

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-399-412

УДК 159.91

**Н.В. Лигун**

Институт высшей нервной деятельности  
и нейрофизиологии Российской академии наук,  
117485 г. Москва, Российская Федерация

## Влияние слабого сверхнизкочастотного электромагнитного поля 2 и 8 Гц на консолидированность дневного сна

Представлено исследование влияния экспозиции слабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты (0,5–26 Гц) от внешнего источника полей 2 и 8 Гц на структуру дневного сна. У 14 здоровых добровольцев (8 мужчин, 6 женщин, средний возраст  $19,43 \pm 1,22$  года) сравнивали по контрбалансированной схеме показатели непрерывности (консолидированности) дневного сна при 50-минутной экспозиции электромагнитного поля (2 и 8 Гц / 0,004 мкТл) и без воздействия (контроль). Для оценки непрерывности сна использовалась нелинейная регрессионная модель, позволяющий оценить непрерывность дневного сна. Показано, что экспозиция слабого электромагнитного поля сверхнизкой частоты достоверно улучшала качество сна, оцениваемое по показателю непрерывности сна, а именно: наблюдалось меньше переходов от второй и более глубоких стадий сна к первой стадии и к состоянию бодрствования. Показано, что оценка показателей непрерывности сна хорошо коррелирует с показателями качества и освежающим эффектом сна. Результаты могут быть использованы для разработки нефармакологических методов коррекции сна, а также для

© Лигун Н.В., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License  
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

повышения качества кратковременного сна и его положительного эффекта на самочувствие, когнитивные функции и работоспособность.

**Ключевые слова:** качество дневного сна, слабые электромагнитные поля сверхнизкой частоты, непрерывность сна, нелинейная регрессионная модель сна

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2021–2023 гг.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лигун Н.В. Влияние слабого сверхнизкочастотного электромагнитного поля 2 и 8 Гц на консолидированность дневного сна // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 4. С. 399–412. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-399-412

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-399-412

**N.V. Ligun**

Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology,  
Russian Academy of Science,  
Moscow, 117485, Russian Federation

## The influence of a weak ultra-low frequency electromagnetic field 2 and 8 Hz on the consolidation of daytime sleep

The article present the hypothesis that weak electromagnetic fields of ultra-low frequencies (0.5–26 Hz) could affect daytime sleep features and structure. Parameters of daytime sleep continuity were compared in the study with counterbalanced control/exposition (50 min exposure to electromagnetic field at 2 and 8 Hz / 0.004  $\mu$ T) scheme in 14 healthy volunteers (8 men, 6 women, mean age  $19.43 \pm 1.22$  y.o.). Nonlinear regression model was used to assess daytime sleep continuity. Exposure to a weak electromagnetic field of ultra-low frequency significantly improved the quality of sleep, assessed by the indicator of sleep continuity, namely, there were fewer transitions from the second and deeper stages of sleep to the first stage and to the state

of wakefulness. The results can be used to develop non-pharmacological methods of sleep correction, as well as to improve the quality of short-term sleep and its positive effect on wellbeing, cognitive function and working capacity.

**Key words:** quality of daytime sleep, weak electromagnetic fields of ultra-low frequency, sleep continuity, nonlinear regression sleep model

**Acknowledgements.** The study was carried out as part of the state-commissioned assignment of Ministry of Education and Science of the Russian Federation for 2021–2023.

FOR CITATION: Ligun N.V. The influence of a weak ultra-low frequency electromagnetic field 2 and 8 Hz on the consolidation of daytime sleep. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 399–412. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-399-412

## Введение

Возникновение и эволюция живых систем происходила в условиях действия слабых ионизирующих и неионизирующих природных излучений. Ранее было показано, что природный радиоактивный фон является важным фактором жизнедеятельности [Кузин, 1970; Тимофеев-Ресовский, Савич, Шальнов, 1981]. Большой интерес исследователей привлекает изучение воздействия на жизнедеятельность организмов неионизирующих излучений – электромагнитных и магнитных полей низкой (нетепловой) интенсивности [Патогенные воздействия..., 2007; Carubba, Marino, 2008; Кудряшов, Рубин, 2014]. В исследованиях отечественных ученых было дано теоретическое обоснование родственности таких полей живым системам [Вернадский, 1965; Чижевский, 1976; Владимирский, Темурьянц, 2000].

