*ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2020, том 46, № 4, с. 71–80*

*УДК 612.821*

# ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПОЖИЛЫХ ЖЕНЩИН В СОСТОЯНИИ ПОКОЯ И УМСТВЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ДНИ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКОЙ

**© 2020 г. А. Р. Аллахвердиев[1, *], А. А. Аллахвердиева[1], Э. С. Бабаев[2, **]**

[1]*Институт физиологии имени А.И. Караева Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан*

[2]*Шамахинская астрофизическая обсерватория имени Н. Туси Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан*

**E-mail: ali_doctor@mail.ru*

***E-mail: elchin.babayev@gmail.com*

Поступила в редакцию 18.03.2019 г.
После доработки 28.09.2019 г.
Принята к публикации 03.10.2019 г.

В данном исследовании, с целью изучения влияния геомагнитных возмущений на функциональную деятельность мозга здоровых женщин пожилого возраста (50–60 лет), проводили персонифицированные исследования биоэлектрической активности головного мозга (ЭЭГ) в геомагнитно-спокойные дни (*Kp* = 1–2) и в дни слабых геомагнитних возмущений (*Kp* = 4). Компьютерному анализу подвергались отрезки ЭЭГ основных областей обоих полушарий с определением частотных, амплитудных и индексных характеристик в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами и при решении в уме арифметической задачи. Установлено, что в дни возмущения геомагнитной обстановки, в сравнении со спокойными днями как в состоянии покоя, так и умственного напряжения наблюдаются изменения в ЭЭГ, свидетельствующие о повышении активности структур лимбической системы, изменении баланса синхронизирующих и десинхронизирующих механизмов неспецифических систем мозга и реакции височных областей, преимущественно правого полушария. При этом в процессе умственного напряжения в спокойные дни активационные процессы в диапазоне высокочастотного β-спектра затрагивают лобные и височные области, в дни же геомагнитного возмущения активация диффузная и затрагивает низкочастотный спектр β-диапазона ЭЭГ. Эти данные, снижение индекса и урежение частоты θ-ритма в процессе умственного напряжения в дни слабых геомагнитных возмущений, в отличие от результатов полученных в спокойные дни, свидетельствуют, по-видимому, о менее оптимальном варианте структуры ЭЭГ, направленном на успешное выполнение задания.

*Ключевые слова:* электроэнцефалография, частотный, амплитудный, индексный анализы, женский пол, состояние покоя, счет в уме, геомагнитно-спокойные дни, слабые геомагнитные возмущения.

**DOI:** 10.31857/S0131164620020022

В контексте с актуальнейшими в современном мире проблемами космической биологии и медицины [1] находятся вопросы, связанные с влиянием на физиологические системы магнитного поля Земли, находящегося в тесной связи с состоянием Солнечной активности.

Период активных вспышек на Солнце, сопровождается выбросом в атмосферу заряженных частиц, воздействующих на магнитное поле планеты и вызывающих изменение его характеристик. В зависимости от силы потока и степени изменения магнитного поля Земли различают слабые и сильные геомагнитные возмущения, либо “говорят” о слабых и сильных геомагнитных бурях.

Человеческий организм, имеющий электрическую активность, продуцируемую клетками наиболее важных функциональных органов и возникающими при этом электро- и магнитными полями, является экраном, несомненно реагирующим на изменения общей магнитной обстановки Земли. Влиянию магнитных бурь на организм человека посвящено достаточное количество работ [2–9].

Головной мозг, являясь центральным и в тоже время достаточно сложным звеном в функцио-

нальной системе организма, в наибольшей степени подвержен влияниям внешней окружающей среды. Механизм воздействия солнечной активности и связанной с ней геомагнитной обстановкой на центральную нервную систему, объясняется изменениями в ионосфере “шумановских резонансов”, приводящих к вариациям частотных характеристик биоэлектрической активности головного мозга [10, 11].

Несмотря на обилие работ, посвященных изучению влияния геомагнитной активности на состояние мозга человека [12–17], исследований касающихся анализа мозговой деятельности в дни с различной геомагнитной возмущенностью крайне не достаточно.

В некоторых работах выявлена неспецифическая реакция нейронов на электромагнитные колебания [18]. Показано синхронизирующее влияние электромагнитных колебаний на активность мозга, вызывающее снижение порога судорожной готовности и при определенных условиях провоцирующее пароксизмальные состояния и судорожные припадки [19]. Накопленные литературные данные свидетельствуют о неодинаковой (индивидуальной) реакции организма на возмущения геомагнитной обстановки, зависящей от конституциональных особенностей и функционального состояния. В тоже время в доступной литературе имеются единичные сведения о возрастно-половых аспектах проблемы и о влиянии гелиогеомагнитной обстановки на деятельность мозга, находящегося в различных функциональных состояниях [20, 21]. Ранее нами рассматривалось воздействие космогеофизических факторов на здоровых людей [22], изучалась хаотичность электрических сигналов в персонифицированных и коллективных исследованиях. Выявлен половой диморфизм адаптивных реакций на космогеофизические факторы и более высокая степень хаотизации электрических сигналов организма женщин.

В данной работе представлены результаты исследований биоэлектрической активности головного мозга женщин пожилого возраста: в состоянии покоя и при умственном напряжении в дни со спокойной и слабо возмущенной геомагнитной обстановкой.

## МЕТОДИКА

В обследовании участвовали практически здоровые женщины (11 женщин, средний возраст 50–60 лет). Запись ЭЭГ в дни со спокойной ($Kp = 1–2$) и слабо возмущенной геомагнитной обстановкой ($Kp = 4$) в состоянии спокойного бодрствования и при счете в уме с закрытыми глазами осуществляли на компьютерном энцефалографе “Нейрон-спектр-5” (Нейрософт, Россия) от основных областей обоих полушарий головного мозга по международной схеме 10–20%. С целью устранения влияния вариабельности индивидуальных характеристик на результаты исследований, проводили персонифицированные исследования. Прогноз геомагнитной обстановки в регионе обследования (г. Баку) представляли сотрудники Шемахинской астрофизической обсерватории Национальной академии наук Азербайджана.

