

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Волкова Егора Николаевича  
**«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 диссертационной работы**

Диссертационная работа Волкова Е.Н. посвящена разработке и исследованию методов автоматического анализа ретинальных изображений (снимков фундус-камеры и оптических когерентных томограмм (ОКТ)) на основе нейронных сетей глубокого обучения с целью повышения точности диагностики заболеваний сетчатки глаза за счёт интеллектуальной идентификации и количественной оценки биомаркеров.

Актуальность темы сомнений не вызывает. Диабетическая ретинопатия и связанный с ней диабетический макулярный отёк являются одной из ведущих причин потери зрения в трудоспособном возрасте. Введение масштабных программ скрининга и мониторинга пациентов требует автоматизированных инструментов анализа изображений глазного дна и ОКТ, обеспечивающих высокую точность, воспроизводимость и интерпретируемость результатов. Это соответствует ключевым направлениям цифровизации здравоохранения и реализации Национальной стратегии развития искусственного интеллекта до 2030 года.

С научной точки зрения работа расположена на стыке нескольких активно развивающихся областей искусственного интеллекта и машинного обучения: глубокого обучения для медицинских изображений, объяснительного искусственного интеллекта (ХАИ), интеллектуальных систем поддержки принятия решений в медицине и гибридных подходов на основе элементов нечёткой логики. Следует отметить, что в обзоре литературы соискатель убедительно показывает недостаточную проработанность задач сегментации экземпляров биомаркеров на ОКТ-изображениях и фундус-снимках, а также ограниченное внедрение методов объяснительного ИИ в медицинские (на примере офтальмологии) приложения.

В совокупности перечисленное позволяет считать тему диссертации актуальной и важной как с научной, так и с практической точек зрения.

### **Основное содержание диссертационной работы**

**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.

**В первой главе** изложена методика полуавтоматического формирования проблемно-ориентированных коллекций данных. На основе анализа требований к медицинским наборам данных и действующего нормативного поля рассматриваются подходы к построению коллекций, обеспечивающих корректность согласно принятым нормативам, воспроизводимость и клиническую достоверность. Описывается предлагаемая методика, включающая отбор изображений из существующих классификационных коллекций, предобработку, определение качества изображений с помощью нейросетевых моделей, использование метода объяснительного ИИ CAM (Class Activation Mapping) для верификации релевантности признаков, автоматизированную предразметку на основе визуальных промптов и последующую перекрёстную экспертную аннотацию. Итогом является созданный специализированный датасет из 900 В-срезов ОК-томограмм с полной



аннотацией восьми классов биомаркеров диабетического макулярного отёка для задачи сегментации экземпляров, который, как подчёркивается в главе, является первым в своём роде и создаёт базу для объективной оценки моделей.

**Во второй главе** рассматриваются методы анализа ОК-томограмм. Сначала приводятся теоретические сведения об оптической когерентной томографии и диабетическом макулярном отёке, а также систематический обзор современных работ по сегментации биомаркеров, выявляющий отсутствие рассматриваемой постановки задачи и недостаточное использование пайплайнов с включением методов объяснительного ИИ. Подробно описывается созданный интерпретируемый конвейер, включающий предобработку и автоматическую фильтрацию по качеству, бинарную классификацию наличия ДМО на основе модели EfficientNetB0 с формированием тепловых карт CAM, сегментацию экземпляров биомаркеров модифицированной архитектурой YOLOv8-BiFPN-CA и вычисление количественных характеристик (числа и площади экземпляров по классам). Строится нечёткий классификатор на основе формализованных лингвистических правил, который переводит количественные показатели в диагностические решения и прогноз.

