

**БЕРЕЗОВСКИЙ В.В.,**

к.ф.-м.н., САФУ, г. Архангельск, Россия; e-mail: v.berezovsky@narfu.ru

**ВЫГОВСКАЯ Н.В.,**

БРУ, г. Могилев, Республика Беларусь; САФУ, г. Архангельск, Россия; e-mail: vygovskaya-natalya@mail.ru

**МИЛЕВСКИЙ Р.В.,**

БРУ, г. Могилев, Республика Беларусь; e-mail: palka1503@gmail.com

**ПАШКЕВИЧ М.В.,**

БРУ, г. Могилев, Республика Беларусь; e-mail: mihal275@mail.ru

## ПРОТОТИП СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОЗВОНОЧНИКА С ИНТЕГРАЦИЕЙ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ И ТЕЛЕГРАМ-БОТА

DOI: 10. 25881/18110193\_2025\_4\_56

**Аннотация.** Актуальность. Заболевания позвоночника в различной форме наблюдаются у значительного числа людей разного возраста. Повышение точности диагностики заболеваний позвоночника с применением медицинских систем (МС) с искусственным интеллектом (ИИ) позволяет своевременно начать лечение, предотвращая серьёзные осложнения.

Цель исследования. Обоснование разработки и применения новых сервисов с ИИ для диагностики заболеваний позвоночника. Анализ показателей точности диагностики заболеваний сервисами ИИ. Разработка удобной для врача МС ИИ для автоматического анализа рентгеновских снимков позвоночника. Определение условий повышения заинтересованности медиков в сервисах ИИ.

Материалы и методы. Для реализации исследования был проведён предварительный анализ показателей точности существующих сервисов ИИ для диагностики заболеваний и возможностей повышения точности за счёт продуманного выбора нейросетевых моделей (НСМ). Описан процесс создания программного комплекса на основе нейросетей для классификации и выявления патологий на основе рентгеновских снимков позвоночника. Представлены разработанные пользовательские интерфейсы веб-приложения и телеграм-бота, обеспечивающего быстрый доступ к результатам диагностики с помощью мобильных устройств.

Результаты. Определены ориентиры для показателей точности диагностики заболеваний позвоночника. Для первого этапа разработки и обучения НСМ для диагностики заболеваний позвоночника был использован датасет, представленный на ресурсе Kaggle.com. Разработанная НСМ была интегрирована в веб-приложение и телеграм-бота для предоставления автоматизированных диагностических решений. Показаны возможные условия для повышения заинтересованности медиков в ИИ-сервисах.

Заключение. Разработанный прототип МС ИИ обеспечивает заданную точность при диагностике сколиоза и спондилолистеза по рентгеновским снимкам тестового варианта датасета и может быть использован для анализа размеченных и подготовленных снимков, предоставленных в медицинских учреждениях. Полученные результаты открывают возможности для развития и улучшения разработанной системы.

**Ключевые слова:** сколиоз, спондилолистез, рентгеновские снимки, датасет, нейросетевые модели, пользовательские интерфейсы.

**Для цитирования:** Березовский В.В., Выговская Н.В., Милевский Р.В., Пашкевич М.В. Прототип системы искусственного интеллекта для диагностики заболеваний позвоночника с интеграцией в веб-приложение и телеграм-бота. Врач и информационные технологии. 2025; 4: 56-71. DOI: 10. 25881/18110193\_2025\_4\_56.

**BEREZOVSKY V.V.,**

PhD, NArFU, Arkhangelsk, Russia; e-mail: v.berezovsky@narfu.ru

**VYGOVSKAYA N.V.,**

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus; NArFU, Arkhangelsk, Russia;  
e-mail: vygovskaya-natalya@mail.ru

**MILEVSKY R.V.,**

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus; e-mail: palka1503@gmail.com

**PASHKEVICH M.V.,**

Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus; e-mail: mihal275@mail.ru

## PROTOTYPE OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM FOR SPINAL DISEASES DIAGNOSTICS WITH INTEGRATION INTO A WEB APPLICATION AND A TELEGRAM BOT

DOI: 10. 25881/18110193\_2025\_4\_56

**Abstract.** *Background. Spinal disorders are observed in a significant number of people of different ages. Improving the accuracy of diagnosing spinal disorders using medical artificial intelligence systems (MAIS) enables timely treatment initiation, preventing serious complications.*

*Research Objective. Rationale for the development and application of new AI services for the diagnosis of spinal diseases. Analysis of the diagnostic accuracy of AI services. Development of a physician-friendly AI system for the automatic analysis of spinal X-rays. Identification of conditions for increasing physician interest in AI services.*

*Materials and Methods. To implement the study, a preliminary analysis of the accuracy of existing AI services for disease diagnosis and the potential for improving accuracy through the careful selection of neural network models (NNMs) was conducted. The process of creating a neural network-based software system for classifying and identifying pathologies based on spinal X-rays is described. The developed user interfaces for a web application and a Telegram bot providing quick access to diagnostic results using mobile devices are presented.*

*Results. Benchmarks for the accuracy of spinal disease diagnostics were determined. A dataset available on Kaggle.com was used for the first stage of developing and training a neural network for spinal disease diagnostics. The developed NNM was integrated into a web application and Telegram bot to provide automated diagnostic solutions. Potential conditions for increasing physician interest in AI services are demonstrated.*

*Conclusion. The developed MAIS prototype ensures the specified accuracy in diagnosing scoliosis and spondylosis using X-ray images from the test dataset and can be used to analyze labeled and prepared images provided by medical institutions. The results open up opportunities for further development and improvement of the developed system.*

**Keywords:** *scoliosis, spondylolisthesis, X-rays, dataset, neural network models, user interfaces.*

**For citation:** *Berezovsky V.V., Vygovskaya N.V., Milevsky R.V., Pashkevich M.V. Prototype of an artificial intelligence system for spinal diseases diagnostics with integration into a web application and a telegram bot. Medical doctor and information technology. 2025; 4: 56-71. DOI: 10. 25881/18110193\_2025\_4\_56.*

## ВВЕДЕНИЕ

Внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) практически во все сферы современного здравоохранения является одним из важных приоритетов государства как в Российской Федерации [1], так и в Республике Беларусь [2].

### **Актуальность диагностики заболеваний позвоночника.**

В системе здравоохранения значительное место отводится организации лечения заболеваний позвоночника, которые являются одной из наиболее актуальных проблем здоровья людей самых разных возрастов. Свидетельством особого внимания к проблеме болезней позвоночника является наличие большого числа специализированных лечебных учреждений, например, [3–8].

В клинической практике процесс диагностики заболеваний позвоночника может содержать следующие этапы:

1. Предварительное заключение врача-специалиста по результатам первичного осмотра и анамнеза больного;
2. Заключение врача-специалиста по результатам инструментального обследования позвоночника: рентгенография, КТ, МРТ и УЗИ;
3. Заключение сервиса ИИ в помощь врачу в качестве второго мнения для принятия решения о причинах болезни позвоночника по результатам предварительного заключения, анализа медицинской карты пациента, фотоматериалов или по результатам инструментального обследования.

Применение сервисов ИИ для диагностики заболеваний позвоночника повышает точность и оперативность подготовки диагноза [9]. Заключение по результатам анализа снимков позвоночника, полученное от сервиса ИИ, имеет важное значение для врача в качестве второго мнения [9], что особенно актуально в сложных случаях и для специалистов с небольшим опытом. Для обучения в процессе разработки новых сервисов ИИ необходимо большое количество высококачественных аннотированных данных [10], а существующие наборы визуализированных данных в медицинских организациях не подготовлены для применения в сервисах ИИ. Методика подготовки качественных наборов

медицинских данных для обучения нейросетевых моделей (НСМ) и создание инфраструктуры, обеспечивающей процессы управления этими данными, представлена в [11].

В ходе неоднократных встреч с медицинскими работниками Могилевской областной больницы (МОБ) состоялось обсуждение актуальных задач практического сотрудничества медицины и науки с целью разработки медицинских систем с ИИ для помощи в диагностике заболеваний позвоночника и постановке диагнозов по ЛОР заболеваниям. При этом выяснилось, что существующие визуализированные данные исследований пациентов не подготовлены для обучения нейросетей (НС).