По программам “Нейрон-спектр *NET*” (Нейрософт, Россия) анализировали 10-секундные отрезки безартефактных ЭЭГ. Подсчитывали индексы, амплитуды и частотные характеристики для δ-, θ-, α-, $\beta_1$- и $\beta_2$-спектров ЭЭГ от областей правого и левого полушарий соответственно: лобных полюсов – $Fp_2$ и $Fp_1$, лобных – $F_4$ и $F_3$, центральных – $C_4$ и $C_3$, теменных – $P_4$ и $P_3$, затылочных – $O_2$ и $O_1$, передне-височных – $F_8$ и $F_7$, центрально-височных – $T_4$ и $T_3$, задне-височных – $T_6$ и $T_5$ – отделов коры головного мозга. К анализу привлекали методы картирования. На следующем этапе проводили сравнительный анализ соответствующих характеристик ЭЭГ с построением диаграмм. Психологическое тестирование проводили с помощью невербального теста Люшера, отражающего состояние тревоги, работоспособности, вегетативного коэффициента и отклонения от аутогенной нормы [23].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обследуемые женщины в геомагнитно спокойные дни не предъявляли существенных жалоб. В дни же возмущения геомагнитного поля Земли у трех женщин отмечались умеренные головные боли, начинающиеся с утра. При этом у них же фиксировали незначительное повышение артериального давления. После проведенных обследований головные боли купировали приемом успокоительных и обезболивающих препаратов. Восемь женщин не предъявляли жалоб, связанных с геомагнитным возмущением. Визуальный анализ ЭЭГ девяти женщин, включая трех обследуемых с головными болями, в спокойные дни свидетельствовал о дисфункции мезо-диэнцефальных структур. У трех женщин картина ЭЭГ отражала вариант пограничный с нормой. В то же время в структуре ЭЭГ патологические и пароксизмальные знаки не регистрировали. В дни геомагнитного возмущения у 9 женщин на ЭЭГ патологические и пароксизмальные изменения выявлены не были, в тоже время у двух женщин в лобно-теменных областях, билатерально-синхронно регистрировали заостренные и острые волны, по амплитуде превышающие фон. Области регистрации пароксизмов, их билатерально-

синхронный характер и частотный диапазон, свидетельствуют о диэнцефальном генезе пароксизмов, спровоцированных, по-видимому, реакцией на возмущение геомагнитной обстановки. Невербальное тестирование с использованием психологического теста Люшера, отражающего эмоционально-характерологический профиль личности, позволило выявить у всех женщин высокую напряженность и повышенную раздражительность (индекс отклонения от аутогенной нормы) как в относительно спокойные дни, так и в дни с возмущенной геомагнитной обстановкой (22.5 и 21.0 соответственно при норме 0–8 баллов). Наряду с этим у женщин наблюдали: сниженную работоспособность ($Kp$ = 1–2 – 15.75 и $Kp$ = 4 – 14.25 при норме 6–9 баллов), высокий индекс тревоги ($Kp$ = 1–2 – 5.5 и $Kp$ = 4 – 4.75 при норме 0–3 балла) и снижение вегетативного тонуса ($Kp$ = 1–2 – 0.4 и $Kp$ = 4 – 0.77 при норме 1.0–1.5 балла), не зависящие от геомагнитной обстановки.

В дни возмущения геомагнитной обстановки в структуре биоэлектрической активности головного мозга у всех женщин выявлялись схожие закономерности. В сравнении со спокойными днями наблюдалось диффузное увеличение индекса α-ритма (рис. 1, *А*) и θ-ритма (рис. 1, *Б*) с акцентом по правому полушарию, включая и височные области. Повышение геомагнитной активности также сопровождалось снижением индекса быстрочастотного β-ритма (рис. 1, *В*) и снижением амплитуды всех ритмов. Частотные показатели ЭЭГ в дни слабого возмущения геомагнитной обстановки в сравнении со спокойными днями, характеризовались тенденцией к урежению значений частоты.

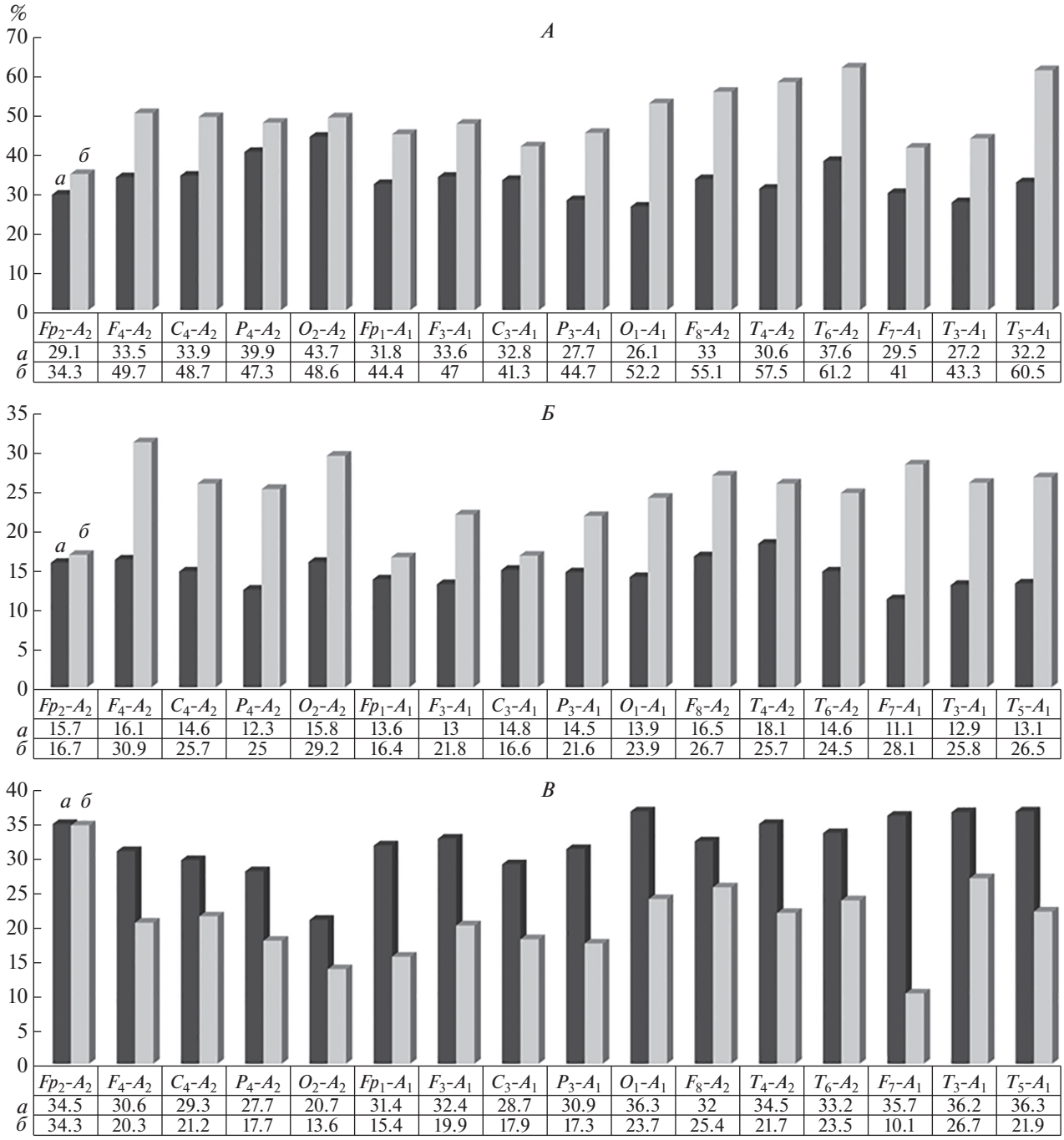
На следующем этапе исследований анализировалась динамика характеристик ЭЭГ при переходе от состояния покоя в состояние умственного напряжения. При этом для дней с различной геомагнитной обстановкой выявлены как общие закономерности, так и различия в структурах ЭЭГ. Наиболее значимые изменения прослеживались в характеристиках θ- и β-ритмов. Динамика индексов θ-, $\beta_1$- и $\beta_2$-ритмов при смене состояния представлены в спокойные дни (рис. 2) и в дни повышения геомагнитной активности (рис. 3).

