

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии  
Базовая кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.А. Кратасюк

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Цифровая обработка и анализ рентгенограмм грудной полости в прямой  
проекции для повышения точности рентгенологической диагностики  
патологических изменений в лёгких

03.04.02 Физика

03.04.02.09 Технологическое сопровождение ядерной медицины и  
медицинского оборудования

Научный руководитель \_\_\_\_\_ д.т.н. К.В. Симонов

Выпускник \_\_\_\_\_ А.С. Кеңц

Рецензент \_\_\_\_\_ к.т.н. В.В. Ничепорчук

Красноярск 2021

## РЕФЕРАТ

Отчет: 63 с., 3 ч., 18 рис., 3 табл., 31 источников.

Цель проекта: Анализ и интерпретация результатов исследования, направленного на повышение точности идентификации патологических структур для ускорения процесса диагностики заболеваний органов дыхания и снижения доли повторных исследований.

Объект исследования: Рентгенологические изображения легких для визуализации крупных грудной полости, также с применением локальных спектральных методов анализа многомерных данных.

Проведение рентгеновского исследования легких является одним из ключевых рентгенологических исследований для выделения большого ряда патологических изменений. Все выявленные изменения нуждаются в верификации и связи с клинико-лабораторными данными. В цепочке пациент-лечащий врач, врач-рентгенолог на первый план вышло КТ-исследование, которое занимает не последнюю роль с учетом возникшей пандемии Covid-19.

От врача-рентгенолога зависит не только дифференцировка и выставление предварительного рентгенологического заключения, но и определение степени поражения легких, следовательно, тяжести заболевания, а в последующем и динамическое наблюдение.

В совокупности вместе с клинико-лабораторными и полученными рентгенологическими данными происходит формирование тактики лечения и наблюдения пациента. Описательная картина зависит не только от квалификации врача, но и от качества изображения.

Данное исследование включает в себе не только процессы повышения качества исследования, но и, как возможность, косвенное повышение квалификации врача-рентгенолога за счет дополнительной проверки правильности описания и заключения.

Ключевые слова: РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ЛЕГКИХ, COVID-19, КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ.

## СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ .....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Радиомика – базовая технология обработки изображений КТ с Covid-19 .....	7
1.1 Основные понятия и определения технологии Радиомики .....	7
1.2 Извлечение скрытых особенностей на КТ снимках с Covid-19.....	8
2. Феномен Covid-19: постановка задачи обработки и анализа данных .....	11
2.1 Особенности диагностики Covid-19 на основе КТ изображениях .....	11
2.2 Вычислительная методика геометрического анализа изображений КТ с Covid-.....	14
2.3 Применение рентгенологических методов исследования для диагностики заболеваний легких .....	16
3. Результаты экспериментальные исследования: моделирование данных КТ .....	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	35
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	36
ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	36
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	37
ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А-Е .....	43-63

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Лучевая диагностика является быстро развивающейся областью медицины, в которую активно входит такое понятие как искусственный интеллект, компьютерное зрение и новые методы визуализации медицинских изображений.

Алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ), особенно глубокое обучение, продемонстрировали значительный прогресс в задачах распознавания изображений. Компьютерные методы, начиная от сверточных нейронных сетей и заканчивая вариационными автоэнкодерами, включают множество приложений в области анализа медицинских изображений, способствуя их быстрому продвижению.

Исторически сложилось так, что в диагностической практике радиологии врачи визуально оценивают медицинские изображения для выявления характеристик и мониторинга заболеваний. Методы ИИ и компьютерного зрения позволяют превосходно распознавать сложные закономерности в данных визуализации и предоставлять количественные оценки рентгенографических характеристик [1]. На основе данного метода получены существенные результаты в интерпретации и поиске информации, что способствует быстрой обработке массива данных и формированию программ по формированию решений врачом-рентгенологом.

Основные проблемы в предметной области. На данный момент развития лучевой диагностики основной проблемой является быстрая обработка большого массива данных без потери информации о патологии. А также в индивидуальном подходе к каждому случаю в совокупности с клинической картиной.

Современное состояние проблемы. Выбор приоритетного направления исследования обусловлен высокой востребованностью среди диагностов первичного звена, занимающихся выявлением патологий легочной системы в

труднодоступных и удаленных регионах, как на этапе диспансеризации, так и при появлении первых симптомов заболевания.

Высокий риск распространения вирусных инфекций, таких как SARS-CoV-2 (Covid-19), которые напрямую связаны с поражением легочной системы.

Отметим, что для врачей диагностов на первом месте стоит качество изображения, которое может снижаться при работе на переносных аппаратах или в условиях полевого лагеря. В данном случае разрабатываемая вычислительная методика направлена не только на повышения качества изображений, но и на возможность получения ряда новых признаков, в частности, в контексте помощи специалисту и повышения его квалификации в отдалённых районах при чрезвычайных ситуациях.

Также разрабатываемая методика, использующая автоматические способы и алгоритмы визуализации крупных объектов грудной полости, с применением нейросетевых и локальных спектральных методов анализа многомерных данных, будет актуальна для бюджетных организаций здравоохранения (районных ЦРБ и медицинских центров).

Идея исследования. Учитывая актуальность проблемы Covid-19, предлагается методика обработки, анализа и интерпретации КТ изображений для эффективного выявления, текстурного анализа и визуализации патологических изменений в легких при Covid-19 в формате достижений ИИ и компьютерного зрения в диагностике, объединенных в новое направление – радиомика, в основе которой выполняется выделение множества количественных параметров исследуемой патологии с максимально точными значениями показателей (маркеров).

Цель исследования. Повышение точности идентификации патологических структур при удаленном доступе для ускорения процесса диагностики заболеваний органов дыхания и снижения доли повторных исследований.

При этом применение разрабатываемой методики предоставляет возможность повышения точности геометрического (морфологического и

текстурного) анализа и интерпретации изображений патологии лёгких с Covid-19 для оценки соответствующих показателей (маркеров) в формате современной технологии радиомики.