**Третья глава** посвящена методу анализа фундус-снимков в задаче диагностики и стадирования диабетической ретинопатии. После обзора офтальмоскопии и клинической классификации ДР автор описывает конвейер, включающий предобработку и бинарную классификацию изображений с помощью модели VGG16, обеспечивающей отсев заведомо нормальных случаев и передачу подозрительных изображений на детальный анализ. Приводится разработанный автором не требующий обучения метод поиска анатомических зон глазного дна (оптический диск и фовеа) на основе анализа бинаризованных гистограмм выбранных цветовых каналов и морфологических операций, после чего макулярная область сегментируется и делится на квадранты. На следующем этапе выполняется семантическая сегментация биомаркеров диабетической ретинопатии, модифицированной U-Net с фильтрами Габора, ориентированной на извлечение направленных текстурных признаков и улучшение качества выделения слабовыраженных структур. Для разделения пересекающихся объектов и подсчёта экземпляров применяется алгоритм водораздела и последующее построение матрицы подсчётов по классам и квадрантам. Завершающий блок включает использование Grad-CAM для объяснения работы сегментационной модели и логического классификатора, реализующего формализованные клинические правила для определения стадии ДР (NPDR, PPDR, PDR) на основе пространственного распределения биомаркеров.

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

### **Научная новизна**

1. Предложена новая методика формирования проблемно-ориентированных коллекций данных, отличающиеся от существующих нейросетевой оценкой качества изображений с применением метода объяснительного ИИ, интеграцией базовой модели на основе визуальных промптов, а также применением перекрестных экспертных аннотаций. Впервые получена специализированная коллекция данных для задачи сегментации экземпляров биомаркеров диабетического макулярного отёка на ОКТ-снимках, содержащая все основные классы биомаркеров.
2. Предложен новый метод анализа специальных видов изображений на основе сегментации экземпляров и применения формализованных в виде логических правил экспертных знаний, а также методов объяснительного ИИ. Преимущества нового метода показаны на основе решения задач анализа ретинальных изображений.



3. Предложен новый метод поиска и сегментации анатомических зон глазного дна на основе анализа бинаризованных гистограмм цветового канала, отличающийся нечувствительностью к артефактам и отсутствием необходимости обучения.
4. Впервые формализована и решена задача анализа биомаркеров диабетического макулярного отёка на ОКТ-снимках как задача сегментации экземпляров, что позволило применить логические правила для оценки прогноза пациентов.

### **Достоверность и обоснованность результатов**

Подтверждена корректной постановкой задач, строгим математическим описанием предложенных методов, а также экспериментальными исследованиями на открытых данных, демонстрирующими эффективность предложенных методов и алгоритмов, корректность работы разработанных программных решений.

Основные положения диссертации обсуждались на 19 международных и всероссийских конференциях. Содержание диссертационного исследования достаточно полно отражено в 18 работах, в том числе опубликованных в рецензируемых изданиях из перечней ВАК, Scopus и Web of Science.

### **Теоретическая значимость работы**

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии ключевых направлений искусственного интеллекта и машинного обучения, применяемых к анализу медицинских изображений. Предложен новый подход к формированию проблемно-ориентированных коллекций медицинских данных, основанный на нейросетевой оценке качества, использовании визуальных промптов и средствах объяснительного ИИ, что расширяет существующие методологические принципы построения обучающих медицинских датасетов. Развита гибридная модель, интегрирующая результаты глубоких нейронных сетей с формализованными логическими и нечёткими правилами, основанными на клинических знаниях, что создаёт теоретическую основу для интерпретируемых ИИ-систем нового поколения, в которых нейросетевое представление признаков сочетается с прозрачными экспертными механизмами вывода. Для извлечения направленных текстурных признаков в медицинских изображениях.

### **Практическая значимость работы**

Практическая ценность работы определяется созданием специализированной коллекции ОК-томограмм, пригодной для обучения и объективной оценки моделей анализа медицинских изображений. Разработанные и модифицированные методы и модели классификации, локализации и сегментации биомаркеров реализованы в программном обеспечении и могут быть использованы в прикладных решениях для автоматизированного скрининга, количественного мониторинга заболевания и поддержки принятия врачебных решений. Полученные результаты (в виде отдельных компонентов) внедрены в бизнес-продукт компании-резидента «Сколково», что подтверждает их готовность к промышленному применению.

Помимо офтальмологии, предложенные подходы обладают более широкими возможностями применения. Комбинация сегментации экземпляров, объяснительного ИИ и формализованного логического вывода может быть адаптирована к задачам анализа других типов медицинских изображений, включая ультразвуковые, рентгенологические, эндоскопические и томографические данные. Методика формирования клинических коллекций данных с автоматической оценкой качества и визуальными промптами может использоваться для ускоренной подготовки датасетов в любых областях медицинской визуализации. Гибридные модели, объединяющие нейросетевые признаки с экспертными



правилами, представляют интерес для разработки интерпретируемых ИИ-систем в широком спектре клинических направлений.

