Дата публикации: 01.09.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_24
УДК 612.82 + 57.045

Publication date: 01.09.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_24
UDC 612.82 + 57.045

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ВЗРОСЛОГО ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА ПОД ВЛИЯНИЕМ КУРСА СПЕЛЕОКЛИМАТОТЕРАПИИ

В.А. Семилетова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Воронеж, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Исследовано влияние спелеоклимата на электроэнцефалограмму взрослого здорового человека. ***Методы.*** В исследовании приняли участие 33 студента Воронежского государственного медицинского университета, возраст – 18-20 лет. Курс спелеоклиматотерапии состоял из 10 ежедневных сеансов по одному часу в условиях спелеосреды. Запись электроэнцефалограммы проведена в состоянии функционального покоя с закрытыми глазами (по 60 с), до и после 10-дневного курса спелеоклиматотерапии (или отдыха – контрольная группа) с помощью электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» («Медиком», Россия) в 19 стандартных отведениях по международной схеме 10-20. Анализ полученных данных проведен с помощью программ Excel 2016 и IBM SPSS Statistics 26.0. ***Результаты.*** Под влиянием спелеоклимата происходит замедление биоэлектрической активности мозга здорового взрослого человека, изменяется метаболическая активность отдельных зон коры больших полушарий. ***Заключение.*** Выявлены значимые изменения соотношения альфа/тета электроэнцефалограммы в отведениях P4, T6 и O2.
Ключевые слова: электроэнцефалография, альфа/тета соотношение, ритм, спелеоклимат, спелеоклиматотерапия.

CHANGES IN THE ELECTROENCEPHALOGRAM OF A HEALTHY ADULT UNDER THE INFLUENCE OF A SPELEOTHERAPY COURSE

V.A. Semiletova
Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The effect of speleoclimate on the electroencephalogram of a healthy adult was investigated. ***Methods.*** The study involved 33 students of the Voronezh State Medical University, age – 18-20 years. The speleotherapy course consisted of 10 daily sessions of one hour in a speleological environment. The electroencephalogram was recorded in a state of functional rest with eyes closed (60 seconds), before and after the 10-day speleotherapy course (or rest – the comparison group) using the Encephalan-EEGR-19/26 electroencephalograph recorder (Medicom, Russia), in 19 standard leads according to the 10-20 system. The analysis of the data obtained was carried out in Excel 2016 and IBM SPSS Statistics 26.0 software. ***Results.*** It was revealed that under the influence of speleoclimate, the bioelectric activity of the brain of a healthy adult is slowed down, the metabolic activity of individual zones of the cerebral cortex changes. ***Conclusion.*** Significant changes in the alpha/theta electroencephalogram ratio in the R4, T6 and O2 leads were also revealed.
Keywords: electroencephalography, alpha/theta ratio, rhythm, speleoclimate, speleotherapy.

Введение. Электроэнцефалография (ЭЭГ) является достаточно популярным современным методом исследования функциональной активности головного мозга. Главным достоинством метода ЭЭГ является возможность исследования активности мозга в динамике. Анализу, как правило, подвергается активность в частотном диапазоне 0,3-70 Гц. Выявлены критерии оценки утомления, внимания, сна, эмоций (например, агрессии) [1, 2]. Диффузное замедление активности ЭЭГ является признаком метаболических расстройств [3]. Фронтальная асимметрия мощности альфа-ритма, регионально специфичные изменения мощности дельта-, тета- и бета-ритмов являются маркерами депрессии [4].

ЭЭГ-корреляты изменений функционального состояния включают амплитудные и фазовые изменения в доминирующих ритмах, особенно в альфа-ритме. Соотношение ритмов ЭЭГ указывает на уровни

активации мозга, причем фазозависимая стимуляция значительно влияет на возбуждение и мощность ритма [5].

Показано, что соотношение мощности префронтальных и затылочных ритмов ЭЭГ отражает уровень концентрации внимания [6], а уровень спектральной мощности тета-ритма ЭЭГ показывает значимую связь с когнитивным состоянием человека (оценка по краткой шкале оценки психического статуса (MMSE)) [7].

