

## **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 темы исследования**

Диссертация Волкова Е.Н. посвящена разработке методов автоматического анализа ретинальных изображений (фундус-снимков и ОК-томограмм) на основе нейронных сетей глубокого обучения для задач диагностики диабетической ретинопатии (ДР) и диабетического макулярного отёка (ДМО). Указанные заболевания являются одними из наиболее значимых осложнений сахарного диабета, приводящих к прогрессирующему снижению зрения и требующих регулярного мониторинга структурных изменений сетчатки. По данным Минздрава РФ, приведённым в диссертации, в 2023 году число больных СД превысило 5,5 млн человек, более 30 % имеют признаки ДР, около 10 % - клинически значимый макулярный отёк.

В клинической практике для скрининга и верификации диагноза используются фундус-фотография и оптическая когерентная томография (ОКТ), однако интерпретация снимков трудоёмка и зависит от квалификации специалиста. Одновременно национальная стратегия развития искусственного интеллекта в РФ до 2030 года ориентирует исследования на создание интерпретируемых и воспроизводимых систем ИИ для здравоохранения.

С научной точки зрения актуальность работы обусловлена тем, что большинство существующих исследований в области анализа ретинальных изображений ограничиваются задачами классификации либо семантической сегментации отдельных структур. Полноценные решения задачи сегментации экземпляров биомаркеров ДМО на специализированных клинически валидированных коллекциях данных практически отсутствуют, а интерпретируемые пайплайны, совмещающие глубокое обучение, объяснительный ИИ и формализованные экспертные правила, представлены единичными работами и, как правило, не доведены до уровня систем поддержки принятия решений.

В этих условиях разработка методов глубокого обучения для анализа ретинальных изображений, интегрирующих объяснительный ИИ и аппарат нечёткой логики, представляет собой актуальную научно-практическую задачу, имеющую непосредственное значение для систем массового скрининга и поддержки принятия врачебных решений.

### **Краткое содержание диссертации**

В первой главе обоснована необходимость формирования специализированных медицинских коллекций данных для задач глубокого обучения, сформулированы требования к качеству и юридическим аспектам работы с изображениями, проведён анализ существующих коллекций ОК-томограмм и показано отсутствие наборов, пригодных для сегментации экземпляров биомаркеров ДМО. Предложена методика полуавтоматического формирования проблемно-ориентированных коллекций, включающая нейросетевую оценку качества снимков с использованием объяснительного ИИ, предварительную разметку на основе визуальных промптов, экспертную двукратную аннотацию и перекрёстную валидацию. На основе этой методики сформирована специализированная коллекция ОК-томограмм для задачи сегментации экземпляров, включающая 900 полноразмерных В-срезов с 6752 экземплярами восьми ключевых биомаркеров ДМО, размеченных двумя независимыми офтальмологами.

**Во второй главе** рассмотрены теоретические основы оптической когерентной томографии и патоморфологии ДМО, проведён систематический обзор работ по сегментации биомаркеров и показан дефицит исследований по задаче сегментации экземпляров и объяснительному ИИ в данной области. Описан разработанный автором метод анализа ОК-томограмм, включающий бинарную классификацию снимков с использованием EfficientNetB0 и визуализацией решений методом Class Activation Mapping, модифицированную модель YOLOv8-seg с модулями BiFPN и Coordinate Attention для сегментации экземпляров биомаркеров, вычисление количественных характеристик каждого экземпляра и нечёткий классификатор, реализующий лингвистические правила прогноза и отклика на терапию.

**В третьей главе** представлены теоретические основы анализа фундус-снимков: физика офтальмоскопии, клиническая классификация ДР и обзор существующих методов сегментации биомаркеров. Предложен метод анализа фундус-изображений, включающий бинарную классификацию по наличию патологии с использованием VGG16, алгоритм поиска и сегментации анатомических зон (зрительный диск, фовеа, квадранты) на основе анализа бинаризованных гистограмм цветового канала, семантическую сегментацию биомаркеров ДР модифицированной архитектурой U-Net с параметрическими фильтрами Габора, интеграцию Grad-CAM для визуального объяснения решений и последующий переход к сегментации экземпляров методом водораздела. На основе количественных характеристик экземпляров и их распределения по квадрантам построен логический классификатор стадий ДР, согласованный с клиническими рекомендациями.

