

Ю.Д. Удалов<sup>1</sup>, А.А. Сажина<sup>1</sup>, А.А. Тимченко<sup>2</sup>, В.И. Пустовойт<sup>1</sup>**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ДИАГНОСТИКЕ ПОЧЕЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**<sup>1</sup> Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва<sup>2</sup> Тинькофф Центр Разработки, Москва, Россия

Контактное лицо: Анна Андреевна Сажина, e-mail: anna\_sazhina2000@mail.ru

**АННОТАЦИЯ**

**Цель:** Обобщить современные подходы к диагностике почечных образований с акцентом на мультимодальную визуализацию и технологии искусственного интеллекта.

**Материал и методы:** Проведён систематизированный обзор отечественных и международных публикаций за период 2015–2024 гг., посвящённых диагностике опухолей почек с использованием ультразвукового исследования (УЗИ), компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансной томографии (МРТ), перфузионной КТ и контрастно-усиленного УЗИ. Отдельное внимание уделено методам радиомики, алгоритмам машинного обучения (CNN, SVM, XGBoost) и интеграции дополненной/виртуальной реальности в онкоурологическую практику.

**Результаты:** Установлено, что КТ и МРТ обеспечивают высокую точность визуализации образований почек (чувствительность до 95 %), в то время как ИИ-модели, такие как KidneyNet и 3D RES-UNET, достигают точности свыше 96 % при сегментации и классификации опухолей. Радиомика и текстурный анализ позволяют дифференцировать гистологические подтипы, прогнозировать грейд опухоли и снижать субъективность интерпретации. Технологии AR/VR способствуют персонализации хирургического планирования.

**Выводы:** Интеграция методов ИИ и мультимодальной визуализации повышает точность диагностики, ускоряет клиническое принятие решений и открывает перспективы для внедрения персонализированной онкоурологии. Необходима стандартизация протоколов, валидация алгоритмов на независимых выборках и решение этических вопросов использования данных пациентов.

**Ключевые слова:** лучевая диагностика, мультимодальная визуализация, почечные образования, искусственный интеллект, радиомика, текстурный анализ, KidneyNet

**Для цитирования:** Удалов Ю.Д., Сажина А.А., Тимченко А.А., Пустовойт В.И. Современные технологии визуализации и искусственный интеллект в диагностике почечных образований // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 6. С. 129–135. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-6-129-135

Yu.D. Udalov<sup>1</sup>, A.A. Sazhina<sup>1</sup>, A.A. Timchenko<sup>2</sup>, V.I. Pustovoi<sup>1</sup>**Modern Visualisation Technologies and Artificial Intelligence in the Diagnosis of Kidney Lesions**<sup>1</sup> A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia<sup>2</sup> Tinkoff Development Center, Moscow, Russia

Contact person: Anna Sazhina, e-mail: anna\_sazhina2000@mail.ru

**ABSTRACT**

**Purpose:** To summarize current approaches to the diagnosis of renal masses with a focus on the multimodal imaging and artificial intelligence (AI) technologies.

**Material and methods:** A structured literature review was conducted covering Russian and international sources published between 2015 and 2024. Diagnostic methods included ultrasound (US), computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), perfusion CT, and contrast-enhanced ultrasound (CEUS). Special attention was given to radiomics, machine learning algorithms (CNN, SVM, XGBoost), and the integration of augmented/virtual reality tools in oncological urology.

**Results:** CT and MRI demonstrate high diagnostic accuracy (sensitivity up to 95 %), while AI-based models such as KidneyNet and 3D RES-UNET achieve >96 % accuracy in tumor segmentation and classification. Radiomics and texture analysis support histological subtype differentiation, tumor grading prediction, and reduction of diagnostic subjectivity. AR/VR technologies enhance preoperative planning and personalized clinical decision-making.

**Conclusions:** The integration of AI technologies with multimodal imaging improves diagnostic precision, facilitates clinical workflows, and promotes the development of personalized oncological urology. Standardization of data acquisition protocols, external validation of algorithms, and resolution of ethical issues related to patient data use remain essential for large-scale implementation.

**Keywords:** radiation diagnostics, multimodal imaging, renal masses, artificial intelligence, radiomics, texture analysis, KidneyNet

**For citation:** Udalov YuD, Sazhina AA, Timchenko AA, Pustovoi VI. Modern Visualisation Technologies and Artificial Intelligence in the Diagnosis of Kidney Lesions. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(6):129–135. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-6-129-135

Сочетание мультимодальных методов визуализации и искусственного интеллекта не только открывает беспрецедентные возможности для развития персонализированной онкологической урологии, но и снижает зависимость от инвазивных диагностических процедур, что в конечном итоге приводит к повышению точности прогнозирования и улучшению клинических результатов для пациентов.

В соответствии с Международной классификацией болезней 10-го пересмотра рак почки относится к рубрике С64 [1–3]. В пресс-релизе Всемирной организации здравоохранения от 01 февраля 2024 г. говорится о том, что в 2022 г. в мире было зарегистрировано около 20 млн случаев онкологических заболеваний, а в 2050 г. прогнозируется увеличение количества случаев до 35 млн, причем наибольший рост будет отмечаться в странах с высоким индексом человеческого развития. Таким образом, рост заболеваемости отмечается в странах с высоким уровнем доступа к медицинским технологиям, включая визуализирующие методы [4]. В Российской Федерации рак почки входит в первую десятку всех новообразований, при этом у мужчин составляет 4,7 % и занимает 4-ое порядковое место [5, 6]. Значительный рост связан с активным введением ультразвуковых исследований в клиническую практику (УЗИ), в том числе в рамках диспансеризации населения. Это позволяет выявлять опухолевые образования почек на ранних стадиях, включая индолеттные формы, которые ранее оставались незамеченными. Несмотря на тенденцию к росту заболеваемости, стандартизованная смертность от рака почки в России снизилась. Это объясняется не только ранним выявлением, но и совершенствованием терапевтических подходов [6].