Научно-практическая значимость. На основе исследования усовершенствованы и адаптированы алгоритмы комплексной обработки изображений с выделением ряда рентгенологических критериев в формате оценки динамики изменений при Covid-19 для более глубокого изучения данной проблемы и дальнейшей оптимизации процедуры анализа и интерпретации результатов.

Для достижения цели выполнена постановка и решение следующих задач.

1. Апробация методов и алгоритмов компьютерной визуализации патологических изменений грудной полости, также с применением методов спектральной декомпозиции для анализа изображений.

2. Формирование базы данных МСКТ-изображений с патологическими изменениями легких, в частности, вирусной пневмонии, вызванной Covid 19.

3. Сопоставить и интерпретировать патологические изменения у пациентов с Covid-19 с определённым характерным КТ-паттерном.

4. Разработка и исследование методики анализа и интерпретации изображений, позволяющего выделять текстурные (морфологические) признаки (маркеры).

5. Выполнение экспериментальных исследований для оценки результативности разработанной методики в рамках технологии радиомики: определить наиболее точно границы вовлеченной паренхимы с количественными характеристиками для каждого лёгкого в процентном отношении; оценить изменения относительно стадии заболевания и с дифференциацией изменений по плотностной составляющей для контроля динамики более плотных зон и формирования прогноза.

# 1. Радиомика – базовая технология обработки изображений КТ с Covid-19

## 1.1 Основные понятия и определения технологии Радиомики

Радиомика – это новое направление исследований, призванное на извлечение высококачественных данных из клинических изображений, получение реконструкций и выделение маркеров для оценки и создания моделей, которые будут перенесены в клиническую практику с целью прогнозирования, не инвазивного отслеживания заболеваний и оценки реакции заболевания на лечение [2].

На рисунке 1 приведена базовая блок-схема основных этапов комплексной обработки и геометрического (морфологического и текстурного) анализа медицинских изображений в рамках технологии радиомики.

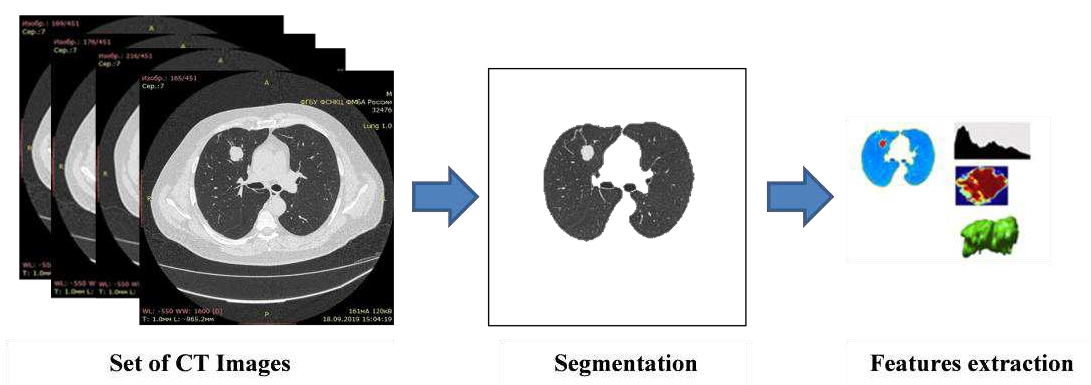


Рисунок 1. Блок-схема этапов комплексной обработки и геометрического анализа медицинских изображений в рамках технологии радиомики

Концепция, лежащая в основе вычислительного процесса технологии радиомики, заключается в том, что данную методику можно применять в разных областях исследований. Например, радиологические анализы могут быть выполнены в опухолевых областях, метастатических поражениях, а также в нормальных тканях [3].

Количественные характеристики в формате технологии радиомикки могут быть рассчитаны с помощью специального программного обеспечения, которое принимает медицинские изображения в качестве входных данных.

В тоже время по-прежнему сложно тщательно проверить качество входных данных и выбрать оптимальные параметры, чтобы гарантировать надежный выход – результат для адекватного решения диагностических задач. На качество выявленных и извлеченных признаков (маркеров), их связь с клиническими данными, а также на модель, полученную из них, может влиять тип изображения, постобработка и вычислительная процедура сегментации объектов интереса.

## **1.2 Извлечение скрытых особенностей на КТ снимках с Covid-19**

Различные виды функций могут быть получены из клинических изображений. Качественные семантические признаки обычно используются в лексиконе радиологии для описания поражений [4]. Количественными признаками являются дескрипторы, извлеченные из изображений программным обеспечением, реализующим математические алгоритмы [5].

Они демонстрируют различные уровни сложности и выражают свойства, во-первых, формы повреждения и гистограммы интенсивности вокселей, во-вторых, пространственного расположения значений интенсивности на уровне вокселей (*текстуры*). Они могут быть извлечены либо непосредственно из изображений, либо после применения различных фильтров или преобразований (например, вейвлет-преобразования).

Количественные характеристики обычно подразделяются на следующие подгруппы:

*Элементы формы*, описывающие форму исследуемой области интереса (ROI) и ее геометрические свойства, такие как объем, максимальный диаметр в разных ортогональных направлениях, максимальная поверхность, компактность опухоли и сферичность. Например, отношение поверхности к объему



«колючей» опухоли будет иметь более высокие значения, чем у круглой опухоли аналогичного объема (рис. 2).

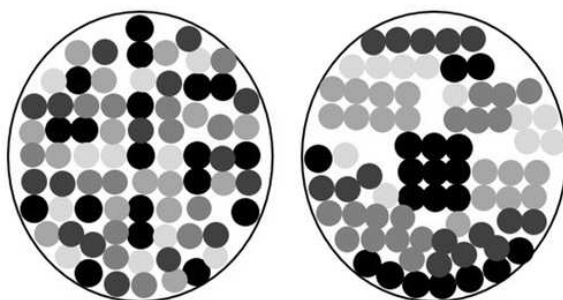


Рисунок 2. Пример диаграммы двух разных серых изображений

*Функции статистики первого порядка* описывают распределение отдельных значений вокселей без учета пространственных отношений. Это свойство определяется на основе гистограммы (рис. 3), сообщающие о среднем, максимальном, минимальном значениях интенсивности вокселей на изображении, а также их асимметрию, эксцесс (плоскостность), однородность и случайность (энтропия).

