

УДК 616-091-006

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-4-79-88>

ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБНАРУЖЕНИИ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПО ДАННЫМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ: ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ВТОРОГО МНЕНИЯ В МУЛЬТИЦЕНТРОВОМ ИССЛЕДОВАНИИ

^{1,2,3,4}А. Э. Талышинский[✉], ^{4,6}М. В. Шевнин^{✉*}, ⁵Н. А. Нефедьев[✉], ^{1,4,6}И. Г. Камышанская[✉], ^{7,8}А. В. Говоров[✉],
⁹А. А. Пашковская[✉], ¹⁰О. В. Крючкова[✉], ^{7,8}Д. Ю. Пушкарь[✉]

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Медицинский университет Астаны, Астана, Казахстан

³Ферганский Медицинский институт общественного здоровья, Фергана, Узбекистан

⁴Общество с ограниченной ответственностью «Мед-Рей», Москва, Россия

⁵Алфёровский университет, Санкт-Петербург, Россия

⁶Городская Мариинская больница, Санкт-Петербург, Россия

⁷Российский университет медицины, Москва, Россия

⁸Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С. П. Боткина, Москва, Россия

⁹Городская клиническая больница имени С. С. Юдина, Москва, Россия

¹⁰Центральная клиническая больница с поликлиникой управления делами Президента РФ, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Применение глубокого обучения в обнаружении рака предстательной железы (РПЖ) по данным мультипараметрической МРТ (мпМРТ) представляет собой одно из наиболее противоречивых направлений развития данной технологии в медицине. Несмотря на высокий международный интерес к подобным системам, число тематических исследований в Российской Федерации (РФ) остается ограниченным.

ЦЕЛЬ: Описание процесса создания и валидации отечественной системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР), предназначенной для диагностики РПЖ по результатам мпМРТ с помощью искусственного интеллекта (ИИ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Данные о пациентах с подтвержденным диагнозом, которым проводилась радикальная простатэктомия, были собраны как ретроспективным, так и проспективным образом. Формирование выборки пациентов осуществлялось в период с 10 января 2023 по 1 мая 2025 года. В качестве рабочих последовательностей использовались T2-взвешенные изображения (T2-ВИ) и данные измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Разметка данных производилась вручную тремя специалистами с опытом самостоятельного выполнения и анализа МР-данных пациентов с подозрением на наличие РПЖ более 10 лет. В ходе исследования проводилась апробация четырех различных архитектур (nnU-Net, SegResNet, TransBTS, Swin UNETR) для оценки их эффективности и определения наиболее пригодной в рамках поставленных задач. В качестве метрик точности использовались следующие показатели: чувствительность, специфичность, точность, площадь под ROC-кривой (AUC) и коэффициент Дайса (DSC).

РЕЗУЛЬТАТЫ: В соответствии с критериями включения было собрано 441 исследование, выполненное на 19 различных МР-томографах. Валидация наиболее производительной нейросетевой архитектуры (Swin UNETR) выявила следующие показатели: точность — 73 %, чувствительность — 71 %, специфичность — 71 %, AUC — 0,70, DSC — 0,70.

ОБСУЖДЕНИЕ: Представленная нами работа предназначена для ознакомления специалистов с промежуточными результатами разработки первой отечественной СППВР, реализованной по стратегии избегания недостатков, имеющихся в работах других коллективов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Результаты испытания разработанной программы, основанной на технологиях ИИ, для детекции и реконструкции РПЖ по МР-изображениям, показали многообещающие перспективы для отечественной СППВР. Для подтверждения клинической применимости и эффективности разработанной программы необходимы дальнейшие многоцентровые исследования, направленные на оценку ее потенциала и целесообразности внедрения в реальную клиническую практику.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: искусственный интеллект, магнитно-резонансная томография, рак предстательной железы, детекция, сегментация

* Для корреспонденции: Шевнин Максим Владимирович, e-mail: maxshevnin@mail.ru

Для цитирования: Талышинский А.Э., Шевнин М.В., Нefeldьев Н.А., Камышанская И.Г., Говоров А.В., Пашковская А.А., Крючкова О.В., Пушкар Д.Ю. Возможности искусственного интеллекта в обнаружении рака предстательной железы по данным магнитно-резонансной томографии: промежуточные показатели эффективности отечественной системы второго мнения в мультицентровом исследовании // *Лучевая диагностика и терапия*. 2025. Т. 16, № 4. С. 79–88, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-4-79-88>.

THE POSSIBILITIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DETECTING PROSTATE CANCER ACCORDING TO MAGNETIC RESONANCE IMAGING: INTERMEDIATE INDICATORS OF THE EFFECTIVENESS OF THE NATIONAL SECOND OPINION SYSTEM

^{1,2,3,4}Ali E. Talyshinskii¹, ^{4,6}Maxim V. Shevnin²*, ⁵Nikolai A. Nefediev³, ^{1,4,6}Irina G. Kamyshanskaya⁴, ^{7,8}Alexander V. Govorov⁷, ⁹Anna A. Pashkovskaya⁹, ¹⁰Oksana V. Kryuchkova¹⁰, ^{7,8}Dmitry Yu. Pushkar⁸

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Astana Medical University, Astana, Kazakhstan

³Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Uzbekistan

⁴Limited Liability Company «Med-Rey», Moscow, Russia

⁵Alferov University, St. Petersburg, Russia

⁶City Mariinsky Hospital, St. Petersburg, Russia

⁷Russian University of Medicine, Moscow, Russia

⁸Moscow Botkin Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow, Russia

⁹S. S. Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russia

¹⁰Central Clinical Hospital with Polyclinic, Moscow, Russia

INTRODUCTION: The use of deep learning in the detection of prostate cancer (PCa) based on multiparametric MRI (mpMRI) data is one of the most controversial areas of development of this technology in medicine. Despite high international interest in such systems, the number of thematic studies in the Russian Federation remains limited.

