

Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2026. Т. 32, № 1. С. 134–143. ISSN 2073-1426

Vestnik of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics, 2026, vol. 32, no. 1, pp. 134–143.

ISSN 2073-1426

Научная статья

5.3.3. Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика

УДК 159.93

EDN QISDOQ

<https://doi.org/10.34216/2073-1426-2026-32-1-134-143>

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СОСРЕДОТОЧЕННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Буйкин Степан Вячеславович, кандидат медицинских наук, Костромской государственной университет, Кострома, Россия, bsv@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2648-3245>

Воронцов Дмитрий Борисович, кандидат педагогических наук, Костромской государственной университет, Кострома, Россия, d-vorontsov@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1427-0602>

Алеева Татьяна Николаевна, кандидат психологических наук, Костромской государственной университет, Кострома, Россия, t_adeeva@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0310-7546>

Коньшев Владимир Анатольевич, генеральный директор группы компаний «Нейроботикс», v.konyshhev@neurobotics.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0576-2626>

Коньшев Дмитрий Владимирович, руководитель отдела разработки компаний «Нейроботикс», d.konyshhev@neurobotics.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7078-9989>

Голицина Светлана Сергеевна, Костромской государственной университет, Кострома, Россия, s_golicina@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1160-6345>

Шишова Нина Геннадьевна, Костромской государственной университет, Кострома, Россия, n_shishova@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8648-408X>

Аннотация. Длительность сосредоточенного внимания является критическим когнитивным процессом, определяющим эффективность деятельности. Настоящее исследование направлено на выявление нейрофизиологических маркеров устойчивого внимания и их связи с видом когнитивной нагрузки. В исследовании приняли участие 155 здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 65 лет (средний возраст $32,4 \pm 12,8$ лет; 78 женщин, 77 мужчин), которые выполняли две когнитивные задачи различной модальности: зрительный тест Ландольта (15 минут) и слуховую корректурную пробу (6 минут). Одновременно проводилась регистрация электроэнцефалограммы с использованием 6-канальной системы NeuroPlay-6C с электродами Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2, размещенными согласно международной системе 10-20. Анализ спектральных характеристик ЭЭГ выявил, что длительность сосредоточенного наблюдения напрямую связана с динамикой мощности тета-, альфа- и бета-ритмов в различных корковых отведениях. Установлено, что при выполнении зрительной задачи наблюдается повышение мощности тета-ритма в затылочных областях (O1, O2), сопровождающееся снижением бета-активности в височных отведениях (T3, T4), что коррелирует с увеличением времени реакции и снижением точности. При слуховой нагрузке выявлено повышение фронтального тета-ритма (Fp1, Fp2) и изменение альфа-активности в теменно-височных областях.

Ключевые слова: электроэнцефалография, когнитивная нагрузка, длительное сосредоточенное наблюдение, сосредоточенное внимание, тест Ландольта, слуховая проба, нейромаркеры.

Для цитирования: Буйкин С.В., Воронцов Д.Б., Алеева Т.Н., Коньшев В.А., Коньшев Д.В., Голицина С.С., Шишова Н.Г. Нейрофизиологические маркеры длительности сосредоточенного наблюдения // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2026. Т. 32, № 1. С. 134–143. <https://doi.org/10.34216/2073-1426-2026-32-1-134-143>

NEUROPHYSIOLOGICAL MARKERS OF THE DURATION OF FOCUSED OBSERVATION

Stepan V. Buikin, Candidate of Medical Sciences, Kostroma State University, Kostroma, Russia, bsv@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2648-3245>

Dmitry B. Vorontsov, Candidate of Pedagogical Sciences, Kostroma State University, Kostroma, Russia, d-vorontsov@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1427-0602>

Tatiana N. Adeeva, Candidate of Psychological Sciences, Kostroma State University, Kostroma, Russia, t_adeeva@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0310-7546>

Vladimir A. Konyshev, Chief Executive Officer of Neurobotics Company, v.konyshev@neurobotics.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0576-2626>

Dmitry VI. Konyshev, Head of the Development Department at Neurobotics, d.konyshev@neurobotics.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7078-9989>

Svetlana S. Golitsina, Kostroma State University, Kostroma, Russia, s_golitsina@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1160-6345>

Nina G. Shishova, Kostroma State University, Kostroma, Russia, n_shishova@kosgos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8648-408X>

Annotation. The duration of focused attention is a critical cognitive process that determines the effectiveness of an activity. The present study is aimed at identifying neurophysiological markers of sustained attention and their relationship to the type of cognitive load. The study involved 155 healthy volunteers aged 18 to 65 years (average age 32.4 ± 12.8 years, 78 women, 77 men) who performed two cognitive tasks of different modalities: the visual Landolt test (15 minutes) and the auditory correction test (6 minutes). At the same time, an electroencephalogram was recorded using a 6-channel NeuroPlay-6C system with Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2 electrodes placed according to the international 10-20 system. Analysis of the spectral characteristics of the EEG revealed that the duration of focused observation is directly related to the dynamics of the power of theta, alpha and beta rhythms in various cortical leads. It was found that when performing a visual task, there is an increase in theta rhythm power in the occipital regions (O1, O2), accompanied by a decrease in beta activity in the temporal leads (T3, T4), which correlates with an increase in reaction time and a decrease in accuracy. An increase in the frontal theta rhythm (Fp1, Fp2) and a change in alpha activity in the parietotemporal regions were detected during auditory loading.

