

---

# ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

---

***А. Н. Долецкий, Д. А. Докучаев, А. А. Лата***

Волгоградский государственный медицинский университет,  
кафедра нормальной физиологии

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЗГЛЯДОВ НА МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКУЮ ИНТЕРПРЕТАЦИЮ АЛЬФА-РИТМА ЭЭГ**

УДК 612.067

---

Классическими характеристиками альфа-ритма как проявления биоэлектрической активности мозга, является регистрируемая в состоянии покоя с закрытыми глазами активность. Ранее считалось, что данный ритм блокируется или ослабляется не только при открывании глаз, но и при интеллектуальной деятельности. Но в последнее время были получены новые данные о взаимосвязи внимания и альфа-ритма.

*Ключевые слова: ЭЭГ, альфа-ритм, внимание, память.*

---

***A. N. Doletskiy, D. A. Dokuchaev, A. A. Lata***

## **OPINION TRANSFORMATION IN MECHANISM OF GENERATION AND PHYSIOLOGICAL INTERPRETATION OF THE EEG ALPHA RHYTHM**

---

The classical definition of the alpha rhythm is the EEG activity, recorded at rest with closed eyes. Previously it was considered that this rhythm is blocked or weakened with opening the eyes, as during intellectual activity. But recently, new data on the relationship of attention and alpha rhythm have been obtained.

*Key words: EEG, alpha rhythm, memory, attention.*

---

В 1934 г. Е. Эдриан и Б. Матьюс выявили регулярные колебания от 10 до 12 Гц, названные ими альфа-ритмом, или бергеровским ритмом [11]. Это исследование послужило толчком к последующему частотному анализу ЭЭГ. При этом проводилось уточнение типичной полосы частот (от 8 до 13 Гц), амплитуды, но основным в работах ранних исследователей являлось заключение о преобладании альфа-активности в состоянии расслабленного покоя [7, 12, 29].

Ряд последующих исследований показал преобладание альфа-активности при регистрации ЭЭГ в условиях интериоризации восприятия [18, 24]. В 1968 г. П. Андерсен и С. Андерсон пришли к заключению, что ядра таламуса являются первичным генератором всех видов ритмической веретенообразной активности мозга [6]. В различных ядрах таламуса были выявлены веретенообразные электрические волны приблизительно 1 раз в 100 мс, которые через таламокортикальные пути формируют ритмическую активность соответствующих зон

коры [2]. Данный механизм формирования альфа-осцилляций имеет название снизу-вверх (от таламуса к коре). Отличием таламических релейных клеток, в которых возникают эти волны, от других нейронов является повышенная плотность кальциевых Т-каналов на мембранах поверхности клетки и эндоплазматической сети [31]. Установлено, что кальциевые каналы Т-типа, регулируя внутриклеточную концентрацию кальция, могут тормозить передачу электрических импульсов таламусом и стабилизировать состояние покоя. Внутриклеточный кальциевый ток производит временную депolarизацию мембраны клетки с частотой приблизительно 10 раз в секунду, поскольку период рефрактерности кальциевых каналов составляет приблизительно 100 мс (то есть это частота альфа-волн). Установленная генетическая детерминированность структурной организации кальциевых каналов может объяснить достаточно высокую стабильность индивидуальной частоты альфа-осцилляций [14, 15]. Вы-

