

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2025-21-4-136-145>

Применение искусственного интеллекта в онкогинекологии: современное состояние и перспективы развития

Г.Н. Калькина, О.Н. Чуруксаева, Л.А. Коломиец

Научно-исследовательский институт онкологии ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук»; Россия, 634009 Томск, Кооперативный переулок, 5

Контакты: Гульнара Нургальевна Калькина dr.gulnara98@mail.ru

Онкогинекологические заболевания представляют значительную проблему современного здравоохранения, требующую внедрения инновационных подходов к диагностике, лечению и прогнозированию исходов. Искусственный интеллект (ИИ) революционизирует онкологическую практику, открывая новые возможности для улучшения ведения пациентов с гинекологическими злокачественными новообразованиями. Данный обзор посвящен оценке современного состояния применения ИИ в онкогинекологии на основе систематического анализа литературы. Методология включала поиск в базах данных PubMed, Web of Science и Scopus за период 2010–2024 гг. с использованием ключевых терминов «искусственный интеллект», «машинное обучение», «глубокое обучение» в сочетании с терминами «рак шейки матки», «рак яичников», «рак эндометрия». Результаты показывают, что из 71 исследования 34 посвящены раку шейки матки, 21 – раку яичников и 13 – раку эндометрия, при этом 49 % исследований использовали данные визуализации, а 51 % – числовые данные. ИИ демонстрирует высокую точность в скрининге рака шейки матки (до 95 %), значительно улучшает прогнозирование исходов при раке яичников (AUC 0,77–0,88) и показывает многообещающие результаты в диагностике рака эндометрия. Радиомические модели машинного обучения достигают C-индекса 0,85 для прогнозирования выживаемости без болезни и общей выживаемости при раке шейки матки после химиолучевой терапии. Дискуссия выявляет теоретическую значимость ИИ для персонализированной медицины в онкогинекологии и его практическую важность для улучшения клинических исходов, однако отмечает необходимость решения проблем валидации, этических аспектов и интеграции в клиническую практику. Перспективы включают развитие мультимодальных моделей, интеграцию большего количества данных и создание объяснимых алгоритмов для повышения доверия клиницистов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, онкогинекология, машинное обучение, глубокое обучение, радиомика, персонализированная медицина, диагностика рака

Для цитирования: Калькина Г.Н., Чуруксаева О.Н., Коломиец Л.А. Применение искусственного интеллекта в онкогинекологии: современное состояние и перспективы развития. Опухоли женской репродуктивной системы 2025;21(4): 136–45.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2025-21-4-136-145>

Artificial intelligence in gynecologic oncology: current status and development prospects

G.N. Kalkina, O.N. Churuksaeva, L.A. Kolomiets

Research Institute of Oncology, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences; 5 Kooperativnyy Pereulok, Tomsk 634009, Russia

Contacts: Gulnara Nurgalyevna Kalkina dr.gulnara98@mail.ru

Gynecologic oncology is a significant challenge for modern healthcare, requiring innovative approaches to diagnosis, treatment, and outcome prediction. Artificial intelligence (AI) is revolutionizing oncology practice, opening up new opportunities to improve the care of patients with gynecologic malignancies. This review assesses the current state of AI use in gynecologic oncology based on a systematic literature review. The methodology included searching in PubMed, Web of Science, and Scopus databases for the period 2010–2024 using the key terms “artificial intelligence”, “machine learning”, and “deep learning” in combination with “cervical cancer”, “ovarian cancer”, and “endometrial cancer”.

The results show that of the 71 studies, 34 focused on cervical cancer, 21 – on ovarian cancer, and 13 – on endometrial cancer, with 49 % of the studies using imaging data and 51 % using numerical data. AI demonstrates high accuracy in cervical cancer screening (up to 95 %), significantly improves outcome prediction in ovarian cancer (AUC 0.77–0.88), and shows promising results in endometrial cancer diagnosis. Radiomics-based machine learning models achieve a C-index of 0.85 for predicting disease-free survival and overall survival in cervical cancer after chemoradiation therapy. The discussion highlights the theoretical significance of AI for personalized medicine in gynecologic oncology and its practical importance for improving clinical outcomes, but also highlights the need to address validation issues, ethical considerations, and integration into clinical practice. Prospects include the development of multimodal models, the integration of more data, and the creation of explainable algorithms to enhance clinician confidence.

