

Искусственный интеллект: аспекты применения в офтальмологии. Ч. 1

А.О. Укина¹Е.Б. Мякошина²

¹ ГБУЗ ЛО «Гатчинская клиническая межрайонная больница»
ул. Рощинская, 15а, корп. 1, Гатчина, Ленинградская обл., 188300, Российская Федерация

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней
им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Садовая-Черногрозская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2026;23(1):14–21

Искусственный интеллект (ИИ) становится неотъемлемой частью современных медицинских технологий, особенно в области диагностики заболеваний. В последние годы его применение в офтальмологии становится более широким и затрагивает все большее количество нозологий. В данной обзорной статье освещены вопросы терминологии ИИ, исторические аспекты применения ИИ в медицине в целом и в офтальмологии в частности, рассмотрены современные достижения и научные разработки. Обсуждается будущее ИИ в офтальмологии и перспективы развития данного направления.

Ключевые слова: искусственный интеллект, глубокое обучение, нейронные сети, машинное обучение, офтальмология

Для цитирования: Укина А.О., Мякошина Е.Б. Искусственный интеллект: аспекты применения в офтальмологии. Ч. 1. *Офтальмология*. 2026;23(1):14–21. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2026-1-14-21>

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов отсутствует.



Artificial Intelligence: Applications in Ophthalmology. Part 1

A.O. Ukina¹, E.B. Myakoshina²

¹Gatchina Interdistrict Clinical Hospital
Roshchinskaya str., 15a, bld. 1, Gatchina, Leningrad region, 188300, Russian Federation

²Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russia

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is becoming an integral part of modern medical technologies, especially in the field of disease diagnostics. In recent years, its application in ophthalmology has become broader, and it affects an increasing number of nosologies.

This review article covers the issues of AI terminology, historical aspects of the use of AI in medicine in general and in ophthalmology in particular, and highlights modern achievements and scientific developments in this field.

The future of AI in ophthalmology and the prospects for the development are discussed. Ophthalmologists, researchers, and artificial intelligence experts are the target audience for this article.

Keywords: artificial intelligence; deep learning; neural networks; machine learning; ophthalmology

For citation: Ukina A.O., Myakoshina E.B. Artificial Intelligence: Applications in Ophthalmology. Part 1. *Ophthalmology in Russia*. 2026;23(1):14-21. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2026-1-14-21>

Financial Disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

There is no conflict of interests.

Ophthalmology in Russia. 2026;23(1):14-21

ВВЕДЕНИЕ

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой область компьютерных наук, занимающуюся разработкой систем, способных выполнять задачи, обычно требующие человеческого интеллекта [1]. Ключевыми разделами ИИ являются машинное обучение и глубокое обучение. Машинное обучение включает алгоритмы, которые анализируют и обрабатывают данные для обнаружения закономерностей и принятия решений без необходимости в явном программировании. Алгоритм машинного обучения представляет собой совокупность

правил и математических моделей, которые дают возможность компьютерам обучаться на основе данных и принимать решения (без явного программирования).

Существует множество алгоритмов машинного обучения, каждый используется для решения своей конкретной задачи. В исследованиях в области офтальмологии можно встретить такие алгоритмы, как линейная регрессия, логистическая регрессия, наивный Байесовский классификатор, деревья решений и другие. Термин «Случайный лес» (Random Forest) — это метод, который строит множество деревьев решений и объединяет их результаты для улучшения точности предсказаний. В терминологии ИИ «предсказание» относится к процессу использования алгоритмов и моделей для прогнозирования будущих событий или значений на основе имеющихся данных.

Глубокое обучение, в свою очередь, является подкатегорией машинного обучения и использует многослойные нейронные сети для обработки больших объемов информации, что позволяет достигать высокой точности в задачах распознавания образов, обработки естественного языка и других сложных задачах. Нейронные сети, вдохновленные структурой человеческого мозга, состоят из узлов (нейронов), связанных между собой, что обеспечивает возможность параллельной обработки информации и эффективного обучения на больших наборах данных [1]. К известным моделям глубокого обучения относятся сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, генеративно-состязательные сети и другие. Эти технологии открывают новые возможности в различных сферах и продолжают активно развиваться (рис. 1).



Рис. 1. Структура ИИ. Глубокое обучение — часть машинного обучения, машинное обучение — часть ИИ [2]

Fig. 1. Structure of AI. Deep learning is a part of machine learning, machine learning is a part of AI [2]

A.O. Ukina, E.B. Myakoshina

Contact information: Ukina Anastasiia O. anastasioukina@yandex.ru

Artificial Intelligence: Applications in Ophthalmology. Part 1

Датасет (набор данных) представляет собой совокупность данных, организованных или сгруппированных по определенным критериям. Эти данные необходимы для создания программного обеспечения для электронных вычислительных машин, использующих технологии ИИ. Обычно выделяют три набора данных: обучающий набор данных (training dataset), проверочный набор данных (validation dataset) и тестовый набор данных (test dataset). Модель изначально тренируется с помощью обучающего датасета, затем обученная модель используется для прогнозирования ответов для наблюдения с помощью второго набора данных. Тестовый набор данных используется для непредвзятой оценки окончательной модели. Для оценки работы модели, использующей ИИ, применяют различные метрики и показатели в зависимости от задачи, поставленной перед моделью.

