

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЖИВОТНЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СТАНДАРТА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 5G

© 2024 г. В. Н. Никитина*, Н. И. Калинина, Е. Н. Дубровская, В. П. Плеханов, А. А. Ковшов

Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья Роспотребнадзора, Санкт-Петербург, Россия

**E-mail: v.nikitina@s-znc.ru*

Поступила в редакцию 25.12.2023 г.

После доработки 15.02.2024 г.

Принята к публикации 24.04.2024 г.

Выполнено пилотное экспериментальное исследование по оценке влияния на центральную нервную систему животных немодулированного и модулированного электромагнитного поля стандарта мобильной связи 5G. Половозрелые крысы – самцы линии Вистар в течение 15 дней по 2 ч в день подвергались воздействию электромагнитных полей частотой 4.9 ГГц, интенсивностью 250 мкВт/см². Животные двух облучаемых групп и контрольной группы находились в идентичных условиях в полубезэховой экранированной камере. Влияние электромагнитного поля на функциональное состояние центральной нервной системы оценивалось путем комплексного анализа паттернов поведения в тесте “открытое поле” до и после облучения. В исследовании не выявлено четких отличий в поведении животных при облучении немодулированным и модулированным электромагнитным полем 5G. В динамике эксперимента зарегистрированы статистически значимые изменения поведения животных в двух облучаемых и контрольной группах, что, возможно, связано с изменением естественного электромагнитного фона в полубезэховой экранированной камере.

Ключевые слова: электромагнитные поля, экспериментальные исследования, поведенческие реакции животных, биологические эффекты

DOI: 10.31857/S0869803124030061, **EDN:** MBIFEL

Сети 5G являются новым этапом развития телекоммуникационных систем и рассматриваются как революция в области мобильной связи. По сравнению с современными стандартами мобильной связи 3G и 4G, 5G дает решающие преимущества, особенно в разработке новых технологий. Мобильная связь 5G открывает широкие возможности применения, особенно в Интернете вещей (IoT), межмашинной связи (M2M), приложениях сверхширокополосного доступа, автомобилях с автоматическим управлением, позволяет существенно увеличить объем и скорость передаваемой информации. Исследования показывают, что объем данных, которые передаются по мобильной сети, ежегодно удваивается. Внедрение третьего поколения сотовой связи (3G, UMTS) и четвертого поколения (4G, LTE) с 2012 г. позволило удовлетворить потребности в их передаче на сегодняшний день. Однако сейчас эти технологии достигли своего предела [1, 2].

Технические характеристики, области применения и нововведения нового стандарта мобильной связи 5G анализируются во многих публикациях. Рассмотрение с гигиенических позиций сети 5G свидетельствует о существенном отличии их от сетей мобильной связи предыдущих поколений с точки зрения влияния электромагнитного поля (ЭМП) на здоровье населения. Сети 5G существенно изменяют электромагнитную обстановку в среде обитания человека. Особенностью мобильной связи пятого поколения является расширение верхней границы радиочастот (использование миллиметровых волн), многочисленность излучающих устройств, сверхплотность радиосетей, использование активных антенных систем ММО, новых сценариев размещения базовых станций (БС), обеспечение прямой связи между абонентскими терминалами, применение сигналов с большей шириной спектра и новыми типами

модуляции, биологическое действие которых не изучено [3]. На сегодня можно констатировать наличие ограниченного числа исследования такой направленности. В то же время усложнение электромагнитной обстановки в среде обитания человека требует совершенствования системы обеспечения электромагнитной безопасности, в том числе в области регламентирования уровней ЭМП радиочастотного диапазона. Все вышеизложенное послужило предпосылкой к постановке настоящего пилотного экспериментального исследования. Цель работы: оценка влияния ЭМП мобильной связи 5G частотой 4.9 ГГц на поведение животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

