

Научная статья

УДК 316.4

doi:10.32687/1561-5936-2025-29-3-298-303

Цифровые технологии и телемедицина в системе скрининга и профилактики глаукомы

Павел Леонидович Лугинин¹, Ольга Шонкоровна Ойноткинова²

^{1,2}Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента
Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

¹luckynumber_7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8389-1076>

²olga-oynotkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9856-8643>

Аннотация. Глаукома — одно из ведущих хронических офтальмологических заболеваний, характеризующееся прогрессирующим поражением зрительного нерва и высокой долей необратимой слепоты. Учитывая латентное течение на ранних стадиях, скрининг и профилактика глаукомы приобретают особую значимость в контексте общественного здравоохранения. В статье рассматриваются современные возможности цифровых технологий и телемедицины в организации эффективной системы раннего выявления глаукомы. Обоснована роль алгоритмов искусственного интеллекта, дистанционного мониторинга внутриглазного давления, мобильных офтальмологических платформ и интегрированных цифровых маршрутов в профилактике и снижении инвалидизации. Отдельное внимание уделено правовым и организационным аспектам внедрения цифровых инструментов в офтальмологическую практику.

Ключевые слова: глаукома, скрининг, телемедицина, цифровые технологии, искусственный интеллект, профилактика, офтальмология, мобильное здравоохранение.

Для цитирования: Лугинин П. Л., Ойноткинова О. Ш. Цифровые технологии и телемедицина в системе скрининга и профилактики глаукомы // Ремедиум. 2025. Т. 29, № 3. С. 298—303. doi:10.32687/1561-5936-2025-29-3-298-303

Science article

Digital technologies and telemedicine in the glaucoma screening and prevention system

Pavel Leonidovich Luginin¹, Olga Shonkorovna Oynotkina²

^{1,2}Scientific Research Institute of Healthcare Organization and Medical Management of the Moscow Department of Healthcare, Moscow, Russia

¹luckynumber_7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8389-1076>

²olga-oynotkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9856-8643>

Annotation. Glaucoma is one of the leading chronic ophthalmological diseases characterized by progressive damage to the optic nerve and a high proportion of irreversible blindness. Given the latent course in the early stages, glaucoma screening and prevention are becoming particularly important in the context of public health. The article discusses the modern possibilities of digital technologies and telemedicine in the organization of an effective system for early detection of glaucoma. The role of artificial intelligence algorithms, remote monitoring of intraocular pressure, mobile ophthalmological platforms and integrated digital routes in the prevention and reduction of disability is substantiated. Special attention is paid to the legal and organizational aspects of the introduction of digital instruments into ophthalmological practice.

Key words: glaucoma, screening, telemedicine, digital technologies, artificial intelligence, prevention, ophthalmology, mobile healthcare.

For citation: Luginin P. L., Oynotkina O. S. Digital technologies and telemedicine in the glaucoma screening and prevention system. *Remedium*. 2025;29(3):298–303. (In Russ.). doi:10.32687/1561-5936-2025-29-3-298-303

Введение

Глаукома представляет собой одну из наиболее тяжёлых и распространённых форм хронической офтальмологической патологии, характеризующуюся прогрессирующим поражением зрительного нерва и необратимой утратой зрительных функций¹. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), на сегодняшний день глаукома является ведущей причиной необратимой слепоты в мире, при этом около 50% случаев заболевания остаются невыявленными на ранних стадиях из-за

латентного, бессимптомного течения [1]. Острота проблемы усугубляется старением населения, ростом числа пациентов с факторами риска (повышенное внутриглазное давление, миопия, диабет), а также высокой долей инвалидизирующих исходов даже при наличии терапии, начатой на поздних этапах.

Современная парадигма борьбы с глаукомой требует смещения акцента с исключительно клинικο-терапевтических вмешательств на раннее выявление и вторичную профилактику, включающую комплекс организационно-диагностических, информационных и образовательных мероприятий [2]. В этом контексте особое значение приобретает развитие цифровых технологий и телемедицинских решений, способных обеспечить своевременный скри-

¹ 6 марта — всемирный день борьбы с глаукомой. URL:https://medcentrprof.ru/ckeditor_images/deny-glaukomu.pdf (дата обращения: 12.05.2025 г.)