Современные подходы к диагностике образований почек значительно изменились с развитием мультимодальных методов визуализации и искусственного интеллекта (ИИ). Компьютерная томография (КТ) широко признана как «золотой стандарт» в первичной оценке опухолей почек. Этот метод обеспечивает высокую точность в дифференциальной диагностике солидных и кистозных образований, что является критическим для определения оптимальной стратегии лечения пациента [7, 8].

Среди наиболее часто используемых подходов в диагностике почечных заболеваний ультразвуковое исследование (УЗИ) занимает одно из первых мест в первичном выявлении образований почек. Его заслуженно считают предпочтительным методом при поиске новообразований в начальной стадии диагностики. УЗИ позволяет обнаружить до 90 % опухолевых поражений почек, которые могут протекать без явных симптомов. К сонографическим признакам таких опухолей относят изменение контуров пораженной почки, неоднородное утолщение стенок и наличие различных эхосигналов, что связано с некротическими зонами, участками кальцификации и кровоизлияниями. Видимость опухоли на УЗИ зависит от ее размера, плотности и местоположения. Если размер образования превышает три сантиметра, его обычно легко визуализировать. Опухоли размером от полутора до трех сантиметров выявляются в 80 % случаев, в то время как новообразования менее полутора сантиметров найти достаточно сложно, и они чаще остаются невидимыми. Изоэхогенные опухоли небольшого размера, находящиеся глубоко в паренхиме, представляют наибольшую диагностическую сложность. Часто только изменение контура почки может указывать на их наличие. В таких случаях рекомендуется применять доплерографию для выявления гиперва-

скуляризации новообразования. Однако стоит помнить, что около 25 % злокачественных новообразований являются гиповаскулярными или аваскулярными, что может вызывать трудности при диагностике. Следовательно, при выполнении УЗИ нельзя точно определить природу опухолевого образования. Врач ультразвуковой диагностики определяет наличие очагового образования, а также описывает его местоположение, размер, структуру и контуры [9].

КТ с контрастным усилением позволяет провести детальную оценку и классификацию образований почек, различных по своей структуре и характеристикам. Метод КТ применяется для определения размеров, положения образования почки относительно чашечно-лоханочной системы, распространенности процесса, наличия регионарных и отдаленных метастазов в случае выявления почечно-клеточного рака, а также тромбоза почечной, нижней полой вен. В связи с этим КТ рекомендована для определения тактики лечения пациента. При этом минимальный размер определяемой опухоли существенно меньше, чем при УЗИ и составляет 0,5–1 см [9]. Несмотря на это, проведение дифференциальной диагностики, особенно между различными формами почечно-клеточного рака и доброкачественными опухолями, может представлять собою сложную задачу [10].

Более того, КТ может существенно улучшить диагностику и прогнозирование почечно-клеточного рака, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований для повышения информативности этих неинвазивных методов [7]. Внедрение новых технологий и методов, таких как радиомика и текстурный анализ, вместе с традиционными методами визуализации, продолжает трансформировать подходы к диагностике почечных образований, открывая новые горизонты для мультидисциплинарного лечения пациентов с данными патологиями [10, 11].

Также следует упомянуть такой метод как перфузионная компьютерная томография (ПКТ), которая позволяет оценить как качественно, так и количественно состояние кровотока в почке на уровне артериол, венул и микроциркуляторного русла. ПКТ используется как для проведения дифференциальной диагностики опухолей, так и для динамического наблюдения за пациентами в ходе консервативного или хирургического лечения. Широкий спектр применения ПКТ в диагностике заболеваний почек обусловлен рядом факторов. Хотя существуют и другие методы визуализации, такие как ультразвуковое исследование (УЗИ), мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ), магнитно-резонансная томография (МРТ) и нефросцинтиграфия, которые позволяют оценивать перфузию тканей, ПКТ отличается более высоким пространственным и временным разрешением по сравнению с динамической нефросцинтиграфией. Это позволяет проводить количественный мультипараметрический анализ состояния паренхимы и обеспечивает воспроизводимость результатов, в отличие от УЗИ и стандартной МСКТ. Методика ПКТ позволяет одновременно оценивать особенности почечного кровотока и структурные изменения в паренхиме почек благодаря совмещению компьютерных томограмм с перфузионными картами [12].

В тех случаях, когда пациенту по ряду причин, например при наличии аллергии на йод-содержащие контрастные препараты, при сниженной функции почек, противопоказано проведение КТ, возрастает роль контрастно-усиленного ультразвукового исследования (КУ-УЗИ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) в диагностике образований почек.

Мультипараметрическое ультразвуковое исследование (мпУЗИ) с применением контрастного усиления достигает высокой чувствительности и специфичности при анализе солидных образований почек. Так, показатели чувствительности составили 92,1 %, специфичности – 93,7 % и точности – 92,4 % для данного метода, что сопоставимо с аналогичными параметрами КТ, чувствительность которой составляет 94,9 %, специфичность – 85,0 % и точности – 92,4 %. Такое исследование является особенно ценным для пациентов с противопоказаниями к лучевой нагрузке и может выступать в качестве метода выбора благодаря отсутствию лучевой нагрузки [7].

Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ) позволяет точно диагностировать множество различных почечных патологий, включая визуализацию новообразований и эффективную дифференциацию различных типов опухолей; кроме того, примечательно, что точность определения стадии опухоли может достигать впечатляющей величины – до 98 %. Использование контрастных веществ во время процедуры МРТ значительно повышает информативность исследования, тем самым облегчая определение точной локализации и присущих патологическому процессу характеристик, а также выяснение взаимосвязей с соседними анатомическими структурами и сосудистыми образованиями, что позволяет получить исчерпывающий обзор опухолевой среды. Кроме того, применение контрастных веществ в рамках МРТ позволяет обнаруживать опухолевые узелки диаметром менее одного сантиметра, что имеет решающее значение для ранней диагностики и своевременного вмешательства. В целом, хотя чувствительность метода МРТ в целом сопоставима с чувствительностью КТ, важно подчеркнуть, что точность МРТ в контексте дифференциальной диагностики заметно выше. Полученные с помощью МРТ данные о распространенности опухолей почек значительно более информативны, чем аналогичные данные, полученные методом КТ, которая позволяет с большей степенью достоверности определять T- и N-стадии почечной патологии. В частности, стадия T точно определяется с помощью КТ примерно в 78,4 % случаев, тогда как МРТ достигает 84 % в том же контексте, а для стадии N соответствующие показатели точности составляют 81,8 % для МРТ по сравнению с 79,5 % для КТ, что подчеркивает преимущества использования МРТ в диагностическом процессе [9].