Сколиоз и спондилолистез [12–14] могут быть причиной постоянных болей в позвоночнике. Уточнить диагноз врачу помогает рентгенологическое исследование. Рентгеновские снимки позволяют объективно определить биомеханические особенности (например, угол Кобба [12, 14]). Точность измерения биомеханических углов зависит от опыта специалиста – врача-рентгенолога или ортопеда. Высокая загруженность в графике приёмов, стресс, срочность или нехватка квалифицированных специалистов могут привести к ошибкам и неправильной диагностике.

### **Проблематика внедрения ИИ в диагностическую практику.**

Использование методов ИИ позволяет автоматизировать процесс анализа рентгеновских снимков и повышает точность выявления патологий, таких как сколиоз и спондилолистез [12–14]. Точность в выявлении патологий позвоночника существенным образом зависит от правильного выбора типа НСМ для включения в архитектуру разрабатываемой медицинской системы (МС) ИИ [15].

Важным критерием качества разработанной МС является наличие удобного и понятного врачу интерфейса для работы с ней. В [16] представлен анализ эволюции развития интерфейсов в направлении полноценного сотрудничества человека и ИИ. Интерфейс разрабатывается по модульному принципу отдельно от сервиса ИИ, что обеспечивает гибкость взаимодействия с различными ИИ-моделями [16]. Одним из наиболее распространённых способов доступа к МС является веб-интерфейс (Web Interface) [17,

18]. Преимуществом веб-интерфейсов является доступность и простота использования [16].

Используя чат-бот [19], который подключается в мессенджерах, в соцсетях или на сайте, можно автоматизировать запись на приём и вызов врача на дом. Бот [20] (сокращение от robot) – автоматизированное программное приложение для выполнения задач в Интернете. Бот обрабатывает запросы и выдаёт пациентам нужную информацию о заболеваниях, симптомах и лечении. В [20] рассматриваются различные типы ботов. Интерфейс Telegram-бот (телеграм-бот) – удобный и быстрый способ взаимодействия через мобильное приложение [21, 22].

В процессе разработки прототипа МС ИИ для диагностики заболеваний позвоночника необходимо решить следующие задачи:

1. Определение требований к точности диагностики в классификации заболеваний позвоночника с применением НСМ;
2. Поиск через интернет-ресурсы размеченного набора рентгеновских снимков позвоночника;
3. Обоснование выбора НСМ для разработки программного комплекса (ПК) для диагностики сколиоза и спондилолистеза по рентгеновским снимкам позвоночника;
4. Создание удобной для врача универсальной рабочей платформы взаимодействия с МС ИИ, доступной как через веб-интерфейс, так и через телеграм-бота;
5. Определение условий, способствующих повышению успеха в разработке и внедрении в медицинскую организацию МС ИИ для диагностики заболеваний позвоночника.

**Целью настоящего исследования** является разработка и обоснование прототипа МС ИИ для диагностики сколиоза и спондилолистеза по рентгеновским снимкам позвоночника, а также анализ диагностической точности и путей повышения заинтересованности медицинских работников в использовании ИИ-сервисов.

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Точность постановки диагноза с помощью ИИ зависит, с одной стороны, от типа и качества врачебных данных пациента, которые поступают для анализа в МС, с другой стороны, от правильности выбора НСМ, на основе которой разработана МС ИИ.

## Обзор известных сервисов ИИ для диагностики заболеваний и задание значения точности для прототипа.

В разработке [23, 24] Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) НСМ выполняет процесс диагностики сколиоза по фотографиям спины. Учёные ПНИПУ обучили НСМ находить методом фотограмметрии ключевые точки спины, по которым диагностируется сколиоз с точностью 85%.

Текстовые медицинские модели, разработанные компанией «СберМедИИ», по результатам жалоб и заключений исследований, анамнеза и анализов пациента делают выводы и ставят диагноз. Диагностический ассистент AIDA (AI Diagnostic Assistant) обучен распознавать 95 наиболее распространённых и значимых диагнозов [25]. Точность диагнозов AIDA составляет 87,7%. Цифровой помощник врача «ТОП-3» определяет около 95% от наиболее часто ставящихся предварительных диагнозов [25]. Точность диагнозов «ТОП-3» составляет 82,9%.

МС ИИ Pirogov.AI по фото и видеоизображениям устанавливает экспертный диагноз заболеваний уха, горла, носа с точностью до 95% [26].

Сервисы ИИ для госорганов в системе здравоохранения, медицинских организаций, фармакологических компаний, медицинских специалистов и пациентов предлагает компания BOTKIN•AI [27]. Сервисы от компании BOTKIN•AI обеспечивают точность выявления патологий до 95%.

В статье [28] показаны преимущества ИИ в подготовке заключения по результатам анализа рентгеновских снимков:

1. Сервису ИИ для описания снимка требуются секунды (врачу до 20 минут);
2. Диагноз ИИ выполняет роль второго мнения для врачей рентгенологов;
3. Сервис ИИ обеспечивает точность диагнозов в 95–98% случаев.

ИИ-сервис "Esper.Scoliosis" [8], предназначенный для диагностики сколиоза по рентгеновским изображениям, строит углы Кобба по четырём ключевым точкам. Точность поставщика сервиса по диагностике наборов медицинских организаций 93%, а на эталонном наборе – 96%.

Для разрабатываемого прототипа МС ИИ, с учётом представленных в [8, 26–28] значений

точности сервисов ИИ, была задана точность диагностики сколиоза и спондилолистеза по рентгеновским снимкам позвоночника на тестовом наборе 95%.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

У врачей и специалистов МОБ не было возможности и готовности за приемлемые сроки выполнить значительный объём работ по разметке рентгеновских снимков позвоночника и ЛОР заболеваний для подготовки нужного набора данных. Для мотивации к участию врачей и специалистов МОБ в разработке МС ИИ необходим действующий прототип системы, а для обучения НСМ требуется подготовленный набор данных [11]. Важность вовлечения медицинских работников во взаимодействие с разработчиками МС ИИ показана в [29].

Специалисты дизайнеры интерфейсов в статье о проектировании МС [30] обращают внимание на возможные сложности в процессе их разработки. Причины связаны с негативным опытом работы врачей с неудобными программами, которые часто обновлялись, добавляли бюрократической работы и мешали их основной работе.

Точность постановки диагноза с помощью ИИ зависит, с одной стороны, от типа и качества медицинских данных пациента, которые поступают для анализа в МС, с другой стороны, от правильности выбора НСМ, на основе которой разработана МС ИИ.

### Разработка ПК на основе нейросетей.

ПК разработан с учётом необходимости повышения точности и качества классификации заболеваний позвоночника, требований к сохранности медицинских данных, многопользовательскому доступу, а также удобству использования в медицинских учреждениях с соблюдением условий конфиденциальности информации о пациентах.

Применение сверточной нейронной сети (CNN) [15] для классификации заболеваний позвоночника позволяет значительно улучшить качество и точность диагностики за счёт способности сети: автоматически извлекать релевантные признаки из изображений; обучаться на больших наборах данных медицинских изображений для классификации различных типов

заболеваний позвоночника; обнаруживать трудно заметные для человеческого глаза тонкие изменения в структуре позвоночника.

**При выборе типа НСМ для МС ИИ** следует учитывать ограничения на следующие ресурсы для разработки и последующей эксплуатации МС:

1. Наличие, объём и качество размеченных медицинских данных для обучения НСМ;
2. Возможности доступных разработчику НСМ вычислительных ресурсов для обучения модели;
3. Временные затраты на обучение НСМ работе с рентгеновскими снимками;
4. Характеристики аппаратно-программной среды, необходимой для запуска разработанной НСМ;
5. Наличие требуемой инфраструктуры для безопасной поддержки динамического обучения или дообучения на новых клинических данных;
6. Возможности управления ресурсами среды эксплуатации и интеграции с возможными интерфейсами.

CNN – один из наиболее распространённых типов сетей для распознавания изображений [15]. Благодаря специализированным слоям свёртки и пулинга, которые позволяют изучать локальные иерархические признаки, CNN особенно хорошо справляются с изображениями.