OBJECTIVE: To describe the process of creating and validating a domestic medical decision support system (MDSS) designed to diagnose PCa based on mpMRI results using AI.

MATERIALS AND METHODS: Data on patients with a confirmed diagnosis who underwent radical prostatectomy were collected both retrospectively and prospectively. The patient sample was formed between January 10, 2023 and May 1, 2025. T2-weighted images (T2-WI) and measured diffusion coefficient (MDC) data were used as working sequences. Data annotation was performed manually by three specialists with more than 10 years of experience in independently performing and analyzing MR data of patients with suspected PCa. During the study, four different architectures were tested to evaluate their effectiveness and determine the most suitable one for the tasks at hand. The following metrics were used to measure accuracy: sensitivity, specificity, accuracy, area under the ROC curve (AUC), and Dice score (DSC).

RESULTS: In accordance with the inclusion criteria, 441 studies performed on 19 different MRI scanners were collected. Validation of the most productive neural network architecture revealed the following indicators: accuracy — 73%, sensitivity — 71%, specificity — 71%, AUC — 0.70, DSC — 0.70.

DISCUSSION: The work presented by us is aimed at familiarizing specialists with the intermediate results of the development of the first national MDSS, implemented according to a strategy of avoiding the shortcomings present in the works of other teams.

CONCLUSION: The results of testing the developed AI-based program for the detection and reconstruction of PCa on MRI images showed promising prospects for the domestic medical decision support system. To confirm the clinical applicability and effectiveness of the developed program, further multicenter studies are needed to assess its potential and feasibility for implementation in real clinical practice.

KEYWORDS: prostate cancer, magnetic resonance imaging, artificial intelligence, detection, segmentation

* For correspondence: Maxim V. Shevnin, e-mail: maxshevnin@mail.ru

For citation: Talyshinskii A.E., Shevnin M.V., Nefediev N.A., Kamyshanskaya I.G., Govorov A.V., Pashkovskaya A.A., Kryuchkova O.V., Pushkar D.Yu. The possibilities of artificial intelligence in detecting prostate cancer according to magnetic resonance imaging: intermediate indicators of the effectiveness of the national second opinion system // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2025. Vol. 16, No. 4. P. 79–88, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-4-79-88>.

Введение. В соответствии с актуальными рекомендациями, мультипараметрическая магнитно-резонансная томография (мпМРТ) включена в кри-

терии оценки качества медицинской помощи при раке предстательной железы (РПЖ), причем выполнять ее целесообразно перед биопсией про-

статы (ПЖ) для верификации опухолевого поражения органа и уточнения степени его агрессивности [1]. Несмотря на наличие унифицированного протокола описания исследования у пациентов с подозрением на рак предстательной железы (РПЖ) PI-RADS v2 и 2.1, аспект субъективности обуславливает значимый процент различий в заключениях между разными специалистами [2, 3]. Современная концепция формирования здравоохранения будущего сводится к междисциплинарной работе по разработке и внедрению различных решений, в том числе относящихся к группе цифровых технологий. Среди современных технологий особый интерес вызывает искусственный интеллект (ИИ), активно тестируемый специалистами различного профиля в качестве систем второго мнения [4]. В частности, в аспекте визуализации мочеполовой системы краугольным являются попытки создания системы автоматизированной детекции РПЖ по МР-данным. В литературе описано достаточное количество исследований с достижением высоких метрик точности, что указывает на достижимость разработки системы второго мнения на основе ИИ в Российской Федерации (РФ) [5]. Тем не менее тематических публикаций в отечественных базах данных недостаточно для подтверждения этого тезиса, что оставляет открытым вопрос о перспективах и возможностях интеграции ИИ в реальную клиническую практику врачей-рентгенологов в РФ [6, 7].

Таким образом, необходимо развитие данной индустрии и популяризация накопленного опыта среди русскоязычной аудитории для ознакомления последней, с этапностью разработки решений на основе ИИ, а также с важностью ответственной реализации каждого из этапа и их равнозначность по отношению к качеству итоговой системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Важно понимать необходимость использования гетерогенного датасета

и ориентироваться именно на послеоперационное патоморфологическое заключение при аннотировании снимков. Помимо этого, важным является понимание непрерывности в разработке подобных программ, что свойственно для реализации большинства решений на основе ИИ в соответствии с принципом итеративности, с чем связано выдвижение на первый план промежуточности результатов, достигаемых в данном исследовании.

Цель. Описание процесса сбора и аннотирования данных, выбора наиболее производительной нейросетевой архитектуры и валидации последней в рамках разработки, основанной на ИИ отечественной СППВР в диагностике РПЖ по МР-изображениям.

Материалы и методы. Сбор данных и формирование концепции. В период с 10.01.2023 по 01.05.2025 г. в нескольких медицинских учреждениях РФ проводился сбор данных пациентов с верифицированным после радикальной простатэктомии (РПЭ) диагнозом РПЖ. В критерии включения вошло обязательное наличие следующих данных: возраст; крайнее по отношению к любому инвазивному вмешательству значение простат-специфического антигена (ПСА) в сыворотке крови; МР-изображения с заключением рентгенолога, полученные при выполнении исследования по протоколу PI-RADS v2.1; результаты патоморфологического исследования после биопсии предстательной железы и РПЭ. Контрольная группа формировалась из результатов МР-обследования с выставлением итоговой градации PI-RADS 1–2 вне зависимости от наличия гистологического подтверждения. Случаи с отсутствием патологии необходимы для разработки прогностических моделей с целью определения метрик точности, в том числе моделей, основанных на ИИ. Общий объем выборки состоял из данных МР-обследования 441 пациента, из них 359 соответствовали группе патологии, 82 — группе нормы (табл. 1).

