

## Нейроны глубокого обучения в медицинском исследовании: революция в анализе изображений для прогнозирования и диагностики заболеваний

М. Э. Мабу

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6  
mrmabouhmoise@gmail.com

### Аннотация

Обширные исследования в области медицинских систем здравоохранения открывают перспективы внедрения инновационных ИТ-технологий. Эти инновации направлены на эффективное использование медицинских систем, включая автоматизированную диагностику здоровья. В сфере здравоохранения основное внимание уделяется прогнозированию рака, его различных форм и влияния на различные органы. Рак, который считается трудным для лечения, является одной из наиболее агрессивных форм, часто встречающейся на поздних стадиях, что затрудняет эффективное лечение. В свете этого медицинские исследования стремятся внедрить автоматизированные системы для определения стадий рака, позволяющие более точно диагностировать и лечить. Глубокое обучение становится ключевой областью, расширяющейся в область медицинской визуализации, автоматизации диагностических процессов с использованием таких технологий, как системы КТ/ПЭТ. Прогноз распространения рака осуществляется с использованием пороговых параметров в качестве маркеров. Направление исследований этой работы сосредоточено на области медицины, охватывающей прогноз различных форм рака. Обзор литературных источников включает в себя различные статьи, посвященные применению глубокого обучения в медицинском контексте, с особым упором на рак молочной железы. Обсуждаемые темы включают прогнозирование ответа на химиотерапию при тройном негативном раке молочной железы, автоматическое обнаружение метастазов в печени по КТ-изображениям, оценку ответа на иммунотерапию при раке легких и прогнозирование клинической пользы адъювантной химиотерапии при раке молочной железы с положительным по рецепторам гормонов.

**Ключевые слова:** скрининг рака молочной железы, глубокие сверточные нейронные сети, глубокое обучение, машинное обучение, маммография

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Мабу М. Э. Нейроны глубокого обучения в медицинском исследовании: революция в анализе изображений для прогнозирования и диагностики заболеваний // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2024. Т. 20, № 1. С. 175-181. <https://doi.org/10.25559/SITITO.020.202401.175-181>

© Мабу М. Э., 2024



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



## Deep Learning Neurons in Medical Insight: Revolutionizing Image Analysis for Disease Prediction and Diagnosis

**Moise Hermann Mabouh**

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation  
Address: 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russian Federation  
mrmabouhmoise@gmail.com

### Abstract

Extensive research in the field of medical health systems opens prospects for implementing IT systems with the latest innovations. These innovations focus on the efficient use of medical systems, including automated health diagnostics. In healthcare, the focus is on predicting cancer, its various forms and its effects on various organs. Considered difficult to treat, cancer is one of the most aggressive forms, often occurring in advanced stages, making effective treatment difficult. Considering this, medical research is seeking to implement automated systems to determine cancer stages, allowing for more accurate diagnosis and treatment. Deep learning is becoming a key area, expanding into medical imaging, automating diagnostic processes using technologies such as CT/PET systems. Prediction of cancer spread is carried out using threshold parameters as markers. The research direction of this dissertation focuses on the area of medicine covering the prognosis of various forms of cancer. The literature review includes various articles focusing on the application of deep learning in a medical context, with a special focus on breast cancer. Topics discussed include predicting response to chemotherapy in triple-negative breast cancer, automated detection of liver metastases from CT images, assessing response to immunotherapy in lung cancer, and predicting the clinical benefit of adjuvant chemotherapy in hormone receptor-positive breast cancer.

**Keywords:** Breast cancer screening, deep convolutional neural networks, deep learning, machine learning, mammography

**Conflict of interests:** The author declares no conflict of interests.

**For citation:** Moise Hermann Mabouh. Deep Learning Neurons in Medical Insight: Revolutionizing Image Analysis for Disease Prediction and Diagnosis. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2024;20(1):175-181. <https://doi.org/10.25559/SITITO.020.202401.175-181>



## Введение

Быстрое развитие медицинских технологий открыло новые перспективы, совершив революцию в том, как системы здравоохранения внедряют инновации в области вычислений. В основе этой революции прогнозирование онкологических заболеваний, которое стало важнейшей областью исследований. Среди сложных форм рака выделяется рак поджелудочной железы благодаря своей коварной природе и зачастую мрачному прогнозу.