По итогам поиска **подготовленного набора данных** через интернет-ресурсы в **качестве тестового варианта** для обучения НСМ классификации рентгеновских снимков позвоночника был использован датасет (dataset – набор данных [31]), собранный в больнице Университета короля Абдаллы Иорданского университета науки и технологии [32], представленный на ресурсе Kaggle.com. Благодаря Kaggle [33] удалось повысить доступность машинного обучения. **Датасет содержит рентгеновские снимки позвоночника со сколиозом (scoliosis), со спондилолистезом (spondylolisthesis) и без патологий.** Изображения в формате JPEG представляют собой подготовленный набор данных, рассортированных по классам и организованных в соответствующие папки [32]. Формат JPEG файлов изображений является наиболее удобным для обучения НСМ.

Структура датасета: NORMAL – количество изображений 71; SKOL – количество изображений 188; SPOND – количество изображений 79; Общее количество изображений 338.

Для **разработки и обучения** CNN использовалась среда Google Colab [34], которая предоставляет доступ к GPU (графический процессор) для ускорения вычислений. Для работы с данными и обучения модели были импортированы следующие библиотеки [35]: PyTorch – для создания и обучения нейронной сети; numpy и pandas – для обработки и анализа данных; torchvision – для работы с изображениями и использования предобученных моделей; matplotlib и seaborn – для визуализации данных и результатов; scikit-learn – для оценки модели с помощью метрик, таких как точность и матрица ошибок.

Наборы данных рентгеновских изображений позвоночника в формате JPEG, представленных в [32], были загружены с платформы Kaggle с использованием личного API-ключа. Датасет состоял из 338 рентгеновских снимков позвоночника, разделённых на три класса: норма (класс 0), сколиоз (класс 1) и спондилолистез (класс 2). **Для предобработки данных изображения были приведены к единому размеру (224x224 пикселей) и нормализованы.** При разработке модели на всех этапах **датасет разделялся на обучающую, валидационную и тестовую выборки.**

Для решения задачи классификации были использованы предобученные модели ResNet18 и ResNet50 [36]. Верхний слой каждой модели был заменён на новый, состоящий из трёх выходных нейронов. Обучение моделей было выполнено с использованием библиотеки PyTorch [35]. PyTorch поддерживает автоматическое дифференцирование, что упрощает вычисление градиентов и обновление весов.

В ходе обучения применялись различные **методы оптимизации**, такие как Adam (адаптивная оценка момента) и SGD (Stochastic Gradient Descent) [37, 38], а также техники регуляризации, направленные на предотвращение переобучения модели. Для обучения модели была выбрана функция потерь CrossEntropyLoss [39], которая подходит для задач классификации.

На первом этапе для классификации рентгеновских снимков позвоночника была выбрана модель ResNet18. После обучения модели на исходном датасете без аугментации данных, а

затем и с аугментацией данных [40], заданную точность диагностики 95% получить не удалось.

При подготовке к применению модели ResNet50 предобученной с PyTorch для классификации рентгеновских снимков позвоночника с аугментацией данных добавлены балансировка по классам и визуализация ошибки и точности при обучении [41, 42]. После обучения модели диагностика по снимкам из тестовой выборки датасета показала **точность 95,4%**, что соответствует заданному значению точности для прототипа.

**Финальный вариант исследования** с описанием процесса разработки программного кода и визуализации результатов обучения нейронной сети ResNet50 для диагностики заболеваний позвоночника по рентгеновским снимкам представлен на Github [43].

**Оценки качества разработанной НСМ на основе ResNet50.**

**Метрики диагностической точности НСМ** определялись с помощью пяти **метрик классификации**: точность (1), полнота (2), специфичность (3), гармоничное среднее F1 (4) и доля правильно классифицированных объектов от общего числа (5) [12].

$$\text{Точность (Precision)} = TP / (TP + FP) \quad (1)$$

$$\text{Полнота (Recall)} = TP / (TP + FN) \quad (2)$$

$$\text{Специфичность (Specificity)} = TN / (TN + FP) \quad (3)$$

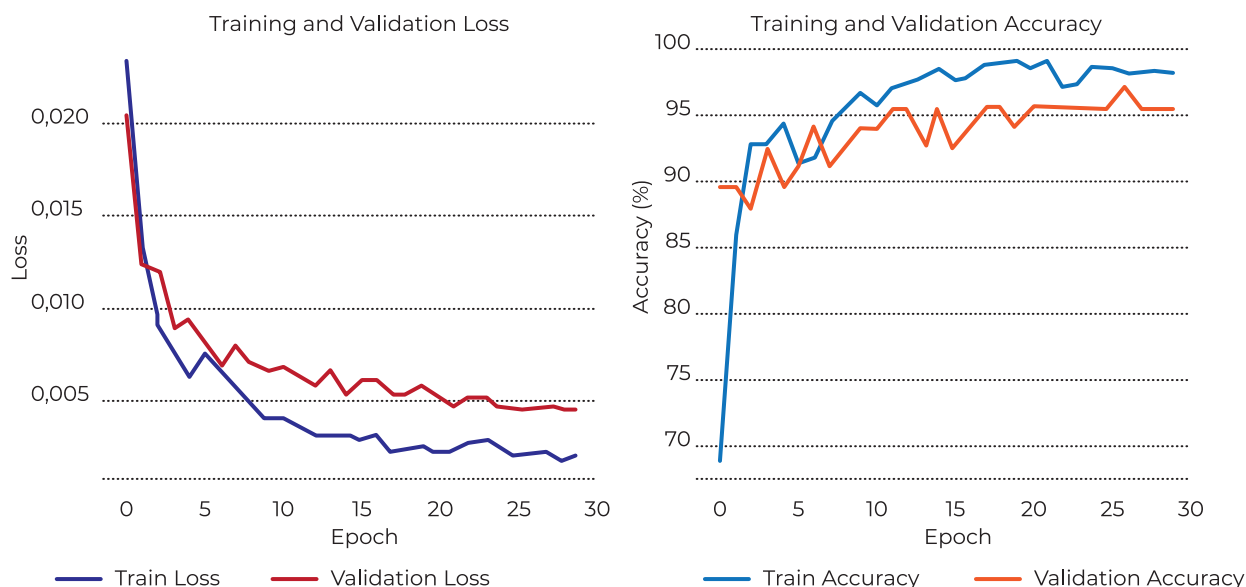
$$\text{F1-мера} = 2 \times (\text{Полнота} \times \text{Точность}) / (\text{Полнота} + \text{Точность}) \quad (4)$$

$$\text{Общая точность классификации (Accuracy)} = \sum TP \square / N, \quad (5)$$

где: TP (true positive) – истинно положительные предсказания; FP (false positive) – ложные положительные предсказания; FN (false negative) – ложные отрицательные предсказания; TN (true negative) – истинно отрицательные предсказания;  $\sum TP \square$  – количество правильно классифицированных изображений для каждого класса; N – общее число тестовых изображений.

**Оценки точности диагнозов** для модели ResNet50 иллюстрируют **показатели точности** [44] (Validation Loss, Validation Accuracy) (Рис. 1).

Визуальным развёрнутым вариантом оценки качества классификации объектов является матрица ошибок [45]. Строится **матрица ошибок** с помощью confusion\_matrix() из библиотеки sklearn.metrics (Рис. 2).