Источниками сверхслабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты являются активность Солнца и поля Земли. Рядом авторов высказывается гипотеза, что ритмические процессы в живых организмах с момента зарождения жизни на Земле также зависят от основного суточного ритма, который определяется, наряду с освещенностью, и электромагнитной составляющей гелио-геофизических факторов [Бреус, Бинги, Петрукович, 2016]. Суточная вариабельность в диапазоне геомагнитных возмущений наряду с суточными изменениями освещенности могут определять циркадианную ритмику, т.к. они оба связаны с наличием солнца днем и отсутствием его ночью. Воздейст-

вия на организм искусственных электромагнитных полей сверхнизкой частоты в диапазоне частот альфвеновского (0,001–4 Гц) и шумановского (8, 14, 20, и 26 Гц) резонанса могут оказывать нормализующие влияния на циркадианные механизмы регуляции цикла сон–бодрствование и, таким образом, служить терапевтическим агентом для коррекции циркадианных нарушений этого цикла.

Человеческий мозг, по-видимому, способен обнаруживать, поглощать и реагировать на электромагнитные поля сверхнизкой частоты, сравнимые по параметрам с вариациями геомагнитного поля Земли (0,5–20 Гц) [4]. Многими исследователями показана возможность воздействия электромагнитных полей сверхнизкой частоты на живые системы [Холодов, 1982; Zhadin, 2001; Кудряшов, Рубин, 2014; Зенченко, 2016]. Однако надо сказать, что в постиндустриальных обществах сила полей всех техногенных источников может на несколько порядков превышать силу полей природных источников. Было показано, что длительное воздействие электромагнитного поля может достигать нескольких десятых микротесл [Ilonen et al., 2008]. Исследования влияния электромагнитного поля на сон дали результаты, которые зачастую неубедительны или противоречивы, т.к. полученные эффекты могут быть опосредованы либо электромагнитным излучением определенной частоты, либо широкополосным излучением, аналогичным белому шуму [Ohayon et al., 2019].

На сегодняшний день проведено мало исследований сна при действии электромагнитного поля узкого частотного диапазона. Часть таких работ касалась изучения электромагнитного поля частотой 50 или 60 Гц, генерируемых электрической сетью и электрическими устройствами соответственно в Европе и Северной Америке. Так, отмечалось нарушение ночного сна у 18 здоровых испытуемых при воздействии электромагнитного поля частотой 50 Гц (1 мкТл), при этом, однако, изменения характеристик сна находились в пределах нормы [Åkerstedt et al., 1999]. Влияние прерывистого электромагнитного поля (воздействия в течение часа регулярно чередуются с часовыми перерывами) частотой 60 Гц (28,3 мкТл) у здоровых мужчин приводило к изменению архитектуры сна [Graham, Cook, 1999].

Большая часть людей, работающих в дневное время суток, может извлечь пользу из дневного сна, который считается мощной поведенческой стратегией, минимизирующей сонливость, усталость, нарушения когнитивной деятельности и физической работоспособности [Takahashi et al., 2004; Caldwell et al., 2009; Milner, Cote, 2009]. По современным

представлениям, наиболее эффективным способом восстановить работоспособность, является кратковременный дневной сон длительностью 20–30 минут. Эффективность такого сна определяется наличием 2-й стадии сна, 5–10-минутной длительности которой достаточно для достижения положительного эффекта на самочувствие и работоспособность в течение 1–3 часов [Maas et al., 1998]. В связи с этим считаем, что теоретическое и практическое значение имеет определение того, может ли качество дневного сна быть повышено воздействием слабых электромагнитных полей той же частоты, которая преобладает в спектральном составе электрической активности мозга человека, регистрируемой методом электроэнцефалографии (ЭЭГ) во время самой глубокой стадии сна (1–4 Гц). Также неизвестно, может ли слабое электромагнитное поле частотой ниже 50–60 Гц (например, 1–16 Гц) влиять на характеристики сна человека.