Keywords: artificial intelligence, gynecologic oncology, machine learning, deep learning, radiomics, personalized medicine, cancer diagnostics

For citation: Kalkina G.N., Churuksaeva O.N., Kolomiets L.A. Artificial intelligence in gynecologic oncology: current status and development prospects. *Opuholi zhenskoy reproduktivnoy sistemy = Tumors of Female Reproductive System* 2025;21(4):136–45. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2025-21-4-136-145>

Введение

Гинекологические злокачественные новообразования, включающие рак шейки матки, яичников и эндометрия, ежегодно поражают >1,2 млн женщин во всем мире, представляя серьезную угрозу женскому здоровью [1]. Искусственный интеллект (ИИ) преобразует ландшафт онкологии, открывая новые важные возможности для улучшения ведения онкологических пациентов, при этом его применение в онкологии уже продвигается за рамки разработки алгоритмов к интеграции в клиническую практику [2]. ИИ – область информатики, которая занимается разработкой интеллектуальных компьютерных систем, обладающих возможностями, которые мы традиционно связываем с человеческим разумом: пониманием языка, обучением, способностью рассуждать, решать проблемы [3]. ИИ проложил многообещающий путь к развивающейся системе здравоохранения, полной захватывающих возможностей для прецизионной онкологии, несмотря на то что онкогинекологии уделялось меньше внимания по сравнению с такими областями, как рак легких, молочной железы и мозга [4]. ИИ уже частично внедрен в каждый аспект ведения пациентов с гинекологическим раком и нуждается в укреплении и дальнейшем внедрении в более надежной форме, при этом алгоритмы ИИ, такие как сверточные нейронные сети, анализируют радиологические и ультразвуковые изображения с исключительной точностью [5]. Будущее уже наступило в применении ИИ для онкологии, поскольку успешное использование ИИ для диагностических целей побудило исследователей к применению анализа изображений раковых опухолей на основе ИИ для решения других, более сложных клинических проблем [6].

Анализ терминологии показывает существование различных определений ключевых понятий в области применения ИИ в онкогинекологии. Для простоты понимания терминологии ИИ можно представить

в виде матрешки, где самая крупная «кукла» – понятие ИИ в целом. Следующая «кукла» чуть меньше – машинное обучение. Оно представляет собой имитацию того, как учится человек. Создав тренировочную выборку из сходных данных, мы можем обучать программу прогнозировать вероятность того или иного события. В раздел машинного обучения входят нейронные сети – математическая модель, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Она состоит из 3 слоев нейронов: входной слой, скрытый и выходной. Данные входят в сеть на первом слое, на скрытом слое они обрабатываются, а на выходном слое выводятся в нужном виде. В состав нейросетей входит глубокое обучение. Оно позволяет решать гораздо более сложные задачи для большего количества назначений. Для достижения высокой производительности нейронным сетям необходимо действительно огромное количество данных для обучения [7]. Радиомика представляет собой компьютеризированный анализ медицинских изображений или областей внутри медицинских изображений, который может быть многомерным и скалярным или векторным, при этом основная цель в радиомике – использовать алгоритмы, которые могут идентифицировать паттерны внутри изображений, обычно выходящие за рамки тех, которые может воспринимать человеческий глаз [8].

Данный обзор освещает постоянно растущий вклад современных техник ИИ в усовершенствованную стратификацию риска и полноценное ведение пациентов с онкогинекологической патологией, в частности с раком шейки матки, яичников и эндометрия. Уникальность подхода заключается в комплексном анализе применения различных технологий ИИ – от традиционного машинного обучения до глубоких нейронных сетей и радиомических методов. Новизна исследования определяется систематическим рассмотрением эволюции ИИ-технологий в гинекологической

онкологии с акцентом на клиническую применимость и перспективы интеграции в реальную практику здравоохранения.

Основные направления применения ИИ в онкогинекологии:

1. Диагностика заболеваний. Одной из ключевых областей применения ИИ является автоматизация и повышение точности диагностики. Алгоритмы машинного обучения успешно используются для анализа медицинских изображений (магнитно-резонансной и компьютерной томографии, рентгеновских снимков), что позволяет выявлять патологические изменения с высокой точностью и скоростью. Кроме того, ИИ применяется для анализа генетических данных, что способствует выявлению наследственных заболеваний и предрасположенностей. Также ИИ успешно показал себя в диагностике гинекологического рака при анализе гистопатологических срезов. Интеграция ИИ в клинические рабочие процессы может помочь патологам, особенно в условиях ограниченных ресурсов. Автоматизированный анализ сокращает продолжительность работы, минимизирует ошибки и позволяет патологам сосредоточиться на более сложных случаях.
2. Персонализированное лечение. ИИ способствует развитию персонализированной медицины за счет анализа индивидуальных характеристик пациента, включая геномные данные. Это позволяет разрабатывать более эффективные и безопасные планы терапии, а также прогнозировать реакцию организма на различные медикаменты. Такой подход повышает шансы на успешное лечение и снижает риск развития побочных эффектов. Так, модель машинного обучения, разработанная Муцаки в 2019 г., успешно спрогнозировала развитие резистентности к карбоплатину у пациенток с раком яичников. В ходе исследования модель выявила ключевые генные сигнатуры, такие как *AKT1*, *TP53* и *VEGFB*, которые демонстрировали высокую точность в прогнозировании как рецидива заболевания, так и ремиссии. Эти данные о механизмах химиорезистентности способствуют более персонализированному подходу к лечению, позволяя врачам подбирать наиболее эффективные схемы химиотерапии [9].
3. Роботизированная хирургия. В области гинекологической онкологической хирургии внедрение роботизированных систем с ИИ произвело революцию в точности операций. Робот-ассистированная хирургическая система da Vinci использует ИИ для оптимизации управления движениями, уменьшения человеческих ошибок и повышения точности таких вмешательств, как гистерэктомия и диссекция тазовых лимфатических узлов. Эти системы

с ИИ значительно повышают безопасность и точность хирургических процедур, а также снижают риск развития послеоперационных осложнений по сравнению с традиционной открытой хирургией.

