

## Автономный искусственный интеллект для сортировки результатов профилактических лучевых исследований

© Ю.А. ВАСИЛЬЕВ<sup>1</sup>, И.А. ТЫРОВ<sup>2</sup>, А.В. ВЛАДЗИМИРСКИЙ<sup>1</sup>, И.М. ШУЛЬКИН<sup>1</sup>, К.М. АРЗАМАСОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия;

<sup>2</sup>Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

Рентгенологические методы диагностики играют ключевую роль в скрининге социально значимых заболеваний. Однако в текущем виде организация скрининга сталкивается с рядом проблем: дефицитом кадров и финансовых ресурсов, недостаточным охватом населения, недостаточной доступностью исследований, профессиональным выгоранием врачей. Использование сервисов на основе искусственного интеллекта (ИИ-сервисов), обладающих чувствительностью 100,0%, для автономной сортировки результатов исследований могло бы позволить решить перечисленные проблемы, однако сначала необходимо убедиться, что данные ИИ-сервисы обеспечивают достаточную безопасность и качество скрининга.

**Цель исследования.** Проспективно изучить безопасность и качество автономной сортировки результатов профилактических лучевых исследований в реальных клинических условиях.

**Материал и методы.** Выполнено проспективное одноцентровое слепое диагностическое исследование. В исследование включены результаты 209 497 профилактических рентгенографий/флюорографий. Все исследования обработаны ИИ-сервисами, настроенными на чувствительность 100%. В задачи ИИ-сервисов входила сортировка результатов на категории «норма» и «не норма». Далее выполнено сопоставление решений ИИ-сервисов и врачей-рентгенологов о категорировании.

**Результаты.** Доля дефектов ИИ-сервисов (ложных отнесений результатов исследований к категории «норма») составила 0,08%, доля клинически значимых дефектов ИИ-сервисов — 0,02%. Частота ложных пропусков ИИ-сервисов (0,04%) ниже, чем у усредненного врача-рентгенолога (8,6%). Согласованность решений медицинских изделий на основе ИИ, врачей-рентгенологов, экспертов чрезвычайно высока (каппа Коэна >0,99).

**Выводы.** Доказана возможность автономной сортировки результатов массовых профилактических исследований. Предложена новая модель организации медицинской помощи на основе автономной сортировки результатов профилактических лучевых исследований медицинским изделием на основе ИИ.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, профилактические обследования, лучевая диагностика.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Васильев Ю.А. — <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Тыров И.А. — <https://orcid.org/0000-0001-9337-624X>

Владимирский А.В. — <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Шулькин И.М. — <https://orcid.org/0000-0002-7613-5273>

Арзамасов К.М. — <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>

Автор, ответственный за переписку: Владимирский А.В. — e-mail: [VladimirskijAV@zdrav.mos.ru](mailto:VladimirskijAV@zdrav.mos.ru)

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владимирский А.В., Шулькин И.М., Арзамасов К.М. Автономный искусственный интеллект для сортировки результатов профилактических лучевых исследований. *Профилактическая медицина*. 2024;27(7):23–29. <https://doi.org/10.17116/profmed20242707123>

## Autonomous artificial intelligence for sorting the preventive imaging studies' results

© YU.A. VASILEV<sup>1</sup>, I.A. TYROV<sup>2</sup>, A.V. VLADZYMYRSKY<sup>1</sup>, I.M. SHULKIN<sup>1</sup>, K.M. ARZAMASOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Moscow Health Care Department, Moscow, Russia

### ABSTRACT

Diagnostic radiological methods play a key role in screening of socially significant diseases. Nevertheless, organization of screening in its current form faces a number of challenges: personnel deficiency and lack of financial resources, insufficient population coverage, lack of examinations' accessibility and occupational burnout of doctors. Use of artificial intelligence-based services (AI services) with 100.0% sensitivity for autonomous sorting of studies' results could solve these problems, but it is necessary first of all to make sure that these AI-services provide satisfactory security and screening quality.

**Objective.** To study prospectively the safety and quality of autonomous sorting of preventive imaging studies' results in real-life clinical practice settings.

**Material and methods.** A prospective single-center blind diagnostic study was performed. The study included the results of 209 497 preventive radiographies/fluorographies. All studies were processed with AI-services, configured to 100% sensitivity.

The tasks of AI-services included sorting the results into categories «norm» and «not norm». Thereafter, the solutions of AI-services and radiology doctors about categorization were compared.

**Results.** The proportion of defects of AI-services (false assignment of studies' results to the «norm» category) was 0.08%, the proportion of clinically significant defects of AI-services — 0.02%. The frequency of false omissions in AI-services omissions (0.04%) was lower than in the average radiologist (8.6%). The consistency in the decisions of AI-based medical products, radiologists, experts is extremely high (Cohen's kappa >0.99).