**Рисунок 1 – Графики показателей обучения модели.**



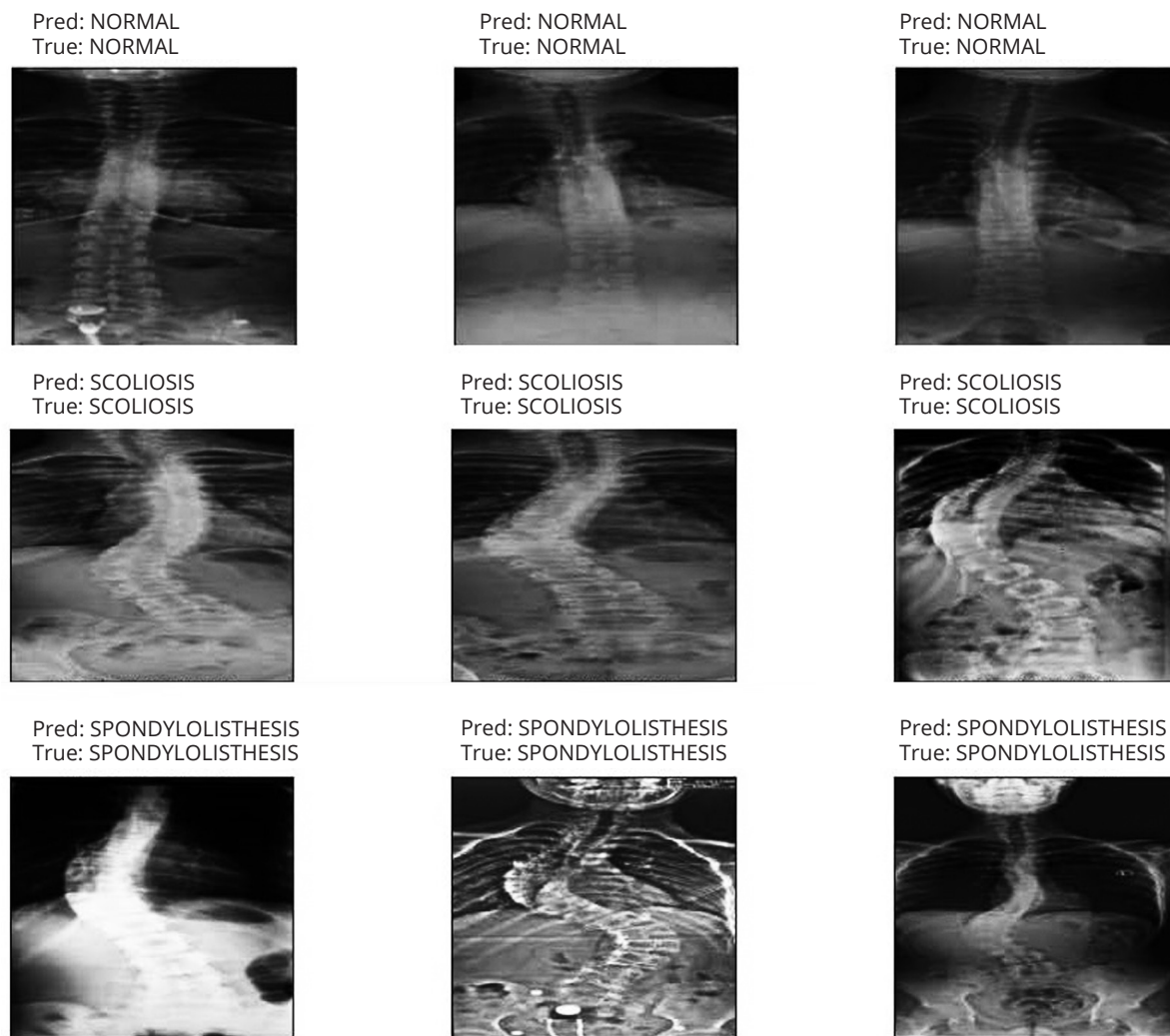
**Рисунок 2 – Оценка с помощью матрицы ошибок. Классификация рентгеновских снимков позвоночника представлена в виде трёх классов: норма (класс 0), сколиоз (класс 1) и спондилолистез (класс 2). В матрице строки соответствуют истинным классам (реальные метки), а столбцы представляют предсказанные классы (метки, которые предсказала модель).**

**Результаты предсказания для тестовой выборки:**

1. Наибольшее количество правильных предсказаний (true positive) находится на главной диагонали матрицы – 13 для класса 0 (NORMAL), 36 для класса 1 (SCOLIOSIS) и 14 для класса 2 (SPONDYLOLISTHESIS);
2. Ложные положительные предсказания (false positive) находятся вне главной диагонали – 1 для класса 1 и 0 для класса 2;
3. Ложные отрицательные предсказания (false negative) также находятся вне главной диагонали – 0 для класса 0 и 1 для класса 2;
4. Правильные отрицательные предсказания (true negative) находятся на пересечении строк и столбцов, где не совпадают классы – 0 для класса 0 и 1 для класса 1.

Для наглядности были визуализированы изображения из тестовой выборки вместе с их предсказанными и реальными метками (Рис. 3).

Тестирование показало, что модель успешно распознаёт заболевания на новых данных. Была разработана функция predict\_image, которая позволяет загружать отдельные рентгеновские снимки и получать предсказанный класс с указанием вероятности. После обучения веса модели были сохранены, что позволяет загружать модель без повторного обучения.



**Рисунок 3 – Результаты предсказания и визуализации изображений без патологии, с патологией сколиоза и с патологией спондилолистеза.**

### **Пользовательские интерфейсы веб-приложения и телеграм-бота.**

Учитывая конфиденциальность медицинских данных, в системе применяются базовые методы и средства, направленные на обеспечение их целостности и защиты от несанкционированного доступа. Для исключения рисков, связанных с утечкой данных через интернет, используется метод локальной обработки данных, при котором все изображения анализируются непосредственно на сервере, без передачи во внешние облачные сервисы. После обработки изображения удаляются из оперативной памяти.

### **Интеграция в телеграм-бота:**

1. Для инициализации телеграм-бота используется библиотека Aiogram [46], которая предоставляет удобный интерфейс для работы с Telegram API;
2. После выбора команды /start телеграм-бот отправляет приветственное сообщение, предлагая пользователю выбрать дальнейшее действие. По команде /predict телеграм-бот запрашивает загрузку изображения;
3. Врач для получения заключения от МС ИИ выбирает на компьютере нужный снимок позвоночника, который для передачи в

диалоговое окно телеграм-бота предварительно конвертируется из формата DICOM в формат JPEG, при этом персональные данные пациента в телеграм-бот не передаются;

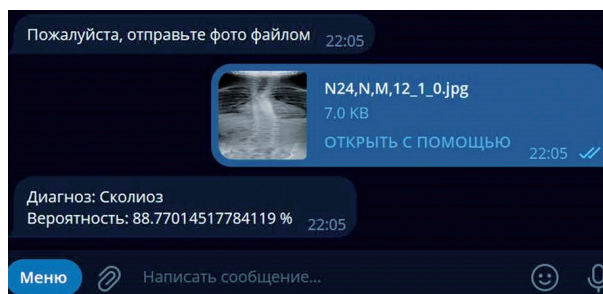
- После получения изображения телеграм-бот загружает изображение на сервер, который выполняет нормализацию и изменение размера для подачи на вход нейронной сети. HCM обрабатывает изображение, формирует результат анализа: диагноз и вероятность его точности, и отправляет пользователю сообщение с результатами предсказания (Рис. 4).

Несмотря на отсутствие механизма авторизации, при проектировании были предусмотрены базовые меры по защите конфиденциальной информации:

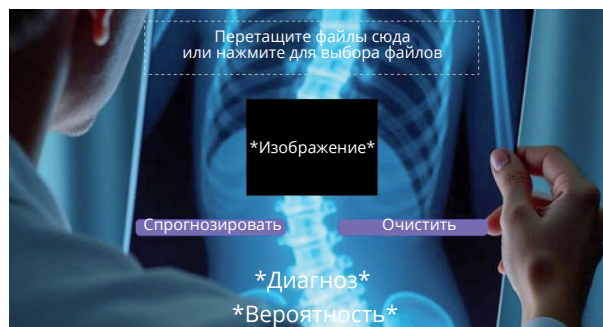
- Обработка изображений производится локально, внутри сети медицинского учреждения, без передачи данных во внешние сервисы. Это полностью исключает риск утечки персональных данных за пределы контролируемой среды;
- Все загружаемые файлы поступают в формате JPEG и удаляются с сервера сразу после завершения обработки, что минимизирует вероятность хранения чувствительной информации вне контекста выполнения задачи;
- При необходимости организации удалённого доступа используется протокол HTTPS, обеспечивающий шифрование передаваемых данных между клиентом и сервером;
- Серверная часть может быть развёрнута в защищённой внутренней сети лечебного учреждения, что дополнительно ограничивает круг лиц, имеющих физический доступ к данным.

