

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по экономике

Н.А. Заривной

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный университет» на диссертационную работу Волкова Егора Николаевича на тему **«Методы автоматического анализа ретинальных изображений на основе нейронных сетей глубокого обучения»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Волкова Е.Н. посвящена разработке и исследованию методов автоматического анализа ретинальных изображений (фундус-фотографии и оптические когерентные томограммы) на основе нейронных сетей глубокого обучения и методов объяснительного искусственного интеллекта (ИИ).

Актуальность темы обусловлена, во-первых, высокой распространённостью сахарного диабета и его офтальмологических осложнений. Диабетическая ретинопатия и диабетический макулярный отёк входят в число ведущих причин снижения зрения и слепоты в трудоспособном возрасте. По данным регистра Минздрава РФ за 2023 г., число больных сахарным диабетом в России превышает 5,5 млн человек, при этом более 30% пациентов имеют признаки диабетической ретинопатии, а около 10% – клинически значимый макулярный отёк. Регулярный скрининг и мониторинг состояния сетчатки для таких пациентов является необходимым условием сохранения зрения, однако на практике ограничен доступностью высококвалифицированных офтальмологов и значительными временными затратами на интерпретацию каждого снимка.

Во-вторых, в современной клинической практике ключевую роль играют фундус-фотография и оптическая когерентная томография (ОКТ). Они обеспечивают массовый скрининг и послойную визуализацию сетчатки с микронным разрешением и являются стандартом верификации и оценки тяжести офтальмологических заболеваний. Вместе с тем эффективность этих методов во многом определяется субъективной оценкой врача и неустойчивостью человеческого фактора, что затрудняет стандартизацию диагностических критериев и построение воспроизводимых алгоритмов принятия решений.

В-третьих, бурное развитие методов искусственного интеллекта, в частности глубокого обучения, открывает возможность создания автоматизированных и при этом интерпретируемых систем анализа медицинских изображений. Такие системы способны не только выявлять патологические изменения, но и предоставлять врачу наглядные карты важности и количественные показатели биомаркеров, повышая доверие к алгоритмам и облегчая интеграцию в клинический рабочий процесс. Эти направления прямо соответствуют задачам Национальной стратегии развития искусственного интеллекта в Российской

Федерации до 2030 года, ориентированной на повышение качества и доступности медицинской помощи на основе интеллектуальных технологий.

Наконец, актуальность работы усиливается необходимостью развития телемедицинских и скрининговых сервисов в условиях территориальной протяжённости России и неравномерного распределения медицинской инфраструктуры. Предложенные в диссертации методы направлены на автоматизацию интерпретации фундус- и ОКТ-изображений, повышение воспроизводимости заключений и возможность масштабирования скрининга диабетических осложнений глаза за пределы специализированных центров.

Таким образом, научное исследование Волкова Е.Н. соответствует приоритетным направлениям развития методов и технологий искусственного интеллекта, а также здравоохранения, решает важную научно-практическую задачу повышения эффективности диагностики заболеваний сетчатки глаза и является несомненно актуальным.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Волкова Е.Н. состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Полный объём диссертации составляет 143 страницы, включая 18 рисунков и 18 таблиц; библиография содержит 228 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, описаны методы и средства исследования, а также сведения об апробации и публикациях.

Первая глава посвящена методике полуавтоматического формирования проблемно-ориентированных коллекций медицинских данных, предназначенных для обучения и объективной валидации нейросетевых моделей анализа ретинальных изображений. Даётся определение коллекции медицинских данных как организованного множества взаимосвязанных изображений, метаданных и аннотаций; рассматриваются нормативные требования к формированию таких коллекций в Российской Федерации, вопросы репрезентативности, целостности, стандартизации форматов хранения и обеспечения качества изображений. Описываются методы нормализации, фильтрации и масштабирования изображений, алгоритмы автоматической оценки технического качества на основе свёрточных нейронных сетей с механизмами внимания, применение базовой модели SAM для предварительной аннотации по визуальным промптам, организация перекрёстной экспертной разметки и интеграция методов объяснительного ИИ (SAM) в контур контроля качества разметки. На выходе формируется специализированная коллекция ОКТ-срезов, содержащая несколько тысяч экземпляров биомаркеров восьми классов.

