

УДК [612.82-073.97:612.014.426]:550.38

Л.В. Поскотинова¹, Т.А. Зенченко^{2,3}, Е.В. Кривоногова¹, Д.Б. Дёмин¹**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ
БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В УСЛОВИЯХ
ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В АРКТИКЕ**

- ¹ ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН, Архангельск, Российская Федерация;
² ФГБУН Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Московская обл., Российская Федерация;
³ ФГБУН Институт космических исследований РАН, г. Москва, Российская Федерация

L.V. Poskotinova¹, T.A. Zenchenko^{2,3}, E.V. Krivonogova¹, D.B. Demin¹**METHODOLOGY OF INDIVIDUAL BRAIN ACTIVITY MONITORING IN INTERRELATIONS
WITH GEOMAGNETIC FIELD VARIATIONS IN THE ARCTIC**

- ¹ N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russian Federation;
² Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation;
³ Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Резюме. В условиях Арктической зоны РФ актуально совершенствование методологических подходов, благодаря которым возможно прогнозировать степень адаптации центральной нервной системы человека к вариациям геомагнитного поля (ГМП). **Цель исследования** — апробация метода определения индивидуальной чувствительности ритмозадающих структур головного мозга человека к суточным вариациям параметров компонент вектора ГМП с использованием корреляционного анализа. **Материалы и методы.** На территории Архангельской области (60°52'/с.ш. 39°31'/в.д.) с участием 4 человек проведен мониторинг из 13 серий по 30 минут с регистрацией показателей ЭЭГ 14–18 марта 2014 г (утро, день, вечер). Использованы синхронизированные по времени одноминутные значения X- и Y-компонент вектора геомагнитного поля (ГМП) с сайта <http://ottawa.intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php> по геофизической станции Nurmijarvi. После удаления из спектра шумов и трендов был рассчитан ранговый коэффициент корреляции Спирмена ($p < 0,05$) абсолютной спектральной мощности ЭЭГ (в мкВ²) в каждом частотном диапазоне ЭЭГ и отведениях ЭЭГ с колебаниями X и Y компонент вектора ГМП. **Результаты.** У всех участников мониторинга в большей степени (в 7 и более сериях из 13) вариации ГМП в большей степени связаны с изменениями высокочастотной (14–35 Гц) и низкочастотной (до 4 Гц) частях спектра ЭЭГ. Наиболее редко (меньше, чем в половине всех серий регистрации) были вовлечены в корреляционные взаимосвязи показатели тета-диапазона ЭЭГ (4–7 Гц). **Заключение.** Реактивность ЭЭГ в альфа-диапазоне (8–13 Гц) в ответ на суточный ход вариаций компонент вектора ГМП в условиях спокойной геомагнитной обстановки оказалась наиболее индивидуализированной. По наиболь-

Abstract. Improvement of methodological approaches is relevant in the Arctic zone of the Russian Federation, thanks to which it is possible to predict the degree of adaptation of the human central nervous system to variations in the geomagnetic field (GMF). **The aim of the study** was to test the method of determining the individual sensitivity of the rhythm-setting structures of the human brain to daily variations in the parameters of the GMF vector components using correlation analysis. **Methods.** Monitoring during 13 series (30 min each) of electroencephalogram (EEG) parameters on March 14–18, 2014 (morning, afternoon, evening) was performed in the Arkhangelsk region (60°52' N 39°31' E) with the participation of 4 persons. Time-synchronized one-minute values of the X- and Y-components of GMF vector from the site <http://ottawa.intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php> on the Nurmijarvi geophysical station were used. After removal of the noise spectrum and trends Spearman rank correlation coefficient ($p < 0.05$) total EEG spectral power (in μV^2) in each frequency EEG band and EEG leads to fluctuations X and Y components of the vector GMP was calculated. **Results.** In all participants of the monitoring, the GMF variations are most related (in 7 or more series of 13) with changes in the high-frequency (14–35 Hz) and low-frequency (Hz to 4) EEG bands. Most rarely (less than half of all series) the EEG theta-range (4–7 Hz) indicators were involved in correlation relationships. **Conclusion.** EEG response in the alpha band (8–13 Hz) in response to the diurnal variation of the components of the GMF vector under conditions of a calm geomagnetic situation turned out to be the most individualized. By the highest degree of involvement of the high-frequency component of the EEG in such correlations, it can be assumed that the cerebral-hippocampal brain system is primarily sensitive

шей степени вовлеченности высокочастотной составляющей ЭЭГ в подобные корреляции можно полагать о высокой чувствительности, в первую очередь, корково-гиппокампальной системы мозга к вариациям геомагнитного поля у человека, но особенно лиц с высокой индивидуальной частотой альфа-ритма ЭЭГ.