Интересным представляется влияние гипоксии на ЭЭГ. Показано снижение амплитуды основных ритмов ЭЭГ, переходящее в усиление тета-активности [8]. При этом показано, что изменения в амплитудно-частотном спектре ЭЭГ не всегда демонстрируют замедление активности при гипоксии [9]. В целом влияние климатических факторов сопровождается формированием новой структуры межцентральных отношений ЭЭГ-активности [10].

Учитывая вышеуказанные данные и все более частое использование спелеоклиматотерапии в целях сохранения и укрепления здоровья человека, проблема изучения динамики ЭЭГ взрослого здорового человека под влиянием спелеоклимата представляется важной и актуальной.

Цель нашей работы – исследование изменения ЭЭГ взрослого здорового человека под влиянием курса спелеоклиматотерапии.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 33 студента Воронежского государственного медицинского университета имени Н.Н. Бурденко, возраст – 18-20 лет. Испытуемые составили две группы: основную – 23 человека, и контрольную группу – 10 человек (по формуле Лера минимальная выборка составила 10 человек). Все испытуемые подписали информированные согласия на участие в исследовании.

Курс спелеоклиматотерапии состоял из 10 ежедневных сеансов по одному часу в спелеокамере, в условиях спелеосреды: температура – 18-20 °С, относительная влажность воздуха – 65%, содержание отрицательных аэроионов – 987 е/см3, положительных аэроионов – 834 е/см3, радиационный фон – 17 мкР/час.

Запись ЭЭГ студентов основной группы проведена в состоянии функционального покоя с закрытыми глазами (по 60 с) до и после 10-дневного курса спелеоклиматотерапии с помощью электроэнцелографа-регистратор «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» («Медиком», Россия) в 19 стандартных отведениях по международной схеме 10-20.

Для анализа ЭЭГ были выбраны безартефактные участки записи. Проведен анализ суммарной мощности ритмов ЭЭГ, а также мощности отдельных ритмов в отведениях F3, F4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, C3, C4, O1, O2.

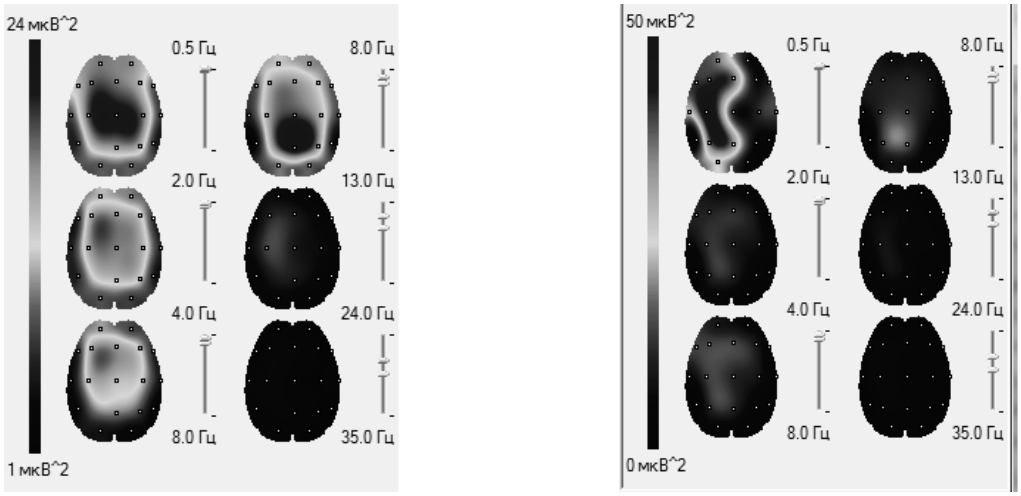
Индекс отношения ритмов ЭЭГ был рассчитан как отношение мощностей отдельных ритмов: альфа/тета.

Анализ полученных данных проведен с помощью программ Excel 2016 и IBM SPSS Statistics 26.0. Оценивались количественные показатели на предмет соответствия нормальному распределению (критерий Шапиро-Уилка), а также показатели асимметрии и эксцесса. Распределение анализируемых показателей отличалось от нормального, поэтому описания проведены с помощью значений медианы Me и нижнего и верхнего квартилей [Q1; Q3]. Для проверки различий между двумя сравниваемыми парными выборками применялся W-критерий Вилкоксона.