Часто можно встретить термин «площадь под кривой» (ROC-AUC (Area Under the ROC Curve)) — это оценка качества модели при различных порогах классификации. Чем ближе к 1, тем лучше модель. Точность (Accuracy) — доля правильно классифицированных объектов от общего числа объектов. Для медицинских моделей важными параметрами являются чувствительность и специфичность модели. Чувствительность и специфичность являются ключевыми метриками для оценки качества моделей искусственного интеллекта, особенно в задачах классификации, таких как диагностика заболеваний. Эти показатели помогают понять, насколько точно модель может идентифицировать положительные и отрицательные случаи.

СОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ «ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ»

ИИ охватывает множество методов и приложений. Современные определения ИИ варьируют от узкоспециализированных до более широких концептуальных подходов, что отражает сложность и многогранность этой области науки. С 1 января 2025 г. приказом Росстандарта от 28 октября 2024 г. № 1542-ст [3] вводится в действие национальный стандарт, закрепленный за техническим комитетом по стандартизации № 164 «Искусственный интеллект» (ТК 164) — ГОСТ Р 71476-2024 «Искусственный интеллект. Концепции и терминология искусственного интеллекта» [1]. Данный стандарт разработан с учетом основных нормативных положений основополагающего проекта международного стандарта ИСО/МЭК 22989 «Информационные технологии. Искусственный интеллект. Понятия и терминология искусственного интеллекта» (ISO/IEC DIS 22989 “Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology”, NEQ) [1].

Согласно терминологии, приведенной в вышеуказанных нормативных документах, ИИ определяется как «область науки и техники, рассматривающая технические системы, которые порождают такие результаты, как контент, прогнозы, рекомендации или решения

для заданного набора поставленных человеком задач» [1]. Данное определение подчеркивает важность не только способности к обработке данных, но и возможности систем учиться и адаптироваться в процессе выполнения задач. Некоторые эксперты рассматривают ИИ как платформу для множества технологий, включая мобильный интернет и автономные системы. Это определяет его роль в современном технологическом ландшафте. Например, в своей публикации П.М. Морхат ссылается на Эндрю Хаскинса и указывает на то, что ИИ лучше всего понимать как совокупность методов и моделей, позволяющих извлекать знания из данных для решения специфических задач [4].

Важно отметить, что ИИ — это не просто инструмент; это область исследований как технических, так и философских и практических вопросов, которая продолжает развиваться и влиять на различные сферы жизни.

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИИ И ВНЕДРЕНИЕ ЕГО В МЕДИЦИНУ

ИИ имеет богатую историю, начавшуюся в середине XX века. Официально ИИ был основан как академическая дисциплина в 1956 г. на Дартмутской конференции, организованной Джоном Маккарти, Марвином Мински, Натаниэлем Рочестером и Клодом Шенноном. Эта конференция явилась отправной точкой для исследований в области «механизации интеллекта» и привела к созданию первых программ, способных имитировать человеческие умственные процессы [5]. В 1960-х гг. ИИ пережил «золотые годы», когда компьютеры стали более доступными, а алгоритмы машинного обучения начали активно развиваться. Однако последующие десятилетия ознаменовались периодами разочарования, известными как «зима искусственного интеллекта», когда финансирование и интерес к исследованиям значительно снизились. С начала 2010-х гг., благодаря достижениям в области глубокого обучения и нейронных сетей, интерес к ИИ вновь возрос, что привело к его бурному развитию и внедрению в различные сферы жизни, включая медицину [6].

Идея применения вычислительных машин для решения медицинских задач возникла задолго до появления современных технологий ИИ. Уже в середине XX в., с появлением первых электронных вычислительных устройств, ученые стали рассматривать возможности применения алгоритмов для анализа медицинских данных и помощи в принятии клинических решений [7]. Первые попытки применения вычислительных мощностей в медицине были связаны с созданием экспертных систем, которые могли имитировать работу врача-диагноста, опираясь на заложенные в них правила и знания. Однако эти системы были ограничены узким спектром задач и не обладали способностью к самостоятельному обучению и адаптации [8].

На протяжении нескольких десятилетий применение ИИ в медицине, включая офтальмологию, оставалось

в основном в рамках исследовательских проектов, и лишь с развитием методов машинного обучения, особенно глубокого обучения, в начале 2010-х гг. произошел настоящий прорыв в области применения ИИ в медицине. Появление мощных графических процессоров (GPU) и доступность больших объемов данных позволили обучать нейронные сети с беспрецедентной точностью, что открыло новые возможности для решения сложных задач в диагностике и лечении заболеваний [9].

Первые экспериментальные работы по применению ИИ в медицине начались в 1960-х гг. Этот период ознаменовался созданием первых систем, которые стали основой для дальнейших исследований и разработок в области ИИ. Одной из таких систем был проект MYCIN, разработанный в Стэнфордском университете и предназначенный для диагностики бактериальных инфекций и рекомендации антибиотиков. MYCIN продемонстрировал потенциал ИИ в медицинской практике, несмотря на свои ограничения [10]. В 1970-х гг. развитие ИИ продолжалось с созданием системы INTERNIST-I, которая помогала врачам в диагностике сложных заболеваний, анализируя симптомы и медицинские данные пациентов [11]. Эти ранние системы заложили основу для более сложных технологий, которые мы видим сегодня. Кроме того, важным событием стало создание системы MEDLARS в 1964 г., которая автоматизировала поиск медицинской литературы и впоследствии

трансформировалась в систему MEDLINE, ставшую важным инструментом для медицинских исследователей [12].