На основании изучения современных требований к постановке экспериментов на животных были разработаны программы исследований и протокол проведения лабораторных экспериментов по изучению биоэффектов ЭМП РЧ-диапазона. В работе изучали влияние электромагнитных полей на функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС) на основе комплексного анализа поведения животных. Исследование поведенческих реакций и вегетативных функций животных широко используется при изучении состояния ЦНС, как наиболее чувствительной к воздействию электромагнитных излучений (ЭМИ). При изучении поведенческих реакций широко применяется метод “открытое поле”, который заключается в исследовании двигательного компонента ориентировочной реакции и эмоциональной реактивности животных. Этот метод используется при изучении поведенческих реакций в физиологии, медицине, фармакологии, является одним из старейших классических методов для оценки общей активности, а также исследовательского поведения животных [4–6]. Результаты изучения влияния электромагнитного излучения на когнитивные функции мозга животных с регистрацией изменения показателей поведенческой и исследовательской активности крыс при воздействии ЭМП РЧ диапазона представлены в ряде исследований [7–10].

В настоящем исследовании в сравнительном аспекте изучалось влияние на поведение животных широкополосных модулированных ЭМП мобильной связи 5G и немодулированных электромагнитных полей частотой 4.9 ГГц.

Эксперименты проводили на самцах беспородных белых крыс линии Вистар, которые

были распределены на опытные и контрольную группы. Животные содержались в виварии в стандартных условиях при свободном доступе к воде и корму. До начала исследований лабораторные животные находились в виварии 14 дней на карантине. При выполнении работы соблюдены этические принципы экспериментов на животных и основные положения Хельсинской декларации. Исследовательская работа выполнена с соблюдением требований Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123) и межгосударственного стандарта ГОСТ 33216-2014 “Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами”.

До начала эксперимента была проведена регистрация веса животных и ориентировочно-исследовательских реакций по тесту “открытое поле”. По результатам этих исследований был проведен отбор и формирование трех экспериментальных групп по 12 животных в каждой серии эксперимента (две группы опытные, одна группа контрольная). Сформированные группы экспериментальных животных однородны по индивидуальным значениям веса тела (отклонения не более $\pm 10\%$) и показателям энтропии.

Для постановки эксперимента изучались базовые технические характеристики сотовой связи пятого поколения. В Российской Федерации Решением Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) от 17.03.2020 №20-54-20 определено, что перспективными для построения сетей связи стандарта 5G/IMT-2020 являются следующие диапазоны радиочастот: 694–790 МГц, 2300–2440 МГц, 2570–2620 МГц, 4400–4990 МГц и 24.25–27.5 ГГц. Тестовые испытания сети 5G в РФ проходят на частоте 4800–4990 МГц (сантиметровый диапазон) и 24.25–27.5 ГГц (миллиметровый диапазон). Согласно Концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020 Российской Федерации (утверждена Приказом Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ № 923 от 29.12.2019 г.), ширина спектра на частотах до 6000 МГц составляет до 100 МГц.

Стандовое оборудование экспериментального исследования включало векторный генератор сигналов типа SMCV100B 1432.7000.02, широкополосный усилитель SAM100, антенну рупорную экспоненциальную HF907. В задачу исследований входила сравнительная оценка реакций

организма животных на воздействие модулированных широкополосных ЭМП 5G и немодулированных ЭМП частотой 4.9 ГГц. Проведены 2 серии исследований, в первой серии крысы подвергались воздействию ЭМП с несущей частотой 4.9 ГГц, во второй серии – ЭМП частотой 4.9 ГГц со следующими характеристиками радиочастотного сигнала стандарта 5G: модуляция сигнала 64 QAM (квадратурная амплитудная модуляция с ортогональным частотным разделением (OFDM)), ширина полосы модуляции 100 МГц. Уровень плотности потока энергии (ППЭ) ЭМП в первой и второй сериях был одинаковым и составлял 250 мкВт/см^2 .

Модулированные широкополосные ЭМП частотой 4.9 ГГц используются в тестовых испытаниях стандарта 5G в России. Таким образом, отличия между сериями экспериментов заключались в характеристиках радиочастотного сигнала: во второй серии воспроизводились параметры модуляции и ширина спектра сигнала, используемого в 5G. Крысы подвергались воздействию ЭМП РЧ в течение 15 дней по 2 ч ежедневно.

