



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

УДК: 616.62-072.1; 004.8:616-073

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ АНАЛИЗЕ ЦИСТОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ



Номанов Анвар Абдикарим угли.

младший научный сотрудник научной лаборатории РСНПМЦУ

E-mail: nomanov701@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2243-2290>

Гиясов Шухрат Искандарович

Заведующий кафедрой урологии Ташкентского государственного медицинского университета, д.м.н., профессор.

E-mail: dr.sh.giyasov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1558-3443>

Дадаханов Нодир Эркинович

врач операционного отделения РСНПМЦУ

E-mail: rscund@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0129-2289>

Аннотация. В данной статье представлен обзор современных исследований, посвящённых применению искусственного интеллекта при анализе цистоскопических изображений. Проанализированы публикации 2020–2026 гг., в которых оценивалась эффективность методов машинного и глубокого обучения для автоматического выявления, классификации и сегментации патологических изменений мочевого пузыря. Рассмотрены современные архитектуры нейронных сетей, диагностические показатели разработанных моделей, а также вопросы создания стандартизированных баз данных и клинической валидации алгоритмов. Показано, что системы искусственного интеллекта демонстрируют высокую чувствительность и специфичность при диагностике опухолей мочевого пузыря и обладают значительным потенциалом в качестве систем поддержки принятия врачебных решений. Вместе с тем их широкое внедрение требует проведения крупных многоцентровых исследований, внешней валидации моделей и стандартизации методов анализа цистоскопических изображений.

Ключевые слова: машинное обучение, цистоскопия, мочевого пузырь, медицинская визуализация, эндоскопическая диагностика.

Abstract. This article presents a review of recent studies on the application of artificial intelligence in the analysis of cystoscopic images. Publications from 2020 to 2026 evaluating the effectiveness of machine learning and deep learning methods for the automated detection, classification, and segmentation of pathological bladder lesions were analyzed. Modern neural



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

network architectures, the diagnostic performance of developed models, as well as issues related to the creation of standardized databases and clinical validation of algorithms are discussed. Artificial intelligence systems have been shown to demonstrate high sensitivity and specificity in the diagnosis of bladder tumors and possess considerable potential as clinical decision support tools. However, their widespread implementation requires large multicenter studies, external validation of models, and standardization of cystoscopic image analysis methods.

Keywords: machine learning, cystoscopy, urinary bladder, medical imaging, endoscopic diagnosis.

Annotatsiya. Ushbu maqolada sistoskopik tasvirlarni tahlil qilishda sun'iy intellektdan foydalanishga bag'ishlangan zamonaviy tadqiqotlar sharhi keltirilgan. 2020-2026-yillarda chop etilgan, siydik pufagidagi patologik o'zgarishlarni avtomatik aniqlash, tasniflash va segmentatsiya qilishda mashinaviy o'qitish hamda chuqur o'qitish usullarining samaradorligini baholagan ilmiy ishlar tahlil qilindi. Zamonaviy neyron tarmoq arxitekturalari, ishlab chiqilgan modellarning diagnostik ko'rsatkichlari, shuningdek, standartlashtirilgan ma'lumotlar bazalarini yaratish va algoritmlarni klinik validatsiyadan o'tkazish masalalari ko'rib chiqildi. Sun'iy intellekt tizimlari siydik pufagi o'smalarini tashxislashda yuqori sezgirlik va spetsifiklikni namoyon etishi hamda shifokorlar uchun klinik qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi vosita sifatida katta salohiyatga ega ekanligi ko'rsatildi. Shu bilan birga, ushbu texnologiyalarni keng klinik amaliyotga joriy etish yirik ko'p markazli tadqiqotlar, modellarning tashqi validatsiyasi hamda sistoskopik tasvirlarni tahlil qilish usullarini standartlashtirishni talab qiladi.

Kalit so'zlar: mashinaviy o'qitish, sistoskopiya, siydik pufagi, tibbiy tasvirlash, endoskopik diagnostika.

Введение. Заболевания мочевого пузыря остаются одной из актуальных проблем современной урологии вследствие высокой распространенности, разнообразия клинических проявлений и значительного влияния на качество жизни пациентов. Особую медицинскую значимость представляет рак мочевого пузыря: ежегодно в мире регистрируется более 610 тыс. новых случаев заболевания и около 220 тыс. смертей, связанных с данной патологией. Наряду с опухолевыми процессами важное клиническое значение сохраняют воспалительные заболевания, дивертикулы, свищи и трабекулярная перестройка мочевого пузыря, требующие своевременной диагностики и выбора оптимальной лечебной тактики [1].