Keywords: electroencephalography, cognitive load, long-term focused observation, focused attention, Landolt test, auditory test, neuromarkers.

For citation: Buikin S.V., Vorontsov D.B., Adeeva T.N., Konyshev V.A., Konyshev D.VI., Golitsina S.S., Shishova Ni.G. Neurophysiological markers of the duration of focused observation Vestnik of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics, 2026, vol. 32, no. 1, pp. 134–143. <https://doi.org/10.34216/2073-1426-2026-32-1-134-143>

Актуальность и постановка проблемы. Сосредоточенное внимание представляет собой фундаментальный когнитивный процесс, обеспечивающий поддержание устойчивого реагирования и непрерывных усилий в течение продолжительных периодов времени. В условиях различных видов деятельности от обучения до опасных производств и перевозок обучающиеся и сотрудники сталкиваются с возрастающими когнитивными нагрузками и необходимостью обработки больших объемов информации различных модальностей. Эффективность деятельности во многом определяется способностью специалистов поддерживать концентрацию внимания при выполнении различных задач, требующих как зрительной, так и слуховой обработки информации.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) как неинвазивный метод регистрации биоэлектрической активности мозга предоставляет уникальную возможность для объективной оценки когнитивных процессов в реальном времени. Исследования последних лет

убедительно демонстрируют, что тета- и альфа-ритмы наиболее тесно связаны с процессами внимания и рабочей памяти, в то время как бета-активность ассоциируется с активным когнитивным контролем и планированием действий [Chiang et al.].

Особый интерес представляет вопрос о специфичности нейрофизиологических паттернов при различных видах когнитивной нагрузки. Зрительные задачи, требующие устойчивого внимания, такие как корректурная проба Ландольта, и слуховые задачи на распознавание акустических стимулов предъявляют различные требования к когнитивной системе и, предположительно, должны характеризоваться различными паттернами мозговой активности.

Проблема настоящего исследования обусловлена дефицитностью и мозаичностью представлений о специфических нейрофизиологических маркерах длительности сосредоточенного наблюдения при различных видах когнитивной нагрузки. Несмотря на значительный прогресс в понимании отдельных аспектов

этой проблемы, комплексный подход, интегрирующий анализ спектральных характеристик ЭЭГ, показателей выполнения когнитивных задач различных модальностей и индивидуальных характеристик испытуемых, остается недостаточно реализованным. **Цель исследования:** выявить нейрофизиологические маркеры длительности сосредоточенного наблюдения, определить их связь с видом когнитивной нагрузки.

Задачи исследования:

1. Проанализировать динамику спектральных характеристик ЭЭГ (мощность дельта-, тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов) в отведениях Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2 при выполнении задач на длительное сосредоточенное наблюдение различных модальностей.

2. Установить корреляционные связи между изменениями показателей ЭЭГ и параметрами выполнения когнитивных задач (точность, продуктивность, время реакции).

3. Выявить специфические паттерны мозговой активности, характерные для зрительной (тест Ландольта) и слуховой (корректирующая проба) когнитивной нагрузки.

Гипотеза исследования: длительность сосредоточенного наблюдения напрямую связана с видом когнитивной нагрузки и проявляется в специфических паттернах мощности ритмов ЭЭГ в различных корковых отведениях.

Теоретические основания исследования

Нейрофизиологические основы сосредоточенного внимания. Сосредоточенное внимание представляет собой сложный когнитивный процесс, обеспечивающий селективную обработку релевантной информации при одновременном подавлении irrelevantных стимулов [Antonenko et al.]. Нейрофизиологические исследования последних десятилетий существенно расширили понимание мозговых механизмов, лежащих в основе этого процесса. Современная концепция внимания рассматривает его не как унитарную функцию, а как результат взаимодействия распределенных нейронных сетей, включающих фронтальные, теменные, височные и затылочные области коры головного мозга [Boksem et al.].

Фундаментальную роль в обеспечении устойчивого внимания играет префронтальная кора, которая осуществляет исполнительный контроль и регуляцию когнитивных процессов [Chiang et al.]. Электрофизиологические исследования демонстрируют, что активность фронтальных областей, отражаемая в параметрах ЭЭГ, тесно связана с эффективностью выполнения задач, требующих длительной концентрации внимания. В частности, повышение мощности тета-ритма во фронтальных отведениях рассматривается как индикатор когнитивного контроля и коррелирует с успешностью мониторинга конфликтов и стратегической регуляции поведения [Jar et al.].

Теменные и затылочные области играют критическую роль в обработке сенсорной информации и поддержании перцептивного внимания [MacLean et al.]. Альфа-ритм, регистрируемый преимущественно в теменно-затылочных отведениях, демонстрирует функциональную избирательность в отношении пространственного и объектного внимания. Подавление альфа-активности в контралатеральных областях при направлении внимания на соответствующую сторону пространства рассматривается как механизм функционального ингибирования, обеспечивающий селективную обработку информации [Barry et al.; Klimesch 1997].

Височные области вовлечены в обработку акустической информации и участвуют в поддержании слухового внимания. Бета-активность в височных и затылочных отведениях демонстрирует положительную корреляцию с уровнем зрительного внимания: повышение бета-мощности предшествует правильным ответам, тогда как отсутствие изменений бета-активности наблюдается перед ошибочными реакциями [Woodman].