Ключевые слова: геомагнитное поле, электроэнцефалограмма, Арктика

to variations in the geomagnetic field in humans, but especially individuals with a high individual EEG alpha-rhythm frequency.

Keywords: geomagnetic field, electroencephalogram, Arctic

Конфликт интересов отсутствует.

There is no conflict of interest.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Поскотинова Лилия Владимировна
liliya200572@mail.ru

Contact information of the author responsible for correspondence:

Liliya V. Poskotinova
liliya200572@mail.ru

Дата поступления 09.04.2018

Received 09.04.2018

Образец цитирования:

Поскотинова Л.В., Зенченко Т.А., Кривоногова Е.В., Дёмин Д.Б. Методологические аспекты мониторинга индивидуальных реакций биоэлектрической активности головного мозга в условиях вариаций геомагнитного поля в Арктике. Вестник уральской медицинской академической науки. 2018, Том 15, №2, с. 316–323, DOI: 10.22138/2500-0918-2018-15-2-316-323

For citation:

Poskotinova L.V., Zenchenko T.A., Krivonogova E.V., Demin D.B. Methodology of Individual Brain Activity Monitoring in Interrelations with Geomagnetic Field Variations in the Arctic. Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2018, Vol. 15, no. 2, pp. 316–323. DOI: 10.22138/2500-0918-2018-15-2-316-323 (In Russ)

Введение

В условиях Арктической зоны РФ формируется особый электромагнитный фон, волновая структура магнитных вариаций обуславливает формирование полярных суббурь в полярных широтах [1]. Многообразие электромагнитных явлений во всех слоях околоземного пространства в Арктике обуславливает также наличие широкого диапазона индивидуальных адаптивных реакций физиологических систем человека [2]. Продолжается поиск методологических подходов, благодаря которым возможно прогнозировать степень адаптации центральной нервной системы человека к вариациям геомагнитного поля (ГМП). При этом используются амплитудно-частотные показатели электроэнцефалограммы (ЭЭГ), различные способы математической обработки и вычисления функций волновых переходов в структуре ЭЭГ [3], учет выраженности асимметрии, а также различные режимы длительности мониторинга и кратности регистрации ЭЭГ [4, 5, 6, 7]. Длительные записи ЭЭГ имеют свои ограничения в применении и в интерпретации результатов. Наиболее свободными от артефактов являются записи ЭЭГ с закрытыми глазами, что избавляет исследователя от применения фильтров подавления артефактов или их режекции. Однако длительный мониторинг (1 час и более) при закрытых глазах, при котором можно вычислить периоды колебаний как внешних,

так и внутренних ритмов, влечет формирование трендов в ЭЭГ, связанных со снижением уровня бодрствования, и в целом субъективно дискомфортных для человека из-за наличия оборудования на голове. Многократные записи ЭЭГ в течение нескольких дней и месяцев могут быть на фоне разных психофизиологических состояний людей, связанных не с космическими, а с социальными факторами; вклад последних более значим, чем сверхмалые воздействия колебаний ГМП. Поэтому представляется важным использовать такой метод оценки взаимосвязи внешних и внутренних (биологических) осцилляторов электрической активности, при котором учитывались бы максимально длинные непрерывные записи ЭЭГ, при котором могло бы сохраняться состояние активного бодрствования и субъективного комфорта, оптимальная кратность фиксации значений как внешних вариаций магнитного поля, так и показателей биоэлектрической активности мозга, а также кратность согласно социальному ритму людей (утро, день, вечер). Также важно, чтобы такой метод давал возможность в будущем получить результаты, доступные для интерпретации врачам-нейрофизиологам, которые смогут использовать эти результаты в контексте своей клинической практики.

Цель исследования — апробация метода определения индивидуальной чувствительности ритмоза-

дающих структур головного мозга человека к суточным вариациям параметров компонент вектора геомагнитного поля с использованием корреляционного анализа.