Для проведения измерений ППЭ ЭМП использовался измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-42, напряженности постоянного магнитного поля (МП) – магнитометр МТМ-01, температуры и влажности воздуха – термогигрометр ТКА-ПКМ, уровней освещенности – люксметр ТКА. Приборы внесены в государственный реестр средств измерения и имели действующие свидетельства о поверке.

Экспериментальный стенд, установленный в полубезэховой (полуэкранированной) камере, покрытой поглотителем электромагнитных волн “ТОРА” – широкополосный радиопоглощающий материал пирамидального типа в виде панелей из эластичного пенополиуретана с углеродистым наполнителем, представлен на рисунке.

Клетки с животными устанавливали на деревянном стеллаже на расстоянии 0.82 м от антенны (в промежуточной зоне излучения) на высотах от 1.0 до 1.3 м. Животных размещали в вентилируемых клетках из органического стекла, состоящих из четырех ячеек для индивидуального продольного расположения животных, для исключения затеняющего и теплового влияния их друг на друга. Общая площадь размещения клеток составляла 0.12 м^2 . Управление стендом автоматизировано и было вынесено за пределы камеры. Измерение уровней ППЭ проводили ежедневно до начала эксперимента в девяти точках



Рис. 1. Стендовая база экспериментального исследования.

Fig. 1. The poster base of the experimental research.

зоны размещения животных. Неравномерность ППЭ ЭМП в зоне размещения животных не превышала 10%. Во время воздействия ЭМП на животных проводились дистанционные измерения уровней ЭМП, что позволяло контролировать стабильность интенсивности излучения. Эксперимент проводился в одно и то же время суток. Животные контрольной группы размещались также в полуэкранированной безэховой камере. Животные, подвергавшиеся воздействию ЭМП, и контрольной группы находились в идентичных условиях по параметрам освещенности, температуры и влажности воздуха, индукции геомагнитного поля. Коэффициент ослабления геомагнитного поля ($K_{\text{гмп}}$) в камере был равен 2.7.

Экспериментальные исследования поведенческих реакций крыс изучались в тесте “открытое поле” с использованием стандартной установки, представляющей собой круглую арену диаметром 97 см, с высотой стенок 42 см, разделенную на 12 периферических и 7 центральных квадратов. Диаметр отверстий, моделирующих норки, составил 2 см. Эксперимент проводился при освещенности в камере 170 лк. Тестирование на установке “открытое поле” осуществлялось до и после проведения эксперимента, в первой половине дня с 10:00 ч. Крысу в начале исследования помещали в центральный квадрат установки и вели наблюдение за ее поведением в течение 3 мин. После тестирования каждого животного арену установки тщательно

Таблица 1. Ориентировочно-исследовательская активность крыс первой опытной группы при воздействии немодулированного ЭМП частотой 4.9 ГГц**Table 1.** Approximate research activity of rats of the first experimental group when exposed to unmodulated EMF with a frequency of 4.9 GHz

Показатели	До воздействия				После воздействия			
	среднее значение	стандартная отклонения	медиана	процентили (25–75%)	среднее значение	стандартная отклонения	медиана	процентили (25–75%)
Пересечение периферических секторов	26.2	10.8	26.0	17.5–32.5	14.2	12.0	15.0	2.25–23.0
Пересечение центральных секторов	5.0	4.9	3.0	2.0–9.5	3.5	3.3	2.5	1.0–6.5
Вертикальные стойки в периферических секторах	11.6	4.3	11.0	8.5–15.0	2.3	1.7	2.0	1.0–3.75
Вертикальные стойки в центральных секторах	4.8	2.4	5.0	2.3–6.0	4.5	3.2	5.0	2.0–6.75
Груминг	13.5	4.6	13.5	9.0–16.0	3.4	3.5	2.5	0.25–4.75
Замирание	1.7	1.5	1.5	0–3.0	3.8	1.3	4.0	3.0–5.0
Обнюхивание краев	1.3	0.9	1.0	1.0–2.0	1.7	1.8	1.0	0.25–3.0
Заглядывание в норку	4.0	3.7	3.5	1.5–5.0	3.2	4.1	1.5	1.0–4.75
Уринация	0.9	0.5	1.0	1.0–1.0	1.1	0.2	1.0	1.0–1.0
Дефекация	1.7	1.1	2.0	0.25–2.8	1.6	0.9	2.0	1.0–2.0