Поскольку частоты 1–16 Гц характерны для природных электромагнитных полей, они представляют особый интерес для экспериментальной работы. Напомним, что эти же частоты соответствуют частотному диапазону ЭЭГ человека во время сна. Специфические частотные паттерны ЭЭГ в диапазоне 1–16 Гц используются для разделения континуума состояния бодрствование–сон на стадии [Iber et al., 2007]. Преобладание низкочастотной активности (менее 10 Гц), К-комплексы и сонные веретёна (частота 12–15 Гц) являются не только показателями медленного сна, но также служат маркерами лежащих в основе регуляции сна и бодрствования процессов [Vorbély, 1982]. В частности, самая глубокая, 3-я стадия сна характеризуется волнами в диапазоне частот 1–4 Гц, а их амплитуда пропорциональна накопленному сонному долгу за предшествующее бодрствование [Там же].

Ранее было показано, что воздействие слабого (0,004 мкТл) электромагнитного поля частотой 1 Гц приводило к значительному увеличению длительности сна за счет увеличения суммарной продолжительности 2-й стадии сна [Dorokhov et al., 2019].

В данном исследовании мы сравнили эффекты воздействия электромагнитного поля частотой 2 и 8 Гц, чтобы проверить, может ли такое воздействие изменить спектральную плотность мощности ЭЭГ в дельта- и тета-диапазонах частот во время 2-й и 3-й стадий сна. Мы предположили, что частоты используемого нами электромагнитного поля совпадают с частотным диапазоном ЭЭГ во время медленного сна и могут способствовать возникновению 2-й и 3-й стадий сна в 50-минутном дневном сне.

## Материалы и методы

В исследовании участвовало 14 здоровых студентов университета (8 мужчин, 6 женщин), средний возраст  $19,43 \pm 1,22$  года.

В качестве критериев исключения рассматривали невозможность заснуть во второй половине дня менее чем за 10 минут, беременность, грудное вскармливание, простудные заболевания, плохое самочувствие, участие в сменной или ночной работе, пересечение нескольких меридианов в течение предыдущего месяца, нерегулярный график сна и бодрствования (более чем 1-часовая разница во времени сна за предшествующие 10 дней), частое недосыпание (по крайней мере, два случая в неделю в предыдущие две недели).

С каждым участником было проведено 3 эксперимента в дневное время (13–15 часов), интервалы между которыми варьировались от 3 дней до одного месяца. Каждый эксперимент длился менее 2 часов. Испытуемые не были информированы о порядке и времени воздействия электромагнитного поля. Порядок экспериментов с воздействием электромагнитного поля частотой 2 Гц или 8 Гц, а также контроль был случайным для каждого испытуемого.

Полисомнограмма осуществлялась с помощью беспроводной 16-канальной системы «Нейрополиграф 24» («Нейротех», Таганрог, Россия). Монтаж электродов был стандартным: 13 каналов ЭЭГ, размещенных по международной системе 10–20%, два канала электроокулограммы, один канал электромиограммы мышц подбородочной области. Определяли фильтры высоких и низких частот соответственно 0,5 и 35 Гц, а также режекторный фильтр 50 Гц. Частота дискретизации составляла 500 Гц.

Во время установки электродов испытуемый лежал в постели в лаборатории в звуко- и светоизолируемой камере при тусклом освещении (10 лк). После выключения света с помощью пульта дистанционного управления по инструкции испытуемому необходимо было попытаться уснуть и спать в течение 50 минут. Первые 5 минут регистрировали фоновую запись, а в течение следующих 45 минут исследователь включал генератор электромагнитного поля (прибор EcoSleep CUBE, ООО «ЦНСиб», Сколково), в контрольном эксперименте экспозиция электромагнитного поля не осуществлялась. Генератор электромагнитного поля располагался на расстоянии 700 мм от головы участника эксперимента, не был замечен, а сами испытуемые не знали, когда он будет включаться. Переменное магнитное поле создавалось бифилярными плоскими спиральными катушками (диаметр 50 мм, индуктивность 0,5 мкГн,

сопротивление 15 Ом). Максимально возможное напряжение индуктора поля составляло примерно 3 В, ток имел форму прямоугольных импульсов частотой 2 или 8 Гц с коэффициентом заполнения, равным 0,5. Индукцию электромагнитного поля в центре генератора (она составила 22 мкТл) измеряли с помощью прибора «Бе-МЕТП-АТ-002» (ООО «НТМ-защита», Россия). Индукцию  $B$  на расстоянии 700 мм рассчитывали по формуле:  $B = B_0(R_0/R)^2$ .