Текстурный анализ изображений, или радиомика, представляет собой перспективное направление в неинвазивной диагностике почечно-клеточного рака (ПКР). Впервые основы текстурного анализа были представлены в работах R.M. Haralick et al в 1973 г. [11, 13]. С точки зрения физиологии, визуальное восприятие текстур человеком основано на распознавании сложных паттернов, объединяющих пространственно упорядоченные и повторяющиеся элементы, формирующие единый визуальный образ. Локальные фрагменты изображения отличаются специфическими характеристиками: вариативностью яркости, масштабом элементов, степенью шероховатости, ориентацией линий, случайностью распределения деталей, зернистостью и др. Анализ таких структур играет ключевую роль в интерпретации визуальных данных, поскольку особенности текстурного рисунка отражают свойства физических объектов. Для их изучения применяются алгоритмы интеллектуальной обработки, сочетающие математические методы (статистический анализ различных порядков, моделирование, геометрические преобразования) и вычислительные технологии. Радиомика может быть применена в различных аспектах диагностики, например, она может быть использована в

Таблица 1  
**Диагностическая точность методов визуализации при оценке почечных образований**  
**Diagnostic accuracy of imaging methods in the assessment of renal lesions**

Метод	Чувствительность (%)	Специфичность (%)	Точность (%)	Лучевые нагрузки	Ограничения
УЗИ	90	70–80	85	Нет	Трудности при изоэхогенных опухолях
КТ	95	85	92	Высокая	Контраст, радиация
ПКТ	90–94	85–88	91	Очень высокая	Доступность
МРТ	94	90	92–98	Нет	Высокая стоимость, противопоказания
КУ-УЗИ	92	93	92	Нет	Зависимость от оператора
ИИ-модели (KidneyNet)	>96	>96	96–99	Нет	Требуется валидация

дифференцировке выявленных новообразований между доброкачественными и злокачественными, для определения морфологического типа образований, для оценки грейда опухоли, а также для определения наиболее подходящего участка для выполнения биопсии, учитывая гетерогенную структуру образования [14, 15]. При КТ и МРТ текстурный анализ позволяет извлекать количественные показатели из изображений опухолей, которые недоступны при визуальной интерпретации обычным способом [14]. Один из ключевых аспектов использования текстурного анализа заключается в его способности предсказывать дифференцировку (грейд) опухолей с высокой точностью, что крайне важно для проведения дифференциальной диагностики и прогнозирования клинического течения заболевания. Исследования показывают, что текстурный анализ может быть использован для дифференциации различных типов ПКР, например, светлоклеточного ПКР от ангиомиолипом с низким содержанием жира, с высокой чувствительностью и специфичностью [7]. Текстурный анализ позволяет выявлять нюансы структуры опухолей, которые могут быть связаны с их биологической активностью, такими как гетерогенность и некроз клеток ПКР, предоставляя дополнительную информацию для клинического принятия решений [7].

Исследование, проведенное H. Yu et al, продемонстрировало преимущества текстурного анализа КТ-изображений с использованием метода опорных векторов (SVM) для диагностики рака почек. Метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM) представляет собой математический алгоритм для нахождения функции, решающей задачу классификации. Если в пространстве признаков расположить набор точек и провести через него плоскость (либо прямую), то возможных вариантов таких плоскостей будет бесконечно много. Те точки, которые находятся на одинаковом минимальном расстоянии от плоскости (или прямой), называются опорными векторами [13]. При различении светлоклеточного рака почки и ангиомиолиомы значение AUC достигло 0,93. Для папиллярного рака почки в сравнении с ангиомиолиомой AUC составила 0,99, а при сопоставлении ангиомиолиомы с иными опухолями AUC было 0,92. Метод алгоритма эффективно различал светлоклеточный и папиллярный рак от других типов опухолей с AUC 0,91 и 0,92 соответственно [16, 17]. L. Yan et al с помощью текстурного анализа КТ-изображений и искусственной нейронной сети достигли распознавания ангиомиоли-

помы, светлоклеточного и папиллярного рака почки с погрешностью от 0 до 9,3 % [16, 18]. В исследовании Z. Feng et al, использование метода опорных векторов, обученного на текстурных характеристиках, обеспечило высокую точность при диагностировании ангиомиолипомы и почечно-клеточного рака, достигнув точности 93,9 %, чувствительности 87,8 %, специфичности 100 % и AUC 0,955 [16, 19].

Несмотря на множество обнадеживающих результатов, важной проблемой остается стандартизация методик текстурного анализа. Различия в используемых протоколах КТ и МРТ, а также нехватка унифицированных алгоритмов обработки данных, которые могут ограничивать воспроизводимость и универсальность метода [20]. Ожидается, что дальнейшие исследования и разработка единых стандартов помогут решить эти проблемы и расширить применение радиомедицины в клинической практике [7].

Примером применения ИИ служит модель KidneyNet, описанная в исследовании S.N. Aluaygil et al, которая на основе сверточных нейронных сетей (CNN) анализирует КТ-снимки для выявления заболеваний почек, включая объемные образования. Архитектура KidneyNet позволяет эффективно выделять сложные морфологические особенности, в том числе неоднородности опухолевой ткани. Применение алгоритма Grad-CAM для визуализации значимых областей на снимках повышает прозрачность решений ИИ, что критично для интеграции таких систем в клиническую практику. Точность модели 99,88 % и специфичность 99,92 % подчеркивают ее потенциал для снижения нагрузки на радиологов и минимизации диагностических ошибок [21].