Данные МР-обследования

Таблица 1

Table 1

MRI examination data			
Производитель	Аппарат	Индукция магнитного поля, Т	Количество, п
1	2	3	4
Патология			
GE	Signa Pioneer	3,0	25
	Discovery MR 750w	3,0	1
	Brivo MR355	1,5	3
	Optima MR 360	1,5	2
	Optima MR 450w	1,5	2
	Signa	1,5	1
	Signa Explorer	1,5	2
	Signa HDxt	1,5	3
Philips	Ingenia	3,0	19
	Achieva	1,5	1
Siemens	Skyra	3,0	18
	Spectra	3,0	1

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
Siemens	TrioTim	3,0	9
	Verio	3,0	11
	Symphony	1,5	14
	Essenza	1,5	1
	Espre	1,5	8
	Avanto	1,5	5
	Aera	1,5	233
Норма			
GE	Signa	1,5	24
Philips	Ingenia	3,0	15
Siemens	Aera	1,5	43

В качестве рабочих последовательностей в процессе разработки СППВР использовались: 1) T2-взвешенные изображения (T2-ВИ), выполненные в режиме turbo/fast-spin-echo в аксиальной проекции; 2) данные измеряемого коэффициента диффузии (ИКД), получаемые на основе диффузионно-взвешенных изображений с использованием стандартизованных протоколом PI-RADS v2.1 b-факторами. Следует отметить, что использование снимков динамического контрастного усиления (ДКУ) описано лишь в малой части тематических исследований, что более вероятно обусловлено использованием данной последовательности специалистами, согласно последней версии протокола PIRADS v2.1, лишь в разграничении категорий 3 и 4 при определении клинической значимости образований, локализованных в периферической зоне ПЖ [8]. Сбор данных осуществлялся на основе имеющихся договоров о научно-техническом сотрудничестве между обществом с ограниченной ответственностью (ООО) «Мед-Рей» и соответствующими учреждениями.

В договоре были отображены этапы сбора, обезличивания и передачи данных, обеспечивающие конфиденциальность персональных данных пациентов в соответствии с пунктом 9 части 1 статьи 6 Федерального закона № 152-ФЗ от 27.07.2006 г. «О персональных данных». Учитывая преимущественно ретроспективный и мультицентровой характер исследования, а также соблюдение этапов обезличивания данных, исследование выполнено без заключения этического комитета на основании ранее упомянутых договоров о научно-техническом сотрудничестве с медицинскими учреждениями.

Проведение разметки МР-снимков. Аннотация данных осуществлялась тремя опытными специалистами, без учета анатомических зон предстательной железы. При этом у каждого рентгенолога имелся более чем 10-летний опыт работы с МРТ изображениями малого таза в соответствии с актуальной версией протокола PIRADS. Для повышения надежности при разметке данных по спорным наблюдениям проводилось коллегиальное обсуждение.

В ходе выполнения работы была разработана веб-платформа, ориентированная на решение

поставленных задач и обеспечивающая возможность аннотирования данных без необходимости установки дополнительного программного обеспечения на рабочие станции экспертов. Интерфейс веб-инструмента предусматривает одновременную работу с двумя окнами — T2-ВИ и картами ИКД, что обеспечивает синхронную навигацию по срезам. При разметке патологической зоны на T2-ВИ система автоматически переносит выделенный контур на соответствующий уровень ИКД. В случае совпадения уровней по z-оси такое автоматическое наложение маски является оптимальным с точки зрения точности контурирования очага и сохранения согласованности геометрии разметки между модальностями. Если же имело место расхождение по уровню срезов, эксперты выполняли ручную корректировку перенесенной маски, уточняя ее форму и расположение в соответствии с визуальной оценкой ИКД-карт. Такой подход обеспечивал баланс между автоматизацией процесса и клинической точностью финальной разметки.

Группирование данных. Итоговый датасет был разделен на обучающую и валидационную части в пропорции 80% и 20% соответственно. Применялась 5-кратная кросс-валидация.

Выбор архитектуры нейросетевой модели и метрик точности. В рамках нашей исследовательской работы для подбора наиболее подходящей нейросетевой модели были протестированы четыре архитектуры: nnU-Net, SegResNet, TransBTS, Swin UNETR. Обучение нейросетей проводилось при достижении выборки 300 МР-исследований.

Для анализа корректности автоматической разметки РПЖ моделью применялись такие показатели, как общая точность, чувствительность, специфичность, а также площадь под ROC-кривой (AUC). Для оценки качества аннотации РПЖ применялся Dice-коэффициент (DSC), отражающий степень совпадения между разметкой экспертом и результатом автоматической сегментации нейросетью.

Результаты. Данные, полученные в ходе предварительного тестирования различных нейросетей для подбора наиболее подходящей архитектуры, представлены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты предварительной апробации выбранных нейросетевых архитектур с целью выбора оптимальной в рамках реализации проекта

Table 2
Results of preliminary testing of selected neural network architectures to select the optimal one for project implementation

Нейросетевая архитектура	DSC
Swin UNETR	0,83
nnU-Net	0,80
SegResNet	0,79
TransBTS	0,81

По результатам анализа полученных данных установлено, что архитектура Swin UNETR продемонстрировала наиболее высокие показатели метрик, что позволило определить ее как оптимальную для решения поставленных задач. В связи с этим данная архитектура была выбрана в качестве основной модели. Итоговые результаты представлены в табл. 3.

были получены следующие показатели эффективности: точность — 73%, чувствительность — 71%, специфичность — 71%, AUC — 0,70. При этом значение DSC при реконструкции областей РПЖ составило 0,70.

Рабочий интерфейс разработанной СППВР заключается в следующем. После загрузки МР-изображений, выбора Т2-ВИ и ИКД необходимо запустить функцию ИИ-анализа. После окончания ИИ-обработки данных в правом окне появится объемная реконструкция всей области исследования (рис. 1).

При разворачивании соответствующей вкладки возможно визуально отобразить маску и реконструкцию области интереса в соответствующих окнах, как показано на примере РПЖ (рис. 2).

В том же списке возможна активация отображения маски и реконструкции предстательной железы для определения пространственного соотношения контуров РПЖ и ПЖ (рис. 3).