сокая стабильность индивидуальной частоты альфа-ритма в течение жизни в состоянии покоя объясняется исходя из интенсивности кальциевого тока и частоты деполяризации таламических релейных клеток, объясняя с позиций теории ожидания роль пейсмейкерной активности данных клеток как переключение внимания между внешним и внутренним локусами контроля [38]. При этом усиление альфа-осцилляций ассоциируются с тормозящими процессами в таламусе и может рассматриваться как входной механизм для блокирования процесса обработки информации из внешнего мира [35, 37]. С позиций знания о данных процессах ряд исследователей пытается объяснить появления альфа-колебаний в неокортексе во время когнитивной деятельности гипотезой ингибирования. Тот факт, что таламические релейные нейроны активировались в альфа-диапазоне в ответ на сенсорное или поведенческое событие, также как и во время физиологического покоя, был рассмотрен как подавление (ингибирование) помех [28]. Согласно гипотезе ингибирования, синхронизация альфа-ритма блокирует нерелевантные участки коры, не принимающие непосредственного участия в обработке полученной информации («шум»), а десинхронизация отражает активную обработку информации в локализованных релевантных участках коры [36]. W. Klimesch (2007–2016) установил, что синхронизация биоэлектрической активности в альфа диапазоне играет роль в увеличении времени корковой обработки сигналов [27]. Усиление альфа-колебаний во время активации оперативной памяти может служить мнемонической функцией, проявляющиеся в подавлении нерелевантной информации, мешающей обработке стимулов [35]. Фотостимуляция с частотой 10 Гц мешала обработке стимулов в задачах, связанных с селективным вниманием, поскольку, по мнению исследователей, формирующиеся при навязывании ритма альфа-модуляции ведут к торможению процессов обработки информации [22, 33]. Локальное ослабление альфа-активности в проекции коркового представительства сенсорной области при ее активации также свидетельствует в пользу гипотезы ингибирования [16].

Однако ряд исследователей отмечает обратную взаимосвязь между альфа-ритмом и интеллектуальными возможностями человека [3, 4]. Так, для отличающихся по показателю частоты максимального пика альфа-активности лиц характерны разные поведенческие стратегии [4]. Степень владения профессиональными навыками выше у лиц с высокой (>10 Гц), чем с низкой (<10 Гц) альфа-частотой [20, 23]. Однозначного ответа, как альфа-активность коры

головного мозга связана с интеллектуальной деятельностью человека, в настоящее время нет. Имеющиеся же в настоящее время данные послужили основой для составления данного обзора.

Из новых предположений о взаимосвязи между альфа-активностью и процессами внимания обращает на себя внимание работа Т. В. Строгановой с соавт. (2009), показавших, что предъявление зрительных стимулов сопровождается ранним повышением общей мощности альфа-осцилляций и предполагающих, что реакция отражает модуляцию активности нейронных ансамблей, участвующих в обработке целостного паттерна [8].

При избирательном внимании у взрослых усиливающаяся когерентность альфа-колебаний в теменно-височно-затылочных регионах формируют основу функциональной системы будущей когнитивной деятельности в соответствии с предупреждающим сигналом еще до появления внешних объектов, на которые внимание должно быть направлено, то есть в предстимульный период [17]. Это свидетельствует о возможности селективной настройки работы мозга на выполнение задания в период ожидания значимого сигнала, и о связи активизации механизмов внимания и рабочей памяти с усилением кортико-кортикальных взаимодействий в альфа-диапазоне.

Сопоставляя альфа-активность на ЭЭГ с соотношением уровня кислорода в крови (BOLD), измеренного с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии, было установлено, что в процессе распознавания образов BOLD усиливается во внутрипариецальной борозде (IPS) и левой средней лобной извилине, а альфа-активность возникает в контралатеральной затылочной области [31]. Это может свидетельствовать о наличии реципрокных связей в механизме образования альфа-волн в затылочной области.

Также данная корреляция может быть связана с сознательной обработкой информации и эпизодической памятью. Авторы предполагают рост альфа-активности при усилении внимания за счет дорсальной передней коры (dACC), которая активизировалась в период поиска изображения испытуемыми и осуществляла распределение вычислительных ресурсов для решения конкретной задачи.

На основании этих и ряда подобных исследований была сформулирована гипотеза активации, предполагающая, что альфа-осцилляции выполняют роль зондирующего или контролирующего механизма связи организма с окружающей средой [4], а также участвует в процессе обработки полученной информации [13, 32].

Ряд исследований проводился для проверки данной гипотезы. Так, предполагалось, что синхронизация колебаний коры в альфа-2 диапазоне будет значительно больше во время запоминания информации, чем во время вспоминания. Предположения оправдались, реакция на когнитивную нагрузку задачами, связанными с кратковременной памятью, привели к более выраженному повышению альфа-ритма во время запоминания информации [26]. В другой работе было выявлено, что волновая активность головного мозга для различных визуальных задач составляла от 3 до 30 Гц, а во время периода запоминания находилась в альфа-полосе (8–15 Гц) в теменной и боковой префронтальной областях мозга [21]. При этом активность в альфа диапазоне сопровождалась увеличением силы сигнала BOLD в интроокципитальной и интропариетальной бороздах, совпадающим с активизацией визуальной кратковременной памяти.