В данном обзоре рассматриваются недавние исследовательские усилия, в которых используются достижения в области искусственного интеллекта с упором на глубокое обучение, чтобы предугадать потенциальные преимущества адъювантной химиотерапии у пациентов с раком молочной железы, положительный по гормональным рецепторам. Изучая различные исследования, мы проясним значительный прогресс в применении глубокого обучения к анализу гистологических изображений, что позволит более точно прогнозировать риски рецидива и выявлять пациентов, которым может быть полезна адъювантная химиотерапия [1-9].

Представленный вводный обзор закладывает основу для углубленного изучения последних исследований и закладывает основу для детального анализа избранных статей. Рассмотрим, как эти исследования используют технологические достижения для изменения нашего подхода к диагностике и лечению рака, подчеркивая клинические последствия и будущие перспективы в области прогнозирования рака. Распознавание изображений CNN и нейронных сетей является основным компонентом глубокого обучения для компьютерного зрения, которое имеет множество приложений, включая электронную коммерцию, игры, автомобилестроение, производство и образование [10-12].

## Сверточные нейронные сети и их роль в распознавании изображений

В отличие от полностью связанной нейронной сети, в сверточной нейронной сети (CNN) нейроны одного слоя не соединяются со всеми нейронами следующего слоя. Скорее сверточная нейронная сеть использует трехмерную структуру, где каждый набор нейронов анализирует определенную область или «особенность» изображения. CNN фильтрует соединения по близости (пиксели анализируются только по отношению к пикселям поблизости), что делает процесс обучения доступным с помощью вычислений. В CNN каждая группа нейронов фокусируется на одной части изображения. Например, на изображении кошки одна группа нейронов может идентифицировать голову, другая – тело, третья – хвост и т.д. Может быть несколько этапов сегментации, на которых распознавание изображений нейронной сети алгоритм анализирует в меньшей части изображений, например, в голове, кошачьем носу, ушах, ушах и т.д. Конечным результатом является вектор вероятностей, который предсказывает для каждой особенности изображения, насколько вероятно, что она принадлежит к классу или категории.

## Обзор литературы

Хиба Асри и соавторы [13] провели обсуждение различных алгоритмов машинного обучения, приходя к выводу, что метод опорных векторов (SVM) является наилучшим для классификации данных, связанных с раком молочной железы Висконсин (исходные данные). Их исследование включало сравнительный анализ эффективности четырех различных алгоритмов машинного обучения: K-Nearest Neighbor, Naïve Bayes и C4.5. Результаты указывают на превосходство SVM с точностью до 97,13% и более низким уровнем ошибок при предсказании рака груди.

Этот вывод подчеркивает, что SVM является оптимальным выбором для классификации данных, связанных с онкологическими заболеваниями, в частности с раком молочной железы. Полученные результаты предоставляют точные и надежные прогнозы, что стимулирует развитие интеллектуального анализа данных в области медицины в целом и специально для раннего выявления рака молочной железы. Этот прогресс является значимым в контексте улучшения диагностики и лечения раковых заболеваний.

Риккардо Миотто [14-17] в работе о новой предустановленной медицинской системе, которая называется «Глубокий пациент», подразумевая имя пациента, предлагают вашему вниманию медицинскую карту и ее настройки, которые используются врачом и предварительно запрограммированы перед ее активацией. Программы планирования могут помочь найти нужные темы или приложения для пациентов, тип подключения и параметры, обнаруженные при диагностике, особенно для больных сахарным диабетом.