Как видно из диаграммы в спокойные дни умственное напряжение сопровождается диффузным увеличением индекса θ-ритма, в то время как в дни слабого геомагнитного возмущения у большей части обследованных наблюдается снижение θ-индекса. Противоположную динамику показали и индексы β-ритма. В спокойные дни в процесс умственного напряжения отмечали увеличение, главным образом, индекса $\beta_2$-ритма, с акцентом по передним областям и по левому полушарию, а в дни возмущения геомагнитной обстановки увеличение индекса β-ритма происходило за счет низкочастотного спектра β-диапазона. Изменения носили менее выраженный и диффузный характер. Различную динамику при смене состояний наблюдали и в частотных показателях ритмов. В спокойные дни в состоянии умственного напряжения отмечали повышение частоты быстрочастотного β-ритма, в геомагнитновозмущенные же дни учащение наблюдается как в спектре низко-, так и высокочастоного диапазона. При смене функционального состояния в амплитудных показателях ритмов существенных различий, зависящих от геомагнитной обстановки выявлено не было.

Таким образом, полученные у женщин пожилого возраста результаты персонифицированного исследования свидетельствуют о перестройке структуры ЭЭГ при слабом возмущении геомагнитной обстановки. При этом наблюдаются изменения в частотных, амплитудных характеристиках и показателях процентной представленности ритмов. У всех обследованных геомагнитное возмущение сопровождалось увеличением индекса α-ритма, θ-ритма, с акцентом по височным отделам и снижением индекса и частоты быстрочастотного β-ритма. Также отмечалась тенденция к снижению амплитуды α- и β-ритмов.

Учитывая тот факт, что подкорковые структуры являются экраном, воспринимающим электромагнитные колебания внешней среды и то, что в структуре корковой активности волны θ-диапазона генерируются гиппокампальной формацией, а α-ритм отражает состояние таламической системы, можно предположить активацию лимбической системы в ответ на повышение уровня геомагнитной активности. α-ритму отводят особую роль в сонастройке электрической активности корковых областей в механизмах функционального объединения в процессах опознания изображений [24]. При этом важную роль синхронизации α-ритма префронтальной коры и корковых областей, отводят в процессах эффективности выполнения когнитивных задач [25]. Нами не рассматривались вопросы, связанные с когерентностью α-ритма по областям коры, однако увеличение индекса α-ритма по всем областям при повышении геомагнитной активности, по-видимому, отражает актуализацию на α-частоте связей префронтальной коры с корковыми структурами для решения предстоящих задач. Это предположение представляет особый интерес, и исследования этих вопросов позволит глубже раскрыть механизмы деятельности головного мозга в периоды различной геомагнитной возмущенности.

На связь изменений θ-ритма с магнитными бурями указывают и исследования [26], показавшие снижение коэффициента когерентности




| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 29.1 | 33.5 | 33.9 | 39.9 | 43.7 | 31.8 | 33.6 | 32.8 | 27.7 | 26.1 | 33 | 30.6 | 37.6 | 29.5 | 27.2 | 32.2 |
| *б* | 34.3 | 49.7 | 48.7 | 47.3 | 48.6 | 44.4 | 47 | 41.3 | 44.7 | 52.2 | 55.1 | 57.5 | 61.2 | 41 | 43.3 | 60.5 |