обрабатывали салфеткой, смоченной перекисью водорода. Регистрировали следующие показатели: пересечение периферических секторов; пересечение центральных секторов; вертикальные стойки в периферических секторах; вертикальные стойки в центральных секторах; груминг; замирание; обнюхивание краев; заглядывание в норку; уринация; дефекация.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного продукта IBM SPSS Statistics v.22. Рассчитывались меры центральной тенденции (среднее арифметическое, медиана) и меры рассеивания (стандартное отклонение, 25-й и 75-й процентили). Нормальность распределения в выборках ($n = 12$) определяли с помощью критерия Шапиро–Уилка – W -критерий. В случае нормального распределения анализировались средние арифметические значения и стандартные отклонения, при распределении, отличающемся от нормального – медианы и межквартильный диапазон (25-й и 75-й процентили). Сравнение центральных тенденций парных выборок проводилось с помощью t -критерия для парных выборок (при нормальном распределении в обеих выборках) или критерия Уилкоксона (при распределении, отличающемся

от нормального, хотя бы в одной выборке). Сравнение центральных тенденций независимых выборок проводилось с помощью t -критерия для независимых выборок с поправкой на критерий Ливеня (при нормальном распределении в обеих выборках) или критерия Манна–Уитни – U -критерий (при распределении, отличающемся от нормального, хотя бы в одной выборке). В качестве критического уровня значимости нулевой гипотезы принята величина 0.05.

Таким образом, при постановке эксперимента были учтены общие и специальные требования, которые необходимо соблюдать при изучении биологического действия ЭМП. Проведение лабораторных экспериментальных исследований на животных было одобрено Локальным этическим комитетом ФБУН “СЗНЦ гигиены и общественного здоровья”, протокол заседания от 06.04.2022 г. № 2022/47.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1–3 представлены результаты изучения ориентировочно-исследовательской активности в тесте “открытое поле” в трех группах

Таблица 2. Ориентировочно-исследовательская активность крыс второй опытной группы при воздействии ЭМП частотой 4.9 ГГц, стандарт 5G

Table 2. Approximate research activity of rats of the second experimental group when exposed to EMF with a frequency of 4.9 GHz, standard 5G

Показатели	До воздействия				После воздействия			
	Среднее значение	стандартная отклонения	медиана	процентили (25–75%)	среднее значение	стандартная отклонения	медиана	процентили (25–75%)
Пересечение периферических секторов	24.9	11.5	24.5	17.3–33.8	10.2	7.4	10.5	2.25–16.8
Пересечение центральных секторов	3.2	3.1	2.0	1.0–5.8	2.8	1.5	2.5	2.0–4.0
Вертикальные стойки в периферических секторах	9.0	4.4	8.5	6.0–11.8	1.9	1.6	2.0	1.0–2.0
Вертикальные стойки в центральных секторах	4.9	3.8	4.5	1.3–8.5	3.2	2.4	3.0	1.0–5.8
Груминг	14.5	7.9	13.0	7.3–21.5	4.3	4.2	3.5	0.25–7.75
Замирание	2.4	2.2	2.0	1.0–3.0	4.4	1.5	5.0	3.3–5.8
Обнюхивание краев	1.8	1.0	2.0	1.0–2.0	1.9	2.6	1.5	0.0–2.8
Заглядывание в норку	2.8	2.3	2.0	1.3–4.8	2.7	2.7	2.0	1.0–5.0
Уринация	1.3	0.5	1.0	1.0–1.8	0.8	0.5	1.0	0.3–1.0
Дефекация	1.9	1.1	2.0	1.3–3.0	1.9	0.8	2.0	1.0–2.8