**Conclusions.** The possibility of autonomous sorting of mass preventive studies' results has been proved. A new model of organization of medical care on the basis of autonomous sorting of preventive imaging studies' results by medical product based on artificial intelligence is proposed.

**Keywords:** artificial intelligence, preventive studies, radiology.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Vasilev Yu.A. — <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>

Tyrov I.A. — <https://orcid.org/0000-0001-9337-624X>

Vladzimirskiy A.V. — <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Shulkin I.M. — <https://orcid.org/0000-0002-7613-5273>

Arzamasov K.M. — <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>

**Corresponding author:** Vladzimirskiy A.V. — e-mail: [VladimirskijAV@zdrav.mos.ru](mailto:VladimirskijAV@zdrav.mos.ru)

#### TO CITE THIS ARTICLE:

Vasilev YuA, Tyrov IA, Vladzimirskiy AV, Shulkin IM, Arzamasov KM. Autonomous artificial intelligence for sorting the preventive imaging studies' results. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2024;27(7):23–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed20242707123>

## Введение

Профилактика — одно из ключевых направлений современного здравоохранения, включающее обширную совокупность подходов, методологий, процессов, мероприятий, а также нормативно-правовую основу. В Российской Федерации профилактическая медицина представляет собой многоуровневую систему, которая включает разнообразные способы изучения состояния здоровья населения. Скрининг социально значимых заболеваний, прежде всего онкологических, сердечно-сосудистых, инфекционных (туберкулез), обеспечивает возможность эффективного лечения, вносит существенный вклад в снижение летальности и смертности. В этом контексте именно рентгенологические методы играют ключевую роль. Массовые профилактические осмотры включают проведение лучевых исследований органов грудной клетки (флюорографию (ФЛГ) или цифровую рентгенографию (РГ)) у лиц обоих полов и молочной железы (маммографию) у женщин [1–5]. В данной работе мы сосредоточили внимание на ФЛГ и РГ органов грудной клетки.

Особая и бесспорная важность профилактических исследований сочетается со значительной нагрузкой на систему здравоохранения. Неселективный скрининг подразумевает обследование всего населения, т.е. преимущественно здоровых лиц. Порядка 25,0% всех выполняемых в России лучевых исследований — профилактические, а значит абсолютное большинство их результатов не содержит признаков значимой патологии [6, 7]. Колоссальный кадровый ресурс врачей-рентгенологов занят описанием заведомо «нормальных» изображений, что представляет собой крайне рутинную, механистическую процедуру, ведущую к профессиональному выгоранию [8]. На этом фоне в лучевой диагностике сохраняется серьезный дефицит кадров [6, 9].

Еще более усугубляют ситуацию сообщения о недостаточных объемах профилактических мероприятий. Очевидно, требуется увеличение охвата населения соответствующими исследованиями, однако для этого необходимо еще большее количество и без того дефицитных кадров.

Назрела необходимость реализации нового подхода к организации массовых профилактических осмотров, который позволил бы обеспечить требуемые, в том числе нарастающие объемы исследований на фоне снижения нагрузки на систему здравоохранения (вплоть до полного устранения проблемы кадрового дефицита). Инструментом такого нового подхода может стать автоматизация на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ) [10–12].

В настоящее время в России допущены к обращению несколько медицинских изделий, предназначенных для автоматизированного анализа результатов лучевых исследований [13–18]. С 2020 г. в Москве проводится крупнейшее в мире многоцентровое проспективное исследование применимости и качества технологий компьютерного зрения в лучевой диагностике, уже позволившее получить принципиально новые знания о реальных возможностях и ограничениях ИИ, а также перейти к системному практическому применению наиболее зрелых инструментов на его основе [19].

Такие результаты позволили сделать следующий шаг. Сформулирована следующая концепция. Лучевые профилактические исследования выполняются в колоссальных объемах, по стандартизированным протоколам сканирования, преимущественно содержат нормальные результаты. Описание таких результатов в высшей степени рутинно и требует значительных, крайне дефицитных, кадровых ресурсов. Достигнутый технологический уровень позволяет реализовать автономную сортировку. Результаты лучевых профилактических исследований анализируются медицинским изделием с ИИ и сортируются на две категории: «норма» и «не норма». Ко второй категории относятся все случаи как именно заболеваний, так и любых отклонений (возрастных изменений, вариантов развития, артефактов и т.д.). Для категории «норма» в соответствии с действующим законодательством [20] формируется электронная медицинская запись в карте пациента. Она сразу становится доступной обследованному лицу и лечащему врачу. Категория «не норма» направляется на описание врачом-рентгенологом, который выполняет

интерпретацию и формирует протокол. Исходя из опубликованных данных о выявляемости социально значимых заболеваний при ФЛГ, можно говорить, что к категории «норма» потенциально будет отнесено от 40,0 до 60,0% результатов. Результатом автономной сортировки должны стать: а) устранение проблемы кадрового дефицита врачей-рентгенологов; б) возможность увеличения охвата населения профилактическими исследованиями; в) повышение доступности таких исследований; г) избавление врачей-рентгенологов от рутинных задач, приводящих к профессиональному выгоранию, и «переключение» на сложные, современные модальности; д) значительная экономия финансовых средств за счет того, что тариф на работу медицинского изделия с ИИ будет меньше, чем на работу врача-рентгенолога.

