

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-209-217>
УДК 616.24-082-073.75:004.8

Оценка эффективности использования технологий искусственного интеллекта для скрининга заболеваний легких в муниципальной больнице

Е.А. Бородулина¹, Ю.Т. Гогоберидзе², И.А. Просвиркин², Б.Б. Бородулин¹,
Е.С. Вдоушкина¹, Л.В. Поваляева¹, К.В. Жилинская¹, Е.И. Поваляев³,
С.И. Карась⁴

¹ Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации (СамГМУ Минздрава России), 443099, Российская Федерация, Самара, ул. Чапаевская, 89

² Общество с ограниченной ответственностью «ФтизисБиоМед» (ООО «ФтизисБиоМед»), 422980, Российская Федерация, Республика Татарстан, Чистополь, ул. К. Маркса, 135

³ Частное учреждение образовательная организация высшего образования Медицинский университет «Реавиз», 443030, Российская Федерация, Самара, ул. Чкалова, 100

⁴ Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (НИИ кардиологии Томского НИМЦ), 634012, Российская Федерация, Томск, ул. Киевская, 111а

Аннотация

Актуальность. Для организации скрининговых обследований населения на туберкулез легких разработаны и зарегистрированы сервисы, основанные на применении технологий искусственного интеллекта (ИИ-сервисы).

Цель: оценить диагностические метрики и производительность ИИ-сервиса производства ООО «ФтизисБиоМед» как системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) в рамках рутинной клинической практики в муниципальной больнице.

Материал и методы. Индекс-тест проводили на программном обеспечении «Программа автоматизированного анализа цифровых рентгенограмм органов грудной клетки / флюорограмм по ТУ 62.01.29-001-96876180-2019».

Результаты. Индекс-тест ИИ-сервиса как СППВР показал высокие значения операционных характеристик (чувствительность 96%, специфичность 61%), значительную экономию времени, затраченного на формирование заключений, высокую скорость передачи данных. Выбор оптимальной точки разделения для проведения скрининга целесообразен на основе метрики максимизации прогностической ценности отрицательного результата (максимизации чувствительности). При сравнении диагностической эффективности решений ИИ-сервиса и врачей показано, что площадь под ROC-кривой заключений ИИ-сервиса (0,91–0,93) не уступает аналогичному показателю квалифицированных врачей-рентгенологов (0,78–0,91, согласно данным литературы).

Обсуждение. Использование ИИ-сервиса позволяет значительно экономить время, необходимое для анализа одного рентгеновского снимка, что особенно важно для быстрой диагностики в рамках скрининговых программ. Использование ИИ-сервиса с высокой диагностической эффективностью расширяет возможности рентгенологов и свидетельствует о переходе на новый уровень качества оказания медицинской помощи. Высокая скорость передачи данных позволяет улучшить координацию между медицинским персоналом и обеспечивает более оперативное принятие решений в отношении пациентов.

Выводы. Выявление патологических изменений на рентгенограммах пациентов с применением ИИ-сервиса имеет высокую диагностическую эффективность и может быть использовано в рамках программ скрининга населения на заболевания легких.

Ключевые слова:

искусственный интеллект; Web-сервис; флюорограмма; рентгенограмма; заболевания легких; распознавание изображений; принятие диагностических решений; программы скрининга.

[✉] Бородулина Елена Александровна, e-mail: borodulinbe@yandex.ru.

Финансирование:	работа выполнена в рамках комплексной научной темы кафедры фтизиатрии и пульмонологии ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации «Поражение легких инфекционной этиологии. Совершенствование методов выявления, диагностики и лечения» (14.05.2021 г.).
Ресурсная поддержка:	ООО «ФтизисБиоМед».
Для цитирования:	Бородулина Е.А., Гогоберидзе Ю.Т., Просвиркин И.А., Бородулин Б.Б., Вдоушкина Е.С., Поваляева Л.В., Жилинская К.В., Поваляев Е.И., Карась С.И. Оценка эффективности использования технологий искусственного интеллекта для скрининга заболеваний легких в муниципальной больнице. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2025;40(1):209–217. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-209-217 .

Effectiveness of artificial intelligence for lung disease screening in a municipal hospital

Elena A. Borodulina¹, Yuri T. Gogoberidze², Ilya A. Prosvirkin²,
Boris B. Borodulin¹, Elizaveta S. Vdoushkina¹, Ludmila V. Povalyaeva¹,
Kristina V. Zhilinskay¹, Egor I. Povalyaev³, Sergey I. Karas⁴

¹ Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (SAMSU), 89, Chapayevskaya str., Samara, 443099, Russian Federation

² Company “FtizisBioMed”, 135, K. Marksa str., Chistopol, 422980, Republic of Tatarstan, Russian Federation

³ Private Institution Educational Organization of Higher Education “Medical University “Reaviz”, 100, Chkalova str., Samara, 443030, Russian Federation

⁴ Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC), 111a, Kievskaya str., Tomsk, 634012, Russian Federation

Abstract

Background. To organize screening of the population for pulmonary tuberculosis, services based on the use of artificial intelligence technologies (AI services) have been developed and registered.

Aim: To evaluate diagnostic metrics and performance of the AI-service as medical decision support system within the framework of routine clinical practice at the scale of a municipal hospital.

Material and Methods. The index test was conducted using the software “Automated analysis program for digital chest X-ray / fluorography images according to TU 62.01.29-001-96876180-2019” produced by LLC “PhthisisBiomed”.