Электроэнцефалографические маркеры когнитивной нагрузки. Когнитивная нагрузка, определяемая как количество умственных ресурсов, необходимых для выполнения задачи, находит отражение в специфических изменениях спектральных характеристик ЭЭГ [Anguera et al.]. Систематический анализ литературы показывает, что различные частотные диапазоны ЭЭГ дифференциально реагируют на изменения когнитивных требований.

Тета-ритм (4–8 Гц) является наиболее надежным индикатором когнитивной нагрузки [Portnova et al.]. Анализ исследований демонстрирует, что повышение мощности тета-ритма, особенно в фронтальных областях, положительно коррелирует со сложностью задачи, нагрузкой на рабочую память и общим уровнем когнитивного напряжения [Jensen et al.]. Исследования с использованием имитации вождения показали, что ситуации, требующие усиленного внимания в течение длительного времени, отражаются на ЭЭГ увеличением мощности тета-ритма в сочетании с уменьшением мощности альфа-ритма [Grandy et al.].

Альфа-ритм (8–14 Гц) демонстрирует более сложную зависимость от когнитивной нагрузки [Kamzanova et al.]. Альфа-подавление в теменно-затылочных областях ассоциируется с активной обработкой визуальной информации и поддержанием репрезентаций в рабочей памяти, тогда как увеличение альфа-мощности может отражать функциональное ингибирование irrelevantной информации [Klimesch, 1999]. В экспериментах с различными уровнями задачи наблюдается дифференциальный паттерн альфа-активности: она возрастает в фронтальных областях при повышении сложности

задачи, но снижается в височных, теменных и затылочных областях [Gola et al.].

Бета-ритм (14–35 Гц) связан с процессами активного когнитивного контроля, планирования действий и перцептивной обработки информации [Smallwood et al.]. Его повышение наблюдается при выполнении задач, требующих зрительного внимания и моторной подготовки, а снижение бета-мощности в состоянии покоя в задаче-релевантных областях мозга предшествует ухудшению поведенческих показателей [Gevins et al.; Spitzer et al.].

Дельта-ритм (0,5–4 Гц) традиционно ассоциируется с глубоким сном и бессознательными процессами, однако в состоянии бодрствования повышение дельта-активности может указывать на развитие когнитивного утомления и снижение уровня бодрствования [McIntosh et al.]. Увеличение дельта-мощности в затылочных областях сопровождается удлинением времени реакции и предшествует пропускам целевых стимулов [Wróbel].

Гамма-ритм (выше 30 Гц) отражает процессы высокоуровневой когнитивной обработки, включая восприятие, решение проблем и сознательную обработку информации [Salthouse et al.]. Высокая гамма-активность во время выполнения речевых задач указывает на интенсивные когнитивные усилия. Исследования с использованием имитации собеседования на работу демонстрируют, что повышенная гамма-активность коррелирует с усиленным когнитивным напряжением при формулировании ответов [Palva et al.].

Интегративные индексы, такие как отношение тета/альфа и бета/(тета + альфа), разработаны для комплексной оценки когнитивной нагрузки [Rangaswamy et al.]. Индекс вовлеченности бета/(тета + альфа) демонстрирует прямую корреляцию с уровнем задачи и эффективно дифференцирует состояния различной когнитивной нагрузки. Отношение тета/альфа также показывает чувствительность к изменениям когнитивной сложности задачи, при этом его увеличение связано с повышением требований к когнитивным ресурсам [Lin et al.].

Модально-специфические аспекты когнитивной нагрузки. Различные модальности когнитивной нагрузки, зрительная и слуховая, характеризуются специфическими паттернами мозговой активности, отражающими функциональную специализацию корковых областей [Pal et al.].

Зрительная когнитивная нагрузка преимущественно вовлекает затылочные и теменные области коры [Reynolds et al.]. При выполнении задач на зрительное внимание, таких как корректурная проба Ландольта, наблюдается специфический паттерн ЭЭГ-активности. Исследования с использованием визуальных задач на поиск демонстрируют, что затылочные области активируются, отражая непрерывную

обработку визуальной информации. При увеличении сложности зрительной задачи отмечается повышение тета-активности в затылочных отведениях и модуляция альфа-ритма в теменных областях. Альфа-подавление в контралатеральных затылочных областях служит индикатором пространственно-селективного внимания и эффективности обработки визуальной информации [Vysata et al.].

Длительное выполнение зрительных задач, требующих устойчивой концентрации, приводит к специфическим изменениям в паттернах ЭЭГ, отражающих развитие когнитивного утомления [Boksem et al.]. В исследованиях устойчивого зрительного внимания в реальных условиях классной комнаты установлено, что увеличение времени реакции предшествует повышению дельта- и тета-мощности в затылочной области и снижению бета-активности в затылочных и височных отведениях. Эти изменения интерпретируются как снижение эффективности сенсорной обработки и уменьшение уровня корковой активации. Примечательно, что изменения в отношении бета/тета в затылочной области служат чувствительным индикатором динамики зрительного внимания в течение времени [Gevins et al.].

Слуховая когнитивная нагрузка связана с активацией височных и фронтальных областей коры [Klimesch, 1999]. При выполнении слуховых задач, таких как корректурная проба на распознавание акустических стимулов, наблюдается специфический паттерн активации. Исследования слухового внимания в условиях шума показывают, что повышение когнитивной нагрузки при обработке речи в шумной среде сопровождается значимым снижением мощности альфа-ритма, отражающим увеличение когнитивных усилий [Grandy et al.].