#### **Интеграция в веб-приложение:**

- Приложение инициализируется с использованием FastAPI [47], что позволяет легко обрабатывать HTTP-запросы. Для обеспечения кросс-доменных запросов настроены CORS (Cross-Origin Resource Sharing), что даёт возможность клиентской части взаимодействовать с API из различных источников;
- При получении изображения в JPEG формате оно проходит предварительную обработку, включающую нормализацию и изменение размера к формату, пригодному для подачи на вход нейронной сети;



**Рисунок 4 – Скриншот доступа к результатам диагностики с помощью телеграм-бота.**



**Рисунок 5 – Макет главной страницы.**

- После обработки изображения модель выполняет предсказание, возвращая класс заболевания и вероятность (уверенность) предсказания. Результаты отправляются пользователю в виде JSON-ответа (текстовый формат обмена данными) – текстового ответа или файла с диагностическим заключением, что позволяет быстро принимать решение по дальнейшему обследованию пациента.

Макет главной страницы был создан с использованием графического редактора Figma (Рис. 5). Взаимодействие с пользователем организовано на основе метода динамического обмена запросами и ответами. При нажатии на окно «Изображение» появляется проводник для выбора нужной папки с файлами пациента. После выбора изображения пользователю доступны две кнопки, а именно «Спрогнозировать» и «Очистить». При нажатии на кнопку «Спрогнозировать» изображение, предварительно сконвертированное из формата DICOM в формат JPEG, поступает на вход НС.

После получения изображения запускается процесс диагностики, и пользователь получает результат в виде заключения и вероятности диагноза. Для диагностики следующего снимка необходимо нажать кнопку «Очистить», выбрать новый снимок, а затем нажать кнопку «Спрогнозировать».

### Повышение заинтересованности медиков в сервисах ИИ.

Из опыта контактов с медиками возникло понимание, что в среде медицинских работников присутствуют некоторые опасения в отношении МС ИИ, вызванные тем, что МС ИИ могут создать им дополнительные неудобства или в чём-то потеснить их. С одной стороны, это является следствием недостаточной информированности о целях партнёрства медиков и ИИ [29], с другой стороны, на это есть объективные исторические причины [30].

Для успешного внедрения и повышения заинтересованности медиков в сервисах ИИ следует внимательнее подходить к следующим аспектам:

1. Важное значение имеет вовлечение медицинских работников во взаимодействие с разработчиками МС ИИ для последующего внедрения разработанных систем в медицинские учреждения [29];
2. Разработка удобного, максимально простого и интуитивно понятного врачу интерфейса для работы с системой;
3. Грамотная дизайнерская проработка экранных форм диалога врача с МС ИИ [30];
4. Сопровождение специалистов-разработчиков созданного программного продукта на рабочих местах врачей.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Обоснована актуальность внимания к проблеме заболеваний позвоночника и применения сервисов ИИ для диагностики заболеваний позвоночника.

С учётом отсутствия в МОБ размеченных медицинских данных выполнен поиск готового набора рентгеновских снимков позвоночника, в результате чего был найден датасет со сколиозом, спондилолистезом и без патологии.

По результатам анализа точности постановки диагнозов различных заболеваний в существующих МС ИИ для прототипа разрабатываемой МС принят показатель точности для диагностики заболеваний позвоночника по рентгеновским снимкам тестового набора 95%.

Обоснован выбор CNN для разработки МС ИИ с учётом исходного ограниченного объёма размеченных медицинских данных для обучения HCM.

Результаты применения модели ResNet18 для классификации рентгеновских снимков позвоночника и последующий переход к применению модели ResNet50, имеющей более сложную архитектуру сети, обеспечили достижение заданной точности 95%. Матрица ошибок показывает, что модель ResNet50 успешно справляется с распознаванием патологий на тестовом наборе, допуская минимальное количество ошибок.

Используя `confusion_matrix()`, получены конкретные значения **метрики диагностической точности** результатов обучения модели ResNet50, которые представлены в виде таблицы 1.

Принятые при разработке интерфейсов МС ИИ меры по защите конфиденциальной информации помогли полностью исключить риск утечки персональных данных за пределы контролируемой среды.

Все этапы работы с телеграм-ботом, начиная от загрузки изображений и заканчивая выводом результатов, были выстроены для обеспечения плавного взаимодействия врача и МС. Телеграм-бот предоставляет пользователям чёткие инструкции и ответы, что минимизирует вероятность ошибок и улучшает общий итог работы.

**Таблица 1 – Метрики точности результатов обучения HCM ResNet50 для диагностики заболеваний позвоночника по рентгеновским снимкам**

| Класс              | Точность | Полнота | F1-мера | Специфичность |
|--------------------|----------|---------|---------|---------------|
| Норма (0)          | 1,00     | 0,93    | 0,96    | 1,00          |
| Сколиоз (1)        | 0,95     | 0,97    | 0,96    | 0,93          |
| Спондилолистез (2) | 0,93     | 0,93    | 0,93    | 0,98          |

Разработанное веб-приложение предоставляет удобный и понятный интерфейс для быстрого автоматизированного анализа рентгеновских снимков позвоночника. Благодаря своей доступности и простоте использования, веб-приложение устраняет проблемы диалога между врачом и нейросетью в диагностике заболеваний позвоночника.

Разработанный прототип системы с нейронной сетью и интерфейсами на базе телеграмм-бота и веб-приложения после обучения на подготовленном датасете от МОБ может быть использован для последующего развития МС ИИ и практического внедрения в лечебную практику больницы.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Для разработки архитектуры МС ИИ применяют различные типы НСМ [15]. В качестве исходных наборов данных для обучения НСМ, используют изображения позвоночника, полученные с применением различных инструментальных средств [3].

По информации из [12] среди населения США два наиболее распространённых заболевания позвоночника – спондилолистез (5%) и сколиоз (3%). Для обучения разрабатываемой НСМ классификации сколиоза и спондилолистеза по рентгеновским снимкам позвоночника был использован размеченный датасет [32], представленный на ресурсе Kaggle.com.

Обзор существующих сервисов ИИ показал, что уже есть работающие ИИ-сервисы для диагностики заболеваний поясничного отдела позвоночника [8], для автоматической диагностики сколиоза [8, 14, 23, 24], для анализа рентгенограмм диагностики поясничного спондилолистеза [13] и для диагностики заболеваний уха, горла и носа [26].

В каталоге ИИ-сервисов [48] на платформе МосМедИИ представлены 64 ИИ-сервиса средств лучевой диагностики, которые уже подключены к платформе или планируются к подключению в течение 2025 года. Все представленные ИИ-сервисы могут быть предложены для любой медицинской организации России. Среди представленных показаны ИИ-сервисы по медицинским направлениям в следующих количествах: органы грудной клетки – 23; молочная железа – 5; головной мозг – 16;

опорно-двигательный аппарат – 4; пояснично-крестцовый отдел позвоночника – 3; позвоночник – 2; органы брюшной полости – 7; органы малого таза – 1; стопа – 1; голова – 2.

Из представленных в [48] ИИ-сервисов 5 оказывают услуги по диагностике заболеваний позвоночника.

Наличие всех выше указанных ИИ-сервисов для подготовки заключений по результатам обследования позвоночника не закрывает вопрос о необходимости разработки новых МС ИИ для автоматизации диагностики заболеваний позвоночника.

По итогам встреч и переговоров с медицинскими работниками МОБ о направлениях и принципах сотрудничества востребованность разработки новых МС ИИ и их совершенствования определяется следующим:

1. Существует потребность в системах, которые разработаны или адаптированы под структуру и профиль конкретных медицинских учреждений, учитывают опыт и наработки медицинских специалистов в этих организациях по тематике разработки;
2. Непосредственное участие в разработке ИИ-сервиса потенциальных пользователей устраняет барьеры принятия новшеств, которые присутствуют в случае административного решения о внедрении МС ИИ;
3. Возможность оперативного сопровождения при эксплуатации системы разработчиками ИИ-сервиса. Развитие НСМ и алгоритмов обработки наборов данных может потребовать существенных изменений действующего ИИ-сервиса;
4. Необходимость учёта структуры и состава существующих аппаратных и программных средств для эксплуатации ИИ-сервиса, а также экономических возможностей медицинских организаций;
5. Разработка доступных, удобных и интуитивно понятных интерфейсов для взаимодействия с ИИ-сервисами;
6. Для Республики Беларусь возможность наличия собственных ИИ-сервисов для участия в будущих совместных с Россией проектах.