Несомненно, что столь революционный подход требует тщательного и этапного научного доказательства.

Ранее в ретроспективном формате, т.е. на размеченных наборах данных, нами показана потенциальная возможность автономной сортировки результатов ФЛГ. Доказана достижимость 100,0% чувствительности при работе медицинского изделия с ИИ, что гарантирует отсутствие пропуска отклонений на похожих выборках [21, 22].

Цель исследования — проспективно изучить безопасность и качество автономной сортировки результатов профилактических лучевых исследований в реальных клинических условиях.

## Материал и методы

Дизайн: проспективное одноцентровое слепое диагностическое исследование.

Работа выполнена на базе ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» в период с 01.08.23 по 31.10.23.

**Критерии включения:** возраст старше 18 лет; пол мужской или женский; наличие в карте пациента направления на проведение и результатов в стандарте DICOM профилактического лучевого исследования (ФЛГ).

**Критерии исключения:** лучевые исследования иной модальности; ФЛГ, выполненные с диагностической целью; отсутствие подписанного информированного добровольного согласия на участие в исследовании.

В исследование включены результаты 209 497 рентгенографий/ФЛГ.

Использованы медицинские изделия на базе технологий ИИ (ИИ-сервисы) для автоматизированного анализа результатов профилактической ФЛГ (ФВМ, ООО «ФтизисБиоМед»; Третье мнение ФЛГ, ООО «Платформа третье мнение»; Цельс ФЛГ, ООО «Медицинские скрининг-системы»).

Все ИИ-сервисы настроены на чувствительность 1,0; значение специфичности было незначительно. Настройка ИИ-сервисов осуществлялась путем изменения порога для классификатора разработчиками ИИ-сервисов на собственной тестовой выборке. Необходимо отметить, что каждый разработчик формировал свою уникальную тестовую выборку.

ИИ-сервисы интегрированы в информационную систему в сфере здравоохранения субъекта Российской Федерации — Единый радиологический информационный сервис Единой медицинской информационно-аналитической

системы г. Москвы (ЕРИС ЕМИАС). В этой же системе осуществлялась работа врачей-рентгенологов.

В соответствии с методологией STARD 2015 [23] индекс-тестом был ИИ-сервис, интегрированный в ЕРИС ЕМИАС; референс-тестом №1 — протокол, оформленный врачом-рентгенологом при проведении первичной интерпретации результатов ФЛГ; референс-тестом №2 — пересмотр результатов работы ИИ-сервиса и протокола врача квалифицированным экспертом с субспециализацией.

Ход исследования был следующим. После назначения и выполнения ФЛГ результаты исследования сохранялись в ЕРИС ЕМИАС и параллельно маршрутизировались на анализ ИИ-сервисом и описанием врачом-рентгенологом. В задачи ИИ-сервиса входила сортировка результатов ФЛГ на категории «норма» и «не норма». Результаты работы ИИ были неизвестны и недоступны врачу-рентгенологу. Далее выполнено сопоставление решений ИИ-сервисов и врачей-рентгенологов о категорировании; при этом использован инструмент для автоматизированного анализа текста протоколов. Случаи с выявленными расхождениями направлялись на экспертный пересмотр.

Использованы описательная статистика, коэффициент межэкспертной согласованности каппа Коэна, критерий Пирсона ( $\chi^2$ ). При проведении статистического анализа использовали двусторонний уровень статистической значимости 0,05.

## Результаты

Проспективно за период исследования ИИ-сервисами проанализированы результаты 209 497 профилактических исследований органов грудной клетки (РГ и ФЛГ — РГ/ФЛГ), выполненных в амбулаторных условиях в медицинских организациях Департамента здравоохранения г. Москвы.

К категории «норма» при автоматизированном анализе отнесено 55,9% (117 041) случаев, к категории «не норма» — 44,1% (92 456). Подробные данные представлены в **таблице**.

Меньше всего исследований обработал ИИ-1: 13,5% данных от общего объема. Такая ситуация обусловлена техническими ограничениями конкретного сервиса. Участие ИИ-2 и ИИ-3 было примерно в равной доле. Вместе с тем наибольшее количество исследований к категории «норма» (62,8%) отнес ИИ-3, менее  $1/2$  — ИИ-2; различия были статистически значимы ( $p < 0,001$ ).