Искусственный интеллект активно трансформирует подходы к обработке данных в области мультимодальной визуализации, что подтверждается, например, работой веб-платформы Sechenov.AI\_nephro. Эта платформа интегрирует 3D-моделирование на основе КТ-изображений, добиваясь высокой точности сегментации анатомических структур, достигающей 96 % [20]. Работа системы базируется на использовании нейронных сетей, организованных через платформу MONAI и мультимодальные данные, чтобы улучшить точность и четкость 3D-реконструкций, применяемых как для предоперационного планирования, так и для непосредственной хирургической навигации. Платформа была протестирована в многоцентровом исследовании и показала высокий уровень удовлетворенности пользователей, а также продемонстрировала потенциал в персонализации хирургической тактики при лечении патологий почек [20].

Современные подходы к диагностике почечных образований расширяются за счёт внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности (AR/VR), которые позволяют преодолеть ограничения традиционных методов визуализации. Программный комплекс HoloDoctor AR/VR демонстрирует значительный потенциал в обработке сложных клинических случаев, таких как почечно-клеточная карцинома, кисты и аномалии развития почек. В отличие от двумерных изображений КТ и МРТ, AR/VR обеспечивает трёхмерную и даже четырёхмерную визуализацию, что улучшает понимание пространственных взаимоотношений опухолей с окружающими структурами. Например, в клиническом случае с тазовой дистопией почек и паренхиматозной кистой HoloDoctor AR/VR позволил создать детальные 3D-модели, что помогло дифференцировать гиподенсивные участки и уточнить хирургическую тактику. По данным ВОЗ, применение таких систем может снизить до 30 % диагностических ошибок, связанных с недостаточной визуализацией патологий на ранних стадиях.

Ключевым преимуществом HoloDoctor AR/VR является его интеграция с искусственным интеллектом и системами поддержки врачебных решений. Встроенные алгоритмы на основе нейросетей автоматически генерируют контрастные 3D-модели органов, выделяя зоны интереса, такие как опухоли диаметром до 20 мм. Это особенно важно для планирования малоинвазивных вмешательств, например, при почечно-клеточной карциноме стадии T<sub>1</sub>aN<sub>0</sub>M<sub>0</sub>, где точное определение локализации опухоли критично для установки портов и минимизации повреждения здоровых тканей. Кроме того, система анализирует исторические данные и предлагает варианты дифференциальной диагностики, сокращая время на постановку диагноза. В рамках национального проекта «Здравоохранение» подобные решения уже внедряются в российские клиники, что соответствует глобальному тренду на цифровизацию медицины [22].

Синергия AR/VR и искусственного интеллекта открывает новые горизонты для персонализированной медицины. Например, сочетание 3D-моделирования с радиомическим анализом позволяет не только визуализировать опухоль, но и прогнозировать её биологическое поведение на основе текстурных признаков. В будущем интеграция HoloDoctor AR/VR с мультимодальными платформами, такими как Sechenov.AI\_nephro, может автоматизировать сегментацию опухолей, оценку гистологического типа и даже моделировать результаты различных методов лечения. Однако для масштабирования таких технологий необходима стандартизация протоколов обработки данных и решение этических вопросов, связанных с использованием персональной информации пациентов [22].

Инструменты помощи в принятии клинических решений на основе анализа радиомных характеристик показывают эффективность в прогнозировании клинических исходов. Согласно литературным обзорам, эти системы позволяют проводить раннее диагностирование, уточнять подтипы, оценивать степень злокачественности и прогнозировать клинические исходы рака почки на ранней стадии, что способствует улучшению показателей диагностики и снижению времени на обработку данных [20]. Это осуществляется благодаря интеграции алгоритмов машинного обучения и радиомических маркеров, которые, например, показали возможность прогнозирования общей выживаемости с коэффициентами риска от 2,49 до 3,83 для различных когорт. Такие системы структурируют и анализируют изображения, предоставляя количественные данные, что позволяет врачам более осознанно подходить к индивидуальному планированию лечения и мониторингу пациентов [20].

В современных подходах к диагностике почечных образований важной проблемой остаётся стандартизация данных, в первую очередь из-за различий в протоколах сканирования и в «чёрных ящиках» алгоритмов искусственного интеллекта. Различия в технических параметрах сканирования между различными томографами ведут к низкой воспроизводимости результатов текстурного анализа, что ограничивает их широкое клиническое применение [23]. Несмотря на это, исследования, проведённые на одном томографе согласно стандартному протоколу, показывают, что такие данные могут быть использованы для проведения текстурного анализа и дифференциальной диагностики почечных образований. Это подтверждает необходимость в унифицированных протоколах для воспроизводимости результатов [23].

Современные подходы к диагностике почечных образований значительным образом улучшились благодаря комбинированному использованию полиэнергетической

КТ и радиомики. Эти методы позволяют улучшить дифференциацию ангиомиолипом от почечно-клеточного рака, предоставляя новый объем информации, ранее недоступной визуально. Радиомика предоставляет принципиально новые параметры для оценки гистологических характеристик опухолей почек на основании изображений, что увеличивает объективность и точность диагностики [11, 23]. Интеграция ПЭТ/КТ с PSMA-лигандами показывает высокую чувствительность в обнаружении рецидивов ПКР. В частности, использование <sup>18</sup>F-PSMA-1007 в комбинации с КТ позволяет выявлять как первичные, так и рецидивные изменения с высокой специфичностью и чувствительностью [23].

Современная диагностика почечных образований достигла значительных успехов в результате объединения методов мультимодальной визуализации и методологий искусственного интеллекта. Трехмерная компьютерная томография по-прежнему является основным инструментом идентификации и характеристики опухолей почек, обеспечивая всестороннюю визуализацию морфологии и объемных характеристик образований. Тем не менее, процессы ручной сегментации и анализа данных трудоемки и подвержены субъективным неточностям. В этом контексте искусственный интеллект раскрывает значительный потенциал автоматизации этих процессов, тем самым повышая точность и облегчая нагрузку на радиологов [24]. Например, Liu et al (2023) представили комплексный алгоритм, основанный на технологии 3D RES-UNET, который позволяет автономно сегментировать почки и опухоли, достигая коэффициентов Dice 96,7 % и 86,6 % соответственно, что превышает эффективность существующих методологий. Этот инновационный подход не только ускоряет обработку данных, но и снижает необходимость инвазивных вмешательств, таких как биопсия, благодаря эффективному различению подтипов рака [25].