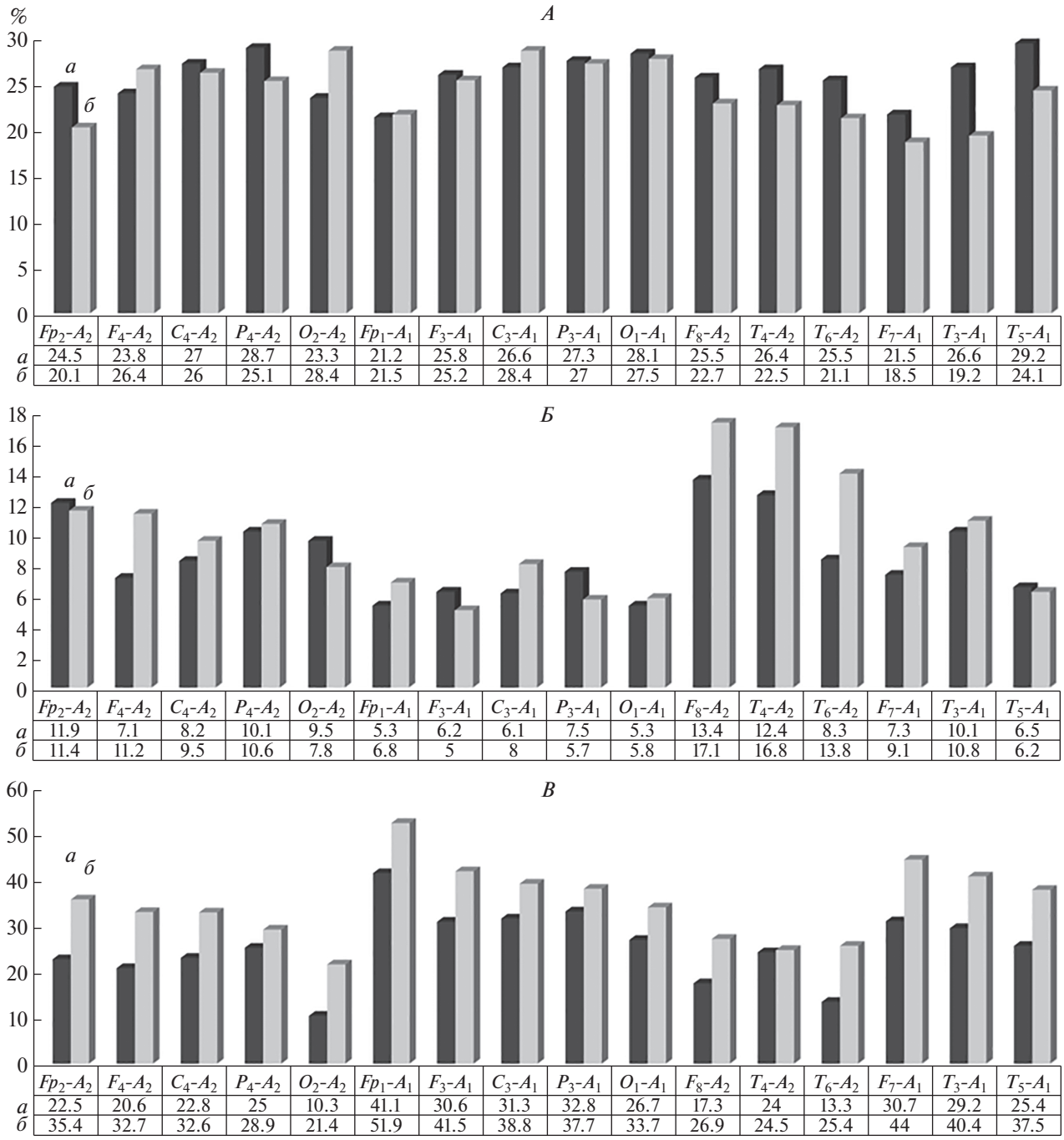
| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 15.7 | 16.1 | 14.6 | 12.3 | 15.8 | 13.6 | 13 | 14.8 | 14.5 | 13.9 | 16.5 | 18.1 | 14.6 | 11.1 | 12.9 | 13.1 |
| *б* | 16.7 | 30.9 | 25.7 | 25 | 29.2 | 16.4 | 21.8 | 16.6 | 21.6 | 23.9 | 26.7 | 25.7 | 24.5 | 28.1 | 25.8 | 26.5 |

| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 34.5 | 30.6 | 29.3 | 27.7 | 20.7 | 31.4 | 32.4 | 28.7 | 30.9 | 36.3 | 32 | 34.5 | 33.2 | 35.7 | 36.2 | 36.3 |
| *б* | 34.3 | 20.3 | 21.2 | 17.7 | 13.6 | 15.4 | 19.9 | 17.9 | 17.3 | 23.7 | 25.4 | 21.7 | 23.5 | 10.1 | 26.7 | 21.9 |

**Рис. 1.** Диаграммы индексов α-ритма (*А*), θ-ритма (*Б*) и $\beta_2$-ритма (*В*) у женщины 60 лет в спокойные дни (*а*) и в дни со слабым геомагнитным возмущением (*б*).
По оси абсцисс – корковые области обоих полушарий, по оси ординат – процентные значения индексов.

θ-активности между лобными и затылочными областями при работе на компьютере в дни умеренной магнитной бури по сравнению со спокойными днями. При этом когерентность между лобными и затылочными областями в группе лиц 18–23 лет снижалась более чем в два раза, в то время как показатели артериального давления, электрокардиограммы и частоты дыхания не изменялись. Показано, что у взрослых испытуемых поддержание произвольного неспецифического внимания сопровождалось усилением функционального взаимодействия по θ-ритму между медиальными отделами лобной коры и височными зонами [27].

Активное участие лимбической системы в эмоциональных реакциях не вызывает сомнений




| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 24.5 | 23.8 | 27 | 28.7 | 23.3 | 21.2 | 25.8 | 26.6 | 27.3 | 28.1 | 25.5 | 26.4 | 25.5 | 21.5 | 26.6 | 29.2 |
| *б* | 20.1 | 26.4 | 26 | 25.1 | 28.4 | 21.5 | 25.2 | 28.4 | 27 | 27.5 | 22.7 | 22.5 | 21.1 | 18.5 | 19.2 | 24.1 |