Для каждого случая ( $n = 117041$ ), отнесенного к категории «норма», проведено сопоставление решений ИИ и врача-рентгенолога, который сделал первичное описание. Полное согласие ИИ и врача-рентгенолога зафиксировано в 99,7% (116 667) случаев, расхождения отмечены в 0,3% (374) ситуаций. В целом согласованность решений ИИ и врачей-рентгенологов была высокой — коэффициент каппа Коэна составил 0,994 (95% ДИ 0,986—1,0).

Следующим шагом проведен пересмотр результатов исследований врачом-экспертом с субспециализацией ( $n = 374$ ) с расхождениями. Решение ИИ «норма» подтверждено экспертом в 56,7% (212) случаях, решение врача «не норма» — в 43,3% (162). В целом согласованность всех решений была также очень высокой.

ИИ допустил неправильную сортировку в 162 случаях. Вместе с тем клинически значимая патология, упущенная ИИ, обнаружена врачом-экспертом только в 47 ситуациях.

Итоги работы сервисов искусственного интеллекта для автономной сортировки результатов профилактической рентгенографии/флюорографии

Outcomes of artificial intelligence services' work for autonomous sorting of preventive radiographies/fluorographies results

ИИ-сервис	Общее количество проанализированных исследований, абс.	Исследования категории «норма»		Исследования категории «не норма»	
		абс.	относит. (%)	абс.	относит. (%)
ИИ-1	28 200	16 213	57,5	11 987	42,5
ИИ-2	91 659	44 539	48,6	47 120	51,4
ИИ-3	89 638	56 289	62,8	33 349	37,2
Итого	209 497	117 041	55,9	92 456	44,1

В 115 случаях эксперт отметил только рентгенологические феномены, не имеющие значения для жизни и здоровья пациента (например, консолидированные переломы, фиброз, пневмосклероз, неосложненная диафрагмальная грыжа и т.д.).

Структура клинически значимых расхождений была следующей: очаги — 76,6% (36 случаев), инфильтрация/консолидация — 8,5% (4), образование — 6,4% (3), диссеминация — 4,3% (2), пневмоторакс или расширение средостения — по 2,1% (по 1).

Таким образом, при автономной сортировке результатов профилактических лучевых исследований органов грудной клетки клинически значимое расхождение ИИ допустил в 47 случаях, что составило 0,02% от общего количества проанализированных исследований (см. рисунок). Полностью же корректно автономная сортировка выполнена в 99,92% (209 335) случаев. Для оценки ложных пропусков ИИ-сервисом воспользуемся показателем FOR — частота ложных пропусков (False Omission Rate), вычисляемым как доля ложноотрицательных случаев (47) от общего количества случаев, отнесенных к «норме» (117 041), и равным 0,04%.

Обсуждение

Искусственный интеллект в здравоохранении активно изучается как российскими, так и зарубежными учеными. По-прежнему преобладают работы математической, а не клинической направленности; обычно они выполняются на ограниченных наборах данных, только в ретроспективных условиях, а также с игнорированием принципов доказательной медицины и принятых в сфере здравоохранения дизайнов научных работ. Вместе с тем с клинической точки зрения исследуются вопросы диагностической точности, сопоставимости решений ИИ и врача. Примечательны работы по сравнению качества разных алгоритмов. В частности, объектом исследований становятся технологии ИИ для анализа результатов ФЛГ. Отдельным направлением стал радиомический анализ, открывающий совершенно новые перспективы в дифференциальной диагностике, прежде всего онкологических заболеваний [24—27].

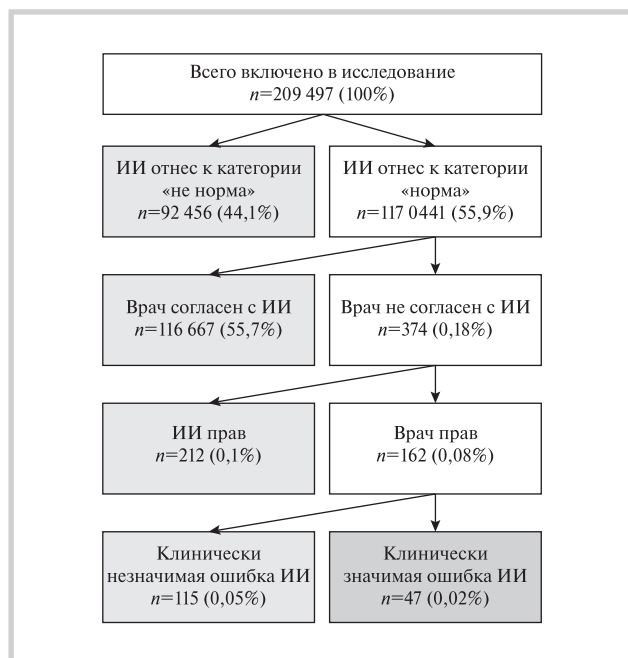
Общая особенность подавляющего большинства клинических научных работ в области ИИ — это рассмотрение ИИ сугубо как средства поддержки принятия врачебных решений. В этой парадигме ИИ — лишь опциональный инструмент врача, применяемый более в силу персональных профессиональных предпочтений, нежели при реальной необходимости.