В нашем случае  $B_0 = 22$  мкТл,  $R_0 = 10$  мм,  $R = 700$  мм. Результаты расчетов показали, что на расстоянии 700 мм индукция электромагнитного поля достигала 0,004 мкТл (4 нТл), что значительно ниже гигиенической нормы в 100 мкТл.

После эксперимента двумя независимыми экспертами проводилось визуальное экспертное стадирование 30-секундных эпох всей 50-минутной записи, согласно стандартным критериям Американской академии медицины сна [Iber et al., 2007]. Эпохи подразделялись на следующие стадии:  $W$  – бодрствование,  $N_1-N_3$  – соответствующие стадии медленно-волнового сна. В статье было проанализировано количество стадий сна на 5–10-минутных интервалах каждой 50-минутной записи и определены достоверности отличий по  $t$ -критерию Стьюдента.

Для статической оценки консолидированности сна применяли нелинейную регрессионную модель, описанную ранее [24] и определяемую уравнением Ферхюльста:

$$P(t) = \frac{A}{1 + e^{(B-Ct)}}. \quad (1)$$

В популяционной биологии данное уравнение описывает сценарий роста численности популяции  $P$  во времени  $t$ ; где  $A$  – предельно возможная численность популяции;  $C$  – скорость роста популяции; коэффициент  $B$  связан с отношением начальной и конечной численностей популяции. Аналогично росту численности особей в популяции, описываемому формулой (1), происходит погружение в сон и выход из него группы людей, поэтому в нашем случае логично соотнести  $P$  – с количеством заснувших испытуемых (находящихся на 2-й и 3-й стадиях сна) к моменту времени  $t$ ;  $A$  – с максимально возможным количеством заснувших испытуемых в данных условиях опыта;  $C$  – со скоростью засыпания;  $B$  – с уровнем сонливости испытуемых в начале опыта. По нашему мнению, параметр  $A$  описывает степень консолидированности сна в зависимости от условий опыта, в данном исследовании – в зависимости от вида электромагнитного стимула.

Для нашего случая коэффициенты нелинейной регрессии  $A$ ,  $B$  и  $C$  оценивали по методу наименьших квадратов Левенберга–Марквардта и вычисляли достоверность различий в контроле и при электромагнитном воздействии. Для статистической обработки данных использован пакет Statsoft Statistica 6.0.

## Результаты и обсуждение

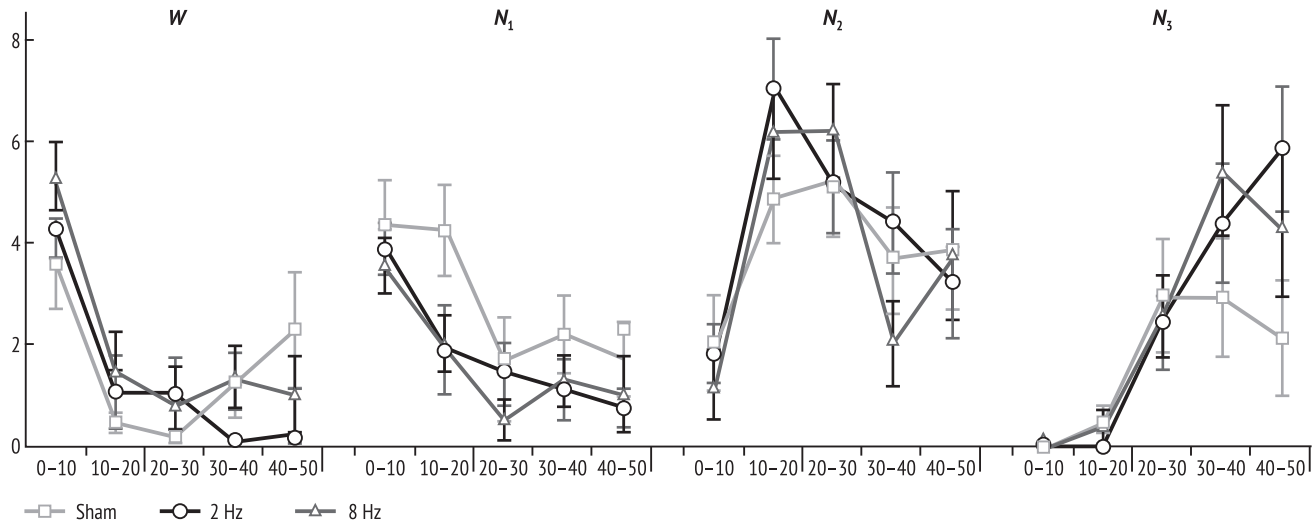
Анализ среднего времени бодрствования ( $W$ ) и различных стадий сна ( $N_1$ – $N_3$ ) по группе испытуемых за каждые 10 минут эксперимента показал, что в течение эксперимента как при стимуляции электромагнитным полем частотой 2 Гц, так и при стимуляции электромагнитным полем частотой 8 Гц отмечалось достоверное увеличение случаев с  $N_2$  стадией в первые 20 минут эксперимента и случаев с  $N_3$  стадией во второй половине эксперимента (рис. 1).