Преимущество этого приложения в том, что оно значительно повышает производительность, превосходя другие модели обучения. «Глубокий пациент» основан на модели обучения под названием Stacked Denoising Autoencoders (SDA). Автоэнкодер – это тип нейронной сети, используемый для изучения компактного представления данных путем их сжатия в скрытые слои, а затем попытки восстановить данные из этого представления. Deep Patient обещает решить проблемы моделирования EHR, открывая путь к более эффективным прогностическим клиническим системам и персонализированной медицине. Его преимущества включают неконтролируемый характер, универсальность и улучшенную производительность по сравнению с существующими методами.

Дан Чирешан предлагает решение задачи обнаружения митозов на гистологических изображениях рака молочной железы с помощью глубоких нейронных сетей. Митоз – ключевой клеточный процесс для понимания характеристик и поведения рака. Авторы предлагают метод, основанный на глубоком обучении, для автоматического обнаружения митозов, используя преимущества глубоких нейронных сетей в сложном анализе изображений «точное обнаружение митозов на гистологических изображениях представляет собой важную задачу характеристики рака и способствует улучшению понимания и лечению этого заболевания» [18].

Герман Корредори [19] в своем исследовании предлагает простую схему автоматического обнаружения лимфоцитов на изображениях рака легких. Метод начинается с автоматической сегментации ядра с использованием инновационного



подхода. Форма, текстура и цвет ядер затем используются для классификации каждого ядра-кандидата на лимфоциты или нелимфоциты с использованием обученного классификатора SVM. Метод был проверен на наборе данных, содержащем 3420 аннотированных структур на изображениях рака легких. Результаты показывают, что в представленной структуре результат на 30% выше по сравнению с подходом глубокого обучения, с дополнительным преимуществом в виде большей гибкости, снижения потребления вычислительной энергии и значительно более короткого времени обучения.

В работе автора подчеркивается важность автоматического обнаружения лимфоцитов для оценки степени инфильтрации опухоли. Выделяются ограничения подходов, основанные на глубоком обучении, из-за их требований к аппаратному обеспечению и размеченным данным. В то время как предложенная методика предоставляет простую, но эффективную альтернативу с существенно лучшими характеристиками производительности [19].

Автоматическое обнаружение лимфоцитов может способствовать разработке инструментов прогнозирования рака на основе изображений. Этот подход можно распространить и на другие медицинские задачи, подчеркнув, что нейронные сети могут быть полезны, но не всегда необходимы для достижения успешных результатов. Несмотря на перспективность метода, планируются улучшения, такие как, включение значений лабораторных испытаний для более полного представления о пациентах. Будущие работы также могут исследовать применение полученного представления в других клинических задачах и оценить методологию на хранилищах данных EHR других учреждений для укрепления и расширения результатов.

Кшиштоф Герас в своем исследовании предлагает многоразовую глубокую сверточную нейронную сеть (MV-DCN) для обработки медицинских изображений высокого разрешения, особенно в контексте скрининга рака молочной железы на основе маммографии (прогнозирование BI-RADS). Оценка включает набор данных из 886 437 изображений из 201 698 скрининговых маммографических исследований. Исследуется влияние размера обучающего набора и разрешения изображения на точность прогнозирования. Результаты показывают, что производительность улучшается с увеличением размера обучающего набора, что подчеркивает важность использования большего количества данных. Кроме того, наилучшие характеристики достигаются при использовании исходного разрешения, что подчеркивает важность сохранения мелких деталей при медицинской визуализации. Авторы обращают внимание на ограничения применения существующих архитектур глубоких сверточных нейронных сетей (DCN), разработанных для естественных изображений, к медицинским изображениям, особенно при скрининге рака молочной железы. Они подчеркивают необходимость получения мелких деталей в медицинских изображениях и предлагают многоразовую систему DCN (MV-DCN), способную обрабатывать медицинские изображения высокого разрешения [20].