Обсуждение. В последние годы нейросетевые технологии приобретают все большее значение не только в медицине, но и в других сферах деятельно-

Значение метрик на этапах обучения, валидации и тестирования

Таблица 3

Table 3

Metric values during training, validation, and testing phases

Параметры	SWIN UNETR				
	точность, %	чувствительность, %	специфичность, %	AUC	DSC
Обучение	75	74	73	0,72	0,74
Валидация	73	71	71	0,70	0,70

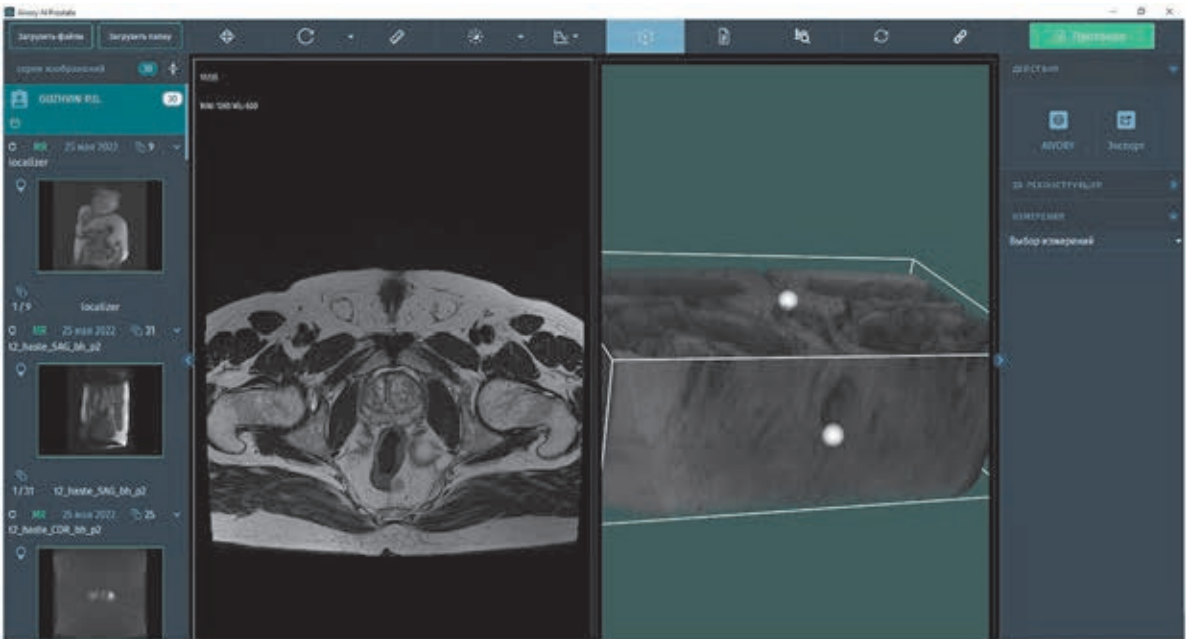


Рис. 1. Интерфейс системы поддержки принятия врачебных решений
Fig. 1. Interface of the medical decision support system

В результате тестирования нейросетевой модели при решении задач, связанных с диагностикой рака предстательной железы (РПЖ), на этапе валидации

ИИ является одним из наиболее динамично развивающихся инструментов цифровой трансформации здравоохранения [9]. Этот инструмент уже

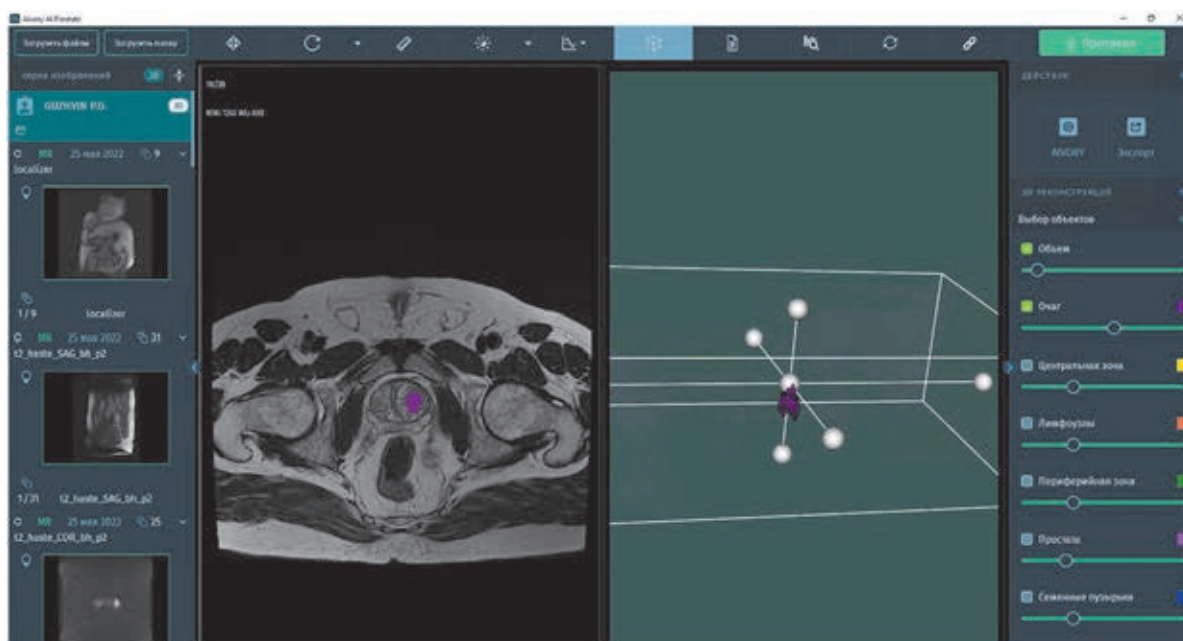


Рис. 2. Маска рака предстательной железы на T2-ВИ и его трехмерная реконструкция
Fig. 2. Mask of prostate cancer projected on T2WI and its three-dimensional reconstruction