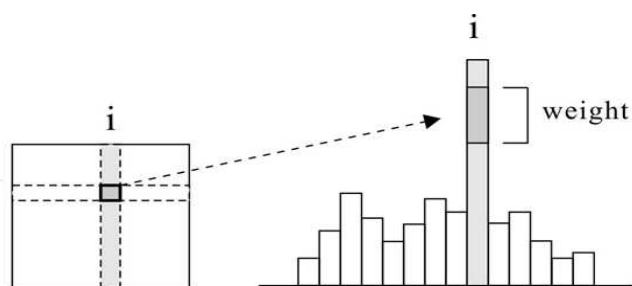


Рисунок 3. Пример схемы учета весов в медианном фильтре на основе гистограмм

*Характеристики статистики второго порядка* включают в себя так называемые *текстурные особенности* [6], которые получаются путем расчета статистических взаимосвязей между соседними вокселями. Они обеспечивают меру пространственного расположения интенсивностей вокселей и, следовательно, неоднородности внутри поражения (патологии).

Такие признаки могут быть получены из матрицы сопоставлений градиентов серого (GLCM), количественной оценки числа вокселей с одинаковыми интенсивностями на заранее определенном расстоянии вдоль фиксированного направления, или из матрицы длин серий серого (GLRLM), определяющей количественно последовательные воксели с одинаковой интенсивностью вдоль фиксированных направлений [7].

*Статистические характеристики* более высокого порядка получают статистическими методами после применения фильтров или математических преобразований к изображениям; например, с целью выявления повторяющихся или неповторяющихся шаблонов, подавления шума или выделения деталей. К таким методам относятся фрактальный анализ, функционалы Минковского, вейвлет-преобразование и лапласово преобразование изображений с гауссовой фильтрацией, которые могут выделять области с все более крупными текстурными узорами.

Некоторые трудности возникают, когда пользователю приходится выбирать, какие и сколько параметров извлекать из изображений. Каждый вычислительный инструмент рассчитывает разное количество объектов, принадлежащих к разным категориям, и первоначальный выбор может выглядеть как-то произвольно. Тем не менее, методы анализа данных строго зависят от количества входных переменных, что может повлиять на конечный результат.

Один из возможных подходов состоит в том, чтобы начать со всех функций, предоставляемых инструментом расчета, и выполнить предварительный анализ для выбора наиболее воспроизводимых параметров; чтобы впоследствии уменьшить их путем анализа корреляции и избыточности [8]. Другой подход заключается в том, чтобы сделать *априорный* выбор признаков на основе их математического определения, сосредоточив внимание на параметрах, легко интерпретируемых с точки зрения внешнего вида, или напрямую связываемых с некоторыми биологическими свойствами ткани.

## **2.0 Феномен Covid-19: постановка задачи обработки и анализа данных**

### **2.1 Особенности диагностики и проявлений Covid-19 на основе КТ изображений**

В течение последнего года феномен Covid-19 достаточно изучен. Данное острое инфекционное заболевание, вызываемое коронавирусом SARS-Cov-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Corona Virus 2), который впервые был выявлен в г. Ухань (КНР) в декабре 2019 года, Covid-19 широко распространился за пределы Китая.

Высокая контагиозность заболевания, тяжелое клиническое течение и повышенный риск развития осложнений, приводящих к высокой заболеваемости, а, следовательно, исход из патогенеза наиболее частого вовлечения органов дыхания в клиническую картину. Это приводит к многочисленному как первичному, так и динамическому наблюдению данных изменений на КТ легких в совокупности с оценкой эпидемиологического анамнеза, клинико-лабораторных и рентгенологических исследований.

Как говорилось ранее, для Covid-19 характерно вовлечение преимущественно дыхательных путей. На начальных этапах заболевания на первом плане выступало именно клинические изменения, которые включали признаки поражения легочной системы с повышением температуры, а также ряд других проявлений [9].

Учитывая изменения наиболее присущие органам дыхания изначально таким пациентам, проводилась обзорная рентгенограмма грудной полости и мультиспиральная компьютерная томография. Результаты визуализации варьируют в зависимости от индивидуальных особенностей пациента [10].

Среди ключевых КТ-признаков вирусной пневмонии Covid-19 авторы отмечают разноплановые изменения по типу «GGO», консолидация с типичной периферической локализацией. На рисунке 4 приведена характерная картина

снижения прозрачности по типу «GGO» за счет уплотнения септальной интерстициальной ткани обоих легких (изменения по типу «GGO»).

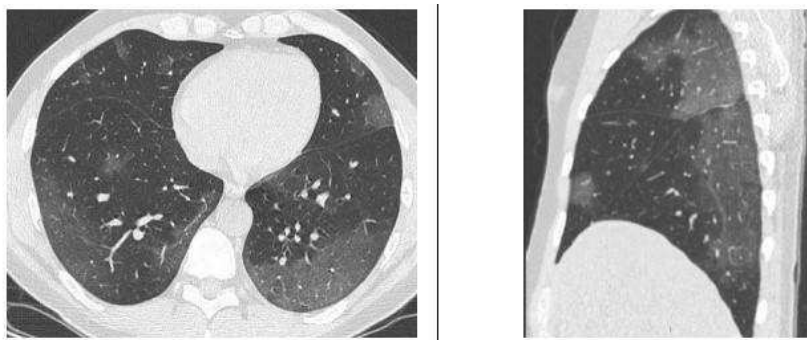


Рисунок 4. Пример снимка с изменениями по типу «матового стекла»

При анализе изображений здоровая паренхима легких имеет соответствующую пневматизацию с сохранением функции нормального газообмена. Когда происходит инфицирование вирусом, формируются зоны, а в частности по типу «матового стекла». Понятие «матовое стекло» представляет интерстициальный тип инфильтрации легочной ткани.

На КТ это выглядит как уплотнение легочной ткани с сохранение визуализации бронхиального и сосудистого компонентов (рис. 5). Это вызвано частичным заполнением воздушных пространств, интерстициальное утолщение (из-за жидкости, клеток и / или фиброза), частичный коллапс альвеол, увеличение объем капиллярной крови или их комбинация, общий фактор частичное вытеснение воздуха (рис. 5).