Во **второй главе** изложены теоретические основы и разработан интерпретируемый метод автоматического анализа ОКТ-снимков для диагностики диабетического макулярного отёка. Описываются физические принципы ОКТ, клинко-морфологические особенности диабетического макулярного отёка (ДМО) и перечень девяти ключевых биомаркеров. Предлагается конвейер обработки, включающий предварительную классификацию наличия ДМО с использованием архитектуры EfficientNetB0, построение тепловых карт внимания методом SAM, сегментацию экземпляров биомаркеров на основе модифицированной модели YOLOv8 с интеграцией BiFPN и Coordinate Attention, вычисление количественных характеристик (число и площадь сегментированных структур) и нечёткую классификацию степени выраженности макулярного отёка по системе лингвистических правил. Проводятся детальные вычислительные эксперименты, показывающие прирост качества сегментации по метрикам IoU и Dice для слабоконтрастных биомаркеров.

Третья глава посвящена разработке методов анализа цветных фундус-снимков при диабетической ретинопатии (ДР). Предложен устойчивый к артефактам метод автоматического поиска анатомических зон глазного дна (оптического диска и фовеа) на

основе морфологических преобразований и анализа бинаризованных гистограмм цветовых каналов с последующим делением изображения на анатомические квадранты. Рассматривается семантическая сегментация биомаркеров ДР с использованием архитектуры U-Net, модифицированной введением обучаемого банка габоровских фильтров в начальные слои энкодера для повышения чувствительности к ориентированным и полосовым структурам сосудистой сети. Показано улучшение качества сегментации микроаневризм, кровоизлияний и других мелких структур по метрикам IoU и Dice. Для разделения соприкасающихся объектов используется метод водораздела, после чего на основе количественных и топографических характеристик сегментированных биомаркеров формализуются логические правила классификации стадий ДР.

В **заключении** приведены сводные выводы по главам и сформулированы основные результаты диссертации.

Основные результаты диссертации и их научная новизна

К основным результатам и особенностям диссертации Волкова Е.Н. можно отнести:

1. Разработана методика формирования специализированных коллекций данных для автоматического анализа ретинальных изображений, опирающаяся на нейросетевую оценку качества, использование объяснительного ИИ для верификации релевантности признаков, интеграцию моделей с визуальными промптами для ускорения предварительной разметки и перекрёстные экспертные аннотации; такая организация конвейера повышает воспроизводимость экспериментов, снижает трудоёмкость ручной разметки и улучшает согласованность данных.
2. Предложен метод автоматического анализа ретинальных изображений, сочетающий сегментацию экземпляров, формализованные логические правила экспертных знаний и средства объяснительного ИИ; переход к сегментации экземпляров обеспечил выделение мелких и пересекающихся структур и агрегирование количественных показателей в диагностически значимые заключения.
3. Разработан метод поиска и сегментации анатомических зон сетчатки на фундус-снимках на основе анализа бинаризованных гистограмм цветового канала, характеризующийся нечувствительностью к артефактам и отсутствием необходимости предварительного обучения.
4. Достижение цели диссертационной работы – создание интерпретируемых и устойчивых методов анализа ретинальных изображений обеспечено комплексным подходом, включающим формирование качественной коллекции медицинских данных, реализацию нейросетевых архитектур с интерпретируемым поведением и логический вывод на основе клинических знаний; предложенные решения ориентированы на практическое применение в системах поддержки принятия врачебных решений и анализа биомедицинских изображений.

Достоверность полученных результатов

Степень достоверности результатов подтверждена корректной постановкой задач и строгим математическим описанием предлагаемых методов, использованием верифицированных открытых коллекций данных, а также публикациями в рецензируемых научных изданиях и докладами на конференциях по машинному обучению.

Значимость полученных результатов

Работа Волкова Е.Н. носит преимущественно прикладной характер.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии следующих направлений искусственного интеллекта и машинного обучения:

- предложен новый подход к формированию проблемно-ориентированных коллекций медицинских данных с использованием нейросетевой оценки качества и объяснительного ИИ;
- развиты методы сегментации экземпляров и интеграции результатов глубокого обучения с формализованными логическими правилами на основе клинических знаний.