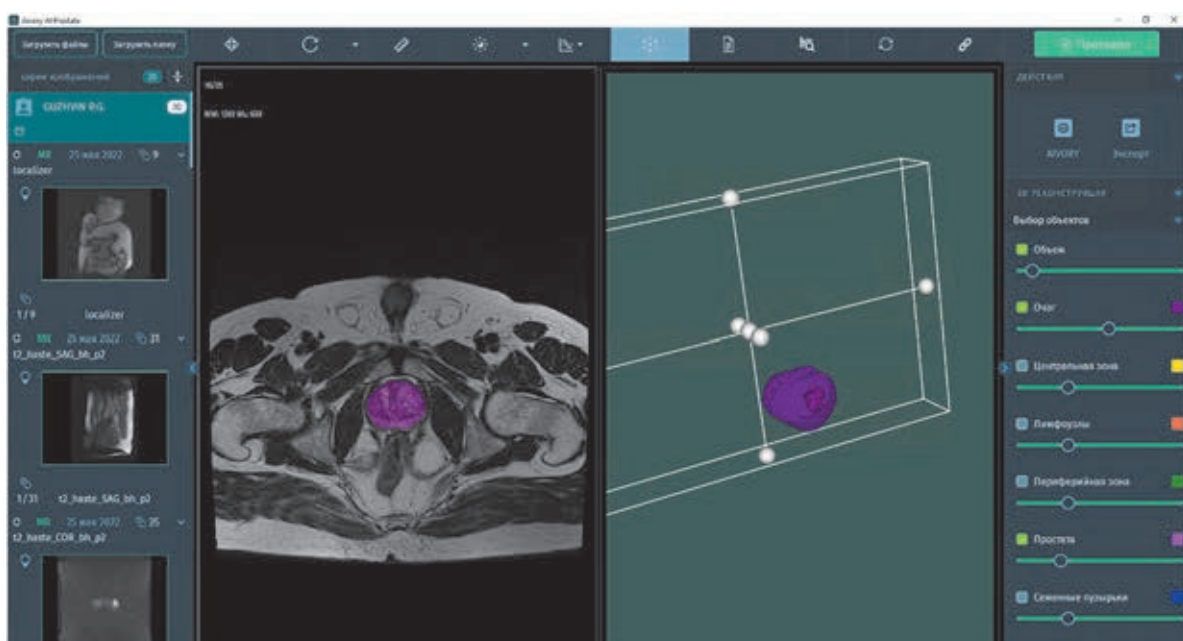


Рис. 3. Добавление маски и трехмерной реконструкции предстательной железы
Fig. 3. Adding a mask and three-dimensional reconstruction of the prostate

вышел за рамки технологического новшества и активно влияет на качество диагностики заболеваний и клиническую практику специалистов. СППВР, основанные на алгоритмах ИИ, способны повысить эффективность работы медицинского персонала, обеспечить точность диагностики и выбора терапии, а также улучшить интерпретацию инструментальных и клиничко-лабораторных данных [10–12]. Это, в свою очередь, способствует повышению объективности анализа, сокращению времени постановки диагноза и снижению вероятности врачебных ошибок. По количеству исследований, посвященных применению ИИ, урология занимает одно из лиди-

рующих мест среди клинических дисциплин, особенно в направлении диагностики РПЖ на основе МР-изображений [13].

Несмотря на то, что количество публикаций по данному направлению продолжает расти, существуют значительные ограничения, которые затрудняют объективное понимание того, как ИИ играет свою роль в повседневной практике радиологов.

Качество исходных данных является одним из основных препятствий на пути к построению качественных моделей. Точность внешнего тестирования значительно снижается при недостаточной вариативности набора изображений, особенно

на материалах из нескольких клиник. Castillo с соавт. в своей работе обобщили модели по автоматической детекции РПЖ [14]. Было обнаружено, что три модели, построенные на одноцентровых данных, достигали среднего $AUC=0,75$ при внутренней валидации, при этом тест на внешней выборке показывал значительное ухудшение показателя до 0,54. С другой стороны, использование многоцентровых датасетов позволило добиться идентичных результатов тестирования. Важно отметить, что в области сегментации РПЖ практически все исследования продолжают основываться на одноцентровых данных [5]. К концу 2023 г. только в 31 % исследований использовались наборы данных, полученные из разных центров.

Размер обучающих массивов также имеет решающее значение. Когда дело доходит до исследований стратификации и реконструкции опухоли, в некоторых публикациях количество случаев не превышало 37 и 16 соответственно [15, 16]. Это вызывает естественные сомнения в точности результатов, а также в возможности внедрения таких моделей в повседневную практику специалистов.

Гетерогенность изображений по мощности магнитного поля является дополнительным важным элементом. В большинстве исследований использовались данные, полученные на 3Т-томографах (86%), в то время как исследования с применением 1,5Т и комбинированных наборов составляли всего 2% и 12% соответственно [5]. Такое смещение снижает универсальность моделей и ограничивает их применимость в реальной жизни, учитывая разнообразие регионального парка оборудования.

Следующим аспектом, обуславливающим итоговую эффективность разрабатываемых СППВР на основе ИИ в диагностике РПЖ по МР-данным, является метод верификации диагноза, используемых при аннотации размеченных данных. Так, большинство (78%) работ, посвященных реализации СППВР для детекции/стратификации и реконструкции РПЖ, использовались результаты стандартной или фьюжн-биопсии. Проблематика подобного факта очевидна и подтверждена множеством исследований.

Согласно исследованию Alqahtani и соавт., результаты биопсии могут быть ненадежными в связи с возможным упущением максимально агрессивных клеток РПЖ при проведении процедуры и повышением ISUP-группы при сравнении с таковым после патоморфологической оценки препарата после РПЭ [17]. Несмотря на повышение диагностической точности фьюжн-биопсии, сохраняется проблематика недостаточной оценки состояния всего органа, что особенно критично в процессе оконтуривания РПЖ [18, 19].