MV-DCN обрабатывает набор представлений, типичных для медицинской визуализации, и прогнозирует оценку рентгенолога, классифицируя пример по категориям BI-RADS. Сеть обучена на крупномасштабном наборе данных скрининговых маммографических исследований. Различные методы регуля-

ризации, такие как увеличение и исключение данных, используются для предотвращения переобучения из-за относительно небольшого размера набора обучающих данных.

В работе Каушик Секаран [21] предлагает новый метод прогнозирования рака поджелудочной железы с использованием модели глубокой сверточной нейронной сети (CNN) в сочетании с моделью гауссовой смеси (GMM) и алгоритмом максимизации ожидания (EM). Экспериментальные результаты на наборе данных из 19 000 изображений компьютерной томографии (КТ) показывают значительное уменьшение размера опухолей поджелудочной железы после диагностики и лечения. Значимость данного исследования заключается в следующих моментах:

- Автоматизация обнаружения. Использование CNN позволяет автоматически обнаруживать проблемные области на компьютерных изображениях, обеспечивая быстрый и эффективный способ диагностики рака поджелудочной железы.
- Интеграция искусственного интеллекта. Интеграция глубокого обучения в медицинскую сферу, в частности для раннего выявления рака, представляет собой значительный прогресс. Это позволяет быстрее и точнее анализировать медицинские изображения.
- Комбинация моделей. Использование модели GMM с ЭМ позволяет эффективно извлекать важные характеристики из изображений КТ, тем самым улучшая способность CNN выявлять области, пораженные раком.
- Многообещающие результаты: результаты эксперимента указывают на уменьшение размеров опухолей после лечения, демонстрируя эффективность предлагаемого подхода.

Клинические последствия. Раннее и точное выявление рака поджелудочной железы может оказать существенное влияние на варианты лечения и шансы пациентов на излечение, подчеркивая клиническую важность полученных результатов. Таким образом, это исследование предлагает инновационный и многообещающий метод прогнозирования рака поджелудочной железы, подчеркивая автоматизацию, искусственный интеллект и положительные результаты, демонстрирующие потенциал данного подхода в области медицины.

Исследование Филиппа Изола имеет большую значимость в области использования нейронных сетей для распознавания медицинских изображений [22]. Принимая новаторский подход, работа подчеркивает эффективность циклической генеративной антагонистической сети с механизмом внимания (A-CycleGAN), усиленной вариационным автоэнкодером (VAE), в задаче перевода изображений магнитно-резонансной томографии (МРТ) в КТ.

- Повышение точности и качества: использование A-CycleGAN значительно улучшает точность перевода медицинских изображений. Полученные результаты демонстрируют превосходство по сравнению с традиционными методами, такими как U-Net, генеративная антагонистическая сеть (GAN) и циклическая GAN.
- Влияние на планирование лечения: улучшение перевода изображений МРТ в КТ имеет прямое воздействие на планирование лучевой терапии. Облегчая использование исключительно МРТ для планирования, данная методи-



ка снижает необходимость в дополнительных обследованиях, тем самым уменьшая нагрузку на пациентов.

- Снижение клинических ошибок: способность A-CycleGAN генерировать реалистичные изображения КТ способствует снижению клинических ошибок, связанных с пространственной деформацией между наборами изображений МРТ и КТ. Это особенно важно для современных методов лечения, зависящих от точного определения анатомических структур.
- Влияние на слияние диагностических изображений – это открытие раскрывает перспективы для слияния диагностических изображений, обеспечивая более плавную интеграцию информации из различных модальностей, что может быть ключевым для более полного и точного диагностирования.
- Перспективное использование нейронов: интегрируя внимательные механизмы и вариационные автоэнкодеры, исследование подчеркивает важность использования нейронов в дискриминации и генерации изображений. Этот подход обеспечивает лучшее понимание конкретных анатомических структур, укрепляя способность нейронных сетей обрабатывать сложные данные.