Принципиально важным является различие в динамике фронтального тета-ритма при различных видах когнитивной нагрузки [Jar et al.]. При зрительных задачах фронтальный тета преимущественно отражает исполнительный контроль и координацию внимания, тогда как при слуховых задачах наблюдается более выраженное повышение фронтальной тета-активности, связанное с процессами удержания и манипулирования информацией в рабочей памяти [Klimesch, 1997].

Процедура исследования. Общая характеристика выборки: 155 человек. Возрастной диапазон: от 18 до 49 лет, средний возраст 29,6 лет. Гендерное распределение: 67 мужчин и 88 женщин. Все участники дали письменное информированное согласие на участие в исследовании. Критериями включения служили: возраст 18–50 лет, отсутствие неврологических и психических заболеваний в анамнезе, нормальное или скорректированное до нормально-го зрение, нормальный слух. Критериями исключе-

ния были: прием психоактивных препаратов в течение последних 2 недель, наличие имплантированных электронных устройств, беременность, острые соматические заболевания. Экспериментальный протокол был разработан с учетом требований к комплексной оценке когнитивного состояния и включал следующие этапы общей продолжительностью 28 минут:

1. Подготовка к пробам – настройка оборудования, инструктаж участника (2 минуты).

2. Тест САН – с регистрацией ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами (3 минуты).

3. Тест Ландольта – 5 сессий по 3 минуты каждая (L1-L5), общее время – 15 минут. Регистрировались следующие показатели: Q – общее количество правильно найденных целевых стимулов, N – количество ошибок, A – точность выполнения задачи (отношение неправильных ответов к общему количеству просмотренных символов), P – продуктивность (общее количество просмотренных символов).

4. Слуховые пробы – 6 сессий по 1 минуте каждая (H1-H6), общее время 6 минут. Пробы включали задачи на селективное слуховое внимание. Участникам через наушники предъявлялись последовательности звуковых стимулов различной частоты. Задача заключалась в обнаружении целевых стимулов и нажатии кнопки при их появлении. Регистрировались следующие показатели: G – продуктивность, AP – точность (процент успешности), R – скорость реакций.

5. Фоновая ЭЭГ – повторная регистрация в состоянии покоя (2 минуты). Регистрация ЭЭГ проводилась с использованием 6-канальной системы NeuroPlay-6C с активными электродами, расположенными в соответствии с международной системой 10-20: Fp1, Fp2 (фронтальные области), T3, T4 (височные области), O1, O2 (затылочные области). Референтный электрод располагался на мочке левого уха, заземляющий – на лбу. Частота дискретизации составляла 125 Гц. Обработка сигнала включала следующие этапы: полосовая фильтрация 0,5–50 Гц для удаления артефактов; сегментация на эпохи по 2 секунды с перекрытием 50 %; спектральный анализ с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Для анализа использовались четыре основных частотных диапазона: Дельта (δ): 1–3 Гц; Тета (θ): 4–7 Гц; Альфа (α): 8–12 Гц; Бета (β): 13–30 Гц.

Для каждого канала и частотного диапазона рассчитывались три метрики: суммарная мощность (sum), индекс мощности (PI) и относительная мощность (%).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием статистического пакета SPSS 21 и пакета расчетных алгоритмов Excel. Использовались: дескриптивная статистика, корреляционный анализ Спирмена, анализ по всему выбору и выделению групп с учетом возраста и пола.

Результаты исследования длительности сосредоточенного наблюдения зрительной модальности и его ЭЭГ маркеров. Выборка демонстрирует широкий разброс в продуктивности (Q, P) и количе-

Таблица 1

Показатели сосредоточенного наблюдения зрительной модальности в общей выборке (N = 155)

Показатель	Минимум	Максимум	Среднее	Станд. отклонение
Q (количество)	1077,0	4176,0	2044,87	401,4
N (ошибки)	1,00	288,00	37,123	31,05
A (точность)	0,45	0,99	0,862	0,088
P (продуктивность)	188,62	542,72	349,875	65,67

Таблица 2

Статистически значимые корреляции (по Спирмену) между параметрами ЭЭГ и показателями сосредоточенного наблюдения зрительной модальности (N = 155)

Показатели ЭЭГ	Q (количество)	N (ошибки)	A (точность)	P (продуктивность)
T_β_PI		0,178*	-0,181*	
T_β_%		0,265**	-0,255**	
T_θ_%		-0,224**	0,204*	
T_θ_amp	-0,162*	-0,231**	0,192*	
F_α_amp	-0,246**	-0,173*		-0,165*
F_β_PI	0,213**	0,189*		
F_β_%	0,198*	0,187*		
F_θ_%	-0,178*			
_θ_amp	-0,256**	-0,206*		-0,160*

Примечание: * p < 0,05, ** p < 0,01.

стве ошибок (N), что указывает на значительные индивидуальные различия в способности к длительному сосредоточенному наблюдению (табл. 1). Средняя точность выполнения задачи находится на высоком уровне (0,86).

Были выявлены значимые корреляции параметров ЭЭГ и показателей сосредоточенного наблюдения зрительной модальности (табл. 2).

Анализ корреляций между спектральной мощностью ритмов ЭЭГ в стандартных диапазонах и показателями сосредоточенного наблюдения зрительной модальности выявил устойчивые паттерны, специфичные для фронтальных и височных корковых зон.