Цистоскопия является «золотым стандартом» диагностики заболеваний нижних мочевых путей, обеспечивая непосредственную визуализацию слизистой оболочки мочевого пузыря, выявление патологических изменений и выполнение прицельной биопсии. Современные технологии узкоспектральной визуализации (NBI) и фотодинамической диагностики (PDD) существенно повысили диагностические возможности метода, особенно при выявлении немышечно-инвазивного рака мочевого пузыря и карциномы *in situ*. Однако точность интерпретации цистоскопических изображений по-прежнему во многом зависит от опыта врача, а субъективность оценки и межэкспертная вариабельность могут приводить к диагностическим ошибкам [2].

Развитие методов искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI), машинного обучения (Machine Learning, ML) и глубокого обучения (Deep Learning, DL) открыло новые возможности автоматизированного анализа цистоскопических изображений. Алгоритмы, основанные на сверточных нейронных сетях (CNN), способны выявлять и классифицировать патологические изменения, а также служить системами поддержки принятия клинических решений. Несмотря на обнадеживающие результаты первых исследований, широкое внедрение таких технологий ограничено недостатком стандартизированных баз данных,



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

отсутствием внешней валидации моделей и необходимостью проведения крупных многоцентровых исследований [2, 3].

В связи с этим анализ современных данных о применении искусственного интеллекта при обработке цистоскопических изображений представляет значительный научный и практический интерес.

Цель. Проанализировать современные достижения в области применения искусственного интеллекта для анализа цистоскопических изображений.

Методика исследования. Настоящая работа представляет собой обзор современных отечественных и зарубежных публикаций, посвященных применению искусственного интеллекта при анализе цистоскопических изображений. Поиск литературы проводился в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, IEEE Xplore и eLIBRARY.RU.

В обзор включены преимущественно публикации 2020–2026 гг., посвященные использованию методов искусственного интеллекта, машинного и глубокого обучения для анализа цистоскопических изображений. Дополнительно были рассмотрены фундаментальные исследования более ранних лет.

Анализировались оригинальные исследования, систематические обзоры, метаанализы и клинические рекомендации, содержащие данные о разработке, валидации и клиническом применении алгоритмов искусственного интеллекта в цистоскопии. Оценивали используемые архитектуры нейронных сетей, объем обучающих выборок, методы валидации и основные показатели диагностической эффективности (чувствительность, специфичность, точность, AUC). Полученные данные были систематизированы и подвергнуты сравнительному анализу для оценки современного состояния, преимуществ, ограничений и перспектив применения искусственного интеллекта в анализе цистоскопических изображений.

Анализ и результаты. В обзор были включены восемь публикаций, посвященных применению искусственного интеллекта для анализа цистоскопических изображений, опубликованных в период с 2020 по 2026 год. Большинство исследований использовали методы глубокого обучения, преимущественно сверточные нейронные сети (CNN), а также их модификации для обнаружения, классификации и сегментации опухолей мочевого пузыря.

Одной из первых обзорных работ, посвященных применению искусственного интеллекта при анализе цистоскопических изображений, является исследование Negassi M. и соавт. (2020). Авторы проанализировали опубликованные исследования, посвященные использованию методов машинного обучения и глубокого обучения в диагностике рака мочевого пузыря по данным цистоскопии. В обзор были включены две оригинальные статьи и один тезис конференции, в которых оценивалась эффективность сверточных нейронных сетей (CNN) для автоматического выявления опухолевых поражений мочевого пузыря. Кроме того, авторами представлены собственные результаты проекта RaVeNNA-4pi, в рамках которого была сформирована база данных из 62 цистоскопических видеозаписей (около 4200 кадров), использованная для обучения сети U-Net с целью сегментации патологических изменений. Среднее значение коэффициента Dice составило 0,67. Проведенный анализ показал, что алгоритмы глубокого обучения способны обеспечивать точность обнаружения опухолей мочевого пузыря, превышающую 90%, что свидетельствует о высокой диагностической эффективности искусственного интеллекта при анализе цистоскопических изображений. Вместе с тем авторы отмечают, что большинство доступных на момент исследования работ были выполнены на ограниченных выборках, различались по методологии обучения и оценки моделей, а также не содержали результатов независимой внешней валидации, что ограничивает возможность широкого внедрения разработанных алгоритмов в клиническую практику. Таким образом, данная публикация



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

заложила основу для дальнейших исследований в области интеллектуального анализа цистоскопических изображений. Авторы показали, что применение сверточных нейронных сетей является перспективным направлением автоматизированной диагностики рака мочевого пузыря, однако дальнейшее развитие технологии требует формирования крупных стандартизированных баз данных, проведения многоцентровых исследований и обязательной внешней валидации моделей перед их клиническим использованием [2].