Материалы и методы

На территории геобиосферного стационара «Ротковец» в деревне Климовской Коношского района Архангельской области (60°52' с.ш. 39°31' в.д.) проведен мониторинг из 13 серий по 30 минут с регистрацией показателей ЭЭГ 14 марта (день, вечер), 15–17 марта (утро, день, вечер) и 18 марта 2014 года (утро, день). Данное географическое место характеризуется минимумом антропогенной электромагнитной загрязненности. Участвовали в мониторинге 4 практически здоровых человека с ведущей правой рукой (три женщины — П., 42 года, К., 34 года и З., 45 лет, один мужчина — Д., 40 лет). Один участник П. положительно ответил на вопрос, считает ли он себя метеозависимым по субъективным критериям (усиление слабости, головной боли, снижение физической активности), в то время как остальные участники не определились с однозначным ответом. С помощью оборудования «Энцефалан 131-03» (МТД «Медиком», г. Таганрог) регистрировали ЭЭГ в лобных (F3 F4), центральных (C3 C4), височных (T3 T4), затылочных (O1 O2) в рамках системы «10–20» по монополярной схеме с референтным ушным электродом и ЭКГ-каналом с верхних конечностей. Запись производили при закрытых глазах, предварительно определив реакцию активации на открытие-закрытие глаз. Для поддержания состояния активного бодрствования участники прослушивали аудиокурсы классических литературных произведений с эмоционально нейтральным повествованием. В последующем после удаления артефактных участков определяли абсолютную спектральную мощность ЭЭГ в одноминутных записях ЭЭГ из каждой 30-минутной серии в диапазонах дельта (0,5–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц), бета (14–35 Гц). Для корреляционного анализа взяты синхронизированные по времени одноминутные значения X-компоненты и Y-компоненты вектора геомагнитного поля (ГМП) с сайта <http://ottawa.intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php> по геофизической станции Nurmijarvi, сопоставимой по широте с местом проведения наблюдений. Для удаления из спектра высокочастотных шумов, постоянной составляющей и линейных трендов сигнал был предварительно пропущен через полосовой фильтр с частотами среза соответственно 0,025 и 0,95 от частоты Найквиста в статистической программе MATLAB. Для отфильтрованных рядов был рассчитан ранговый коэффициент корреляции Спирмена; значимыми считали величины при $p < 0,05$. В данной работе для рассмотрения учитывались модули величин значимых корреляций аб-

солютной спектральной мощности (в мкВ²) в каждом частотном диапазоне ЭЭГ в отведениях ЭЭГ с колебаниями X и Y компоненты вектора ГМП.

Результаты

В рассматриваемый период наблюдений не было геомагнитных бурь, усредненный планетарный Кр-индекс в каждый из дней не превышал 4. За весь период наблюдений диапазон колебаний X-компоненты вектора ГМП составил 14800–14837 нТл, Y-компоненты — 1992–2046 нТл. При анализе фоновой ЭЭГ с учетом реакции активации установлено, что у всех участников были схожие типы организации ЭЭГ — с модулированным альфа-ритмом в затылочно-теменных областях, правильным его зональным распределением и выраженной реакцией активации. Максимальная амплитуда альфа-активности не превышала 110 мкВ, временной индекс альфа-активности был не менее 50%, а тета-активность — не более 30%, без пароксизмальных феноменов. То есть у всех участников степень активизации таламокортикальной системы, диэнцефальных структур мозга была сопоставимой, а процессы возбуждения и торможения коры сбалансированы. Было некоторое отличие лишь в диапазонах доминирующих частот альфа-активности ЭЭГ. Так, у участника П. диапазон доминирующих частот альфа-активности по всем отведениям ЭЭГ был 9,5–10 Гц, у К. — 8,0–9,5 Гц, у З. — 9,3–9,8 Гц, у Д. — 11–12 Гц. Результаты корреляционного анализа показали, что у всех испытуемых в большей степени (в 7 и более записях из 13) вариации ГМП связаны с изменениями высокочастотной части спектра ЭЭГ (бета-диапазон) — рис. Особенно это отразилось у участника Д., у которого вариации вектора ГМП были связаны с изменениями бета-активности ЭЭГ практически во все серии (от 9 до 13) и во всех отведениях ЭЭГ. Также у всех участников значимо изменяются показатели низкочастотного диапазона ЭЭГ (дельта) в соответствии с колебаниями вектора ГМП, но более редко и локализовано по сравнению с вовлечением высокочастотной части ЭЭГ. Наиболее редко (меньше, чем в половине всех серий регистрации) были вовлечены в корреляционные взаимосвязи показатели тета-диапазона ЭЭГ (4–7 Гц). Исключение составил участник П., у которого в 7 случаях из 13 была корреляция вектора ГМП с тета-активностью в левой лобной области (F3). Наиболее индивидуальный характер вовлечения в корреляционные взаимодействия проявился в отношении основного ритма ЭЭГ — альфа-активности.