Данное исследование вносит большой вклад в развитие нейронных приложений в медицинской сфере, открывая путь к существенным улучшениям в распознавании и переводе медицинских изображений с прямым воздействием на клиническое и диагностическое управление.

Хунмин Ли основное внимание уделяет колоректальному раку, серьезной проблеме общественного здравоохранения, являющейся третьей по значимости причиной смертности от рака в США [23, 24]. При местно-распространенном раке прямой кишки стандартное лечение включает неoadъювантную химиолучевую терапию с последующим тотальным мезоректальным иссечением. Однако вариабельность реакции опухоли на это лечение подчеркивает необходимость в более точных моделях прогнозирования для принятия терапевтических решений.

- Постановка проблемы и цель исследования. В статье подчеркиваются ограничения современных прогностических моделей, основанных на клинических факторах, таких как стадия опухоли, узловая стадия и уровень гемоглобина. Основная проблема заключается в том, что эти модели не всегда достоверно прогнозируют индивидуальный риск каждого пациента. Чтобы устранить эти ограничения, исследователи обращаются к радиомике — подходу, который извлекает особенности визуализации для прогнозирования результатов лечения. Кроме того, в статье конкретно исследуется использование методов глубокого обучения, в частности сверточных нейронных сетей (CNN).
- Радиомика и глубокое обучение. Радиомика становится многообещающим методом, использующим множество функций, извлеченных из медицинских изображений, таких как гистограмма интенсивности, форма и текстура опухоли. Однако большинство радиомикетических исследований полагаются на заранее определенные функции, требующие выбора функций и методов уменьшения размерности. В статье подчеркивается, что методы глубокого обучения, особенно CNN,

показали многообещающую эффективность за счет автономного изучения информативных функций на основе данных изображений, устраняя необходимость в заранее определенных функциях.

- Проверка и результаты. Предлагаемый метод основан на использовании CNN для извлечения информативных особенностей изображения для оптимизации модели пропорциональных рисков. Выбор CNN обеспечивает иерархическое представление функций, позволяя фиксировать сложные взаимосвязи между данными изображений и информацией о выживании. Чтобы преодолеть проблему различий в размерах опухолей у разных пациентов, исследователи внедрили стратегию объединения пространственных пирамид, обеспечивающую гибкость в работе с опухолями разных размеров.
- Заключение. В статье проверяется предлагаемый метод с использованием как смоделированных наборов данных, так и реальных данных пациентов с раком прямой кишки. Этот метод превосходит существующие модели, основанные на заранее определенных радиомических характеристиках, демонстрируя конкурентоспособную эффективность по сравнению с моделями пропорциональных рисков Кокса и случайными лесами выживания. Результаты показывают, что подход глубокого обучения может обеспечить лучшую производительность прогнозирования в контексте анализа выживаемости, тем самым открывая интересные перспективы для клинического применения.

В статье делается вывод о перспективности разработанного метода, подчеркивая его гибкость для настройки гиперпараметров модели и интеграции данных, не относящихся к изображениям. Такая гибкость открывает многообещающие перспективы для постоянного совершенствования и потенциального расширения метода, открывая путь для более широкого клинического применения в прогнозировании результатов лечения пациентов с раком прямой кишки.

Су Юн Чо [25] обсуждает разработку инструмента анализа изображений на основе глубокого обучения под названием Lunit SCOPE для прогнозирования преимуществ адъювантной химиотерапии (ACTx) у пациентов с раком молочной железы с положительным по рецепторам гормонов. В исследовании для обучения алгоритма использовались слайды с гематоксилином и эозином (HE) от 1343 пациентов с раком молочной железы. Компания Lunit SCOPE была обучена прогнозировать риск рецидива с использованием анализа 21 гена (Oncotype DX) и гистологических параметров.