В височной коре обнаружены разнонаправленные корреляции бета- и тета-активности с качественными показателями внимания. Мощность высокочастотного бета-ритма (T_{β}) продемонстрировала положительную связь с количеством ошибок ($r = 0,178 - 0,265$) и отрицательную – с точностью ($r = -0,181 - -0,255$). Это позволяет интерпретировать усиление бета-активности в данных областях как неблагоприятный маркер, отражающий состояние когнитивного напряжения и затрудненной обработки информации.

Напротив, тета-ритм (T_{θ}) показал противоположную картину: его мощность отрицательно коррелировала с числом ошибок ($r = -0,224, p < 0,01$) и положительно – с точностью ($r = 0,204, p < 0,05$). Аналогичная связь наблюдалась для амплитуды тета-колебаний (T_{θ_amp}). Полученные данные согласуются с представлением о тета-активности височных зон как об индикаторе процессов рабочей памяти и успешного когнитивного контроля, где ее усиление сопряжено с более тщательным анализом стимулов и снижением вероятности ошибок.

Во фронтальной коре наиболее диагностичным оказался альфа-ритм (F_{α_amp}), амплитуда которого продемонстрировала устойчивые отрицательные корреляции со всеми основными показателями внимания: объемом работы ($r = -0,246$), количеством ошибок ($r = -0,173$) и общей продуктивностью ($r = -0,165$). Данный результат подтверждает классическую трактовку фронтальной альфа-десинхронизации как надежного электрографического признака корковой активации и вовлеченности в текущую когнитивную задачу [Xie et al.].

Корреляционная картина для бета-ритма (F_{β}) оказалась амбивалентной: положительная связь с объемом работы ($r = 0,198 - 0,213$) сопровождалась положительной же связью с количеством ошибок ($r = 0,187 - 0,189$). Это указывает на то, что усиление фронтальной бета-активности сопутствует попыткам поддержания высокого темпа деятельности, однако достигается это ценой снижения точности, что может отражать компенсаторную, но неоптимальную мобилизацию ресурсов.

Тета-ритм (F_{θ}) во фронтальных отведениях показал отрицательную связь с продуктивностью ($r = -0,256, p < 0,01$) и объемом работы ($r = -0,178$). Учитывая установленную роль фронтальной тета-активности как маркера умственного усилия и нагрузки на рабочую память (Sauseng P. et al., 2010), данный результат можно интерпретировать двояко: как свидетельство неэффективного расходования когнитивных ресурсов частью испытуемых либо как отражение субъективно более высокой сложности задачи для данной группы.

Анализ выявленных связей позволяет выделить два конкурирующих паттерна нейрофизиологической активности, ассоциированных с различными стратегиями достижения производительности.

Паттерн эффективного контроля («Точность и контроль»), который характеризуется сочетанием двух ключевых признаков: фронтальная альфа-десинхронизация (снижение F_{α_amp}), что свидетельствует о целенаправленной активации структур, ответственных за концентрацию и регуляцию действий, и усиление тета-ритма в височных отведениях (рост T_{θ}), отражающего активный мониторинг информации и работу механизмов контроля ошибок. На поведенческом уровне этот паттерн надежно связан с высокой точностью выполнения задачи (А).

Паттерн напряженной компенсации («Скорость ценой ошибок»). Альтернативная стратегия проявляется в генерализованном увеличении бета-активности как в лобных, так и в височных областях (рост F_{β} и T_{β}). Электрографическая картина в данном случае соответствует состоянию избыточной мобилизации и когнитивного напряжения. Поведенческим коррелятом такого паттерна является поддержание высокого темпа работы (Q), однако это происходит за счет значимого роста числа ошибок (N) и, как следствие, снижения итоговой точности.

Таким образом, нейрофизиологические маркеры позволяют дифференцировать не просто уровень производительности, но и лежащую в его основе стратегию: эффективный контроль, основанный на оптимальной активации и тщательном мониторинге, или напряженную компенсацию, направленную на поддержание темпа в условиях снижения точности.

Результаты исследования длительности сосредоточенного наблюдения слуховой модальности и его ЭЭГ маркеров представлены в таблице 3.

Исключительно высокий средний показатель продуктивности (98,9 % от максимума) свидетельствует о том, что задача была доступна для выполнения практически всеми участниками. Минимальное стандартное отклонение указывает на однородность результатов в выборке.

Обнаружена статистически значимая отрицательная корреляция между индексом мощности тета-рит-

Таблица 3

Показатели сосредоточенного наблюдения зрительной модальности в общей выборке (N = 155)

	N	Минимум	Максимум	Среднее	Стд. отклонение
G (продуктивность)	155,00	343,00	360,00	355,96	3,66
AP (точность)	155,00	0,95	1,00	0,99	0,01
R (скорость реакций)	155,00	493,00	883,00	643,63	85,82

Таблица 4

Статистически значимые корреляции (по Спирмену) между параметрами ЭЭГ и показателями сосредоточенного наблюдения слуховой модальности (N = 155)

Показатели ЭЭГ	R (скорость реакций)
F_θ_PI	-0,208**
P	0,009

ма во фронтальной коре (F_θ_PI) и временем реакции в слуховой пробе ($r = -0,208$, $p = 0,009$). Полученная связь указывает на то, что усиление тета-синхронизации в лобных областях связано с ускорением обработки слуховой информации и сокращением времени принятия решения. Таким образом, F_θ_PI выступает в роли нейрофизиологического маркера эффективности мобилизации ресурсов слухового внимания.