Еще одним примером большого успешного медицинского проекта на основе технологий ИИ является платформа IBM Watson Health. Система используется для анализа медицинских данных, включая электронные истории болезни, результаты лабораторных исследований и медицинские снимки, что позволяет врачам получать более точные рекомендации по диагностике и лечению [13]. Одним из ключевых направлений Watson Health является онкология, где система помогает врачам разрабатывать индивидуализированные планы лечения на основе анализа большого объема данных о пациентах и последних научных исследований. Watson способна выявлять паттерны и корреляции, что способствует раннему обнаружению заболеваний и повышению эффективности лечения. Партнерство с ведущими медицинскими учреждениями и фармацевтическими компаниями позволяет Watson Health интегрировать опыт практикующих врачей в свою работу, что делает систему ценным инструментом в борьбе с различными заболеваниями и улучшением здоровья населения [7, 13].

Важную часть медицинских исследований в области ИИ занимает дерматология и возможности диагностики меланомы кожи. Ведутся разработки в области все более доступных и точных приложений для диагностики

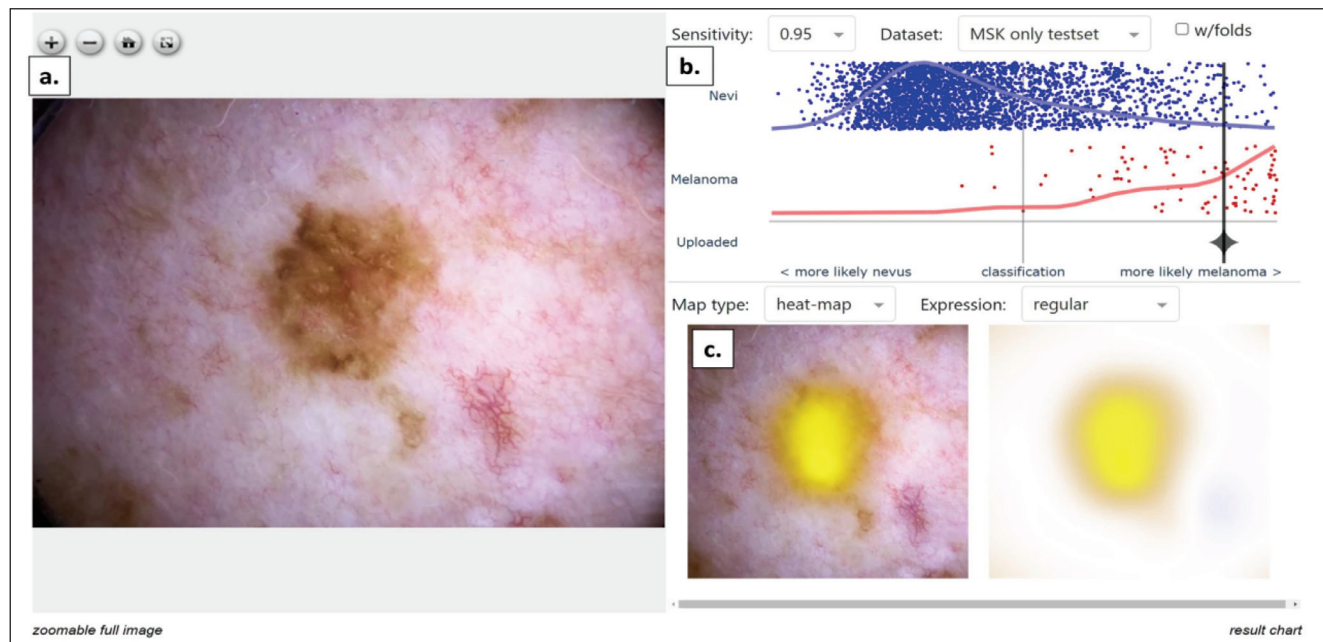


Рис. 2. Интерфейс веб-приложения ADAE для диагностики меланомы кожи по данным дерматоскопии: а. Дерматоскопическое изображение; б. Оценка ADAE показана в виде вертикальной черной линии, рассчитанной как логарифмическое среднее значение 18 моделей; в. Карта значимости, показывающая пространственную поддержку прогнозирования меланомы, где желтый цвет указывает на более вероятную меланому, а синий цвет — на более вероятную не меланому [16]

Fig. 2. Interface of the ADAE web-application for diagnosing skin melanoma from dermoscopy: a. Dermatoscopy image; b. ADAE score is shown as a vertical black line calculated as the logarithmic mean of 18 models; c. Weightage map showing the spatial support for melanoma prediction, where yellow indicates more likely melanoma and blue indicates more likely non-melanoma [16]

неинвазивными методами визуализации [14]. Результаты исследований показывают, что несколько алгоритмов ИИ работают так же хорошо или лучше, чем дерматологи, при обнаружении меланомы, особенно при анализе изображений дерматоскопии, что подчеркивает потенциал ИИ для повышения точности диагностики в онкологии [15]. Мобильное приложение под авторством N. Tokatli и соавт. с интуитивным интерфейсом для ранней диагностики меланомы кожи продемонстрировало комплексную точность 92 % с точностью сегментации и обнаружения поражений 93 и 90 % соответственно [14]. Исследования M.A. Marchetti и соавт. показали, что способность дерматологов оценивать риск меланомы значительно улучшилась при использовании алгоритма ADAE с использованием технологий ИИ (рис. 2) [16].

Таким образом, история ИИ в медицине — это не просто последовательность технологий, но и отражение изменений в подходах к диагностике и лечению, которые происходили на протяжении десятилетий.