Также возможно появление участков консолидации и ретикулярные изменения. На рисунке 6 приведено КТ-изображение, где у пациентки в лёгких наблюдается двусторонние большие области матовых стекол с ретикулярными изменениями и двусторонними областям консолидации (<https://radiopaedia.org/cases/covid-19-pneumonia-12?lang=us>).

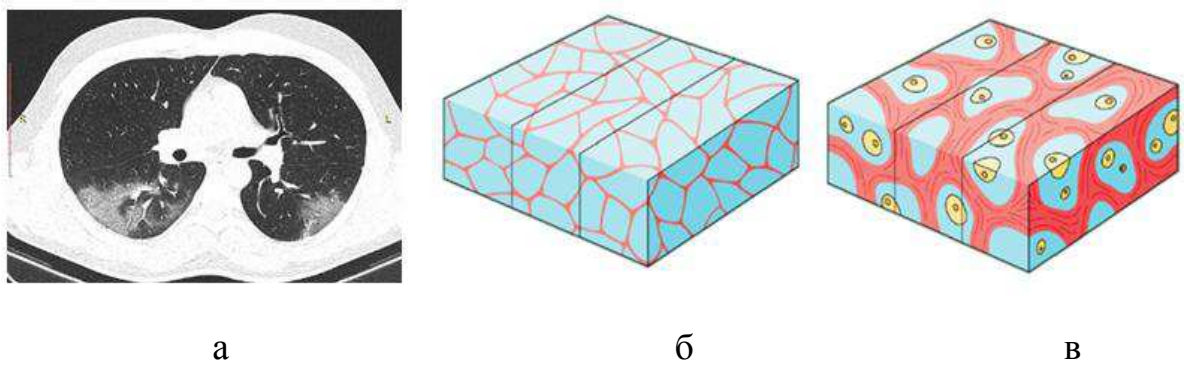


Рисунок 5. Проявление «матового стекла» (ground-glass opacity): а – КТ изображение, б – структура клеток нормального легкого, в – структура клеток в легком при «матовом стекле»

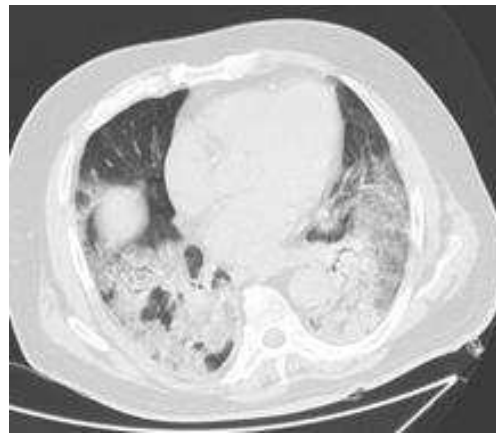


Рисунок 6. Пример КТ-изображения: наблюдаются двусторонние большие области «матовых стекол» с ретикулярными изменениями и двусторонними областям консолидации

Классическая Covid-19 пневмония имеет двустороннюю локализацию, с наибольшим поражением нижних долей обоих легких [9-12].

В дальнейшем сформировалось представление о 4 группах тяжести заболевания: КТ-1 – легкая форма пневмонии с участками «матового стекла», выраженность патологических изменений менее 25%; КТ-2 – пневмония средней степени тяжести, поражено 25-50% легких; КТ-3 – пневмония средней степени тяжести, поражено 50-75% легких; КТ-4 – тяжелая форма пневмонии, поражающая > 75% легких. В ряде случаев пациент может выписываться с

остаточными ретикулярными или фиброзными изменениями, которые требуют динамического наблюдения и возможной реабилитации.

## **2.2 Вычислительная методика геометрического анализа изображений КТ с Covid-19**

Для решения поставленных в работе задач при непосредственном участии автора на базе рентгеновского отделения Федерального Сибирского научно-клинического центра ФМБА России формируется база данных пациентов с патологическими изменениями в лёгких, в том числе с Covid-19.

В настоящее время автором выполняются анализ и интерпретация полученных результатов исследований с выделением ряда визуальных признаков, тестируется предлагаемая вычислительная методика, используемая для постпроцессинга визуальных данных. Пример элементов создаваемой базы данных и результатов геометрического (морфологического и текстурного) анализа и интерпретации приведен в Приложении В-Д.

В качестве основных этапов вычислительной методики обработки и анализа многомерных визуальных данных выделяем: начальную обработку (снижение шума, изменение яркости и контрастности), сегментацию и формирование контурного представления с цветовым кодированием, а также извлечение признаков и интерпретацию полученных результатов (рис. 7). В зависимости от цели медицинского исследования извлекаемые признаки (маркеры) будут отличаться.

В завершении проводится извлечение признаков, формируемых с применением гистограммного подхода и метода упругих карт. Также выполняется дополнительный анализ текстурных признаков на основе методов спектральной декомпозиции (вейвлет- и шиарлет-преобразование изображений с контрастированием цветовым кодированием), позволяющий более точно оценить количественные характеристики выявленных изменений.

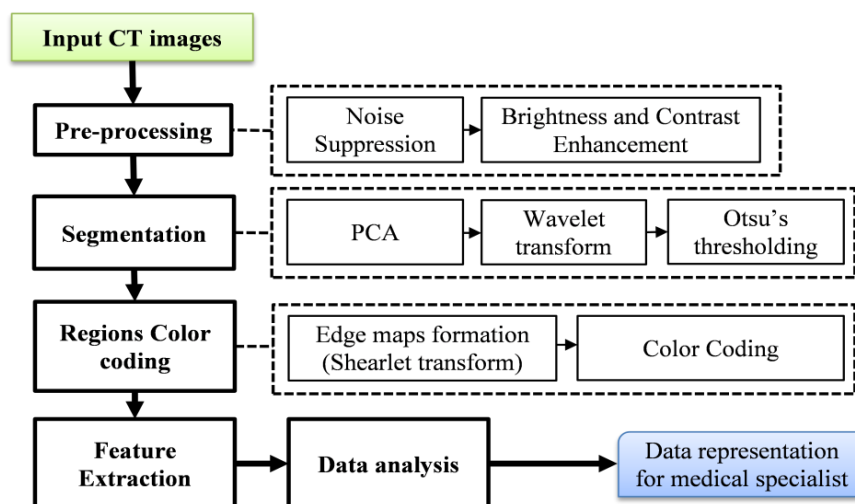


Рисунок 7. Блок-схема предлагаемой вычислительной методики обработки и геометрического анализа изображений с Covid-19

Для контурного представления объектов интереса предлагается использовать алгоритмы шиарлет-преобразования – новый метод многомерного текстурного анализа визуальных изображений. Этот метод отличается возможностью определения анизотропной составляющей в интерпретирующих данных, что может быть применимым для решения задач анализа изображений с Covid-19.