Помимо вышесказанного, итоговая калибровка систем на основе ИИ и надежность их пилотирования в сторонних медицинских учреждениях зависят от результатов валидации и тестирования, что под-

черкивает необходимость их поэтапного и ответственного выполнения при разработке СППВР, в том числе в решении задач по обработке МР-данных пациентов с подозрением на РПЖ. Тестирование проводилось в 49% исследований, опубликованных к концу 2023 г. [5].

Для того чтобы объективно оценивать актуальное состояние ИИ, в своих возможностях по анализу МР-изображений с РПЖ необходимо учитывать ранее описанные ограничения. Представленная нами работа направлена для ознакомления специалистов с промежуточными результатами разработки первой отечественной СППВР, реализованной по стратегии избегания недостатков, имеющихся в работах других коллективов. Обучение, валидизация и тестирование описанной нейросети проводилось с помощью данных МР-обследования 441 пациента. В качестве «золотого стандарта» при аннотировании МР-изображений использовали результаты послеоперационной патоморфологии. Разметка проводилась тремя опытными экспертами с перекрестной перепроверкой разметки в случае необходимости. Для оценки достигаемых метрик выполнена валидизация и тестирование. Согласно промежуточным результатам DSC в автоматизированной реконструкции РПЖ составил 0,70, что является оптимальным и достаточным на момент написания данной работы. Помимо этого, несмотря на субоптимальные значения точности, чувствительности и специфичности в детекции РПЖ (73%, 71% и 71%), данные показатели допустимы, учитывая адекватную гетерогенность использованных данных и промежуточность в состоянии описанной СППВР, что актуализирует необходимость дальнейшего многоцентрового ее совершенствования. Следует отметить, что в рамках упомянутой СППВР разрабатывается всесторонний комплекс решений на основе ИИ в диагностике РПЖ, в оконтуривании ПЖ и смежных структур малого таза, чему будут посвящены дальнейшие работы.

Необходимо также отметить следующее ограничение текущего этапа исследования: в представленном прототипе системы и анализе ее работы не проводилось детальное определение причин ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Этот анализ требует отдельного комплексного этапа и возможно лишь после завершения последующих стадий разработки. Мы рассматриваем включение такой работы как обязательный компонент следующего цикла исследований, что позволит существенно углубить понимание границ применимости модели и факторов, влияющих на ее диагностическую точность.

Заключение. Разработка первой отечественной СППВР на основе ИИ для диагностики РПЖ по данным МРТ показала перспективные результаты, подтвержденные многоцентровым датасетом. Для повышения эффективности системы требуется дальнейшее совершенствование, в том числе расширение базы МР-данных из разных медицинских центров.

Сведения об авторах:

Талышинский Али Эльманович — врач-уролог, аспирант кафедры лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; ассистент кафедры урологии и андрологии Медицинского университета Астаны; 010000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Бейбитшилик, д. 49а; ассистент кафедры урологии и андрологии Ферганского медицинского института общественного здравоохранения; 150100, Узбекистан, г. Фергана, ул. Янги Турон, д. 2А; медицинский эксперт ООО «Мед-Рей»; 129343, Москва, Уржумская ул., д. 4, стр. 33; e-mail: ali-ma@mail.ru; ORCID 0000-0002-3521-8937;

Шевнин Максим Владимирович — врач-уролог урологического отделения Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56; медицинский эксперт ООО «Мед-Рей»; 129343, Москва, Уржумская ул., д. 4, стр. 33; e-mail: maxshevnin@mail.ru; ORCID 0000-0002-5788-464X;

Нефедьев Николай Алексеевич — аспирант кафедры биоинформатики и математической биологии федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский академический университет имени Ж. И. Алферова Российской академии наук»; 194021, Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д. 8, корп. 3, лит. А; e-mail: Nikolay-Nefedev@yandex.ru; ORCID 0009-0004-6601-8884;

Камышанская Ирина Григорьевна — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; врач-рентгенолог рентгеновского отделения Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56; медицинский эксперт ООО «Мед-Рей»; 129343, Москва, ул. Уржумская, д. 4, стр. 33; e-mail: irinaka@mail.ru; ORCID 0000-0002-8351-9216;

Говоров Александр Викторович — доктор медицинских наук, профессор, профессор РАН, заведующий онкоурологическим отделением государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С. П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы»; 125284, Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 5; профессор кафедры урологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 127994, Москва, Рахмановский пер, д. 3; e-mail: dr.govorov@gmail.com; ORCID 0000-0003-3299-0574;

Пашковская Анна Александровна — врач-рентгенолог государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени С. С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы»; 115446, Москва, Коломенский пр-д, д. 4; e-mail: pashkovskaya.an@yandex.ru; ORCID 0000-0001-6441-100X;

Крючкова Оксана Валентиновна — кандидат медицинских наук, заведующая отделением рентгеновской диагностики и томографии федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента Российской Федерации; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: ovk16@bk.ru; ORCID 0000-0001-6483-2074;

Пушкар Дмитрий Юрьевич — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, главный уролог Министерства здравоохранения Российской Федерации, главный уролог Департамента здравоохранения Москвы, руководитель государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С. П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы»; 125284, Москва, 2-й Боткинский проезд, 5; заведующий кафедрой урологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 127994, Москва, Рахмановский пер, д. 3; e-mail: Dmitry.pushkar@gmail.com; ORCID 0000-0002-6096-5723.