Результаты исследования и их обсуждение. В более раннем исследовании [11] нами выявлены изменения в мощности тета- и альфа-ритмов в затылочных и теменных отведениях под кратковременным влиянием спелеотерапии (2 часа). Показано, что после спелеовоздействия активность доминирующего в состоянии покоя правого полушария в большинстве областей снижалась. В функциональном состоянии покоя при закрытых глазах количество значимых корреляционных связей мощности тета-ритма снизилось после спелеотерапии как в правом, так и в левом полушарии головного мозга. При этом в правом полушарии после спелеопроцедуры количество значимых корреляционных связей осталось более высоким, чем в левом, что позволило нам рассматривать данное функциональное состояние как состояние умеренного напряжения.

Рассмотрено соотношение ритмов ЭЭГ: (альфа/бета), ((альфа/+тета)/(альфа+бета)), (тета/бета),(альфа/тета), которые наиболее чувствительны к изменениям функционального состояния, отражают степень напряжения, уровень произвольного внимания, степень когнитивной нагрузки и утомления. Изменение данных соотношений показало, что предиктором воздействия спелеоклимата на организм человека при кратковременном воздействии можно считать соотношение альфа/тета [11, 12].

На рисунке 1 представлена суммарная ЭЭГ-активность одного из испытуемых. Следует отметить, что под влиянием спелеоклимата наблюдалось снижение активности основных ритмов ЭЭГ. Подобное изменение можно обозначить как торможение.



До воздействия спелеоклимата — Через 2 часа после воздействия

Рис. 1. Анализ суммарной электроэнцефалографической активности по 1-му испытуемому

Значимых отличий индексов суммарной мощности ритмов ЭЭГ и мощностей отдельных ритмов между двумя измерениями в контрольной группе не наблюдалось.

Анализ динамики индексов суммарной мощности ритмов ЭЭГ до и после 10-дневного курса спелеоклиматотерапии позволил отметить тенденцию к снижению тета-активности после курса, а также значимое увеличение дельта-1-активности и значимое снижение дельта-2-активности ЭЭГ, чего не наблюдалось в контрольной группе (рис. 2). Как мы полагаем, одним из неспецифических механизмов адаптации к спелеоклимату может быть замедление ЭЭГ-активности.

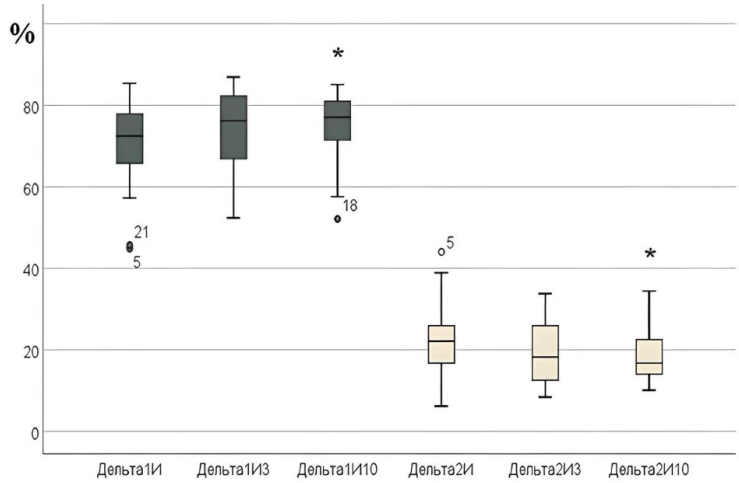


Рис. 2. Значимые изменения динамики индексов суммарной мощности ритмов электроэнцефалограммы, мкВ^2

В основной группе выявлено уменьшение общей мощности альфа-ритма в отведениях Т6 (63 [28,5; 155,5] до спелеокурса и 41 [19; 67] после, p=0,008), О1 (104 [24; 129] до и 49 [33,5; 105] после, p=0,035); увеличение мощности альфа-ритма в отведении Р4 (19,5

[7; 57,5] до и 46 [12; 74] после спелеокурса, p=0,036) (рис. 3).