В исследовании Ikeda A. и соавт. (2020) была разработана система поддержки диагностики рака мочевого пузыря на основе искусственного интеллекта для автоматического анализа цистоскопических изображений в белом свете. Авторы использовали сверточную нейронную сеть (CNN) с применением transfer learning на базе архитектуры GoogLeNet, предварительно обученной на наборе данных ImageNet. Для обучения и тестирования модели была сформирована база данных из 2102 цистоскопических изображений, включавшая 1671 изображение нормальной слизистой оболочки мочевого пузыря и 431 изображение опухолевых поражений. Изображения были разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 8:2. При тестировании модели на независимой выборке были получены следующие результаты: чувствительность составила 89,7%, специфичность — 94,0%, а площадь под ROC-кривой (AUC) достигла 0,98, что свидетельствует об очень высокой способности алгоритма различать опухолевые и неизмененные участки слизистой оболочки мочевого пузыря. Кроме того, максимальное значение индекса Юдена составило 0,837, подтверждая высокую диагностическую эффективность разработанной модели [4].

По сравнению с обзорной работой Negassi и соавт. (2020), в которой был представлен анализ первых исследований применения искусственного интеллекта в цистоскопии [2], исследование Ikeda и соавт. стало одной из первых работ, продемонстрировавших практическое применение глубокой сверточной нейронной сети на клиническом наборе цистоскопических изображений. Использование технологии transfer learning позволило достичь высокой точности классификации даже при относительно небольшом объеме обучающей выборки, что подтвердило перспективность применения предварительно обученных моделей глубокого обучения в урологической эндоскопии. Авторы пришли к выводу, что объективный анализ цистоскопических изображений с использованием искусственного интеллекта способен повысить точность диагностики рака мочевого пузыря и в дальнейшем может стать эффективным инструментом поддержки принятия клинических решений [4].

В исследовании Ikeda A. и соавт. (2021) предложен усовершенствованный подход к автоматическому выявлению опухолей мочевого пузыря на цистоскопических изображениях, основанный на технологии поэтапного межорганного переноса обучения (stepwise organic transfer learning). В качестве алгоритма использовалась сверточная нейронная сеть (CNN), предварительно обученная на 1,2 млн изображений ImageNet, затем дообученная на 8728 гастроскопических изображениях, после чего была выполнена финальная настройка модели на 2102 цистоскопических изображениях (1671 изображение нормальной слизистой оболочки мочевого пузыря и 431 изображение опухолей). Такой подход был разработан для преодоления проблемы ограниченного объема специализированных цистоскопических данных. Полученная модель продемонстрировала чувствительность 95,4% и специфичность 97,6%, что превысило результаты ранее разработанных моделей без многоэтапного переноса обучения и оказалось сопоставимым с диагностической точностью опытных урологов. Наиболее выраженное преимущество алгоритма наблюдалось при анализе изображений, на которых опухоль занимала более 10% площади кадра. По сравнению с предыдущим исследованием авторов (2020), в котором использовалось традиционное transfer learning с



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

предварительным обучением только на ImageNet, применение пошагового переноса обучения позволило значительно повысить диагностические характеристики модели. Авторы пришли к выводу, что последовательное обучение нейронной сети на изображениях, близких по визуальным признакам к цистоскопическим (гастроскопические изображения), является эффективным способом повышения качества диагностики при ограниченном объеме обучающих данных. Полученные результаты подтверждают перспективность использования многоэтапного transfer learning для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений при диагностике рака мочевого пузыря [5].