ПРИМЕНЕНИЕ ИИ В ОФТАЛЬМОЛОГИИ

В офтальмологии первые шаги в применении искусственного интеллекта были предприняты в 1970-х гг. Тогда исследователи начали изучать возможности автоматического анализа изображений глазного дна для диагностики офтальмологических болезней. Ранние алгоритмы, как правило, были основаны на простых методах обработки изображений и классификации, но тем не менее они заложили основу для будущих исследований в этой области. Одним из первых значимых проектов стала программа CASNET, разработанная в Университете Рутгерса, которая использовала причинно-ассоциативные сети для консультаций по глаукоме. Эта система продемонстрировала возможность применения ИИ для анализа данных о пациентах и предоставления врачам рекомендаций по ведению пациентов на основе конкретных заболеваний [17].

С тех пор технологии ИИ значительно эволюционировали и их применение в офтальмологии стало более разнообразным. Во всем мире идут исследования программ и приложений на основе технологий ИИ, позволяющих снять с докторов рутинные задачи и помочь в дифференциальной диагностике [18]. ИИ позволяет ускорить анализ медицинских данных, анализ изображений и автоматизировать диагностический поиск [19]. В офтальмологии ИИ потенциально расширяет доступ пациента к скринингу, клинической диагностике и снижает расходы на здравоохранение [20].

В офтальмологии разработка технических решений проводится в следующих направлениях:

- ранняя диагностика глаукомы (анализ ОКТ-снимков ДЗН, статической периметрии, анализ данных тонометрии по Гольдману и Маклакову) [21–24];
- оценка прогрессирования глаукомного процесса [21, 25];

- разработка портативных периметров [25, 26];
- ретинология (анализ фундус-фотографий и ОКТ-снимков на предмет выявления таких патологий, как диабетическая ретинопатия [27–29], ЦСХР [30, 31], ВМД [31, 32], ретинопатия недоношенных [33]);
- анализ снимков роговицы (кератоконус [34], дистрофия Фукса [35]);
- расчет ИОЛ [36];
- разработка модуля диагностики катаракты [37];
- использование ИИ в разработке помощников для слепых/слабовидящих [38].

Отдельную ветвь исследований представляют работы, направленные на предсказание системных заболеваний по изображениям глазного дна и ОКТ. Было продемонстрировано, что применение искусственного интеллекта дает многообещающие результаты в определении возраста, пола, систолического артериального давления, статуса курения и при оценке сердечно-сосудистых заболеваний [39]. Другие исследователи прогнозировали неврологические патологии, анемию, хроническую болезнь почек, аутоиммунные заболевания, нарушения сна по мультимодальным изображениям глазного дна [40]. ИИ использовали в широком спектре клинических испытаний и исследовательских приложений, в первую очередь для прогнозирования различных болезней, поиска биомаркеров и идентификации факторов риска.

В офтальмологии в последние годы системы глубокого обучения начали использоваться для диагностики диабетической ретинопатии и возрастной макулярной дегенерации, показывая результаты, сопоставимые с человеческими способностями [18]. Например, алгоритмы ИИ могут анализировать изображения сетчатки с высокой точностью, что позволяет выявлять патологию на ранних стадиях и улучшать исходы лечения. Технологии ИИ начали применять также для диспансерного наблюдения за пациентами с патологией сетчатки [41].

Некоторые из технологических решений получили официальное одобрение надзорных органов к использованию в работе. Первое программное обеспечение на основе искусственного интеллекта Dx-DR было одобрено FDA для использования в 2018 г. для определения тяжести диабетической ретинопатии по изображениям глазного дна [42]. IDx разработала систему IDx-DR, чтобы позволить клиникам первичной медико-санитарной помощи оценивать, подвержены ли пациенты с диабетом риску потери зрения [43]. Система искусственного интеллекта EyeArt одобрена в Европейском союзе для скрининга диабетической ретинопатии [44].

Из отечественных систем можно отметить сервис для диагностики заболеваний макулярной области Retina.AI, который в 2024 г. получил регистрационное удостоверение на медицинское изделие [45] и может применяться в качестве системы поддержки принятия врачебных решений при диагностике офтальмологических патологий [46].