Основные выводы и результаты включают в себя:

- Разработка модели. Алгоритм Lunit SCOPE был обучен прогнозировать оценку Oncotype DX и выживаемость рецидивов. Наиболее важной прогностической переменной были митотические клетки ракового эпителия.
- Прогнозирование риска. Модель прогнозирования риска успешно предсказала баллы Oncotype DX выше 25, а также выживаемость рецидивов в когорте проверки прогноза и когорте TCGA.
- Клиническая проверка. В когорте проверки у пациентов из группы высокого риска, как и предсказывалось моделью, выживаемость была значительно ниже по



сравнению с группой низкого риска. Прогнозируемый риск был важным фактором в многомерных моделях пропорциональных рисков Кокса.

- Корреляция с генами. Прогнозируемый риск положительно коррелировал с генами, связанными с пролиферацией, и отрицательно коррелировал с прогностическими генами из категории эстрогенов. Это говорит о том, что модель отражает важные молекулярные особенности, связанные с рецидивом рака.
- Внешняя проверка: модель была проверена извне с использованием когорты рака молочной железы TCGA, которая показала хорошие показатели выживаемости в группе высокого риска.
- Анализ функционального обогащения. Прогнозируемый риск был связан с путями, участвующими в клеточном цикле и ядерном делении, что указывает на высокий риск рецидива.

Исследователи пришли к выводу, что Lunit SCOPE может прогнозировать раннюю стадию рака молочной железы с положительным гормональным рецептором у пациентов с высоким риском рецидива, а также у тех, кому будет полезна адъювантная химиотерапия. Интеграция гистологических параметров и анализа глубокого обучения обеспечивает потенциальную альтернативу профилированию экспрессии генов для оценки риска у пациентов с раком молочной железы.

Важно отметить, что результаты являются многообещающими, когда исследование имеет ограничения, такие как ретроспективный характер анализа и необходимость дальнейших проспективных клинических испытаний для проверки. Кроме того, на эффективность модели могут влиять такие факторы,

как возраст, и исследование признает необходимость хорошо спланированного проспективного клинического исследования для устранения этих ограничений.

## Заключение

Данный обзор подчеркивает перспективное использование нейронов глубокого обучения в медицинской сфере, с основным вниманием к прогнозированию выгоды от адъювантной химиотерапии у пациенток с гормоночувствительным раком молочной железы. Значительные успехи в области анализа гистологических изображений с использованием искусственного интеллекта предлагают новый и более точный взгляд на предсказание рисков рецидива и выявление пациенток, которые могут получить выгоду от адъювантной химиотерапии. Инновационное использование нейронов глубокого обучения оказывается ключевым фактором в трансформации диагностики и лечения рака. Эти технологические достижения не просто представляют собой средства анализа, а являются настоящей революцией в персонализации медицинской помощи, открывая путь к более целенаправленному и эффективному подходу. В то время, когда мы имеем текущие успехи, важно осознавать предстоящие вызовы, такие как, необходимость больших и разнообразных данных для улучшения обобщения моделей, а также тщательная клиническая валидация для обеспечения надежности прогнозов. Несмотря на эти трудности, будущее выглядит многообещающим, с существенными клиническими перспективами и реальным потенциалом улучшить результаты пациенток с раком молочной железы благодаря более интеллектуальному и индивидуализированному подходу.