Возможно, подобные изменения являются отражением изменений в деятельности активирующих систем мозга и, как следствие, повышенного уровня активации вегетативной и центральной нервной системы.

Также в основной группе выявлено увеличение мощности бета-1-ритмов в отведении P4 (14 [7; 20] до спелеокурса и 19 [12; 29] после, p=0,021). Мощность бета-2-активности под влиянием курса спелеоклиматотерапии значимо увеличивалась во фронтальных отведениях (рис. 4), что может отражать как увеличение локальной метаболической активности, так и увеличение активности тормозящих ГАМК-эргических нейронных сетей фронтального неокортекса [13].

В нашей более ранней работе показано, что соотношение мощности альфатета-ритмов может служить предиктором влияния спелеоклимата на организм взрослого здорового человека [11]. Под влиянием 2-х часового воздействия спелеоклимата происходило значимое увеличение соотношения альфа/тета в отведениях O2 и P4 и значимое уменьшение соотношения альфа/тета в отведении T6. Значимых отличий в контрольной группе по данному соотношению ритмов не наблюдалось.

В нынешнем исследовании установлено, что после 10-дневного курса спелеоклиматотерапии значимо увеличилось соотношение альфа/тета в отведениях O2 и P4, и значимо уменьшилось соотношение альфа/тета в отведении T6. Значимых отличий в контрольной группе по данному соотношению ритмов также не наблюдалось (табл.).

Следует отметить, что динамика соотношений альфа/(бета1+бета2), (тета+альфа)/(бета1+бета2), бета1/бета2 не была столь однозначной, что подтверждает роль соотношения альфа/тета как предиктора влияния спелеоклимата на организм взрослого здорового человека.

Рассмотрим возможный механизм влияния спелеоклимата на ЭЭГ человека. Под влиянием спелеоклимата возникает первичный ответ, неспецифическая реакция центральной нервной системы, выражающаяся в общем замедлении ритмической активности ЭЭГ. Практически одновременно (в течение 2-х часов) включаются компенсационные механизмы, отражающие специфическую реакцию ЦНС и выражающиеся в значимом изменении соотношения альфа/тета ритмов в теменно-затылочных областях головного мозга человека. После 10-дневного воздействия спелеоклимата сохраняются изменения в соотношении альфа-/тета-ритмов, а адаптация к ежедневному воздействию спелеоклимата происходит за счет значимого снижения мощности альфа-активности в отведении T6 и значимого увеличения бета-активности в отведении F3.

Следовательно, замедление биоэлектрической активности происходит вследствие снижения функциональной активности части нервных клеток, что обусловлено воздействием спелеоклимата, представляя собой выключение части «микропереключателей». В результате основной ритм пейсмейкерной зоны распространяется с минимальными изменениями в ЭЭГ-активности, что регистрируется как медленные колебания и ритмы.

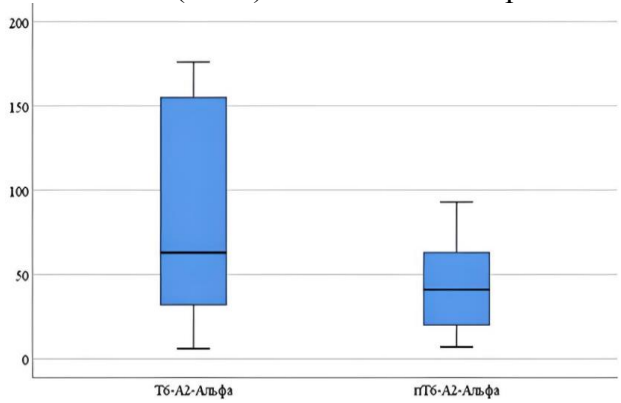


Рис. 3. Значимые изменения динамики мощности альфа-активности под влиянием курса спелеоклиматотерапии, мкВ^2