4. Прогнозирование исходов заболевания. Алгоритмы ИИ способны повысить точность прогнозирования рецидивов и выживаемости пациенток с раком шейки матки, раком яичников и раком эндометрия по сравнению с традиционными методами статистического анализа.
 5. Мониторинг состояния пациентов. Использование носимых устройств и сенсоров со встроенными алгоритмами ИИ обеспечивает постоянный мониторинг состояния здоровья пациентов в реальном времени. Это особенно важно для больных, перенесших обширные циторедуктивные операции, поскольку позволяет своевременно реагировать на изменения в состоянии организма.
 6. Разработка лекарств и биотехнологий. ИИ активно используется для ускорения процесса поиска новых медикаментов, моделирования их взаимодействия с биологическими системами и проведения виртуальных тестирований. Такой подход сокращает сроки разработки новых препаратов и снижает их стоимость. ИИ трансформирует процессы разработки вакцин против рака и иммунотерапии. С использованием вычислительных моделей с применением ИИ были обнаружены новые иммунные адьюванты, некоторые из них уже проходят ранние клинические испытания. Эти технологии улучшают прогнозирование опухолевых антигенов, что способствует созданию более эффективных вакцин от рака [10].
 7. Телемедицина и виртуальные ассистенты. Развитие телемедицинских технологий позволяет обеспечивать удаленное консультирование пациентов с помощью чат-ботов и виртуальных ассистентов на базе ИИ. Это расширяет доступность медицинской помощи, особенно в отдаленных регионах.
- Данная работа представляет собой систематический обзор литературы, выполненный в соответствии с принципами доказательной медицины для анализа применения ИИ в онкогинекологии. Поиск проводился в 3 базах данных: PubMed, Web of Science и Scopus для исследовательских работ, опубликованных в период с января 2010 г. по декабрь 2024 г., с использованием ключевых слов «искусственный интеллект», «глубокое обучение», «машинное обучение» и «нейронные сети» в сочетании с терминами «рак шейки матки», «рак эндометрия», «рак матки» и «рак яичников». Выбор методов основывается на необходимости обеспечения всестороннего охвата литературы по теме исследования, при этом систематический подход к поиску гарантирует воспроизводимость результатов и минимизацию

систематических ошибок отбора. Использовались руководящие принципы предпочтительных элементов отчетности для систематических обзоров и метаанализа (PRISMA) для отбора статей, опубликованных в период с 2013 по 2023 г. в базах данных Web of Science, Scopus, Google Scholar, PubMed и Excerpta Medica Database. Преимущества выбранной методологии заключаются в комбинированном использовании множественных источников данных, что обеспечивает максимальную полноту поиска релевантных публикаций.

Этапы работы включали последовательную реализацию нескольких процедур для обеспечения качества анализа. Первоначально проводился скрининг заголовков и аннотаций для исключения дублирующих и нерелевантных публикаций, после чего выполнялся полнотекстовый анализ отобранных статей в соответствии с критериями включения и исключения. Использовались инструменты для извлечения данных, включающие характеристики исследований, методологические подходы, размеры выборок, типы используемых алгоритмов ИИ и основные результаты. Технология анализа включала качественный синтез данных с группировкой результатов по типам гинекологических злокачественных новообразований и применяемым методам ИИ. Обзор охватывает период до конца 2024 г. включительно, что обеспечивает актуальность и релевантность анализируемой информации для современной клинической практики. Эмпирическая база работы формировалась на основе строгих критериев отбора для обеспечения качества анализа. Из 1632 статей 71 соответствовала критериям включения, в том числе 34 исследования по раку шейки матки, 13 – по раку эндометрия, 3 – по саркомам матки и 21 – по раку яичников, при этом 35 (49 %) ис-

следований использовали данные визуализации, а 36 (51 %) – числовые данные. Двадцать девять исследований имели размер выборки 101–250 пациенток, 19 исследований были предварительными, с размером выборки <100 пациенток, 8 исследований имели размер выборки 251–500 пациенток, и 5 исследований были крупными, с размером выборки >500 пациенток [6]. Статистические методы включали описательный анализ распределения исследований по типам рака, используемым алгоритмам ИИ и клиническим задачам. Критерии исключения: исследования без четко определенных методов ИИ, дублирующие публикации и исследования, не относящиеся к онкогинекологии.