Разработка роботизированных систем для биопсии оказывает значительное влияние на снижение лучевой нагрузки и повышение точности забора материала у пациентов. Эти разработки нацелены на сокращение времени проведения процедуры и улучшение контроля, особенно учитывая высокую радиационную нагрузку, связанную с выполнением биопсии под контролем КТ. Исследования показали, что роботизированное устройство позволяет исключить присутствие медицинского персонала в зоне воздействия ионизирующего излучения, что снижает лучевую нагрузку как на пациента, так и на врача, обеспечивая при этом точность выполнения манипуляции. Точность, специфичность и чувствительность метода при использовании таких устройств достигают 100 %, при этом повторные процедурные вмешательства не требуются [26].

Внедрение искусственного интеллекта в системы диагностики почечных образований сталкивается с рядом трудностей, которые требуют детального рассмотрения и решения. Одной из главных задач в этой области является необходимость внешней валидации моделей ИИ, что особенно важно для обеспечения их эффективности и надежности в клинической практике. Исследования указывают на то, что большинство существующих моделей требуют дополнительной валидации на независимых наборах данных, чтобы подтвердить их применимость в реальных клинических условиях [16].

Этические аспекты использования ИИ также занимают центральное место в обсуждении. Они охватывают вопросы конфиденциальности данных пациентов, особенно в свете увеличения объемов данных, используемых для обучения моделей. Необходимо разрабаты-

вать этические стандарты и протоколы для обработки чувствительных данных, чтобы обеспечить их безопасность и защиту [17]. Оптимизация взаимодействия между радиологами и разработчиками алгоритмов является еще одним важным аспектом внедрения ИИ. Это сотрудничество необходимо для улучшения алгоритмов на основе обратной связи от медицинских специалистов, что позволит адаптировать технологии к практическим нуждам врачей.

Совместное развитие и использование систем ИИ могут значительно повысить качество диагностики и лечения, а также помочь в разработке более точных и надежных инструментов [20]. Для достижения долгосрочных успехов необходимо создавать мультидисциплинарные платформы, которые объединят радиомические данные, геномные исследования и клинические параметры. Такие платформы будут способствовать персонализации медицинского подхода, обеспечивая более точные и индивидуализированные методы лечения в онкоурологии (рис. 1) [20].

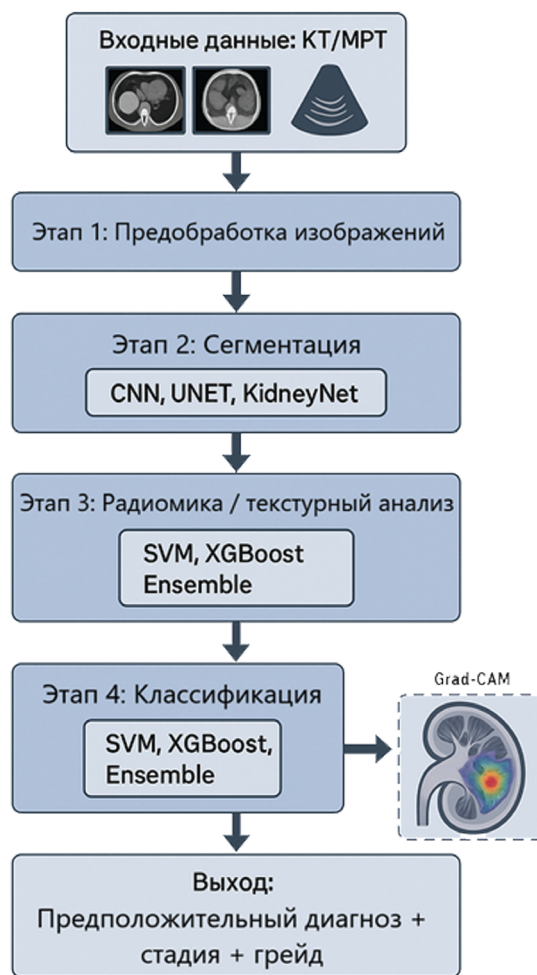


Рис. 1. Интеграция искусственного интеллекта в процесс диагностики почечных образований

Fig. 1. Integration of artificial intelligence into the process of diagnosing renal lesions

Современные методы визуализации (КТ, МРТ, УЗИ с контрастированием) остаются основой диагностики почечных образований, обеспечивая высокую точность выявления опухолей размером от 0,5 см.

Радиомика и ИИ существенно улучшают дифференциальную диагностику, прогнозирование гистологиче-

ского типа и стадии опухоли, а также снижают субъективность интерпретации данных.

Внедрение ИИ-моделей (KidneyNet, 3D RES-UNET) демонстрирует высокую эффективность (точность >96 %) в автоматизации сегментации и классификации опухолей, сокращая нагрузку на радиологов. Ключевыми барьерами для широкого применения ИИ являются различия в протоколах сканирования, необходимость ва-

лидации на независимых когортах и этические вопросы защиты данных пациентов.