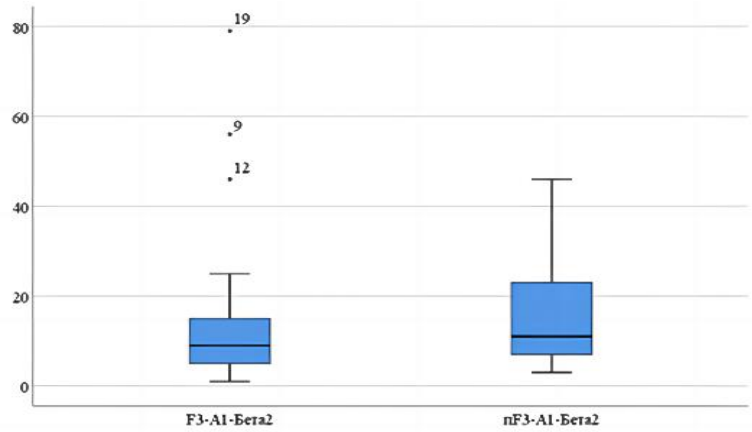


Рис. 4. Значимые изменения динамики мощности бета2-активности под влиянием курса спелеоклиматотерапии, мкВ^2

Таблица

Значимые изменения соотношений ритмов альфа/тета под воздействием спелеоклимата, Me [Q1; Q3]

Отведение	До воздействия	После воздействия	W	P
Контрольная группа				
O2	6,45 [0,95; 8,12]	3,91 [3,28; 9,95]	-0,674	0,500
P4	6,28 [1,81; 11,83]	13,04 [2,16; 15,55]	-1,21	0,225
T6	6,26 [1,45; 15,25]	7,42 [2,70; 8,23]	-0,135	0,893
2-х часовое воздействие спелеоклимата				
O2	2,80 [1,92; 4,83]	6,26 [3,65; 10,72]	-2,01	0,024
P4	2,97 [1,28; 4,73]	5,36 [3,53; 7,39]	-1,98	0,048
T6	7,06 [5,47; 8,36]	3,17 [1,90; 5,03]	-2,67	0,008
10-дневное воздействие спелеоклимата				
O2	1,93 [1,61; 3,87]	4,63 [2,2; 13,28]	-2,63	0,009
P4	2,0 [1,46; 4,15]	4,0 [2,41; 8,85]	-1,97	0,049
T6	4,96 [2,73; 6,64]	2,79 [1,98; 5,12]	-2,55	0,026

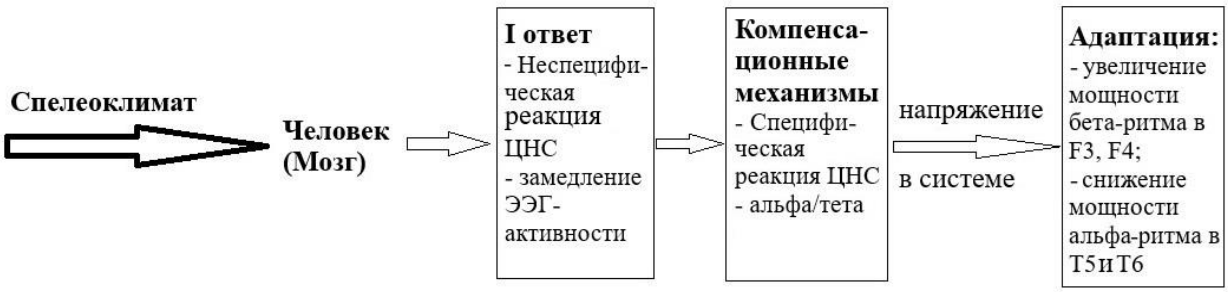


Рис. 5. Возможный механизм влияния спелеоклимата на ЭЭГ человека
Примечание: ЦНС – центральная нервная система; ЭЭГ – электроэнцефалограмма.

Заключение. Таким образом, под влиянием спелеоклимата происходит замедление биоэлектрической активности мозга здорового взрослого человека, изменяется метаболическая активность отдельных зон коры больших полушарий.

Возможные конкурентные взаимоотношения альфа-ритма и тета-ритма в таламусе приводят к увеличению альфа-активности (как теменно-затылочного ритма, увеличивающегося при закрытии глаз) и снижению тета-активности в отведениях O2 и P4 (значимому увеличению соотношения альфа/тета под влиянием спелеопроцедуры).