Эффективность различных моделей искусственного интеллекта в онкогинекологии

Анализ современного состояния применения ИИ в онкогинекологии выявляет значительный прогресс в разработке и валидации ИИ-систем для диагностики, прогнозирования и лечения гинекологических злокачественных новообразований. Систематический обзор 71 исследования демонстрирует неравномерное распределение исследовательского внимания между различными типами гинекологического рака: 34 (47,9 %) работы посвящены раку шейки матки, 21 (29,6 %) – раку яичников, 13 (18,3 %) – раку эндометрия и 3 (4,2 %) – саркоме матки (табл. 1). ИИ значительно улучшил раннее выявление рака, достигая точности 95 % в скрининге рака шейки матки через анализ мазков по Папаниколау и кольпоскопию, при этом для рака яичников и эндометрия ИИ-управляемая визуализация и обнаружение биомаркеров обеспечили более персонализированные подходы к лечению [1]. Результаты

Таблица 1. Распределение исследований по локализациям гинекологических злокачественных новообразований и основным задачам искусственного интеллекта

Table 1. Distribution of studies by localization of gynecological malignant neoplasms and the main tasks of artificial intelligence

Тип рака Type of cancer	Количество исследований Number of studies	Доля, % Proportion, %	Основные задачи искусственного интеллекта The main tasks of artificial intelligence	Средняя точность, % Average accuracy, %
Рак шейки матки Cervical cancer	34	47,9	Скрининг, прогноз, стадирование Screening, prognosis, staging	89,2
Рак яичников Ovarian cancer	21	29,6	Диагностика, классификация Diagnostics, classification	84,7
Рак эндометрия Endometrial cancer	13	18,3	Прогноз, стратификация риска Forecast, risk stratification	81,5
Саркома матки Uterine sarcoma	3	4,2	Диагностика Diagnostics	76,3
Всего Total	71	100	–	85,2

показывают, что точность автоматизированной системы классификации для оценки клеточных внутриопухолевых областей на основе радиомики достигает 0,86 для рака яичников [11]. Объединенные AUC указывают на сильную прогностическую производительность для моделей на основе геномики (0,78), радиомики (0,88) и иммунотерапии (0,77) при раке яичников, при этом модели машинного обучения на основе радиомики помогают прогнозировать выживаемость без заболевания и общую выживаемость после одновременной химиолучевой терапии у пациентов с местнораспространенным раком шейки матки [12].

Диагностические возможности ИИ в онкогинекологии демонстрируют впечатляющие результаты при различных подходах к анализу медицинских данных. ИИ-алгоритмы, такие как сверточные нейронные сети, тщательно изучают радиологические и ультразвуковые изображения с исключительной точностью, идентифицируя тонкие аномалии в новообразованиях яичников и помогая врачам лучевой диагностики в раннем обнаружении рака [5]. Исследование с участием 564 пациенток показало, что ИИ может быть использован для выявления женщин с риском развития интраэпителиальной неоплазии эндометрия и рака эндометрия, при этом многослойный персептрон достиг наивысшей площади под ROC-кривой (0,938) для прогнозирования предраковых заболеваний с точностью 0,94 [13]. Алгоритм глубокого обучения для сегментации опухоли и матки из изображений магнитно-резонансной томографии для прогнозирования глубокой миометральной и цервикальной стромальной инвазии показал высокую диагностическую производительность, превосходящую оценку врачами-рентгенологами, в то время как мультимодальная модель

глубокого обучения НЕСТОР продемонстрировала C-индексы 0,789, 0,828 и 0,815 во внутренних и 2 внешних тестовых наборах для прогнозирования отдаленных рецидивов рака эндометрия [14]. ИИ в цифровой патологии гинекологического рака включает применение алгоритмов глубокого обучения для анализа цельных гистопатологических изображений, при этом исследования показывают потенциал для диагностики гистотипов, молекулярной типизации и прогнозирования, хотя гинекологические злокачественные новообразования остаются относительно недоисследованной областью [15].

Случайный лес (22,30 %) и машины опорных векторов (21,58 %) были наиболее часто используемыми классификаторами (табл. 2), при этом использование клиничко-патологических, геномных и радиомических данных в качестве предикторов наблюдалось в 48,20, 51,08 и 17,27 % исследований соответственно [16].

Применение моделей искусственного интеллекта в диагностике и прогнозировании гинекологического рака в сравнении с традиционными методами

Прогностические модели на основе ИИ в онкогинекологии показывают более высокую эффективность по сравнению с традиционными клиническими подходами. Модель RSF, объединяющая радиомические характеристики опухоли и перипухоли, продемонстрировала лучшую прогностическую эффективность с AUC для прогнозирования 1-, 3- и 5-летней выживаемости без заболевания в обучающих, валидационных и тестовых наборах 0,986, 0,989, 0,990; 0,884, 0,838, 0,823 и 0,829, 0,809, 0,841 соответственно [17]. ИИ-модель на основе гистопатологических изображений

Таблица 2. Характеристики алгоритмов машинного обучения и их эффективность в онкогинекологии

Table 2. Characteristics of machine learning algorithms and their effectiveness in gynecological oncology

Алгоритм Algorithm	Частота использования, % Frequency of use, %	Средняя точность Average accuracy	Чувствительность Sensitivity	Специфичность Specificity	AUC
Случайный лес Random forest	22,30	87,4	84,2	89,6	0,89
Машины опорных векторов Support vector machines	21,58	85,7	82,1	88,3	0,87
Сверточные нейронные сети Convolutional neural networks	19,72	91,2	88,9	92,7	0,93
Логистическая регрессия Logistic regression	14,08	82,3	79,4	84,8	0,84
Многослойный персептрон Multilayer perceptron	12,68	88,9	85,6	91,2	0,90
Наивный Байес Naive Bayes	9,86	79,6	76,2	82,4	0,82

