

З.Ф. Зверева<sup>1</sup>, Н.П. Ванчакова<sup>2</sup>, Ф.С. Торубаров<sup>1</sup>, С.Н. Лукьянова<sup>1</sup>, Л.И. Фортунатова<sup>1</sup>, Е.В. Мирошник<sup>1</sup>

## ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НИЗКОМ УРОВНЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ У РАБОТНИКОВ ЯДЕРНО-ОПАСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРОИЗВОДСТВ

<sup>1</sup> Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

<sup>2</sup> Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова Минздрава России, Санкт-Петербург

Контактное лицо: Зоя Фёдоровна Зверева, e-mail: zvereva01@yandex.ru

### РЕФЕРАТ

**Цель:** Выявить механизмы формирования функционального состояния центральной нервной системы при низком уровне психофизиологической адаптации, установить участие структурно-функциональных образований, которые характеризуют психический, психофизиологический и физиологический уровни функционирования на основе данных визуального анализа ЭЭГ, характеристик мощности биопотенциалов и показателей церебрального энергообмена.

**Материал и методы:** ЭЭГ работников ядерно опасных предприятий и производств с низким и высоким уровнями психофизиологической адаптации. Использовали: визуальный анализ, анализ спектральной мощности ЭЭГ, оценку показателей церебрального энергообмена.

**Результаты:** По данным визуального анализа ЭЭГ и анализа спектральной мощности биопотенциалов функциональное состояние ЦНС при низком уровне адаптации снижалось. Основой вклад в снижение вносили: структурно-функциональное образование, ответственное за центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы, и усиление активности структур лимбико-ретикулярного комплекса, которые участвуют в регуляции вегетативных функций и эмоциональных реакций.

**Заключение:** Усиление активности структур лимбико-ретикулярного комплекса свидетельствовало о наличии у обследуемых эмоционального стресса. При высоком уровне адаптации гомеостаз в условиях стресса поддерживается путём аллостаза – постоянного изменения параметров организма так, чтобы они не выходили из нормы. При низком уровне адаптации гомеостаз в условиях стресса поддерживается путём энантиостаза, направленного на сохранение функций через изменения показателей внутренней среды, которые выходят за пределы нормы. Процессы церебрального энергообмена при низком уровне адаптации усиливались в передних (обрабатывающих информацию) отделах коры, и не изменялись в задних (воспринимающих информацию) отделах при осуществлении функций психического и психофизиологического уровней функционирования. Усиление может быть обусловлено необходимостью интенсификации церебрального энергообмена при обработке информации, которая происходит с участием лобных долей. Лобные доли ответственны за наиболее сложные формы психической деятельности, осуществляющиеся с участием высших психических функций.

В структурно-функциональном образовании, ответственном за центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы, осуществляющуюся дизэнцефальными отделами мозга (без участия высших психических функций), усиления энергообмена не отмечалось.

**Ключевые слова:** работники ядерно-опасных предприятий, центральная нервная система, функциональное состояние, ЭЭГ, визуальный анализ, психофизиологическая адаптация, церебральный энергообмен

**Для цитирования:** Зверева З.Ф., Ванчакова Н.П., Торубаров Ф.С., Лукьянова С.Н., Фортунатова Л.И., Мирошник Е.В. Характеристика функционального состояния центральной нервной системы при низком уровне психофизиологической адаптации у работников ядерно-опасных предприятий и производств // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 6. С. 84–96. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-6-84-96

Z.F. Zvereva<sup>1</sup>, N.P. Vanchakova<sup>2</sup>, F.S. Torubarov<sup>1</sup>, S.N. Lukyanova<sup>1</sup>, L.I. Fortunatova<sup>1</sup>, E.V. Miroshnik<sup>1</sup>

## Characteristics of the Functional State of the Central Nervous System at a Low Level of Psychophysiological Adaptation in Workers of Nuclear-Hazardous Enterprises and Productions

<sup>1</sup> A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

<sup>2</sup> I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

Contact person: Z.F. Zvereva, e-mail: zvereva01@yandex.ru

### ABSTRACT

**Purpose:** To identify the mechanisms of formation of the functional state of the central nervous system with a low level of psychophysiological adaptation. To establish the involvement of structural and functional formations that characterize the mental, psychophysiological and physiological levels of functioning. To do this, analyze the data of visual EEG analysis, the characteristics of the power of EEG and indicators of cerebral energy exchange.

**Material and methods:** EEG of employees of nuclear hazardous enterprises and industries with low and high levels of psychophysiological adaptation. The following methods were used: visual analysis, EEG spectral power analysis, assessment of cerebral energy exchange.

**Results:** According to visual EEG analysis and analysis of the spectral power of EEG, the functional state of the central nervous system decreased with a low level of adaptation. The main contribution to the decline was made by: structural and functional formation, which is

responsible for the central regulation of the cardiovascular system; increased activity of the structures of the limbic-reticular complex, which regulate autonomic functions and emotional reactions.

**Conclusion:** Increased activity of the structures of the limbic-reticular complex indicated the presence of emotional stress in the subjects. With a high level of adaptation, homeostasis under stress is maintained by allostasis. With allostasis, the body's parameters are constantly changing, and they do not go out of the norm. With a low level of adaptation, homeostasis under stress is maintained by enantiostasis. Enantiostasis is aimed at preserving the functions of the body, the indicators of the internal environment change and exceed the limits of the norm.

The processes of cerebral energy exchange at a low level of adaptation intensified in the anterior (information-processing) parts of the cortex, and did not change in the posterior (information-receiving) departments when performing the functions of mental and psychophysiological levels of functioning. The enhancement may be due to the need to intensify cerebral energy exchange during the processing of information, which occurs with the participation of the frontal lobes. The frontal lobes are responsible for the most complex forms of mental activity involving higher mental functions.

There was no increase in energy exchange in the structural and functional education responsible for the central regulation of the cardiovascular system carried out by the diencephalic parts of the brain (without the involvement of higher mental functions).

**Keywords:** workers of nuclear hazardous enterprises, central nervous system, functional state, EEG, visual analysis, psychophysiological adaptation, cerebral energy exchange

**For citation:** Zvereva ZF, Vanchakova NP, Torubarov FS, Lukyanova SN, Fortunatova LI, Miroshnik EV. Characteristics of the Functional State of the Central Nervous System at a Low Level of Psychophysiological Adaptation in Workers of Nuclear-Hazardous Enterprises and Productions. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2025;70(6):84–96. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-6-84-96

## Введение

Профессиональная деятельность работников ядерно-опасных предприятий и производств (ЯОПП) характеризуется высокой степенью ответственности и связана с большим эмоциональным напряжением. Основные задачи этой деятельности (своевременное и правильное восприятие сложной информации, её оценка, принятие решений и осуществление адекватных ответных действий) требуют высокого, соответствующего норме, функционального состояния (ФС) центральной нервной системы (ЦНС) [1, 2]. Нарушения ФС ЦНС могут привести к риску возникновения аварийных ситуаций по вине персонала [1–3].

Оценить ФС ЦНС позволяет психофизиологическое обследование (ПФО), которое проводится работникам ЯОПП в рамках обязательных ежегодных медицинских осмотров (МО) [4]. Основной целью ПФО является оценка психофизиологической адаптации (ПФА), под которой понимается ответ ЦНС и организма человека в целом на действие внешних и внутренних факторов, направленный на достижение максимально полезного приспособительного результата [5]. Опыт проведения ПФО показал целесообразность применения комплексного подхода к оценке ПФА с использованием методик, характеризующих психическую, психофизиологическую и физиологическую сферы человека [1–4, 6].

При снижении ПФА возникает необходимость проведения реабилитационно-оздоровительных мероприятий (РОМ). Для назначения РОМ требуется тщательная оценка ФС ЦНС и организма в целом, включая психический, психофизиологический и физиологический уровни функционирования [1–3, 6]. Разработанная в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна концептуальная модель ПФО персонала ЯОПП [7] позволяет выделить структурно-функциональные образования (СФО), характеризующие названные выше уровни функционирования ЦНС. Модель основывается на структурно-функциональном подходе, согласно которому в ЦНС выделяются подсистемы, представляющие совокупность элементов, связанных устойчивыми взаимоотношениями, структура которых не меняется при осуществлении их целевых функций [7–9]. В соответствии с моделью были выделены следующие подсистемы, или СФО ЦНС:

– СФО-1 с преимущественным участием психического уровня функционирования. Это, главным образом, личностные особенности человека – психическое

состояние, черты характера, уровень интеллекта, уровень интернальности–экстернальности (степень готовности человека брать на себя ответственность за происходящее с ним и вокруг него). В формировании личностных особенностей человека участвуют высшие психические функции (ВПФ), в осуществление которых в наибольшей степени включается кора головного мозга (ГМ) [10, 11].

– СФО-2 отражает психофизиологический уровень функционирования: динамику скорости нервных процессов, их переключения, уровень зрительно-моторной координации, общий уровень работоспособности и активности ЦНС. Эти процессы осуществляются при доминирующей роли корково-подкорковых взаимоотношений [12].

– СФО-3 представляет физиологический уровень функционирования: центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы (ССС), которая осуществляется дiencephальными отделами ствола ГМ [13–17]. Показатели всех СФО ЦНС интегрально характеризуют ФС ЦНС и уровень ПФА.

ФС ЦНС, которая является физиологической основой механизмов регуляции, рассматривается как ключевое звено в структуре ФС организма в целом, отражающее уровень функционирования как отдельных систем, так и всего организма, и характеризующее особенности гомеостаза и процесса адаптации [18, 19]. Е.П. Ильин определяет ФС человека как психофизиологическое состояние, или «системную реакцию на внешние и внутренние воздействия, направленную на сохранение целостности и обеспечение жизнедеятельности организма в конкретных условиях», подчеркивая, что это реакция «не только психики, но и всего организма и личности в целом» [19]. Согласно Е.П. Ильину, психофизиологическое состояние человека может быть представлено характеристиками трех уровней реагирования: психического (переживания), физиологического (структуры и механизмы, прежде всего, вегетативной нервной системы) и поведенческого (мотивированное поведение) [19]. Заключение о состоянии человека можно сделать только по совокупности показателей, отражающих каждый из этих уровней. Ведущую роль в формировании психофизиологического состояния играют психологические особенности личности. Соответственно, механизмам регуляции психического уровня функционирования принадлежит ведущая роль в формировании ФС человека [18, 19].

Особенности психического состояния, которые отражает СФО-1, формируются и реализуются с участием ВПФ (памяти, внимания, мышления, восприятия речи и т.д.). ВПФ рассматриваются как функциональные системы, социальные по происхождению, опосредствованные по строению, и сознательные, произвольные по способу функционирования [11, 20, 21]. Основой локализации ВПФ, в соответствии с представлениями А.Р. Лурии, является весь мозг в целом как высококодифференцированная система [10, 11]. Предложенная А.Р. Лурия структурно-функциональная модель работы мозга как единого целого выделяет три структурно-функциональных блока: 1) энергетический, или неспецифической активации; 2) получения, переработки и хранения экстероцептивной информации; 3) программирования, регуляции и контроля психической деятельности [10, 11].

С позиций целостной системной деятельности ГМ одним из наиболее информативных методов изучения ФС ЦНС является регистрация суммарной электрической активности нейронов ГМ – ЭЭГ [22, 23]. Анализ ЭЭГ, проведенный у работников ЯОПП, позволил выявить характеристики ФС ЦНС при низком уровне ПФА. С помощью визуального анализа ЭЭГ выявлено нарастание по мере снижения адаптации показателей, расцениваемых как аномальные [24]. Сопоставление результатов визуального анализа и компьютерной оценки мощности биопотенциалов (БП) ЭЭГ позволило предложить прогностические критерии разных уровней адаптации [25]. Исследование церебрального энергообмена выявило его усиление при низком уровне адаптации [26]. Состояние этой глобальной проблемы требует накопления данных и их развития.