Information about the authors:

Ali E. Talyshinskiy — Urologist, Postgraduate student at the Department of Radiology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State University»; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embk., 7/9; Assistant, Department of Urology and Andrology, Astana Medical University; 010000, Republic of Kazakhstan, Astana, 49a Beibitshilik Street; Assistant, Department of Urology and Andrology, Fergana Medical Institute of Public Health; 150100, Uzbekistan, Fergana, 2A Yangi Turon Street; Medical Expert, Med-Rey LLC; 129343, Moscow, 4 Urzhumskaya Street, Building 33; e-mail: ali-ma@mail.ru; ORCID 0000-0002-3521-8937;

Maxim V. Shevnin — Urologist, Urology Department, St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution «City Mariinsky Hospital»; 191014, St. Petersburg, 56 Liteyny Ave.; Medical Expert, Med-Rey LLC; 129343, Moscow, 4 Urzhumskaya Street, Building 33; e-mail: maxshevnin@mail.ru; ORCID 0000-0002-5788-464X;

Nikolai A. Nefediev — Postgraduate student, Department of Bioinformatics and Mathematical Biology, Federal State Budgetary Institution of Higher Education and Science «St. Petersburg National Research Academic University named after Zh. I. Alferov of the Russian Academy of Sciences», 194021, St. Petersburg, 8/3 Khlopin Street, Building A; e-mail: Nikolay-Nefedev@yandex.ru; ORCID 0009-0004-6601-8884;

Irina G. Kamyshanskaya — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor, Professor at the Department of Radiology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State University»; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya embk., 7/9; Radiologist at the X-ray Department, St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution «City Mariinsky Hospital»; 191014, St. Petersburg, 56 Liteyny Ave.; Medical Expert, Med-Rey LLC; 129343, Moscow, 4 Urzhumskaya Street, Building 33; e-mail: irinaka@mail.ru; ORCID 0000-0002-8351-9216;

Alexander V. Govorov — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Oncourology Department, Moscow Multidisciplinary Clinical Research Center named after S. P. Botkin; 125284, Moscow, 5th Botkinsky dr.; Professor, Department of Urology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 127994, Moscow, 3 Rakhmanovsky lane; e-mail: dr.govorov@gmail.com; ORCID 0000-0003-3299-0574;

Anna A. Pashkovskaya — Radiologist, City Clinical Hospital named after S. S. Yudin; 115446, Moscow, 4 Kolomensky dr.; e-mail: pashkovskaya.an@yandex.ru; ORCID 0000-0001-6441-100X;

Oksana V. Kryuchkova — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of X-ray Diagnostics and Tomography at the Central Clinical Hospital with a Polyclinic of the Presidential Administration of the Russian Federation; 121359, Moscow, 15 Marshal Timoshenko Street; e-mail: ovk16@bk.ru; ORCID 0000-0001-6483-2074;

Dmitry Yu. Pushkar — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Urologist of the Russian Ministry of Health, Chief Urologist of the Moscow Health Department, Head of the Moscow Urological Center of the Multidisciplinary Clinical Research Center named after S. P. Botkin; 125284, Moscow, 5

2nd Botkinsky dr.; Head of the Department of Urology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 127994, Moscow, 3 Rakhmanovsky lane; e-mail: Dmitry.pushkar@gmail.com; ORCID 0000-0002-6096-5723.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и дизайн исследования — А.Э. Талышинский, Н.А. Нефедьев; сбор и обработка материала — А.Э. Талышинский, М.В. Шевнин, Н.А. Нефедьев, И.Г. Камышанская, А.В. Говоров, А.А. Пашковская, О.В. Крючкова; подготовка рукописи — А.Э. Талышинский, М.В. Шевнин, И.Г. Камышанская, А.В. Говоров, Д.Ю. Пушкар.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Special contribution: study concept and design — AET, NAN; data collection and analysis — AET, MVSh, NAN, IGK, AVG, AAP, OVK; manuscript writing — AET, MVSh, IGK, AVG, DyuP.

Потенциальный конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи. Компания «ООО Мед-Рей» является разработчиком описанного ПО и заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the authors declare that they have no competing interests. Med-Rey LLC, the developer of the described software, declares no conflict of interest.

Соответствие принципам этики. Сбор данных осуществлялся на основе имеющихся договоров о научно-техническом сотрудничестве между обществом с ограниченной ответственностью (ООО) «Мед-Рей» и соответствующими учреждениями. В договоре были отображены этапы сбора, обезличивания и передачи данных, обеспечивающие конфиденциальность персональных данных пациентов в соответствии с пунктом 9 части 1 статьи 6 Федерального Закона № 152-ФЗ от 27.07.2006 г. «О персональных данных». Учитывая преимущественно ретроспективный и мультицентровой характер исследования, а также соблюдение этапов обезличивания данных, исследование выполнено без заключения этического комитета на основании ранее упомянутых договоров о научно-техническом сотрудничестве с медицинскими учреждениями.

Adherence to ethical standards. Data collection was carried out on the basis of existing scientific and technical cooperation agreements between the LLC «Med-Rey» and the relevant institutions. The agreement outlined the stages of data collection, anonymization, and transfer, ensuring the confidentiality of patients' personal data in accordance with Clause 9, Part 1, Article 6 of Federal Law No. 152-FZ dated July 27, 2006, «On Personal Data». Considering the predominantly retrospective and multicenter nature of the study, as well as compliance with the data anonymization procedures, the research was conducted without an ethics committee approval. This decision is based on the aforementioned scientific and technical cooperation agreements with the medical institutions.