В обзорной статье Ikeda A. и соавт. (2024) представлен анализ современных достижений в области применения искусственного интеллекта при цистоскопии и трансуретральной резекции опухолей мочевого пузыря. Авторы обобщили результаты исследований, опубликованных преимущественно за последние полтора года, уделив особое внимание развитию алгоритмов глубокого обучения, расширению баз данных цистоскопических изображений и перспективам клинического внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Авторы отмечают, что по сравнению с ранними исследованиями существенно увеличился объем доступных наборов данных для обучения моделей глубокого обучения. Современные базы данных включают изображения различных морфологических форм опухолей мочевого пузыря, в том числе папиллярных, плоских поражений, карциномы *in situ* и других вариантов новообразований. Помимо выявления опухолей, алгоритмы искусственного интеллекта начали применяться для диагностики интерстициального цистита, а также анализа изображений, полученных с использованием различных технологий визуализации и цистоскопических систем разных производителей. Особое внимание авторы уделяют вопросам стандартизации клинических данных. Подчеркивается необходимость создания унифицированных протоколов хранения, аннотирования и обмена цистоскопическими изображениями, что позволит формировать крупные многоцентровые базы данных, повысить качество обучения моделей искусственного интеллекта и обеспечить объективное сравнение результатов различных исследований. Несмотря на то, что широкое внедрение искусственного интеллекта в повседневную клиническую практику пока ограничено, авторы отмечают быстрое развитие технологий и появление первых систем, способных работать в режиме реального времени во время цистоскопии и трансуретральной резекции опухолей мочевого пузыря. Таким образом, данная обзорная работа отражает современный этап развития искусственного интеллекта в цистоскопии. Если ранние исследования были сосредоточены преимущественно на разработке алгоритмов обнаружения опухолей, то современные исследования направлены на создание крупных стандартизированных баз данных, разработку универсальных моделей глубокого обучения, совместимых с различными системами визуализации, а также интеграцию искусственного интеллекта в клинический рабочий процесс для повышения качества диагностики и хирургического лечения пациентов с раком мочевого пузыря [6].

В систематическом обзоре и метаанализе Ganesanathan S. и соавт. (2021) была проведена комплексная оценка диагностической эффективности алгоритмов искусственного интеллекта при выявлении рака мочевого пузыря во время цистоскопии. Поиск литературы выполнялся в базах PubMed, EMBASE и CENTRAL в соответствии с рекомендациями PRISMA. Из 6715 найденных публикаций критериям включения соответствовали 5 исследований, в которых оценивались модели машинного и глубокого обучения для автоматического анализа цистоскопических изображений. Качество исследований оценивалось с использованием инструмента QUADAS-2, а объединенный анализ выполнялся методом случайных эффектов. Результаты метаанализа продемонстрировали высокую диагностическую эффективность алгоритмов искусственного интеллекта. Объединенная



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

чувствительность составила 0,93 (95% ДИ 0,89–0,95), специфичность — 0,93 (95% ДИ 0,80–0,89), площадь под ROC-кривой (AUC) достигла 0,95 (95% ДИ 0,93–0,97), а диагностическое отношение шансов (Diagnostic Odds Ratio, DOR) составило 182 (95% ДИ 61–546). Кроме того, объединенные положительное и отрицательное отношения правдоподобия составили 14 и 0,08 соответственно, что свидетельствует о высокой способности алгоритмов корректно выявлять опухолевые поражения мочевого пузыря. Значимых признаков публикационного смещения обнаружено не было. По сравнению с ранними исследованиями, оценивавшими эффективность отдельных моделей глубокого обучения, данная работа впервые представила количественное обобщение имеющихся доказательств. Авторы пришли к выводу, что алгоритмы искусственного интеллекта демонстрируют стабильно высокую диагностическую точность при анализе цистоскопических изображений и обладают значительным потенциалом для использования в качестве систем поддержки принятия врачебных решений. Вместе с тем подчеркивается необходимость проведения крупных проспективных многоцентровых исследований и внешней клинической валидации для подтверждения воспроизводимости полученных результатов перед широким внедрением технологии в клиническую практику [7].