Мы развиваем принципиально иной подход — технологии искусственного интеллекта должны применяться системно, для автоматизации производственных процессов. Конкретной реализацией такого подхода и служит автономная сортировка результатов профилактических лучевых исследований.

При проспективном изучении работы ИИ-сервисов нами получены чрезвычайно высокие значения точности: доля ложных отнесений результатов исследований к категории «норма» составляет 0,08%; причем клинически значимые расхождения фиксируются лишь в 0,02% ситуаций.

Но как соотносится такой результат с точностью врача, которую экзистенциально считают равной 100,0%? В реальной практике мероприятия по контролю и непрерывному улучшению безопасности и качества медицинской помощи являются постоянной и неотъемлемой составляющей деятельности учреждений здравоохранения.

Ранее предпринимались многочисленные попытки оценить точность врача-рентгенолога. В частности, установлено, что уровень чувствительности врачей-рентгенологов при анализе рентгенографий органов грудной клетки изменяется от 53,6 до 95,5% и сильно зависит от опыта врача и вида патологии [28, 29]. Полученные данные, очевидно, лежат в очень больших диапазонах. На этом фоне обеспечение чувствительности ИИ 70,0%



Результаты анализа автономной сортировки исследований, выполненных сервисом искусственного интеллекта.

Results of the analysis of autonomous sorting of studies performed by the artificial intelligence-based service.

уже может создать иллюзию технологического достижения. Однако процитированные и подобные им работы проводятся на малых или даже крайне малых выборках. Типичная группа врачей-рентгенологов не превышает 10 человек, а их стаж и профессиональный опыт крайне гетерогенны.

В целях устранения такого системного недостатка ранее нами проведено специальное исследование для объективного установления показателей точности «усредненного» врача-рентгенолога при анализе результатов профилактической ФЛГ. Суммарно выборка включала 162 специалиста и была сбалансирована по возрасту, стажу, профессиональному опыту. Полученные результаты использованы как эталон для оценки технологий ИИ [22, 30, 31]: показатель FOR для ФЛГ составил 8,6%. При этом в настоящей работе этот же показатель для ИИ-сервисов составил 0,04%.

Таким образом, автономная сортировка результатов профилактических лучевых исследований медицинским изделием на основе ИИ превышает по своей безопасности и точности усредненного врача-рентгенолога.

Более того, согласованность решений всех участников (врача-рентгенолога, выполняющего первичное описание, ИИ-сервиса, эксперта) чрезвычайно высока, так как значение каппы Коэна превышает 0,99.

Гипотеза о возможности автономной сортировки результатов профилактических лучевых исследований как основы нового подхода к организации медицинской помощи, повышению доступности и производительности профилактических мероприятий, ликвидации кадрового дефицита, экономии и более оптимального использования материально-технических ресурсов подтверждена в условиях реальной клинической практики. Следующим шагом должно стать создание ряда медицинских услуг и соответствующих тарифов. Это позволит перейти к апробированию не технологий, но уже самой новой модели организации медицинской помощи. С юридической точки зрения такая апробация может состояться в условиях экспериментального правового режима, а ее результаты станут основой для внесения предложений по развитию и актуализации законодательства Российской Федерации. Тем не менее необходим периодический мониторинг при работе в реальной клинической практике и усиленный контроль качества при подключении нового оборудования и медицинских организаций [31].

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Богородская Е.М., Слогодская Л.В., Туктарова Л.М. и др. Скрининг туберкулезной инфекции в группах риска у взрослого населения города Москвы. *Туберкулез и болезни легких*. 2023;101(4):13-21. Bogorodskaya EM, Slogotskaya LV, Tuktarova LM, et al. Screening for Tuberculosis Infection in Risk Groups in the Adult Population of Moscow. *Tuberkulez i bolezni legkikh*. 2023;101(4):13-21. (In Russ.). <https://doi.org/10.58838/2075-1230-2023-101-4-13-21>
2. Кобякова О.С., Куликов Е.С., Малых Р.Д. и др. Стратегии профилактики хронических неинфекционных заболеваний: современный взгляд на проблему. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2019;18(4):92-98. Kobyakova OS, Kulikov ES, Malykh RD, et al. Strategies for the prevention of chronic non-communicable diseases: a modern look at the problem. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. 2019;18(4):92-98. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2019-4-92-98>
3. Ливзан М.А., Лялюкова Е.А., Петросян В.Ю., Чернышева Е.Н. Скрининг злокачественных новообразований: состояние проблемы в России и мире. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2023;(3):5-16. Livzan MA, Lyalyukova EA, Petrosian VYu, Chernysheva EN. Screening of malignant neoplasms: the state of the problem in Russia and the world. *Ekspperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya*. 2023;(3):5-16. (In Russ.). <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-211-3-5-16>
4. Цыбикова Э.Б., Мидоренко Д.А., Лапшина И.С., Котловский М.Ю. Организации скрининга в эпидемических туберкулезных очагах в субъектах Российской Федерации с низким уровнем заболеваемости туберкулезом. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2023;69(2):11. Tsybikova EB, Midorenko DA, Lapshina IS, Kotlovsky MYu. Organization of screening in TB epidemic foci in the subjects of the Russian Federation