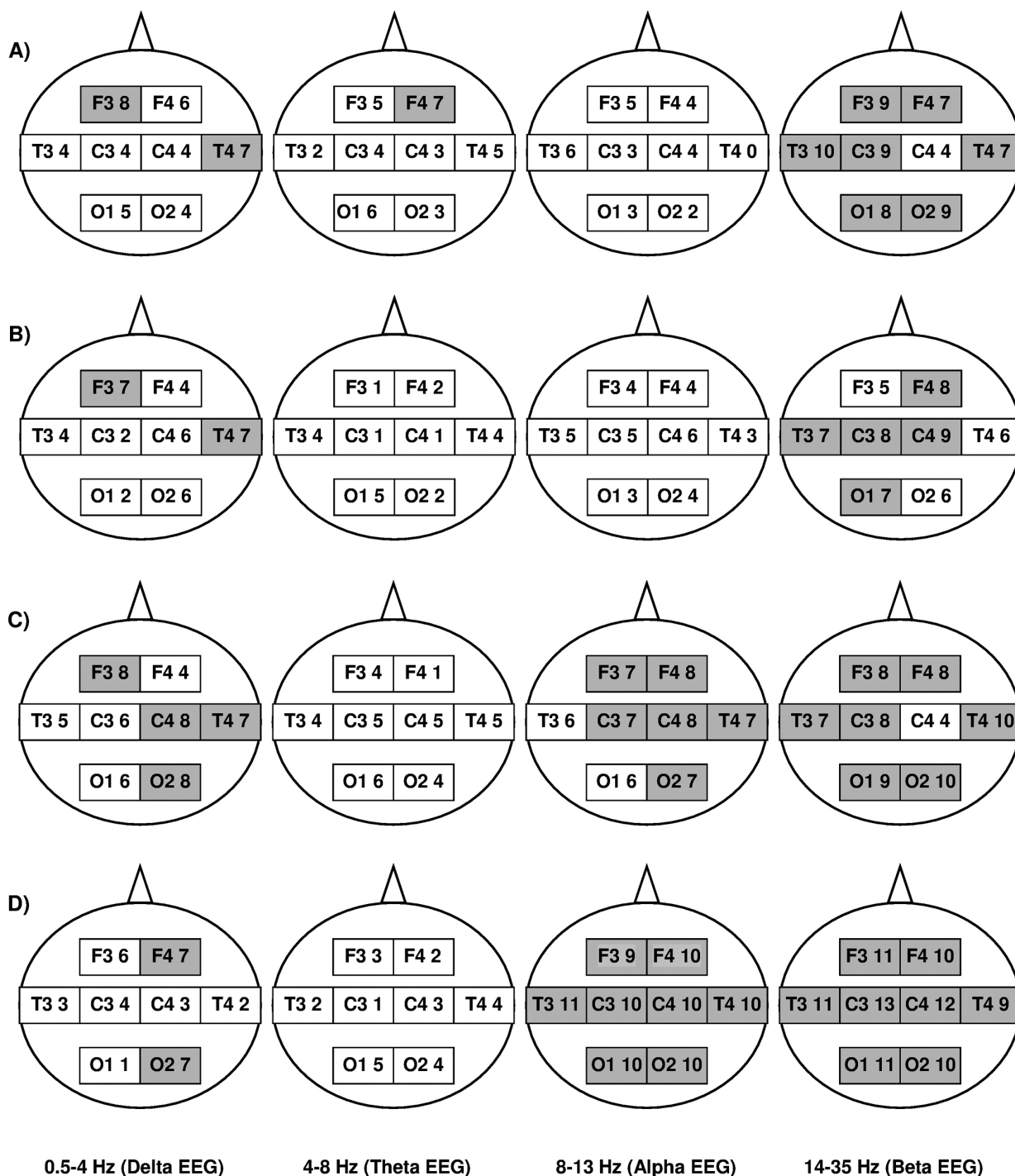


Рис. Число 30-минутных серий ЭЭГ в период 14-18 марта 2014 года у участника П. (А), участника К. (В), участника З. (С) и участника Д. (D), когда регистрировались значимые корреляции спектральной мощности в различных диапазонах ЭЭГ с компонентами вектора ГМП ($p < 0,05$). Штриховкой указано число 7 и более из 13 серий ЭЭГ.