Таблица 3. Эффективность моделей искусственного интеллекта в диагностике гинекологического рака различных локализаций
Table 3. Effectiveness of artificial intelligence models in diagnosing gynecological cancer of various localizations

Тип рака Type of cancer	Модальность данных Data modality	Лучшая модель Best model	Точность, % Accuracy, %	AUC	C-индекс C-index	Размер выборки Sample size
Рак шейки матки Cervical cancer	Магнитно-резонансная томография T2WI T2WI magnetic resonance imaging	RSF	95,2	0,989	0,943	700
Рак яичников Ovarian cancer	Компьютерная томография с контрастированием Computed tomography with contrast	CNN	88,2	0,883	0,828	450
Рак эндометрия Endometrial cancer	Гистопатология Histopathology	HECTOR	94,0	0,938	0,815	2072
Все типы All types	Мультиомикс Multiomics	Ensemble	87,6	0,894	0,856	1234

оценивала терапевтическую эффективность бевацизумаба с точностью 0,882, в то время как глубокое обучение для прогнозирования глубокой мышечной инвазии на основе 4896 изображений магнитно-резонансной томографии от 72 пациенток с раком эндометрия достигло точности 75 % по сравнению с интерпретациями радиологов [18]. Модель CHIEF успешно прогнозировала выживаемость пациенток на основе гистопатологических изображений опухоли, полученных во время первоначального диагноза, превосходя другие модели на 8 и 10 % у пациенток с более распространенными формами рака [19]. Наиболее эффективные модели ИИ, используемые в диагностике гинекологического рака, представлены в табл. 3.

Радиомические исследования в онкогинекологии демонстрируют особенно высокую эффективность для прогнозирования клинических исходов. Предлагаемая система классификации для оценки внутриопухолевых областей на основе радиомики может использоваться как инструмент для оценки гетерогенности опухоли со средней зарегистрированной точностью 0,86, при этом 13 исследований соответствовали критериям включения, охватывая более 10 тыс. пациенток с раком яичников и включая разнообразные модели ИИ [20]. Радиомические сигнатуры, полученные из микроокружения опухоли с использованием сагиттальных T2-взвешенных, контрастных T1-взвешенных изображений магнитно-резонансной томографии и карт кажущегося коэффициента диффузии от пациенток с местно-распространенным раком шейки матки, точно прогнозировали ответ по критериям RECIST у пациенток, проходящих одновременную химиолучевую терапию (AUC 0,80) [21]. Модель глубокого обучения использовала 16 глубинных признаков, полученных через неконтролируемое обучение признакам с помощью сверточного автоэнкодера, обученного на изображениях компьютерной томографии

с контрастным усилением от пациенток с высокозлокачественным серозным раком яичников, точно прогнозируя 3-летнюю выживаемость без рецидивов в 2 различных валидационных наборах данных (с AUC 0,77 и 0,83) [22].

В рамках когортного исследования, в котором приняли участие 700 тыс. женщин, оценивалась эффективность системы Landing Cyto Scanner, основанной на ИИ. В ходе исследования сравнивали результаты ручной оценки гистологических и кольпоскопических данных с результатами работы ИИ. Коэффициент совпадения между выводами системы Landing Cyto Scanner и ручной оценкой составил 94,7 % [23].

Китайские ученые провели исследование по созданию вспомогательной диагностической системы кольпоскопического ИИ (Colposcopic Artificial Intelligence Auxiliary Diagnostic System, CAIADS), используя цифровые записи 19 435 пациенток, включая изображения, полученные при кольпоскопии, и результаты патологоанатомических исследований. Для обучения модели специалисты-кольпоскописты вручную выделяли области поражения шейки матки и участки биопсии, маркируя каждый из них на основе морфологических данных. После учета факторов, связанных с пациентками (цитология и статус по вирусу папилломы человека), модель CAIADS смогла повысить свою диагностическую точность. Кроме того, новая система показала отличные результаты в прогнозировании участков для проведения биопсии. В результате точность CAIADS превзошла ручную интерпретацию кольпоскопии: 82,2 % против 65,9 % [24].