Уменьшение случаев бодрствования и нарастание глубины сна с течением времени в ходе экспериментов – закономерный результат у людей, находящихся в спокойном состоянии в положении лежа. Однако видно, что стимуляция электромагнитным полем частотой как 2, так и 8 Гц приводит к повышению среднего времени стадий  $N_2$  и  $N_3$  по группе.

В соответствии с моделью оценки консолидированности сна, описанной выше, в каждой 30-секундной эпохе стадирования в интервале с 1-й по 45-ю минуту подсчитывали долю испытуемых  $P$ , находившихся на  $N_2$  и  $N_3$  стадиях сна. Результаты оценки приведены в табл. 1. Полученные при данном анализе соответствующие регрессионные кривые (рис. 2) выявили большую долю испытуемых, находившихся на стадиях сна  $N_2$  и  $N_3$  при стимуляции электромагнитным полем 2 Гц и 8 Гц по сравнению с контролем (sham).

Ранее мы указывали, что для описания кривых на рис. 2 использовалось уравнение (1), где  $A$  – показатель консолидированности сна, соответствует высоте «плато» каждой кривой;  $B$  – показатель усредненного по группе начального уровня сонливости испытуемых;  $C$  – крутизна выхода кривой на плато, соответствует скорости засыпания. Из табл. 1 и рис. 2 видно, что при стимуляции электромагнитным полем консолидированность сна ( $A$ ) повышалась на 22% ( $p = 2,15 \cdot 10^{-7}$ ) и 14% ( $p = 0,00016$ ) соответственно при частоте стимуляции 2 и 8 Гц. Так, средняя доля испытуемых, находившихся на стадиях сна  $N_2$  и  $N_3$ , во второй половине эксперимента составила 87% при стимуляции с частотой 2 Гц и 81% при стимуляции с частотой 8 Гц по сравнению с 71% без





**Рис. 1.** Средняя представленность состояния сна на различных последовательных стадиях сна без стимуляции (Sham) и при стимуляции электромагнитным полем 2 и 8 Гц в разное время эксперимента

По оси абсцисс – 10-минутные отрезки эксперимента для последовательных стадий сна ( $W$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ), по оси ординат – среднее время каждого состояния по группе (мин). Отмечена стандартная ошибка среднего значения

**Fig. 1.** Average representation of the sleep state at various successive stages of sleep without stimulation (Sham) and with stimulation by an electromagnetic field of 2 and 8 Hz at different times of the experiment

The x-axis shows 10-minute segments of the experiment for successive stages of sleep ( $W$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ), and the y-axis is the average time of each state for the group. Standard error of the mean is noted