Цель работы определена с учётом полученных при анализе ЭЭГ работников ЯОПП данных – выявить механизмы формирования ФС ЦНС при низком уровне ПФА с участием СФО ЦНС, характеризующих психический, психофизиологический и физиологический уровни функционирования путём на основе данных визуального анализа, характеристик мощности БП ЭЭГ и показателей церебрального энергообмена.

**Материал и методы**

**Объект и методы исследования**

Исследовались ЭЭГ, записанные у работников ЯОПП, не имевших противопоказаний к продолжению

работы по результатам МО. При проведении ПФО использовался комплекс «АПК ПФС-КОНТРОЛЬ» [2, 4]. Проанализированы 720 ЭЭГ и выделены группы: 159 ЭЭГ лиц с низким уровнем ПФА (50,8±4,6 лет; 146 муж., 13 жен.); 152 ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА. Группы однородны по составу – среди лиц с низким уровнем ПФА 7,5 % жен., с высоким уровнем ПФА – 8,5 % жен. Лица с низким уровнем ПФА имели преимущественно низкие и средние показатели СФО-1, СФО-2, СФО-3 в разных сочетаниях, лица с высоким уровнем ПФА – преимущественно высокие и средние показатели СФО-1, СФО-2, СФО-3, эти данные приведены в табл. 1.

СФО ЦНС выделялись на основе следующих методик.

СФО-1 – многостороннее исследование личности (ММИЛ, адаптированный вариант ММРП [27, 28]); 16-факторный личностный опросник Кеттелла (16-ФЛО, форма А [4, 27, 29]); прогрессивные матрицы Равенна [4, 27, 30]; уровень субъективного контроля (УСК) [4, 27, 31].

СФО-2 – простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР), сложная зрительно-моторная реакция (СЗМР), реакция на движущийся объект (РДО) [4, 27, 32].

СФО-3 – вариабельность сердечного ритма (ВСР) [4, 13–15, 27].

ЭЭГ регистрировали на аппарате ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (МЕДИКОМ МТД, Таганрог) при пассивном бодрствовании и стандартных нагрузках (открытие глаз, ритмически мелькающей свет, гипервентиляция). Электроды помещали в соответствии со схемой «10–20 %» в: Fp<sub>1</sub>, Fp<sub>2</sub>; F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, F<sub>7</sub>, F<sub>8</sub>; T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>; C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>; P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>; O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>. Отведение монополярное, индифферентные электроды – на мочках ушей. Оцифровка сигналов – 1024, скорость развёртки – 30 мм/сек. Регистрировали: δ – 0–3,5 Гц; θ – 4,0–7,0 Гц; α – 8,0–13,0 Гц; β<sub>1</sub> – 14–24 Гц; β<sub>2</sub> – 25–35 Гц.

При оценке результатов ЭЭГ-исследования использовали визуальный анализ.

**Визуальный анализ ЭЭГ**

Рассматривали: 1) тип ЭЭГ, отмечая норму (I–III типы), либо наличие аномальных проявлений (тип IV) [24]; 2) динамику ЭЭГ – устойчивость / неустойчивость паттерна за 1 мин [33]; 3) высокий индекс низкочастот-

Таблица 1

**Частота выявления показателей СФО-1, СФО-2, СФО-3 (низких, средних, высоких) в группах лиц с низким и высоким уровнями ПФА**  
**Frequency of detection of indicators SFO-1, SFO-2, SFO-3 (low, medium, high) in groups of people with low and high levels**

Показатели СФО-2, СФО-3 (низкие, средние, высокие), выявляемые у лиц с низким уровнем ПФА при низкой ФА СФО-1 – 48 чел./100 %					
СФО-2			СФО-3		
низкие – 35,4 %	средние – 60,4 %	высокие – 4,2 %	низкие – 29,1 %	средние – 64,5 %	высокие – 6,4 %
Показатели СФО-1, СФО-3 (низкие, средние, высокие), выявляемые у лиц с низким уровнем ПФА при низкой ФА СФО-2 – 53 чел./100 %					
СФО-1		СФО-3			
низкие – 88,7 %		высокие – 11,3 %		низкие – 59,4 %	средние – 20,3 %
Показатели СФО-1, СФО-2 (низкие, средние, высокие), выявляемые у лиц с низким уровнем ПФА при низкой ФА СФО-3 – 110 чел./100 %					
СФО-1			СФО-2		
низкие – 8,2 %	средние – 80 %	высокие – 2,7 %	низкие – 28,2 %	средние – 59,1 %	высокие – 12,7 %
Показатели СФО-2, СФО-3 (высокие, средние, низкие), выявляемые у лиц с высоким уровнем ПФА при высокой ФА СФО-1 – 117 чел./100 %					
СФО-2			СФО-3		
высокие – 32,5 %		средние – 67,5 %		высокие – 41 %	
				средние – 59 %	
Показатели СФО-1, СФО-3 (высокие, средние, низкие), выявляемые у лиц с высоким уровнем ПФА при высокой ФА СФО-2 – 71 чел./100 %					
СФО-1		СФО-3			
высокие – 62 %		средние – 38 %		высокие – 83,1 %	
				средние – 16,9 %	
Показатели СФО-1, СФО-2 (высокие, средние, низкие), выявляемые у лиц с высоким уровнем ПФА при высокой ФА СФО-3 – 87 чел./100 %					
СФО-1			СФО-2		
высокие – 62 %			средние – 38 %		
			высокие – 47,1 %		
			средние – 52,9 %		

ной  $\beta_1$ -активности; 4) вспышки билатерально-синхронных волн (БСВ) [22].

**Анализ спектральной мощности БП ЭЭГ**

Показатели спектральной мощности  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  диапазонов ЭЭГ в мкВ<sub>2</sub>/Гц определяли методом компьютерного анализа по алгоритму быстрого преобразования Фурье [22]. Анализировали распределение показателей мощности БП ЭЭГ по коре ГМ, и проводили сравнение спектральной мощности БП ЭЭГ: в передних отделах коры – в лобных отведениях  $F_{p1}$ ,  $F_{p2}$ ,  $F_3$ ,  $F_4$ , височных зонах (с включением ниже-лобных –  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $F_7$ ,  $F_8$ ); в центрально-теменно-затылочных отведениях ( $C_3$ ,  $C_4$ ;  $P_3$ ,  $P_4$ ;  $O_1$ ,  $O_2$ ).

Для оценки церебрального энергообмена использовался показатель величины межполушарных различий (ВМПР) мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений [34]. Расчёт производился следующим образом: безартефактные отрезки фоновой записи (1,5–2 мин) обрабатывали по программам ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» и получали цифровые значения 10 фрагментов спектральной мощности БП ЭЭГ для отведений передних ( $F_{p1}$  –  $F_{p2}$ ,  $F_3$  –  $F_4$ ,  $F_7$  –  $F_8$ ) и задних ( $C_3$  –  $C_4$ ,  $P_3$  –  $P_4$ ,  $O_1$  –  $O_2$ ) отделов коры. Затем в каждой паре гомологичных отведений высчитывали разницу между значениями от условной средней в % по формуле:

$$\frac{(A-B)}{(A+B)} \times 100 \%,$$

где А – мощность БП ЭЭГ в отведении левого полушария, В – мощность БП ЭЭГ в отведении правого полушария].

Далее абсолютные значения полученных величин усредняли во всех диапазонах ( $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ) отдельно для передних и задних отделов коры и рассматривали как показатели церебрального энергообеспечения [34].

Статистическая обработка данных осуществлялась по программам STATISTICA 6 для Windows и Biostat (STATISTICA, StatSoft Inc., США; Biostat, AnalystSoft, США). Обработка по программе STATISTICA 6 включала расчет среднего арифметического ( $M$ ) и погрешности среднего ( $m$ ). Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента, уровень значимости  $p < 0,05$ . Обработка по программе Biostat включала расчет критерия  $\chi^2$ , уровень значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты**

**Визуальный анализ ЭЭГ**

По данным визуального анализа при высоком и низком уровнях ПФА аномальные показатели – «IV тип ЭЭГ», «Неустойчивая динамика», «Высокий индекс  $\beta_1$ -активности», «Вспышки БСВ» – отмечались в ЭЭГ в статистически значимых количествах (при  $p < 0,05$  по критерию знаков). При низком уровне ПФА процент ЭЭГ с такими показателями был существенно выше ( $\chi^2$ ,  $p < 0,05$ ), рис. 1.

Аномальные показатели свидетельствовали о больших отклонениях в подкорковых структурах, чем в коре ГМ. О нарушениях в коре свидетельствовали показатели «IV тип ЭЭГ» и «Неустойчивая динамика» [22–24]. О нарушениях в стволовых структурах диэнцефального уровня, включая неспецифические ядра таламуса – показатели «IV тип ЭЭГ», «Высокий индекс  $\beta_1$ -активности», «Вспышки БСВ» [22–24].

В СФО ЦНС аномальные показатели нарастали по-разному (рис. 2). В СФО-1 увеличилась частота только одного признака – «Неустойчивая динамика». В СФО-2

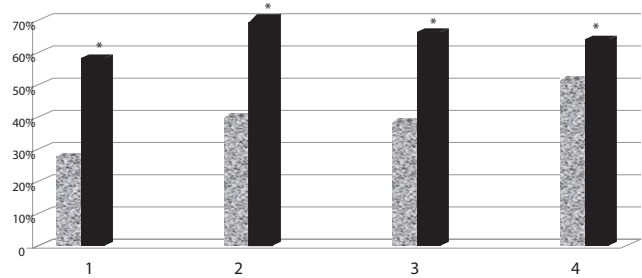


Рис. 1. Частота аномальных показателей при низком и высоком уровнях ПФА в %

**Примечание:**

- – высокий уровень ПФА (n = 159);
- – низкий уровень ПФА (n = 152);
- аномальные проявления в ЭЭГ: 1 – IV-й тип ЭЭГ; 2 – неустойчивая динамика ЭЭГ; 3 – высокий индекс  $\beta_1$ -активности; 4 – наличие вспышек БСВ.
- \* –  $p < 0,05$  по критерию  $\chi^2$  относительно высокого уровня ПФА

Fig. 1. Frequency of abnormal indicators at low and high levels of PFA in %

**Note:**

- – high level of PFA (n = 159);
- – low level of PFA (n = 152);
- abnormal manifestations in the EEG: 1 – IV-th type of EEG; 2 – unstable dynamics of the EEG; 3 – high index  $\beta_1$ -activity; 4 – presence of bursts of BSF.
- \* –  $p < 0.05$  according to the  $\chi^2$  criterion for a high level of PFA

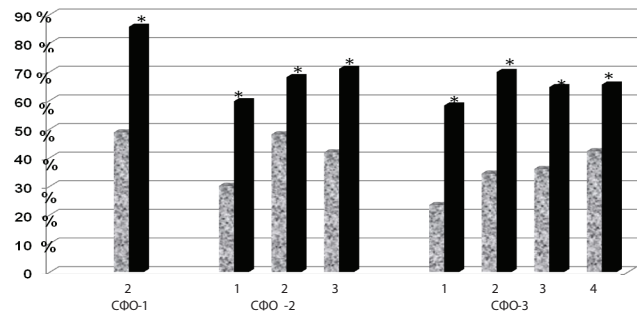


Рис. 2. Частота аномальных показателей при низком и высоком уровнях ФА СФО ЦНС в %

**Примечание:**

- – высокий уровень ФА СФО-1 (n = 117), СФО-2 (n = 71), СФО-3 (n = 87);
- – низкий уровень ФА СФО-1 (n = 48), СФО-2 (n = 53), СФО-3 (n = 110);
- аномальные проявления в ЭЭГ: 1 – IV-й тип ЭЭГ; 2 – неустойчивая динамика ЭЭГ; 3 – высокий индекс  $\beta_1$ -активности; 4 – наличие вспышек БСВ.
- \* –  $p < 0,05$  по критерию  $\chi^2$  относительно высокой ФА СФО ЦНС

Fig. 2. Frequency of abnormal indicators at low and high levels of FA SFO CNS in %

**Note:**

- – high level of FA SFO-1 (n = 117), SFO-2 (n = 71), SFO-3 (n = 87);
- – low level of FA SFO-1 (n = 48), SFO-2 (n = 53), SFO-3 (n = 110);
- abnormal manifestations in the EEG: 1 – IV-th type of EEG; 2 – unstable dynamics of the EEG; 3 – high index  $\beta_1$ -activity; 4 – presence of flashes of BSF.
- \* –  $p < 0.05$  according to the criterion  $\chi^2$  relatively high FA SFO CNS

увеличилась частота трёх признаков – «IV тип ЭЭГ», «Неустойчивая динамика», «Вспышки БСВ». В СФО-3 – всех четырёх: «IV тип ЭЭГ», «Неустойчивая динамика», «Высокий индекс  $\beta_1$ -активности», «Вспышки БСВ». Сходство между низким уровнем ПФА и низкой ФА СФО-3 по числу аномальных показателей позволяет предположить, что именно это образование вносит основной вклад в формирование ФС ЦНС при низком уровне ПФА.