нинг, дистанционный мониторинг и улучшение маршрутизации пациентов.

Цифровизация здравоохранения — один из ключевых глобальных трендов последних лет. Развитие инфраструктуры eHealth, применение систем искусственного интеллекта (ИИ), мобильных офтальмологических платформ, а также внедрение электронных медицинских карт и облачных систем хранения данных создают предпосылки для трансформации скрининговых стратегий при глаукоме [3]. Принципы дистанционного консультирования, автоматической оценки офтальмологических изображений, персонализированного мониторинга внутриглазного давления, объединённые в экосистему телемедицины, формируют новую модель профилактики, ориентированную на раннюю диагностику, снижение риска инвалидизации и повышение приверженности пациентов к терапии.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью теоретической и практической систематизации подходов к цифровой трансформации скрининга глаукомы, анализа эффективности и ограничений существующих технологических решений, а также оценки институциональных и нормативных условий их внедрения в систему здравоохранения. Особое значение приобретает рассмотрение цифровых инструментов в аспекте обеспечения доступности офтальмологической помощи в удалённых и малонаселённых регионах, повышения клинической эффективности за счёт стандартизации диагностики и снижения затрат на лечение поздних форм заболевания.

Таким образом, данная статья направлена на комплексное рассмотрение роли цифровых технологий и телемедицины в скрининге и профилактике глаукомы как инновационного инструмента общественного здравоохранения. Целью исследования является выявление современных цифровых практик, оценка их вклада в предупреждение утраты зрения при глаукоме, а также формулирование рекомендаций по их дальнейшему внедрению и институционализации в рамках офтальмологической помощи.

Методология

Исследование основано на междисциплинарном подходе, сочетающем методы системного анализа, структурно-функционального моделирования, сравнительной оценки и экспертной интерпретации. Целью являлось обоснование потенциала цифровых технологий и телемедицины в организации эффективного скрининга и профилактики глаукомы. Полученные данные были обобщены и структурированы по тематическим блокам: цифровая диагностика, дистанционное наблюдение, мобильные технологии, организационно-правовые и этические аспекты.

Результаты и обсуждение

Современные цифровые решения позволяют существенно повысить эффективность, доступность и персонализированность скрининговых программ

по выявлению глаукомы. Их использование способствует снижению нагрузки на систему здравоохранения, оптимизации маршрутизации пациентов, повышению точности диагностики и улучшению приверженности к диспансерному наблюдению. Рассмотрим ключевые технологические направления, оказывающие влияние на развитие цифрового скрининга глаукомы.

1. *Автоматизированные алгоритмы и искусственный интеллект.* Искусственный интеллект (ИИ), особенно его поднаправление — глубокое обучение (deep learning), продемонстрировал высокую эффективность в обработке и интерпретации офтальмологических изображений. Используя большие обучающие выборки, нейросетевые алгоритмы способны автоматически распознавать признаки глаукоматозного поражения, включая увеличение экскавации диска зрительного нерва, истончение слоя нервных волокон сетчатки (RNFL) и изменения в полях зрения.

Так, например, системы на базе convolutional neural networks (CNN) успешно применяются для анализа оптической когерентной томографии (ОКТ), фундус-фотографий и гониоскопических изображений. Исследование Ting D. S.W. и соавт. (2019) показало, что ИИ-алгоритм может достигать чувствительности свыше 90% при выявлении глаукомы по данным ОКТ. Кроме того, алгоритмы позволяют стандартизировать интерпретацию результатов, минимизируя субъективный фактор и снижая риск диагностических ошибок, особенно при массовых обследованиях.

Коммерческие и экспериментальные системы, такие как EyeArt, Retinalyze, IDx-DR, проходят адаптацию для нужд глаукомного скрининга. Разработка отечественных решений также продолжается — в России функционируют пилотные проекты с использованием ИИ в рамках проектов «Цифровое здравоохранение» и «Искусственный интеллект в медицине».