Results. The index test of the AI service as a system for supporting medical decision-making showed high values of operational characteristics (sensitivity 96%, specificity 61%), significant savings in the time spent on forming conclusions, and high data transfer rate. The choice of the optimal separation point for screening is reasonably based on the metric of maximizing the predictive value of a negative result (sensitivity maximization). When comparing the diagnostic efficiency of AI-service solutions and physicians, it is shown that the area under the ROC curve of AI-service conclusions (0.91–0.93) is not inferior to that of qualified radiologists (0.78-0.91 according to the literature).

Discussion. The use of AI service allows to significantly save the time required to analyze one X-ray image, which is especially important for rapid diagnostics within the framework of screening programs. The use of AI service with high diagnostic efficiency expands the capabilities of radiologists and indicates a transition to a new level of quality of medical care. High speed data transfer allows for better coordination between medical staff and enables faster decision-making for patients.

Conclusions. Detection of pathological changes on radiographs of patients using AI-service has high diagnostic efficiency and can be used within the framework of population screening programs for lung diseases.

Keywords: artificial intelligence; Web- service; fluorography; X-ray; lung diseases; image recognition; diagnostic decision making; screening program.

Funding:	the work was performed within the framework of a comprehensive scientific topic of the Department of Phthysiology and Pulmonology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation "Lung lesion of infectious etiology. Improvement of methods of detection, diagnosis and treatment" (05.14.2021).
Resource support:	LLC "Phthisisbiomed".
For citation:	Borodulina E.A., Gogoberidze Y.T., Prosvirkin I.A., Borodulin B.B., Vdoushkina E.S., Povalyaeva L.V., Zhilinskay K.V., Povalyaev E.I., Karas S.I. Effectiveness of artificial intelligence for lung disease screening in a municipal hospital. <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2025;40(1):209–217. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-209-217 .

Введение

В настоящее время в период перехода к широкому применению методов цифровой медицины существует множество инновационных направлений, которые внедряются в практическое здравоохранение. К основным из них можно отнести искусственный интеллект (ИИ) и многие его направления; большие данные (Big Data); интернет вещей (всевозможные носимые и измерительные устройства); телемедицину (дистанционное предоставление медицинских услуг). Медицина, основанная на технологиях сбора больших данных, машинного обучения и ИИ, обладает значительным потенциалом для улучшения качества оказания врачебной помощи [1].

В настоящее время одним из основных трендов цифровизации здравоохранения является использование методов и средств ИИ и новых информационных технологий для поддержки принятия решений в данной области. При этом в части медицинских технологий все больше внимания уделяется пациент-ориентированному подходу [2].

Внедрение ИИ в медицину и здравоохранение сопровождается определенным спектром рисков, связанных с неточностью данных, их защищенностью и этической стороной вопроса [3]. Президентом Российской Федерации по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта» от 29 января 2023 г. даны поручения, касающиеся внедрения технологий ИИ, в том числе в области здравоохранения, предполагающие обеспечение использования результатов работы ИИ в клинических рекомендациях и системе обязательного медицинского страхования¹.

Сервисы ИИ зарекомендовали себя в качестве надежной системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) в ходе длительного Московского эксперимента². В рамках эксперимента ИИ-сервисы в области рентгенографии демонстрировали высокие показатели метрик точности, а также скорости обработки медицинских изображений. Эксперимент показал потенциал ИИ-сервисов для автоматизации диагностических процессов и инструментов, позволяющих облегчить рутинную работу врача.

На нынешнем этапе развития ИИ-сервисы посредством методов компьютерного зрения могут выделять области медицинских изображений, содержащих возможные патологии, а также делать заключения о типах возможных патологий. Заключения ИИ базируются на

определенной архитектуре модели и предобучении на выборках, созданных совместно специалистами в отрасли информационных технологий и врачами высочайшего класса. При этом всегда конечное решение остается за врачом.

Перспективным направлением цифровизации медицины стала организация скрининговых обследований населения методами лучевой диагностики, прежде всего на туберкулез [4–8]. Одним из надежных способов своевременного выявления туберкулеза у взрослых в нашей стране является скрининг населения с помощью методов цифровой флюорографии. Переход на цифровую флюорографию доказал преимущества перед ранее существовавшей пленочной крупнокадровой флюорографией и заложил основы для дальнейшего совершенствования программ по скринингу туберкулеза [9]. Преимущества цифровой флюорографии в настоящее время очевидны (хранение, экономичность, возможность просмотра результата на мониторе аппарата, передача результата как по локальной сети, так и его распечатка при необходимости). Тем не менее, существующий до настоящего времени в рамках цифровой флюорографии метод «двойного чтения» является достаточно затратным для государства (Приказ Министерства здравоохранения РФ от 9 июня 2020 г. № 560н «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований»). «Пропуск патологии», связанный с человеческим фактором, до сих пор имеет место, что в лучшем случае приводит к несвоевременному выявлению туберкулеза.

Скрининг является рутинно повторяющимся исследованием с определенными требованиями к медицинскому заключению, где необходимость решения задач, повышения скорости выдачи заключения и снижения стоимости услуги побудила научную общественность к множественным проектам по тематике «цифровое зрение» и ИИ [10]. В последние годы созданы несколько продуктов на основе технологий ИИ для практического применения. Некоторые из них прошли клинические испытания, получили регистрационное удостоверение Росздравнадзора и официальный статус медицинского изделия [11].

Цель работы: оценить диагностическую эффективность и производительность ИИ-сервиса как СППВР в рамках рутинной клинической практики муниципальной больницы.

¹ Перечень поручений по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта» от 29 января 2023 г. № Пр-172. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/70418> (25.11.2024).

² Платформа <https://mosmed.ai>. Эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения Москвы; официальный сайт. URL: <https://mosmed.ai/ai/> (25.11.2024).