**Анализ спектральной мощности БП ЭЭГ**

При анализе распределения показателей мощности БП ЭЭГ по коре ГМ выявилась большая степень усиления активности височных зон, тесно связанных со структурами лимбико-ретикулярного комплекса (ЛРК), участвующего в формировании эмоциональных реакций и регуляции вегетативных функций [13–16, 22, 23]. Это проявлялось меньшими значениями показателей мощности  $\delta, \theta, \alpha, \beta_1$  в височных зонах (относительно остальных,  $p < 0,05$ ) при низком уровне ПФА и ФА СФО.

Данные проиллюстрированы на рис. 3, где показано распределение показателей мощности  $\delta$  и  $\theta$ -диапазонов по коре ГМ при низком/высоком уровнях ПФА и ФА СФО.

Сравнение спектральной мощности БП ЭЭГ в зонах коры при низком/высоком уровнях ПФА, низкой/высокой ФА СФО выявило усиление активности во всех структурах коры: в передних отделах (лобных, и височных зонах – с включением ниже-лобных), а также в задних отделах (центрально-теменно-затылочных зонах). Усиление активности корковых структур при низком уровне ПФА (табл. 2) проявлялось уменьшением:

- в передних отделах коры (в лобных отведениях  $Fp_1, Fp_2, F_3, F_4$ ) мощности  $\delta$ ; в  $F_3$  – мощности  $\theta, \alpha, \beta_1$ ; в  $Fp_1$  – мощности  $\beta_1$ ; в  $Fp_1, F_3$  – увеличением мощности  $\beta_2$ ;
- в височных зонах (с включением ниже-лобных  $T_3, T_4, T_5, T_6, F_7, F_8$ ) – мощности  $\delta, \theta, \alpha, \beta_1$ ; в височных зонах левого полушария  $T_3, T_5$  – увеличением мощности  $\beta_2$ ;
- в центрально-теменно-затылочных зонах задних отделов коры – уменьшением мощности  $\alpha$  в  $P_3, O_1$ ; мощности  $\beta_1$  – в  $C_3$ .

Сходные изменения спектральной мощности БП

ЭЭГ выявились в СФО-1 и в СФО-3. В СФО-1 (табл. 3):

- в лобных отделах коры в  $Fp_1, F_3, Fp_2, F_4$  отмечалось уменьшение мощности  $\delta$ ; в  $Fp_2$  – уменьшение  $\beta_1$ ; в  $Fp_1, F_3$  – увеличение мощности  $\beta_2$ ;
  - в височных зонах в  $T_3, T_5, F_7, T_4, T_6, F_8$  – уменьшение мощности  $\delta, \theta, \beta_1$ ; в  $T_3, T_5, T_4, T_6, F_8$  – мощности  $\alpha$ ; в  $T_3$  – увеличение мощности  $\beta_2$ ;
  - в задних отделах коры в  $C_3, P_3, O_1, C_4, P_4, O_2$  – уменьшение мощности  $\delta$ ; в  $P_3, O_1$  – уменьшение мощности  $\theta$ ; в  $O_1, C_4, P_2, O_2$  – уменьшение мощности  $\beta_1$ .
- В СФО-3 (табл. 4) в лобных отделах коры в  $Fp_1, Fp_2, F_3, F_4$  отмечалось уменьшение мощности  $\delta, \alpha$ ; в  $F_3$  – увеличение мощности  $\beta_2$ ;
- в височных зонах в  $T_3, T_4, T_5, T_6, F_7, F_8$  – уменьшение мощности  $\delta, \theta, \alpha$ ; в  $T_5, F_7$  и  $T_4, T_6, F_8$  – уменьшение мощности  $\beta_1$ ; в  $T_3, T_5, F_7$  – увеличением мощности  $\beta_2$ ;
  - в задних отделах коры в  $P_3, O_1$  – уменьшение мощности  $\theta$ ; в  $C_3, C_4, P_3, P_4, O_1, O_2$  – уменьшение мощности  $\alpha$ ; в  $O_1$  – уменьшение мощности  $\beta_1$ .

В СФО-2 (табл. 5) активность корковых структур изменялось по-иному – отмечалось не усиление, а снижение активности, проявлявшееся:

- в передних отделах коры в  $Fp_1, Fp_2, F_3, F_4$  – увеличением мощности  $\theta$ ; в  $F_3$  – увеличением мощности  $\beta_1$ ;
- в задних отделах коры в  $C_3, C_4, P_3, P_4, O_1, O_2$  увеличением мощности  $\delta$  и  $\theta$ ; и увеличение мощности  $\beta_2$  в  $C_3, P_3, O_1$ .
- в височных зонах изменений мощности БП ЭЭГ  $\delta, \theta, \alpha, \beta_1$  не отмечалось; в левой лобной зоне  $F_7$  увеличивалась мощность  $\beta_2$ .

Таким образом, сравнение спектральной мощности БП ЭЭГ в зонах коры при разных уровнях ПФА и ФА СФО выявило усиление активности корковых структур в передних отделах полушарий (лобных и височных зо-

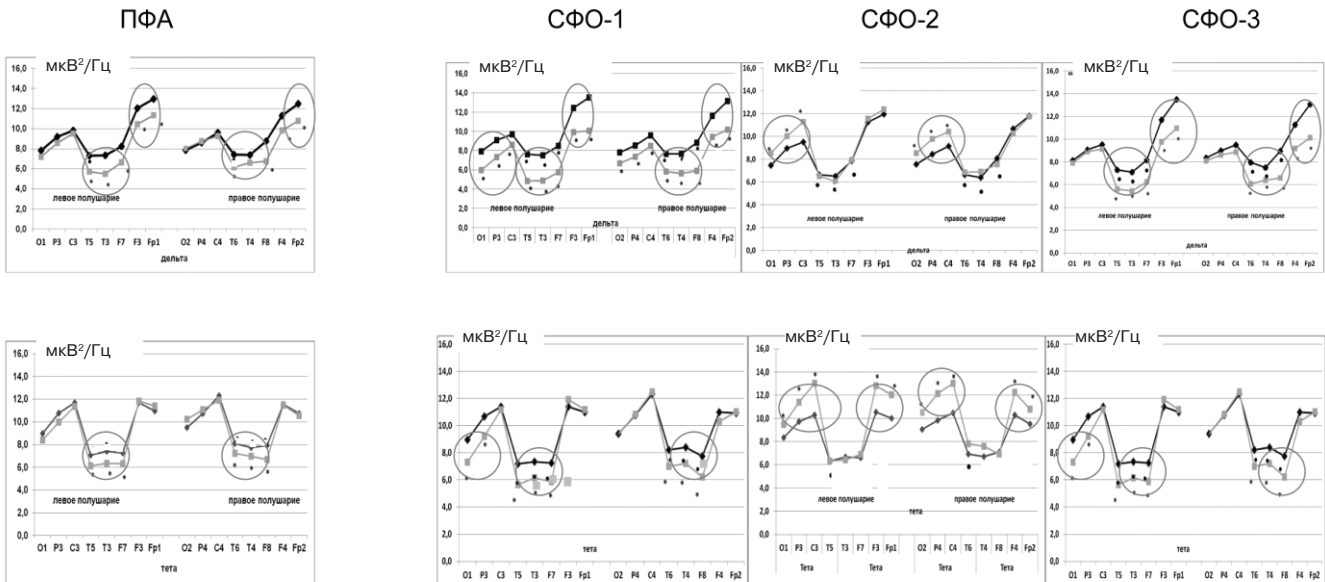


Рис. 3. Распределение показателей мощности дельта – диапазонов ЭЭГ по коре полушарий при низком и высоком уровнях ПФА и ФА СФО ЦНС

**Примечание:**

- — высокий уровень ПФА; высокая ФА СФО ЦНС;
- - - — низкий уровень ПФА; низкая ФА СФО ЦНС;
- ○ — статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ПФА; низкой и высокой ФА СФО;  $t$ -критерий,  $p < 0,05$

Fig. 3. Distribution of the power indicators of the delta and theta – EEG bands in the hemispheric cortex at low and high levels of PFA and FA SFO CNS

**Note:**

- — high level of PFA; high FA SFO CNS;
- - - — low level of PFA; low FA SFO CNS;
- ○ — statistically significant differences between low and high levels of PFA; low and high FA SFO;  $t$ -test,  $p < 0,05$

Показатели мощности БП ЭЭГ при низком и высоком уровнях ПФА  
EEG BP power indices at low and high PFA levels