В отличие от результатов для зрительной модальности, в слуховой пробе не обнаружено значимых связей фронтального тета-ритма с показателями точности. Это различие может отражать фундаментальную разницу в нейрокогнитивных стратегиях обработки информации. Зрительное внимание задействует более распределенные сети (фронтально-теменную), требующие комплексного контроля за выбором стимула, его удержанием в фокусе и подавлением помех, что и отражается в корреляциях как со скоростью, так и с точностью.

Слуховое внимание, особенно в задачах на простую реакцию или обнаружение, может в большей степени зависеть от скорости и эффективности сенсорно-моторной трансмиссии. Фронтальный тета-ритм в данном контексте может отражать не столько контроль за ошибками (точностью), сколько эффективность «запуска» и поддержания состояния готовности к обнаружению и быстрому реагированию на целевой стимул.

Отсутствие связи с точностью можно объяснить низким уровнем сложности задачи: слуховая проба была относительно простой и ресурсов когнитивного контроля требовалось немного. Все испытуемые могли выполнять ее с высокой точностью, что привело к низкой вариативности показателя точности и, как следствие, к отсутствию значимых корреляций. В этом случае тета-ритм коррелировал с индивидуальными различиями именно в скорости реакции.

Таким образом, полученные данные демонстрируют модально-специфичную роль фронтального

тета-ритма. В условиях слухового задания он выступает преимущественно как маркер эффективности мобилизации ресурсов, оптимизирующий скорость сенсорно-моторной обработки. Отсутствие связи с точностью, в отличие от данных по зрительной модальности, позволяет предположить, что слуховое внимание в меньшей степени задействует механизмы сложного когнитивного контроля, связанные с точностью, и в большей степени зависит от скоростных параметров активации нейронных сетей. Этот результат подчеркивает важность учета специфики сенсорной модальности при интерпретации нейрофизиологических коррелятов внимания.

Выводы. Исследование выявило устойчивые и специфические нейрофизиологические маркеры, связанные с длительностью сосредоточенного наблюдения при различных видах когнитивной нагрузки. Установлено, что эффективность выполнения задач напрямую коррелирует с динамикой мощности тета-, альфа- и бета-ритмов ЭЭГ в лобных, височных и затылочных областях коры.

Обнаружены принципиальные различия в паттернах мозговой активности при зрительной и слуховой нагрузке. Для зрительной модальности характерен комплексный паттерн, включающий повышение тета-мощности в затылочных отведениях (O1, O2) и снижение бета-активности в височных (T3, T4), что коррелирует с увеличением времени реакции и снижением точности. Эффективная стратегия («Точность и контроль») связана с фронтальной альфа-десинхронизацией (снижение F_α_amp) и усилением височной тета-активности. Для слуховой модальности ключевым маркером скорости обработки служит фронтальный тета-ритм (F_θ_PI), усиление которого отрицательно коррелирует со временем реакции.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что длительность сосредоточенного наблюдения имеет четкие нейрофизиологические кор-

реляты, характер которых зависит от модальности когнитивной нагрузки.

Список литературы

Базанова О.М. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы // Успехи физиологических наук. 2009. Т. 40, № 3. С. 32–53. EDN KPTQWH.

Anguera J.A., Boccanfuso J., Rintoul J.L., Al-Hashimi O. et al. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 2013, no. 501 (7465), pp. 97–101.

Antonenko P., Paas F., Grabner R., Van Gog T. Using electroencephalography to measure cognitive load. *Educational Psychology Review*, 2010, vol. 22 (4), pp. 425–438.

Barry R.J., Clarke A.R., Johnstone S.J., Magee C.A. et al. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical Neurophysiology*, 2007, vol. 118 (12), pp. 2765–2773.

Boksem M.A., Meijman T.F., Lorist M.M. Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. *Cognitive Brain Research*, 2005, vol. 25 (1), pp. 107–116.

Borghini G., Astolfi L., Vecchiato G., Mattia D. et al. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2014, vol. 44, pp. 58–75.

Buffalo E.A., Fries P., Landman R., Buschman T.J. et al. Laminar differences in gamma and alpha coherence in the ventral stream. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, vol. 108 (27), pp. 11262–11267.

Chiang A.K., Rennie C.J., Robinson P.A., van Albada S.J. et al. Age trends and sex differences of alpha rhythms including split alpha peaks. *Clinical Neurophysiology*, 2011, vol. 122 (8), pp. 1505–1517.

Gevins A., Smith M.E. Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2003, vol. 4 (1-2), pp. 113–131.

Gola M., Magnuski M., Szumska I., Wróbel A. EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits in the visual performance of elderly subjects. *International Journal of Psychophysiology*, 2013, vol. 89 (3), pp. 334–341.

Grandy T.H., Werkle-Bergner M., Chicherio C., Lövdén M. et al. Individual alpha peak frequency is related to latent factors of general cognitive abilities. *NeuroImage*, 2013, vol. 79, pp. 10–18.

Jap B.T., Lal S., Fischer P., Bekiaris E. Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Systems with Applications*, 2009, vol. 36 (2), pp. 2352–2359.

Jensen O., Tesche C.D. Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working me-

memory task. *European Journal of Neuroscience*, 2002, vol. 15 (8), pp. 1395–1399.