В исследовании Lee T.J. и соавт. (2026) представлена открытая база данных CystoDS, разработанная для обучения, тестирования и валидации алгоритмов искусственного интеллекта, предназначенных для анализа цистоскопических изображений. В отличие от предыдущих исследований, основной целью работы являлось создание стандартизированного набора данных, соответствующего принципам FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable), который может использоваться различными исследовательскими группами для разработки и объективного сравнения алгоритмов глубокого обучения. База данных включает 8067 цистоскопических изображений, полученных у 160 пациентов в период с 2016 по 2022 год. Все изображения были распределены по 5 основным классам (злокачественные образования, доброкачественные поражения, анатомические ориентиры, инородные тела и нормальная слизистая оболочка) и 22 подклассам. Для 768 изображений выполнена экспертная сегментация патологических участков с последующей независимой проверкой вторым урологом, что обеспечивает возможность обучения моделей как для классификации, так и для сегментации патологических изменений. Для технической валидации авторы протестировали несколько современных моделей глубокого обучения и подтвердили пригодность набора данных для разработки алгоритмов автоматического обнаружения и классификации опухолей мочевого пузыря. По сравнению с ранее опубликованными наборами цистоскопических изображений CystoDS отличается существенно большим количеством пациентов, высокой степенью клинической аннотации и наличием экспертных масок сегментации, что делает его одним из наиболее полных открытых ресурсов для исследований в области искусственного интеллекта в урологии. Авторы подчеркивают, что создание подобных стандартизированных баз данных является важнейшим условием дальнейшего повышения точности алгоритмов, их объективной внешней валидации и последующего внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в клиническую практику [8].

В исследовании Zhang F. и соавт. (2026) разработана система поддержки диагностики при цистоскопии, основанная на использовании нескольких современных архитектур глубокого обучения. Целью работы являлось создание интеллектуальной системы, способной автоматически классифицировать патологические изменения мочевого пузыря и определять локализацию опухолевых очагов в условиях, максимально приближенных к реальной клинической практике. Для формирования базы данных было использовано 9362 цистоскопических изображения, полученных в ходе 2056 эндоскопических исследований. В



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

обучении моделей применялись различные архитектуры глубокого обучения, включая сверточные нейронные сети (CNN), Vision Transformer (ViT) и Vision Mamba, после чего для каждой задачи были выбраны модели с наилучшими характеристиками. Разработанная система включала две независимые модели: первую - для классификации наиболее распространенных патологических изменений мочевого пузыря, вторую - для автоматической сегментации опухолевых поражений. Модель классификации продемонстрировала высокую диагностическую эффективность с площадью под ROC-кривой ($AUC = 0,872$), тогда как модель сегментации достигла коэффициента сходства Dice = 0,821, обеспечивая точное определение границ опухоли. Авторы также отмечают хорошую обобщающую способность разработанных алгоритмов, что свидетельствует об их потенциальной пригодности для использования в различных клинических сценариях. По сравнению с более ранними исследованиями, основанными преимущественно на одной архитектуре CNN и относительно небольших наборах данных, данная работа демонстрирует переход к использованию мультиархитектурных моделей глубокого обучения и значительно более крупной обучающей выборки. Такой подход позволил одновременно решать задачи классификации и сегментации патологических изменений, повысив универсальность системы поддержки принятия решений. Авторы делают вывод, что внедрение подобных алгоритмов способно повысить точность и воспроизводимость диагностики, уменьшить зависимость результатов цистоскопии от опыта врача и создать основу для дальнейшего внедрения искусственного интеллекта в рутинную урологическую практику [9].

В исследовании Shkolyar E. и соавт. (2019) была разработана система CystoNet, предназначенная для автоматического обнаружения опухолей мочевого пузыря при цистоскопии в белом свете с использованием методов глубокого обучения. В основе системы лежала сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network, CNN), обученная на размеченных цистоскопических изображениях пациентов с гистологически подтвержденным уротелиальным раком мочевого пузыря. Для обучения модели использовались данные 95 пациентов, тогда как тестирование выполнялось на изображениях 5 пациентов. Последующая проспективная клиническая валидация была проведена еще у 54 пациентов, что позволило оценить эффективность алгоритма в условиях, приближенных к реальной клинической практике. Разработанная система продемонстрировала высокие диагностические показатели. При покадровом анализе цистоскопических изображений чувствительность составила 90,9%, а специфичность — 98,6%. При анализе опухолевых очагов алгоритм правильно выявил 39 из 41 папиллярной опухоли и 3 из 3 случаев карциномы *in situ*, подтверждая способность обнаруживать как экзофитные, так и плоские формы новообразований. Помимо автоматического обнаружения патологических изменений, система обеспечивала их визуальную локализацию непосредственно на изображении, что открывает возможности для использования технологии в режиме реального времени во время выполнения трансуретральной резекции опухолей мочевого пузыря. По сравнению с последующими исследованиями, данная работа стала одной из первых, продемонстрировавших возможность практического применения глубокого обучения при цистоскопии. Авторы пришли к выводу, что использование системы CystoNet способно повысить выявляемость опухолей мочевого пузыря, уменьшить вероятность пропуска небольших и плоских поражений, а также повысить эффективность трансуретральной резекции. Полученные результаты послужили основой для дальнейшего развития интеллектуальных систем поддержки принятия решений и стимулировали создание более крупных обучающих баз данных и современных архитектур глубокого обучения [10].