2. *Дистанционные офтальмологические платформы.* Цифровизация офтальмологической службы невозможна без развития телемедицинской инфраструктуры. В условиях дефицита офтальмологов и значительного неравенства в доступе к высокотехнологичной помощи, особенно в сельских и труднодоступных регионах, дистанционные диагностические платформы становятся важным инструментом обеспечения скрининга.

Телемедицинские кабинеты, оснащённые цифровыми тонометрами, фундус-камерами и устройствами ОКТ, позволяют на месте собирать данные, которые затем передаются по защищённым каналам в специализированные центры для анализа. Такие модели, реализованные в Китае (программа «AI+Telemedicine»), Индии (программа «Tele-Ophthalmology Project»), Южной Корее и Бразилии, продемонстрировали рост доли ранней диагностики глаукомы на 35—50% и сокращение времени от первого контакта до постановки диагноза.

Кроме того, телемедицина повышает эффективность диспансерного наблюдения: автоматические

напоминания о визитах, консультации по результатам домашнего мониторинга, контроль за терапией способствуют снижению потерь на маршруте и увеличению приверженности пациентов.

3. *Мобильные приложения и носимые устройства.* Развитие мобильных технологий (mHealth) расширяет возможности самодиагностики, мониторинга и взаимодействия пациента с медицинской системой. Появление компактных, недорогих и простых в использовании устройств для самостоятельного измерения внутриглазного давления (например, iCare Home, Triggerfish), позволило внедрить концепцию амбулаторного скрининга с минимальным участием врача на первых этапах.

Эти устройства оснащаются функцией передачи данных по Bluetooth или Wi-Fi на платформы, где алгоритмы обрабатывают данные и направляют врачу сигналы об отклонениях от нормы. Это особенно важно при выявлении нестабильного внутриглазного давления, ночных пиков и мониторинге эффективности терапии. Таким образом, возможен переход от «точечного» измерения к динамическому профилированию давления.

Мобильные приложения, такие как GlaucomaCalc, EyeCheck, Peek Acuity, предлагают пользователям пройти опросники для оценки факторов риска, проверить остроту зрения, контрастную чувствительность, провести базовый анализ поля зрения и получить рекомендации по обращению к специалисту. Они также интегрированы с системами электронной записи и маршрутизации, упрощая доступ к врачебной помощи.

Наряду с этим, приложения играют важную роль в просвещении пациентов, информировании о глаукоме и формировании здоровьесберегающего поведения [4].

Цифровые технологии становятся системообразующим элементом современной модели профилактики глаукомы. Интеграция ИИ, телемедицины и мобильных решений в клиническую практику позволяет обеспечить скрининг высокого охвата, точности и доступности, что особенно важно в условиях старения населения, дефицита специалистов и роста экономической нагрузки на здравоохранение. Эти технологии не отменяют роль врача, но трансформируют его функции — от непосредственного исполнителя к координатору и интерпретатору цифрового потока данных.

Интеграция телемедицинских решений в офтальмологическую практику позволяет не только оптимизировать диагностику глаукомы, но и существенно повысить эффективность профилактических мероприятий — как вторичной, так и третичной направленности. Глаукома, как хроническое и зачастую бессимптомное заболевание, требует продолжительного наблюдения, регулярного контроля внутриглазного давления, оценки зрительных функций и высокой приверженности пациента к терапии. Телемедицина способна существенно упростить эти процессы, обеспечивая доступ к специалистам, снижая территориальные и логистические барьеры, а также способствуя формированию

устойчивой цифровой модели диспансерного наблюдения.