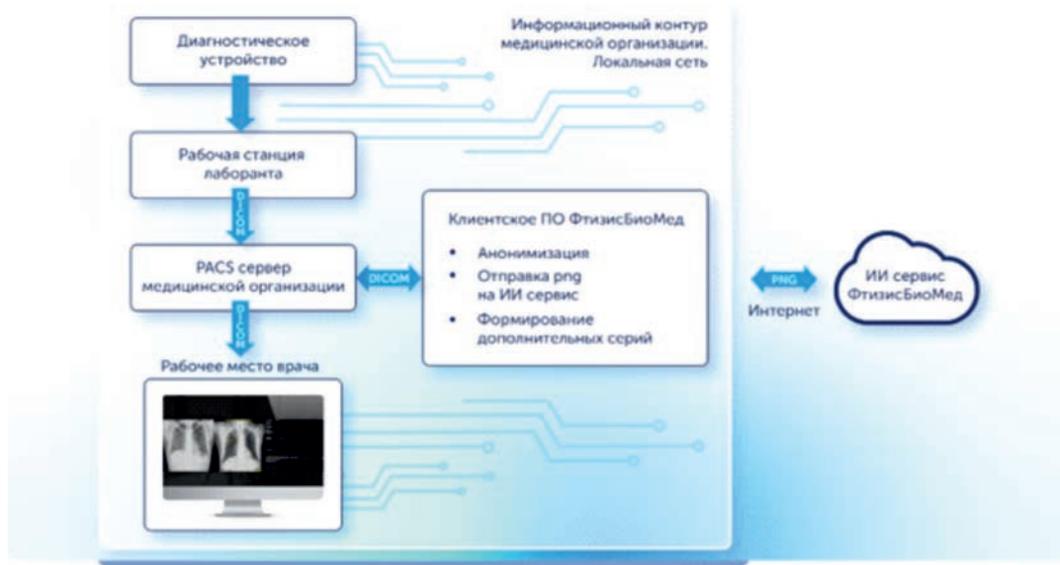


Рис. 1. Схема интеграции ИИ-сервиса «ФтизисБиоМед»
Fig. 1. Integration scheme of the AI-service "PhthisisBioMed"

Материал и методы

Исследование осуществлялось в рамках пилотного проекта, проводимого в течение 3 мес. (ноябрь 2023 г. – февраль 2024 г.) в Государственном бюджетном учреждении здравоохранения «Самарская городская больница № 4» (далее ГБУЗ СО «СГБ № 4»). В больнице имеются два пульмонологических отделения на 150 коек, работающих в круглосуточном режиме экстренной пульмонологической помощи. Методом сплошной выборки в исследование включались все пациенты, проходящие обследование органов грудной клетки как при флюорографии в рамках диспансеризации населения, так и с жалобами респираторного характера, проходящие через поликлинику, приемный покой и при госпитализации в пульмонологическое отделение. Из анализа исключались исследования, не отвечающие стандартам, с неправильным положением пациента, низким качеством, а также те, в которых нецелевые части тела занимали значительную площадь. Всего было отобрано 2 345 исследований.

Для работы использовался ИИ-сервис «ФтизисБиоМед» (регистрационное удостоверение на медицинское изделие № РЗН 2022/17406 от 31 мая 2022 г.). Сервис представляет сложную многоблочную структуру, содержащую нейросетевые алгоритмы выявления патологических изменений на рентгенологических / флюорографических снимках [12]. В рамках пилотного проекта в информационную среду ГБУЗ СО «СГБ № 4» была интегрирована версия 3.3 ИИ-сервиса «ФтизисБиоМед». Основной работы интеллектуального блока ИИ-сервиса является сверточная нейронная сеть, обученная для детекции и локализации легочных патологий. Дополнительным элементом является многослойный нейросетевой классификатор, который выполнял функции распознавания классов патологий, детектированных и локализованных на изображениях.

После проведения рентгенографии пациента результат автоматически отправлялся на обработку в сервис

«ФтизисБиоМед» и одновременно врачу рентгенологического кабинета. Оценивалось время получения врачом больницы результатов обработки в секундах и совпадение результатов обработки сервисом «ФтизисБиоМед» с заключением врача (рис. 1). В случаях несовпадения результатов врача-рентгенолога и ИИ привлекался ведущий рентгенологическим отделением, врач-рентгенолог высшей категории. После завершения обработки всех рентгенограмм проводилась оценка специфичности и чувствительности решений ИИ-сервиса с построением ROC-кривой.

Результаты

Анализируемая выборка, которая включала 2 345 исследований органов грудной клетки, была получена из всех исследований, оцененных ИИ-сервисом за период с ноября 2023 г. по февраль 2024 г. Основной задачей на данном этапе была выдача бинарного заключения – «С патологией» / «Без патологии», которое формировалось СППВР автоматически, а врачом-рентгенологом по заключению в медицинской карте.

Методика испытаний заключалась в сравнении результатов обработки выборки (индекс-теста) ИИ-сервисом (рис. 2) и заключений врача в бинарной форме³.

Проведено сопоставление между бинарными заключениями («С патологией» / «Без патологии») врача и ИИ-сервиса. В соответствии с заключениями врача к классу «С патологией» отнесено 1 366, к классу «Без патологии» – 979 изображений.

Далее для выборки из 2 345 изображений получены оценки диагностической эффективности с использованием разных метрик (таблица). Отметим, что значения операционных характеристик различаются в зависимости от метода определения оптимального порога активации ИИ-сервиса. Для классификатора нейронной сети активацией называется выходное значение в интервале от 0 до 1, являющееся мерой вероятности принадлежности ана-

³ Морозов С.П., Владимирский А.В., Кляшторный В.Г., Кляшторный В.Г., Андрейченко А.Е., Кульберг Н.С. и др. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). Методические рекомендации № 43. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». 2019;57:51. ISSN 2618-7124.