## Выводы

1. Предложена новая модель организации медицинской помощи на основе автономной сортировки результатов профилактических лучевых исследований медицинским изделием на основе ИИ. Модель подразумевает автоматизированное разделение результатов ФЛГ на две категории: «норма» и «не норма». Для категории «норма» формируется электронная медицинская запись в карте пациента, которая сразу становится доступной обследованному лицу и лечащему врачу. Категория «не норма» направляется на описание врачу-рентгенологу, который выполняет интерпретацию и формирует протокол.

2. В результате проспективного слепого клинического исследования, направленного на изучение реализуемости модели, установлено следующее:

— доля дефектов ИИ (ложных отнесений результатов исследований к категории «норма») составляет 0,08%;

— частота ложных пропусков ИИ значительно ниже (0,04%), чем у врача-рентгенолога (8,6%);

— согласованность решений медицинских изделий на основе ИИ, врачей-рентгенологов, экспертов чрезвычайно высока (каппа Коэна >0,99).

3. Доказана возможность автономной сортировки результатов массовых профилактических исследований с целью повышения доступности и производительности профилактических мероприятий, ликвидации кадровых проблем в области лучевой диагностики, оптимального использования материально-технических ресурсов. Создание медицинских услуг, оказываемых с применением автономного ИИ, и соответствующих экономичных тарифов позволит принципиально реорганизовать в масштабах страны систему медицинской профилактики и получить колоссальный положительный социально-экономический эффект.

**Участие авторов:** концепция и дизайн исследования — Ю.А. Васильев, И.А. Тыров; сбор и обработка материала — И.М. Шулькин, К.М. Арзамасов; статистический анализ данных — А.В. Владимирский, К.М. Арзамасов; написание текста — А.В. Владимирский, И.М. Шулькин, К.М. Арзамасов; редактирование — Ю.А. Васильев, И.А. Тыров, А.В. Владимирский.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interest.**

