

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.137.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФГБУН ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ ИМ. И.П.  
ПАВЛОВА РАН ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 10 июня 2025 г. № 9

О присуждении **Малаховой Екатерине Юрьевне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Исследование и интерпретация при помощи искусственных нейронных сетей механизмов описания зрительных образов в нижневисочной коре головного мозга приматов» по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных принята к защите 31 марта 2025 г., протокол № 3/1, диссертационным советом 24.1.137.01, созданным на базе ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6; приказ № 105нк-56 от 11.04.2012 г.

Соискатель Малахова Екатерина Юрьевна, 19.01.1987 года рождения. В 2014 г. с отличием окончила магистратуру Санкт-Петербургского Государственного Университета по специальности «Когнитивные исследования». В период с 2014 по 2019 обучалась в аспирантуре ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН по специальности физиология.

Диссертация выполнена в лаборатории физиологии зрения ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН.

Научный руководитель Шелепин Юрий Евгеньевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией физиологии зрения ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН.

Официальные оппоненты:

Кропотов Юрий Дмитриевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией нейробиологии программирования действий ФГБУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН»;

Бондарь Игорь Вечеславович, доктор биологических наук, профессор РАН, профессор факультета живых систем, Негосударственное образовательное частное учреждение высшего образования «Московский институт психоанализа», ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии сенсорных систем ФГБУН «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук», г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном главным научным сотрудником лаборатории сравнительной сенсорной физиологии, доктором биологических наук Андреевой И.Г., указала на актуальность исследования, теоретическую и практическую значимость результатов, подчеркнула междисциплинарный характер работы, объединяющей нейрофизиологические и вычислительные методы.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях – 5 работ. Опубликованные работы по теме диссертации включают оригинальные исследования, в которых проведена детальная реконструкция механизмов нейронного кодирования зрительных образов с использованием глубоких нейросетевых моделей, адаптированных к физиологическим данным приматов. В этих публикациях соискателем представлены методологические разработки по интерпретации скрытых слоёв моделей глубокого обучения в контексте физиологии

нижневисочной коры, что позволило выявить параллели между иерархической обработкой визуальной информации в биологических и искусственных системах. В ряде работ автором предложены подходы к сопоставлению активаций сверточных слоев с реакциями отдельных нейронов, зарегистрированных в ходе экспериментов *in vivo*, что продемонстрировало потенциал искусственных нейронных сетей как инструмента анализа нейрофизиологических механизмов восприятия.

Наиболее значимые научные публикации по теме диссертации включают:

1. Малахова Е. Ю. Визуализация информации, кодируемой нейронами высших областей зрительной системы // Оптический журнал. -2018. -№ 8.- С. 61–66.
2. Малахова Е. Ю. Пространство описания зрительной сцены в искусственных и биологических нейронных сетях // Оптический журнал.- 2020. -№ 10.- С. 61–66.
3. Nam Y., Sato T., Uchida G., Malakhova E., Ullman Sh., Tanifuji M. View-tuned and view-invariant face encoding in IT cortex is explained by selected natural image fragments // Scientific Reports (Nature Portfolio). -2021.- № 11.- art. 7827.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: Луцива В.Р., доктора технических наук, профессора кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»; Куприянова М.С., доктора технических наук, профессора, руководителя перспективных проектов Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», Стаффева С. К., доктора технических наук, профессора Физико-технического

факультета НИУ ИТМО, профессора Института когнитивных исследований Санкт-Петербургского государственного университета, Черниговской Т. В., доктора биологических наук, доктора филологических наук, профессора, действительного члена (академик) РАО, Директора Института когнитивных исследований Санкт-Петербургского государственного университета.

Все отзывы положительные. В отзывах отмечена высокая актуальность и научная новизна проведённого исследования, междисциплинарный характер подхода, сочетающего методы нейрофизиологии, вычислительной нейронауки и искусственного интеллекта. Отмечена теоретическая значимость полученных данных для понимания принципов организации нейронных представлений, а также практическая применимость результатов в задачах биомедицинской визуализации и разработки нейроинтерфейсов.