Вторичная профилактика глаукомы направлена на своевременное выявление заболевания и предотвращение его прогрессирования. В этом контексте телемедицина используется для:

- Мониторинга пациентов с подтверждённым диагнозом: дистанционные консультации позволяют регулярно отслеживать показатели внутриглазного давления (ВГД), изменения полей зрения и данные оптической когерентной томографии (ОКТ), не требуя от пациента регулярных визитов в специализированные учреждения.
- Подбора и коррекции терапии: благодаря передаче данных о ВГД, фотодокументации глазного дна и жалоб пациента, врач может оперативно изменить гипотензивную терапию, исключить побочные эффекты и повысить эффективность лечения. Это особенно важно при нестабильных показателях давления и непереносимости препаратов.
- Снижения нагрузки на амбулаторные службы: при помощи телемедицины пациенты, находящиеся в стабильном состоянии, могут наблюдаться удалённо. Таким образом, высвобождаются ресурсы офтальмологических клиник для первичных приёмов и оказания помощи пациентам с острыми формами заболевания.
- Индивидуальной маршрутизации и стратификации рисков: с применением алгоритмов искусственного интеллекта возможно разделение потока пациентов по степени риска прогрессирования глаукомы и назначение частоты наблюдений в соответствии с клинической необходимостью.
- Практика внедрения телемедицинской диспансеризации активно развивается в странах с разветвлённой системой цифрового здравоохранения — Великобритании, Сингапуре, Канаде. Например, в рамках проекта NHS Virtual Glaucoma Clinics (UK) пациенты с низким риском прогрессирования глаукомы наблюдаются в формате виртуальных визитов, что позволило снизить число очных приёмов на 35% без ухудшения клинических исходов [5].

Одним из значимых факторов, влияющих на эффективность профилактики глаукомы, является уровень информированности населения и пациентов о заболевании, его рисках и необходимости регулярного обследования. Цифровые технологии предоставляют широкие возможности для организации просветительских программ:

- Онлайн-курсы и лекции: создание видеоконтента, ориентированного на пациентов, позволяет в доступной форме объяснить суть глаукомы, симптомы, методы профилактики и необходимость соблюдения режима терапии.
- Интерактивные платформы и мобильные приложения: тестирования, опросники и «виртуальные школы пациента» позволяют человеку

самостоятельно оценить свои риски и получить персонализированные рекомендации.

— Чат-боты и виртуальные помощники: такие инструменты могут напоминать о приёме препаратов, визитах к врачу, информировать о симптомах, требующих неотложного обращения, и формировать цифровую приверженность пациента к лечению.

— Социальные сети и онлайн-сообщества: важную роль играет формирование цифровых сообществ людей с глаукомой, где пациенты обмениваются опытом, получают поддержку и советы от специалистов. Это повышает мотивацию к участию в скрининговых и диспансерных программах.

Повышение цифровой грамотности, особенно среди пожилых людей, является необходимым условием для включения их в телемедицинские и дистанционные модели профилактики. Реализация образовательных инициатив (в том числе с участием волонтеров и общественных организаций) способствует снижению барьеров и более широкому охвату скрининговыми программами.

Телемедицина в системе профилактики глаукомы выходит за рамки технического инструмента и становится стратегическим направлением развития офтальмологической помощи. Она сочетает в себе потенциал для расширения охвата, персонализации диспансерного наблюдения, снижения нагрузки на систему здравоохранения и повышения качества жизни пациентов. Однако её успех зависит от организационной интеграции, цифровой грамотности пациентов и доверия к дистанционным форматам взаимодействия.

Интеграция цифровых технологий и телемедицины в сферу скрининга и профилактики глаукомы демонстрирует высокий потенциал повышения доступности, эффективности и персонификации офтальмологической помощи. Однако успешная реализация этих решений сталкивается с рядом существенных ограничений. Их можно условно разделить на этико-правовые, организационные и технологические. Преодоление этих барьеров требует согласованных усилий медицинского сообщества, IT-сектора, регуляторов и пациентов.

Правовая неопределённость остаётся одной из ключевых проблем цифровизации офтальмологии. В большинстве стран, включая Россию, действующее законодательство ограничивает постановку диагноза исключительно при очном контакте врача и пациента. Это снижает эффективность телемедицинских инструментов, особенно в рамках первичного скрининга, где ИИ может выполнять роль триаж-системы, определяя пациентов с высоким риском.

В числе наиболее острых юридических проблем — защита персональных данных, особенно при хранении и передаче изображений глазного дна, томограмм зрительного нерва и результатов тонометрии через облачные хранилища и телемедицинские платформы. Необходима строгая реализация требований ФЗ-152 «О персональных данных»,

а также разработка отраслевых стандартов безопасного взаимодействия с биомедицинской информацией.

