velichko, E., Pervunina, T., & Orooji, M. (2021, October). Severity and progression quantification of covid-19 in ct images: a new deep-learning approach. In 2021 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech) (pp. 72-76). IEEE.

35. Shariaty F., Orooji M., Mousavi M., Baranov M., Velichko E., Automatic lung segmentation in Computed Tomography images using active shape model, IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). 2020. С. 156-159.

36. Shariaty F., Hosseinlou S., Rud V.Y., Automatic lung segmentation method in Computed Tomography scans, Journal of Physics: Conference Series. 2019. С. 012028.

37. Shariaty, F., Davydov, V. V., Yushkova, V. V., Glinushkin, A. P., & Rud, V. Y. (2019, December). Automated pulmonary nodule detection system in computed tomography images based on Active-contour and SVM classification algorithm. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1410, No. 1, p. 012075). IOP Publishing.

38. Shariaty F., Baranov M., Velichko E., Galeeva M., Pavlov V., Radiomics: extracting more features using endoscopic imaging, Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics, EExPolytech 2019. 2019. С. 181-184.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

39. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024610107 Российская Федерация. Программа для комплексного анализа энергий молекулярных систем : № 2023688590 : заявл. 19.12.2023 : опубл. 09.01.2024 / М. А. Баранов, Ф. Шариати ; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого”.

40. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024610199 Российская Федерация. Программа для выявления и анализа поверхностных структур в дегидратированных пленках растворов аминокислот : № 2023688757 : заявл. 19.12.2023 : опубл.

09.01.2024 / М. А. Баранов, Ф. Шариати ; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого”.

41. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614098 Российская Федерация. Программа для текстурного представления изображений с целью сегментации легочных узлов при компьютерной томографии грудной клетки : № 2024612267 : заявл. 08.02.2024 : опубл. 20.02.2024 / Ф. Шариати, В. А. Павлов, С. А. Федоров ; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого".

42. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685837 Российская Федерация. Программа для мультипотоковой обработки данных моделирования молекулярной динамики : № 2024684211 : заявл. 17.10.2024 : опубл. 02.11.2024 / М. А. Баранов, Ф. Шариати ; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого”.

43. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611500 Российская Федерация. Программа для нейросетевой сегментации и классификации патологий на основе статистических признаков : № 2022686113 : заявл. 27.12.2022 : опубл. 20.01.2023 / С. В. Завьялов, В. А. Павлов, С. А. Федоров, Ф. Шариати ; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого”.