- with a low incidence of tuberculosis. *Social'nye aspekty zdorov'a naselenia*. 2023;69(2):11. (In Russ.).  
https://doi.org/10.21045/2071-5021-2023-69-2-11
5. Mohan G, Chattopadhyay S. Cost-effectiveness of Leveraging Social Determinants of Health to Improve Breast, Cervical, and Colorectal Cancer Screening: A Systematic Review. *JAMA Oncology*. 2020;6(9):1434-1444. https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2020.1460
  6. Голубев Н.А., Огрызко Е.В., Тюрин Е.М. и др. Особенности развития службы лучевой диагностики в Российской Федерации за 2014—2019 года. *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики*. 2021;2:356-376.  
Golubev NA, Ogryzko EV, Tyurina EM, et al. Features of the development of the radiation diagnostics service in the Russian Federation for 2014—2019. *Sovremennye problemy zdravookhraneniya i meditsinskoj statistiki*. 2021;2:356-376. (In Russ.).  
https://doi.org/10.24412/2312-2935-2021-2-356-376
  7. Тюрин И.Е. Лучевая диагностика в Российской Федерации. *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2018;1(4):43-51.  
Tyurin IE. Radiology in the Russian Federation. *Onkologicheskii zhurnal: lucheвая diagnostika, lucheвая terapiya*. 2018;1(4):43-51. (In Russ.).
  8. Самофалов Д.А., Чигрина В.П., Тюфиллин Д.С. и др. Профессиональное выгорание и качество жизни врачей в Российской Федерации в 2021 г. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2023;69(1):1.  
Samofalov DA, Chigrina VP, Tyufilin DS, et al. Professional burnout and quality of life of physicians in the Russian Federation in 2021. *Social'nye aspekty zdorov'a naselenia*. 2023;69(1):1. (In Russ.).
  9. Шелехов П.В. Кадровая ситуация в лучевой диагностике. *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики*. 2019;1:265-275.  
Shelekhov PV. Personnel situation in radiative diagnostics. *Sovremennye problemy zdravookhraneniya i meditsinskoj statistiki*. 2019;1:265-275. (In Russ.).
  10. Aggarwal R, Sounderajah V, Martin G, et al. Diagnostic accuracy of deep learning in medical imaging: a systematic review and meta-analysis. *NPI Digital Medicine*. 2021;4(1):65.  
https://doi.org/10.1038/s41746-021-00438-z
  11. Мелдо А.А., Уткин Л.В., Трофимова Т.Н. Искусственный интеллект в медицине: современное состояние и основные направления развития интеллектуальной диагностики. *Лучевая диагностика и терапия*. 2020;11(1):9-17.  
Meldo AA, Utkin LV, Trofimova TN. Artificial intelligence in medicine: current state and main directions of development of the intellectual diagnostics. *Lucheвая diagnostika i terapiya*. 2020;11(1):9-17. (In Russ.).  
https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1-9-17
  12. Владимирский А.В., Кудрявцев Н.Д., Кожихина Д.Д. и др. Эффективность применения технологий искусственного интеллекта для двойных описаний результатов профилактических исследований легких. *Профилактическая медицина*. 2022;25(7):7-15.  
Vladzimirskiy AV, Kudryavtsev ND, Kozhikhina DD, et al. Effectiveness of using artificial intelligence technologies for dual descriptions of the results of preventive lung examinations. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2022;25(7):7-15. (In Russ.).  
https://doi.org/10.17116/profmed202250717
  13. Блинов Д.С., Лобисшева А.Е., Варфоломеева А.А. и др. Нейросетевая интерпретация рентгенологического изображения грудной клетки: современные возможности и источники ошибок. *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2019;(9-10):4-9.  
Blinov DS, Lobishcheva AE, Varfolomeeva AA, et al. Chest X-rays analysis by neural network: contemporary achievements and causes of misinterpretation. *Problemy standartizatsii v zdravookhraneni*. 2019;(9-10):4-9. (In Russ.).  
https://doi.org/10.26347/1607-2502201909-10004-009
  14. Зуков Р.А., Сафонцев И.П., Клименок М.П. и др. Искусственный интеллект в диагностике рака легкого. Опыт Красноярского края. *Вопросы онкологии*. 2023;69(3S):94-95.  
Zukov RA, Safontsev IP, Klimentov MP, et al. Artificial intelligence in the diagnosis of lung cancer. Experience of the Krasnoyarsk Region. *Voprosy onkologii*. 2023;69(3S):94-95. (In Russ.).
  15. Курдюмов Д.А., Кашин А.В., Рябов Н.Ю. и др. Опыт применения технологий искусственного интеллекта для развития профилактического здравоохранения на примере Кировской области. *Менеджер здравоохранения*. 2023;6:62-69.  
Kurdyumov DA, Kashin AV, Ryabov NYu, et al. Experience in the application of artificial intelligence technologies for the development of preventive health care on the example of the Kirov region. *Menedzher zdravookhraneniya*. 2023;6:62-69. (In Russ.).  
https://doi.org/10.21045/1811-0185-2023-6-62-69
  16. Ройтберг П.Г., Блинов Д.С., Черемисин В.М. Технологии искусственного интеллекта в автоматизации выполнения стандартных задач врача-рентгенолога. *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2020;(9-10):29-33.  
Roitberg PG, Blinov DS, Cheremisin VM. Integrating AI technologies in radiology workflows. *Problemy standartizatsii v zdravookhraneni*. 2020;(9-10):29-33. (In Russ.).  
https://doi.org/10.26347/1607-2502202009-10029-033
  17. Падалко М.А., Наумов А.М., Назариков С.И., Лушников А.А. Применение технологий искусственного интеллекта для диагностики туберкулеза и онкологических заболеваний. *Туберкулез и болезни легких*. 2019;97(11):62-62.  
Padalko MA, Naumov AM, Nazarikov SI, Lushnikov AA. Using artificial intellect for diagnosis of tuberculosis and oncologic diseases. *Tuberkulez i bolezni legkikh*. 2019;97(11):62-62. (In Russ.).  
https://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-11-62-62
  18. Смольникова У.А., Гаврилов П.В., Яблонский П.К. Диагностическая эффективность различных систем автоматического анализа рентгенограмм в выявлении периферических образований легких. *Радиология — практика*. 2022;(3):51-66.  
Smolnikova UA, Gavrilov PV, Yablonskiy PK. Diagnostic Efficiency of Various Systems for Automatic Analysis of Radiographs in the Detection of Lung Nodule. *Radiologiya — praktika*. 2022;(3):51-66. (In Russ.).  
https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-3-51-66
  19. *Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента: монография*. Под ред. Васильева Ю.А., Владимирского А.В. М.: Издательские решения; 2022.  
Vasilev YuA, Vladzimirskiy AV. *Kompyuternoe zrenie v luchevoj diagnostike: pervy'j etap Moskovskogo e'ksperimenta: monografiya*. Pod red. Vasil'eva YuA, Vladzimirskogo AV. M.: Izdatel'skie resheniya; 2022. (In Russ.).
  20. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 07.09.2020 №947н «Об утверждении Порядка организации системы документооборота в сфере охраны здоровья в части ведения медицинской документации в форме электронных документов». Ссылка активна на 15.05.24.  
Prikaz Ministerstva zdravookhraneniya Rossijskoj Federacii ot 07.09.2020 No. 947n «Ob utverzhenii Poryadka organizacii sistemu' dokumentooborota v sfere oxrany' zdorov'ya v chasti vedeniya medicinskoj dokumentacii v forme e'lektronny'x dokumentov». Accessed May 15, 2024. (In Russ.).  
https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202101120007
  21. Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владимирский А.В. и др. Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта: новая модель организации массовых профилактических исследований. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):93-104.  
Vasilev YuA, Tyrov IA, Vladzimirskiy AV, et al. Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: A new model of mass preventive examination organization. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):93-104. (In Russ.).  
https://doi.org/10.17816/DD321423
  22. Arzamasov K, Vasilev Y, Vladzimirskiy A, et al. An International Non-Inferiority Study for the Benchmarking of AI for Routine Radiology Cases: Chest X-ray, Fluorography and Mammography. *Healthcare*. 2023;11(12):1684. https://doi.org/10.3390/healthcare11121684
  23. Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, et al. For the STARD Group. STARD 2015: An Updated List of Essential Items for Reporting Diagnostic Accuracy Studies. *Radiology*. 2015;277(3):826-832. https://doi.org/10.1148/radiol.2015151516
  24. Берген Т.А., Пухальский А.Н., Синицын В.Е. и др. Новые возможности в организации проведения лучевых исследований у онкологических пациентов. *Вестник Росздравнадзора*. 2022;6:49-56.  
Bergen TA, Pukhalskiy AN, Sinityn VE, et al. New tools in organization of radiology examinations in oncology patients. *Vestnik Roszdravnadzora*. 2022;6:49-56. (In Russ.).
  25. Дрокин И.С., Еричева Е.В., Бухвалов О.Л. и др. Опыт разработки и внедрения системы поиска онкологических образований с помощью искусственного интеллекта на примере рентгеновской компьютерной томографии легких. *Врач и информационные технологии*. 2019;3:48-57.  
Drokin IS, Elicheva EV, Bukhvalov OL, et al. Experience in developing and implementing an oncological formations searching system using artificial intelligence with the example of X-ray computed tomography of the lungs. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*. 2019;3:48-57. (In Russ.).
  26. Кармазановский Г.Г., Кондратьев Е.В., Груздев И.С. и др. Современная лучевая диагностика и интеллектуальные персонализированные технологии в гепатопанкреатологии. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2022;77(4):245-253.  
Karmazanovsky GG, Kondratyev EV, Gruzdev IS, et al. Modern radiation diagnostics and intelligent personalized technologies in hepatopancreatolo-