При анализе результатов статистического исследования студентов с высокой и низкой успеваемостью и количества личных достижений (успешных выступлений на конкурсах, олимпиадах, соревнованиях) было обнаружено, что наиболее высокие показатели успешности обучения отмечаются у лиц с широким диапазоном и высокой частотой максимального пика альфа-активности [2].

Интересны также результаты современных нелинейных методов анализа ЭЭГ. Так, применение вейвлет анализа к записям биоэлектрической активности мозга шахматистов при обдумывании ходов выявило корреляции в альфа-, тета-, дельта-диапазонах в лобно-центральных отделах преимущественно в левом полушарии головного мозга, а также усиление межполушарных связей в теменных отделах [9].

Большая роль в исследовании альфа-ритма при когнитивных нагрузках уделяется межъядерным взаимодействиям в альфа-диапазоне (альфа-фазовые взаимодействия), которые, предположительно, лежат в основе функций поддержки внимания, а также исполнительных и контролирующих функций более высокого уровня [34]. При этом веретенообразность альфа-осцилляций отражает способность нейронных популяций к «модуляции фазы» – подстройке частоты осцилляций данного нейронального ансамбля к частоте другого, и тем самым к координации их деятельности [10]. Также было выявлено, что стимулы, поступающие на одну фазу продолжающегося колебания, с большей вероятностью достигают сенсорного участка коры головного мозга, чем стимулы, попадающие на разные фазы альфа-колебания.

Торможение нерелевантной информации в данном случае происходит не при генерации альфа-активности, а при отсутствии фазового колебания данного частотного диапазона, что может препятствовать обработке информации нейронами, относящимися к задаче.

Таким образом, эти исследования выдвигают идею о том, что альфа-диапазон накладывает временное окно, которое сегментирует обработку полученной информации нейронами, вовлеченными в процессы восприятия, внимания, когнитивную и двигательную активность. На основании подобных исследований появились психофизиологические концепции о дискретном характере интеллектуальной деятельности [5, 30, 34]. Частотно-фазовая модуляция альфа-веретен может играть роль в координации крупных фронто-теменных сетей во время запоминания визуальной информации. Исследование кортикальной альфа-активности с помощью магнитоэнцефалографии выявило, что фазовая синхронизация альфа-диапазона между орбитофронтальной корой и веретеновидной извилиной была сильнее при успешном распознавании замаскированных визуальных объектов [34]. Исследователи предположили, что крупные нейронные сети обмениваются свойствами с локальными сетями, что можно структурно рассматривать как решетку, образованную соединениями между локальными участками альфа-активности в коре головного мозга.

В исследовании, проведенном в 2009 г. R. Freunberger с соавт., продемонстрирована ещё одна особенность появления альфа-ритма при решении когнитивных задач: фазовая синхронизация на низких частотах в альфа-диапазоне (7–12 Гц) была сильнее для запоминания, чем для целенаправленного игнорирования информации [19].

Интересный эксперимент по опровержению гипотезы о роли альфа-активности в подавлении нерелевантных задач. При справедливости данной гипотезы ожидается, что усиление мощности альфа-ритма будет встречаться в нерелевантных задачах. Поэтому J. S. Jonson с соавт. (2011) исследовали эти возможности с использованием парадигмы с отложенным распознаванием, в которой манипулировали наличием и релевантностью информации [25]. Авторы делают заключение об отсутствии усиления мощности альфа-колебаний в задаче, содержащей нерелевантную информацию. И наоборот, усиление альфа-активности отмечалось в задачах, в которых вся информация была важна для выполнения задания.

Все вышеприведенные исследования выполнялись в относительно статичных условиях. В работе Freek van Ede (2018) исследовалось запоминание визуальной информации в динамичной обстановке [16]. Автор рассматривает свидетельства того, что сенсорные области коры могут быть задействованы для «перцептивной» рабочей памяти. При этом альфа-активность в мнемонически значимых сенсорных областях усиливается для защиты кратковременной памяти от внешних помех, а затухание подобной активности служит для привлечения внимания к элементу в памяти.