Fig. The number of 30-minute EEG series with significant correlations ($p < 0.05$) of EEG spectral power in different bands with components of the GMF vector in the period March 14–18, 2014; participant P. — A, participant K. — B, participant Z. — C. and participant D. — D. Areas with a number of 7 or more of the 13 EEG series are shaded.

Так, у участника П. и К. колебания вектора ГМП редко отражались на изменении альфа-активности в главной проекции для этого частотного диапазона – в затылочно-теменной области (в 2–4 сериях из 13). Однако у участника П. была довольно резко выражена межполушарная асимметрия участия ЭЭГ-активности данного диапазона в височных областях: слева — в 6 случаях (Т3), а справа — нет зависимости (Т4). Стоит отметить, что именно этот участник по субъективным критериям признает себя метеозависимым. В то же время у участника К. число значимых корреляций было относительно равномерным по отведениям ЭЭГ (от 3 до 6). У участника З. степень вовлечения в корреляционные связи с вектором ГМП можно расценить как среднюю (6–8 серий из 13), а у участника Д. — как значительную (9–11 серий из 13). У трех участников — К., З. и Д. не выявлено выраженной межполушарной асимметрии в степени вовлечения областей мозга в корреляционные связи по числу значимых корреляций в альфа-диапазоне ЭЭГ. Предыдущие наши исследования [8] показали, что существует как минимум три варианта индивидуальной чувствительности таламо-кортикальной системы мозга к суточным вариациям полного вектора ГМП — повышение мощности альфа-активности ЭЭГ преимущественно в правой височной области, снижение мощности данного вида ритма ЭЭГ преимущественно в левой лобно-височной области и реакция общего снижения мощности альфа-активности. В исследованиях Агаджаняна Н.А. с соавторами с помощью метода «наложения эпох» определялась неустойчивая депрессия альфа-ритма ЭЭГ и сглаживание межполушарной функциональной асимметрии мозга у здоровых молодых лиц с сохранением у них высокого уровня активности правого полушария при колебаниях компонент вектора ГМП [6]. В исследованиях Канунникова И.Е. и Киселева Б.В. [5] с помощью метода количественного анализа рекуррентных диаграмм показана значимая корреляция с геомагнитной активностью с преимуществом в левом полушарии, особенно в височных отделах. В нашем случае подобная закономерность проявилась у одного участника П., у которого чаще, чем в других отделах корреляции с компонентами вектора ГМП встречались в височной области слева в альфа-диапазоне и в лобно-височной области слева в бета-диапазоне. В целом очевидно, что независимо от примененных методов определения связи ЭЭГ-активности и вариаций вектора ГМП реактивность таламо-кортикальной системы человека весьма индивидуализирована. Стоит отметить, что наши исследования проводились в условиях спокойной геомагнитной обстановки. Однако в условиях резких перепадов геомагнитной активности предполагаются иные ЭЭГ-реакции — изменения структуры паттерна ЭЭГ прежде всего в альфа- и тета-диапазонах

ЭЭГ [9]. При этом важно, что при описании как групповых, так и индивидуальных особенностей зависимости ЭЭГ-параметров от вариаций ГМП необходимо обращать внимание на время и кратность записей ЭЭГ.

Общей особенностью для всех участников мониторинга явилась значительная чувствительность к вариациям вектора ГМП медленно- и высокочастотных генераторов ритмогенеза головного мозга. Считается, что осцилляции ЭЭГ в бета-диапазоне отражают не только локальную корковую активность мозга, но и активность более глубоких структур, а именно — корково-гиппокампальной системы [10]. Учитывая, что у всех участников корреляции компонент вектора ГМП и мощности бета-активности ЭЭГ были в проекции большинства отделов мозга, можно утверждать, что генераторы таких осцилляций находились значительно глубже, чем кора, что обеспечило такой генерализованный эффект. Наиболее выраженный эффект корреляционного взаимодействия у участника Д., у которого была наибольшая доминирующая частота альфа-ритма (11–12 Гц). Известно, что лица с высокой индивидуальной частотой альфа-ритма ЭЭГ обладают большей вегетативной реактивностью по частоте дыхания и кожно-гальванической реакции на эмоционально значимые нагрузки [11]. Можно предположить о высокой степени чувствительности в первую очередь корково-гиппокампальной системы мозга к вариациям геомагнитного поля у человека, но особенно лиц с высокой индивидуальной частотой альфа-ритма.