Идея шиарлет-преобразования основывается на разработанную теорию вейвлет-анализа. Так, параметрами шиарлет-преобразования являются не только смещение, но также и коэффициент масштабирования, но и сдвиг (shear) [13].

В представленной методике на основе основных алгоритмов шиарлет-преобразования решаются следующие вычислительные задачи: разделение точек и кривых на изображениях; выделение контуров; эффективная визуализация данных (контрастирование цветовым кодированием).

Далее, на основе представленного материала показано, что шиарлет-преобразование является эффективным вычислительным инструментом для анализа изменчивости внутренних геометрических черт исследуемых снимков [14]. На основе комплексного анализа визуальных данных формируется

представление о патологии и его характеристиках с последующим итоговым рентгенодиагностическим заключением для решения диагностических задач в динамике.

### **2.3 Применение рентгенологических методов исследования для диагностики заболеваний легких**

В амбулаторных и стационарных условиях основным методом для диагностики, подтверждения и оценки динамики Covid-19 (с учетом клинических и лабораторных данных) является компьютерная томография (КТ) органов грудной клетки в высоком разрешении (Приложение А).

За время работы в период пандемии наблюдается обширное распространение вирусной пневмонии, которая на первом этапе вызывала сложность в постановке рентгенологического заключения и дифференциальной диагностике. Потому что данная патология имеет не только ряд характерных изменений по типу «GGO» и специфическое расположение, но требует подтверждения клинико-лабораторными данными, все еще остается крайне вариабельной патологией.

В результате исследований показано, что КТ-паттерн не является строго специфичным. При дифференциальной диагностике необходимо отметить наиболее нехарактерные черты, которые могут встретиться. Не менее важен контроль КТ-картины в динамике и в корреляции со стадией заболевания.

Для выявления заболеваний грудной полости также применяется цифровая флюорография (скрининг-метод). Преимуществом работы на цифровой флюорографии является высокая информативность изображения, приближенная к обзорным рентгенографическими снимками. Это означает, что резко возрастает способность выявления патологии при массовом обследовании (раннему выявлению туберкулеза, онкологических заболеваний).

Высокая пропускная способность аппаратов в поликлиниках (за смену 70-90 человек) позволяет охватить большой процент пациентов. Возможность



архивирования и извлечения данных позволяет отслеживать динамику заболевания на протяжении многих лет. Быстрота исследования и пациент получает результат в течении 10-15 минут.

При исследовании органов грудной полости используются так же рентгеноскопия, рентгенография и специальные методы исследования – компьютерная томография. По данным научных публикаций участковые терапевты распознают пневмонии только в 12,7% случаев, а остальные 87,3% диагнозов пневмоний приходятся на рентгенологические исследования.

Обслуживая больных терапевтического отделения, приходится сталкиваться с трудностями диагностики пневмоний на фоне хронического обструктивного бронхита. В этом случае наиболее существенные клинические признаки пневмонии перекрываются симптомами хронического обструктивного бронхита. Диагноз у этих больных основывается исключительно на рентгенологических данных. В большинстве случаев рентгенологически имели место очаговые пневмонии. У некоторых больных с выраженной эмфиземой и пневмосклерозом пневмония выявлялась лишь при проведении компьютерной томографии.

Например, инфильтративные изменения в легких могут спровоцировать изменение объемов доли легкого, что необходимо дифференцировать с ателектазом на почве бронхостеноза (Приложение Б).

Наиболее часто встречающиеся вторичные пневмонии в клинической практике – это застойная пневмония, гипостатическая и реже инфаркт-пневмония на фоне тромбоэмболии лёгочной артерии, а также параканкротная пневмония.

Застойная пневмония возникает у больных с пороками сердца, поражением миокарда или нарушением сердечного ритма. На рентгенограммах легких отмечаются: понижение прозрачности легочных полей; фокусы затемнения размером до 2-3 см (при их слиянии образуются крупные инфильтраты); множественные узелковые тени в прикорневых отделах (Приложение Б). При этом тени корней расширены (однородная структура, с

нечеткими контурами). В плевральных полостях часто обнаруживается жидкость. Обратное развитие застойной пневмонии зависит от результатов лечения основного процесса. Рентгенологическая картина типичной инфарктной пневмонии – это вытянутая треугольная тень с вершиной к корню.

В дифференциальной диагностике ряда заболеваний легких особое значение имеет рентгенодиагностика рака легкого. Различают центральный, периферический, бронхо-пульмональный рак, отдельно выделяют рак Панкоста (Приложение Б).

Центральный рак предполагает рост опухоли в стенке крупного бронха (сегментарного, главного). По характеру роста центральный рак делится на эндобронхиальный, экзобронхиальный и перибронхиальный.

Центральный рак (Приложение Б) на начальных стадиях может выглядеть как локальный участок сужения просвета бронха с явлениями перибронхиальной инфильтрации. При запущенных стадиях сужение просвета бронха ведет к развитию сегментарной гиповентиляции. Затем развивается сегментарная эмфизема, а при полном прорастании стенок бронха и закрытии его просвета возникает ателектаз. В зоне бронхостеноза и гиповентиляции на рентгенограммах могут появляться сливные очаговые тени, вызванные лобулярными ателектазами и пневмонитом.