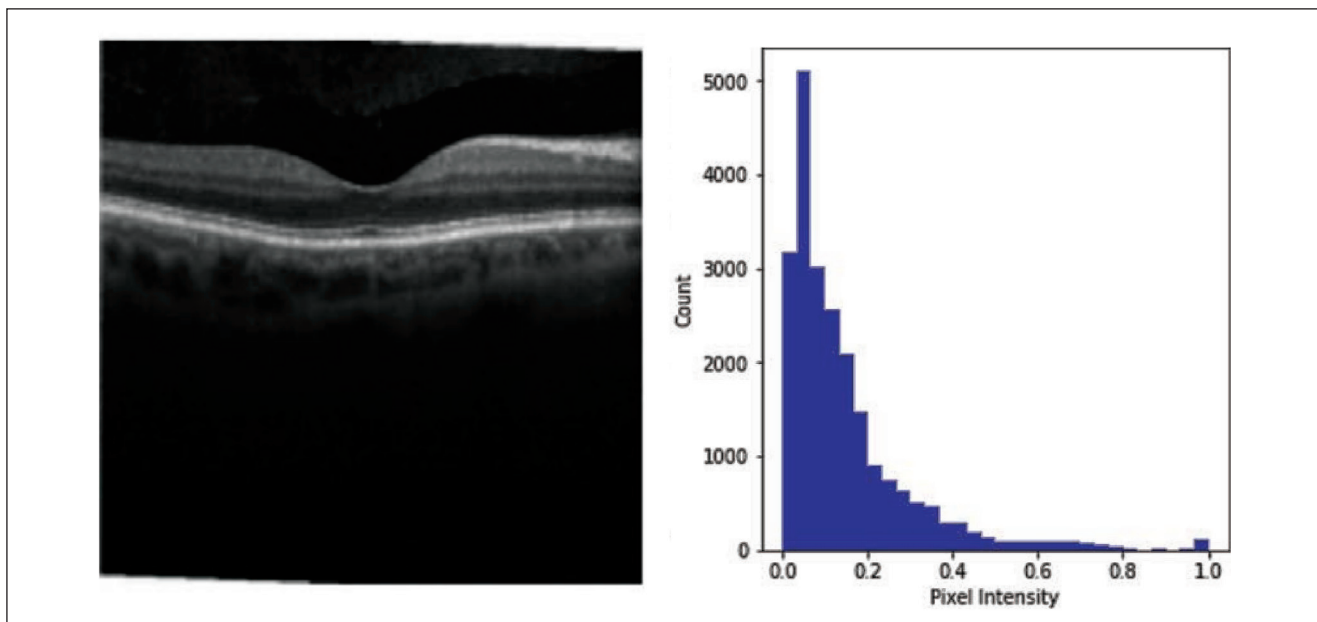


Рис. 3. График распределения интенсивности пикселей ОКТ-снимка [47]

Fig. 3. Graph of the distribution of pixel intensity of the OCT image [47]

Группой авторов под руководством В.В. Нероева была выполнена работа по разработке алгоритма для диагностики заболеваний сетчатки на основе данных ОКТ-снимков с применением технологий ИИ. Был разработан прототип сервиса для диагностики не одной, а нескольких патологий сетчатки (неоваскуляризация хориоидеи, макулярный отек, множественные друзы) при применении переобучения нейронной сети VGG16. Авторы акцентируют важность предварительной обработки изображений перед началом обучения модели — например, в данной работе они преобразовывали ОКТ-снимки к единому разрешению. На рисунке 3 показан график распределения интенсивности пикселей ОКТ-снимка. При тестировании модель показала чувствительность и специфичность 97 и 98 % соответственно [47].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы ИИ обладают большим потенциалом для трансформации клинической практики. Их внедрение в будущем поможет ускорить процессы диагностики и принятия решений, сократить нагрузку на медицинский персонал.

На современном этапе развития науки алгоритмы ИИ демонстрируют многообещающую чувстви-

тельность и конкурентную специфичность, но традиционные методы по-прежнему играют решающую роль в диагностическом процессе, что подчеркивает необходимость комплексных подходов в практической медицине. Несмотря на то что потенциал ИИ в диагностике огромен, для полной реализации его преимуществ в повседневной работе необходимо решить такие проблемы, как качество данных, интерпретируемость моделей и этические аспекты. Необходимо проводить постоянные исследования для повышения точности и надежности алгоритмов ИИ, используемых при интерпретации изображений. Хотя эти проблемы значительны, они также открывают возможности для инноваций в приложениях ИИ, что может привести к повышению точности диагностики и улучшению результатов лечения пациентов в долгосрочной перспективе. Постоянное развитие в этой области имеет важное значение для успешного внедрения ИИ в повседневную офтальмологическую практику.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Укина А.О. — написание и редактирование текста;
Мякошина Е.Б. — разработка и дизайн исследования, написание и редактирование текста, окончательное утверждение рукописи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- ГОСТ Р 71476-2024 (ИСО/МЭК 22989:2022). Искусственный интеллект. Концепции и терминология искусственного интеллекта. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2024. 62 с. <https://docs.cntd.ru/document/1310068314> (дата обращения: 07.01.2025).
- Deep learning. Neurocomputer technologies (In Russ.). URL: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Глубокое_обучение (дата обращения: 07.01.2025).
- Приказ Росстандарта от 28 октября 2024 г. № 1542-ст. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2024. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_490595/ (дата обращения 07.01.2025).
- Order of Rosstandart dated October 28, 2024 No. 1542-st. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, 2024 (In Russ.). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_490595/ (accessed 07.01.2025).
- Морхат П.М. К вопросу об определении понятия искусственного интеллекта. Право и государство: теория и практика. 2017;2(156):25–32.