### Замечания по работе

1. Для ключевых компонентов, реализующих формализацию экспертных знаний – нечёткого классификатора на основе сегментации ОКТ-биомаркеров (стр. 58-61) и логического классификатора стадий диабетической ретинопатии по фундус-изображениям (стр. 115-117) в работе фактически отсутствует валидация результатов. Не приведены значения чувствительности, специфичности ответов системы в сравнении с клиническими заключениями офтальмологов, не анализируется ошибка стадирования. В результате заявка на повышение диагностической информативности за счёт формализованных правил остаётся недостаточно подкреплённой.
2. При сравнении предложенных архитектурных модификаций с базовыми моделями эксперименты выполнены в усечённом виде. Для модели YOLOv8-BiFPN-Coordinate Attention (стр. 52-56) показано улучшение метрик сегментации по сравнению с базовой YOLOv8-seg, однако отсутствуют сравнительные исследования, позволяющие разделить вклад BiFPN и Coordinate Attention, а также сравнение с современными U-Net-подобными и трансформерными архитектурами на тех же данных. Аналогично, для модифицированного U-Net с фильтрами Габора (стр. 104-105) демонстрируется прирост метрик IoU/Dice по сравнению с базовым U-Net, но не проводятся сопоставления с другими распространёнными улучшениями базовой архитектуры (Attention U-Net, U-Net++ и др.). Эти обстоятельства не позволяют в полной мере оценить, насколько предложенные архитектурные решения конкурентоспособны относительно текущего мирового уровня.
3. Компонент объяснимого искусственного интеллекта в работе носит преимущественно иллюстративный характер и недостаточно поддержан количественными исследованиями. В теоретическом разделе по объяснительному ИИ (стр. 26-27) и при использовании метода CAM для интерпретации решений EfficientNetB0 на ОКТ-снимках (стр. 46-47), а также Grad-CAM для анализа фундус-изображений ДР (стр. 108-110) приводятся отдельные визуальные примеры тепловых карт, но отсутствуют формализованные метрики согласованности карт важности с сегментами биомаркеров и результаты оценки их клинической релевантности экспертами. Не показано, в какой мере использование методов объяснительного ИИ позволяет выявлять ошибочные решения модели или уменьшать зависимость от артефактов изображения, что ограничивает обоснованность заявлений о повышении интерпретируемости и доверия врача к системе.
4. В автореферате (стр. 6) и в диссертации (стр. 11) отмечено, что «Результаты работы внедрены в реальную практику при создании специализированного программного обеспечения для системы поддержки принятия врачебных решений, используемой в бизнес-продукте компании-резидента фонда «Сколково» ООО «МАКАО ИТ».», однако соответствующего акта о внедрении не представлено.
5. В работе присутствуют недочёты в оформлении материала. В частности: некоторые из приведённых автором таблиц (стр. 44, 65-67, 73) выходят за рамки страницы, что делает практически невозможным оценку информации на их основе; ссылка на табл. 8 дана на стр. 56, а сама табл. 2.8 размещена на стр. 67; на стр. 108 дана ссылка «(см. п. X.X)».

Приведённые замечания не снижают общую **положительную оценку работы**, не снижают значимости и научной ценности работы, не затрагивают её основных выводов.

### Заключительная оценка

Диссертационная работа Волкова Е. Н. является завершённым научно-квалификационным исследованием, в котором решена актуальная научно-техническая задача разработки интерпретируемых методов анализа ретинальных изображений ОК-томограмм и фундус-снимков на основе глубоких нейронных сетей, объяснительного ИИ, нечеткого вывода и экспертных правил. Полученные результаты обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, доведены до программной реализации и внедрения.

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.

Официальный оппонент:  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры прикладной математики  
и искусственного интеллекта  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

А.П. Еремеев

« 01 » XII 2025 г.

Почтовый адрес: 111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1; контактный телефон: +7 495 362-79-62; электронная почта: [YeremeevAP@niui.ru](mailto:YeremeevAP@niui.ru).

Подпись Еремеева А.П. заверяю:



ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
ОТДЕЛА ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ  
Д.И. ШЛЕВАЯ