Рис. 2. Схема процесса анализа исследования (индекс-теста)
Fig. 2. Flow chart of the research analysis process

Таблица. Метрики диагностической эффективности сервиса (доверительный интервал: 95%)
Table. Diagnostic efficiency metrics of the service (confidence interval: 95%)

№	Наименование	Значение, полученное на выборке данных		
		индекс Юдена (YI)	Метод определения оптимального порога	
			Максимизации прогностической ценности отрицательного результата (max NPV)	Минимизации расстояния до точки (0;1) (min dist.)
1	Значение площади под ROC-кривой (AUC)	0,92 (0,91–0,93)		
2	Точность	0,87	0,81	0,87
3	Чувствительность	0,87	0,96	0,87
4	Специфичность	0,87	0,61	0,87
5	Удельный вес ложноотрицательных результатов	0,13	0,04	0,13
6	Удельный вес ложноположительных результатов	0,13	0,39	0,13
7	Оптимальный порог	0,63	0,14	0,63

лизируемого объекта к тому или иному классу. В данном случае эта величина отражает уверенность классификатора нейронной сети в том, что патологический признак присутствует на исследуемом изображении, в интервале от 1 (патология точно присутствует) до 0 (патологии точно нет). Для задач скрининга наиболее рационально выбирать тот из порогов, который приводит к наименьшей вероятности пропуска патологии, т. е. наибольшей чувствительности. Это означает, что для задач скрининга максимизация прогностической ценности отрицательного результата оптимальна для выбора порога, невзирая на небольшое снижение общей точности. Таким образом, для применения ИИ-сервиса «ФтизисБиоМед» при скрининге надо использовать порог 0,14, приводящий к чувствительности метода в 96% и специфичности в 61%.

Согласно принятой схеме интеграции ИИ-сервиса «ФтизисБиоМед» в рутинную клиническую практику, результаты работы СППВР предоставляются врачу в том же интерфейсе, в котором врач привычно описывает исследование. Это позволяет исключить дополнительные

операции для ознакомления с результатом ИИ. Время доставки результатов работы ИИ врачу определяется пропускной способностью интернет-канала и на практике составляет от 13 до 25 с для ГБУЗ СО «СГБ № 4» (рис. 3).

На основании полученных данных построена ROC-кривая, являющаяся интегральной характеристикой диагностической эффективности сервиса (рис. 4).

Согласно исследованию, проведенному сотрудниками Сеульского национального университета, площадь под ROC-кривой заключений квалифицированных специалистов-рентгенологов (area under curve, AUC) составляет 0,781–0,907 [13]. Данный показатель не превышает площадь под ROC-кривой (0,91–0,93), согласно результатам использования ИИ-сервиса «ФтизисБиоМед» на исследованной выборке изображений.

В рамках пилотного проекта выборочно оценивались конкретные случаи совпадений и расхождений заключений врачей и ИИ-сервиса. Поскольку ИИ-сервис способен выдавать заключения в виде оригинального изображения с разметкой контурами потенциально патологических об-

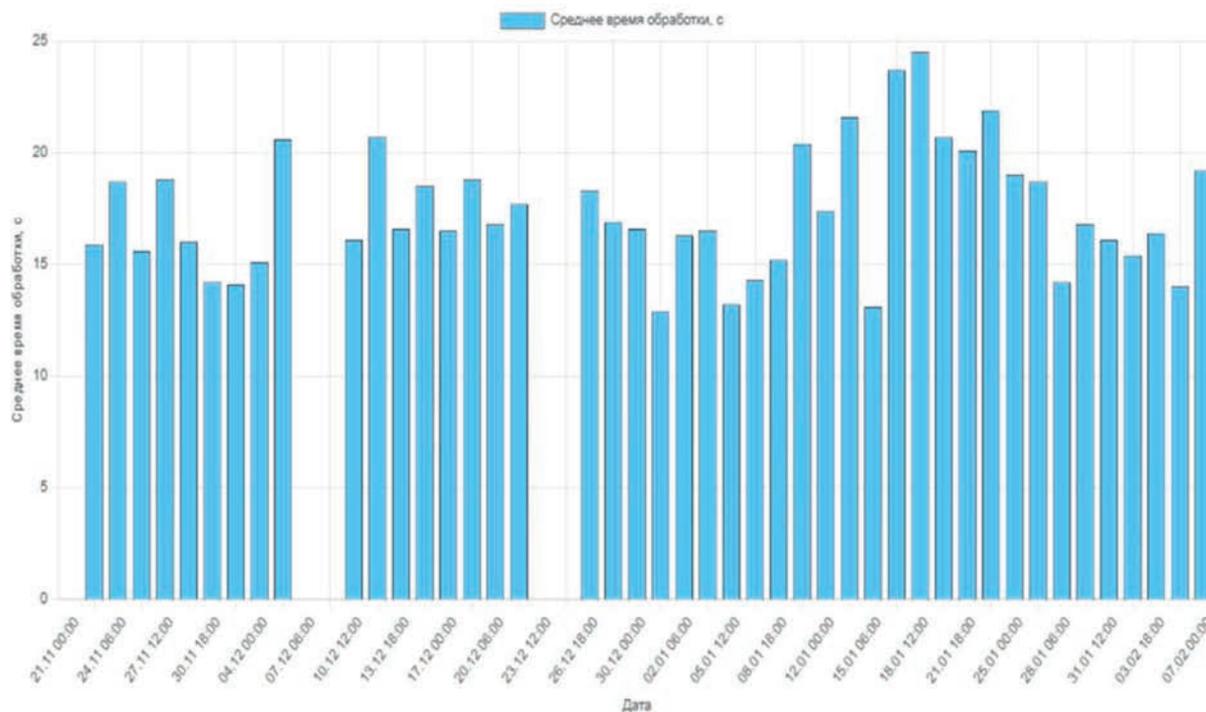


Рис. 3. Среднее время обработки исследований ИИ-сервисом по дням
Fig. 3. Average research processing time by the AI-service by day

ластей, для специалистов существовала возможность визуального подтверждения эффективности ИИ. В трех случаях заключений проводилась повторная оценка коллегиально двумя врачами экспертами.

