

Заключение диссертационного совета МГУ.011.9.

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «30» декабря 2025г. №12

О присуждении Козлову Станиславу Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Картирование функциональной активности головного мозга человека с учётом уровня синхронизацииvoxелей по данным фМРТ» по специальности 1.5.2. Биофизика (физико-математические науки) принята к защите диссертационным советом МГУ.011.9., 12.11.2025, протокол № 10.

Соискатель Козлов Станислав Олегович, 1996 года рождения, с 01.10.2019 по 30.09.2023 успешно освоил программу подготовки в аспирантуре ФГБУ Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника».

Козлов Станислав Олегович работает младшим научным сотрудником в ФГБУ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Диссертация выполнена в Лаборатории технологий искусственного интеллекта Отдела нейрокогнитивных наук, интеллектуальных систем и робототехники Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории технологий искусственного интеллекта Отдела нейрокогнитивных наук, интеллектуальных систем и робототехники Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Пойда Алексей Анатольевич;

Официальные оппоненты:

- Казанцев Виктор Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского", Институт биологии и биомедицины, кафедра нейротехнологий, заведующий кафедрой;
- Каплан Александр Яковлевич, доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Биологический факультет,

лаборатория нейрофизиологии и нейрокомпьютерных интерфейсов, заведующий лабораторией;

- Верхлютов Виталий Михайлович, кандидат медицинских наук, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, лаборатория нейрофизиологии и нейрокомпьютерных интерфейсов, старший научный сотрудник, дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обусловлен их высокой научной квалификацией и признанной компетентностью в области биофизики, нейрофизиологии, нейровизуализации, а также исследований функциональной организации и нейросетевой активности головного мозга человека по данным функциональной магнитно-резонансной томографии. Научные интересы оппонентов непосредственно соответствуют тематике диссертационной работы, связанной с разработкой и применением методов анализа фМРТ-данных, построением нейросетевых моделей головного мозга и исследованием функциональной связности в состоянии покоя. Официальные оппоненты являются авторами значительного числа научных публикаций в высокорейтинговых отечественных и международных журналах, широко известных специалистам в данной области. Совместные научные проекты и публикации с соискателем у официальных оппонентов отсутствуют.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по тематике диссертационного исследования, из них 4 статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.5.2. Биофизика, а также 5 публикаций в иных научных изданиях.

[1] Жемчужников А.Д., Карташов С.И., Козлов С.О., Орлов В.А., Пойда А.А., Захарова Н.В., Бравве Л.В., Мамедова Г.Ш., Кайдан М.А. Поиск наиболее информативных регионов для бинарной классификации шизофрении по данным фМРТ состояния покоя на основе метода выделения функционально однородных регионов // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2024. – Т. 74. – № 4. – С. 412-425. Импакт-фактор (РИНЦ): 0,695. Объем: 1 п.л. / Вклад соискателя: 0,3 п.л. EDN: [AEGOFV](#)

[2] Пойда А.А., Козлов С.О., Жемчужников А.Д., Орлов В.А., Карташов С.И., Бравве Л.В., Кайдан М.А., Костюк Г.П. Применение метода функционально однородных регионов (FHR) для выделения наиболее информативных регионов головного мозга человека для бинарной классификации шизофрении по данным функциональной МРТ в состоянии покоя // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2025. – Т. 75. – № 4. – С. 420-434. Импакт-фактор (РИНЦ): 0,695. Объем: 1,1 п.л. / Вклад соискателя: 0,5 п.л. EDN: [VGUZAQ](#)

[3] Енягина И.М., Поляков А.Н., Пойда А.А., Коковин Д.С., Орлов В.А., Козлов С.О. Реализация методов расчета функциональной связности регионов головного мозга человека в состоянии покоя и нейровизуализации на основе данных функциональной ядерной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) // Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2021. – Т. 18. – № 4. – С. 406-414. Импакт-фактор (РИНЦ): 0,274. Объем: 0,5 п.л. / Вклад соискателя: 0,1 п.л. EDN: [BIJYNC](#)

Переводная версия статьи:

Enyagina I.M., Polyakov A.N., Poyda A.A., Kokovin D.S., Orlov V.A., Kozlov S.O. Implementing methods for calculating the functional connectivity of regions of the human brain at rest and neuroimaging using data of functional nuclear magnetic resonance imaging (fMRI) // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2021. – Vol. 18. – № 4. – P. 496-501. Импакт-фактор (SJR): 0.217. Объем: 0,5 п.л. / Вклад соискателя: 0,1 п.л. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1547477121040063> EDN: [RQAVYU](#)

[4] Enyagina I.M., Poyda A.A., Orlov V.A., Kozlov S.O., Polyakov A.N., Ushakov V.L., Sharaev M.G. Technologies for studying functional neural networks of the human brain based on data of nuclear functional magnetic tomography // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2022. – T. 2155. – №. 1. – P. 012034. Импакт-фактор (SJR): 0.187. Объём: 0.4 п.л. / Вклад соискателя: 0.2 п.л. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2155/1/012034> EDN: [PANNHH](#)

На диссертацию и автореферат поступило 3 дополнительных отзыва, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация Козлова Станислава Олеговича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.5.2 «Биофизика» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена важная научная задача – разработка и обоснование метода выделения пространственно-связанных функционально-однородных регионов головного мозга по данным фМРТ с контролем уровня синхронизации (корреляции) динамик вокселей внутри регионов, обеспечивающего более корректное построение нейросетевых моделей функциональной активности мозга, в том числе в состоянии покоя.