Под влиянием 10-дневного курса спелеоклиматотерапии у испытуемых выявлены значимые изменения соотношения альфа/тета ЭЭГ в отведениях P4, T6 и O2,

чего не наблюдалось в контрольной группе. Являясь наиболее чувствительным соотношением для оценки влияния как одной спелеопроцедуры, так и курса спелеоклиматотерапии на мозг человека, соотношение альфа/тета можно отнести к основным предикторам влияния спелеоклимата на мозг человека.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CMI Brain Research. URL: https://cmi.to/ (дата обращения: 07.05.2025).
2. Dorokhov, E.V. Speleoclimatotherapy: Psychophysiological Mechanisms of Influence on the Organism of a Healthy Person / E.V. Dorokhov, V.A. Semiletova // Human Physiology. – 2024. – Vol. 50. – No. 3. – P. 315-320. DOI: 10.1134/S0362119723600583.
3. Global dynamical analysis of the EEG in Alzheimer's disease: Frequency-specific changes of functional interactions / B. Jelles, Ph. Scheltens, W.M. van der Flier [et al.] // Clinical Neurophysiology. – 2008. – Vol. 119. – No. 4. – P. 837-841. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.12.002.
4. Лапин, И.А. ЭЭГ-маркеры депрессивных состояний / И.А. Лапин, М.В. Алфимова // Социальная и клиническая психиатрия. – 2014. – No. 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eeg-markery-depressivnyh-sostoyaniy (дата обращения: 07.05.2025).
5. Regulation of the Functional State of the Human Brain by Real-Time Frequency-Phase Synchronization of Sensory Stimuli with the EEG Rhythm / A.A. Pushkin, L.V. Lysenko, A.G. Sukhov [et al.] // Springer Nature Link. – 2017. – No. 51(1). – P. 28-32. DOI: 10.1007/S10527-017-9678-7.
6. Glekler, E.V. Analysis of the electrical activity in various brain regions for assessing differences in human functional states / E.V. Glekler // Sistemy Analiza i Obrabotki Dannyh. – 2024. – No. 3. – P. 39-54. DOI: 10.17212/2782-2001-2024-3-39-54.
7. Zlobin, A. Predicting Individual Cognitive Status Based on EEG Data Fit to Power Law Distribution / A. Zlobin, M. Bakaev, O.M. Разумникова // Springer International Publishing. – 2024. – P. 213-222. DOI: 10.1007/978-3-031-50609-3_16.
8. Оценка индивидуальной устойчивости человека к острой гипоксии по интегральным характеристикам структурной функции многоканальной ЭЭГ / В.П. Рожков, М.И. Трифонов, Э.А. Бурых, С.И. Сороко // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2019. – Т. 105. – № 7. – С. 832-852. DOI: 10.1134/S0869813919070082.
9. Бурых, Э.А. Особенности динамики спектра ЭЭГ человека при постоянном уровне острого гипоксического воздействия / Э.А. Бурых // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2018. – Т. 104. – № 9. – С. 1049-1064. DOI: 10.7868/S0869813918090046.
10. Джунусова, Г.С. Центральные регуляторные механизмы адаптации человека в горных условиях / Г.С. Джунусова // Медицина Кыргызстана. – 2014. – № 5. – С. 36-39.
11. Семилетова, В.А. Влияние кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов электроэнцефалограммы здорового человека / В.А. Семилетова, Е.В. Дорохов, Я.В. Булгакова // Экология человека. – 2023. – № 3. – С. 223-230. DOI: 10.17816/humeco192536.
12. Семилетова, В.А. Влияние спелеоклиматотерапии на фоновую ЭЭГ активность головного мозга человека / В.А. Семилетова, Е.В. Дорохов, М.С. Нечаева // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2021. – № 1(77). – С. 116-120. DOI: 10.19163/1994-9480-2021-1(77)-116-120.
13. Возрастные особенности бета-ритмов ЭЭГ у детей 4-15 лет в состоянии устойчивого зрительного внимания / А.А. Михайлова, А.И. Кайда, Е.В. Эйсмонт, В.Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7(73). – № 2. – С. 95-103.