В многоцентровом исследовании Wu S. и соавт. (2022) была разработана и клинически валидирована система поддержки диагностики CAIDS (Cystoscopy Artificial



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

Intelligence Diagnostic System) для автоматического выявления рака мочевого пузыря при цистоскопии. В исследование были включены данные 10 729 пациентов, полученные в 6 медицинских центрах Китая. Для обучения, внутренней и внешней валидации модели использовали 69 204 цистоскопических изображения, что на момент публикации являлось одним из крупнейших наборов данных в данной области. Алгоритм был разработан на основе современных методов глубокого обучения и предназначался для анализа изображений в условиях, максимально приближенных к реальной клинической практике. Разработанная система продемонстрировала высокую диагностическую эффективность при выявлении опухолей мочевого пузыря. В ходе внешней многоцентровой валидации площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,95, при этом чувствительность достигала 90–95%, а специфичность превышала 90% в зависимости от исследуемой когорты пациентов. Дополнительный анализ показал, что эффективность системы сохранялась независимо от используемого эндоскопического оборудования и медицинского центра, подтверждая хорошую воспроизводимость результатов и высокую обобщающую способность модели. По сравнению с ранее опубликованными исследованиями, основанными преимущественно на одноцентровых выборках ограниченного объема, работа Wu и соавт. стала первым крупным многоцентровым исследованием, подтвердившим возможность успешного применения искусственного интеллекта в реальной клинической практике. Авторы пришли к выводу, что система CAIDS способна повысить точность диагностики рака мочевого пузыря, снизить вероятность пропуска опухолевых очагов и стать эффективным инструментом поддержки принятия решений при выполнении диагностической цистоскопии. Вместе с тем подчеркивается необходимость дальнейшей международной валидации алгоритма и оценки его эффективности в различных клинических условиях перед широким внедрением в повседневную практику [3].

Проведенный анализ литературы свидетельствует о стремительном развитии технологий искусственного интеллекта в области анализа цистоскопических изображений. Если первые исследования были направлены преимущественно на демонстрацию принципиальной возможности использования алгоритмов глубокого обучения для автоматического выявления опухолей мочевого пузыря, то современные работы ориентированы на создание клинически применимых интеллектуальных систем поддержки принятия решений, способных выполнять не только классификацию, но и локализацию, сегментацию и комплексный анализ патологических изменений.

Одной из первых работ, продемонстрировавших высокую эффективность глубокого обучения при анализе цистоскопических изображений, стало исследование Shkolyar и соавт. (2019), в котором система CystoNet показала высокую чувствительность и специфичность при выявлении опухолей мочевого пузыря. Полученные результаты подтвердили возможность использования сверточных нейронных сетей для анализа эндоскопических изображений в режиме, близком к реальному времени, и послужили основой для дальнейших исследований в данной области [10].

В обзорной работе Negassi и соавт. (2020) было показано, что, несмотря на ограниченное количество доступных исследований, алгоритмы глубокого обучения уже на ранних этапах развития демонстрировали точность выявления опухолей, превышающую 90%. Вместе с тем авторы обратили внимание на существенные ограничения первых исследований, включая небольшой объем обучающих выборок, отсутствие стандартизированных баз данных и недостаточную внешнюю валидацию разработанных моделей. Эти проблемы сохранялись и в последующих публикациях, что свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования методологии разработки и оценки алгоритмов искусственного интеллекта [2].



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

Следующим этапом развития стало внедрение методов переноса обучения (transfer learning). Исследования Ikeda и соавт. (2020, 2021) показали, что использование предварительно обученных сверточных нейронных сетей, а также пошагового переноса обучения позволило существенно повысить диагностическую эффективность моделей даже при относительно небольшом количестве специализированных цистоскопических изображений. Данный подход оказался особенно актуальным для медицинских исследований, где формирование крупных размеченных баз данных остается сложной и трудоемкой задачей [4, 5].