- gy. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2022;77(4):245-253. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.15690/vramn2053>
27. Codlin AJ, Dao TP, Vo LNQ, et al. Independent evaluation of 12 artificial intelligence solutions for the detection of tuberculosis. *Scientific Reports*. 2021;11(1):23895.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-03265-0>
28. Bradley SH, Bhartia BS, Callister ME, et al. Chest X-ray sensitivity and lung cancer outcomes: a retrospective observational study. *The British Journal of General Practice*. 2021;71(712):e862-e868.  
<https://doi.org/10.3399/BJGP.2020.1099>
29. Hossain R, Wu CC, de Groot PM, et al. Missed Lung Cancer. *Radiologic Clinics of North America*. 2018;56(3):365-375.
30. Vasilev Y, Vladzimirskyy A, Omelyanskaya O, et al. AI-Based CXR First Reading: Current Limitations to Ensure Practical Value. *Diagnostics*. 2023; 13(8):1430.  
<https://doi.org/10.3390/diagnostics13081430>
31. Васильев Ю.А., Владзимирский А.В., Омелянская О.В. и др. *Оценка зрелости технологий искусственного интеллекта для здравоохранения: методические рекомендации*. М.: Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы; 2023.
- Vasilev YuA, Vladzimirskyy AV, Omelyanskaya OV, et al. *Ocenka zrelosti tekhnologij iskusstvennogo intellekta dlya zdravooхранeniya: metodicheskie rekomendacii*. М.: Nauchno-prakticheskij klinicheskij centr diagnostiki i telemedicinskix tehnologij Departamenta zdravooхранeniya goroda Moskvу; 2023. (In Russ.).

Поступила 05.12.2023

Received 05.12.2023

Принята к печати 03.04.2024

Accepted 03.04.2024