**В заключении** 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 и данных индустриальных партнёров, 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, опубликованных в рецензируемых изданиях из перечней ВАК, Scopus и Web of Science.

### **Теоретическая значимость работы**

Заключается в развитии отдельных направлений искусственного интеллекта и машинного обучения, а именно:

- 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 ценность работы**

Практическая значимость определяется созданием законченного семейства методов и программных средств автоматизированного анализа ретинальных изображений двух модальностей, ориентированных на реальные клинические сценарии – скрининг и мониторинг ДР и ДМО. Диссертантом разработана методика формирования специализированных коллекций данных с полуавтоматизированной разметкой, позволяющая существенно снизить трудоёмкость подготовки обучающих выборок и повысить согласованность экспертных аннотаций.

Ключевые результаты работы реализованы в составе специализированного программного обеспечения системы поддержки принятия решений, используемой в бизнес-продукте компании-резидента фонда «Сколково» ООО «МАКАО ИТ».

Разработанные методы обладают адаптивностью и могут быть перенесены на другие задачи медицинской визуализации; созданные коллекции данных и программные модули представляют интерес для практического обучения медицинского персонала, научных исследований и формирования новых коллекций данных.

### **Замечания**

1. В тексте диссертации присутствуют формальные проблемы при работе с сокращениями. В частности, аббревиатура СНС используется без какой-либо расшифровки. Кроме того, нарушен логический порядок введения терминологии: ряд узкоспециализированных медицинских аббревиатур (DRIL, EZD, IRC, AMD, DME, ERM, RAO, VID) активно используется в Главе 1 (например, стр. 20, 21, 29) при описании коллекций данных, однако их расшифровка и подробное описание приводятся лишь в Главе 2 (стр. 37), что затрудняет восприятие текста диссертации.
2. В разделе 2.9.2 и 3.11 описывается формирование базы правил для классификации (например, «ЕСЛИ протяжённость DRIL большая...»). Автор ссылается на клинические рекомендации, однако не приводит алгоритм или методику перевода качественных понятий («малая», «умеренная», «большая») в конкретные количественные пороги функций принадлежности. Также как и не приведены какие-либо примеры или количественные оценки результата предсказаний предложенного нечеткого классификатора и какой-либо анализ ошибок предложенного нечеткого классификатора.
3. В первой главе (п. 1.7) предложена методика формирования датасета, включающая пре-разметку базовой моделью (SAM) с последующей коррекцией экспертом. В диссертации не рассмотрен вопрос возникновения «предвзятости автоматизации», когда эксперт может пропускать пропущенные моделью, но клинически значимые

малозаметные патологии. Следовало бы привести оценку согласованности разметок, выполненных «с нуля», и разметок, выполненных с использованием предложенного конвейера.

4. В таблице 7 приведены время расчёта результата нейронной сети YOLOv8, но не указано на каком оборудовании был произведен замер времени. Также текст диссертации нигде не ссылается на эту таблицу.
5. В тексте первой и второй главы диссертации многократно используется узкоспециализированный термин В-срез, который, однако, никак не описывается, что усложняет понимание первых двух глав диссертации.

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

### Общее заключение

Диссертационная работа Волкова Е.Н. представляет собой завершённое самостоятельное научно-квалификационное исследование, в котором решена важная научно-техническая задача разработки интерпретируемых методов автоматического анализа ретинальных изображений на основе нейронных сетей глубокого обучения, методов объяснительного ИИ, элементов нечёткой логики и экспертных правил. Полученные результаты обладают научной новизной, подтверждены экспериментальными исследованиями на открытых и промышленных данных, внедрены в коммерческой организации и соответствуют современному уровню развития искусственного интеллекта в рассматриваемой области практического приложения.

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  
кандидат технических наук,  
старший инженер ООО «КОУЛМЭН ТЕХ»



А.В. Ямаев

«01» декабря 2025 г.

Подпись  
Ямаева Андрея Викторовича  
ЗАВЕРЯЮ  
рук-ль отдела по предоставлению  
временного персонала  
Глазунова И.А.



Почтовый адрес: 121087, г. Москва, ул. Барклай, д. 6 стр. 3, помещ. 62/5; контактный телефон: ; электронная почта: [rewin1996@gmail.com](mailto:rewin1996@gmail.com).