Отсутствие регламентов сертификации ИИ-систем также препятствует их широкому внедрению. В настоящее время не существует единого алгоритма оценки эффективности и безопасности автоматизированных диагностических платформ в офтальмологии. Международный опыт (например, FDA в США, CE-сертификация в ЕС) показывает, что сертификация требует многоэтапной валидации, наличия референтных датасетов, доказательной базы и системы ответственности.

Организационные барьеры включают в себя:

- недостаточную интеграцию цифровых платформ с действующими электронными медицинскими системами (например, ЕГИСЗ в России);
- отсутствие подготовки и методических рекомендаций для врачей по интерпретации и использованию данных, полученных дистанционно;
- фрагментарность ведомственного регулирования, при котором телемедицина, ИИ и офтальмология развиваются в разных нормативных полях без межотраслевой координации.

Кроме того, остаётся неразрешённым вопрос юридической ответственности при ошибках в интерпретации, совершённых алгоритмом ИИ или врачом при дистанционной работе. Это требует не только правового, но и этического анализа — в том числе с позиций информированного согласия пациента, границ автоматизации клинических решений и роли врача как посредника между данными и лечением.

Технологическая доступность — важнейшее условие цифровизации профилактики глаукомы. Однако на практике возникает серьёзный цифровой разрыв между регионами, социальными группами и возрастными категориями.

Инфраструктурная дифференциация: далеко не во всех медицинских учреждениях регионального и районного уровня имеются офтальмологические кабинеты, оснащённые оборудованием, способным формировать диагностические изображения в цифровом формате. Тем более, ограничены возможности телемедицинского подключения и передачи данных в удалённые центры.

Низкий уровень цифровой грамотности среди пожилого населения, которое является основной целевой группой для скрининга глаукомы, существенно снижает эффективность мобильных приложений и платформ самоконтроля. Необходимо развивать программы цифрового просвещения, адаптированные к возрастным особенностям, а также поддерживать «человеко-ориентированный» дизайн цифровых решений.

Нехватка подготовленных специалистов: не все офтальмологи и медсестры обладают навыками работы с цифровыми интерфейсами, интерпретацией телемедицинских данных, использованием ИИ-инструментов. Это требует пересмотра программ по-

вышения квалификации, включения ИТ-компетенций в базовую медицинскую подготовку.

Стоимость оборудования (например, мобильных тонометров, ОСТ-сканеров, цифровых офтальмоскопов) остаётся высокой, что делает невозможным масштабное внедрение телемедицинских кабинетов в учреждения первичного звена без государственной или частной поддержки.

Преодоление цифрового неравенства требует многоуровневого подхода:

- федеральные и региональные программы цифровизации здравоохранения должны предусматривать не только внедрение технологий, но и развитие инфраструктуры, кадрового потенциала и пользовательской среды;
- необходимо стимулировать локальные инновации, включая стартапы в области mHealth и low-cost офтальмодиагностики;
- профессиональные общества офтальмологов могут играть ключевую роль в стандартизации практик, обучении врачей и распространении успешных кейсов.

Развитие цифровых технологий и телемедицины в сфере профилактики глаукомы наталкивается на ряд барьеров, выходящих за рамки технической реализации. Правовая неопределённость, отсутствие сертификации ИИ, цифровое неравенство и низкий уровень инфраструктурной готовности требуют системной, междисциплинарной и межведомственной политики. Только при условии комплексного институционального и нормативного сопровождения можно реализовать потенциал цифровых решений в борьбе с глаукомой — одной из ведущих причин слепоты в мире.

Заключение

Использование цифровых технологий и телемедицины в профилактике глаукомы представляет собой значимый вектор развития офтальмологической помощи, направленный на раннее выявление патологии, повышение приверженности пациентов и снижение социальной нагрузки, связанной с инвалидизацией. Современные технологические решения — от систем искусственного интеллекта до мобильных тонометров и платформ дистанционного мониторинга — позволяют не только улучшить доступность помощи, особенно в удалённых регионах, но и повысить её клиническую точность и экономическую эффективность.