Периферический рак возникает в стенках бронхов четверного, пятого, шестого порядка и более мелких ветвей. Очаг до 1-2 см чаще дает картину полигональной тени, напоминающей звездчатый рубец. По мере увеличения опухолевая тень приобретает шаровидную форму. Контур тени нечеткие, бугристые. На компьютерных томограммах периферический рак в начальных стадиях (аденокарцинома *in situ*) характеризуется наличием локального участка снижения пневматизации по типу «матового стекла». Данные участки подлежат динамическому наблюдению. Метод компьютерной томографии дает возможность определить степень распространения опухоли по легочной ткани, состояние корня и средостения.

Верхушечный рак (Панкоста) характеризуется затемнением в области верхушки легкого. Нередко видно разрушение первого, второго, третьего ребер и поражения шейных позвонков. Канцероматоз легких рентгенологически проявляется картиной множества мелких, средних по размеру очагов на протяжении обоих легочных полей. На компьютерных томограммах данные изменения визуализируются как множественные участки снижения пневматизации по типу «матового стекла» с наличием на этом фоне утолщенных междольковых перегородок, что обусловлено лимфангитом.

Метод МСКТ является золотым стандартом для обследования органов грудной полости. МСКТ грудной полости – это одно из самых востребованных видов КТ для взрослых и детей. Процедура КТ легких дает представление не только о структуре легочной паренхимы и бронхиального дерева без артефактов и искажений от дыхания, но и позволяет поставить диагноз лечащему врачу, определиться со стадией заболевания и в некоторых случаях с активностью патологического процесса.

Наибольшую информацию о грудной полости и средостении дает КТ с контрастированием при исследовании образований, локализующихся в средостении, а также при различных врожденных аномалиях сердечно-сосудистой системы. Также как и говорилось ранее в разделе исследования органов грудной полости, этот метод, наиболее подходящий для исследования легких в условиях пандемии Covid-19, так как способен выявлять интратрехиальные изменения, не визуализируемые на рентгенограмме.

### **3. Результаты экспериментальные исследования: моделирование данных КТ**

С 20 по 35 страницы были изъяты в связи с авторскими правами

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследований получены следующие научные результаты:

1. Апробированы методы и алгоритмы компьютерной визуализации патологических изменений грудной полости, также с применением методов спектральной декомпозиции для анализа изображений в рентгеновском отделении на базе ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России.

2. Дополнена и расширена база рентгенологических и МСКТ-изображений с патологическими изменениями в легких, в частности, вирусной пневмонии, ассоциированной с Covid-19.

3. Проведено сопоставление и интерпретация патологических изменений в легких с определенным КТ-паттерном в рамках изучения феномена Covid-19, как нового патогенного агента пандемии.

4. На основе поставленных задач разработана вычислительная методика обработки, анализа и интерпретации КТ изображений в рамках технологии компьютерного зрения для выделения текстурных (морфологических) маркеров и повышения качества диагностики заболеваний органов дыхания.

5. На основе разработанной методики интерпретации получены новые результаты экспериментальных исследований особенностей патологии легких от Covid-19 в рамках технологии радиомики:

- наиболее точное определение границ инфицированной паренхимы с количественными характеристиками для каждого легкого в процентном соотношении;

- оценки и корреляции со стадией заболевания инфицированных зоны с дифференциацией изменений по плотностной составляющей с дальнейшим контролем динамики более плотных зон и формирования прогноза.

- применение методики шиаплет-преобразования в совокупности с интерпретацией результатов специалистом рентгенологом.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ИИ – искусственный интеллект;

CoV-2 – Covid-19;

КТ – компьютерная томография;

МРТ – магнитно-резонансная томография.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Искусственный интеллект – используется для обозначения приложений и алгоритмов, выполняющие сложные вычислительные процедуры обработки и анализа изображений;

Радиомика – это новое направление исследований, призванное на извлечение высококачественных данных из клинических изображений, получение реконструкций и выделение маркеров для оценки и создания моделей, которые будут перенесены в клиническую практику с целью прогнозирования, не инвазивного отслеживания заболеваний и оценки реакции заболевания на лечение;

«Матовое стекло» – это участки уплотнения легочной ткани, которые слабо пропускают рентгеновские лучи, за счет заполнения альвеол содержимым и утолщения интерстиция, с частичным сохранением воздушности;

Консолидация – уплотнение лёгочной ткани за счёт заполнения воздушных в норме альвеол содержимым (экссудатом, транссудатом, кровью, водой и т. д.), без сохранения воздушности и возможности визуализации легочного рисунка;

Ректикулярные изменения – изменения, связанные с вовлечением в процесс легочного интерстиция, его утолщение и деформация легочного рисунка.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hosny A., Parmar C., Quackenbush J., Schwartz L.H., Aerts H. JWL. Artificial intelligence in radiology // *Nat Rev Cancer*. 2018. V. 18(8). P. 500–510. doi: 10.1038/s41568-018-0016-5. PMID: 29777175; PMCID: PMC6268174.
2. Gillies R.J., Kinahan P.E., Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data // *Radiology*. 2016. V. 278. P. 563–577. doi: 10.1148/radiol.2015151169.
3. Lambin P., Leijenaar R.T.H., Deist T., et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine // *Nat Rev ClinOncol*. 2017. V. 14. P. 749–762. doi: 10.1038/nrclinonc.2017.141.
4. Rizzo S., Petrella F., Buscarino V., et al. CT radiogenomic characterization of EGFR, K-RAS, and ALK mutations in non-small cell lung cancer // *EurRadiol*. 2016. V. 26. P. 32–42. doi: 10.1007/s00330-015-3814-0.
5. Larue Ruben T.H.M., van Timmeren Janna E., de Jong Evelyn E.C., Feliciani Giacomo, Leijenaar Ralph T.H., Schreurs Wendy M.J., SosefMeindert N., Raat Frank H.P.J., van der Zande Frans H.R., Das Marco, van ElmpWouter, Lambin Philippe. Influence of gray level discretization on radiomic feature stability for different CT scanners, tube currents and slice thicknesses: a comprehensive phantom study // *Acta Oncologica*. 2017. V. 56 (11). P. 1544–1553. doi: 10.1080/0284186X.2017.1351624.
6. Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I.H. Textural features for image classification // *IEEE Trans Syst Man Cybern*. 1973. V. 3. P. 610-621. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
7. Galloway M.M. Texture analysis using gray level run lengths // *Comput. Graph. Image Process*. 1975. V. 4. P. 172–179. doi: 10.1016/S0146-664X(75)80008-6.
8. Ollers M., Bosmans G., van Baardwijk A, et al. The integration of PET–CT scans from different hospitals into radiotherapy treatment planning // *Radiother Oncol*. 2008. V. 87. P. 142–146. doi: 10.1016/j.radonc.2007.12.025.