## References

- [1] Ashokkumar S., Kumar S.M., Rajaraman R., Sugumaran D., Saranya N.N. Comparative Analysis of Deep Learning Algorithms for Image Recognition in Medical Imaging. In: 2024 Second International Conference on Advances in Information Technology (ICAIT). Chikkamagaluru, Karnataka, India: IEEE Press; 2024. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICAIT61638.2024.10690528>
- [2] Cui S., Lee D., Wen D. Toward brain-inspired foundation model for EEG signal processing: our opinion. *Frontiers in Neuroscience*. 2024;18:1507654. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1507654>
- [3] Premkumar M., Chawla Y. Hepatocellular Carcinoma: Molecular Diagnosis and Perspectives for Therapy. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*. 2024;14(6):102413. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2024.102413>
- [4] Panwar P., Bangwal S., Pasbola U., Kumar A., Sar A., Choudhury T. Diagnosis and Prediction of Skin Diseases Using Deep Learning for Rural Healthcare. In: 2024 1st International Conference on Innovative Sustainable Technologies for Energy, Mechatronics, and Smart Systems (ISTEMS). Dehradun, India: IEEE Press; 2024. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ISTEMS60181.2024.10560209>
- [5] Qian K., Suarez G.O., Nambara T., Kanekiyo T., Zhang Y.J. High-throughput digital twin framework for predicting neurite deterioration using MetaFormer attention. *arXiv:2501.08334v1*. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.08334>
- [6] Dudek K.A., et al. Astrocytic Cannabinoid Receptor 1 Promotes Resilience by Dampening Stress-Induced Blood-Brain Barrier Alterations and Inflammation. *Biological Psychiatry*. 2024;95(10):S2. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2024.02.012>
- [7] Mangalampalli S., Karri G.R., Shaw A. Exploring AI's Role in Managing Neurodegenerative Disorders: Possibilities and Hurdles. In: Gaur L., Abraham A., Ajith R. (eds.) AI and Neuro-Degenerative Diseases. *Studies in Computational Intelligence*. Vol. 1131. Cham: Springer; 2024. p. 105-131. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-53148-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-53148-4_7)
- [8] Raju G., Karnati M., Kistenev Y.V., Mazumder N. Two Photon Fluorescence Integrated Machine Learning for Data Analysis and Interpretation. In: Gogoi A., Mazumder N. (eds.) Biomedical Imaging. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering. Singapore: Springer; 2024. p. 195-208. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-5345-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-97-5345-1_8)
- [9] Sujatha E., Subiksha M. Predictive Precision: A Comparative Study of ML in Alzheimer's Diagnosis. In: 2024 1st International Conference on Trends in Engineering Systems and Technologies (ICTEST). Kochi, India: IEEE Press; 2024. p. 01-05. <https://doi.org/10.1109/ICTEST60614.2024.10576101>
- [10] Pulumati A., et al. Technological advancements in cancer diagnostics: Improvements and limitations. *Cancer Reports*. 2023;6(2):e1764. <https://doi.org/10.1002/cnr.2.1764>