Диапазоны ЭЭГ	Показатели мощности / полушария / отведения															
	Низкий / высокий уровни ПФА								Правое полушарие							
	O <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>3</sub>	Fr <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>4</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>4</sub>	Fr <sub>2</sub>
Низкий уровень ПФА																
Дельта δ	7,2±0,3	8,5±0,08	9,5±0,7	5,6±0,05*	5,5±0,02*	6,6±0,01*	10,4±0,07*	11,3±0,06	8,0±0,07	8,7±0,1	9,2±0,3	6,1±0,02*	6,6±0,04*	6,7±0,04*	9,8±0,08*	10,7±0,05*
Тета θ	8,4±0,04	9,9±0,05	11,3±0,02	6,1±0,04*	6,3±0,07*	6,2±0,07*	11,8±0,01*	11,3±0,04	10,2±0,04	11,0±0,09	11,8±0,01	7,2±0,03	6,5±0,08*	6,2±0,03*	11,4±0,08	10,5±0,04
Альфа α	53,7±1,5*	40,2±0,9*	27,8±3,7	19±0,5*	14,3±0,6*	12,3±0,4*	22,8±0,3*	20,1±2,5	58,4±6,4	42,1±4,3	28,3±0,7	20,4±0,1*	15,3±0,5*	13,2±0,07*	22,7±0,3	20,2±0,4
Бета β <sub>1</sub>	13,1±0,08	14,8±0,4	12±0,01*	9,2±0,04*	8,9±0,09*	7,6±0,02*	12,1±0*	10±0,02*	14,1±0,1	14,6±0,04	13,3±0,03	9,4±0,04*	8,7±0,01*	7,4±0,06*	9,3±0,2	10,0±0,5
Бета β <sub>2</sub>	4,1±0,02	4,8±0,4	4,6±0,2	4,8±0,05*	4,7±0,03*	4,1±0,06	5,2±0,06*	5,2±0,01*	4,0±0,08	3,7±0,1	4,2±0,02	3,1±0,3	3,4±0,04	3,5±0,3	4,1±0,6	3,7±0,01
Высокий уровень ПФА																
Дельта δ	7,8±0,7	9,3±0,5	9,9±0,4	7,4±0,06	7,3±0,02	8,3±0,04	12,1±0,02	13,0±0,08	7,9±0,2	8,7±0,05	9,7±0,07	7,5±0,04	7,4±0,03	8,8±0,02	11,4±0,06	12,5±0,01
Тета θ	8,9±0,06	10,8±0,07	11,7±0,02	7,1±0,04	7,4±0,06	7,3±0,07	11,7±0,01	11,0±0,3	9,5±0,02	10,8±0,03	12,3±0,07	7,9±0,05	8,1±0,07	7,9±0,02	11,±0,06	10,7±0,04
Альфа α	63,8±0,8	46,6±0,2	28,9±2,5	23,8±0,7	17,4±3,7	14,1±0,4	24,9±0,3	23,0±0,1	59,5±2,3	44,6±1,5	30,8±4,6	24,8±0,9	20,6±0,6	15,3±0,4	23,9±1,1	21,3±3,5
Бета β <sub>1</sub>	13,6±0,4	13,9±0,2	15,4±0,08	14,6±0,07	13,5±0,1	12,9±0,09	11,3±0,02	10,9±0,06	13,7±0,04	9,9±0,02	11,5±0,08	10,1±0,06	9,6±0,03	9,3±0,09	8,4±0,4	8,9±0,7
Бета β <sub>2</sub>	4,3±0,4	4,4±0,3	4,9±0,6	3,4±0,03	3,1±0,05	4,3±0,01	4,2±0,02	4,0±0,07	4,4±0,07	3,8±0,2	4,2±0,05	3,5±0,1	3,6±0,6	3,6±0,05	4,5±0,01	3,8±0,3

Примечание: \* – статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ПФА

Показатели мощности БП ЭЭГ при низкой и высокой ФА СФО-1  
Power indicators of the EEG BP at low and high FA SFO-1

Диапазоны ЭЭГ	Показатели мощности / полушария / отведения															
	Низкая / высокая ФА СФО-1								Правое полушарие							
	O <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>3</sub>	Fr <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>4</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>4</sub>	Fr <sub>2</sub>
Низкая ФА СФО-1																
Дельта δ	6,8±0,01*	7,2±0,03*	8,5±0,02*	4,7±0,04*	4,8±0,07*	5,6±0,04*	9,9±0,06*	10,2±0,02*	6,9±0,03*	7,4±0,05*	8,4±0,09*	5,6±0,07*	5,5±0,08*	5,8±0,02*	9,4±0,08*	10,1±0,01*
Тета θ	7,2±0,07*	9,1±0,07*	11,1±0,09	5,5±0,04*	6,0±0,02*	5,8±0,05*	11,8±0,05	11,0±0,07	9,3±0,02	10,7±0,4	12,4±0,04	7,6±0,03*	7,1±0,08*	7,3±0,05*	11,7±0,09	10,9±0,03
Альфа α	49,5±0,6	37,6±2,2	25,7±6,2	20,8±0,4*	13,6±0,7*	11,2±3,9	18,1±3,5	18,9±5,1	51,6±7,5	37,1±2,2	26,7±3,4	21,4±0,3*	14,2±0,8*	12,8±0,1*	18,5±7,2	20,5±3,6
Бета β <sub>1</sub>	11,2±0,04*	13±0,06	12,3±0,05	8,8±0,02*	7,7±0,08*	7,2±0,09*	10,4±0,05	9,3±0,02	11,0±0,02*	12,0±0,05*	11,6±0,07*	7,9±0,04*	7,4±0,01*	6,5±0,03*	9,9±0,08	8,7±0,07*
Бета β <sub>2</sub>	4,7±0,02	4,7±0,09	4,9±0,07	4,5±0,01	3,9±0,01*	4,1±0,04	4,8±0,02*	4,2±0,04*	4,1±0,5	3,8±0,7	4,1±0,4	3,8±0,03	3,7±0,02	3,5±0,2	4,1±0,02	4,4±0,07
Высокая ФА СФО-1																
Дельта δ	7,9±0,07	9,2±0,03	9,7±0,04	7,8±0,05	7,4±0,01	8,5±0,01	12,5±0,07	13,6±0,08	7,8±0,05	8,5±0,03	9,6±0,03	7,7±0,06	7,7±0,07	8,8±0,09	11,7±0,02	13,2±0,07
Тета θ	8,1±0,09	11,3±0,06	10,6±0,03	8,2±0,05	8,5±0,01	7,9±0,05	11,1±0,06	12,3±0,04	11,3±0,2	10,1±0,07	11,4±0,05	8,2±0,05	7,9±0,05	7,7±0,05	11,6±0,05	10,9±0,05
Альфа α	59,1±0,4	42,06±4,1	28,3±0,7	24,9±0,5	18,6±0,4	14,1±1,5	20,1±2,3	22,4±4,2	54,4±0,9	41,6±4,4	30,1±0,7	24,2±0,4	21,3±0,6	15,7±0,3	21,5±0,9	24,8±0,2
Бета β <sub>1</sub>	14,1±0,08	14,9±0,04	12,7±0,01	10,6±0,05	9,9±0,07	9,1±0,09	10,9±0,02	9,9±0,04	13,8±0,09	14,8±0,02	13,8±0,05	12,2±0,03	10,6±0,05	8,8±0,05	11,7±0,06	10±0,01
Бета β <sub>2</sub>	4,9±0,06	4,5±0,16	4,8±0,05	4,3±0,3	3,4±0,02	4,2±0,1	3,3±0,06	3,1±0,04	3,9±0,06	3,6±0,3	3,9±0,06	4,2±0,05	3,4±0,4	3,6±0,04	4,1±0,1	4,2±0,5

Примечание: \* – статистически значимые различия между низкой и высокой ФА СФО-1

Показатели мощности БП ЭЭГ при низкой и высокой ФА СФО-3  
Power indicators of the EEG BP at low and high FA SFO-3

Диапазоны ЭЭГ	Показатели мощности / полушария / отведения															
	Низкая / высокая ФА СФО-3							Правое полушарие								
	Низкая ФА СФО-3															
	O <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>3</sub>	Fp <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>4</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>4</sub>	Fp <sub>2</sub>
Дельта δ	7,2±1,5	8,3±0,3	9,2±0,08	9,8±0,04*	5,4±0,07*	6,2±0,08*	11±0,08*	5,6±0,01*	8,1±0,1	8,6±0,09	8,9±0,03*	6,1±0,08*	6,4±0,04*	6,6±0,03*	9,2±0,07*	10,2±0,01*
Тета θ	8,4±0,07*	9,9±0,02*	11,1±2,4	6,2±0,02*	6,3±0,06*	6,3±0,04*	11,5±0,1	11,3±0,04	10,5±2,3	11,0±0,7	11,5±0,07*	7,1±0,01*	7,0±0,01*	6,3±0,02*	11±0,03*	10,4±0,09
Альфа α	52,6±3,2*	37,3±2,7*	26,3±0,8*	17,4±2,4*	13,5±0,7*	12,4±0,1*	22,7±0,5*	20,7±0,3*	56,8±1,5*	40,3±3,5*	27,4±4,2*	19,0±5,7*	14,8±2,4*	13,1±3,6*	22,4±1,2*	20,0±3,2*
Бета β <sub>1</sub>	13,1±0,08*	15,3±0,3	14,5±0,7	9,4±0,05*	9,3±0,1	7,9±0,01*	12,7±0,08	11,6±0,5	14,8±0,06	14,9±0,4	13,1±0,04*	9,4±0,06*	8,5±0,02*	7,4±0,01*	11,4±4,7	10,4±2,1
Бета β <sub>2</sub>	4,4±0,3	4,9±0,08	4,1±0,9	5,6±0,06*	5,2±0,02*	5,3±0,02*	5,5±0,01*	5,3±0,09	4,5±1,9	3,8±0,1	4,4±0,06	4,4±0,5	3,7±0,4	3,8±0,09	4,7±0,6	4,9±0,5
Высокая ФА СФО-3																
Дельта δ	8,5±0,2	9,1±1,8	9,5±0,9	11,7±0,4	7,1±0,08	8,5±0,02	13,5±0,07	7,5±0,04	8,3±0,2	8,9±0,8	11,0±0,04	7,9±0,07	7,8±0,03	8,9±0,5	11,8±0,07	13,1±0,03
Тета θ	10,6±4,6	12,1±3,7	12,9±0,6	7,8±0,3	7,7±0,07	7,6±0,03	12,4±1,7	11,6±0,09	11,0±2,5	12,3±4,8	14,7±2,1	8,7±0,4	8,3±0,2	8,2±0,1	12,8±4,1	11,5±2,7
Альфа α	83,5±5,3	60±4,9	36,1±6,1	30±4,1	21,1±5,8	16,7±3,1	28,5±2,1	24,5±0,7	72,3±6,8	56,4±2,9	39±4,5	30,5±2,1	25,3±4,2	18,1±0,7	30,1±2,4	26,3±0,8
Бета β <sub>1</sub>	16,6±0,01	16,9±2,1	14,6±0,3	11,1±0,06	10,3±0,2	9,5±0,01	12,5±0,1	11,2±0,04	15,0±0,2	16,3±0,6	15,5±0,06	12,5±0,1	10,4±0,07	9,1±0,8	13,3±3,8	10,9±1,4
Бета β <sub>2</sub>	4,7±1,2	5,1±0,4	4,6±0,1	3,9±0,1	4,5±0,07	4,2±0,04	3,3±0,04	5,4±0,2	4,3±0,4	3,8±0,7	4,4±0,4	4,1±0,03	3,5±0,06	3,6±0,3	4,4±0,08	4,4±0,2

Примечание: \* – статистически значимые различия между низкой и высокой ФА СФО-3

Показатели мощности БП ЭЭГ при низкой и высокой ФА СФО-2  
Power indicators of the EEG BP at low and high FA SFO-2