Kamzanova A.T., Matthews G., Kustubayeva A.M., Jakupov S.M. EEG indices to time-on-task effects and to a workload manipulation (cueing). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2014, vol. 8 (2), pp. 1919–1922.

Klimesch W. EEG-alpha rhythms and memory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 1997, vol. 26 (1-3), pp. 319–340.

Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 1999, vol. 29(2-3), pp. 169–195.

Lin C.T., Chuang C.H., Huang C.S. et al. Wireless and wearable EEG system for evaluating driver vigilance. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 2014, vol. 8 (2), pp. 165–176.

MacLean M.H., Arnell K.M., Busseri M.A. Dispositional affect predicts temporal attention costs in the attentional blink paradigm. *Cognition & Emotion*, 2012, vol. 26 (8), pp. 1549–1564.

McIntosh A.R., Grady C.L., Ungerleider L.G., Haxby J.V. et al. Network analysis of cortical visual pathways mapped with PET. *Journal of Neuroscience*, 1994, vol. 14 (2), pp. 655–666.

Pal N.R., Chuang C.Y., Ko L.W., Chao C.F. et al. EEG-based subject- and session-independent drowsiness detection: An unsupervised approach. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008, no. 1, p. 11.

Palva J.M., Monto S., Kulashekhar S., Palva S. Neuronal synchrony reveals working memory networks and predicts individual memory capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, vol. 107 (16), pp. 7580–7585.

Pope A.T., Bogart E.H., Bartolome D.S. Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task. *Biological Psychology*, 1995, vol. 40 (1-2), pp. 187–195.

Portnova G.V., Atanov M.S., Skiteva L.I. Dynamics of EEG during development and aging. *Human Physiology*, 2022, vol. 48 (6), pp. 630–641.

Puma S., Matton N., Paubel P.V., Raufaste É., & El-Yagoubi R. Using theta and alpha band power to assess cognitive workload in multitasking environments. *International Journal of Psychophysiology*, 2018, vol. 123, pp. 111–120.

Rangaswamy M., Porjesz B., Chorlian D.B., Wang K. et al. Beta power in the EEG of alcoholics. *Biological Psychiatry*, 2002, vol. 52 (8), pp. 831–842.

Raufi B., Longo L. An evaluation of the EEG alpha-to-theta and theta-to-alpha band ratios as indexes of mental workload. *Frontiers in Neuroinformatics*, 2022, no. 16, 861967.

Reynolds G.D., Courage M.L., Richards J.E. Infant attention and visual preferences: Converging evidence from behavior, event-related potentials, and cortical source localization. *Developmental Psychology*, 2010, vol. 46 (4), pp. 886–904.

Richards J.E. Attention affects the recognition of briefly presented visual stimuli in infants: An ERP study. *Developmental Science*, 2003, vol. 6 (3), pp. 312–328.

Salthouse T.A. Consequences of age-related cognitive declines. *Annual Review of Psychology*, 2012, vol. 63, pp. 201–226.

Smallwood J., Schooler J.W. The science of mind wandering: Empirically navigating the stream of consciousness. *Annual Review of Psychology*, 2015, vol. 66, pp. 487–518.

Spitzer B., Haegens S. Beyond the status quo: A role for beta oscillations in endogenous content (re) activation. *eNeuro*, 2017, vol. 4 (4), ENEURO.0170-17.2017.

Tsang P.S., Vidulich M.A. Mental workload and situation awareness. *Handbook of human factors and ergonomics*, ed. by G. Salvendy. John Wiley & Sons, 2006, pp. 243–268.

Ÿysata O., Kukal J., Prochazka A., Pazdera L. et al. Age-related changes in EEG coherence. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, 2014, vol. 48 (1), pp. 35–38.

Woodman G.F., Luck S.J. Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 1999, vol. 400 (6747), pp. 867–869.

Wróbel A. Beta activity: A carrier for visual attention. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 2000, vol. 60 (2), pp. 247–260.

Xie B., Salvendy G. Prediction of mental workload in single and multiple tasks environments. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 2000, vol. 4 (3), pp. 213–242.

References

Bazanovа O.M. *Sovremennaya interpretaciya al'fa-aktivnosti e'lektroe'ncefalogrammy* [Modern interpretation of alpha activity of the electroencephalogram]. *Uspexi fiziologicheskix nauk* [Advances in Physiological Sciences], 2009, vol. 40, no. 3, pp. 32–53. (In Russ.)

Anguera J.A., Boccanfuso J., Rintoul J.L., Al-Hashimi O. et al. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 2013, no. 501 (7465), pp. 97–101.

Antonenko P., Paas F., Grabner R., Van Gog T. Using electroencephalography to measure cognitive load. *Educational Psychology Review*, 2010, vol. 22 (4), pp. 425–438.

Barry R.J., Clarke A.R., Johnstone S.J., Magee C.A. et al. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical Neurophysiology*, 2007, vol. 118 (12), pp. 2765–2773.

Boksem M.A., Meijman T.F., Lorist M.M. Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. *Cognitive Brain Research*, 2005, vol. 25 (1), pp. 107–116.

Borghini G., Astolfi L., Vecchiato G., Mattia D. et al. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2014, vol. 44, pp. 58–75.

Buffalo E.A., Fries P., Landman R., Buschman T.J. et al. Laminar differences in gamma and alpha coherence in the ventral stream. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, vol. 108 (27), pp. 11262–11267.