- Morhat PM. To the question of definition of the concept of artificial intelligence. *Law and State: Theory and Practice*. 2017;2(156):25–32 (In Russ.).
5. McCarthy J Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955. *AI Magazine*. 2006;27(4):12. doi: 10.1609/aimag.v27i4.1904.
 6. Вознюк ПА. История развития и современное состояние искусственного интеллекта. *Глобус: технические науки*. 2019;5(3(27)):11–19. Voznyuk PA. The history of development and the current state of artificial intelligence. *Globe: Technical Sciences*. 2019;5(3(27)):11–19 (In Russ.).
 7. Гусев АВ, Добриндюк СЛ. Искусственный интеллект в медицине и здравоохранении. *Информационное общество*. 2017;4–5:78–93. Gusev AV, Dobridnyuk SL. Artificial intelligence in medicine and healthcare. *Information Society*. 2017;4–5:78–93 (In Russ.).
 8. Поряева ЕП, Евстафьева ВА. Искусственный интеллект в медицине. *Вестник науки и образования*. 2019;60 (6–2):15–18. Poryaeva EP, Evstafieva VA. Artificial intelligence in medicine. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2019;60(6–2):15–18 (In Russ.).
 9. Rodríguez Corral JM, Civit-Masot J, Luna-Perejón F, Díaz-Cano I, Morgado-Estévez A, Domínguez-Morales M. Energy efficiency in edge TPU vs. embedded GPU for computer-aided medical imaging segmentation and classification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2024;127:107298. doi: 10.1016/j.engappai.2023.107298.
 10. Melle WV. MYCIN: a knowledge-based consultation program for infectious disease diagnosis. *International Journal of Human-computer Studies / International Journal of Man-machine Studies*. 1978;10:313–322.
 11. Wolfram DA. An appraisal of INTERNIST-1. *Artificial intelligence in medicine*, 1995;7(2), 93–116. doi: 10.1016/0933-3657(94)00028-q.
 12. DeC CR. The development of the Medical Literature Analysis and Retrieval System (MEDLARS). *Journal of the Medical Library Association: JMLA*. 2007;95(4):416–425. doi: 10.3163/1536-5050.95.4.416.
 13. Lee K, Kim J. Artificial Intelligence Technology Trends and IBM Watson References in the Medical Field. *Korean Medical Education Review*. 2016;18(2):51–57. doi: 10.17496/KMER.2016.18.2.51.
 14. Tokatl N, Bilmez Y, Göztepe G, Güler M, Karan F, Altun H. MelanoTech: Development of a mobile application infrastructure for melanoma cancer diagnosis based on artificial intelligence technologies. *2024 8th International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*. 2024;1:1–6. doi: 10.1109/IDAP64064.2024.10710812.
 15. Patel RH, Foltz EA, Witkowski A, Ludzik J. Analysis of Artificial Intelligence-Based Approaches Applied to Non-Invasive Imaging for Early Detection of Melanoma: A Systematic Review. *Cancers*. 2023;15(19):4694. doi: 10.3390/cancers15194694.
 16. Marchetti MA, Cowen EA, Kurtansky NR, Weber J, Dauscher M, DeFazio J, Deng L, Dusza SW, Haliasos H, Halpern AC, Hosein S, Nazir ZH, Marghoob AA, Quigley EA, Salvador T, Rotemberg VM. Prospective validation of dermoscopy-based open-source artificial intelligence for melanoma diagnosis (PROVE-AI study). *NPJ Digit Med*. 2023 Jul 12;6(1):127. doi: 10.1038/s41746-023-00872-1.
 17. Weiss SM, Kulikowski CA, Safir A. A Model-Based Consultation System for the Long-Term Management of Glaucoma. *IJCAI*. 1977;5: 826–832.
 18. Мамедова СС, Каримова АИ, Галиева АФ, Мальханова МА, Полянкина СС, Кучумова АИ, Тарасова ЯЯ, Цюань ДУ, Клец ОВ, Гербутова ВН, Оленичев АВ, Ушакова ЭО, Миннихалилова АК. Роль искусственного интеллекта в современной офтальмологии. *Офтальмологический вестник*. 2024;17(1):103–113. Mamedova SS, Karimova AI, Galieva AF, Malkhanova MA, Polyankina SS, Kuchumova AI, Tarasova YaYa, Tsuan DU, Klecs OV, Gerbutova VN, Olenichev AV, Ushakova EO, Minnikhalilova AK. The role of artificial intelligence in modern ophthalmology. *Ophthalmology Reports*. 2024;17(1):103–113 (In Russ.). doi: 10.17816/OV625627.
 19. Нероев ВВ, Зайцева ОВ, Петров СЮ, Брагин АА. Применение искусственного интеллекта в офтальмологии: настоящее и будущее. *Российский офтальмологический журнал*. 2024;17(2):135–141. Neroev VV, Zaytseva OV, Petrov SYu, Bragin AA. Artificial intelligence in ophthalmology: the present and the future. *Russian Ophthalmological Journal*. 2024;17(2):135–141 (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2024-17-2-135-141.
 20. Anton N, Doroftei B, Curteanu S, Cătălin I, Ilie OD, Tărcoveanu F, Bogdănci CM. Comprehensive Review on the Use of Artificial Intelligence in Ophthalmology and Future Research Directions. *Diagnostics (Basel)*. 2022 Dec 29;13(1):100. doi: 10.3390/diagnostics13010100.
 21. Дорофеев ДА, Полева РП, Витков АА, Асиновская ИИ, Семенов ЕД. Диагностика и мониторинг глаукомы с помощью искусственного интеллекта. *Современные технологии в офтальмологии*. 2024;54(2):161. Dorofeev DA, Poleva RP, Vitkov AA, Asinovskaya II, Semenov ED. Diagnosis and monitoring of glaucoma using artificial intelligence. *Modern technologies in ophthalmology*. 2024;54(2):161 (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2024-2-161-162.
 22. Куроедов АВ, Остапенко ГА, Митрошина КВ, Мовсисян АВ. Современная диагностика глаукомы: нейросети и искусственный интеллект. *Клиническая офтальмология*. 2019;19(4):230–237. Kuroedov AV, Ostapenko GA, Mitroshina KV, Movsisyan AV. State of the art of glaucoma diagnosis: neural networks and artificial intelligence. *Clinical ophthalmology*. 2019;19(4):230–237 (In Russ.). doi: 10.32364/2311-7729-2019-19-4-230-237.
 23. Мовсисян АВ, Куроедов АВ, Остапенко ГА, Подвигин СВ, Рачинский ЮА. Использование нейросетей и искусственного интеллекта как современного метода диагностики глаукомы. *Современные технологии в офтальмологии*. 2020;3:27–28. doi: 10.25276/2312-4911-2020-3-27-28.