Перспективы связаны с интеграцией мультидисциплинарных платформ, объединяющих радиомикру и клинические параметры, что позволит перейти к персонализированному лечению и улучшить долгосрочные результаты терапии.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Инструктивно-методические указания по использованию полного перечня кодов морфологии опухолей (МКБ-О) и их переводу в коды единой системы популяционных раковых регистров России / Под ред. О.Ф. Чепик, В.М. Мерабишвили. СПб., 1996. 31 с.
2. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 1995. 698 с.
3. Справочник сопоставления кодов МКБ-9 и МКБ-10 пересмотров по классу новообразований / Под ред. В.М.Мерабишвили. СПб., 1998. 91 с.
4. Доклад ВОЗ от 01.02.2024. Электронный ресурс: <https://news.un.org/ru/story/2024/02/1449057>.
5. Злокачественные новообразования в России в 2022 году (заболеваемость и смертность). МНИОИ им. П.А.Герцена – филиал «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Электронный ресурс: [https://glavonco.ru/cancer\\_register/zis-2022-elektronnaya-versiya.pdf](https://glavonco.ru/cancer_register/zis-2022-elektronnaya-versiya.pdf)
6. Мерабишвили В.М., Полторацкий А.Н., Носов А.К. и др. Состояние онкологической помощи в России. Рак почки (заболеваемость, смертность, достоверность учета, одногодичная и погодичная летальность, гистологическая структура). Часть 1 // Онкоурология. 2021. Т.17. №2. С. 182-194. doi 10.17650/1726-9776-2021-17-2-182-194. EDN YWWJJW.
7. Кадырлеев Р.А., Багненко С.С., Бусько Е.А. и др. Мультипараметрическое ультразвуковое исследование с контрастным усилением солидных образований почки в сопоставлении с методом компьютерной томографии // Лучевая диагностика и терапия. 2021. Т.12. №4. С. 74–82. doi: 10.22328/2079-5343-2021-12-4-74-82.
8. Elstob A., Gonsalves M., Patel U. Diagnostic Modalities // International Journal of Surgery. 2016. V.36. No.Pt.C. P. 504–512. doi: 10.1016/j.ijssu.2016.06.005. Epub 2016 Jun 15.
9. Ямщиков О.Н., Емельянова Н.В., Загороднова Д.С. Современные методы лучевой диагностики новообразований почки (обзор литературы) // Медицина и физическая культура: наука и практика. 2021. Т.3. №1. С. 14-22. doi: 10.20310/2658-7688-2021-3-1(9)-14-22. EDN NFDUUK. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45428143>.
10. Кадырлеев Р.А., Бусько Е.А., Костромина Е.В. и др. Ультразвуковое исследование с контрастированием в алгоритме диагностики солидных образований почек // Лучевая диагностика и терапия. 2021. Т.12. №1. С. 14–23. doi: 22328/2079-5343-2020-12-1-14-23. EDN TDGSSC.
11. Shehata M., Abouelkheir R.T., Gayhart M., Van Bogaert E., Abou El-Ghar M., Dwyer A.C., Ouseph R., Yousaf J., Ghazal M., Contractor S., El-Baz A. Role of Ai and Radiomic Markers in Early Diagnosis of Renal Cancer and Clinical Outcome prediction: a Brief Review // Cancers. 2023. V.15. No.10. P. 28-35. doi: 10.3390/cancers15102835.
12. Ломоносова Е.В., Гольбиц А.Б., Рубцова Н.А., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д. Перфузионная компьютерная томография в диагностике заболеваний почек (обзор литературы) // Медицинская визуализация. 2023. Т.27. №2. С. 85–98. doi: 10.24835/1607-0763-1220.
13. Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I. Textural Features for Image Classification. IEEE Trans Syst Man Cybern // SMC. 1973. V.3. No.6. P. 610–21. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
14. Гордуладзе Д.Н., Сирота Е.С., Рапопорт Л.М. и др. Возможности текстового анализа лучевых методов визуализации в диагностике образований паренхимы почки // Онкоурология. 2021. Т.17. №4. С. 129–35. doi: 10.17650/1726-9776-2021-17-4-129-135.
15. Мосоян М.С., Гилев Е.С., Айсина Н.А. Доброкачественные образования почек: Учеб. пособие. СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. 27 с. doi: 10.22328/2079-5343-2023-14-4-7-18.
16. Рева С.А., Шадеркин И.А., Зятчин И.В., Петров С.Б. Искусственный интеллект в онкоурологии // Экспериментальная и клиническая урология. 2021. Т.14. №2. С. 46-51. doi: 10.29188/2222-8543-2021-14-2-46-51.
17. Yu H.S., Scalera J., Khalid M., Touret A.S., Bloch N., Li B., et al. Texture Analysis as a Radiomic Marker for Differentiating Renal Tumors // Abdominal Radiology. 2017. V.42. No.10. P. 2470-2478. doi:10.1007/s00261-017-1144-1.
18. Yan L., Liu Z., Wang G., Huang Y., Liu Y., Yu Y., et al. Angiomyolipoma with Minimal Fat: Differentiation from Clear Cell Renal Cell Carcinoma and Papillary Renal Cell Carcinoma by Texture Analysis on CT Images // Academic Radiology. 2015. V.22. No.9. P. 1115-1121. doi: 10.1016/j.acra.2015.04.004.
19. Feng Z., Rong P., Cao P., Zhou Q., Zhu W., Yan Z., et al. Machine Learning-Based Quantitative Texture Analysis of CT Images of Small Renal Masses: Differentiation of Angiomyolipoma without Visible Fat from Renal Cell Carcinoma // Euro Radiol. 2018. V.28. No.4. P. 1625-1633. doi: 10.1007/s00330-017-5118-z.
20. Жолдубаев А.А., Глыбочко П.В., Аляев Ю.Г. и др. Автоматизированная система поддержки принятия врачебных решений в лечении больных с новообразованиями паренхимы почки – первый опыт использования веб-платформы «Sechenov.AI\_nephro» – результаты многоцентрового тестирования // Урология. 2024. №5. С. 12-22. Doi: 10.18565/urology.2024.5.12-22. EDN RQKFFX. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=74502433>.
21. Almuayqil S.N., Abd El-Ghany S., Abd El-Aziz A.A., Elmogy M. KidneyNet: A Novel CNN-Based Technique for the Automated Diagnosis of Chronic Kidney Diseases from CT // Scans. Electronics. 2024. No.13. P. 4981. doi: 10.3390/electronics13244981.
22. Ivanova E., Fayzullin A., Grinin V., Ermilov D., Arutyunyan A., Timashev P., Shekhter, A. Empowering Renal Cancer Management with AI and Digital Pathology // Pathology, Diagnostics and Prognosis. Biomedicine. 2023. No.11. P. 2875. doi: 10.3390/biomedicine11112875.
23. Карельская Н.А., Груздев И.С., Рагузина В.Ю., Кармазановский Г.Г. Текстурированный анализ КТ- и МР-изображений в дифференциальной диагностике почечно-клеточного рака: обзор // Лучевая диагностика и терапия. 2023. Т.14. №4. С. 7–18. doi: 10.22328/2079-5343-2023-14-4-7-18.
24. Chen S., Song D., Chen L., Guo T., Jiang B., Liu A., Pan X., Wang T., Tang H., Chen G., Xue Z., Wang X., Zhang N., Zheng J. Artificial Intelligence-Based on-Invasive Tumor Segmentation, Grades Stratification and Prognosis Prediction for Clear-Cell Renal-Cell Carcinoma. Precision // Clinical Medicine. 2023. V.6. No.3. P. 19. doi: 10.1093/pmedi/pbad019. URL: <https://academic.oup.com/pcm/article-pdf/6/3/pbad019/51300618/pbad019.pdf>
25. Liu J., Yildirim O., Akin O., Tian Y. AI-Driven Robust Kidney and Renal Mass Segmentation and Classification on 3D CT Images // Bioengineering. 2023. No.10. P. 116. doi: 10.3390/bioengineering10010116.
26. Пустовгар А.А., Ярош А.Л., Олейник Н.В., Солошенко А.В. Первые результаты использования разработанного роботизированного устройства при биопсии надпочечников под контролем компьютерной томографии // Современные проблемы науки и образования. 2024. Т.3. №4. С. 4-12. doi: 10.17513/spno.33531. EDNFMTGTH.
27. Тимофеева Е.Ю., Азильгареева К.Р., Морозов А.О., Тараткин М.С., Еникеев Д.В. Использование искусственного интеллекта в диагностике, лечении и наблюдении за пациентами с раком почки // Вестник урологии. 2023. Т.11. №3. С. 142–148. doi: 10.21886/2308-6424-2023-11-3-142-148. EDN TDGSSC.