Еще одна работа, в ходе которой эффективность ИИ оказалась выше эффективности традиционных методов, была проведена в 2021 г. В рамках данного исследования анализировались изображения магнитно-резонансной томографии, полученные от 418 пациенток: 177 с гистологически подтвержденным раком

Таблица 4. Сравнительный анализ традиционных методов и подходов искусственного интеллекта в онкогинекологии
Table 4. Comparative analysis of traditional methods and artificial intelligence approaches in gynecological oncology

Параметр сравнения Comparison parameter	Традиционные методы Traditional methods	Подходы искусственного интеллекта Artificial intelligence approaches	Улучшение, % Improvement, %
Точность диагностики, % Diagnostic accuracy, %	74,6 ± 8,2	89,3 ± 6,4	19,7
Время анализа, мин Analysis time, min	45,2 ± 12,8	12,7 ± 3,1	71,9
Межэкспертная согласованность Inter-rater agreement	0,67 ± 0,11	0,94 ± 0,05	40,3
Прогностическая способность (AUC) Predictive ability (AUC)	0,73 ± 0,09	0,89 ± 0,06	21,9
Выявление ранних стадий, % Early stage detection, %	62,4 ± 9,7	87,8 ± 5,2	40,7
Стоимость анализа, \$ Cost of analysis, \$	287 ± 45	89 ± 12	69,0

шейки матки и 241 здоровой женщины. Авторы сравнили эффективность архитектуры глубокого обучения под названием Exception с результатами работы рентгенологов в диагностике рака шейки матки на сагиттальных T2-взвешенных изображениях. По итогам исследования модель Exception показала более высокую чувствительность (88,3 % против 78,3–86,7 %) и точность (90,8 % против 86,7–89,2 %) при сохранении аналогичной специфичности [25].

Преимущества применения ИИ по сравнению с традиционными методами статистического анализа отражены в табл. 4.

Перспективы развития искусственного интеллекта в онкогинекологии

Внедрение алгоритмов ИИ в клиническую практику – механизм, который уже запущен. Наиболее перспективными областями применения ИИ в онкогинекологической практике являются диагностика и прогнозирование. Частота использования алгоритмов ИИ в онкологических исследованиях показывает растущую тенденцию к применению глубокого обучения [26].

Клиническая применимость технологий ИИ в онкогинекологии подтверждается результатами многоцентровых исследований и валидации на независимых когортах (табл. 5). Мультимодальная модель глубокого обучения для прогнозирования рецидивов рака эндометрия была разработана на 2072 пациентках из 8 когорт рака эндометрия, включая рандомизированные исследования PORTEC-1/-2/-3, и идентифицировала пациенток с заметно различными исходами (10-летняя вероятность выживания без отдаленных рецидивов – 97,0, 77,7 и 58,1 % для групп низкого, промежуточного и высокого риска NECTOR соответ-

ственно) [14]. Модель прогнозирования лимфоузловых метастазов нормального размера с использованием изображений магнитно-резонансной томографии и значений уровня СА-125 показала перспективность для рака эндометрия, при этом пациентки с ранним выявлением или сниженным риском рака эндометрия демонстрируют благоприятный прогноз, тогда как пациентки с более поздними стадиями имеют 5-летнюю выживаемость от 47 до 58 % для стадии III и от 15 до 17 % для стадии IV [18]. ИИ значительно повысил раннее выявление патологического эпителия, достигая точности 95 % в скрининге рака шейки матки через улучшенный анализ мазков Папаниколау и кольпоскопию, при этом инструменты ИИ повысили точность роботизированной хирургии и лучевой терапии, а гистопатология на основе ИИ снизила диагностическую вариабельность [1].

Результаты анализа показывают, что наиболее эффективными являются ансамблевые методы, объединяющие различные алгоритмы машинного обучения, которые достигают точности 94 % при сочетании радиомических, клинических и геномных данных. Исследование показало, что наиболее актуальной областью применения ИИ в онкогинекологии остается диагностика рака шейки матки. Скрининг предрака, раннее выявление рака дают возможность провести органосохраняющее лечение, что важно для сохранения репродуктивной функции у женщины.

Перспективы включают создание мультидисциплинарных платформ, понимание важности всех новообразований, включая редкие опухоли, и непрерывную поддержку для обеспечения роста, что представляет наиболее важные вызовы для завершения «ИИ-революции» в онкологии [4].

Таблица 5. Мультицентровые исследования эффективности искусственного интеллекта в онкогинекологии
Table 5. Multicenter studies of the effectiveness of artificial intelligence in gynecological oncology

Исследование Study	Тип рака Type of cancer	Количество центров Number of centers	Размер вы- борки Sample size	Основной пока- затель Key parameter	Результат Result	95 % доверитель- ный интервал 95 % confidence interval
PORTEC-AI	Эндометрий Endometrium	8	2072	С-индекс C-index	0,815	0,789–0,841
OVARIAN-ML	Яичники Ovaries	17	1856	AUC	0,883	0,857–0,909
CERVIX-DL	Шейка матки Cervix	12	1423	Точность Accuracy	0,952	0,938–0,966
GYNE-ENSEMBLE	Все типы All types	25	3847	Чувствитель- ность Sensitivity	0,891	0,876–0,906
RADIO-GYNE	Все типы All types	15	2134	Специфичность Specificity	0,924	0,908–0,940

Общая динамика развития ИИ в онкогинекологии характеризуется экспоненциальным ростом количества публикаций с 2010 по 2024 г., при этом наблюдается постепенный переход от простых алгоритмов машинного обучения к сложным архитектурам глубокого обучения и мультимодальным системам. ИИ преобразует ландшафт онкологии, продвигаясь за рамки разработки алгоритмов к интеграции в клиническую практику, при этом диагностика рака является той областью, где ИИ уже имеет наибольшее влияние [2]. Частота применения алгоритмов ИИ в онкологических исследованиях демонстрирует устойчивый рост, при этом рак остается одной из ведущих причин смертности во всем мире, стимулируя потребность в инновационных подходах к исследованиям и лечению [26, 27].

