

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «СГУ имени  
Н.Г. Чернышевского», доктор  
географических наук, профессор



Алексей Николаевич Чумаченко

«29» августа 2025 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» на диссертационную работу Антипова Владимира Михайловича «Биофизические механизмы усвоения информации в головном мозге человека: анализ мультимодальных сигналов нейронной и глазодвигательной активности», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2. – Биофизика и 1.3.4. – Радиофизика

Диссертационная работа Антипова Владимира Михайловича посвящена исследованию биофизических механизмов усвоения информации в головном мозге человека на основе комплексного анализа мультимодальных нейрофизиологических сигналов. Работа выполнена на стыке двух научных специальностей: в рамках радиофизики разработаны новые методы обработки зашумленных глазодвигательных и электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов на основе резервуарных вычислений и алгоритмов кластеризации; в рамках биофизики выявлены электроэнцефалографические и гемодинамические биомаркеры, характеризующие нейрофизиологические механизмы успешного усвоения информации и адаптации кортикальных сетей мозга к длительной когнитивной нагрузке. Таким образом, диссертационная работа направлена на решение фундаментальной междисциплинарной задачи, связанной с изучением биофизических механизмов обработки и консолидации информации в головном мозге человека с использованием современных радиофизических методов обработки и анализа нестационарных физиологических сигналов.

## **Актуальность работы**

В современной нейронауке одной из центральных проблем остается изучение нейрофизиологических основ когнитивной деятельности человека, в частности механизмов восприятия, обработки и запоминания информации. Несмотря на значительный прогресс в этой области, многие фундаментальные вопросы о том, как мозг кодирует, консолидирует и извлекает информацию, остаются открытыми. Решение этих вопросов имеет не только теоретическое значение для понимания принципов работы мозга, но и прикладное – для совершенствования методов обучения и ранней диагностики когнитивных расстройств.

Современные методы нейровизуализации, такие как электроэнцефалография, окулография и функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия, предоставляют уникальные возможности для неинвазивного мониторинга мозговой активности. Вместе с тем, получаемые сигналы отличаются сложной структурой, нестационарностью и подвержены многочисленным артефактам различной природы. Традиционные подходы к анализу таких данных зачастую не обеспечивают требуемой точности, что диктует потребность в разработке специализированных радиофизических методов, адаптированных к особенностям биологических сигналов.

Особую значимость представляет задача выявления биофизических маркеров, отражающих успешность усвоения информации и адаптации мозга к продолжительным умственным нагрузкам. Выявление таких маркеров и понимание адаптационных механизмов открывает путь к созданию объективных методов мониторинга функционального состояния человека. Работа Антипова В.М. предлагает комплексный подход, сочетающий современные методы машинного обучения, спектрального анализа и мультимодальной регистрации, что обеспечивает высокий уровень понимания нейрофизиологических процессов.

**Целью диссертационной работы** является решение актуальной и практически значимой задачи, находящейся на стыке современной биофизики и радиофизики, направленной на разработку новых методов анализа мультимодальных данных нейронной и глазодвигательной активности и выявление различных биомаркеров, характеризующих биофизические механизмы эффективного усвоения информации.

## **Содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

**Введение** диссертационной работы содержит обоснование актуальности исследования, анализ современного состояния проблемы, формулировку цели и задач, описание научной новизны и практической значимости, а также представление основных результатов и положений, выносимых на защиту.

**В первой главе** разработаны и апробированы новые радиофизические методы обработки физиологических сигналов в условиях повышенного уровня шума. Автор предложил метод восстановления зашумленных ЭЭГ сигналов на основе резервуарных вычислений, демонстрирующий существенное превосходство над традиционными подходами. Также им же разработан алгоритм расширенной кластеризации и модельной аппроксимации для детектирования глазодвигательных характеристик, обеспечивающий высокую устойчивость к шуму при сохранении низкого уровня ложноположительных срабатываний.

**Во второй главе** представлена оригинальная экспериментальная парадигма для изучения механизмов усвоения информации из различных сенсорных модальностей. Автор выявил специфические паттерны ЭЭГ-активности, характеризующие успешное запоминание: повышение спектральной мощности в тета-, альфа- и бета-диапазонах в различных областях коры. Также установлено, что амплитуда фиксационно-связанного потенциала  $\lambda$ -ответа может служить биомаркером эффективности обработки визуальной информации.

**В третьей главе** исследованы компенсаторные механизмы адаптации кортикальных сетей мозга при длительной когнитивной нагрузке. С использованием функциональной ближней инфракрасной спектроскопии автор продемонстрировал, что сохранение эффективности выполнения задач обеспечивается функциональной перестройкой лобно-теменной сети, причем характер компенсаторных механизмов зависит от сложности выполняемой задачи.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Наибольший научный интерес представляют следующие результаты, обладающие **научной новизной, теоретической и практической значимостью**:

1. Разработка метода восстановления ЭЭГ сигналов на основе резервуарных вычислений, снижающего ошибку реконструкции по сравнению со сферической сплайн-интерполяцией.
2. Создание устойчивого к шуму метода детектирования характеристик окулограммы, обеспечивающего низкую долю ложных срабатываний в широком диапазоне отношения сигнал/шум.
3. Выявление комплекса ЭЭГ-биомаркеров успешного усвоения информации, включающего специфические изменения в тета-, альфа- и бета-диапазонах, отражающие процессы консолидации памяти.
4. Обнаружение дифференцированных механизмов адаптации мозга к утомлению в зависимости от сложности когнитивной задачи.