## REFERENCES

1. *Instruktivno-Metodicheskiye Ukazaniya po Ispol'zovaniyu Polnogo Perechnya Kodov Morfolologii Opukholey (MKB-O) i ikh Perevodu v Kody Yedinoy Sistemy Populyatsionnykh Rakovykh Registrov Rossii* = Instructional and Methodological Guidelines for the Use of the Complete List of Tumor Morphology Codes (ICD-O) and their Translation into Codes of the Unified System of Population-Based Cancer Registries of Russia. Ed. O.F.Chepik, V.M.Merabishvili. St. Petersburg Publ., 1996. 31 p. (In Russ.)
2. *Mezhdunarodnaya Statisticheskaya Klassifikatsiya Bolezney i Problem, Svyazannykh so Zdorov'yem* = International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems. Geneva, World Health Organization Publ., 1995. 698 p. (In Russ.)
3. *Spravochnik Sopostavleniya Kodov MKB-9 i MKB-10 Peresmotrov po Klassu Novoobrazovaniy* = Handbook of Comparison of ICD-9 and ICD-10 Revision Codes by Neoplasm Class. Ed. V.M.Merabishvili. St. Petersburg Publ., 1998. 91 p. (In Russ.)
4. WHO Report of 01.02.2024 (In Russ.). URL: <https://news.un.org/ru/story/2024/02/1449057>
5. *Zlochachestvennyye Novoobrazovaniya v Rossii v 2022 Godu (Zabolvayemost' i Smertnost')* = Malignant Neoplasms in Russia in 2022 (Incidence and Mortality). P.A.Hertsen Moscow Oncology Research Institute – National Medical Research Center of Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation (In Russ.). URL: [https://glavonco.ru/cancer\\_register/zis-2022-elektronnaya-versiya.pdf](https://glavonco.ru/cancer_register/zis-2022-elektronnaya-versiya.pdf)
6. Merabishvili V.M., Poltoratskiy A.N., Nosov A.K., et al. The State of Oncological Care in Russia. Kidney Cancer (Incidence, Mortality, Reliability of Accounting, One-Year and Year-Long Mortality, Histological Structure). Part 1. *Onkourologiya* = Cancer Urology. 2021;17:2:182-194 (In Russ.). doi: 10.17650/1726-9776-2021-17-2-182-194. EDN YWWJWW.
7. Kadyrleyev R.A., Bagnenko S.S., Bus'ko Ye.A., et al. Multiparametric Ultrasound Examination with Contrast Enhancement of Solid Renal Formations in Comparison with the Computed Tomography Method. *Luchevaya Diagnostika i Terapiya* = Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2021;12:4:74-82 (In Russ.). doi: 10.22328/2079-5343-2021-12-4-74-82.
8. Elstob A., Gonsalves M., Patel U. Diagnostic Modalities. *International Journal of Surgery*. 2016;36;Pt. C:504-512. doi: 10.1016/j.ijso.2016.06.005. Epub 2016 Jun 15.
9. Yamshchikov O.N., Yemel'yanova N.V., Zagorodnova D.S. Modern Methods of Radiation Diagnostics of Kidney Neoplasms (Literature Review). *Meditcina i Fizicheskaya Kul'tura: Nauka i Praktika* = Medicine and Physical Education: Science and Practice. 2021;3:1:14-22 (In Russ.). doi: 10.20310/2658-7688-2021-3-1(9)-14-22. EDN NFDUUK. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45428143>
10. Kadyrleyev R.A., Bus'ko Ye.A., Kostromina Ye.V., et al. Ultrasound Examination with Contrast in the Algorithm for Diagnosing Solid Renal Formations. *Luchevaya Diagnostika i Terapiya* = Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2021;12:1:14-23 (In Russ.). doi: 22328/2079-5343-2020-12-1-14-23. EDN TDGSSC.
11. Shehata M., Abouelkheir R.T., Gayhart M., Van Bogaert E., Abou El-Ghar M., Dwyer A.C., Ouseph R., Yousaf J., Ghazal M., Contractor S., El-Baz A. Role of Ai and Radiomic Markers in Early Diagnosis of Renal Cancer and Clinical Outcome prediction: a Brief Review. *Cancers*. 2023;15:10:28-35. doi:10.3390/cancers15102835.
12. Lomonosova Ye.V., Gol'bits A.B., Rubtsova N.A., Alekseyev B.YA., Kaprin A.D. Perfusion Computed Tomography in the Diagnosis of Kidney Diseases (Literature Review). *Meditinskaya Vizualizatsiya* = Medical Visualization. 2023;27:2:85-98 (In Russ.). doi: 10.24835/1607-0763-1220.
13. Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I. Textural Features for Image Classification. *IEEE Trans Syst Man Cybern. SMC*. 1973;3:6:610-21. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
14. Gorduladze D.N., Sirota Ye.S., Rapoport L.M., et al. Possibilities of Texture Analysis of Radiation Imaging Methods in the Diagnosis of Renal Parenchyma Formations. *Onkourologiya* = Cancer Urology. 2021;17:4:129-35 (In Russ.). doi: 10.17650/1726-9776-2021-17-4-129-135.