В диссертационной работе выполнено теоретическое обоснование построения нейросетевых моделей мозга на основе функционально-однородных регионов;

предложены и формализованы критерии функциональной однородности, пространственной связности и непересекаемости регионов, на которых основан разработанный метод ПСФОР. Разработанный алгоритм реализован в виде программной библиотеки (MATLAB) и апробирован на экспериментальных фМРТ-данных. Показано, что при применении метода ПСФОР формируются регионы с более высоким уровнем функциональной однородности по сравнению с рядом распространённых подходов (атласные разбиения и методы компонентного/кластеризационного типа), а также продемонстрирована устойчивость построения нейросетевой модели при достаточной длине временного ряда.

Получены результаты, подтверждающие, что предложенный подход позволяет проводить индивидуальную детализацию функциональной организации мозга: на данных 23 испытуемых в состоянии покоя продемонстрирована возможность уточнения индивидуальной структуры регионов, относящихся к «сети по умолчанию», а также показана чувствительность метода к параметрам предобработки фМРТ-сигнала (в частности, к учёту автокорреляции и регрессии глобального сигнала). Разработан и применён подход к фильтрации выделенных ПСФОР по уровню межрегиональной корреляции для формирования функционально связанного набора подрегионов.

В работе также решена прикладная задача бинарной классификации (болен/не болен) для диагностики шизофрении по данным фМРТ состояния покоя: предложен способ формирования признаков на основе свойств ПСФОР и проведено сопоставление с известными в литературе подходами (в частности, ALFF и ReHo) на одном и том же наборе данных. Показано, что метод ПСФОР обеспечивает сопоставимую точность классификации при максимуме качества и, при этом, позволяет достигать высокой точности при существенно меньшей размерности признакового пространства (выделяя ограниченный набор наиболее информативных регионов), что важно для интерпретируемости и практического применения результатов.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методов анализа фМРТ-данных и построения нейросетевых моделей функциональной активности мозга с явным контролем внутригрупповой синхронизации воксельных временных рядов, что расширяет возможности исследования индивидуальной функциональной организации мозга. Практическая значимость работы определяется потенциалом применения разработанного метода для построения индивидуальных

функциональных парцелляций и нейросетевых моделей, а также для задач медицинской диагностики и поддержки принятия решений на основе фМРТ-данных, включая классификацию патологических состояний.

Результаты работы включают:

1. Сформулированы критерии для выделения пространственно-связанных функционально-однородных регионов головного мозга человека в состоянии покоя. Разработана методика для контроля уровня синхронизации динамик вокселов внутри выделяемых регионов. Показана возможность построение нейросетевой модели головного мозга на основе таких регионов головного мозга.

2. Разработан метод выделения пространственно-связанных функционально-однородных регионов (метод ПСФОР) с заданным минимальным уровнем функциональной однородности (синхронизации) по индивидуальным данным фМРТ.

Разработана программная реализация метода ПСФОР на языке программирования MATLAB. Программный комплекс с дополнительным функционалом (библиотека) размещён в репозитории GitHub.

3. На основе регионов, выделенных с помощью метода ПСФОР, построена нейросетевая модель головного мозга испытуемых в состоянии покоя. С помощью метода ПСФОР показана возможность уточнения индивидуальной структуры регионов головного мозга, относящихся к «сети по умолчанию» (СПУ). Показано, что выделяется от 49 до 80 подрегиона (ПСФОР), полностью или частично пересекающихся с атласными регионами СПУ (по данным 23 испытуемых). Предложен подход для фильтрации ПСФОР по уровню межрегиональной корреляции, по которому остаётся от 14 до 64 ПСФОР, которые являются индивидуальной структурой СПУ.

4. На основе метода ПСФОР разработан метод получения признаков для бинарной классификации шизофрении (болен / не болен). Сравнение разработанного метода с известными в литературе другими методами получения признаков (ReHo, ALFF) показало, что максимальные точности классификации по всем этим методам сопоставимы, 74-76%.

5. Показано, что максимальная точность классификации по методу ПСФОР достигается на меньшей размерности вектора признаков (8-16). При этом для других методов классификации на этом размере вектора признаков получается существенно меньшая точность – 62-65%.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработанный метод ПСФОР позволяет выделять регионы головного мозга на индивидуальном уровне в ответ на когнитивные воздействия с возможностью контроля уровня синхронизации функциональной активности внутри этих регионов.

2. На основе выделенных пространственно-связанных функционально-однородных регионов можно строить детализированные нейросетевые модели функционального отклика головного мозга на конкретные когнитивные воздействия в зависимости от поставленной прикладной задачи. Эта возможность была продемонстрирована в задаче уточнения индивидуальной структуры регионов головного мозга, относящихся к «сети по умолчанию» (DMN), проявляющей функциональную активность в состоянии покоя.

3. В задаче бинарной классификации заболевания шизофрении (болен/не болен) разработанный метод ПСФОР позволяет снизить количество атласных регионов, необходимых для эффективной классификации. Таким образом, метод ПСФОР открывает возможность определения регионов, наиболее информативных для конкретных заболеваний.

На заседании 30 декабря 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Козлову Станиславу Олеговичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности «Биофизика», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета МГУ.011.9,

д.ф.-м.н., акад. РАН

Шкуринов А. П.

Ученый секретарь

диссертационного совета МГУ.011.9,

к.ф.-м.н.

Осминкина Л. А.

30 декабря 2025 г.