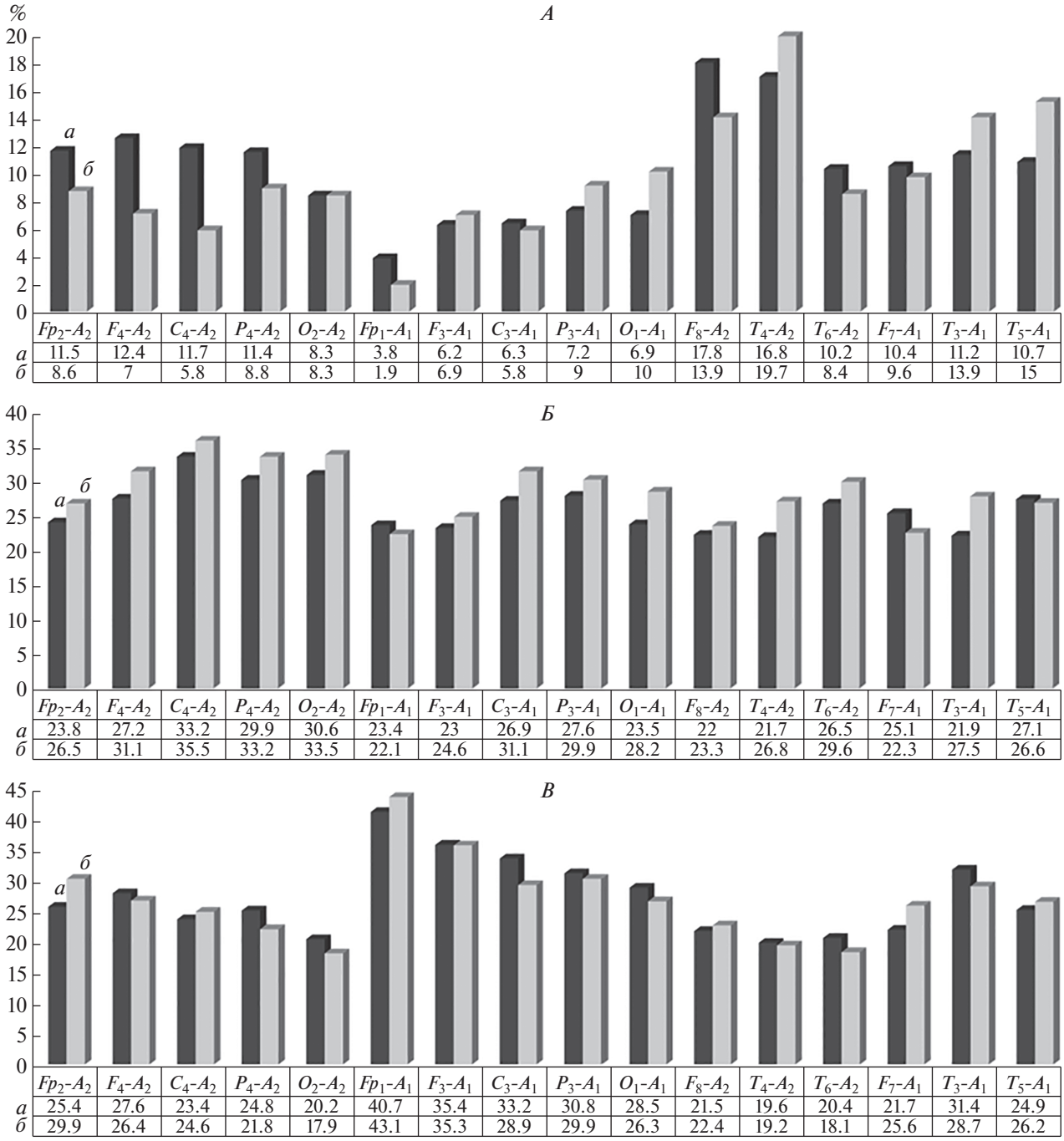
| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 11.9 | 7.1 | 8.2 | 10.1 | 9.5 | 5.3 | 6.2 | 6.1 | 7.5 | 5.3 | 13.4 | 12.4 | 8.3 | 7.3 | 10.1 | 6.5 |
| *б* | 11.4 | 11.2 | 9.5 | 10.6 | 7.8 | 6.8 | 5 | 8 | 5.7 | 5.8 | 17.1 | 16.8 | 13.8 | 9.1 | 10.8 | 6.2 |

| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 22.5 | 20.6 | 22.8 | 25 | 10.3 | 41.1 | 30.6 | 31.3 | 32.8 | 26.7 | 17.3 | 24 | 13.3 | 30.7 | 29.2 | 25.4 |
| *б* | 35.4 | 32.7 | 32.6 | 28.9 | 21.4 | 51.9 | 41.5 | 38.8 | 37.7 | 33.7 | 26.9 | 24.5 | 25.4 | 44 | 40.4 | 37.5 |

**Рис. 2.** Диаграммы индексов θ-ритма (*А*), $\beta_1$-ритма (*Б*) и $\beta_2$-ритма (*В*) у женщины 60 лет в спокойные дни в покое (*а*) и в состоянии умственного напряжения (*б*).
Обозначения см. рис. 1.

и повышение его функциональной активности при увеличении уровня геомагнитной возмущенности свидетельствуют о возрастании эмоциональной напряженности. Наше предположение о преобладании в структуре биоэлектрической активности ритмов медленного спектра положительно коррелирует с повышением вегетативной активности и уровнем эмоциональной возбудимости [28].

Выявленные нами при повышении уровня геомагнитной обстановки наибольшие изменения в височных областях, с одной стороны можно объяснить тесными связями со структурами лимбической системы [29], а с другой – по-видимо-




| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 11.5 | 12.4 | 11.7 | 11.4 | 8.3 | 3.8 | 6.2 | 6.3 | 7.2 | 6.9 | 17.8 | 16.8 | 10.2 | 10.4 | 11.2 | 10.7 |
| *б* | 8.6 | 7 | 5.8 | 8.8 | 8.3 | 1.9 | 6.9 | 5.8 | 9 | 10 | 13.9 | 19.7 | 8.4 | 9.6 | 13.9 | 15 |

| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 23.8 | 27.2 | 33.2 | 29.9 | 30.6 | 23.4 | 23 | 26.9 | 27.6 | 23.5 | 22 | 21.7 | 26.5 | 25.1 | 21.9 | 27.1 |
| *б* | 26.5 | 31.1 | 35.5 | 33.2 | 33.5 | 22.1 | 24.6 | 31.1 | 29.9 | 28.2 | 23.3 | 26.8 | 29.6 | 22.3 | 27.5 | 26.6 |

| | $Fp_2$-$A_2$ | $F_4$-$A_2$ | $C_4$-$A_2$ | $P_4$-$A_2$ | $O_2$-$A_2$ | $Fp_1$-$A_1$ | $F_3$-$A_1$ | $C_3$-$A_1$ | $P_3$-$A_1$ | $O_1$-$A_1$ | $F_8$-$A_2$ | $T_4$-$A_2$ | $T_6$-$A_2$ | $F_7$-$A_1$ | $T_3$-$A_1$ | $T_5$-$A_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *а* | 25.4 | 27.6 | 23.4 | 24.8 | 20.2 | 40.7 | 35.4 | 33.2 | 30.8 | 28.5 | 21.5 | 19.6 | 20.4 | 21.7 | 31.4 | 24.9 |
| *б* | 29.9 | 26.4 | 24.6 | 21.8 | 17.9 | 43.1 | 35.3 | 28.9 | 29.9 | 26.3 | 22.4 | 19.2 | 18.1 | 25.6 | 28.7 | 26.2 |

**Рис. 3.** Диаграммы индексов θ-ритма (*А*), $\beta_1$-ритма (*Б*) и $\beta_2$-ритма (*В*) у женщины 60 лет в дни геомагнитного возмущения в покое (*а*) и в состоянии умственного напряжения (*б*).
Обозначения см. рис. 1.