Диапазоны ЭЭГ	Показатели мощности / полушария / отведения															
	Низкая / высокая ФА СФО-2							Правое полушарие								
	Низкая ФА СФО-2															
	O <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>3</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>3</sub>	Fp <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	P <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>4</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>4</sub>	Fp <sub>2</sub>
Дельта δ	8,5±0,01*	9,9±0,03*	11,2±0,1*	6,5±0,7	7,1±0,4	7,8±1,6	11,4±0,9	12,2±2,0	9,4±0,07*	10,7±0,04*	11,3±0,03*	6,7±0,4	7,8±0,9	7,4±2,5	10,1±1,9	11,5±3,8
Тета θ	9,4±0,03*	11,7±0,2*	13,2±0,3*	6,2±1,6	6,4±0,4	6,8±0,7	12,8±0,08*	12,0±0,01*	10,5±0,03*	12,1±0,04*	13,1±0,08*	7,7±1,7	7,5±3,1	6,8±0,5	12,2±0,1*	10,7±0,03*
Альфа α	70,7±6,1	58,8±2,5	47,2±7,1	46,4±3,5	29,1±6,4	31,2±4,7	22,5±5,2	23,9±3,8	68,8±5,4	54,2±6,9	44,5±3,1	30,5±4,3	25,8±7,1	34,6±5,0	23,2±3,7	23,1±0,7
Бета β <sub>1</sub>	13,8±3,6	16,0±4,4	13,8±2,1	9,6±0,6	9,1±1,5	7,7±0,5	12,6±0,08*	10,5±0,04	14,7±2,7	16,3±3,4	14,3±0,3	11,0±2,4	9,1±1,0	8,1±2,4	11,7±3,5	9,9±1,9
Бета β <sub>2</sub>	4,7±0,05*	5,5±0,03*	5,6±0,02*	3,7±1,5	3,9±0,7	4,7±0,02*	4,9±0,1	4,1±0,07	4,1±0,06	3,9±0,08	4,6±1,5	4,1±2,3	3,4±0,08	3,5±0,1	4,3±2,7	4,2±4,2
Высокая ФА СФО-2																
Дельта δ	7,4±0,02	7,9±0,02	9,4±0,02	6,6±0,1	5,6±0,2	7,8±0,09	11,2±0,6	11,9±2,8	7,5±0,02	8,3±0,02	9,1±0,02	6,6±0,7	6,7±0,06	8,1±0,04	10,6±0,08	11,7±1,6
Тета θ	8,3±0,02	9,3±0,02	10,0±0,02	6,3±0,2	6,6±0,08	6,5±0,06	10,3±0,02	10,0±0,02	8,1±0,02	9,3±0,02	10,4±0,02	6,9±0,9	6,6±2,1	7,1±0,7	10,3±0,02	8,4±0,02
Альфа α	69,7±6,5	60,2±4,2	47,2±1,8	46,4±2,3	26,0±5,8	33,1±3,4	21,6±2,6	20,9±1,9	67,4±4,5	61,2±5,7	47,6±2,3	33,3±7,1	21,8±2,4	24,6±8,4	21,2±1,7	21,0±2,1
Бета β <sub>1</sub>	14,6±2,8	14,5±0,6	12,3±1,2	10,0±4,2	9,6±3,5	8,6±1,3	10,3±0,02	9,8±2,1	14,4±0,07	14,6±2,1	13,2±0,7	10,9±0,7	9,3±0,03	8,6±1,8	11,7±2,5	9,7±0,04
Бета β <sub>2</sub>	4,0±0,03	3,2±0,02	3,1±0,08	3,3±0,6	3,4±0,09	3,6±0,1	3,9±0,05	4,0±0,9	4,1±0,07	3,6±2,1	3,9±3,2	3,6±0,9	3,1±0,1	3,6±0,9	4,1±0,06	4,0±0,04

Примечание: \* – статистически значимые различия между низкой и высокой ФА СФО-3

Таблица 4

Таблица 5

нах), и в задних (центрально-теменно-затылочных зонах), сходным образом проявлявшееся в СФО-1, СФО-3, и низком уровне ПФА, интегрально характеризующем ФС ЦНС, а также отличавшиеся от вышеописанных изменения в СФО-2, где активность корковых структур ослаблялась в передних (лобных) и задних (центрально-теменно-затылочных) зонах и не изменялась в височных зонах, связанных с ЛРК.

Усиление активности корковых структур при низком уровне ПФА и низкой ФА СФО-1 и СФО-3 осуществлялось осцилляторными системами, участвующими: в процессах торможения ( $\delta$  [35]); в эмоциональных реакциях в состоянии напряжения ( $\theta$  [36]); в информационных процессах, а также внимания, памяти ( $\alpha$  [37]); в отражающих дисфункциональные изменения в неспецифических таламических ( $\beta_1$  [24, 25, 38]) и в активирующих системах РФ ствола ( $\beta_2$  [22, 23]).

В СФО-2 ослабление активности корковых структур осуществлялось теми же осцилляторными системами, которые перечислены выше – участвующими в процессах торможения ( $\delta$  [35]); в информационных, внимания, памяти ( $\alpha$  [37]); в эмоциональных реакциях в состоянии напряжения ( $\theta$  [36]); отражающими дисфункцию неспецифических таламических образований ( $\beta_1$  [24, 25, 38]).

#### Анализ показателей церебрального энергообмена

На рис. 4 представлены показатели церебрального энергообмена при разных уровнях ПФА и ФА СФО ЦН.

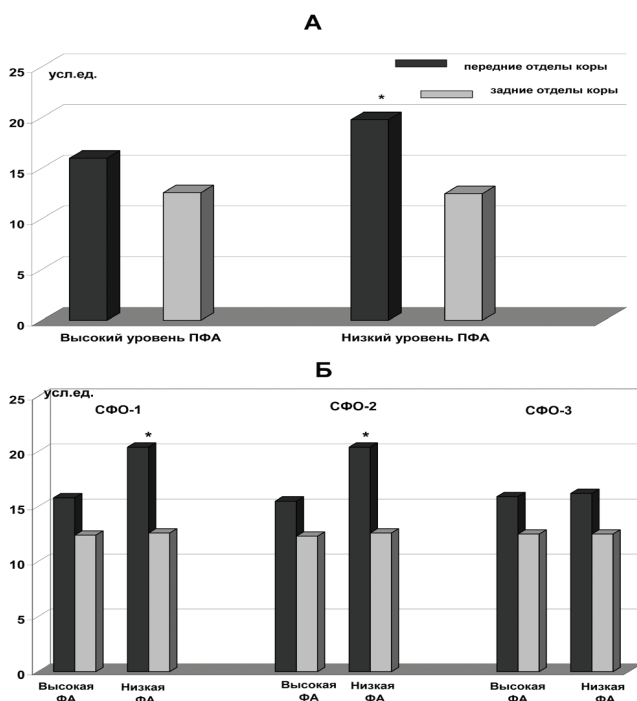


Рис. 4. Показатели церебрального энергообеспечения (в усл. ед.) в передних и задних отделах коры: А – при низком и высоком уровнях ПФА; Б – при низкой и высокой ФА СФО-1, СФО-2, СФО-3; \* – статистически значимые различия между низким/высоким уровнями ПФА и ФА СФО;  $t$ -критерий  $<0,05$

Fig. 4. Cerebral energy supply indicators (in units) in the anterior and posterior cortex: А – at low and high levels of PFA; Б – at low and high levels of SFO-1, SFO-2, and SFO-3 FA; \* – statistically significant differences between low/high levels of PFA and SFO FA;  $t$ -test  $<0,05$

Как видно из рис. 4, при низком/высоком уровнях ПФА (рис. 4А), низкой/высокой ФА всех рассматриваемых СФО – СФО-1, СФО-2, СФО-3 (рис. 4Б) показатели

церебрального энергообмена в передних отделах коры больше по величине, чем в задних. Такие соотношения выявляются в норме, у здоровых людей [34].

Из рис. 4 также видно, что при низком уровне ПФА и низкой ФА СФО-1, СФО-2 в передних отделах показатели церебрального энергообмена больше, чем при высоком уровне ПФА и высокой ФА СФО-1, СФО-2 ( $p < 0,05$ ;  $t$ -критерий).

При низкой ФА СФО-3 показатели церебрального энергообмена в передних и задних отделах коры по величине не отличаются от показателей при высокой ФА СФО-3 ( $p > 0,05$ ,  $t$ -критерий).

Таким образом, церебральный энергообмен усиливался при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1, СФО-2 в передних отделах коры, и не изменялся в задних. В СФО-3 церебральный энергообмен при низкой ФА в передних и задних отделах коры не изменялся.

#### Обсуждение

У работников ЯОПП изучались механизмы формирования ФС ЦНС при низком уровне ПФА на психическом, психофизиологическом и физиологическом уровнях функционирования по данным ЭЭГ с использованием различных методов её оценки.

Визуальный анализ позволяет охарактеризовать ФА ГМ [22, 23] как соответствие норме, либо выявить патологические изменения с оценкой возможного влияния подкорковых образований на кору ГМ [22, 23]. Сравнительный анализ спектров мощности ЭЭГ и церебрального энергообмена при разных состояниях (высоком/низком уровнях ПФА и ФА СФО) позволяет определить характер процессов, происходящих при снижении адаптации, и установить с участием каких образований ГМ они осуществляются.

По данным визуального анализа ФС ЦНС при низком уровне ПФА снижалось [22–24]. Большие нарушения отмечались в подкорковых структурах, чем в коре ГМ [24–26]. Основной вклад в формирование ФС ЦНС при низком уровне ПФА вносило СФО-3, отражающее центральную регуляцию ССС [13–15]. В СФО ЦНС аномальные показатели нарастали по-разному. В СФО-1 увеличивалась частота 1-го признака, в СФО-2 – 3-х, в СФО-3 – всех 4-х. Разная частота нарастания аномальных показателей в СФО ЦНС позволяет использовать эти данные в диагностических целях [24–26].

Сравнительный анализ показателей спектральной мощности БП ЭЭГ показал, что её характеристики менялись (относительно высокого уровня), но не выходили за пределы нормы. Это можно рассматривать как свидетельство сохранения в ЦНС достаточных функциональных резервов для осуществления работниками ЯОПП профессиональной деятельности с низким риском возникновения аварийных ситуаций по вине персонала даже при низком уровне адаптации.

Анализ распределения показателей мощности по коре ГМ выявил более высокую активность височных зон (относительно остальных) как при низком, так и высоком уровне ПФА. Это свидетельствовало об усилении активности структур ЛРК, участвующих в регуляции вегетативных функций и эмоциональных реакций [16–19]. Подобные изменения наблюдаются при эмоциональном стрессе, возникающем под влиянием эмоциональных раздражителей, которые воздействуют на организм человека через изменения высшей нервной деятельности [20, 21, 39–43]. Можно предположить, что при высоком уровне ПФА из-за воздействия в условиях стресса чрезвычайных раздражителей (средних по силе) гомеостаз поддерживается путём активного и постоянного измене-

ния параметров систем организма таким образом, чтобы они соответствовали требованиям окружающей среды, но не выходили из границ гомеостатической нормы – путём аллостаза, формирующего устойчивость к конкретному фактору [44–47].

Ещё большее усиление активности височных зон (соответственно, структур ЛРК) при низком уровне ПФА, следует, вероятно, рассматривать как признак возникновения качественно иной – по сравнению с аллостазом – стратегии адаптации – энантиостаза, направленного на сохранение функций и осуществляющегося с изменением показателей внутренней среды [43, 45–49].

Сравнение показателей мощности БП ЭЭГ в зонах коры при разных уровнях ПФА и ФА СФО выявило сходство их динамики в СФО-1, СФО-3 при низком уровне ПФА, что проявлялось одинаковым усилением активности корковых структур в передних и задних отделах коры по параметрам  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta_1$  (мощность снижалась), и в левой гемисфере по параметрам  $\beta_2$  (мощность увеличивалась). В СФО-2 выявилась иная динамика показателей мощности. Здесь активность корковых структур ослаблялась в передних и задних отделах коры (по параметрам  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\beta_1$ ), и не изменялась в височных зонах, связанных с ЛРК.

Можно заключить, что процессы, изменяющие активность корковых структур, при осуществлении функций, отражаемых СФО-1 (психический уровень функционирования [4, 27–31]), и СФО-3 (центральная регуляция ССС [13–15]), в условиях низкого уровня ПФА и реализации стратегии адаптации энантиостаз усиливает активность структур во всех отделах коры (в обрабатывающих информацию передних, в воспринимающих её задних и в височных зонах, связанных с ЛРК). При осуществлении функций, отражаемых СФО-2 (формируются корково-подкорковыми взаимоотношения [32]), эти процессы ослабляют активность корковых структур в передних и задних отделах коры и не изменяют её в височных зонах, связанных с ЛРК.

Сравнение показателей церебрального энергообмена в зонах коры при разных уровнях ПФА и ФА СФО выявило его усиление при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1, СФО-2 в передних (обрабатывающих информацию) отделах, и отсутствие изменений энергообмена в задних (воспринимающих информацию) отделах. В СФО-3 церебральный энергообмен при низком уровне адаптации не изменялся ни в передних, ни в задних отделах коры.