15. Mosoyan M.S., Gilev Ye.S., Aysina N.A. *Dobrokachestvennyye Obrazovaniya Pochek* = Benign Kidney Tumors. Textbook Manual. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy Gosudarstvennyy Ekonomicheskiy Universitet Publ., 2022. 27 p. (In Russ.). doi: 10.22328/2079-5343-2023-14-4-7-18.
16. Reva S.A., Shaderkin I.A., Zyatchin I.V., Petrov S.B. Artificial Intelligence in Oncology. *Eksperimental'naya i Klinicheskaya Urologiya* = Experimental & Clinical Urology. 2021;14:2:46-51 (In Russ.). doi: 10.29188/2222-8543-2021-14-2-46-51.
17. Yu H.S., Scalera J., Khalid M., Touret A.S., Bloch N., Li B., et al. Texture Analysis as a Radiomic Marker for Differentiating Renal Tumors. *Abdominal Radiology*. 2017;42;10:2470-2478. doi:10.1007/s00261-017-1144-1.
18. Yan L., Liu Z., Wang G., Huang Y., Liu Y., Yu Y., et al. Angiomyolipoma with Minimal Fat: Differentiation from Clear Cell Renal Cell Carcinoma and Papillary Renal Cell Carcinoma by Texture Analysis on CT Images. *Academic Radiology*. 2015;22;9:1115-1121. doi: 10.1016/j.acra.2015.04.004.
19. Feng Z., Rong P., Cao P., Zhou Q., Zhu W., Yan Z., et al. Machine Learning-Based Quantitative Texture Analysis of CT Images of Small Renal Masses: Differentiation of Angiomyolipoma without Visible Fat from Renal Cell Carcinoma. *Euro Radiol*. 2018;28:4:1625-1633. doi: 10.1007/s00330-017-5118-z.
20. Zholdubayev A.A., Glybochko P.V., Alyayev Yu.G., et al. Automated System for Supporting Medical Decision-Making in the Treatment of Patients with Renal Parenchyma Neoplasms - the First Experience of using the Sechenov.AI Nephro web Platform - Results of Multicenter Testing. *Urologiya* = Urology. 2024;5:12-22 (In Russ.). doi: 10.18565/urology.2024.5.12-22. EDN RQKKFX. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=74502433>.
21. Almuayqil S.N., Abd El-Ghany S., Abd El-Aziz A.A., Elmogy M. KidneyNet: A Novel CNN-Based Technique for the Automated Diagnosis of Chronic Kidney Diseases from CT. *Scans. Electronics*. 2024;13:4981. doi: 10.3390/electronics13244981
22. Ivanova E., Fayzullin A., Grinin V., Ermilov D., Arutyunyan A., Timashev P., Shekhter, A. Empowering Renal Cancer Management with AI and Digital Pathology. *Pathology, Diagnostics and Prognosis. Biomedicines*. 2023;11:2875. doi: 10.3390/biomedicines11112875.
23. Karel'skaya N.A., Gruzdev I.S., Raguzina V.Yu., Karmazanovskiy G.G. Texture Analysis of CT and MR Images in the Differential Diagnosis of Renal Cell Carcinoma: a Review. *Luchevaya Diagnostika i Terapiya* = Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2023;14:4:7-18 (In Russ.). doi: 10.22328/2079-5343-2023-14-4-7-18.
24. Chen S., Song D., Chen L., Guo T., Jiang B., Liu A., Pan X., Wang T., Tang H., Chen G., Xue Z., Wang X., Zhang N., Zheng J. Artificial Intelligence-Based on-Invasive Tumor Segmentation, Grades Stratification and Prognosis Prediction for Clear-Cell Renal-Cell Carcinoma. *Precision. Clinical Medicine*. 2023;6:3:19. doi: 10.1093/pmedi/pbad019. URL: <https://academic.oup.com/pcm/article-pdf/6/3/pbad019/51300618/pbad019.pdf>.
25. Liu J., Yildirim O., Akin O., Tian Y. AI-Driven Robust Kidney and Renal Mass Segmentation and Classification on 3D CT Images. *Bioengineering*. 2023;10:116. doi: 10.3390/bioengineering10010116
26. Pustovgar A.A., Yarosh A.L., Oleynik N.V., Soloshenko A.V. First Results of Using the Developed Robotic Device for Adrenal Biopsy under Computed Tomography Control. *Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education. 2024;3:4:4-13 (In Russ.). doi: 10.17513/spno.3353. EDNFMTGTH.
27. Timofeyeva Ye.Yu., Azil'gareyeva K.R., Morozov A.O., Taratkin M.S., Yenikeev D.V. Use of Artificial Intelligence in Diagnostics, Treatment and Monitoring of Patients with Kidney Cancer. *Vestnik Urologii* = Urology Herald. 2023;11:3:142-148 (In Russ.). doi: 10.21886/2308-6424-2023-11-3-142-148. EDN TDGSSC.

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

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов.** Статья подготовлена с равным участием авторов.

**Поступила:** 20.07.2025. Принята к публикации: 25.08.2025.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Financing.** The study had no sponsorship.

**Contribution.** Article was prepared with equal participation of the authors.

**Article received:** 20.07.2025. Accepted for publication: 25.08.2025.