му, с особой ролью этих отделов коры во время магнитных колебаний внешней среды. В ранее проведенных нами исследованиях [30], так же была выявлена вовлеченность височных областей в реакции, вызванные магнитными бурями. Тесную связь височных областей с колебаниями магнитного поля также отмечает в своих работах *J.N. Both et al.* [31].

В этой связи заслуживает внимания исследование, в котором показано, что в гиппокампе и в височных областях мозга человека найдены кристаллы биологического магнетита, схожие с аналогичными соединениями, содержащимися в клетках животных, обладающих магниторецепторными функциями [32]. По-видимому, наблюдаемое нами реагирование височных областей

(в виде усиления процентной представленности θ-ритма) на возмущение геомагнитной обстановки объясняется реакцией этих кристаллов на магнитные бури.

Так же следует отметить, что у подавляющего большинства испытуемых в структуре ЭЭГ наблюдался правополушарный акцент изменений. Этот факт, по-видимому, связан с негативной реакцией головного мозга на возмущения магнитной обстановки, вызывающей наибольшие изменения в правом полушарии, ответственном за отрицательные эмоциональные реакции. Интерес вызывает фиксируемое нами при смене геомагнитной обстановки снижение индекса и урежение частоты β-колебаний быстрочастотного диапазона на фоне усиления активности медленных ритмов. Выявленные противоположные сдвиги в соотношениях частотных характеристик быстрые-медленные ритмы касаются и амплитудных показателей. На фоне резкого снижения амплитуды высокочастотного β-ритма, при повышении геомагнитной активности наблюдается тенденция к увеличению амплитуды Δ-ритма. Взаимоотношениям θ- и β-ритмов также отводится важная роль в процессе решения визуальных задач и физического напряжения, отражающим тесные связи между субталамическими ядрами и корковыми областями [33].

Соотношения в структуре ЭЭГ частотных, амплитудных и индексных показателей медленных и быстрых ритмов, при повышении уровня геомагнитной активности, отражают функциональные сдвиги в центральных звеньях головного мозга, в деятельности лимбической системы, неспецифических системах головного мозга и в сопредельных структурах. При этом наблюдается усиление в корковом направлении восходящих синхронизирующих и снижение активирующих посылок.

Наличие у части женщин в дни слабого возмущения геомагнитной обстановки в ЭЭГ переднетеменных областей билатерально-синхронных пароксизмальных волн, отсутствующих в активности в спокойные геомагнитные дни, свидетельствует о пароксизмальной возбудимости подкорковых образований, главным образом, структур диэнцефального уровня. На основании изучения поведения животных, было высказано предположение о том, что усиление геомагнитной возмущенности, подавляет активность эндогенного мелатонина, что в свою очередь снижает порог судорожной готовности пароксизмально настроенных нейронов [34]. Наблюдаемые нами, у части женщин при усилении геомагнитной активности пароксизмальные вспышки в ЭЭГ, позволяют отнести этих лиц к группе риска по пароксизмальным состояниям. В тоже время пароксизмальная чувствительность нейронов к возмущению гелиогеомагнитной обстановки у лиц, имеющих жалобы пароксизмального характера, выдвигает на первый план необходимость разработки комплекса прогностических лечебно-профилактических мероприятий с учетом магнитной обстановки Земли.

Результаты исследований ЭЭГ в процессе умственного напряжения в состоянии покоя, свидетельствуют о различных перестройках структуры и изменении активности ЭЭГ в зависимости от степени геомагнитной возмущенности. Основные различия касаются также динамики θ-активности и β-ритма. Увеличение процентного соотношения медленных ритмов на ЭЭГ отражает усиление тормозных процессов и снижение функциональной активности коры. Наряду с этим показана прямая корреляция усиления выраженности медленных волн с интенсивностью интеллектуальной деятельности, что позволило предположить положительную роль медленного спектра биоэлектрической активности в адаптивных процессах [35]. Считается, что увеличение процентного соотношения в сторону θ-ритма является показателем успешного решения задачи. Можно предположить, что уменьшение процентного соотношения θ-ритма при переходе в состояние напряжения в геомагнитно-возмущенные дни, отражает менее удачный вариант структуры, необходимый для решения поставленной задачи. Динамика индекса β-ритма при переходе в состояние умственного напряжения в спокойные дни свидетельствует о преимущественной активации лобных и височных областей в диапазоне $\beta_2$-спектра, в то время как в дни возмущения геомагнитной обстановки активация носит диффузный характер и затрагивает диапазон низкочастотного β-спектра. Рассматривая эти данные с позиций деятельности неспецифических систем, можно отметить в состоянии умственного напряжения в спокойные дни избирательную локальную активацию корковых областей, в то время как в дни возмущения геомагнитной обстановки регистрировалась менее выраженная диффузная активация. Выявленные различия предполагают в спокойные дни при переходе в состояние умственного напряжения формирование оптимальной структуры ЭЭГ, направленной на успешное решение задачи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя полученные в работе данные, следует отметить, что возбуждение геомагнитной обстановки влияет на функциональное состояние мозга пожилых женщин. При этом в слабо возмущенные геомагнитные дни, изменения в биоэлектрической активности головного мозга наблюдаются как в состоянии покоя, так и при умственном напряжении. Механизм воздействия