Таблица 1

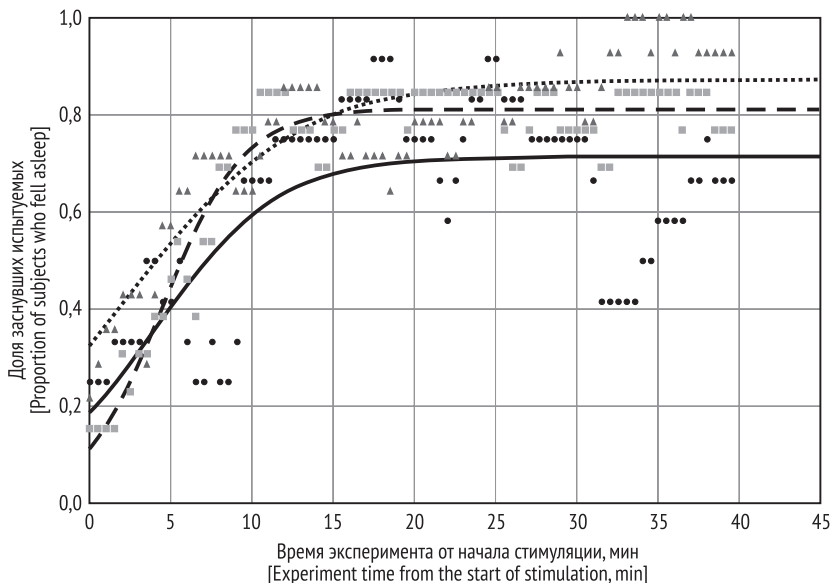
**Результаты статистического сравнения коэффициентов регрессионного уравнения Ферхюльста  
в опытах со стимуляцией 2 и 8 Гц и в контроле**  
**[Results of a statistical comparison of the coefficients of the Verhulst regression equation  
in experiments with stimulation of 2 and 8 Hz and in control]**

Параметр [Parameter]	Контроль [Control]		Стимуляция [Stimulation]					
			2 Гц [2 Hz]			8 Гц [8 Hz]		
	Оценка [Grade]	Стандартная ошибка [Standard error]	Оценка [Grade]	Стандартная ошибка [Standard error]	<i>p</i>	Оценка [Grade]	Стандартная ошибка [Standard error]	<i>p</i>
Максимально возможное количество заснувших испытуемых в данных условиях опыта [The maximum possible number of subjects who fell asleep under these experimental conditions]	0,715	0,023	0,873	0,015	<b>2,15*10<sup>-7</sup></b>	0,814	0,008	<b>0,00016</b>
Скорость засыпания [Speed of falling asleep]	0,264	0,065	0,195	0,026	0,54	0,402	0,033	0,12

Примечание. Уровень достоверности различий каждого из двух видов стимула с контролем приведен с учетом поправки Бонферрони на множественность сравнений. Достоверные различия ( $p \leq 0,05$ ) выделены жирным шрифтом.

[Note. The level of significance of differences between each of the two types of stimulus with control is given taking into account the Bonferroni correction for multiple comparisons. Significant differences ( $p \leq 0.05$ ) are highlighted in bold.]

стимуляции в контрольных экспериментах. Наибольшая консолидированность, наблюдавшаяся при стимуляции электромагнитным полем частотой 2 Гц, может быть связана с резонансным воздействием данной частоты электромагнитного стимула на дельта-активность в ЭЭГ, свойственную глубокому сну.



**Рис. 2.** Сравнение доли испытуемых, находившихся на стадиях сна  $N_2$  и  $N_3$  в контрольных опытах и в опытах со стимуляцией электромагнитным полем 2 и 8 Гц

Контроль: сплошная линия, разброс данных отмечен кружками; стимуляция электромагнитным полем 2 Гц: точечная линия, разброс данных показан треугольниками; 8 Гц: пунктирная линия, разброс данных – квадратами

**Fig. 2.** Comparison of the proportion of subjects who were in stages of sleep  $N_2$  and  $N_3$  in control experiments and in experiments with stimulation by electromagnetic fields of 2 and 8 Hz

Control: solid line, data spread is marked with circles signs; stimulation with an electromagnetic field of 2 Hz: dotted line, data scatter – triangles signs; 8 Hz: dotted line, data spread – squares signs

Кроме того, скорость засыпания ( $C$ ) при стимуляции электромагнитным полем частотой 2 Гц незначительно снижалась, а при 8 Гц – повышалась, хотя и не достоверно.