Практическая значимость научных результатов диссертации Волкова Е.Н. состоит в том, что разработанные методы и программные решения ориентированы на реальное применение в системах поддержки принятия врачебных решений. Результаты работы внедрены при создании специализированного программного обеспечения, используемого в бизнес-продукте компании-резидента фонда «Сколково» ООО «МАКАО ИТ».

Разработанные программные компоненты обладают высокой степенью переносимости и могут быть адаптированы для анализа других видов биомедицинских изображений, что расширяет область применения предложенных подходов за рамки офтальмологии.

Полученные результаты могут использоваться:

- при построении клинических систем скрининга и мониторинга диабетической ретинопатии и диабетического макулярного отёка;
- при разработке новых модулей интеллектуального анализа биомедицинских изображений и объяснительного ИИ;
- в образовательном процессе (курсы по глубокому обучению, медицинской информатике и компьютерному зрению);
- в дальнейших научных исследованиях, связанных с формированием специализированных коллекций данных.

С учётом внедрения результатов, широких возможностей их использования и явной ориентации на потребности практического здравоохранения значимость проведённого научного исследования представляется высокой.

Замечания

1. Предложенная в первой главе методика формирования проблемно-ориентированных коллекций медицинских данных не отражена полностью в публикациях ВАК.
2. Объём специализированной коллекции ОКТ-снимков (900 изображений) относительно невелик по современным меркам, что ограничивает статистическую устойчивость и переносимость моделей.
3. Клиническая валидация методов в реальных условиях (оценка влияния на диагностические решения) не представлена, при том, что исследования работы предлагаемых программных решений в реальной клинической обстановке усилили бы практическую значимость результатов диссертации.
4. Вклад отдельных элементов архитектурных модификаций (BiFPN, Coordinate Attention, габоровские фильтры) анализируется недостаточно детально. В то время как углублённый разбор чувствительности моделей к изменениям архитектуры повысил бы обоснованность выбора элементов для их модификаций. Не представлены сравнения с иными архитектурами нейронных сетей, используемых для описанных задач.
5. Оценка переносимости моделей на внешние независимые данные ограничена. Проведение кросс-датасетного тестирования позволило бы более полно оценить устойчивость разработанных методов.
6. Описание программной реализации и интеграции методов в промышленный продукт дано относительно кратко. Более подробные схемы и иллюстрации могли бы упростить воспроизведение решений и повысить инженерную прозрачность работы.

Заключительная оценка

Отмеченные недостатки не оказывают влияния на положительную оценку диссертационной работы в целом. По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня ВАК РФ по специальности 1.2.1, 3 статьи в журналах из перечня ВАК по другим специальностям, 13 публикаций в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science. Опубликованные работы и автореферат диссертации достаточно полно и адекватно отражают ее содержание. В диссертации приведены все необходимые ссылки на цитируемые источники в соответствии с п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней».

Диссертационная работа Волкова Е.Н. «Методы автоматического анализа ретинальных изображений на основе нейронных сетей глубокого обучения» соответствует требованиям ВАК РФ (пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение», а её автор, Волков Е.Н., заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по данной специальности.

Диссертационная работа, автореферат и отзыв на работу рассмотрены на заседании кафедры информационных технологий ТвГУ (протокол №3 от 27.11.2025г.).

Заведующий кафедрой
информационных технологий ТвГУ
д.ф.-м.н., профессор

А.В. Язенин

Фамилия, имя, отчество: Язенин Александр Васильевич

Наименование отрасли наук, научных специальностей, по которым составителем защищена диссертация: 05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях

Организация: ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Сайт организации: www.tversu.ru

Должность: Заведующий кафедрой информационных технологий ТвГУ

Почтовый адрес организации: Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, 33

Контактный телефон: +7 (4822) 58-53-20 (доб. 123)

e-mail: pmk.it@tversu.ru

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет» (ТвГУ)

Сайт: www.tversu.ru

Почтовый адрес: Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, 33

Телефон: +7 (4822) 34-24-52

E-mail: rector@tversu.ru