Передние отделы коры, включающие лобные доли, в соответствии с концепцией трёх структурно-функциональных блоков мозга как субстрата психической деятельности [10, 11], относятся к 3-му блоку программирования наиболее сложных форм психической деятельности, которые осуществляются с участием ВПФ [10, 11, 20, 21]. Блок включает моторные (первичные), премоторные (вторичные), префронтальные (третичные) зоны коры. Моторные зоны, где начинается большой пирамидный путь, передают возбуждение к мышцам. Премоторные зоны обеспечивают двигательные программы, объединяя отдельные движения в единую кинетическую систему. Префронтальные играют решающую роль в формировании мотивов, целей, регуляции и контроле наиболее сложных форм поведения человека, осуществляющихся с участием ВПФ [10, 11, 20, 21]. Функционирует блок следующим образом. От третичных (префронтальных) зон, регулирующих наиболее сложные формы поведения, возбуждение проводится ко вторичным (премоторным), которые формируют двигательные программы. Затем возбуждение проводится к

первичным (моторным) зонам, от которых начинается большой пирамидный путь, передающий возбуждение к мышцам.

Задние отделы коры относятся ко 2-му блоку получения, переработки и хранения информации [10, 11]. Функции блока: приём, анализ и синтез сигналов, поступающих из внешней и внутренней среды; обеспечение перехода от непосредственного отражения к уровню символических процессов (к уровню ВПФ); хранение информации. Блок включает затылочную (зрительную), задне-височную (слуховую) и теменную (кожно-кинестетическую) кору. Функционирование блока осуществляется следующим образом: первичные (проекционные) зоны зрительной, слуховой и кожно-кинестетической коры участвуют в формировании соответствующих ощущений, вторичные зоны (гностические), получая информацию от первичных зон и ядер таламуса, обеспечивают гнозис, третичные (ассоциативные) обеспечивают переход от непосредственного синтеза (обобщенного отражения) к уровню символических процессов (т.е. к уровню ВПФ), и осуществляют хранение информации, формируя тем самым целостное восприятие окружающего мира [10, 11, 21, 22].

Из приведенных данных следует, что передние и задние отделы коры, осуществляющие разные функции, и имеют разные механизмы функционирования. В воспринимающих информацию задних отделах коры проведение возбуждения происходит от первичных (проекционных) зон ко вторичным (гностическим), затем к третичным (ассоциативным), обеспечивающим переход к уровню символических процессов (уровню ВПФ), и осуществляющим хранение информации. В обрабатывающих информацию передних отделах коры проведение возбуждения осуществляется от третичных (префронтальных) зон, регулирующих наиболее сложные формы поведения (осуществляющиеся с участием ВПФ), ко вторичным (премоторным), формирующим двигательные программы, затем к первичным (моторным) зонам, от которых начинается большой пирамидный путь, передающий возбуждение к мышцам.

Можно предположить, что именно различиями механизмов функционирования передних и задних отделов коры объясняются, вероятно, различия изменений церебрального энергообмена. Его усиление при низком уровне ПФА и низкой ФА СФО-1, СФО-2 в передних отделах, обрабатывающих информацию, и отсутствие изменений в воспринимающих информацию задних отделах.

В формировании отражаемых СФО-1 личностных особенностях человека (чертах характера, уровне интеллекта, степени интернальности–экстернальности, или готовности брать на себя ответственность за происходящее с ним и вокруг него), участвуют ВПФ, в осуществление которых в наибольшей степени включается кора головного мозга [10, 11]. Личностные особенности образуют систему – личность (в соответствии с представлениями А.Н. Леонтьева [50], это есть образование, создаваемое общественными отношениями, в которые человек вступает в своей предметной деятельности). Как система СФО-1 имеет взаимосвязанные компоненты: когнитивный (развитие интеллекта в процессе социализации), эмоциональный (отражающий личную оценку внутренних и внешних ситуаций, значимых для жизнедеятельности, в форме переживаний), поведенческий [10, 11].

СФО-2, отражающее общий уровень работоспособности и активности ЦНС [32], формируемое корково-подкорковыми взаимоотношениями, как система вклю-

част взаимосвязанные компоненты, в реализации которых участвуют ВПФ [10, 11, 20, 21]: когнитивный (используемая при выборе стимулов ЗМР), эмоциональная (отражающая отношение к качеству выполнения ЗМР), поведенческая (уровень выполнения ЗМР – соответствие/несоответствие норме).

Можно предположить, что усиление церебрального энергообмена у лиц с низким уровнем ПФА и низкой ФА СФО-1 обусловлено необходимостью его интенсификации при снижении адаптации. При низком уровне ПФА имеет место качественно иная (чем при высоком) стратегия адаптации (энантиостаз), направленная на сохранение функций организма при действии сильных или длительно действующих раздражителей. Она осуществляется с изменением показателей внутренней среды [43, 45–48, 53], требует интенсивного энергообмена в тканях ГМ при обработке информации, происходящей с участием лобных долей, которые ответственны за наиболее сложные формы психической деятельности и осуществляются с участием ВПФ [10, 11, 20, 21].

Сходные процессы происходят, как можно предположить, и в СФО-2. Реализация функций СФО-2, которые формируются корково-подкорковыми взаимоотношениями с участием ВПФ [10–12, 20, 21], также требует при низком уровне ПФА и низкой ФА СФО-2 более интенсивного энергообмена в тканях ГМ, чем при высоком уровне адаптации.

При низкой ФА СФО-3, отражающего механизмы центральной регуляции ССС, которые осуществляются дизэнцефальными отделами ствола ГМ – без участия ВПФ [4, 13, 15, 27], усиления энергообмена не требуется – энергообмен здесь не изменяется.

### Заключение

У работников ЯОПП изучались механизмы формирования ФС ЦНС при низком уровне ПФА на психическом, психофизиологическом и физиологическом уровнях функционирования по показателям визуального анализа ЭЭГ, спектральной мощности БП ЭЭГ и церебрального энергообмена.

По данным визуального анализа и сравнительного анализа спектральной мощности БП ЭЭГ при разных состояниях ФС ЦНС у лиц с низким уровнем ПФА снижалось. Основой вклад в снижение ФС ЦНС вносили: СФО-3, ответственное за центральную регуляцию ССС дизэнцефальными отделами ствола, и усиление активно-

сти структур ЛРК, участвующих в регуляции вегетативных функций и эмоциональных реакций.

Характеристики спектральной мощности БП ЭЭГ при низком уровне ПФА не выходили за пределы нормы. Это свидетельствовало о сохранении достаточных функциональных резервов в ЦНС для осуществления работниками ЯОПП профессиональной деятельности с низким риском возникновения аварийных ситуаций по вине персонала.

Усиление активности структур ЛРК, отмечавшееся как при низком, так и высоком уровнях ПФА, свидетельствовало о наличии у работников ЯОПП эмоционального стресса. У лиц с высоким уровнем ПФА гомеостаз в условиях стресса поддерживается путём аллостаза – активного и постоянного изменения параметров систем организма таким образом, чтобы они не выходили из нормы. У лиц с низким уровнем ПФА гомеостаз в условиях стресса поддерживается качественно иной (по сравнению с аллостазом) стратегией адаптации – энантиостаз, направленной на сохранение функций и осуществляющейся путём изменения показателей внутренней среды.

Процессы, изменяющие активность корковых структур, в условиях низкого уровня ПФА и реализации стратегии адаптации энантиостаза усиливают и ослабляют её во всех отделах коры – в задних, принимающих информацию, в передних, обрабатывающих её, а также в височных зонах, связанных с образованиями ЛРК, которые участвуют в регуляции вегетативных функций и эмоциональных реакций.

Процессы, осуществляющие церебральный энергообмен, в условиях низкого уровня ПФА и реализации стратегии адаптации энантиостаза усиливаются в передних (обрабатывающих информацию), и не изменяется в задних (воспринимающих информацию) отделах коры при осуществлении функций, отражаемых СФО-1 и СФО-2. Усиление может быть обусловлено необходимостью интенсификации церебрального энергообмена при обработке информации, происходящей с участием лобных долей, которые ответственны за наиболее сложные формы психической деятельности и осуществляются с участием ВПФ.

В СФО-3, отражающем механизмы центральной регуляции ССС, которые осуществляются дизэнцефальными отделами ствола ГМ – без участия ВПФ, усиления энергообмена не отмечается.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самойлов А.С., Бушманов А.Ю., Бобров А.Ф., Щепланов В.Ю., Седин В.И., Калинина М.Ю. Психофизиологические аспекты обеспечения надёжности профессиональной деятельности работников организаций атомной отрасли // Матер. III отраслевой научно-практич. конф. Обнинск, 15-17 октября 2018 г. М.: Техническая академия Росатома, 2018. С. 62-76.
2. Бобров А.Ф., Бушманов А.Ю., Седин В.И., Щепланов В.Ю. Системная оценка результатов психофизиологических обследований // Медицина экстремальных ситуаций. 2015. Т.53. №3. С. 13-19.
3. Щепланов В.Ю. Надёжность деятельности и профессиональное здоровье работающих в неблагоприятных условиях: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1996. 52 с.
4. Организация и проведение психофизиологических обследований работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии, при прохождении работниками медицинских осмотров в медицинских организациях ФМБА России: Методические рекомендации Р 2.2.9.84-2015. М.: ФМБА России, 2015. 10 с.
5. Анохин П.К. Философские аспекты теории функциональных систем // Избранные труды. М.: Наука, 1978. С. 336–366.
6. Торубаров Ф.С., Зверева З.Ф., Лукьянова С.Н., Денисова Е.А. Роль психофизиологического обследования в системе медицинского мониторинга состояния здоровья работников радиационно и ядерно опасных предприятий и производств госкорпорации Росатом // Современные проблемы медицины труда (к 80-летию академика РАН Н.Х.Амирова): Матер. Всероссийской научно-практич. конф. с международным участием. Казань, 10-11 апреля 2019 г. Казань, 2019. С. 180-182.
7. Торубаров Ф.С., Бушманов А.Ю., Зверева З.Ф., Кретов А.С., Лукьянова С.Н., Денисова Е.А. Концепция психофизиологического обследования персонала объектов использования атомной энергии в медицинских организациях // Медицина экстремальных ситуаций. 2021. Т.23. №1. С. 8-13.
8. Арендачук И.В. Структурно-функциональный подход к процессу формирования самосознания личности // Известия Саратовского университета. 2017. №6. С. 110-118.