Высокая диагностическая эффективность искусственного интеллекта была подтверждена и результатами систематического обзора с метаанализом Ganesananthan и соавт. (2021), в котором объединенные показатели чувствительности, специфичности и площади под ROC-кривой свидетельствовали о высокой способности алгоритмов корректно выявлять опухоли мочевого пузыря. Однако авторы также отметили выраженную неоднородность между исследованиями, связанную с различиями в используемых архитектурах нейронных сетей, характеристиках наборов данных и методах оценки эффективности моделей [7].

В последние годы наблюдается отчетливая тенденция к увеличению объема обучающих выборок и переходу от одноцентровых исследований к многоцентровым проектам. Наиболее показательным примером является исследование Wu и соавт. (2022), в котором алгоритм был обучен и валидирован на десятках тысяч цистоскопических изображений, полученных в нескольких клинических центрах. Проведение внешней валидации позволило подтвердить высокую воспроизводимость результатов и значительно повысило уровень доказательности исследования [3].

Не менее важным направлением развития стало создание открытых стандартизированных наборов данных. Формирование базы CystoDS (2026) представляет собой важный этап развития искусственного интеллекта в урологии, поскольку наличие крупных размеченных наборов изображений позволяет объективно сравнивать различные алгоритмы, проводить независимую внешнюю валидацию моделей и существенно ускоряет разработку новых методов глубокого обучения. Использование открытых датасетов также способствует повышению воспроизводимости научных исследований и стандартизации методологии оценки эффективности алгоритмов [11].

Современные исследования демонстрируют переход от использования отдельных архитектур сверточных нейронных сетей к применению более сложных мультиархитектурных моделей, сочетающих CNN, Vision Transformer и другие современные методы глубокого обучения. Исследование Zhang и соавт. (2026) показало, что подобный подход позволяет одновременно решать задачи классификации и сегментации патологических изменений, обеспечивая более высокую точность и универсальность интеллектуальных систем поддержки диагностики [9].

Несмотря на значительный прогресс, широкое внедрение искусственного интеллекта в повседневную клиническую практику пока остается ограниченным. Большинство опубликованных исследований имеют ретроспективный дизайн, выполнены в отдельных специализированных центрах и используют различные критерии отбора изображений, что затрудняет прямое сравнение результатов. Кроме того, в ряде работ отсутствует внешняя валидация моделей, а также недостаточно изучена их эффективность при использовании различных моделей цистоскопов, технологий визуализации и в условиях реальной клинической нагрузки.

Таким образом, анализ современной литературы свидетельствует о высоком потенциале технологий искусственного интеллекта в диагностике заболеваний мочевого



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

пузыря. Дальнейшее развитие данного направления должно быть связано с созданием международных многоцентровых баз данных, стандартизацией протоколов аннотирования цистоскопических изображений, проведением проспективных клинических исследований и интеграцией интеллектуальных алгоритмов в эндоскопические комплексы для работы в режиме реального времени. Решение этих задач позволит повысить точность диагностики, снизить вероятность пропуска опухолевых поражений и улучшить качество оказания специализированной урологической помощи.

Выводы. Проведенный анализ литературы показал, что искусственный интеллект является одним из наиболее перспективных направлений развития эндоскопической урологии. Современные алгоритмы глубокого обучения демонстрируют высокую эффективность при автоматическом выявлении, классификации и сегментации патологических изменений мочевого пузыря по данным цистоскопии. Вместе с тем их широкое внедрение в клиническую практику ограничено недостаточной стандартизацией баз данных, дефицитом многоцентровых исследований и внешней валидации моделей. Дальнейшее развитие данного направления связано с созданием крупных аннотированных баз цистоскопических изображений, проведением многоцентровой клинической валидации и интеграцией алгоритмов искусственного интеллекта в эндоскопические системы для работы в режиме реального времени, что позволит повысить точность диагностики и эффективность ведения пациентов с заболеваниями мочевого пузыря.