- [11] Passaro A., et al. Cancer biomarkers: Emerging trends and clinical implications for personalized treatment. *Cell*. 2024;187(7):1617-1635. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.02.041>
- [12] Sufyan M., Shokat Z., Ashfaq U.A. Artificial intelligence in cancer diagnosis and therapy: Current status and future perspective. *Computers in Biology and Medicine*. 2023;165:107356. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2023.107356>
- [13] Asri H., Mousannif H., Moatassime H.A., Noël T. Using Machine Learning Algorithms for Breast Cancer Risk Prediction and Diagnosis. *Procedia Computer Science*. 2016;83:1064-1069. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.224>
- [14] Miotto R., Li L., Dudley J.T. Deep Learning to Predict Patient Future Diseases from the Electronic Health Records. In: Ferro N., et al. Advances in Information Retrieval. ECIR 2016. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 9626. Cham: Springer; 2016. p. 768-774. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-30671-1\\_66](https://doi.org/10.1007/978-3-319-30671-1_66)
- [15] Bridge C.P., et al. Fully-Automated Analysis of Body Composition from CT in Cancer Patients Using Convolutional Neural Networks. In: Stoyanov D., et al. OR 2.0 Context-Aware Operating Theaters, Computer Assisted Robotic Endoscopy, Clinical Image-Based Procedures, and Skin Image Analysis. CARE CLIP OR 2.0 ISIC 2018 2018 2018 2018. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 11041. Cham: Springer; 2018. p. 204-213. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01201-4\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01201-4_22)
- [16] Glicksberg B.S., Miotto R., Johnson K.W., Shameer K., Li L., Chen R., Dudley J.T. Automated disease cohort selection using word embeddings from Electronic Health Records. *Pacific Symposium on Biocomputing 2018*. In: Proceedings of the Pacific Symposium. 2018;145-156. [https://doi.org/10.1142/9789813235533\\_0014](https://doi.org/10.1142/9789813235533_0014)
- [17] Hussein S., Kandel P., Bolan C.W., Wallace M.B., Bagci U. Lung and Pancreatic Tumor Characterization in the Deep Learning Era: Novel Supervised and Unsupervised Learning Approaches. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2019;38(8):1777-1787. <https://doi.org/10.1109/TMI.2019.2894349>
- [18] Cireşan D.C., Giusti A., Gambardella L.M., Schmidhuber J. Mitosis Detection in Breast Cancer Histology Images with Deep Neural Networks. In: Mori K., Sakuma I., Sato Y., Barillot C., Navab N. (eds.) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2013. MICCAI 2013. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 8150. Berlin, Heidelberg: Springer; 2013. p. 411-418. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-40763-5\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40763-5_51)
- [19] Corredor G., Wang X., Lu C., Velcheti V., Romero E., Madabhushi A. A watershed and feature-based approach for automated detection of lymphocytes on lung cancer images. *Proc. SPIE 10581, Medical Imaging 2018: Digital Pathology*. 2018;105810R. <https://doi.org/10.1117/12.2293147>
- [20] Geras K.J., Wolfson S., Shen Y., Wu N., Kim S.G., Kim E., Heacock L., Parikh U., Moy L., Cho K. High-Resolution Breast Cancer Screening with Multi-View Deep Convolutional Neural Networks. *arXiv.1703.07047v3*. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.07047>
- [21] Sekaran K., Chandana P., Krishna N.M., Kadry S. Deep learning convolutional neural network (CNN) With Gaussian mixture model for predicting pancreatic cancer. *Multimedia Tools and Applications*. 2020;79(15-16):10233-10247. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7419-5>
- [22] Isola P., Zhu J.-Y., Zhou T., Efros A.A. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. In: 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Honolulu, HI, USA: IEEE Press; 2017. p. 5967-5976. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.632>
- [23] Li H., et al. Deep Convolutional Neural Networks For Imaging Data Based Survival Analysis Of Rectal Cancer. In: 2019 IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2019). Venice, Italy: IEEE Press; 2019. p. 846-849. <https://doi.org/10.1109/ISBI.2019.8759301>
- [24] Li H., et al. Deep Convolutional Neural Networks for Imaging Based Survival Analysis of Rectal Cancer Patients. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 2017;99(2):S183. Available at: [https://www.redjournal.org/article/S0360-3016\(17\)31510-9/fulltext](https://www.redjournal.org/article/S0360-3016(17)31510-9/fulltext) (accessed 09.11.2023).
- [25] Cho S.Y., Lee J.H., Ryu J.M., et al. Deep learning from HE slides predicts the clinical benefit from adjuvant chemotherapy in hormone receptor-positive breast cancer patients. *Scientific Reports*. 2021;11:17363. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96855-x>

Поступила 09.11.2023; одобрена после рецензирования 11.01.2024; принята к публикации 26.02.2024.

Submitted 09.11.2023; approved after reviewing 11.01.2024; accepted for publication 26.02.2024.

#### Об авторе:

**Мабу Моисе Эрманн**, аспирант кафедры математического моделирования и искусственного интеллекта факультета физико-математических и естественных наук, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-0188>, mrmabouhmoise@gmail.com

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

#### About the author:

**Moise Hermann Mabouh**, Postgraduate Student of the Department of Mathematical Modeling and Artificial Intelligence, Faculty of Science, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-0188>, mrmabouhmoise@gmail.com

The author has read and approved the final manuscript.