**Научные результаты и положения**, выносимые на защиту, обоснованы и в достаточной степени защищены.

**Личный вклад автора** заключается в проведении экспериментальных исследований, разработке программного обеспечения, предварительной обработке и анализе мультимодальных нейрофизиологических данных, написании научных статей и тезисов докладов.

**Автореферат** диссертации Антипова В.М. полностью соответствует содержанию диссертационной работы и оформлен в соответствии с предъявляемыми требованиями. Выводы, представленные в автореферате, полностью соответствуют выводам, представленным в диссертации.

**Публикации по теме диссертации** представлены в 15 научных работах, из них 9 статей в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и/или Web of Science, 7 из которых опубликована в журнале категории K1, 6 тезисов в сборниках трудов всероссийских и международных конференций, индексируемых в Web of Science и/или Scopus, 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Результаты диссертационной работы были представлены на профильных международных и российских конференциях.

#### **Замечания по содержанию диссертации**

По диссертационной работе и автореферату существенных нареканий нет. Однако, несмотря на общую положительную оценку, при изучении материалов возникли некоторые вопросы и замечания, требующие уточнения:

1. При описании получения характеристик  $\lambda$ -ответа не описаны детали процедуры расчета, а именно, не указано количество фиксационных событий, использованных для усреднения при выделении данного компонента у каждого испытуемого, а также отсутствуют данные о межиндивидуальной вариабельности характеристик  $\lambda$ -потенциала.
2. Разработанный метод резервуарных вычислений для восстановления данных сопоставляется только с линейной регрессией и сферической сплайн-интерполяцией. Было бы целесообразно провести сравнение с современными методами глубокого обучения, такими как автокодировщики или классические рекуррентные нейронные сети.
3. В главе 1, для улучшения интерпретации результатов сравнения работы алгоритмов детектирования саккад, представленных на рисунке 1.7, было бы целесообразно пояснить назначение серой пунктирной линии.

Вышеуказанные замечания касаются представления материалов и их обсуждения и не влияют на достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту.

### **Заключение**

Диссертационная работа Антипова В.М. является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему на стыке биофизики и радиофизики. Диссертация полностью соответствует специальностям 1.5.2. – Биофизика и 1.3.4. – Радиофизика.

Результаты диссертационной работы вносят существенный вклад в понимание биофизических механизмов усвоения информации и развивают методологию анализа мультимодальных нейрофизиологических сигналов. Выявленные закономерности открывают новые возможности для объективной оценки когнитивных процессов и создания адаптивных систем обучения.

По результатам диссертационной работы опубликовано 9 статей в журналах, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science, среди которых Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science (Q1), IEEE Access (Q1), IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems (Q1), The European Physical Journal Special Topics (Q2), Известия Российской академии наук. Серия физическая (Q3) и др. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Предложенные методы и алгоритмы могут найти применение в ВШЭ, МФТИ, СПбГУ, СГУ, УрФУ, подразделениях Российской академии наук, а также могут быть использованы в исследовательских лабораториях и медицинских учреждениях для анализа нейрофизиологических данных. Более того, результаты работы могут быть востребованными в системах мониторинга когнитивного состояния, а также при разработке методов ранней диагностики когнитивных нарушений.

Актуальность темы исследования, новизна полученных результатов, высокий научный уровень работы, ее теоретическая и практическая значимость позволяют сделать заключение о том, что диссертационная работа Антипова Владимира Михайловича «Биофизические механизмы усвоения информации в головном мозге человека: анализ мультимодальных сигналов нейронной и глазодвигательной активности» отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2. – Биофизика и 1.3.4. – Радиофизика.

Доклад Антипова В.М. по материалам диссертации был представлен на заседании кафедры физики открытых систем института физики.

Отзыв составлен и утвержден на заседании кафедры физики открытых систем института физики (Протокол № 1 от 29 августа 2025 г.).

Заведующий кафедрой физики открытых систем института физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», доктор физико-математических наук (01.04.03 – Радиофизика), профессор



Короновский Алексей Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Почтовый адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83,

Тел.: +7 (8452)26-16-96 +7(927)2275163; +7(8452)271496

Электронная почта: [rector@sgu.ru](mailto:rector@sgu.ru), [alexey.koronovskii@sgu.ru](mailto:alexey.koronovskii@sgu.ru)



Подпись *А.А. Короновский* удостоверяю  
Ученый секретарь  
Ученого совета СГУ *В.Г. Семенова*  
« 29 » августа 2025 г.