Chiang A.K., Rennie C.J., Robinson P.A., van Albalda S.J. et al. Age trends and sex differences of alpha rhythms including split alpha peaks. *Clinical Neurophysiology*, 2011, vol. 122 (8), pp. 1505–1517.

Gevens A., Smith M.E. Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2003, vol. 4 (1-2), pp. 113–131.

Gola M., Magnuski M., Szumska I., Wróbel A. EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits in the visual performance of elderly subjects. *International Journal of Psychophysiology*, 2013, vol. 89 (3), pp. 334–341.

Grandy T.H., Werkle-Bergner M., Chicherio C., Lövdén M. et al. Individual alpha peak frequency is related to latent factors of general cognitive abilities. *NeuroImage*, 2013, vol. 79, pp. 10–18.

Jap B.T., Lal S., Fischer P., Bekiaris E. Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Systems with Applications*, 2009, vol. 36 (2), pp. 2352–2359.

Jensen O., Tesche C.D. Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal of Neuroscience*, 2002, vol. 15 (8), pp. 1395–1399.

Kamzanova A.T., Matthews G., Kustubayeva A.M., Jakupov S.M. EEG indices to time-on-task effects and to a workload manipulation (cueing). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2014, vol. 8 (2), pp. 1919–1922.

Klimesch W. EEG-alpha rhythms and memory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 1997, vol. 26 (1-3), pp. 319–340.

Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 1999, vol. 29(2-3), pp. 169–195.

Lin C.T., Chuang C.H., Huang C.S. et al. Wireless and wearable EEG system for evaluating driver vigilance. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 2014, vol. 8 (2), pp. 165–176.

MacLean M.H., Arnell K.M., Busseri M.A. Dispositional affect predicts temporal attention costs in the at-

tentional blink paradigm. *Cognition & Emotion*, 2012, vol. 26 (8), pp. 1549–1564.

McIntosh A.R., Grady C.L., Ungerleider L.G., Haxby J.V. et al. Network analysis of cortical visual pathways mapped with PET. *Journal of Neuroscience*, 1994, vol. 14 (2), pp. 655–666.

Pal N.R., Chuang C.Y., Ko L.W., Chao C.F. et al. EEG-based subject-and session-independent drowsiness detection: An unsupervised approach. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008, no. 1, p. 11.

Palva J.M., Monto S., Kulashekhar S., Palva S. Neuronal synchrony reveals working memory networks and predicts individual memory capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, vol. 107 (16), pp. 7580–7585.

Pope A.T., Bogart E.H., Bartolome D.S. Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task. *Biological Psychology*, 1995, vol. 40 (1-2), pp. 187–195.

Portnova G.V., Atanov M.S., Skiteva L.I. Dynamics of EEG during development and aging. *Human Physiology*, 2022, vol. 48 (6), pp. 630–641.

Puma S., Matton N., Paubel P.V., Raufaste É., & El-Yagoubi R. Using theta and alpha band power to assess cognitive workload in multitasking environments. *International Journal of Psychophysiology*, 2018, vol. 123, pp. 111–120.

Rangaswamy M., Porjesz B., Chorlian D.B., Wang K. et al. Beta power in the EEG of alcoholics. *Biological Psychiatry*, 2002, vol. 52 (8), pp. 831–842.

Raufi B., Longo L. An evaluation of the EEG alpha-to-theta and theta-to-alpha band ratios as indexes of mental workload. *Frontiers in Neuroinformatics*, 2022, no. 16, 861967.

Reynolds G.D., Courage M.L., Richards J.E. Infant attention and visual preferences: Converging evidence from behavior, event-related potentials, and cortical

source localization. *Developmental Psychology*, 2010, vol. 46 (4), pp. 886–904.

Richards J.E. Attention affects the recognition of briefly presented visual stimuli in infants: An ERP study. *Developmental Science*, 2003, vol. 6 (3), pp. 312–328.

Salthouse T.A. Consequences of age-related cognitive declines. *Annual Review of Psychology*, 2012, vol. 63, pp. 201–226.

Smallwood J., Schooler J.W. The science of mind wandering: Empirically navigating the stream of consciousness. *Annual Review of Psychology*, 2015, vol. 66, pp. 487–518.

Spitzer B., Haegens S. Beyond the status quo: A role for beta oscillations in endogenous content (re) activation. *eNeuro*, 2017, vol. 4 (4), ENEURO.0170-17.2017.

Tsang P.S., Vidulich M.A. Mental workload and situation awareness. *Handbook of human factors and ergonomics*, ed. by G. Salvendy. John Wiley & Sons, 2006, pp. 243–268.

Vysata O., Kukul J., Prochazka A., Pazdera L. et al. Age-related changes in EEG coherence. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, 2014, vol. 48 (1), pp. 35–38.

Woodman G.F., Luck S.J. Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 1999, vol. 400 (6747), pp. 867–869.

Wróbel A. Beta activity: A carrier for visual attention. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 2000, vol. 60 (2), pp. 247–260.

Xie B., Salvendy G. Prediction of mental workload in single and multiple tasks environments. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 2000, vol. 4 (3), pp. 213–242.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025; одобрена после рецензирования 24.12.2025; принята к публикации 24.12.2025.

The article was submitted 01.12.2025; approved after reviewing 24.12.2025; accepted for publication 24.12.2025.