## Заключение

В исследовании было показано статистически значимое увеличение частоты второй и третьей стадий сна, а также улучшение консолидированности сна при воздействии электромагнитным полем с частотами 2 и 8 Гц; для оценки последнего использовалось нелинейное регрессионное моделирование [Norman et al., 2006; Влияние..., 2020]. Учитывая хорошую корреляцию между степенью консолидированности сна и его восстановительным эффектом [Libman et al., 2016; Conte et al., 2020], можно говорить об улучшении качества сна под воздействием электромагнитного поля. Ранее с использованием другого математического аппарата на тех же данных [Dorokhov et al., 2022] мы обнаружили статистически значимое увеличение частоты второй стадии сна; таким образом, мы видим подтверждение в пользу положительного эффекта электромагнитного поля с точки зрения разных аналитических подходов. Полученные результаты могут быть использованы для усиления восстановительного эффекта короткого дневного сна; тем не менее, требуется дальнейшая валидация полученного результата на большей выборке испытуемых.

## Библиографический список / References

Бреус Т.К., Бинги В.Н., Петрукович А.А. Магнитный фактор солнечно-земных связей и его влияние на человека: физические проблемы и перспективы // Успехи физических наук. 2016. Т. 186. № 5. С. 568–576. [Breus T.K., Bingi V.N., Petrukovich A.A. Magnetic factor of solar-terrestrial connections and its influence on humans: Physical problems and prospects. *Uspеhi fizicheskikh nauk*. 2016. Vol. 186. No. 5. Pp. 568–576. (In Rus.)]

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1965. [Vernadskij V.I. Himicheskoe stroenie biosfery Zemli i ejo okruzhenija [Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment]. Moscow, 1965.]

Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу–ноосферу (Гелиобиология от А.Л. Чижевского до наших дней). М., 2000. [Vladimirskij B.M., Temurjanc N.A. Vliyanie solnechnoy aktivnosti na biosferu–noosferu (Geliobiologiya ot A.L. Chizhevskogo do nashikh dney) [The influence of solar activity on the biosphere–noosphere (Heliobiology from A.L. Chizhevsky to the present day)]. Moscow, 2000.]

Влияние музыки, содержащей бинауральные биения, на динамику дневного засыпания / Шумов Д.Е., Яковенко И.А., Алипов Н.Н. и др. // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020. Т. 120. № 2. С. 39–44. [Shumov D.E., Jakovenko I.A., Alipov N.N. et al. The influence of music containing binaural beats on the dynamics of daytime falling asleep. *Zhurnal nevrologii i psichiatrii im. S.S. Korsakova*. 2020. Vol. 120. No. 2. Pp. 39–44. (In Rus.)]

Зенченко Т.А. Влияние слабых экзогенных факторов на физиологические показатели человека на примере изучения реакции сердечно-сосудистой системы на действие вариаций атмосферных и геомагнитных факторов: Дис. ... д-ра биол. наук. Пуцзино, 2016. [Zenchenko T.A. Vlijanie slabyh jekzogennyh faktorov na fiziologicheskie pokazateli cheloveka na primere izuchenija reakcii serdечно-sosudistoj sistemy na dejstvie variacij atmosfernih i geomagнитnyh faktorov [The influence of weak exogenous factors on human physiological indicators using the example of studying the response of the cardiovascular system to the effects of variations in atmospheric and geomagnetic factors]. Dr. Hab. dis. Pushhino, 2016.]

Кудряшов Ю.Б., Рубин А.Б. Радиационная биофизика: сверхнизкочастотные электромагнитные излучения. М., 2014. [Kudrjashov Yu.B., Rubin A.B. Radiacionnaja biofizika: sverhнизkочастотnye jelektromagnitnye izlucheniya [Radiation biophysics: Ultra-low frequency electromagnetic radiation]. Moscow, 2014.]

Кузин А.М. Проблемы радиобиологии. М., 1970. [Kuzin A.M. Problemy radiobiologii [Problems of radiobiology]. Moscow, 1970.]

Патогенные воздействия неионизирующих излучений на организм человека / Москвин С.В., Соколовская Л.В., Субботина Т.И. и др. М.; Тверь; Тула, 2007. [Moskvin S.V., Sokolovskaja L.V., Subbotina T.I. et al. Patogennye vozdejstvija neionizirujushhijh izluchenij na organizm cheloveka. Moscow; Tver; Tula, 2007.]

Тимофеев-Ресовский Н.В., Савич А.В., Шальнов М.И. Введение в молекулярную радиобиологию (физико-химические основы). М., 1981. [Timofeev-Resovskij N.V., Savich A.V., Shalnov M.I. Vvedenie v molekularnuju radiobiologiju (fiziko-himicheskie osnovy) [Introduction to molecular radiobiology (physicochemical fundamentals)]. Moscow, 1981.]