9. Weston S., Frieman M. COVID-19: Knowns, Unknowns, and Questions. MB, 2020. mSphere5: e00203-20. <https://doi.org/10.1128/mSphere.00203-20>.
10. Прилуцкий А.С. Коронавирусная болезнь 2019. Часть 2: клиника, диагностика, лечение, профилактика // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2020. Т. 24 (1). С. 87–101.
11. Никифоров В.В., Суранова Т.Г., Миронов А.Ю., Забозлаев Ф.Г. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19): этиология, эпидемиология, клиника, диагностика, лечение и профилактика. – Москва, 2020. 48 с.
12. Xu Zh., et al. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome // Lancet Respir Med, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30076-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30076-X)
13. Кенц А.С., Симонов К.В., Хамад Ю.А. Визуализация и контрастирование медицинских изображений // Медицина и высокие технологии. 2019. № 4. С. 26–33.
14. Zotin A., Simonov K., Kapsargin F., Cherepanova T., Kruglyakov A.: Tissue germination evaluation on implants based on shearlet transform and color coding. In: Favorskaya, M.N., Jain, L.C. (eds) Computer Vision in Advanced Control Systems-5. ISRL, 2020. V. 175. P. 265–294. Springer, Cham.
15. Green O. Efficient scalable median filtering using histogram-based operations. // IEEE Transactions on Image Processing. 2018. V. 27 (5). P. 2217–2228.
16. Demirhan A., Törü M., Güler I. Segmentation of tumor and edema along with healthy tissues of brain using wavelets and neural networks // IEEE journal of biomedical and health informatics. 2015. Vol. 19(4). P. 1451–1458.
17. Lal S., Chandra M. Efficient algorithm for contrast enhancement of natural images // Int. Arab J. Inf. Technol. 2014. V. 11(1). P. 95–102.
18. Kumbhar U., Patil V., Rudrakshi S. Enhancement of Medical Images Using Image Processing In Matlab // International Journal of Engineering Research and Technology. 2013. V. 2. Issue 4. P. 2359–2364.
19. Suzuki K. Overview of deep learning in medical imaging // Radiological physics and technology. 2017. V. 10(3). P. 257–273.



20. Ng P-E, Ma K-K. A switching median filter with boundary discriminative noise detection for extremely corrupted images // *IEEE Trans Image Process.* 2006. V. 15(6). P. 1506–1516. DOI: 10.1109/TIP.2005.871129
21. Yue Y., Shi Z., & Zhang Z. Image edge detection algorithm based on shearlet // *J. Computer Application and Software.* 2014. V. 31(4). P. 227–230.
22. Hauser S. *Fast Finite Shearlet Transform: a Tutorial.* University of Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany, 2011.
23. Labate D., Lim W-Q, Kutyniok G., Weiss G. Sparse multidimensional representation using shearlets. // *Wavelets XI (San Diego CA 2005) / SPIE Proc 5914 SPIE.* Bellingham WA. 2005. P. 254–262.
24. Lim W.-Q. The discrete shearlet transform: a new directional transform and compactly supported shearlet frames // *IEEE Trans. Imag. Proc* 19. 2010. P. 1166–1180.
25. Liping S., Yuanmin F., Bingchuan L., Cheng A. Research on Edge Detection of Canny Operator // *Henan Science.* 2015. V. 11. P. 13–17.
26. Abdou I.E. Pratt W.K. Quantitative design and evaluation of enhancement/thresholding edge detectors // *Proceedings of the IEEE.* 1979. V. 67(5). P. 753–763.
27. Chen S., Hung P., Lin M., Huang C., Chen C., Wang T., Lee W. DWT-based segmentation method for coronary arteries // *J. Medical Systems.* 2014. V. 38(6). P. 551–558.
28. Yuan X., Wu L., Peng Q. An improved Otsu method using the weighted objectvariance for defect detection // *Applied Surface Science.* 2015. V. 349. P. 472–484.
29. Zotin A., Simonov K., Kapsargin F., Cherepanova T., Kruglyakov A., Cadena L. Techniques for medical images processing using shearlet transform and color coding. In: M.N. Favorskaya, Jain, L.C. 2018. V. 175. P. 265–294. Springer, Cham.
30. Nawa T., et al. Lung cancer screening using low-dose spiral CT: results of baseline and 1-year follow-up studies // *Chest.* 2002. V. 122 (1). P. 15-20.

31. Velavan T.P., Meyer C.G. The COVID-19 epidemic // *Tropical Medicine and International Health*. 2020. V. 25 (3). P. 278–280.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Кенц А.С., Хамад Ю.А., Симонов К.В., Кругляков А.С. Методика интерпретации патологических изменений легких с использованием компьютерной томографии легких для диагностики COVID-19 // Медицина и высокие технологии. – 2021. – № 1. – С. 14-23. *(перечень ВАК)*

2. Кенц А.С., Хамад Ю.А., Симонов К.В., Мацулев А.Н. Текстуальный анализ патологических изменений легких с использованием компьютерной томографии для диагностики COVID-19 // Медицина и высокие технологии. – 2021. – № 1. – С. 24-40. *(перечень ВАК)*