Высказанные в отзыве Куприянова М.С замечания касаются уточнения границ применимости нейросетевых моделей, устойчивости полученных эффектов при варьировании архитектур и параметров, а также необходимости дальнейшей проработки биологической интерпретации некоторых компонентов модели. В отзыве Черниговской Т.В. содержится следующее замечание: в работе заявлена аналогия между слоями сверточной сети и уровнями зрительной обработки, однако биологическая валидность таких сопоставлений требует осторожности.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен их высоким профессионализмом в соответствующей области науки. Достижения оппонентов признаны как на национальном, так и на международном уровне, а ведущая организация известна своими достижениями в области сенсорной нейрофизиологии, что позволило комплексно оценить диссертацию, ее научный потенциал и практическую ценность.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработана новая научная методика описания и предсказания активности нейронов нижневисочной коры приматов с использованием методов генеративного искусственного интеллекта, предложен метод интерпретации представлений на промежуточных этапах обработки зрительного сигнала посредством оценки сходства пространства описания с пространствами сигнала и задачи, доказана возможность направленной модуляции активности нейронов и нейрональных ансамблей нижневисочной коры посредством предъявления специально сконструированных абстрактных стимулов, созданных с помощью генеративной модели.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что полученные новые данные и предложенные методики исследования существенно расширяют представления о кодировании и преобразовании зрительной информации в высших отделах зрительной системы приматов. Полученные в ходе экспериментов данные показывают, что высокоуровневые визуальные признаки, извлекаемые искусственными нейронными сетями, могут быть количественно сопоставлены с активностью отдельных нейрональных колонок нижневисочной коры, что позволяет выявить принципы организации нейронных представлений и механизмы категоризации зрительных образов. Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс методов, включающий микроэлектродную регистрацию нейронной активности, построение сверточных и генеративных нейросетей, а также количественный анализ признаков пространств. Изложены положения о характере преобразования информации, зависимости селективности нейронов от структуры признаков и задач восприятия, а также идеи сопоставления нейронных и искусственных

представлений. Раскрыты ограничения применения глубоких нейросетевых архитектур для моделирования биологических механизмов обработки зрительных сигналов. Проведена модернизация существующих алгоритмов визуализации и подбора стимулов за счёт включения механизмов обратной связи между моделью и экспериментом, что обеспечило получение новых результативных форм анализа данных в нейрофизиологических исследованиях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, откалиброванном по международным стандартам, обоснована методика регистрации нейронной активности, показана воспроизводимость полученных данных в различных сессиях и у разных животных. Теория, положенная в основу анализа, построена на проверяемых данных о функциональной организации зрительной коры приматов, согласуется с опубликованными нейрофизиологическими и вычислительными исследованиями по смежной тематике. Идея базируется на интеграции экспериментальных методов регистрации активности нейронов с методами машинного обучения и визуализации признаков пространств. Используются данные, сопоставленные с результатами, полученными ранее другими исследователями при изучении избирательности и инвариантности нейронных откликов в нижневисочной коре. Установлено качественное и количественное совпадение пространств признаков, извлекаемых искусственными нейросетями, с характеристиками биологических нейронных ответов, подтверждённое статистическим анализом и визуализацией матриц сходства. Используются современные методики сбора и обработки нейрофизиологических и моделируемых данных, выборка экспериментальных объектов (нейрональных колонок) обоснована по критериям стабильности

записи, репрезентативности локализации и воспроизводимости ответа, что гарантирует надёжность интерпретации полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в принятии непосредственного участия в определении цели и постановке задач исследования, планировании и методической подготовке экспериментов, участии в проведении экспериментов, обработке экспериментальных данных, подготовке публикаций и докладов на научных конференциях и съездах.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

В ходе защиты диссертации было высказано критическое замечание о недостаточности проработки вопроса генерализации результатов, будут ли изменяться выявленные закономерности при переходе к другим, более современным моделям (архитектурам).

Соискатель Малахова Е.Ю. согласилась с замечаниями, полностью ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы, предоставив соответствующие пояснения.

На заседании 10 июня 2025 года диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для развития нейрофизиологии и вычислительных методов в биомедицинских исследованиях, а также за разработку новых научно обоснованных подходов к интерпретации нейронной активности с использованием методов искусственного интеллекта, имеющих существенное значение для интеграции современных технологий в фундаментальную физиологию, принял решение присудить Малаховой Е.Ю. учёную степень кандидата биологических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в составе 19 членов совета, из них 19 докторов наук по специальности 1.5.5 –

физиология человека и животных, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель Диссертационного  
совета, доктор медицинских наук,  
профессор

Лобов Геннадий Иванович

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

Иванова Галина Тажимовна

10 июня 2025 г.