 - Movsisyan AV, Kuroedov AV, Ostapenko GA, Podvigin SV, Rachinsky YuA. Using neural networks and artificial intelligence as a modern method for diagnosing glaucoma. *Modern technologies in ophthalmology*. 2020;3:27–28 (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2020-3-27-28.
 24. Комаровских ЕН, Подтынных ЕВ. Результаты применения искусственных нейронных сетей для ранней диагностики глаукомы. *Российский офтальмологический журнал*. 2023;16(2):28–32. Komarovskikh EN, Podtynnykh EV. Using artificial neural networks for early diagnosis of glaucoma. *Russian Ophthalmological Journal*. 2023;16(2):28–32 (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2023-16-2-28-32.
 25. Дорофеев ДА, Казанова СЮ, Мовсисян АВ, Полева РП. Искусственный интеллект и нейросети в диагностике глаукомы. *Национальный журнал Глаукома*. 2023;22(1):115–128. Dorofeev DA, Kazanova SYu, Movsisyan AV, Poleva RP. Artificial intelligence and neural networks in the diagnosis of glaucoma. *National Journal glaucoma*. 2023;22(1):115–128 (In Russ.). doi: 10.53432/2078-4104-2023-22-1-115-128.
 26. Kunumpol P, Lerthiruvibul N, Phienphanich P, Munthuli A, Temahivong K, Tantisevi V, Manassakorn A, Chansangpetch S, Itthipanichpong R, Ratanawongphaibul K, Rojanapongpun P, Tantibundhit C. GlauCUTU: Time Until Perceived Virtual Reality Perimetry With Humphrey Field Analyzer Prediction-Based Artificial Intelligence. *IEEE Access*. 2022;10:36949–36962.
 27. Gunasekeran DV, Ting DSW, Tan GSW, Wong TY. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening, prediction and management. *Curr Opin Ophthalmol*. 2020 Sep;31(5):357–365. doi: 10.1097/ICU.0000000000000693.
 28. Grzybowski A, Brona P, Lim G, Ruamviboonsuk P, Tan GSW, Abramoff M, Ting DSW. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye (Lond)*. 2020 Mar;34(3):451–460. doi: 10.1038/s41433-019-0566-0. Epub 2019 Sep 5. Erratum in: *Eye (Lond)*. 2020 Mar;34(3):604. doi: 10.1038/s41433-019-0728-0.
 29. Vilela, LFC, Cabral NO, Destefani AC, Destefani VC. Harnessing the power of artificial intelligence for early detection and management of diabetic retinopathy, age-related macular degeneration, and glaucoma: a narrative review of deep learning applications in ophthalmology. *Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação*, 2024;10(8):3311–3320. doi: 10.51891/rea.v10i8.15395.
 30. Куликов АН, Малахова ЕЮ, Мальцев ДС. Искусственный интеллект и машинное обучение в диагностике центральной серозной хориоретинопатии на основании оптической когерентной томографии. *Офтальмологические ведомости*. 2019;12(1):13–20. Kulikov AN, Malahova EYu, Maltsev DS. Artificial intelligence and machine learning for optical coherence tomography-based diagnosis in central serous chorioretinopathy. *Ophthalmology Reports* 2019;12(1):13–20 (In Russ.). doi: 10.17816/OV2019113-20.
 31. Selvam A, Ong J, Bollepalli SC, Chhablani J, Vupparaboina KK, Driban M. Artificial Intelligence in Choroid Through Optical Coherence Tomography: A Comprehensive Review. 2023; *Authorae Preprints*.
 32. Bhuiyan A, Wong TY, Ting DSW, Govindaiah A, Souied EH, Smith RT. Artificial Intelligence to Stratify Severity of Age-Related Macular Degeneration (AMD) and Predict Risk of Progression to Late AMD. *Transl Vis Sci Technol*. 2020 Apr 24;9(2):25. doi: 10.1167/tvst.9.2.25.
 33. Shah S, Slaney E, VerHage E, Chen J, Dias R, Abdelmalik B, Weaver A, Neu J. Application of Artificial Intelligence in the Early Detection of Retinopathy of Prematurity: Review of the Literature. *Neonatology*. 2023;120(5):558–565. doi: 10.1159/000531441.
 34. Малугин БЭ, Сахнов СН, Аксенова ЛЕ, Мысникова ВВ. Применение искусственного интеллекта в диагностике и хирургии кератоконуса: систематический обзор. *Офтальмохирургия*. 2022;1:77–96. Malugin BE, Sakhnov SN, Axenova LE, Myasnikova VV. Application of artificial intelligence in diagnostics and surgery of keratoconus: a systematic overview. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;1:77–96 (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2022-1-77-96
 35. Шушаев СВ, Мородовцева ЕА, Пустозеров ЕА, Кудлахмедов ШШ. Применение сверточных нейронных сетей для определения эндотелиальной дистрофии Фукса. *Офтальмохирургия*. 2022;4S:70–76. Shukhaev SV, Mordovtseva EA, Pustozerov EA, Kudlakmedov SS. Application of convolutional neural networks to define Fuchs endothelial dystrophy. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;4S:70–76 (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2022-4S-70-76.
 36. Carmona González D, Palomino Bautista C. Accuracy of a new intraocular lens power calculation method based on artificial intelligence. *Eye (Lond)*. 2021 Feb;35(2): 517–522. doi: 10.1038/s41433-020-0883-3.
 37. Сахнов СН, Аксенов КД, Аксенова ЛЕ, Вронская ВВ, Марцинкевич АО, Мысникова ВВ. Разработка модели скрининга катаракты с использованием открытого набора данных и алгоритмов глубокого машинного обучения. *Офтальмохирургия*. 2022;4S:13–20. Sakhnov SN, Axenov KD, Axenova LE, Vronskaaya VV, Martsinkevich AO, Myasnikova VV. Development of a cataract screening model using an open dataset and deep machine learning algorithms. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;4S:13–20 (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2022-4S-13-20.
 38. Казачанская МЮ, Гордиенко ПР, Гончаров ИО, Шрайнер БА. Разработка мобильного приложения компьютерного зрения для помощи слабовидящим. *Цифровая трансформация и искусственный интеллект в образовании*. 2021:141–145. Kazachanskaya MYu, Gordienko PR, Goncharov IO, Shreiner BA. Development of a Mobile Computer Vision Application to Help the Visually Impaired. *Digital transformation and artificial intelligence in education*. 2021:141–145 (In Russ.).