геомагнитных возмущений, по-видимому, опосредован влиянием на активирующие и деактивирующие звенья неспецифических систем головного мозга, имеющих важное значение в регуляции тонуса и соответствующей настройки специфических функций коры. Наряду с этим несомненна связь с гелиогеомагнитной активностью височных областей, в большей степени правого полушария, в виду структурно-морфологических особенностей и функциональных взаимосвязей. В процессе умственного напряжения в спокойные дни активационные процессы в диапазоне высокочастотного β-спектра затрагивают лобные и височные области, в дни геомагнитного возмущения активация диффузная, выражена в меньшей степени и затрагивает низкочастотный спектр β-диапазона ЭЭГ. Снижение индекса и урежение частоты θ-ритма при переходе в состояние умственного напряжения в дни слабых геомагнитных возмущений, в отличие от увеличения индекса θ-ритма в спокойные дни, позволяет предположить о формировании менее оптимального варианта структуры ЭЭГ, направленной на успешное выполнение задания. Наличие в дни геомагнитного возмущения пароксизмальных вспышек в ЭЭГ, предполагает необходимость разработки для лиц с пароксизмально-ориентированными жалобами терапевтических и профилактических программ с учетом гелиогеомагнитной обстановки. В тоже время, связи между эмоционально-характерологическим портретом личности, проявляющимся в высоких значениях напряженности и раздражительности, а также низких показателях вегетативного тонуса и работоспособности, и гелиогеомагнитной активностью не было обнаружено. По-видимому, эти показатели психологической сферы в большей степени связаны с социально-ситуационной обстановкой.

***Этические нормы.*** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Института физиологии им. А.И. Караева Национальной академии наук Азербайджана (Баку).

***Информированное согласие.*** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

***Финансирование работы.*** Данное исследование проведено сотрудниками лаборатории клинической нейрофизиологии Института физиологии им. А.И. Караева и Шемахинской астрофизической лаборатории Национальной академии наук Азербайджана при поддержке грантового проекта, утвержденного Фондом развития науки при президенте Азербайджанской Республики на тему “Вариации гелиофизической обстановки и их влияние на техно-биологические системы” (Баку).

***Благодарности.*** Выражаем благодарность академику Российской академии образования, профессору, доктору биологических наук Деборе Ароновне Фарбер, за консультативную помощь при обсуждении полученных результатов и соответствующую поддержку данной работы. Также выражаем благодарность за оказанную помощь при проведении исследований сотрудникам клинического центра Баку (*Baku Clinic*).

***Конфликт интересов.*** Все авторы подтверждают отсутствие конфликтов, связанных с публикацией данной статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Григорьев А.И., Потапов А.Н.* Космическая физиология / 100 лет физиологии в России // Вестник РФФИ. 2017. № 11. С. 21.
2. *Крылов В.В.* Биологические эффекты геомагнитной активности: наблюдения, эксперименты и возможные механизмы // Труды ИБВВ РАН. 2018. № 84(87). С. 7.
3. *Ragul’skaya M.V., Rudenchik E.A., Chibisov S.M., Gromozova E.N.* Effects of Space Weather on Biomedical Parameters during the Solar Activity Cycles 23–24 // Bull. Exp. Biol. Med. 2015. V. 159. № 2. P. 269.
4. *Самсонов С.Н., Маныкина В.И., Клейменова Н.Г. и др.* Геомагнитные пульсации и жизнь на Земле / Информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии. Материалы Международной конференции IT + M&Ec’2016, Гурзуф, 2–12 июня 2016 г. С. 299.
5. *Самсонов С.Н., Стрекаловская А.А., Малышева Л.А. и др.* Связь геомагнитной возмущенности с состоянием сердечно-сосудистой системы человека в высоких широтах на фазе роста 11-летнего цикла солнечной активности // Якутский медицинский журн. 2016. № 2(54). С. 52.
6. *Самсонов С.Н.* Космическая погода 2016: последствия для жизни на Земле // Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии: материалы Международной конференции IT + M&Ec’2016, Гурзуф, 2–12 июня 2016 г. С. 307.
7. *Полякова Е.В., Мырцева Е.А., Поскотинова Л.В.* Воздействие факторов космической погоды на показатели сердечно-сосудистой системы у молодежи города Архангельска // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10. Ч. 2. С. 282.
8. *Azcárate T., Mendoza B., Levi J.R.* Influence of geomagnetic activity and atmospheric pressure on human arterial pressure during the solar cycle 24 // Adv. Space Res. 2016. V. 58. № 10. P. 2116.
9. *Papathanasopoulos P., Preka-Papadema P., Gkotsinas A. et al.* The possible effects of the solar and geomagnetic

activity on multiple sclerosis // Clin. Neurol. Neurosurg. 2016. V. 146. P. 82.