REFERENCES

1. CMI Brain Research. Available at: https://cmi.to/ (accessed: 07.05.2025).
2. Dorokhov E.V., Semiletova V.A. Speleoclimatotherapy: Psychophysiological Mechanisms of Influence on the Organism of a Healthy Person. *Human Physiology*, 2024, vol. 50, no. 3, pp. 315-320. DOI: 10.1134/S0362119723600583.
3. Jelles B., Scheltens Ph., van der Flier W.M., Jonkman E.J., Lopes da Silva F.H., Stam Global C.J. Dynamical analysis of the EEG in Alzheimer's disease: Frequency-specific changes of functional interactions. *Clinical Neurophysiology*, 2008, vol. 119, no. 4, pp. 837-841. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.12.002.
4. Lapin I.A., Alfimova M.V. EEG-markers for depressive conditions. *Social and Clinical*

Psychiatry, 2014, no. 4. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/eeg-markery-depressivnyh-sostoyaniy (accessed: 07.05.2025) (in Russ.)
5. Pushkin A.A., Lysenko L.V., Sukhov A.G., Vdovjuk A.V., Scherban I.V. Regulation of the Functional State of the Human Brain by Real-Time Frequency-Phase Synchronization of Sensory Stimuli with the EEG Rhythm. *Springer Nature Link*, 2017, no. 51(1), pp. 28-32. DOI: 10.1007/S10527-017-9678-7.
6. Glekler E.V. Analysis of the electrical activity in various brain regions for assessing differences in human functional states. *Sistemy Analiza i Obrabotki Dannyh*, 2024, no. 3, pp. 39-54. DOI: 10.17212/2782-2001-2024-3-39-54.
7. Zlobin A., Bakaev M., Razumnikova O.M. Predicting Individual Cognitive Status Based on EEG Data Fit to Power Law Distribution. *Springer International Publishing*, 2024, pp. 213-222. DOI: 10.1007/978-3-031-50609-3_16.
8. Rozhkov V.P., Trifonov M.I., Burykh E.A., Soroko S.I. Estimation of individual human tolerance to acute hypoxia on the integral characteristics of the structure function of the multichannel EEG. *Russian Journal of Physiology*, 2019, vol. 105, no. 7, pp. 832-852. DOI: 10.1134/S0869813919070082. (in Russ.)
9. Burykh E.A. Features of the dynamics of the human EEG spectrum at a constant level of acute hypoxic exposure. *Russian Journal of Physiology*, 2018, vol. 104, no. 9, pp. 1049-1064. DOI: 10.7868/S0869813918090046. (in Russ.)
10. Dzhunusova G.S. Central regulatory mechanisms of adaptation of the human in mountain conditions. *Medicine of Kyrgyzstan*, 2014, no. 5, pp. 36-39 (in Russ.)
11. Semiletova V.A., Dorokhov E.V., Bulgakov Y.V. Effects of short-term speleotherapy exposure on the bioelectric activity of a healthy brain. *Human Ecology*, 2023, no. 3, pp. 223-230. DOI: 10.17816/humeco192536. (in Russ.)
12. Semiletova V.A., Dorokhov E.V., Nechaev M.S. The influence of speleoclimatotherapy on background EEG activity of the human brain. *Bulletin of Volgograd State Medical University*, 2021, no. 1(77), pp. 116-120. DOI: 10.19163/1994-9480-2021-1(77)-116-120. (in Russ.)
13. Mikhailova A.A., Kaida A.I., Eismont E.V., Pavlenko V.B. Age features of beta rhythms EEG in children aged 4-15 in a state of stable visual attention. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 2021, vol. 7(73), no. 2, pp. 95-103. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Вера Алексеевна Семилетова – доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Воронеж, e-mail: vera2307@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR:

Vera A. Semiletova – Associate Professor, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, e-mail: vera2307@mail.ru.

Для цитирования: Семилетова, В.А. Изменения электроэнцефалограммы взрослого здорового человека под влиянием курса спелеоклиматотерапии / В.А. Семилетова // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 3(33). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_24

For citation: Semiletova V.A. Changes in the electroencephalogram of a healthy adult under the influence of a speleotherapy course. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 3(33). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_24