Наличие корреляционной связи природных электромагнитных колебаний среды и медленноволновой активности ЭЭГ (дельта-диапазон) можно рассматривать в контексте модуляций метаболического обеспечения, энергетического ресурса мозга под воздействием внешних электромагнитных факторов. Проявление такой связи весьма мозаично и по-разному локализовано у всех участников мониторинга. Возможно, это связано с формированием биохимической асимметрии в тканях мозга, проявляющейся в различных механизмах превращений липидов под воздействием вариаций компонент вектора ГМП [6]. Формирование медленноволновой ЭЭГ-активности также связано с эффективностью дыхания, фазной активностью инспираторных и экспираторных дыхательных нейронов продолговатого мозга [12]. На примере воздействия факторов иной природы (вибрации) показано, что в эксперименте с животными при длительном воздействии вибрации 60 Гц происходит как увеличение медленноволновой активности ЭЭГ в заднем гипоталамическом ядре, вестибулярном ядре Дейтерса структур мозга, так и снижение содержания поглощенного кислорода, активности сукцинатдегидрогеназы. В начале же воздействия того же фактора на

блюдали, наоборот, повышение активности данного фермента и увеличение поглощения кислорода клетками мозга [13]. То есть, значительная корреляция ЭЭГ дельта-диапазона с внешними электромагнитными факторами характерна для всех участников, однако также носит индивидуализированный характер за счет отклика различных нейронных ансамблей во взаимосвязи прежде всего с системами метаболического и энергетического обеспечения мозга.

Заключение

Применение метода оценки частоты значимых корреляций мощности ЭЭГ-активности в различных частотных диапазонах и суточных вариаций X- и Y-компонент вектора ГМП в одноминутных отрезках времени позволяет получить информацию о степени индивидуальной магниточувствительности ритмозадающих структур мозга человека. Реактивность основного ритма ЭЭГ (альфа-активности) в ответ на

суточный ход вариаций компонент вектора ГМП в условиях спокойной геомагнитной обстановки оказалась наиболее индивидуализированной. По наибольшей степени вовлеченности высокочастотной составляющей ЭЭГ в подобные корреляции можно полагать о высокой чувствительности в первую очередь корково-гиппокампальной системы мозга к вариациям геомагнитного поля у человека, но особенно лиц с высокой индивидуальной частотой альфа-ритма ЭЭГ. Развитие предложенного методологического подхода в Арктике возможно в последующем изучении направленности корреляционной связи (положительная или отрицательная), что даст возможность получить информацию о механизмах влияния вариаций ГМП у каждого человека (синхронизация или десинхронизация в каждом частотном ЭЭГ-диапазоне) с соответствующей нейрофизиологической интерпретацией с учетом как общепланетарных, так и локальных вариаций ГМП, а также времени суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клейменова Н.Г., Антонова Е.Е., Козырева О.В., Малышева Л.М., Корнилова Т.А., Корнилов И.А. Волновая структура магнитных суббурь в полярных широтах. *Геомагнетизм и аэрномия*. 2012. Т. 52. № 6. С. 785-793.
2. Марков А.Л., Зенченко Т.А., Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Чувствительность к атмосферным и геомагнитным факторам функциональных показателей организма здоровых мужчин жителей севера России. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2013. Т. 47. № 2. С. 29-32.
3. Рожков В.П., Трифонов М.И., Бекшаев С.С., Белишева Н.К., Пряничников С.В., Сороко С.И. Оценка влияния геомагнитной и солнечной активности на биоэлектрические процессы мозга человека с помощью структурной функции. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2016. Т. 102. № 12. С. 1479-1494.
4. Гордеев С.А., Шварков С.Б., Ковров Г.В., Посохов С.И., Дьяконова Н.А. Особенности межполушарной асимметрии ЭЭГ у больных с генерализованным тревожным расстройством. *Асимметрия*. 2009. Т.3(4). С.4-24.
5. Кануников И.Е., Киселев Б.В. Влияние геомагнитного поля на рекуррентные характеристики электроэнцефалограммы. *Экология человека*. 2014. № 12. С. 47-54.
6. Агаджанян Н.А., Макарова И.И., Головки М.Ю., Дьячкова Л.Я., Канониди Х.Д. Электрофизиологический и нейрохимический анализ биологических эффектов возмущений магнитного поля земли. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2002. Т. 36. № 1. С. 26-32
7. Григорьев П.Е., Побаченко С.В., Соколов М.В.,