На рисунке 5 представлены результаты рентгенографии случая 1 с описанием врача: «На рентгенограммах грудной клетки в прямой и боковой проекциях определяется: легкие без очаговых и инфильтративных изменений. Корни легких – структурные, не расширены, куполы диафрагмы ровные. Синусы свободные. Тень сердца расширена влево. Аорта склерозирована. Межреберные промежутки симметричны. Костных травматических изменений не выявлено». Заключение врача: «легкие без очаговых и инфильтративных изменений» отличается от заключения ИИ: «выделена зона, обозначенная как инфильтрация».

На рисунке 6 представлены результаты рентгенографии случая 2 с описанием врача: «На рентгенограммах грудной клетки в прямой и боковой проекциях определяется: в правом легком в средней и нижней долях участки инфильтрации легочной ткани. В левом легком усиление легочного рисунка в нижних отделах. Корни легких структурные, не расширены. Куполы диафрагмы ровные. Синусы свободные. тень сердца не расширена. Аорта не изменена. Межреберные промежутки симметричны. Костных травматических изменений не выявлено». Заключение врача: «правосторонняя полисегментарная пневмония». Заключение ИИ: «инфильтрация / консолидация». Данный случай представляет собой согласие в оценках врача и ИИ-сервиса.

На рисунке 7 представлены результаты рентгенографии случая 3 с описанием врача: «На рентгенограммах грудной клетки в прямой и боковой проекциях определяется: в правом легком в нижней доле участки инфильтрации легочной ткани. Корни легких структурные, не расширены. Купола диафрагмы ровные. Синусы свободные. Тень сердца не расширена. Аорта не изменена. Межре-

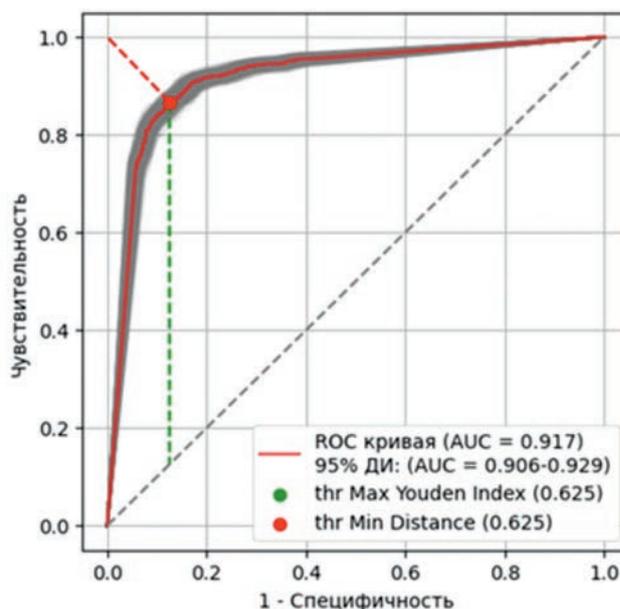


Рис. 4. ROC-кривая, построенная на основании обработки сервисом 2345 изображений
Fig. 4. ROC curve constructed based on the processing of a set of 2345 images by the AI-service

берные промежутки симметричны. Костных травматических изменений не выявлено». Заключение врача: «правосторонняя нижнедолевая пневмония». Заключение ИИ: норма. Данный случай демонстрирует разногласие в оценках врача и ИИ-сервиса и требует дополнительных клинических заключений. Три независимых врача дали заключение об отсутствии патологии в легких, таким образом, при независимой оценке случая тремя врачами принято заключение ИИ.