Таблица 3. Ориентировочно-исследовательская активность крыс контрольной группы

Table 3. Approximate research activity of rats in the control group

Показатели	До начала эксперимента				После окончания эксперимента			
	среднее значение	стандартная отклонения	медиана	процентили (25–75%)	среднее значение	стандартная отклонения	медиана	процентили (25–75%)
Пересечение периферических секторов	25.2	9.3	25.0	20.5–33.5	9.8	9.2	6.0	2.0–16.8
Пересечение центральных секторов	3.7	3.3	3.5	1.0–6.0	3.7	2.8	2.5	1.0–6.0
Вертикальные стойки в периферических секторах	8.8	3.7	8.5	5.3–12.0	4.1	5.6	1.0	0.3–7.0
Вертикальные стойки в центральных секторах	5.3	3.5	4.5	3.0–7.5	3.3	3.3	2.5	0.5–4.0
Груминг	10.0	4.9	8.5	6.3–14.0	2.4	2.3	2.5	0.0–4.0
Замирание	2.8	2.1	2.5	1.0–4.0	5.2	2.9	4.0	3.0–8.5
Обнюхивание краев	1.7	1.9	1.0	0.0–2.8	0.5	0.5	0.5	0.0–1.0
Заглядывание в норку	2.9	1.7	2.5	2.0–4.0	2.7	3.2	1.5	0.0–6.0
Уринация	1.3	0.6	1.0	1.0–2.0	1.0	0.0	1.0	1.0–1.0
Дефекация	2.3	0.8	2.0	2.0–3.0	1.8	0.6	2.0	1.0–2.0

животных до и после воздействия ЭМП ППЭ 250 мкВт/см².

Анализ результатов тестирования крыс на установке “открытое поле” показал, что в динамике эксперимента во всех трех группах были однонаправленные статистически значимые изменения таких показателей, как пересечение периферических секторов, вертикальные стойки в периферических секторах, груминг и замирание. Динамика двигательной активности характеризовалась значительным снижением количества пересечения периферических секторов опытными и контрольными крысами. В первой опытной группе отмечалось снижение показателя в 1.8 раза ($T = 2.890$, $p = 0.015$), во второй – в 2.4 раза ($T = 4.664$, $p = 0.001$), в контрольной – в 2.6 раза ($T = 4.945$, $p < 0.001$).

Количество вертикальных стоек в периферических секторах также существенно снизилось, по сравнению с исходными значениями (до начала эксперимента). По данному параметру после облучения установлено снижение количества стоек у опытных групп на 80% (1-я группа) и на 79% (2-я группа) от исходного уровня ($T = 6.260$, $p < 0.001$ и $W = -2.950$, $p = 0.001$ соответственно), в то время как у контрольной группы – на 53% от исходного значения ($W = -2.451$, $p = 0.014$).

По показателю груминг изменения в сторону снижения (на 70–76%) прослеживаются у всех трех групп на одинаковом уровне (первая опытная группа: $W = -3.066$, $p < 0.001$; вторая опытная группа: $T = 4.590$, $p = 0.001$; контрольная группа: $T = 5.091$, $p < 0.001$). Такой показатель как замирание, изменился в сторону увеличения (в 1.8–2.2 раза) также у всех трех групп (первая опытная группа: $W = -2.699$, $p = 0.004$; вторая опытная группа: $T = -2.449$, $p = 0.032$; контрольная группа: $T = -2.427$, $p = 0.034$).

У группы животных, подвергшихся воздействию модулированного электромагнитного излучения стандарта 5G, по сравнению с исходным значением, отмечалась тенденция к снижению такого показателя вегетативной деятельности, как уринация (снижение на 40%, $W = -1.857$, $p = 0.063$). В первой опытной группе и в контроле изменения по данному показателю были статистически не значимы ($p > 0.1$).

Близка к критическому уровню нулевой значимости, но не достигает его, значимость отличий между контрольной и первой группой после облучения по показателю обнюхивания краев ($U = 42.000$, $p = 0.085$), где наблюдается снижение

медианного значения данного показателя в 2 раза. По всем остальным критериям теста “открытое поле” вероятность ошибки при принятии нулевой гипотезы значительно превышает 10% ($p > 0.1$); иными словами, при попарном сравнении выборок до и после облучения не выявлено статистически значимых отличий средних арифметических или медиан между контрольной и опытными группами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящее пилотное исследование посвящено изучению влияния ЭМИ РЧ стандарта сотовой связи 5G на центральную нервную систему животных. В нашем исследовании моделировались частота излучения, модуляция и широкополосность радиочастотного сигнала. Известно, что биологические эффекты, связанные с воздействием излучения мобильной связи, зависят от интенсивности и ряда других характеристик ЭМП. В имеющихся зарубежных исследованиях по биоэффектам ЭМП указываются данные по несущим частотам, однако не приводятся сведения о характеристиках модуляции ЭМП 5G. Не учитывались и другие особенности функционирования технологии 5G [11, 12]. На ограниченность данных по влиянию 5G обращают внимание и другие авторы, отмечая, что имеющиеся исследования сосредоточены только на частотах ЭМП, используемых 5G, но не на конкретных характеристиках технологии мобильной связи пятого поколения [13, 14].