Исследования, направленные на поиск с помощью методов функциональной нейровизуализации (позитронно-эмиссионной томографии, функциональной магнитно-резонансной томографии) анатомических структур, связанных с определенными видами биоэлектрической активности мозга, выявили однонаправленные изменения во многих корковых зонах. Это послужило для объединения имеющих сходные уровни активности зон в системы контроля и управления функциональной активностью мозга, получивших в англоязычной литературе название сетей режима по умолчанию (DMN).

Активность DMN, включающих фронтальные и теменные кортикальные и срединные структуры, зависит от когнитивной нагрузки, будучи увеличенной во время задач с низкой нагрузкой и сниженной во время задач с высокой, требующей повышенного контроля, нагрузкой. Имеющиеся данные связывают активность DMN с определенными полосами частот ЭЭГ [30]. Из традиционного частотного диапазона ЭЭГ только пространственные паттерны альфа-активности показали значительное совпадение с DMN как в состоянии покоя, так и во время социальной игры. При этом спонтанные мысли были связаны с повышенной альфа-активностью в заднем центре DMN, тогда как обработка внешних стимулов нарушала эту активность при одновременной фазовой синхронизации с внешними событиями.

Таким образом, синхронизация внутренних психических процессов, в отличие от обработки внешних раздражителей, может быть основной функцией альфа-колебаний, связанных с активностью DMN.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На протяжении почти вековой истории исследования альфа-активности наблюдалась смена подходов к исследованию и предположений о роли и механизмах возникновения данной биоэлектрической активности.

Первоначально стал входить в употребление термин «семейство альфа-ритмов», к которому относят «классический» затылочный альфа-ритм, чувствительный к проприоцептивным раздражениям теменной мю-ритм, диффузный сигма-ритм сна, височный каппа-ритм в процессе умственной деятельности [1].

После формального подхода, основанного на электроэнцефалографической локализации активности, увеличилось число функциональных исследований уровня внимания и памяти для установления роли альфа-колебаний.

Проводившиеся работы поддерживали такие диметрально противоположные взгляды на роль альфа-колебаний, как гипотеза ингибирования областей коры, представляющих нерелевантную информацию и гипотеза активации связанных с кратковременной памятью структур для выбора и запоминания информации.

Аргументы в пользу гипотезы активации являются более убедительными, потому что подтверждающие гипотезу ингибирования исследования не выявили исчезновения альфа-осцилляций во время когнитивной деятельности в тех участках коры, которые участвовали в обработке релевантной информации. Непосредственный ответ на когнитивную задачу может сопровождаться активацией мотонейронов, маскирующей одновременное увеличение альфа-активности. Что касается исследований, продемонстрировавших захват эндогенного альфа-ритма внешней ритмической стимуляцией и, как результат, подавление когнитивной деятельности, то здесь возможен другой механизм. Можно предположить, что фотостимуляция на частоте 10 Гц производила эффект сброса фазы альфа-волны, мешая решению когнитивных задач.

Также ряд исследований показал, что альфа-колебания большой амплитуды подавляют обработку нерелевантной информации, тогда как малая амплитуда альфа-активности отражает общее состояние расторможенного процесса, в котором облегчена активная обработка.

По нашему мнению, гипотеза ингибирования и гипотеза активации должны быть объединены в одну гипотезу, так как альфа-ритм, как выяснилось, на высоких частотах оказывает эффект торможения, а на низких, предположительно, участвует в обработке полученной информации. В дальнейших исследованиях нужно уделить внимание сопоставлению локализации биоэлектрической активности альфа-диапазона расположению регулирующих уровень внимания и активность психических процессов сетей режима по умолчанию.