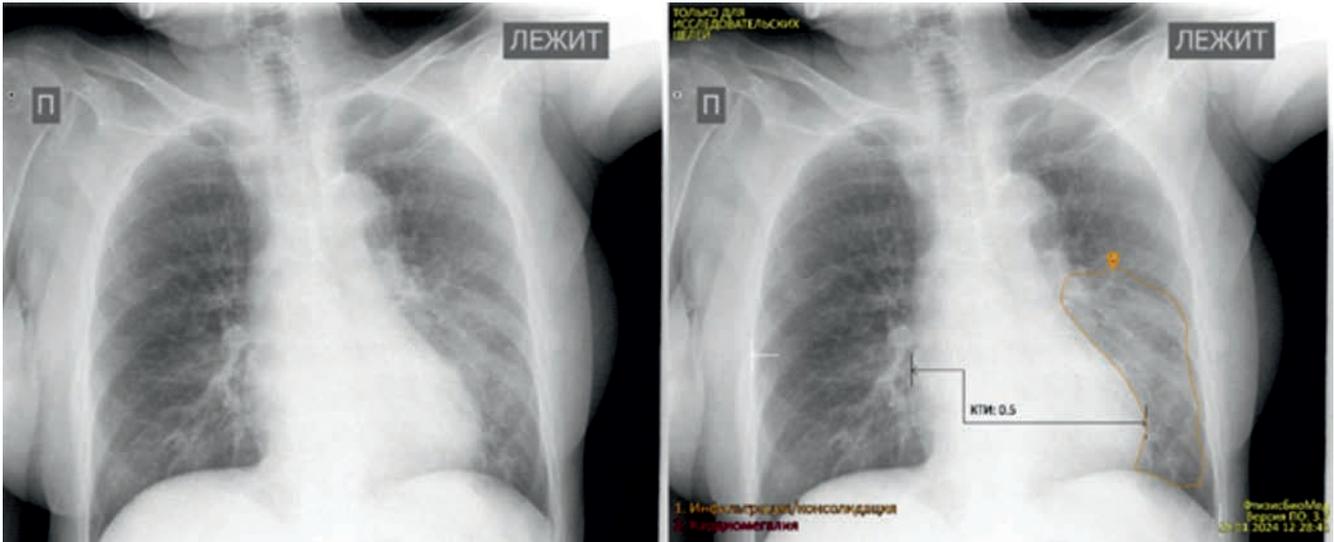


Рис. 5. Результаты рентгенографии случая 1
Fig. 5. Chest X-ray results of case 1

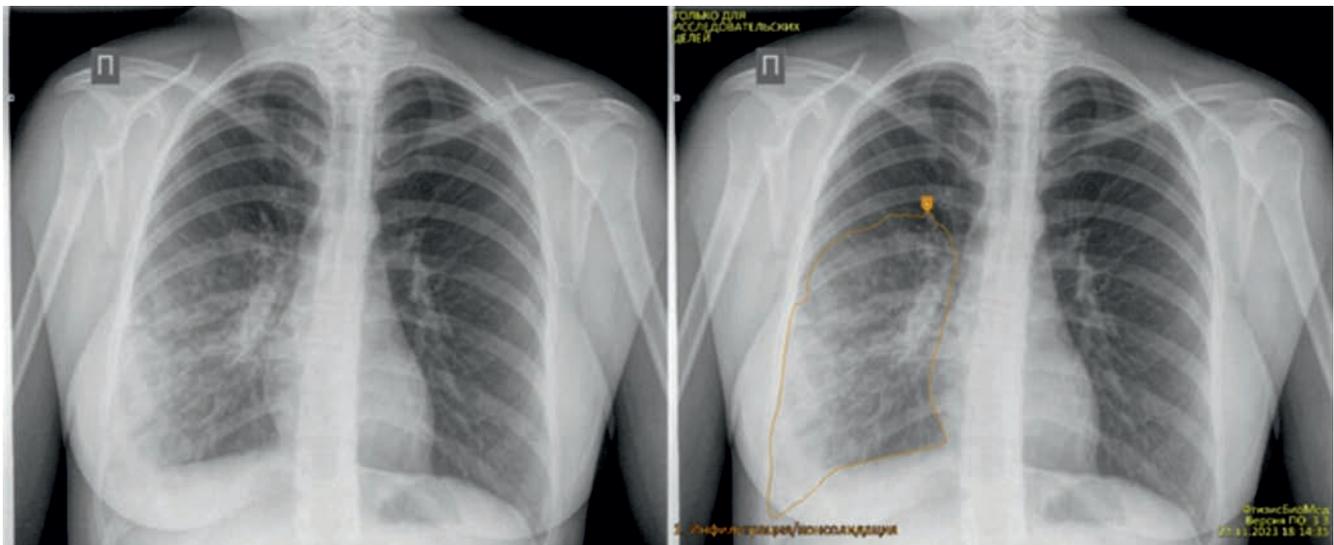


Рис. 6. Результаты рентгенографии случая 2
Fig. 6. Chest X-ray results of case 2



Рис. 7. Результаты рентгенографии случая 3
Fig. 7. Chest X-ray results of case 3

Обсуждение

Ограничениями данного исследования являются:

1. Исследование осуществлялось исключительно на снимках, полученных в СГБ № 4 в определенный период (ноябрь 2023 г. – февраль 2024 г.). Исследование популяции не проводилось, неизвестна степень репрезентативности исследованной выборки в отношении популяции г. Самары, Самарской области или Российской Федерации.

2. Референс-тестом для исследования диагностических метрик ИИ-сервиса были заключения врачей, непосредственно проводящих скрининг, переведенные в бинарный формат. Второе мнение относительно данных заключений не предоставлялось за исключением нескольких случаев, описанных в разделе «Результаты».

3. В качестве разметки выборки присутствовали только текстовые описания врачами, отсутствовали эталонные локализации патологических областей на изображениях, поэтому невозможно было получить численные значения метрик точности локализации.

В целом, по результатам пилотного проекта можно заключить, что сервис достиг показателей метрик точности, не уступающих врачу, выполняющему скрининговые исследования. Более того, в результате пересмотра части исследований независимые специалисты заключили, что в некоторых спорных случаях сервис позволяет дать более точное заключение, чем врач. Время анализа и доставки результатов обработки исследования ИИ-сервисом «ФтизисБиоМед» составляет менее 25 с, что дает возможность использовать его в качестве инструмента СППВР при скрининге.

Природа ошибок врача и ИИ при формировании мнения различна, при этом метрики сопоставимы. Таким образом, с одной стороны, ошибки ИИ зачастую очевидны для врача, а с другой стороны, ИИ-сервис может сфокуси-

ровать внимание врача на неочевидной патологической области, которая могла быть потенциально пропущена врачом. Объединение врача и ИИ в систему способно породить синергетический эффект. Данный эффект с высокой вероятностью позволит увеличить точность и скорость скрининга.