Холодов Ю.А. Мозг в электромагнитных полях. М., 1982. [Holodov Yu.A. Mozg v jelektromagnitnyh poljah [Brain in electromagnetic fields]. Moscow, 1982.]

Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1976. [Chizhevskij A.L. Zemnoe jeho solnechnyh bur [Earthly echo of solar storms]. Moscow, 1976.]

Åkerstedt T., Arnetz B., Ficca G. et al. A 50-Hz electromagnetic field impairs sleep. *J. Sleep Res.* 1999. Vol. 8. No. 1. Pp. 77–78.

Borbély A.A. A two process model of sleep regulation. *Hum. Neurobiol.* 1982. Vol. 1. Pp. 195–204.

Caldwell J.A., Mallis M.M., Caldwell J.L. et al. Fatigue countermeasures in aviation. *Aviat. Space Environ. Med.* 2009. Vol. 80. Pp. 29–59.

Carrubba S., Marino A.A. The effects of low-frequency environmental-strength electromagnetic fields on brain electrical activity: A critical review of the literature. *Electromagn. Biol. Med.* 2008. Vol. 27. No. 2. Pp. 83–101.

Conte F., Cerasuolo M., Fusco G. et al. Sleep continuity, stability and organization in good and bad sleepers. *J. Health Psychol.* 2020. Feb. 7. 1359105320903098.

Dorokhov V.B., Taranov A.I., Narbut A.M. et al. Effects of exposure to a weak extremely low frequency electromagnetic field on daytime sleep architecture and length. *Sleep Med. Res.* 2019. Vol. 10. No. 2. Pp. 97–102.

Dorokhov V.B., Taranov A.O., Sakharov D.S. et al. Effects of exposures to weak 2-Hz vs. 8-Hz electromagnetic fields on spectral characteristics of the electroencephalogram in afternoon nap. *Biological Rhythm Research*. 2022. Vol. 53. No. 7. Pp. 987–995.

Graham C., Cook M.R. Human sleep in 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1999. Vol. 20. No. 4. Pp. 277–283.

Iber C., Ancoli-Israel S., Chesson A., Quan S.F. The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: Rules, terminology, and technical specification. Westchester, IL, 2007.

Ilonen K., Markkanen A., Mezei G., Juutilainen J. Indoor transformer stations as predictors of residential ELF magnetic field exposure. *Bioelectromagnetics*. 2008. Vol. 29. Pp. 213–218.

Libman E., Fichten C., Creti L. et al. Refreshing sleep and sleep continuity determine perceived sleep quality. *Sleep Disord*. 2016. 7170610.

Maas J.B., Wherry M.L., Axelrod D.J. et al. Power sleep: The revolutionary program that prepares your mind for peak performance. New York, 1998.

Milner C.E., Cote K.A. Benefits of napping in healthy adults: Impact of nap length, time of day, age, and experience with napping. *J. Sleep Res*. 2009. Vol. 18. Pp. 272–281.

Norman R.G., Scott M.A., Ayappa I. et al. Sleep continuity measured by survival curve analysis. *SLEEP*. 2006. Vol. 29. No. 12. Pp. 1625–1631.

Ohayon M.M., Stolc V., Freund F.T. et al. The potential for impact of man-made super low and extremely low frequency electromagnetic fields on sleep. *Sleep Med. Rev*. 2019. Vol. 47. Pp. 28–38.

Takahashi M., Nakata A., Haratani T. et al. Post-lunch nap as a worksite intervention to promote alertness on the job. *Ergonomics*. 2004. Vol. 47. Pp. 1003–1013.

Zhadin M.N. Review of Russian literature on biological action of DC and low-frequency AC magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2001. Vol. 22. No. 1. Pp. 27–45.

Статья поступила в редакцию 05.07.2023, принята к публикации 03.09.2023  
The article was received on 05.07.2023, accepted for publication 03.09.2023

#### Сведения об авторе / About the author

**Лигун Наталья Владимировна** – старший лаборант лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Natalia V. Ligon** – senior laboratory assistant at the Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7358-0243>

E-mail: [dona77@yandex.ru](mailto:dona77@yandex.ru)