Также перспективным видится продолжение исследований по изучению эффектов фазово-синхронных высокочастотных, низкочастотных, резонансных альфа-колебаниям ритмических внешних стимулов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аликина, М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского Федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2016. – Т. 2 (68), № 2. – С. 3–24.
2. Базанова О. М. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы // Успехи физиологических наук. – 2009. – Т. 40, № 3. – С. 32–53.
3. Базанова, О. М. Успешность обучения и индивидуальные частотно-динамические характеристики альфа-активности электроэнцефалограммы / О. М. Базанова, Л. И. Афтанас // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2006. – № 6. – С. 30–33.
4. Базанова, О. М. Эффективность когнитивной деятельности и психоэмоциональное напряжение в разные фазы менструального цикла / О. М. Базанова [и др.] // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2013. – Т. 7, № 99. – С. 280–289.
5. Гетманенко О. В. Отражение узора кортикальной активации в фазовой структуре ЭЭГ человека / О. В. Гетманенко [и др.] // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2006. – Т. 92, № 8. – С. 930–948.
6. Гордеев, С. А. Особенности межполушарной асимметрии ЭЭГ у больных с генерализованным тревожным расстройством / С. А. Гордеев [и др.] // Асимметрия. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 4–24.
7. Стрелец, В. Б. Ритмы ЭЭГ и психологические показатели эмоций при реактивной депрессии / В. Б. Стрелец, Н. Н. Данилова, И. В. Корнилова // Журн. высш. нерв. деятельности им. И. П. Павлова. – 1997. – Т. 47, № 1. – С. 11–21.
8. Строганова, Т. А. Альфа-активность ЭЭГ мозга человека при восприятии иллюзорного квадрата Канисы / Т. А. Строганова [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2009. – Т. 59, № 6. – С. 660–672.
9. Суворов, Н. Б. Электрофизиологические корреляты умственной деятельности человека. Вейвлет-анализ / Н. Б. Суворов, С. В. Божокин, Ю. З. Полонский // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 3. – С. 71–76.
10. Фокина, Ю. О. Возможные механизмы действия биологической обратной связи по электроэнцефалограмме / Ю. О. Фокина, В. Б. Павленко, А. М. Куличенко // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. – 2008. – Т. 21, № 60. – С. 107–116.
11. Adrian, E. D. The berger rhythm: Potential changes from the occipital lobes in man / E. D. Adrian, B. H. C. Matthews // Brain. – 1934. – № 4. – P. 355–385.
12. Babiloni, C. Resting state cortical electroencephalographic rhythms in subjects with normal and abnormal body weight / C. Babiloni [et al.] // Neuroimage. – 2011. – Vol. 58, № 2. – P. 698–707.
13. Basar, E. Darwin's evolution theory, brain oscillations, and complex brain function in a new «Cartesian» view / E. Basar, B. Gntekin // Int. J. Psychophysiol. – 2009. – Vol. 71, № 1. – P. 2–8.
14. Contreras, D. Cellular basis of EEG slow rhythms: a study of dynamic corticothalamic relationships / D. Contreras, M. Steriade // J. Neurosci. – Society for Neuroscience. – 1995. – Vol. 15, № 1, Pt 2. – P. 604–622.
15. Destexhe, A. Interactions Between Membrane Conductances Underlying Thalamocortical Slow-Wave Oscillations / A. Destexhe, T. J. Sejnowski // Physiol. Rev. – 2003. – Vol. 83, № 4. – P. 1401–1453.
16. Van Ede F. Mnemonic and attentional roles for states of attenuated alpha oscillations in perceptual working memory: a review / F. van Ede // Eur. J. Neurosci. – 2018. – Vol. 48, № 7. – P. 2509–2515.
17. Farber, D. A. Functional organization of the brain in the period of preparation for recognizing fragmented images in seven- to eight-year-old children and adults / D. A. Farber // Hum. Physiol. – 2014.
18. Fell, J. From alpha to gamma: electrophysiological correlates of meditation-related states of consciousness / J. Fell, N. Axmacher, S. Haupt // Med. Hypotheses. – 2010. – Vol. 75, № 2. – P. 218–224.
19. Freunberger, R. Dissociation between phase-locked and nonphase-locked alpha oscillations in a working memory task / R. Freunberger [et al.] // Hum. Brain Mapp. – 2009. – Vol. 30, № 10. – P. 3417–3425.
20. Grandy, T. H. Peak individual alpha frequency qualifies as a stable neurophysiological trait marker in healthy younger and older adults / T. H. Grandy [et al.] // Psychophysiology. – 2013. – Vol. 50, № 6. – P. 570–582.
21. Grimault, S. Oscillatory activity in parietal and dorsolateral prefrontal cortex during retention in visual short-term memory: Additive effects of spatial attention and memory load / S. Grimault [et al.] // Hum. Brain Mapp. – 2009. – № 2. – P. 1–15.
22. Gulbinaite, R. Individual alpha peak frequency predicts 10 Hz flicker effects on selective attention / R. Gulbinaite [et al.] // J. Neurosci. – 2017. – Vol. 37, № 42. – P. 1163–17.
23. Haegens, S. Inter- and intra-individual variability in alpha peak frequency / S. Haegens [et al.] // Neuroimage. – 2014. – Vol. 92. – P. 46–55.
24. Hebert, R. Enhanced EEG alpha time-domain phase synchrony during Transcendental Meditation: Implications for cortical integration theory / R. Hebert [et al.] // Signal Processing. – 2005. – Vol. 85, № 11. – P. 2213–2232.
25. Johnson, J. S. Increased alpha-band power during the retention of shapes / J.S. Johnson [et al.] // Front. Psychol. – 2011. – Vol. 2. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2011.00128/full>.
26. Klimesch, W. «Paradoxical» alpha synchronization in a memory task / W. Klimesch [et al.] // Cogn. Brain Res. – 2002. – Vol. 7. – №4. – P. 493–501.

27. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis / W. Klimesch // *Brain Res. Rev.* – 1999. – Vol. 29, № 2–3. – P. 169–195.

28. Klimesch, W. EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis / W. Klimesch, P. Sauseng, S. Hanslmayr // *Brain Res. Rev.* – 2007. – Vol. 53, № 1. – P. 63–88.

29. Knyazev, G. G. Alpha synchronization and anxiety: Implications for inhibition vs. alertness hypotheses / G. G. Knyazev, A. N. Savostyanov, E. A. Levin // *Int. J. Psychophysiol.* – 2006. – Vol. 59, № 2. – P. 151–158.

30. Knyazev, G. G. The default mode network and EEG alpha oscillations: An independent component analysis / G. G. Knyazev [et al.] // *Brain Res.* – 2011. – Vol. 1402. – P. 67–79.

31. Liu, Y. Top-down Modulation of Neural Activity in Anticipatory Visual Attention: Control Mechanisms Revealed by Simultaneous EEG-fMRI / Y. Liu [et al.] // *Cereb. Cortex.* – 2016.

32. Mathewson, K. E. Pulsed Out of Awareness: EEG Alpha Oscillations Represent a Pulsed-Inhibition of Ongoing Cortical Processing / K. E. Mathewson [et al.] // *Front. Psychol.* – 2011. – Vol. 2, № 5. – P. 179.

33. Notbohm, A. Modification of Brain Oscillations via Rhythmic Light Stimulation Provides Evidence for

Entrainment but Not for Superposition of Event-Related Responses / A. Notbohm, [et al.] // *Front. Hum. Neurosci.* – 2016. – Vol. 10. – Режим доступа: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fnhum.2016.00010/abstract>.

34. Palva, S. Functional roles of alpha-band phase synchronization in local and large-scale cortical networks / S. Palva, J. M. Palva // *Front. Psychol.* – 2011. – Vol. 2, № 9. – P. 1–15.

35. Samaha, J. Decoding and reconstructing the focus of spatial attention from the topography of alpha-band oscillations / J. Samaha, T. C. Sprague, B. R. Postle // *J. Cogn. Neurosci.* – 2016. – Vol. 28, № 8. – P. 1090–1097.

36. Sauseng, P. What does phase information of oscillatory brain activity tell us about cognitive processes? / P. Sauseng, W. Klimesch // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2008. – Vol. 32, № 5. – P. 1001–1013.

37. Shapiro, K. L. Alpha, beta: The rhythm of the attentional blink / K. L. Shapiro [et al.] // *Psychon. Bull. Rev.* – *Psychonomic Bulletin & Review.* – 2017. – Vol. 24, № 6. – P. 1862–1869.

38. Sigala, R. The role of alpha-rhythm states in perceptual learning: insights from experiments and computational models / R. Sigala [et al.] // *Front. Comput. Neurosci.* – 2014. – Vol. 8. – P. 36.