Заключение

Выявление патологических изменений на рентгенограммах пациентов с использованием ИИ-сервиса показало высокую диагностическую эффективность и возможность использования в рамках программ скрининга населения на заболевания легких. Диагностическая эффективность этого программного продукта сопоставима с результатами, представленными квалифицированными специалистами-рентгенологами, что делает его перспективным для широкого применения в лечебных учреждениях. Выбор оптимальной точки разделения для проведения скрининга целесообразно на основе метрики максимизации прогностической ценности отрицательного результата (максимизации чувствительности).

Таким образом, данное исследование показало, что СППВР на базе технологий ИИ позволяет снизить нагрузку на врача-рентгенолога и ускорить процесс получения медицинского заключения. Использование таких подходов расширяет возможности рентгенологов и способствует переходу на новый современный уровень работы, соответствующий стратегии развития науки и техники в мире.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность д-ру техн. наук В.И. Классену и канд. техн. наук М.Я. Натензону за полезные дискуссии и технические консультации.

Литература / References

1. Афанасьева Е.Н. Искусственный интеллект и «большие данные» в здравоохранении: области применения и гражданско-правовое регулирование. *Юридическая наука и практика*. 2020;16(3):40–49. Afanasyeva E. N. Artificial Intelligence and Big Data in Healthcare: Applications and Legal Regulation. *Juridical Science and Practice*. 2020;16(3):40–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.25205/2542-0410-2020-16-3-40-49>
2. Гольдина Т.А., Бурмистров В.А., Ефименко И.В., Хорошевский В.Ф. Искусственный интеллект в здравоохранении: real world data и patient voice – готовы ли мы к новым реалиям? *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2021;2(43):22–31. Goldina TA, Burmistrov VA, Efimenko IV, Khoroshevskiy V.F. Artificial Intelligence in Healthcare: Real World Data and Patient Voice – Are We Ready for New Realities? *Medical Technologies. Assessment and Choice*. 2021;43(2):22–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/med-tech20214302122>
3. Аликрепова Н.В. Искусственный интеллект в здравоохранении: риски и возможности. *Здоровье мегаполиса*. 2023; 4(3):41–49. Alikperova N.V. Artificial intelligence in healthcare: risks and opportunities. *Health of the megapolis*. 2023;4(3):41–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2023.v.4i3:41-49>
4. Melendez J. Sánchez C.I. Philipsen R.H., Maduskar P., Dawson R., Theron G. et al. An automated tuberculosis screening strategy combining X-ray-based computer-aided detection and clinical information. *Sci. Rep*. 2016;29(6):25265. <https://doi.org/10.1038/srep25265>
5. Rahman M.T., Codlin A.J., Rahman M.M., Nahar A., Reja M., Islam T. et al. An evaluation of automated chest radiography reading software for tuberculosis screening among public- and private-sector patients. *Eur. Respir*. 2017;49. <https://doi.org/10.1183/13993003.02159-2016>
6. Lakhani P., Sundaram B. Deep learning at chest radiography: automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks. *Radiology*. 2017;284(2):574–582. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017162326>
7. Jaeger S., Juarez-Espinosa O.H., Candemir S., Poostchi M., Yang F., Kim L. et al. Detecting drug-resistant tuberculosis in chest radiographs. *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg*. 2018;13(12):1915–1925. <https://doi.org/10.1007/s11548-018-1857-9>
8. Vajda S., Karargyris A., Jaeger S., Santosh Kc., Candemir S., Xue Zh. et al. Feature selection for automatic tuberculosis screening in frontal chest radiographs. *J. Med. Syst*. 2018;42(8):146. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-018-0991-9>
9. Мирошниченко С.И., Коваленко Ю.Н., Чернецов В.Б. Замена флюорографии на скрининговую цифровую рентгенографию. *Полликлиника*. 2016;6:19–22. Miroshnichenko S.I., Kovalenko Yu.N., Chernetsov V.B. Replacing fluorography with screening digital radiography. *Polyclinic*. 2016;6:19–22. (In Russ.).
10. Арзамасов К.М., Семенов С.С., Кокина Д.Ю., Бобровская Т.М., Павлов Н.А., Кирпичев Ю.С. и др. Критерии применимости компьютерного зрения для профилактических исследований на примере рентгенографии и флюорографии органов грудной клетки. *Медицинская физика*. 2022;4(96):56. Arzamasov K.M., Semenov S.S., Kokina D.Yu., Bobrovskaya T.M., Pavlov N.A., Kirpichev Yu.S. et al. Criteria for the applicability of computer vision for preventive studies using the example of X-ray and fluoroscopy of the organs of the chest. *Medical physics*. 2022;4:96:56. (In Russ.). <https://doi.org/10.52775/1810-200X-2022-96-4-56-63>
11. Гусев А., Морозов С., Лебедев Г., Владимировский А., Зинченко В., Шарова Д. и др. Развитие искусственного интеллекта в здравоохранении в России. Справочная библиотека интеллектуальных систем. 2021:259–279. Gusev A., Morozov S., Lebedev G., Vladimirovsky A., Zinchenko V., Sharova D., et al. The development of artificial intelligence in healthcare in Russia. The reference library of intelligent systems. 2021:259–279. (In Russ.).
12. Гогоберидзе Ю.Т., Классен В.И., Натензон М.Я., Просвиркин И.А., Владимировский А.В., Шарова Д.Е. и др. Искусственный медицинский

интеллект «ФтизисБиоМед». Программа автоматизированного анализа цифровых рентгенограмм органов грудной клетки/флюорограмм. *СТМ*. 2023;15:5.
Gogoberidze Y.T., Klassen V.I., Natanzon M.Y., Prosvirkin I.A., Vladzimirsky A.V., Sharova D.E., et al. PhthisisBioMed artificial medical intelligence: software for automated analysis of digital chest x-ray/fluoro-

grams. *Sovremennye tehnologii v medicine*. 2023;15(4):5. (In Russ.). <https://doi.org/10.17691/stm2023.15.4.01>
13. Hwang E.J., Park S., Jin K., Kim J.I., Choi S.Y., Lee J.H. et al. Development and validation of a deep learning-based automated detection algorithm for major thoracic diseases on chest radiographs. *JAMA Netw. Open*. 2019;2(3):191095. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.1095>

Информация о вкладе авторов

Бородулина Е.А., Гогоберидзе Ю.Т. – формирование плана работы, редактирование статьи.