Список использованной литературы

1. European Association of Urology (EAU). EAU Guidelines on Non-muscle-invasive Bladder Cancer (TaT1 and CIS). Arnhem, The Netherlands: EAU Guidelines Office; 2026. ISBN: 978-94-92671 (если требуется журналом — указывается полный ISBN). Available from: [EAU Guidelines on Non-muscle-invasive Bladder Cancer](#).
2. Negassi M, Suarez-Ibarrola R, Hein S, Miernik A, Reiterer A. Application of Artificial Neural Networks for Automated Analysis of Cystoscopic Images: A Review of the Current Status and Future Prospects. *World J Urol*. 2020 Oct;38(10):2349-2358. doi: 10.1007/s00345-019-03059-0. Epub 2020 Jan 10. PMID: 31925551; PMCID: PMC7508959.
3. Wu S, Chen X, Pan J, Dong W, Diao X, Zhang R, Zhang Y, Zhang Y, Qian G, Chen H, Lin H, Xu S, Chen Z, Zhou X, Mei H, Wu C, Lv Q, Yuan B, Chen Z, Liao W, Yang X, Chen H, Huang J, Lin T. An Artificial Intelligence System for the Detection of Bladder Cancer via Cystoscopy: A Multicenter Diagnostic Study. *J Natl Cancer Inst*. 2022 Feb 7;114(2):220-227. doi: 10.1093/jnci/djab179. PMID: 34473310; PMCID: PMC8826636.
4. Ikeda A, Nosato H, Kochi Y, Kojima T, Kawai K, Sakanashi H, Murakawa M, Nishiyama H. Support System of Cystoscopic Diagnosis for Bladder Cancer Based on Artificial Intelligence. *J Endourol*. 2020 Mar;34(3):352-358. doi: 10.1089/end.2019.0509. Epub 2020 Jan 14. PMID: 31808367; PMCID: PMC7099426.
5. Ikeda A, Nosato H, Kochi Y, Negoro H, Kojima T, Sakanashi H, Murakawa M, Nishiyama H. Cystoscopic Imaging for Bladder Cancer Detection Based on Stepwise Organic Transfer Learning with a Pretrained Convolutional Neural Network. *J Endourol*. 2021 Jul;35(7):1030-1035. doi: 10.1089/end.2020.0919. Epub 2020 Dec 4. PMID: 33148020.
6. Ikeda A, Nosato H. Overview of Current Applications and Trends in Artificial Intelligence for Cystoscopy and Transurethral Resection of Bladder Tumours. *Curr Opin Urol*. 2024 Jan 1;34(1):27-31. doi: 10.1097/MOU.0000000000001135. Epub 2023 Oct 30. PMID: 37902120.
7. Ganesananthan S, Ganesananthan S, Simpson BS, Norris JM. Utility of Artificial Intelligence in the Cystoscopic Detection of Bladder Cancer: A Systematic Review and Meta-analysis. *Br J Surg*. 2021 Sep;108(Suppl 6):znanb258.053. doi: 10.1093/bjs/znanb258.053.



URGANCH DAVLAT TIBBIYOT INSTITUTI JANUBIY OROLBO'YI TIBBIYOT JURNALI

2 - TOM, 5/2- SON. 2026

14.00.00 - TIBBIYOT FANLARI ISSN: 3093-8740

8. Lee TJ, Qiu L, Long J, Mach KE, Peterson D, Yao Q, Shkolyar E, Islam MT, Xing L, Liao JC. CystoDS: a multiclass endoscopy image dataset for artificial intelligence-assisted bladder cancer detection. *Sci Data*. 2026 Feb 26;13(1):528. doi: 10.1038/s41597-026-06887-z. PMID: 41741508; PMCID: PMC13057115.
9. Zhang F, An J, Zhao L, Cao Y, Li S, Niu H. Artificial Intelligence-Powered Cystoscopy Diagnostic Support System: Clinical Application of Multiarchitecture Deep Learning Models. *J Endourol*. 2026;40(8):925-934. doi:10.1177/08927790261450807. PMID: 42206801.
10. Shkolyar E, Jia X, Chang TC, Trivedi D, Mach KE, Meng MQH, Xing L, Liao JC. Augmented Bladder Tumor Detection Using Deep Learning. *Eur Urol*. 2019 Dec;76(6):714-718. doi: 10.1016/j.eururo.2019.08.032. Epub 2019 Sep 18. PMID: 31537407.
11. Lee TJ, Qiu L, Long J, Mach KE, Peterson D, Yao Q, Shkolyar E, Islam MT, Xing L, Liao JC. CystoDS: a multiclass endoscopy image dataset for artificial intelligence-assisted bladder cancer detection. *Sci Data*. 2026 Feb 26;13(1):528. doi: 10.1038/s41597-026-06887-z. PMID: 41741508; PMCID: PMC13057115.