В статье [49] об итогах внедрения ИИ в здравоохранение России в той или иной форме поднимаются проблемы, с которыми

сталкиваются разработчики ИИ-сервисов в Белоруссии: недостаток доверия медицинских работников к технологиям ИИ, необходимость обратной связи от медицинских работников к разработчикам, использование мобильных телефонов для интерфейса, учёт и обобщение региональных разработок и практик внедрения ИИ-сервисов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного исследования был выполнен анализ существующих сервисов ИИ для диагностики заболеваний позвоночника и разработан прототип МС для автоматического обнаружения сколиоза и спондилолистеза по рентгеновским снимкам позвоночника как первый шаг к совместной работе с МОБ по разработке сервисов ИИ. Прототип МС ИИ на основе архитектуры ResNet50 обеспечивает достижение заданной точности 95% на тестовом наборе и успешно интегрирован в веб-приложение и телеграм-бота.

Разработанный прототип системы имеет потенциал для развития и улучшения по следующим направлениям:

1. Расширение набора данных за счёт снимков из МОБ и других медицинских учреждений;
2. Использование более сложных архитектур НС (например, EfficientNet или Vision Transformers) для повышения точности;
3. Добавление функционала для сегментации позвоночника и определения степени деформации при сколиозе;
4. Интеграция с электронными медицинскими картами (EHR) для автоматического обновления данных пациентов;
5. Создать алгоритмы для обработки рентгеновских изображений позвоночника, которые способны автоматически выявлять ключевые анатомические структуры и определять угол Кобба.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Указ Президента РФ №124 от 15.02.2024 г. «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» и в Национальную стратегию, утвержденную этим Указом». Доступно по: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402150063> Дата обращения: 05.06.2025. [Ukaz Prezidenta RF №124 ot 15.02.2024 g. «O vnesenii izmenenij v Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 10 oktyabrya 2019 g. №490 «O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federacii» i v Nacional'nuyu strategiyu, utverzhdenuyu etim Ukazom». Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402150063> Accessed 05.06.2025. (In Russ.)]
2. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. Искусственный интеллект в Беларуси: какие технологии разрабатывают и как их будут регулировать. 09.06.2025. Доступно по: <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/june/88987/> Дата обращения: 12.06.2025. [National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus. Artificial Intelligence in Belarus: what technologies are being developed and how they will be regulated. 09.06.2025. Available at: <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/june/88987/>. Accessed 12.06.2025. (In Russ.)]
3. Боль в позвоночнике: виды, почему болит спина, симптомы, диагностика и лечение. РЭМСИ. Медицинский диагностический центр. 3 июня 2025. Доступно по: <https://msk.ramsaydiagnostics.ru/blog/bol-v-spine/> Дата обращения: 20.06.2025. [Pain in the spine: types, why the back hurts, symptoms, diagnosis and treatment. RAMSEY. Medical diagnostic center. June 3, 2025. Available at: <https://msk.ramsaydiagnostics.ru/blog/bol-v-spine/> Accessed 20.06.2025. (In Russ.)]
4. Болезни позвоночника – лечение, симптомы, причины, диагностика. Московские центры В.И.Дикюля. 2020-01-20. Доступно по: <https://www.dikul.net/wiki/zabolevaniya-pozvonochnika/> Дата обращения: 20.06.2025. [Diseases of the spine - treatment, symptoms, causes, diagnosis. The Moscow centers of V.I.Dikul. 2020-01-20. Available at: <https://www.dikul.net/wiki/zabolevaniya-pozvonochnika/> Accessed 20.06.2025. (In Russ.)]
5. Какие бывают заболевания позвоночника? Лечение. 2024. Клиника эстетической медицины. Доступно по: <https://clinkinika.ru/blog/kakie-byvayut-zabolevaniya-pozvonochnika-lechenie> Дата

- обращения: 20.06.2025. [What are spinal diseases? Treatment. 2024. Clinic of aesthetic medicine. Available at: <https://clinkanika.ru/blog/kakie-byvayut-zabolevaniya-pozvonochnika-lechenie> Accessed 20.06.2025. (In Russ.)]
6. Диагностика заболеваний позвоночника: виды, методы. Мастерская Здоровья. 2025. Доступно по: <https://mz-clinic.ru/articles/diagnostika-zabolevanij-pozvonochnika/?ysclid=mc1wa86bmi492651975> Дата обращения: 20.06.2025. [Diagnosis of spinal diseases: types, methods. Workshop. Health. 2025 Available at: <https://mz-clinic.ru/articles/diagnostika-zabolevanij-pozvonochnika/?ysclid=mc1wa86bmi492651975> Accessed 20.06.2025. (In Russ.)]
  7. Болезни позвоночника. АртроМедЦентр. 2025. Клиника суставов и позвоночника. Доступно по: <https://artrombst.ru/bolezni-pozvonochnika/?ysclid=mc1qqtb5iu168807640> Дата обращения: 20.06.2025. [Diseases of the spine. Arthromed Center. 2025. Clinic of joints and spine. Available at: <https://artrombst.ru/bolezni-pozvonochnika/?ysclid=mc1qqtb5iu168807640> Accessed 20.06.2025. (In Russ.)]
  8. Esper.Scoliosis. ИИ-сервис. Центр диагностики и телемедицины. Доступно по: [https://mosmed.ai/service\\_catalog/esperscoliosis/](https://mosmed.ai/service_catalog/esperscoliosis/) Дата обращения: 20.06.2025. [Esper.Scoliosis. An AI service. Center for Diagnostics and Telemedicine. Available at: [https://mosmed.ai/service\\_catalog/esperscoliosis/](https://mosmed.ai/service_catalog/esperscoliosis/) Accessed 20.06.2025. (In Russ.)]
  9. МРТ позвоночника и искусственный интеллект. Анализ снимков МРТ позвоночника с помощью ИИ. СберМедИИ. 02.12.2024. Доступно по: <https://sbermed.ai/mrt-pozvonochnika-i-iskusstvenny-intellekt> Дата обращения: 20.06.2025. [MRI of the spine and artificial intelligence. Analysis of MRI images of the spine using AI. Savings Bank AI. 02.12.2024. Available at: <https://sbermed.ai/mrt-pozvonochnika-i-iskusstvenny-intellekt> Accessed 20.06.2025. (In Russ.)]
  10. Труфанов Г.Е., Ефимцев А.Ю. Технологии искусственного интеллекта в МР-нейровизуализации. Взгляд рентгенолога // Российский журнал персонализированной медицины. – 2023. – №3(1). – С.6-17. [Trufanov GE, Efimtsev AY. Artificial intelligence technologies in MR-neuroimaging. The radiologist's View. Russian Journal of Personalized Medicine. 2023; 3(1): 6-7. (In Russ.)] doi: 10.18705/2782-3806-2023-3-1-6-17.
  11. Бобровская Т.М., Васильев Ю.А., Никитин Н.Ю., Арзамасов К.М. Подходы к формированию наборов данных в лучевой диагностике // Врач и информационные технологии. – 2023. – №4. – С.14-23. [Bobrovskaya TM, Vasilev YuA, Nikitin NYu, Arzamasov KM. Approaches to building radiology datasets. Medical Doctor and Information Technologies. 2023; 4: 14-23. (In Russ.)] doi: 10.25881/18110193\_2023\_4\_14.
  12. Фрайван М., Одат З., Фрайван Л., Манасре Т. Использование глубокого трансферного обучения для выявления сколиоза и спондилолистеза по рентгеновским изображениям // PLoS ONE – 2022. – №17(5). [Fraivan M, Audat Z, Fraivan L, Manasreh T. Using deep transfer learning to detect scoliosis and spondylolisthesis from x-ray images. PLoS ONE. 2022; 17(5). (In Russ.)] doi: 10.1371/journal.pone.0267851.
  13. Чжан Дж., Линь Х., Ван Х., Сюэ М. и др. Обнаружение и локализация поясничного спондилолистеза с помощью системы глубокого обучения. Фронт. Bioeng. Биотехнология, 2023. [Zhang J, Lin H, Wang H, Xue M, et al. Detection and localization of lumbar spondylolisthesis using a deep learning system. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023. (In Russ.)] doi: 10.3389/fbioe.2023.1194009.
  14. Кассаб Д.Х., Камышанская И.Г., Трухан С.В. Новая интеллектуальная система для автоматической диагностики сколиоза по фронтальным рентгенограммам позвоночника: точность, преимущества и ограничения // Digital Diagnostics. – 2024. – Т.5. – №2. – С.243-254. [Kassab DK, Kamyshanskaya IG, Trukhan SV. A new artificial intelligence program for the automatic evaluation of scoliosis on frontal spinal radiographs: Accuracy, advantages and limitations. Digital Diagnostics. 2024; 5(2): 243-254. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD630093.
  15. Березовский В.В., Выговская Н.В. Обзор нейронных сетей для распознавания медицинских изображений // E3S Web of Conferences 2023; 460: 04028. [Berezovsky V, Vygovskaya N. An overview of neural networks for medical image recognition. E3S Web of Conferences. 2023; 460: 04028. (In Russ.)] doi: 10.1051/e3sconf/202346004028.