REFERENCES

1. Kleymenova N.G., Antonova Ye.Ye., Kozyreva O.V., Malysheva L.M., Kornilova T.A., Kornilov I.A. The wave structure of magnetic substorms in polar latitudes. [*Volnovaya struktura magnitnykh subbur' v polyarnykh shirotakh*]. *Geomagnetism and aeronomy*. [*Geomagnetizm i aeronomiya*]. 2012. Vol. 52, no. 6, pp. 785-793, (In Russ.).
2. Markov A.L., Zenchenko T.A., Solonin YU.G., Boyko Ye.R. Sensitivity to the atmospheric and geomagnetic factors of the functional indices of the organism of healthy men in the north of Russia. *Aerospace and Environmental Medicine = Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2013. Vol. 47, no 2, pp. 29-32, (In Russ.).
3. Rozhkov V.P., Trifonov M.I., Bekshaev S.S., Belisheva N.K., Pryanichnikov S.V., Soroko S.I. Evaluation of the influence of geomagnetic and solar activity on the bioelectric processes of the human brain with the help of a structural function. *Sechenov Russian Journal of Physiology = Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2016. Vol. 102, no. 12, pp. 1479-1494, (In Russ.).
4. Gordeev S.A., Shvarkov S.B., Kovrov G.V., Posokhov S.I., Dyakonova N.A. Features of interhemispheric asymmetry of EEG in patients with generalized anxiety disorder. *Asymmetry = Asimetriya*. 2009. Vol. 3 (4), pp. 4-24, (In Russ.).
5. Kanunikov I.E., Kiselev B.V. Influence of the geomagnetic field on the recurrent characteristics of the electroencephalogram. *Human Ecology (Russian Federation) = Ekologiya cheloveka*. 2014, no. 12, pp. 47-54, (In Russ.).
6. Agadzhanyan N.A., Makarova I.I., Golovko M.Yu., Dyachkova L.Ya., Kanonidi H.D. Electrophysiological

- Силкин М.Ю. Динамика амплитудных характеристик ЭЭГ мозга человека в естественном пространственно неоднородном магнитном поле. Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. 2017. Т. 7. № 2. С. 24-29.
8. Поскотинова Л.В., Дёмин Д.Б., Кривоногова Е.В. Варианты динамики спектральных показателей электроэнцефалограммы человека в ходе суточных вариаций геомагнитного поля. Экология человека. 2014. № 5. С. 3-8.
9. Сороко С.И., Бекшаев С.С., Белишева Н.К., Пряничников С.В. Амплитудно-частотные и пространственно-временные перестройки биоэлектрической активности мозга человека при сильных возмущениях геомагнитного поля. Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2013. № 4. С. 111-122.
10. Engel A.K., Fries P. Beta-band oscillations – signalling the status quo? Current Opinion in Neurobiology. 2010. Vol. 20. pp. 156–165
11. Тумялис А.В., Коренек В.В., Брак И.В., Махнев В.П., Рева Н.В., Афтанас Л.И. Индивидуальная частота альфа-активности и переживание положительных и отрицательных эмоций. Бюллетень СО РАМН. 2010. Т30 (4). С.132-142
12. Акопян Н.С., Саркисян Н.В., Адамян Н.Ю., Багдасарян К.В., Акопян А.Н. Патологические типы дыхания при воздействии острой гипоксии. Авиакосмическая и экологическая медицина. 2002. Т. 36. № 1. С. 32-37.
13. Минасян С.М., Баклаваджян О.Г., Оганисян А.О., Андриасян А.Д. Корреляция изменений электрической активности и показателей тканевого дыхания мозговых структур у кроликов при систематическом воздействии вибраций. Авиакосмическая и экологическая медицина. 1996. Т. 30. № 5. С. 36-40.
- and neuro-chemical analysis of biological effects of disturbances in the earth's magnetic field. Aerospace and Environmental Medicine = Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2002. Vol. 36, no. 1, pp. 26-32, (In Russ.).
7. Grigoryev P.E., Pobachenko S.V., Sokolov M.V., Silkin M.Yu. Dynamics of amplitude characteristics of the EEG in human in a natural spatially inhomogeneous magnetic field. Crimean Journal of Experimental and Clinical Medicine = Krymskiy zhurnal eksperimental'noy i klinicheskoy meditsiny. 2017. Vol. 7, no. 2, pp. 24-29, (In Russ.).
8. Poskotinova L.V., Demin D.B., Krivonogova E.V. Various dynamics of the electroencephalogram spectral parameters in humans during diurnal variations of the geomagnetic field. Human ecology (Russian Federation) = Ekologiya cheloveka. 2014, no. 5, pp. 3-8, (In Russ.).
9. Soroko S.I., Bekshaev S.S., Belisheva N.K., Pryanichnikov S.V. Amplitude-frequency and space-time reconstructions of the bioelectric activity of the human brain under strong perturbations of the geomagnetic field. Bulletin of the North-Eastern Scientific Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences = Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN. 2013, no. 4, pp. 111-122, (In Russ.).
10. Engel A.K., Fries P. Beta-band oscillations – signalling the status quo? Current Opinion in Neurobiology. 2010. Vol. 20. pp. 156–165.
11. Tumialis A.V., Korenek V.V., Brak I.V., Makhnev V.P., Reva N.V., Aftanas L.I. The individual frequency of alpha activity and the experience of positive and negative emotions. Bulletin of the SB RAMS = Byulleten' SO RAMN. 2010. Vol. 30 (4), pp. 132-142, (In Russ.).
12. Akopyan N.S., Sarkisyan N.V., Adamyan N.Yu., Baghdasaryan K.V., Hakobyan A.N. Pathological types of respiration when exposed to acute hypoxia. Aerospace and Environmental Medicine = Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 2002. Vol.36, no 1, pp. 32-37, (In Russ.).
13. Minasyan S.M., Baklavadzhyan O.G., Oganisyan A.O., Andriasyan A.D. Correlation of changes in electrical activity and indices of tissue respiration of brain structures in rabbits with systematic exposure to vibrations. Aerospace and Environmental Medicine = Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 1996. Vol. 30, no 5, pp. 36-40. (In Russ.)