Поступила/Received: 15.08.2025

Принята к печати/Accepted: 29.11.2025

Опубликована/Published: 29.12.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Каприн А.Д., Алексеев Б.Я., Матвеев В.Б. и др. Рак предстательной железы. Клинические рекомендации // *Современная онкология*. 2021. Т. 23, № 2. С. 211–247. [Kaprin A.D., Alekseev B.I., Matveev V.B. et al. Prostate cancer. *Journal of Modern Oncology*, 2021, Vol. 23, No. 2, pp. 211–247 (In Russ.)]. doi: 10.26442/18151434.2021.2.200959.
- Рубцова Н.А., Мищенко А.В., Данилов В.В. и др. PI-RADS v2.1: движение на пути к ясности (комментарии к обновленной версии) // *Онкоурология*. 2020. Т. 16, № 2. С. 15–28. [Rubtsova N.A., Mishchenko A.V., Danilov V.V. et al. PI-RADS v2.1: moving towards clarity (comments on the updated version). *Onkourologiya=Cancer Urology*, 2020, Vol. 16, No. 2, pp. 15–28 (In Russ.)]. doi: 10.17650/1726-9776-2020-16-2-15-28.
- Lee C.H., Vellayappan B., Tan C.H. Comparison of diagnostic performance and inter-reader agreement between PI-RADS v2.1 and PI-RADS v2: systematic review and meta-analysis // *Br.J. Radiol.* 2022. Vol. 95, No. 1131. P. 20210509. doi: 10.1259/bjr.20210509.
- Jiang F., Jiang Y., Zhi H. et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future // *Stroke Vasc. Neurol.* 2017. Vol. 2, No. 4. P. 230–243. doi: 10.1136/svn-2017-000101.
- Talyshinskii A., Hameed B.M.Z., Ravinder P.P. et al. Catalyzing Precision Medicine: Artificial Intelligence Advancements in Prostate Cancer Diagnosis and Management // *Cancers*. 2024. Vol. 16, No. 10. P. 1809. doi: 10.3390/cancers16101809.
- Рева С.А., Шадеркин И.А., Зятчин И.В. и др. Искусственный интеллект в онкоурологии // *Экспериментальная и клиническая урология*. 2021. Т. 14, № 2. С. 46–51. [Reva S.A., Shaderkin I.A., Zyatchin I.V. et al. Artificial intelligence in cancer urology. *Experimental and Clinical Urology*, 2021, Vol. 14, No. 2, pp. 46–51 (In Russ.)]. doi: 10.29188/2222-8543-2021-14-2-46-51.
- Попков В.М., Шатылко Т.В., Королев А.Ю. и др. Оптимизация PSA-скрининга с помощью искусственного интеллекта // *Медицинский вестник Башкортостана*. 2015. Т. 10, № 3. С. 232–235. [Popkov V.M., Shatylo T.V., Korolev A.Ju. et al. Optimizing PSA Screening with Artificial Intelligence. *Medical Bulletin of Bashkortostan*, 2015, Vol. 10, No. 3, pp. 232–235 (In Russ.)].
- Талышинский А.Э., Камышанская И.Г., Мищенко А.В. и др. Применение искусственного интеллекта в обнаружении и стратификации рака предстательной железы: обзор литературы // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина*. 2023. Т. 18, № 2. С. 150–166. [Talyshinskii A.E., Kamyshanskaya I.G., Mischenko A.V. et al. Application of artificial intelligence in the detection and stratification of prostate cancer: Literature review. *Bulletin of St. Petersburg University. Medicine*, 2023, Vol. 18, No. 2, pp. 150–166 (In Russ.)]. doi: 10.21638/spbu11.2023.204.
- Alowais S.A., Alghamdi S.S., Alsuhbany N. et al. Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice // *BMC Med. Educ.* 2023. Vol. 23, No 1. P. 689. doi: 10.1186/s12909-023-04698-z.
- Kumar Y., Koul A., Singla R. et al. Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda // *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* 2023. Vol. 14, No. 7. P. 8459–8486. doi: 10.1007/s12652-021-03612-z.

11. Naik N., Talyshinskii A., Shetty D.K. et al. Smart Diagnosis of Urinary Tract Infections: is Artificial Intelligence the Fast-Lane Solution? // *Curr. Urol. Rep.* 2024. Vol. 25, No. 1. P. 37–47. doi: 10.1007/s11934-023-01192-3.
12. Mukherjee J., Sharma R., Dutta P. et al. Artificial intelligence in healthcare: a mastery // *Biotechnol. Genet. Engl. Rev.* 2024. Vol. 40, No. 3. P. 1659–1708. doi: 10.1080/02648725.2023.2196476.
13. Yu R., Ke-Wen J., Bao J. et al. PI-RADSAI: introducing a new human-in-the-loop AI model for prostate cancer diagnosis based on MRI // *Br.J.Cancer.* 2023. Vol. 128, No. 6. P. 1019–1029. doi: 0.1038/s41416-022-02137-2.
14. Castillo T.J.M., Starmans M.P.A., Arif M. et al. A Multi-Center, Multi-Vendor Study to Evaluate the Generalizability of a Radiomics Model for Classifying Prostate cancer: High Grade vs. Low Grade // *Diagnostics.* 2021. Vol. 11, No. 2. P. 369. doi: 10.3390/diagnostics11020369.
15. Hosseinzadeh M., Saha A., Brand P. et al. Deep learning-assisted prostate cancer detection on bi-parametric MRI: minimum training data size requirements and effect of prior knowledge // *Eur. Radiol.* 2022. Vol. 32, No. 4. P. 2224–2234. doi: 10.1007/s00330-021-08320-y.
16. Rajagopal A., Redekop E., Kemiseti A. et al. Federated Learning with Research Prototypes: Application to Multi-Center MRI-based Detection of Prostate Cancer with Diverse Histopathology // *Acad. Radiol.* 2023. Vol. 30, No. 4. P. 644–657. doi: 10.1016/j.acra.2023.02.012.
17. Alqahtani S., Wei C., Zhang Y. et al. Prediction of prostate cancer Gleason score upgrading from biopsy to radical prostatectomy using pre-biopsy multiparametric MRI PIRADS scoring system // *Sci. Rep.* 2020. Vol. 10, No. 1. P. 7722. doi: 10.1038/s41598-020-64693-y.
18. Siddiqui M.M., Rais-Bahrami S., Truong H. et al. Magnetic resonance imaging/ultrasound-fusion biopsy significantly upgrades prostate cancer versus systematic 12-core transrectal ultrasound biopsy // *Eur. Urol.* 2013. Vol. 64, No. 5. P. 713–719. doi: 10.1016/j.eururo.2013.05.059.
19. Ishioka J., Matsuoka Y., Uehara S. et al. Computer-aided diagnosis of prostate cancer on magnetic resonance imaging using a convolutional neural network algorithm // *BJU Int.* 2018. Vol. 122, No. 3. P. 411–417. doi: 10.1111/bju.14397.