Результаты исследования демонстрируют, что интеграция цифровых инструментов в практику скрининга и диспансерного наблюдения:

- способствует увеличению охвата обследуемого населения и выявлению глаукомы на ранних стадиях;
- снижает количество необоснованных визитов к врачу за счёт триаж-алгоритмов и дистанционной оценки;
- формирует новую культуру медицинского взаимодействия, основанную на партнёрстве, ин-

формированности и цифровой ответственности пациента;

- позволяет выстроить персонализированные маршруты наблюдения, стратифицируя риски и ресурсы в рамках гибкой профилактической модели.

Однако реализация потенциала цифровой профилактики глаукомы невозможна без решения институциональных проблем:

- устранения нормативной неопределённости в отношении удалённой диагностики и использования ИИ;
- создания стандартов сертификации и правовой ответственности при использовании цифровых алгоритмов;
- развития инфраструктуры и преодоления цифрового неравенства, особенно в социально уязвимых и возрастных группах;
- повышения цифровой грамотности медицинских кадров и пациентов, особенно пожилого возраста.

Необходимо также подчеркнуть, что цифровизация не заменяет офтальмолога, а трансформирует его роль: от исполнителя диагностической процедуры — к координатору цифрового контура, интерпретатору данных и медиатору между пациентом и алгоритмом. В этом заключается антропоцентрическая перспектива цифрового здравоохранения.

Таким образом, цифровые технологии и телемедицина могут и должны стать фундаментом новой профилактической парадигмы борьбы с глаукомой — парадигмы, в которой ранняя диагностика, доступность, персонализация и просвещение соединяются в устойчивую модель сохранения зрения и качества жизни населения. Реализация этого потенциала требует политической воли, междисциплинарного сотрудничества и активного участия всего профессионального сообщества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев Р. В. Профилактика глаукомы как профилактика здоровья человека в современных условиях. *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2017;16(3):672—677.
2. Ермолаев В. Г., Ермолаев А. В., Ермолаев С. В. Профилактика глаукомы с учетом данных социологического исследования. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2010;(5):46—47.
3. Петров С. Ю., Малишевская Т. Н., Фарикова Э. Э., Маркелова О. И. Телемедицина для глаукомы: современное состояние и тенденции развития. *Российский офтальмологический журнал*. 2023;16(3):173—179.
4. Дорофеев Д. А., Барышникова Д. А., Кирилик Е. В., Парова Е. Б. Эффективная модель диспансеризации и динамического наблюдения за пациентами с глаукомой. *Национальный журнал глаукома*. 2022;21(1):71—78.
5. Асадов Д. А. Основные аспекты применения телемедицины при глаукоме. *Advanced Ophthalmology*. 2023;3(3):12—15.

REFERENCES

1. Avdeev R. V. Glaucoma prevention as prevention of human health in modern conditions. *Systems analysis and management in biomedical systems*. 2017;16(3):672—677 (In Russ.).

2. Ermolaev V. G., Ermolaev A. V., Ermolaev S. V. Glaucoma prevention based on sociological research data. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2010;(5):46—47 (In Russ.).
3. Petrov S. Yu., Malishevskaya T. N., Rafikova E. E., Markelova O. I. Telemedicine for glaucoma: current state and development trends. *Russian Ophthalmological Journal*. 2023;16(3):173—179 (In Russ.).
4. Dorofeev D. A., Baryshnikova D. A., Kirilyuk E. V., Panova E. B. Effective model of clinical examination and dynamic monitoring of patients with glaucoma. *National Journal of Glaucoma*. 2022;21(1):71—78 (In Russ.).
5. Asadov D. A. The main aspects of the use of telemedicine in glaucoma. *Advanced Ophthalmology*. 2023;3(3):12—15 (In Russ.).

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.02.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2025; принята к публикации 13.08.2025.

The article was submitted 27.02.2025; approved after reviewing 18.04.2025; accepted for publication 13.08.2025.