## ПРИЛОЖЕНИЕ А.

### Рентгенологическое исследование легких

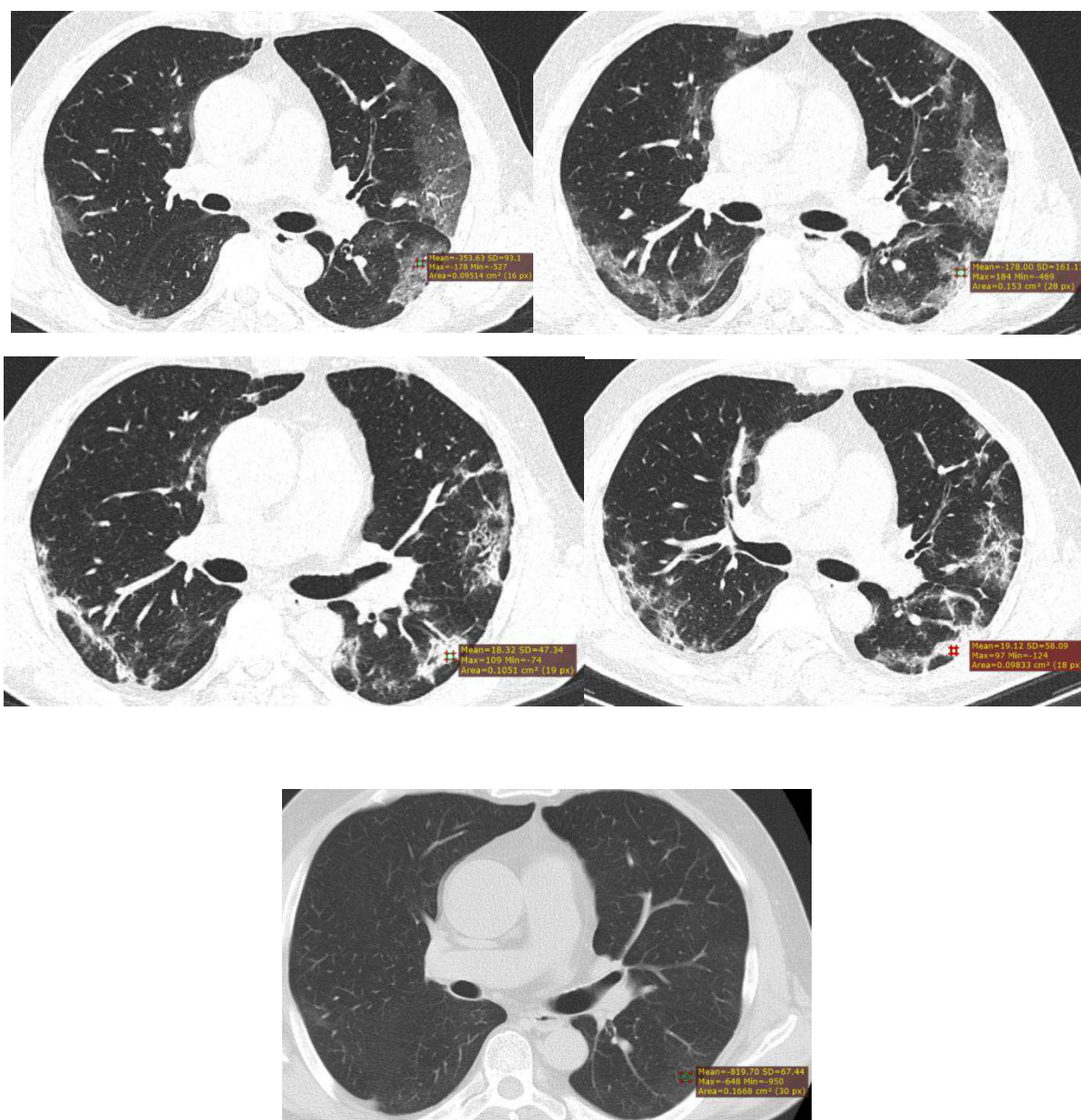


Рисунок А-1 Динамическое КТ-исследование легких пациента с подтвержденным Covid-19

На КТ изображениях в динамике отмечаются двухсторонние изменения по типу «GGO», консолидированные участки и утолщения интерстиция, ассоциированные с Covid-19.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

### Ряд патологические изменения, выявляемые с помощью рентгенологических исследований

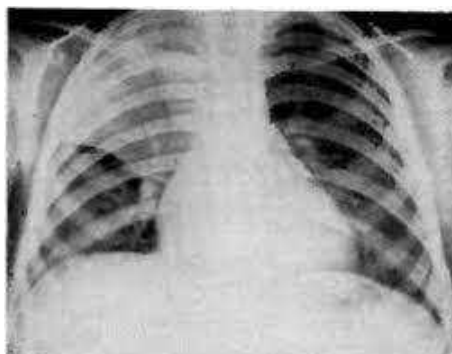


Рисунок Б-1 Рентгенограмма легких в прямой проекции. Отмечается клиновидная зона снижения пневматизации легочной ткани в правом гемитораксе.



Рисунок Б-2 Рентгенограмма легких в прямой проекции пациентки с расширением корней легких и цефализацией легочного рисунка.



Рисунок Б-3 Рентгенограмма легких в прямой проекции. В проекции верхушки правого легкого отмечается округлое образование, прилежащее широким основанием к плевре.



Рисунок. Б-4 Рентгенограмма легких в прямой проекции. В области корня левого легкого отмечается округлое образование, на фоне которой корень левого легкого не дифференцируется.


## **ПРИЛОЖЕНИЕ В.**

С 45 по 63 страницы были изъяты в связи с авторскими правами.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии  
Базовая кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В. А. Кратасюк

« 10 » 06 . 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Цифровая обработка и анализ рентгенограмм грудной полости в прямой  
проекции для повышения точности рентгенологической диагностики  
патологических изменений в лёгких

03.04.02 Физика

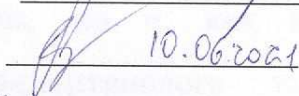
03.04.02.09 Технологическое сопровождение ядерной медицины  
и медицинского оборудования

Научный руководитель



д.т.н. К. В. Симонов

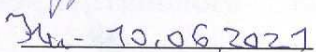
Выпускник

  
10.06.2021

10.06.2021

А. С. Кенц

Рецензент

  
10.06.2021

к.т.н. В. В. Ничепорчук

Красноярск 2021