9. Богомолов А.М. Структурно-функциональный подход к оценке адаптационного потенциала личности // Сибирский психологический журнал. 2008. №28. С. 53-58.
10. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга. М.: МГУ, 1962. 433 с.
11. Лурия А.Р. Лекции по общей психологии. СПб.: Питер, 2006. 320 с.
12. Игнатова Ю.П., Макарова И.И., Яковлева К.Н., Аксенова А.В. Зрительно-моторные реакции как индикатор функционального состояния центральной нервной системы // Ульяновский медико-биологический журнал. 2019. №3. С. 38-51.
13. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001. №3. С.106-127.
14. Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья // Российский физиологический журнал им. И.М.Сеченова. 2003. №4. С. 473-487.
15. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: основы метода и новые направления // Новые методы электрокардиографии / Под ред. С.В.Грачева, Г.Г.Иванова, А.Л.Сыркина. М.: Техносфера, 2007. С. 473-496.
16. Болдырева Г.Н. Участие структур лимбико-диэнцефального комплекса в формировании межполушарной асимметрии ЭЭГ человека // Функциональная межполушарная асимметрия / Под ред. Н.Н.Боголепова, В.Ф.Фокина. М.: Научный мир, 2004. С. 558-577.
17. Федорова Н.В. Психофизиологические и нейрофизиологические изменения состояния испытуемых с психосоматическими нарушениями в процессе курса биоуправления потенциалами мозга // Вестник психофизиологии. 2013. №4. С. 46-52.
18. Березин Ф.Б. Психическая и психофизиологическая адаптация человека. Л.: Наука, 1988. 270 с.
19. Ильин Е.П. Психофизиология состояний человека. СПб.: Питер, 2005. 412 с.
20. Выготский Л.С. История развития высших психических функций // Собрание сочинений в 6 т. Т.3. Проблемы развития психики. М.: Педагогика, 1983. С. 5-328.
21. Лурия А.Р. Об историческом развитии познавательных процессов. Психологическая наука и образование. М.: Наука, 1974. 132 с.
22. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): Руководство для врачей. М.: МЕДпрессинформ, 2017. 360 с.
23. Жирмунская Е.А., Лосев В.С. Системы описания и классификация электроэнцефалограмм человека. М.: Наука, 1984. 80 с.
24. Торубаров Ф.С., Зверева З.Ф., Лукьянова С.Н. ЭЭГ-показатели состояния центральной нервной системы у лиц с различными уровнями психофизиологической адаптации // Саратовский научно-медицинский журнал. 2019. Т.15. №4. С. 965-967.
25. Зверева З.Ф., Торубаров Ф.С., Денисова Е.А., Мирошник Е.В. Прогностические критерии психофизиологической адаптации по данным сравнительной характеристики визуального анализа и показателей мощности биопотенциалов ЭЭГ у работников ядерно опасных предприятий и производств // Медицина труда и промышленная экология. 2021. Т.61. №9. С. 588-593.
26. Зверева З.Ф., Торубаров Ф.С., Ванчакова Н.П., Лукьянова С.Н., Мирошник Е.В., Денисова Е.А. Сравнительная характеристика частотных диапазонов ЭЭГ и церебрального энергообмена при низком уровне психофизиологической адаптации у работников ядерно-опасных предприятий и производств // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т.68. №5. С. 50-59.
27. Руководство по оценке и интерпретации результатов мониторинга психофизиологического состояния работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии. М.: ФМБА России, 2014. 40 с.
28. Березин Ф.Б., Мирошников М.П., Соколова Е.Д. Методика многостороннего исследования личности (ММИЛ): структура, основы интерпретации, некоторые области применения. М.: Березин Феликс Борисович, 2011. 320 с.
29. Cattell R.B., Eber H.W. Handbook for the Sixteen Personality Factor Questionnaire. Illinois, 1964.
30. Raven J.C. A Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Tests. London: H.K. Levis @ Go. Ltd, 1988.
31. Секоян И.Э. «Локус контроля» Джулиана Роттера с позиций психометрии // Независимый психиатрический журнал. 2008. №3. С. 18-25.
32. Лоскутова Т.Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции // Физиологический журнал СССР. 1975. Т.61. №1. С. 3-12.
33. Лукьянова С.Н. Биоэлектрическая активность коры и некоторых подкорковых образований при экспериментальном неврозе // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 1976. Т.26. №3. С. 539-547.
34. Зверева З.Ф. Характер межполушарного распределения мощности биопотенциалов головного мозга в норме и при его латерализованном поражении: Автореф. дис... докт. мед. наук. М., 2004. 36 с.
35. Яценко М.В., Кайгородова Н.З. Дельта активность как показатель отклонения функционального состояния от оптимального уровня // Приложение международного научного журнала «Вестник психофизиологии». 2018. Т.1. №1. С. 44-46.
36. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д., Потанов В.В., Потанова Р.К. Комплексное исследование изменения функционального состояния человека при восприятии медиаконтента разной модальности // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова. 2021. Т.71. №1. С. 86-103.
37. Новикова С.И. Ритмы ЭЭГ и когнитивные процессы // Психологическая наука и образование. 2015. Т.4. №1. С. 91-108. Электронный ресурс: psyedu.ru. <http://psyjournals.ru/jmfp/2015/n1/76178.shtml> (дата обращения: 21.07.2024).
38. Азарко Е.М., Володенко Д.В. Выявление специфики частотных диапазонов ЭЭГ в преедереабилитационной диагностике пожарных и спасателей // Известия Уральского федерального университета. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. 2018. С. 106-113.
39. Гуцол Л.О., Гузовская Е.В., Серебренникова С.Н., Семинский И.Ж. Стресс (общий адаптационный синдром) // Байкальский медицинский журнал. 2022. Т.1. №1. С. 70-80. doi: 10.57256/2949-0715-2022-1-70-80.
40. Юнусова С.Г., Розенталь А.Н., Балтина Т.В. Стресс. Биологический и психологический аспекты // Ученые записки Казанского университета. Серия Гуманитарные науки. 2008. Т.150. №3. С. 139-150. doi: 10.26907/2542-064X.
41. Яковлев Е.В., Леонтьев О.В., Гневшиев Е.Н. Психология стресса: Учебное пособие. СПб.: Университет при МПА ЕврАзЭС, 2020. 94 с.
42. Лазарус Р. Теория стресса и психофизиологические исследования // Эмоциональный стресс / Под ред. Л.Леви. Л.: Медицина, 1970.
43. Морозов В.Н., Хадарцев А.А. К современной трактовке механизмов стресса // Вестник новых медицинских технологий. 2010. Т.17. №1. С. 15-17.
44. Sterling P., Eyer J. Allostasis: A New Paradigm to Explain Arousal Pathology // Handbook of Life Stress Cognition and Health. N.Y.: John Wiley and Sons, 1988. P. 629-649.
45. Бобров А.Ф. Информационные технологии в медицине труда // Медицина труда и промышленная экология. 2013. №9. С.44-46.
46. Исаева Н.А. Аллостатическая нагрузка в задаче оценки профессиональных рисков работающих в неблагоприятных условиях // Человеческий фактор энергетики XXI века: качество, надежность, здоровье: Матер. Междунар. семинар-конф. Москва, 6-7 апреля 2017 г. М., 2017. С. 180-199.
47. Куприянов Р.В., Жданов Р.И. Стресс и аллостаз: проблемы, перспективы и взаимосвязь // Журнал высшей нервной деятельности. 2014. Т.64. №1. С. 21-31.
48. Дармограй В.Н., Карасева Ю.В., Морозов В.Н., Морозова В.И., Хадарцева К.А., Хапкина А.В. Синтоксические и ката-

- токсические программы адаптации при различных заболеваниях человека // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т.15. №2. С. 251-253.
49. Сучкова Ж.В., Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В. Оптимизация неспецифических адаптационных механизмов на основе локальных магнитовиброакустических воздействий // Вестник Харьковского национального университета им. В.Н.Каразина. Серия Медицина. 2003. №5. С. 84.
50. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность / Под ред. Д.А.Леонтьева. М.: Смысл, Академия, 2004. 346 с.

## REFERENCES

- Samoylov A.S., Bushmanov A.Yu., Bobrov A.F., Shcheblanov V.Yu., Sedin V.I., Kalinina M.Yu. Psychophysiological Aspects of Ensuring the Reliability of Professional Activities of Employees of Nuclear Industry Organizations. *III Otrazlevaya Nauchno-Prakticheskaya Konferentsiya* = III Industry Scientific and Practical Conference. Proceedings. Obninsk, October 15-17, 2018. Moscow, Tekhnicheskaya Akademiya Rosatoma Publ., 2018. P. 62-76. (In Russ.).
- Bobrov A.F., Bushmanov A.Yu., Sedin V.I., Shcheblanov V.Yu. Systematic Assessment of the Results of Psychophysiological Examinations. *Meditsina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Medicine of Extreme Situations. 2015;53;3:13-19 (In Russ.).
- Shcheblanov V.Yu. *Nadezhnost' Deyatel'nosti i Professional'noye Zdorov'ye Rabotayushchikh v Neblagopriyatnykh Usloviyakh* = Reliability of Activities and Professional Health of Workers in Adverse Conditions. Extended Abstract of Doctor's Thesis (Biol.). Moscow Publ., 1996. 52 p. (In Russ.).
- Organizatsiya i Provedeniye Psikhofiziologicheskikh Obsledovaniy Rabotnikov Organizatsiy, Ekspluatiruyushchikh Osobo Radiatsionno Opasnyye i Yaderno Opasnyye Proizvodstva i ob''Yekty v Oblasti Ispol'zovaniya Atomnoy Energii, pri Prokhozhenii Rabotnikami Meditsinskikh Osmotrov v Meditsinskikh Organizatsiyakh FMBA Rossii = Organization and Implementation of Psychophysiological Examinations of Employees of Organizations Operating Particularly Radiation-Hazardous and Nuclear-Hazardous Production Facilities and Facilities in the Field of Atomic Energy use, when Employees Undergo Medical Examinations in Medical Organizations of the FMBA of Russia. Methodological Recommendations R 2.2.9.84-2015. Moscow, FMBA Rossii Publ., 2015. 10 p. (In Russ.).
- Anokhin P.K. Philosophical Aspects of the Theory of Functional Systems. *Izbrannyye Trudy* = Selected Works. Moscow, Nauka Publ., 1978. P. 336-366 (In Russ.).
- Torubarov F.S., Zvereva Z.F., Luk'yanova S.N., Denisova Ye.A. The Role of Psychophysiological Examination in the System of Medical Monitoring of the Health Status of Workers at Radiation and Nuclear Hazardous Enterprises and Production Facilities of the Rosatom State Corporation. *Sovremennyye Problemy Meditsiny Truda (k 80-Letiyu Akademika RAN N.Kh. Amirova)* = Modern Problems of Occupational Medicine (on the 80th Anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences N.Kh. Amirov). Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Kazan, April 10-11, 2019. Kazan' Publ., 2019. P. 180-182 (In Russ.).
- Torubarov F.S., Bushmanov A.YU., Zvereva Z.F., Kretov A.S., Luk'yanova S.N., Denisova Ye.A. The Concept of Psychophysiological Examination of Personnel of Nuclear Facilities in Medical Organizations. *Meditsina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Medicine of Extreme Situations. 2021;23;1:8-13 (In Russ.).
- Arendachuk I.V. Structural and Functional Approach to the Process of Formation of Self-Awareness of the Individual. *Izvestiya Saratovskogo Universiteta* = Bulletin of the Saratov University. 2017;6:110-118 (In Russ.).
- Bogomolov A.M. Structural-Functional Approach to Assessing the Adaptive Potential of the Individual. *Sibirskiy Psikhologicheskii Zhurnal* = Siberian Psychological Journal. 2008;28:53-58 (In Russ.).
- Luriya A.R. *Vysshiy Korkovyye Funktsii Cheloveka i ikh Narusheniya pri Lokal'nykh Porazheniyakh Mozga* = Higher Cortical Functions of Man and their Disorders in Local Brain Lesions. Moscow, Moskovskiy Gosudarstvennyy Universitet Publ., 1962. 433 p. (In Russ.).
- Luriya A.R. *Lektsii po Obshchey Psikhologii* = Lectures on General Psychology. St. Petersburg, Piter Publ., 2006. 320 p. (In Russ.).
- Ignatova Yu.P., Makarova I.I., Yakovleva K.N., Aksenova A.V. Visual-Motor Reactions as an Indicator of the Functional State of the Central Nervous System. *Ul'yanovskiy Mediko-Biologicheskii Zhurnal* = Ulyanovsk Medico-Biological Journal. 2019;3:38-51 (In Russ.).
- Bayevskiy R.M., Ivanov G.G. Heart Rate Variability: Theoretical Aspects and Possibilities of Clinical Application. *Ul'trazvukovaya i Funktsional'naya Diagnostika* = Ultrasound and Functional Diagnostics. 2001;3:106-127 (In Russ.).
- Bayevskiy R.M. Concept of Physiological Norm and Health Criteria. *Rossiyskiy Fiziologicheskii Zhurnal im. I.M. Sechenova* = Russian Physiological Journal Named after I.M. Sechenov. 2003;4:473-487 (In Russ.).
- Bayevskiy R.M., Ivanov G.G. Heart Rate Variability: Fundamentals of the Method and New Directions. *Novyye Metody Elektrokardiografii* = New Methods of Electrocardiography. Ed. S.V.Grachev, G.G.Ivanov, A.L.Syrkin. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2007. P. 473-496. (In Russ.).
- Boldyreva G.N. Participation of Structures of the Limbic-Diencephalic Complex in the Formation of Interhemispheric Asymmetry of the Human EEG. *Funktsional'naya Mezhpolusharnaya Asimetriya* = Functional Interhemispheric Asymmetry. Ed. N.N.Bogolepov, V.F.Fokin. Moscow, Nauchnyy Mir Publ., 2004. P. 558-577 (In Russ.).
- Fedorova N.V. Psychophysiological and Neurophysiological Changes in the State of Subjects with Psychosomatic Disorders during a Course of Biocontrol of Brain Potentials. *Vestnik Psikhofiziologii* = Psychophysiology News. 2013; 4:46-52 (In Russ.).
- Berezin F.B. *Psikhicheskaya i Psikhofiziologicheskaya Adaptatsiya Cheloveka* = Mental and Psychophysiological Adaptation of Man. Leningrad, Nauka Publ., 1988. 270 p. (In Russ.).
- Il'in Ye.P. *Psikhofiziologiya Sostoyaniy Cheloveka* = Psychophysiology of Human States. St. Petersburg, Piter Publ., 2005. 412 p. (In Russ.).
- Vygotskiy L.S. History of the Development of Higher Mental Functions. Collected works in 6 volumes. Vol. 3. *Problemy Razvitiya Psikhiki* = Problems of Development of the Psyche. Moscow, Pedagogika Publ., 1983. P. 5-328 (In Russ.).
- Luriya A.R. *Ob Istoricheskoy Razvitiy Poznavatel'nykh Protsesov. Psikhologicheskaya Nauka i Obrazovaniye* = On the Historical development of Cognitive Processes. Psychological Science and Education. Moscow, Nauka Publ., 1974. 132 p. (In Russ.).
- Zenkov L.R. *Klinicheskaya Elektroentsefalografiya (s Elementami Epileptologii)* = Clinical Electroencephalography (with Elements of Epileptology). Guide for Doctors. Moscow, MEDpressinform Publ., 2017. 360 p. (In Russ.).
- Zhirmunskaya Ye.A., Losev V.S. *Sistemy Opisaniya i Klassifikatsiya Elektroentsefalogramm Cheloveka* = Systems of Description and Classification of Human Electroencephalograms. Moscow, Nauka Publ., 1984. 80 p. (In Russ.).
- Torubarov F.S., Zvereva Z.F., Luk'yanova S.N. EEG Indicators of the State of the Central Nervous System in Individuals with Different Levels of Psychophysiological Adaptation. *Saratovskiy Nauchno-Meditsinskiy Zhurnal* = Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2019;15;4:965-967 (In Russ.).
- Zvereva Z.F., Torubarov F.S., Denisova Ye.A., Miroshnik Ye.V. Prognostic Criteria for Psychophysiological Adaptation Based on Comparative Characteristics of Visual Analysis and Indicators of the Power of EEG Biopotentials in Workers at Nuclear Hazardous Enterprises and Industries. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya* = Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. 2021;61;9:588-593 (In Russ.).
- Zvereva Z.F., Torubarov F.S., Vanchakova N.P., Luk'yanova S.N., Miroshnik Ye.V., Denisova Ye.A. Comparative Characteristics of EEG Frequency Ranges and Cerebral Energy Exchange at a Low Level of Psychophysiological Adaptation in Workers of Nuclear-Hazardous Enterprises and Industries.

- Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68;5:50-59 (In Russ.).
27. *Rukovodstvo po Otsenke i Interpretatsii Rezul'tatov Monitoringa Psikhofiziologicheskogo Sostoyaniya Rabotnikov Organizatsiy, Eksploatiruyushchikh Osobo Radiatsionno Opasnyye i Yaderno Opasnyye Proizvodstva i Ob'yekty v Oblasti Ispol'zovaniya Atomnoy Energii* = Guidelines for the Assessment and Interpretation of the Results of Monitoring the Psychophysiological State of Employees of Organizations Operating Particularly Radiation-Hazardous and Nuclear-Hazardous Production Facilities and Facilities in the Field of Atomic Energy Use. Moscow, FMBA Rossii Publ., 2014. 40 p. (In Russ.).
  28. Berezin F.B., Miroshnikov M.P., Sokolova Ye.D. *Metodika Mnogostoronnego Issledovaniya Lichnosti (MMIL): Struktura, Osnovy Interpretatsii, Nekotoryye Oblasti Primeneniya* = Methodology of Multilateral Personality Research (MMIL): Structure, Principles of Interpretation, some Areas of Application. Moscow, Berezin Feliks Borisovich Publ., 2011. 320 p. (In Russ.).
  29. Cattell R.B., Eber H.W. *Handbook for the Sixteen Personality Factor Questionnaire*. Illinois, 1964.
  30. Raven J.C. *A Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Tests*. London, H.K. Lewis and Co. Ltd, 1988.
  31. Sekoyan I.E. "Locus of Control" by Julian Rotter from the Position of Psychometrics. *Nezavisimyy Psikhiatricheskyy Zhurnal* = Independent Psychiatric Journal. 2008;3:18-25 (In Russ.).
  32. Loskutova T.D. Assessment of the Functional State of the Human Central Nervous System by the Parameters of a Simple Motor Reaction. *Fiziologicheskyy Zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova*. = Physiological Journal of the USSR Named after I.M. Sechenov. 1975;61;1:3-12 (In Russ.).
  33. Luk'yanova S.N. Bioelectrical Activity of the Cortex and Some Subcortical Formations in Experimental Neurosis. *Zhurnal Vyshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I.P. Pavlova* = Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlov. 1976;26;3:539-547 (In Russ.).
  34. Zvereva Z.F. *Kharakter Mezhpolutsharnogo Raspredeleniya Moshchnosti Biopotentsialov Golovnogo Mozga v Norme i pri yego Lateralizovannom Porazhenii* = The Nature of Interhemispheric Distribution of the Power of Brain Biopotentials in the Norm and in its Lateralized Damage. Extended Abstract of Doctor's Thesis (Med.). Moscow Publ., 2004. 36 p. (In Russ.).
  35. Yatsenko M.V., Kaygorodova N.Z. Delta Activity as an Indicator of Deviation of the Functional State from the Optimal Level. *Prilozheniye Mezhdunarodnogo Nauchnogo Zhurnala Vestnik Psikhofiziologii* = Supplement International Scientific Journal Psychophysiology News. 2018;1;1:44-46 (In Russ.).
  36. Lebedeva N.N., Karimova Ye.D., Potapov V.V., Potapova R.K. Comprehensive Study of Changes in the Functional State of a Person during the Perception of Media Content of Different Modalities. *Zhurnal Vyshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I.P.Pavlova* = Journal of Higher Nervous Activity named after I.P.Pavlov. 2021;71;1:86-103. (In Russ.).
  37. Novikova S.I. EEG Rhythms and Cognitive Processes. *Psikhologicheskaya Nauka i Obrazovaniye* = Psychological Science and Education. 2015;4:1:91-108 (In Russ.). URL: psyedu.ru. <http://psyjournals.ru/jmfp/2015/n1/76178.shtml> (Date of Access: 21.07.2024).
  38. Azarko Ye.M., Volodenko D.V. Identification of the Specifics of EEG Frequency Ranges in Pre-Rehabilitation Diagnostics of Firefighters and Rescuers. *Izvestiya Ural'skogo Federal'nogo Universiteta. Seriya 1. Problemy Obrazovaniya, Nauki i Kul'tury* = Izvestia Ural Federal University Journal. Series 1: Issues in Education, Science and Culture. 2018:106-113 (In Russ.).
  39. Gutsol L.O., Guzovskaya Ye.V., Serebrennikova S.N., Seminskiy I.Zh. Stress (General Adaptation Syndrome). *Baykal'skiy Meditsinskiy Zhurnal* = Baikal Medical Journal. 2022;1; 1: 70-80 (In Russ.). doi: 10.57256/2949-0715-2022-1-70-80.
  40. Yunusova S.G., Rozental' A.N., Baltina T.V. Stress. Biological and Psychological Aspects. *Uchenyye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Gumanitarnyye Nauki* = Scientific Notes of Kazan University. Series Humanitarian Sciences. 2008;150;3:139-150 (In Russ.). doi: 10.26907/2542-064X.
  41. Yakovlev Ye.V., Leont'yev O.V., Gnevyshev Ye.N. *Psikhologiya Stressa* = Psychology of Stress. Textbook. St. Petersburg, Universitet pri MPA YevrAzES Publ., 2020. 94 p. (In Russ.).
  42. Lazarus R. Stress Theory and Psychophysiological Research. *Emotsional'nyy Stress* = Emotional Stress. Ed. L.Levi. Leningrad, Meditsina Publ., 1970. P. 178-208 (In Russ.).
  43. Morozov V.N., Khadartsev A.A. On the Modern Interpretation of Stress Mechanisms. *Vestnik Novykh Meditsinskikh Tekhnologiy* = Journal of New Medical Technologies. 2010;17;1:15-17 (In Russ.).
  44. Sterling P., Eyer J. Allostasis: A New Paradigm to Explain Arousal Pathology. *Handbook of Life Stress Cognition and Health*. N.Y., John Wiley and Sons, 1988. P. 629-649.
  45. Bobrov A.F. Information Technologies in Occupational Medicine. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya* = Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. 2013;9:44-46. (In Russ.).
  46. Isayeva N.A. Allostatic Load in the Task of Assessing Professional Risks of Workers in Adverse Conditions. *Chelovecheskiy Faktor Energetiki XXI Veka: Kachestvo, Nadezhnost', Zdorov'ye* = Human Factor of Energy of the XXI Century: Quality, Reliability, Health. Proceedings of the International Seminar-Conference. Moscow, April 6-7, 2017. Moscow Publ., 2017. P. 180-199 (In Russ.).
  47. Kupriyanov R.V., Zhdanov R.I. Stress and Allostasis: Problems, Prospects and Relationships. *Zhurnal Vyshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I.P.Pavlova* = Journal of Higher Nervous Activity Named after I.P.Pavlov. 2014;64;1:21-31 (In Russ.).
  48. Darmogray V.N., Karaseva YU.V., Morozov V.N., Morozova V.I., Khadartseva K.A., Khapkina A.V. Syntoxic and Catastrophic Adaptation Programs in Various Human Diseases. *Vestnik Novykh Meditsinskikh Tekhnologiy* = Journal of New Medical Technologies. 2008;15;2:251-253 (In Russ.).
  49. Suchkova Zh.V., Byalovskiy Yu.Yu., Bulatetskiy S.V. Optimization of Non-Specific Adaptation Mechanisms Based on Local Magneto-Vibroacoustic Effects. *Vestnik Khar'kovskogo Natsional'nogo Universiteta Im. V.N.Karazina. Seriya Meditsina* = Bulletin of the Kharkiv National University named after V.N.Karazin. Series Medicine. 2003;5:84 (In Russ.).
  50. Leont'yev A.N. *Deyatel'nost'. Soznaniye. Lichnost'* = Activity. Consciousness. Personality. Ed. D.A.Leont'yev. Moscow, Smysl, Akademiya Publ., 2004. 346 p. (In Russ.).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.  
**Участие авторов.** Статья подготовлена с равным участием авторов.  
**Поступила:** 20.07.2025. Принята к публикации: 25.08.2025.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.  
**Financing.** The study had no sponsorship.  
**Contribution.** Article was prepared with equal participation of the authors.  
**Article received:** 20.07.2025. Accepted for publication: 25.08.2025.