10. *Михайлова Г.А.* Возможный биофизический механизм влияния солнечной активности на центральную нервную деятельность человека / Материалы VII междисциплинарной конференции по биологической психиатрии “Стресс и поведение”. М., 2003. URL: http://arc.iki. rssi.ru/puschino/abs.doc
11. *Cherry N.J.* Schumann resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of solar/geomagnetic activity // Natural Hazards. 2002. V. 26. № 3. P. 279.
12. *Афанасьева Ю.А.* Изменение функционального состояния мозга человека при различных уровнях геомгнитной возмущенности / Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: сб. ст. по мат. XXX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 4(29). URL: http://sibac.info/archive/nature/4(29)
13. *Павлов К.И., Мухин В.Н., Клименко В.М.* Зависимость уровня активации коры головного мозга женщин от различных экологических факторов // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14. № 4. С. 22.
14. *Рожков В.П., Трифонов М.И., Бекшаев С.С. и др.* Оценка влияния геомагнитной и солнечной активности на биоэлектрические процессы мозга человека с помощью структурной функции // Российский физиологичекий журн. им. И.М. Сеченова. 2016. Т. 102. № 12. С. 1479.
15. *Кануников И.Е., Киселев Б.В.* Влияние геомагнитного поля на рекуррентные характеристики электроэнцефалограммы // Экология человека. 2014. № 12. С. 47.
16. *Хорсева Н.И.* Возможность использования психофизиологических показателей для оценки влияния космофизических факторов // Геофизические процессы и биосфера. 2013. Т. 12. № 2. С. 34.
17. *Яценко М.В., Кайгородова Н.З.* Влияние погодных условий на показатели умственной работоспособности и биоэлектрическую активность головного мозга студентов // Вестник КемГУ. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 1. С. 31.
18. *Холодов Ю.А.* Неспецифическая реакция нервной системы на неионизирующее излучение // Радиационная биология. Радиоэкология. 1998. Т. 38. № 1. С. 121.
19. *Лукьянова С.Н.* Феноменология и генез изменений в суммарной биоэлектрической активности головного мозга на электромагнитное излучение // Радиационная биология. Радиоэкология. 2002. Т. 42. № 3. С. 308.
20. *Кайгородова Н.З., Сысолина Н.В.* Половые особенности взаимосвязи умственной работоспособности и солнечной активности // Естественные и технические науки. 2009. № 4(42). С. 104.
21. *Яценко М.В., Кайгородова Н.З.* Умственная работоспособность и функциональное состояние головного мозга у студенток младших курсов при разных уровнях солнечной активности // Журн. Биосфера. 2018. Т. 10. № 1. С. 36.
22. *Рагульская М.В., Обридко В.Н., Пипин В.В. и др.* Космогеофизические факторы и степень хаотизации параметров ЭКГ и ЭЭГ // Психосоматические и интегративные исследования. 2018. Т. 4. № 3: 0305.
23. *Зайцев В.П., Айвазян Т.А.* Компьютерная программа “Цветовой тест Люшера 2015”. http // www.nmc-radix.com / E-mail:radix@nmc-radix.com
24. *Фарбер Д.А., Мачинская Р.И., Курганский А.В., Петренко Н.Е.* Функциональная организация мозга в период подготовки к опознанию фрагментарных изображений // Журнал высшей нервной деятельности. 2014. Т. 64. № 2. С. 190.
25. *Patten T.M., Rennie C.J., Robinson P.A., Gong P.* Human cortical traveling waves: dynamical properties and correlations with responses // PLoS One. 2012. V. 7. № 6: e38392.
26. *Новик О.Б., Смирнов Ф.А.* Геомагнитная буря уменьшает когерентность электрических колебаний головного мозга при работе на компьютере 2013 г. // Биофизика. 2013. Т. 58. № 3. С. 554.
27. *Мачинская Р.И., Курганский А.В.* Сравнительное электрофизиологическое исследование регуляторных компонентов рабочей памяти у взрослых и детей 7–8 лет. Анализ когерентности ритмов ЭЭГ // Физиология человека. 2012. Т. 38. № 1. С. 5. *Machinskaya R.I., Kurgansky A.V.* A comparative electrophysiological study of regulatory components of working memory in adults and seven- to eight-year-old children: An analysis of coherence of EEG rhythms // Human Physiology. 2012. V. 38. № 1. P. 1.
28. *Бутова О.А., Гришко Е.А.* Особенности формирования биоэлектрической активности нейронов головного мозга военнослужащих Ставропольского гарнизона в аспекте адаптации // Вестник СГУ. 2009. № 63(4). С. 235.
29. *Синельников Р.Д., Синельников Я.Р., Синельников А.Я.* Атлас анатомии человека. М.: Медицина, 2009–2010. Т. 4. С. 313.
30. *Babayev E.S., Allahverdiyeva A.A.* Effects of geomagnetic activity variationson the physiological and psychological state of functionally healthy humans: Some results of Azerbaijani studies // Adv. Space Res. 2007. № 40. P. 1941.
31. *Booth J.N., Koren S.A., Persinger M.A.* Increased feelings of the sensed presence and increased geomagnetic activity at the time of the experience during exposures to transcerebral weak complex magnetic fields // Int. J. Neurosci. 2005. V. 115. № 7. P. 1053.
32. *Кануников И.Е., Белов Д.Р., Гетманенко О.В.* Влияние геомагнитной активности на электроэнцефалограмму человека // Экология человека. 2010. № 6. С. 6.
33. *Zavala B., Tan H., Ashkan K. et al.* Human subthalamic nucleus-medial frontal cortex theta phase coherence is involved in conflict and error related cortical monitoring // Neuroimage. 2016. V. 137. P. 178.
34. *Persinger M.A., St. Pierre L.S., Koren S.A.* Geophysical variables and behavior XCI. Ambulatory behavior in rats following prenatal exposures to complex magnetic fields designed to interact with genetic espression // Percept. Mot. Skitts. 2001. V. 92. № 1. P. 183.
35. *Марютина Т.М., Кондаков И.М.* Психофизиология. Учебник для вузов. М.: МГППУ, 2004. С. 183.

# Functional Condition of the Brain in Elderly Women at Rest and in Mental Stress in Varying Geomagnetic Conditions

**A. R. Allakhverdiev[a, *], A. A. Allakhverdieva[a], E. S. Babayev[b, **]**

[a]*Garayev Institute of Physiology, ANAS, Baku, Azerbaijan*

[b]*Shamakhy Astrophysical Observatory named after N. Tusi of the ANAS, Baku, Azerbaijan*

**E-mail: ali_doctor@mail.ru*

***E-mail: elchin.babayev@gmail.com*

We studied the effect of geomagnetic disturbances on the functional activity of the brain in healthy elderly women (50–60 years). We performed personalized studies of the brain bioelectrical activity (EEG) on normal days ($Kp = 1–2$) and days with weak geomagnetic disturbances ($Kp = 4$). The EEG segments of the main regions in both hemispheres were used for computer analysis to determine the frequency, amplitude and index characteristics in the state of quiet wakefulness with eyes closed and solving an arithmetic task in mind. We observed changes in the structural organization both at rest and during mental stress in the days of geomagnetic disturbance in comparison with normal days. The changes reflected a violation mainly of the balance of synchronization and desynchronization mechanisms of non-specific brain systems and the reaction of the limbic system and temporal areas, mainly in the right hemisphere. At the same time, the activation processes in the high-frequency beta spectrum affect the frontal and temporal regions in the process of mental stress on normal days. On the days of geomagnetic disturbance, the activation is diffuse and affect the low-frequency spectra of the EEG beta-range. These data and a decrease in the index and frequency of the theta rhythm on the days with weak geomagnetic disturbances, in contrast to the increase in the index of the theta rhythm on normal days, suggest that the variant of the EEG structure is less optimal for successful completion of the task.

*Keywords:* electroencephalography, frequency, amplitude, index analyzes, female gender, state of rest, mental arithmetic, geomagnetic calm days, weak geomagnetic disturbances.