39. Khan R, Surya J, Roy M, Swathi Priya, MN, Mohan S, Raman S, Raman A, Vyasa A, Raman R. Use of artificial intelligence algorithms to predict systemic diseases from retinal images. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*. 2023;13(5):e1506.
40. Omar MO, Abad Ali, MJ, Qabillie SE, Haji AI, Takriti MB, Atif AH, Rangraze I. Beyond Vision: Potential Role of AI-enabled Ocular Scans in the Prediction of Aging and Systemic Disorders. *Siriraj Medical Journal*. 2024;76(2):106–115. doi: 10.33192/smj.v76i2.266303.
41. Чупров АД, Болодурин ИП, Лосицкий АО, Жигалов АЮ. Организация диспансерного наблюдения пациентов с патологией макулярной области сетчатки с использованием систем искусственного интеллекта. *Digital Diagnostics*. 2024;5(1):75–84.
- Chuprov AD, Bolodurina IP, Lositskiy AO, Zhigalov AYU. Organizing follow-up care for patients with macular retinal pathologies using artificial intelligence systems. *Digital Diagnostics*. 2024;5(1):75–84 (In Russ.). doi: 10.17816/DD623956.
42. Farahat Z, Zrira N, Souissi N, Bennani Y, Bencherif S, Benamar S, Belmekki M, Ngote MN, Megdiche K. Diabetic retinopathy screening through artificial intelligence algorithms: A systematic review. *Surv Ophthalmol*. 2024 Sep-Oct;69(5):707–721. doi: 10.1016/j.survophthal.2024.05.008.
43. Peris-Martínez C, Shaha A, Clarida W, Amelon R, Hernández-Ortega MC, Navea A, Morales-Olivas J, Dolz-Marco R, Pérez-Jordá P, Verbraak F, Heijden AAV. Use in clinical practice of an automated screening method of diabetic retinopathy that can be derived using a diagnostic artificial intelligence system. *Arch Soc Esp Ophthalmol (Engl. Ed)*. 2021 Mar;96(3):117–126. English, Spanish. doi: 10.1016/j.oftal.2020.08.007.
44. Vought R, Vought V, Shah M, Szirth B, Bhagat N. EyeArt artificial intelligence analysis of diabetic retinopathy in retinal screening events. *Int Ophthalmol*. 2023 Dec; 43(12):4851–4859. doi: 10.1007/s10792-023-02887-9.
45. Регистрационное удостоверение на медицинское изделие РЗН 2024/23001. Программное обеспечение для работы с цифровыми медицинскими изображениями при диагностике офтальмологических патологий путем анализа фотографий глазного дна и сканов структурной ОКТ Retina.AI по ТУ 58.29.32-001-60003594-2022. М.: Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения (Росздравнадзор), 2024. <https://nevacert.ru/reestr/med-reestr/rzn-202423001-77069> (дата обращения: 07.01.2025).
- Registration certificate for a medical device RZN 2024/23001. Software for working with digital medical images in the diagnosis of ophthalmological pathologies by analyzing photographs of the fundus and scans of structural OCT Retina.AI according to TU 58.29.32-001-60003594-2022. Moscow: Federal Service for Surveillance in Healthcare (Roszdravnadzor), 2024. URL: <https://nevacert.ru/reestr/med-reestr/rzn-202423001-77069> (accessed: 07.01.2025).
46. Каталевская ЕА, Сизов АЮ, Тюрников МИ, Владимиров ЮВ. Алгоритмы искусственного интеллекта для диагностики признаков диабетической ретинопатии, диабетического макулярного отека, возрастной макулярной дегенерации, аномалий витреомакулярного интерфейса. *Офтальмохирургия*. 2022;4S:58–69.
- Katalevskaya EA, Sizov AYU, Tyurikov MI, Vladimirova YuV. Artificial intelligence algorithms for the diagnosis of signs of diabetic retinopathy, diabetic macular edema, age-related macular degeneration, vitreomacular interface abnormalities. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;4S:58–69 (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2022-4S-58-69.
47. Нероев ВВ, Брагин АА, Зайцева ОВ. Диагностика патологий сетчатки по снимкам оптической когерентной томографии с использованием инструментов искусственного интеллекта. *Российский офтальмологический журнал*. 2023;16(3):47–53.
- Neroev VV, Bragin AA, Zaytseva OV. Diagnostics of retinal pathologies by optical coherence tomography images using artificial intelligence tools. *Russian Ophthalmological Journal*. 2023;16(3):47–53 (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2023-16-3-47-53.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Укина Анастасия Олеговна
врач-офтальмолог
<https://orcid.org/0009-0005-6752-9499>

Мякошина Елена Борисовна
доктор медицинских наук, старший научный сотрудник отдела
офтальмоонкологии и радиологии
<https://orcid.org/0000-0002-2087-7155>

ABOUT THE AUTHORS

Ukina Anastasiia O.
ophthalmologist
<https://orcid.org/0009-0005-6752-9499>

Myakoshina Elena B.
MD, senior research officer of Ophthalmology and Radiology Department
<https://orcid.org/0000-0002-2087-7155>