16. Интерфейсы Человек-ИИ: ключ к будущему взаимодействия. Хабр. 28 окт 2024. Доступно по: <https://habr.com/ru/articles/854038/> Дата обращения: 05.06.2025 [Human-AI Interfaces: the key to the future of interaction / Habr. October 28, 2024. Available at: <https://habr.com/ru/articles/854038/> Accessed 05.06.2025. (In Russ.)]
17. Туманов Н.А. Использование веб-приложения на базе искусственного интеллекта для оформления медицинской документации // Акушерство и гинекология. – 2025. – №4. – С.125-130. [Tumanov NA. The use of a web application based on artificial intelligence for registration of medical documentation. *Obstetrics and Gynecology*. 2025; 4: 125-130. (In Russ.)] doi: 10.18565/aig.2025.54.
18. Web интерфейс сети экспресс-лабораторий РЖД Медицины. Мультиязычный «лендинг» с личным кабинетом клиента и интеграцией с сайтом Госуслуг. 2024. Проекты Инициум. Доступно по ссылке: [https://initium.ru/projects/rzd\\_medicine\\_web/](https://initium.ru/projects/rzd_medicine_web/) Дата обращения: 05.06.2025. [The web interface of the network of express laboratories of Russian Railways Medicine. Multilingual "landing" with a personal account of the client and integration with the website of Public Services. 2024. // Projects Initium. Available at: [https://initium.ru/projects/rzd\\_medicine\\_web/](https://initium.ru/projects/rzd_medicine_web/) Accessed 05.06. 2025. (In Russ.)]
19. Чат-боты для медицинской клиники [интернет]. Доступно по ссылке: <https://developers.sber.ru/help/salutebot/chatbot-for-medical-clinic?ysclid=m9s6balont731801598> Ссылка активна на 19.06.2025. [Chatbots for a medical clinic [Internet]. November 5, 2024. Available at: <https://developers.sber.ru/help/salutebot/chatbot-for-medical-clinic?ysclid=m9s6balont731801598> Accessed June 19, 2025. (In Russ.)]
20. Что такое бот? AI STUDIOS. Доступно по: <https://www.aistudios.com/ru/tech-and-ai-explained/what-is-a-bot> Ссылка активна на 19.06.2025. [What is a bot? AI STUDIOS. Published on June 4, 2025. Available at: <https://www.aistudios.com/ru/tech-and-ai-explained/what-is-a-bot> Accessed June 19, 2025. (In Russ.)]
21. Фролова М. Доктор AI-болит: в России создали первый медицинский Telegram-бот [интернет]. Доступно по: <https://iz.ru/1588332/mariia-frolova/doktor-ai-bolit-v-rossii-sozdali-pervyi-meditsinskii-telegram-bot> Ссылка активна на 29.06.2025. [Frolova M. Dr. Aibolit the first medical Telegram bot has been created in Russi [Internet]. Available at: <https://iz.ru/1588332/mariia-frolova/doktor-ai-bolit-v-rossii-sozdali-pervyi-meditsinskii-telegram-bot> Accessed June 29, 2025. (In Russ.)]
22. Телеграм как инструмент для медицинских консультаций. LinkBaza. Доступно по: <https://linkbaza.com/blog/articles/medicina-tv?ysclid=mbxkuzz7ic169497422>. Ссылка активна на 29.06.2025. [Telegram as a tool for medical consultations. LinkBaza. 07.06.2024. Available at: <https://linkbaza.com/blog/articles/medicina-tv?ysclid=mbxkuzz7ic169497422>. Accessed June 29, 2025. (In Russ.)]
23. В ПНИПУ научили искусственный интеллект диагностировать сколиоз. Доступно по: <https://naked-science.ru/article/column/v-pnt-diagnostirovat-skol> Дата обращения: 29.06.2025. [PNRPU has taught artificial intelligence to diagnose scoliosis. 29.01.2024. Available at: <https://naked-science.ru/article/column/v-pnt-diagnostirovat-skol>. Accessed 29.06. 2025. (In Russ.)]
24. Шитов И.Д., Никитин В.Н., Иванова М.Д. и др. Применение компьютерного зрения для определения реперных точек при оценке нарушения осанки // Прикладная математика и вопросы управления. – 2023. – №4. – С.94-106. [Shitov ID, Nikitin VN, Ivanova MD, et al. The use of computer vision to determine reference points in the assessment of posture disorders. *Applied Mathematics and Control Sciences*. 2023; 4: 94-106. (In Russ.)] doi: 10.15593/2499-9873/2023.4.06.
25. Как AI-сервисы помогают терапевтам ставить диагнозы. СберМедИИ. Доступно по: <https://sbermed.ai/ii-v-postanovke-diagnozov> Дата обращения: 05.06.2025. [How AI services help therapists make diagnoses. Savings Bank AI. Available at: <https://sbermed.ai/ii-v-postanovke-diagnozov> Accessed 05.06. 2025. (In Russ.)]
26. Повысьте точность диагностики заболеваний уха, горла, носа с Pirogov.AI. Доступно по: <https://pirogov.ai> Дата обращения: 05.06.2025. [Improve the accuracy of diagnosis of ear, throat, and nose diseases with Pirogov.AI. Available at: <https://pirogov.ai> Accessed 05.06. 2025. (In Russ.)]
27. Искусственный интеллект для медицинских изображений. BOTKIN•AI. Доступно по: <https://botkin.ai/> Дата обращения: 05.06.2025. [Artificial intelligence for medical imaging. BOTKIN AI. Available at: <https://botkin.ai/> Accessed 05.06. 2025. (In Russ.)]