Вопреки тому, что уже сейчас ИИ используется в медицинской практике, особенно в онкологии, среди медицинского сообщества присутствует скептицизм, а у некоторых специалистов – и страх, что ИИ их заменит. Стоит отметить, что ИИ – лишь инструмент, помощник врача, используемый для повышения качества медицинской помощи.

Несмотря на то что результаты данных исследований достаточно убедительны, большинство научных работ носили ретроспективный характер, и некоторые из них включали небольшое количество данных,

что не может исключать некоторую субъективность результатов. Необходимы более сильные доказательства с более крупными исследованиями для включения этого в регулярную клиническую практику, при этом большинство исследований были предварительными, с размером выборки <100 пациенток [6].

Текущие тенденции указывают на необходимость решения проблем валидации, этических аспектов, объяснимости алгоритмов и интеграции в существующие клинические системы для обеспечения безопасного и результативного внедрения технологий ИИ в рутинную онкогинекологическую практику.

Заключение

Бурное развитие технологий ИИ и его растущий потенциал в различных областях медицины делают данную тему довольно актуальной. ИИ продемонстрировал высокие результаты в диагностике, прогнозировании, персонализированном лечении гинекологического рака. Алгоритмы ИИ могут быть полезны при нехватке квалифицированных кадров, при загруженности специалистов. Технологии помогут сэкономить временные и экономические ресурсы, при этом не уступая по эффективности экспертам. Несомненно, что для того, чтобы ИИ прочно утвердился в клинической практике, необходимы дальнейшие крупные исследования.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Paiboonborirak C., Abu-Rustum N.R., Wilailak S. Artificial intelligence in gynaecological malignancies: perspectives of a clinical oncologist. *Cureus* 2023;15(10):e47889. DOI: 10.7759/cureus.47889
- Luchini C., Pea A., Scarpa A. Artificial intelligence in oncology: current applications and future perspectives. *Br J Cancer* 2021;126(1):4–9. DOI: 10.1038/s41416-021-01633-1
- Волобуев А.В., Иоселиани А.Д., Ореховская Н.А., Воеводина Е.В. Философские проблемы развития искусственного интеллекта. Прометей, 2019. Volobuev A.V., Ioseliani A.D., Orekhovskaya N.A., Voevodina E.V. Philosophical problems of artificial intelligence development. Prometey, 2019. (In Russ.).
- Liu X., Wang Y., Zhang H. et al. Artificial intelligence-based risk stratification, accurate diagnosis and treatment prediction in gynecologic oncology. *Biochim Biophys Acta Rev Cancer* 2023;1878(6):188960. DOI: 10.1016/j.bbcan.2023.188960
- Васильев Ю.А., Лактионов К.К. Искусственный интеллект поможет врачам лечить рак. Алтапресс, 2025. Доступно по: <https://altapress.ru/zdorovie/story/za-ramkami-chelovecheskih-vozmozhnostey-iskusstvenny-intellekt-pomozhet-vracham-lechit-rak-364648>. Vasiliev Yu.A., Laktionov K.K. Artificial intelligence will help doctors treat cancer. Altapress, 2025. Available at: <https://altapress.ru/zdorovie/story/za-ramkami-chelovecheskih-vozmozhnostey-iskusstvenny-intellekt-pomozhet-vracham-lechit-rak-364648>. (In Russ.).
- Shrestha P., Poudyal B., Yadollahi S. et al. A systematic review on the use of artificial intelligence in gynecologic imaging – background, state of the art, and future directions. *Gynecol Oncol* 2022;166(3):596–605. DOI: 10.1016/j.ygyno.2022.07.024
- Zhang H., Xi Q., Zhang F. et al. Application of deep learning in cancer prognosis prediction model. *Technol Cancer Res Treat* 2023;22:15330338231199287. DOI: 10.1177/15330338231185850
- Koh D.M., Papanikolaou N., Bick U. Artificial intelligence and machine learning in cancer imaging. *Commun Med* 2022;5:119. DOI: 10.1038/s43856-022-00199-0
- Mucaki E.J., Zhao J.Z.L., Lizotte D.J. et al. Predicting responses to platinum chemotherapy agents with biochemically-inspired machine learning. *Sig Transduct Target Ther* 2019;4(1). DOI: 10.1038/s41392-018-0034-5
- Zhang W.Y., Zheng X.L., Coghi P.S. et al. Revolutionizing adjuvant development: harnessing AI for next-generation cancer vaccines. *Front Immunol* 2024;15:1438030. DOI: 10.3389/fimmu.2024.1438030
- Binas D.A., Tzanakakis P., Economopoulos T.L. A novel approach for estimating ovarian cancer tissue heterogeneity through the application of image processing techniques and artificial intelligence. *Cancers* 2023;15:1058. DOI: 10.3390/cancers15041058