Просвиркин И.А., Бородулин Б.Б. – сбор и обработка материала, написание текста статьи.

Вдоушкина Е.С., Поваляева Л.В., Жилинская К.В., Поваляев Е.И., – написание статьи, обзор литературы, подготовка и редактирование текста.

Карась С.И. – подготовка и редактирование текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах

Бородулина Елена Александровна, д-р мед. наук, профессор, ведущий кафедрой фтизиатрии и пульмонологии, СамГМУ Минздрава России, Самара, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-3063-1538>.

E-mail: borodulinbe@yandex.ru.

Гогоберидзе Юрий Тенгизович, старший инженер-разработчик, ООО «ФтизисБиоМед», Чистополь, Россия, <http://orcid.org/0009-0001-4879-1521>.

E-mail: gut@vector.ru.

Просвиркин Илья Александрович, канд. техн. наук, ИТ-директор ООО «ФтизисБиоМед», Чистополь, Россия, <http://orcid.org/0009-0008-2391-3714>.

E-mail: pia@vector.ru.

Бородулин Борис Борисович, канд. техн. наук, инженер-программист, центр дистанционных образовательных технологий, ИПО, СамГМУ Минздрава России, Самара, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-8847-9831>.

E-mail: borodulinbb@gmail.com.

Вдоушкина Elizaveta Сергеевна, канд. мед. наук, доцент, кафедра фтизиатрии и пульмонологии, СамГМУ Минздрава России, Самара, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-0039-6829>.

E-mail: chumanovaliza@mail.ru.

Поваляева Людмила Викторовна, канд. мед. наук, доцент, кафедра фтизиатрии и пульмонологии, СамГМУ Минздрава России, Самара, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-2546-1837>.

E-mail: povalyaevalv8@rambler.ru.

Жилинская Кристина Васильевна, ординатор, кафедра фтизиатрии и пульмонологии, СамГМУ Минздрава России, Самара, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-4209-3025>.

E-mail: kristizhilinskay@gmail.com.

Поваляев Егор Игоревич, студент 6-го курса, Медицинский университет «Реавиз», Самара, Россия, <https://orcid.org/0009-0004-1259-3269>.

E-mail: egor_63_crazy@mail.ru.

Карась Сергей Иосифович, д-р мед. наук, доцент, специалист отдела координации научной и образовательной деятельности, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-6716-856X>.

E-mail: ksi@cardio-tomsk.ru.

 **Бородулина Елена Александровна**,
e-mail: borodulinbe@yandex.ru.

Information on author contributions

Borodulina E.A., Gogoberidze Yu.T. – a work plan formation, editing an article.

Prosvirkin I.A., Borodulin B.B. – material collecting and processing, writing an article.

Vdoushkina E.S., Povalyaeva L.V., Zhilinskaya K.V., Povalyaev E.I. – writing an article, literature review, preparing and editing the text.

Karas S.I. – preparing and editing the text.

Conflict of interest: the authors do not declare a conflict of interest.

Information about the authors

Elena A. Borodulina, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Phthisiology and Pulmonology, SAMSU, Samara, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-3063-1538>.

E-mail: borodulinbe@yandex.ru.

Yuri T. Gogoberidze, Senior Development Engineer, FtisBioMed LLC, Republic of Tatarstan, Chistopol, Russia, <http://orcid.org/0009-0001-4879-1521>.

E-mail: gut@vector.ru.

Ilya A. Prosvirkin, Cand. Sci. (Techn.), IT Director of FtisBioMed LLC, Republic of Tatarstan, Chistopol, Russia, <http://orcid.org/0009-0008-2391-3714>.

E-mail: pia@vector.ru.

Boris B. Borodulin, Cand. Sci. (Techn.), Software Engineer, Center for Distance Educational Technologies of the Institute of Postgraduate Education, SAMSU, Samara, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-8847-9831>.

E-mail: borodulinbb@gmail.com.

Elizaveta S. Vdoushkina, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Phthisiology and Pulmonology, SAMSU, Samara, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-0039-6829>.

E-mail: chumanovaliza@mail.ru.

Ludmila V. Povalyaeva, Associate Professor, Department of Phthisiology and Pulmonology, SAMSU, Samara, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-2546-1837>.

E-mail: povalyaevalv8@rambler.ru.

Kristina V. Zhilinskaya, Medical Resident, Department of Phthisiology and Pulmonology, SAMSU, Samara, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-4209-3025>.

E-mail: kristizhilinskay@gmail.com.

Egor I. Povalyaev, 6th-year Student, Private Institution of Higher Education Medical University "Reaviz", Samara, Russia, <https://orcid.org/0009-0004-1259-3269>.

E-mail: egor_63_crazy@mail.ru.

Sergey I. Karas, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Specialist of Department for Research and Training Coordination, Tomsk NRMС, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-6716-856X>.

E-mail: ksi@cardio-tomsk.ru.

 **Elena A. Borodulina**, e-mail: borodulinbe@yandex.ru.

Поступила 16.09.2024;
рецензия получена 20.11.2024;
принята к публикации 04.12.2024.

Received 16.09.2024;
review received 20.11.2024;
accepted for publication 04.12.2024