Авторы

Поскотинова Лилия Владимировна
Федеральный исследовательский центр комплексно-го изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН
Д.б.н., доцент, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией биоритмологии Института физиологии природных адаптаций
Российская Федерация, 163000 г. Архангельск, пр. Ломоносова, 249
liliya200572@mail.ru

Зенченко Татьяна Александровна
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино
Д.б.н., старший научный сотрудник
Российская Федерация, 142290 г. Пущино ул. Институтская, д. 3
Институт космических исследований РАН, г. Москва
Российская Федерация, 117997 г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32
zench@mail.ru

Кривоногова Елена Вячеславовна
Федеральный исследовательский центр комплексно-го изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН
К.б.н., старший научный сотрудник лаборатории биоритмологии Института физиологии природных адаптаций
Российская Федерация, 163000 г. Архангельск, пр. Ломоносова, 249
elena200280@mail.ru

Дёмин Денис Борисович
Федеральный исследовательский центр комплексно-го изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН
Д.м.н., старший научный сотрудник лаборатории биоритмологии Института физиологии природных адаптаций
Российская Федерация, 163000 г. Архангельск, пр. Ломоносова, 249
denisdemin@mail.ru

Authors

Liliya V. Poskotinova
N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences
Dr. Sci. (Biol.), Assistant Prof., Chief Researcher, Head of Biorhythmology Laboratory, The Institute of Environmental Physiology
Russian Federation, 163000, Arkhangelsk, Lomonosov Ave., 249
liliya200572@mail.ru

Tatyana A. Zenchenko
Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences
Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher
Russian Federation, 142290, Pushchino, Institutskaya street, 3
Space Research Institute, Russian Academy of Sciences
Russian Federation, 117997, Moscow, Profsoyuznaya, 84/32
zench@mail.ru

Elena V. Krivonogova
N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences
Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of Biorhythmology Laboratory, The Institute of Environmental Physiology
Russian Federation, 163000, Arkhangelsk, Lomonosov Ave., 249
elena200280@mail.ru

Denis B. Demin
N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences.
Dr. Sci. (Med.), Senior Researcher of Biorhythmology Laboratory, The Institute of Environmental Physiology
Russian Federation, 163000, Arkhangelsk, Lomonosov Ave., 249
denisdemin@mail.ru