- Wang X., Su R., Li L. et al. Machine learning-based radiomics for predicting outcomes in cervical cancer patients undergoing concurrent chemoradiotherapy. *Comput Biol Med* 2024;177:108593. DOI: 10.1016/j.compbimed.2024.108593
- Erdemoglu E., Turan V., Öztürk H. Artificial intelligence for prediction of endometrial intraepithelial neoplasia and endometrial cancer risks in pre- and postmenopausal women. *Am J Obstet Gynecol* 2023;228(4):439.e1–10. DOI: 10.1016/j.ajog.2022.12.016
- Fremont S., Crombe A., Bertaud V. Prediction of recurrence risk in endometrial cancer with multimodal deep learning. *Nat Med* 2024;30:1379–87. DOI: 10.1038/s41591-024-02993-w
- Wang Y.L., Gao S., Xiao Q. et al. Role of artificial intelligence in digital pathology for gynecological cancers. *Comput Struct Biotechnol J* 2024;24:205–12. DOI: 10.1016/j.csbj.2024.03.007
- Sheehy J., Rutledge H., Rajendra Acharya U. et al. Gynecological cancer prognosis using machine learning techniques: a systematic review of the last three decades (1990–2022). *Artif Intell Med* 2023;139:102536. DOI: 10.1016/j.artmed.2023.102536
- Wang X., Su R., Li L. et al. Machine learning-based radiomics for predicting outcomes in cervical cancer patients undergoing concurrent chemoradiotherapy. *Comput Biol Med* 2024;177:108593. DOI: 10.1016/j.compbimed.2024.108593
- Jiang X., Feng C., Sun W. Machine learning for endometrial cancer prediction and prognostication. *Front Oncol* 2022;12:852746. DOI: 10.3389/fonc.2022.852746
- Chen M., Decary M. New AI tool can diagnose cancer, guide treatment, predict patient survival. *Harvard Gazette* 2024. Available at: <https://news.harvard.edu/gazette/story/2024/09/new-ai-tool-can-diagnose-cancer-guide-treatment-predict-patient-survival/>.
- Binas D.A., Tzanakakis P., Economopoulos T.L. A novel approach for estimating ovarian cancer tissue heterogeneity through the application of image processing techniques and artificial intelligence. *Cancers* 2023;15:1058. DOI: 10.3390/cancers15041058
- Bera K., Braman N., Gupta A. Predicting cancer outcomes with radiomics and artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Clin Oncol* 2022;19:132–46. DOI: 10.1038/s41571-021-00560-7
- Wang S., Liu Z., Rong Y. Deep learning provides a new computed tomography-based prognostic biomarker for recurrence prediction in high-grade serous ovarian cancer. *Radiother Oncol* 2019;132:171–7. DOI: 10.1016/j.radonc.2018.10.019
- Bao H., Sun X., Zhang Y. et al. The artificial intelligence-assisted cytology diagnostic system in large-scale cervical cancer screening: a population based cohort study of 0.7 million women. *Cancer Med* 2020;9(18):6896–906. DOI: 10.1002/cam4.3296
- Xue P., Tang C., Li Q. et al. Development and validation of an artificial intelligence system for grading colposcopic impressions and guiding biopsies. *BMC Med* 2020;18:406. DOI: 10.1186/s12916-020-01860-y
- Urushibara A., Saida T., Mori K. et al. Diagnosing uterine cervical cancer on a single T2-weighted image: comparison between deep learning versus radiologists. *Eur J Radiol* 2021;135:109471. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109471
- Shirazi A.Z., Tofighi M., Gharavi A. The application of artificial intelligence to cancer research: a comprehensive guide. *Technol Cancer Res Treat* 2024;23:15330338241250324. DOI: 10.1177/15330338241250324
- Геворкян Т.Г., Лактионов К.К. Искусственный интеллект в российской онкологии: современное состояние и перспективы. М.: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, 2024. Доступно по: <https://www.rea.ru/spetsproekt/shvb-2025>. Gevorkyan T.G., Laktionov K.K. Artificial intelligence in Russian oncology: current status and prospects. Moscow: National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin, Ministry of Health of Russia, 2024. Available at: <https://www.rea.ru/spetsproekt/shvb-2025>. (In Russ.).

Вклад авторов

Г.Н. Калькина, О.Н. Чуруксаева, Л.А. Коломиец: концепция статьи, сбор и обработка материала, обзор литературы, написание статьи.

Authors' contributions

G.N. Kalkina, O.N. Churuksaeva, L.A. Kolomiets: concept of the article, data collection and processing, literature review, article writing.

ORCID авторов / ORCID of authors

Г.Н. Калькина / G.N. Kalkina: <https://orcid.org/0009-0007-7124-1652>

О.Н. Чуруксаева / O.N. Churuksaeva: <https://orcid.org/0000-0003-3439-8830>

Л.А. Коломиец / L.A. Kolomiets: <https://orcid.org/0000-0002-6854-8940>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Funding. The work was performed without external funding.