28. Борисов Д.А. Использование нейросети для анализа медицинских изображений. Центр медицинского консалтинга «Частное здравоохранение». Доступно по: <https://www.csi-med.ru/news/625/> Дата обращения: 05.06.2025. [Borisov DA. Using a neural network for analyzing medical images. Medical Consulting Center «Private Healthcare». Available at: <https://www.csi-med.ru/news/625/> Accessed 05.06. 2025. (In Russ.)]
29. Васильев Ю.А., Зинченко В.В., Кудрявцев Н.Д. и др. Оценка удовлетворенности и вовлеченности врачей-рентгенологов при использовании программного обеспечения с искусственным интеллектом // Врач и информационные технологии. – 2024. – №1. – С.70-81. [Vasilev YuA, Zinchenko VV, Kudryavtsev ND, et al. Assessment of satisfaction and involvement of radiologists when using artificial intelligence software. Medical doctor and information technology. 2024; 1: 70-81. (In Russ.)] doi: 10.25881/18110193\_2024\_1\_70.
30. Специфика проектирования медицинских интерфейсов. UX-дизайн. Собака Павлова. Доступно по ссылке: <https://new.sobakapav.ru/publications/medical-interfaces/> Дата обращения: 19.06.2025. [The specifics of designing medical interfaces • UX design. Pavlov's dog. Available at: <https://new.sobakapav.ru/publications/medical-interfaces/> Accessed 19.06.2025. (In Russ.)]
31. Датасеты: что это такое и как их найти. Обзор датасетов для разных задач и машинного обучения. SKILLFACTORY. Доступно по: <https://blog.skillfactory.ru/datasety-cto-eto-takoe-i-kak-ih-nayti/> Дата обращения: 05.06.2025. [Datasets: what they are and how to find them. An overview of datasets for various tasks and machine learning. SKILLFACTORY. Available at: <https://blog.skillfactory.ru/datasety-cto-eto-takoe-i-kak-ih-nayti/> Accessed 05.06. 2025. (In Russ.)]
32. Фрайван М., Аудат З., Манасре Т. Рентгеновские снимки позвонков. Набор данных рентгеновских изображений сколиоза, спондилолистеза и нормальных позвонков. [интернет]. Доступно по: <https://www.kaggle.com/datasets/yasserhessein/the-vertebrae-xray-images> Ссылка активна на 29.06.2025. [Fraiwan M, Audat Z, Manasreh T. The vertebrae X-ray images: A dataset of scoliosis, spondylolisthesis, and normal vertebrae X-ray images. [Internet]. Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/yasserhessein/the-vertebrae-xray-images>. Accessed June 29, 2025. (In Russ.)]
33. Банахевич К., Массарон Л. Книга Kaggle. Машинное обучение и анализ данных. Пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2024. 448 с. [Banachevich K, Massaron L. Kaggle book. Machine learning and data analysis. Translated from English St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2024. 448 p. (In Russ.)]
34. Совместная лаборатория Google. [интернет]. Доступно по: <https://colab.google> Ссылка активна на 29.05.2025 [Google's Collaborative Lab. [Internet]. Available at: <https://colab.google> Accessed 29.05.2025. (In Russ.)]
35. Документация по PyTorch: Официальный сайт [интернет]. Доступно по: <https://pytorch.org/docs/stable/index.html> Ссылка активна на 29.06.2025 [Pwtorch Documentation: Official website [Internet]. Available at: <https://pytorch.org/docs/stable/index.html> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
36. Архитектуры ResNet-18 и ResNet-50. [интернет]. Доступно по: [https://proproprogs.ru/nn\\_pytorch/pytorch-arhitektury-resnet-18-i-resnet-50](https://proproprogs.ru/nn_pytorch/pytorch-arhitektury-resnet-18-i-resnet-50) Ссылка активна на 29.06.2025 [ResNet-18 and ResNet-50 architectures. [Internet]. Available at: [https://proproprogs.ru/nn\\_pytorch/pytorch-arhitektury-resnet-18-i-resnet-50](https://proproprogs.ru/nn_pytorch/pytorch-arhitektury-resnet-18-i-resnet-50) Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
37. Флориан Д. Алгоритм оптимизации: от SGD до Adam. [интернет]. Доступно по: [https://medium.com/@florian\\_algo/optimization-algorithm-from-sgd-to-adam-50ea22187951](https://medium.com/@florian_algo/optimization-algorithm-from-sgd-to-adam-50ea22187951) Ссылка активна на 29.06.2025. [Florian J. Optimization algorithm: from SGD to Adam. [Internet]. Available at: [https://medium.com/@florian\\_algo/optimization-algorithm-from-sgd-to-adam-50ea22187951](https://medium.com/@florian_algo/optimization-algorithm-from-sgd-to-adam-50ea22187951) Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
38. Амар Р. Реализуем и сравниваем оптимизаторы моделей в глубоком обучении. Блог компании Skillfactory. [интернет]. Доступно по: <https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/525214> Ссылка активна на 29.06.2025. [Amar R. We implement and compare model optimizers in deep learning. The blog of the Skillfactory company. [Internet]. Available at: <https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/525214> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]

39. Деваль Ш. Потери перекрёстной энтропии: введение, приложения, код. [интернет]. Доступно по: <https://www.v7labs.com/blog/cross-entropy-loss-guide> Ссылка активна на 29.06.2025. [Deval S. Cross-entropy losses: introduction, applications, code. [Internet]. Available at: <https://www.v7labs.com/blog/cross-entropy-loss-guide> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
40. Сачин П. Интуитивное руководство по дополнению данных в глубоком обучении – техники с примерами. [интернет]. Доступно по: <https://geekpython.in/data-augmentation-in-deep-learning> Ссылка активна на 29.06.2025. [Sachin P. Intuitive Guide to Data Augmentation in Deep Learning – Techniques with examples. [Internet]. Available at: <https://geekpython.in/data-augmentation-in-deep-learning> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
41. Аман Х. Балансировка классов в машинном обучении. [интернет]. Доступно по: <https://thecleverprogrammer.com/2021/04/25/class-balancing-in-machine-learning> Ссылка активна на 29.06.2025. [Aman Kh. Class Balancing in Machine Learning. [Internet]. Available at: <https://thecleverprogrammer.com/2021/04/25/class-balancing-in-machine-learning> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
42. Вальцев А. Как правильно визуализировать данные в работе. Курсы и материалы от SF Education. [интернет]. Доступно по: <https://blog.sf.education/kak-pravilno-vizualizirovat-dannye-v-data-science> Ссылка активна на 29.06.2025. [How to properly visualize data at work. Courses and materials from SF Education. [Internet]. Available at: <https://blog.sf.education/kak-pravilno-vizualizirovat-dannye-v-data-science> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
43. Выговская Н.В. Обнаружение сколиоза и спондилолистеза по рентгеновским снимкам позвоночника с визуализацией результатов обучения модели [интернет]. Доступно по: [https://github.com/YgovskayaNatalya/Al\\_system\\_diagnostic\\_Scoliosis\\_Spond/blob/main/%D0%A4%D0%98%D0%9D%D0%90%D0%9B\\_%D1%81\\_%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D1%83%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7\\_%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%BD\\_ResNet50\\_aug\\_balans\\_95\\_.ipynb](https://github.com/YgovskayaNatalya/Al_system_diagnostic_Scoliosis_Spond/blob/main/%D0%A4%D0%98%D0%9D%D0%90%D0%9B_%D1%81_%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D1%83%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7_%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%BD_ResNet50_aug_balans_95_.ipynb) Ссылка активна на 29.06.2025.
44. Фредерик фон Лен. Точность и потери устного перевода: обучение/валидация. [интернет]. Доступно по: <https://medium.com/@frederik.vl/interpreting-training-validation-accuracy-and-loss-cf16f0d5329f> Ссылка активна на 29.06.2025. [Frederik vom Lehn Interpreting Training/Validation Accuracy and Loss. Nov 7, 2023 [Internet]. Available at: <https://medium.com/@frederik.vl/interpreting-training-validation-accuracy-and-loss-cf16f0d5329f> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
45. Матрица ошибок `confusion_matrix()` в `scikit-learn`. Хабр. [интернет]. Доступно по: <https://habr.com/ru/articles/868636> Ссылка активна на 29.06.2025. [Error matrix `confusion_matrix()` in `scikit-learn`. Habr. [Internet]. Available at: <https://habr.com/ru/articles/868636> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
46. Aiogram Documentation. Release 3.20.0. post0 aiogram Team. Official website. Available at: [https://aiogram.readthedocs.io/\\_/downloads/en/latest/pdf/](https://aiogram.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/) Accessed April 29, 2025.
47. Руководство по FastAPI. Документация по FastAPI. Доступно по: <https://rhkina.gitlab.io/fastapi/> Ссылка активна на 29.06.2025. [Guide to FastAPI. Documentation FastAPI. Available at: <https://rhkina.gitlab.io/fastapi/> Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
48. Каталог ИИ сервисов. Платформа МосМедИИ. Доступно по: [https://mosmed.ai/service\\_catalog/](https://mosmed.ai/service_catalog/) Ссылка активна на 29.06.2025. [Service catalogs AI. The Med. AI platform. Available at: [https://mosmed.ai/service\\_catalog/](https://mosmed.ai/service_catalog/) Accessed 29.06.2025. (In Russ.)]
49. Ваньков В.В., Артемова О.Р., Карпов О.Э. и др. Итоги внедрения искусственного интеллекта в здравоохранении России // Врач и информационные технологии. – 2024. – №3. – С.32-43. [Vankov VV, Artemova OR, Karpov OE, et al. Results of the implementation of artificial intelligence in the Russian healthcare. Medical doctor and information technologies. 2024; 3: 32-43. (In Russ.)] doi: 10.25881/18110193\_2024\_3\_32.