Российскими учеными выполнены многочисленные исследования влияния ЭМП РЧ на ЦНС животных. Так, выявлены нарушения когнитивных функций, нестабильность поведения в процессе обучения, отклонения со стороны краткосрочной и долгосрочной памяти при воздействии электромагнитных полей частот мобильной связи от 1 до 4 ГГц, при суммарной ППЭ в импульсе 300 мкВт/см², в течение 40 сеансов облучения явления не достигали уровня высокой клинической значимости [15]. В другом исследовании авторы сделали вывод о том, что длительное воздействие (4 мес., 2 ч в день) немодулированного ЭМИ (несущая частота 1800 МГц, зона сформированной волны, ППЭ 85 мкВт/см²), близкого по несущей частоте к параметрам мобильной связи, может негативно сказываться на функциональном состоянии ЦНС потомства облученных животных, выявлены нарушения условно-реф-

лекторной деятельности памяти у животных [16]. Подострые воздействия низкоинтенсивного электромагнитного поля частотой 2.4 ГГц (ППЭ 13 Вт/м² и удельная поглощенная мощность 0.22 Вт/кг) после 5-го дня облучения выявили нарастание суммарной ориентировочно-исследовательской активности животных за счет, как полагают авторы исследования, снижения функциональных возможностей когнитивных процессов и долговременной памяти животных [17]. В другом эксперименте животные находились в зоне сформированной волны источника электромагнитного излучения, при двух режимах СВЧ-облучения — 1–2 ГГц с шагом несущей частоты 0.1 ГГц (режим 1) и 2–4 ГГц с шагом 0.2 ГГц (режим 2). Длительность импульса составила 25 мс, суммарная пиковая мощность — до 1000 мкВт/см². Изучалось хроническое воздействие низкоинтенсивного ЭМИ диапазона 1–4 ГГц в сочетании с многочастотным импульсно-модулированным электромагнитным “шумом” на модели эмбриотоксических эффектов и постнатального развития облученного потомства. Интегральная оценка психофизиологического статуса подопытных крыс свидетельствовала о формировании в постнатальном периоде эмоциональной неустойчивости, снижении двигательной компоненты ориентировочно-исследовательской реакции и, как следствие — снижения когнитивных функций [18]. Изучалось воздействие немодулированного ЭМП частотой 1 ГГц (среднее значение ППЭ 19.0 мкВт/см²). Было установлено, что у животных, находившихся на большем удалении от антенн (5.8 и 15.0 м), при меньшем уровне интенсивности 19.0 и 2.8 мкВт/см² соответственно, в структуре поведения обнаруживались более выраженные изменения по сравнению с особями, располагавшимися на небольшом удалении (2.5 м) и при более высоком уровне ППЭ (85.0 мкВт/см²). Сделан вывод о том, что влияние модуляции ЭМП РЧ более выражено при более низких уровнях интенсивности [19].

Таким образом, по имеющимся в научной литературе данным, однозначным выводом является то, что поведенческие реакции животных нарушаются от воздействия электромагнитных полей. Наблюдаемые реакции не выявляют одинаковой направленности изменений функционального состояния ЦНС животных, а полученные показатели часто носят противоречивый характер. Вместе с тем, несомненна актуальность изучения биологического действия

радиочастотных сигналов ЭМП, характерных для сетевых технологий стандарта 5G, и, соответственно, изучение нарушения поведения животных под воздействием фактора.

Результаты выполненного пилотного исследования могут быть рассмотрены с нескольких позиций. В условиях кратковременного экспериментального исследования с заданными параметрами облучения и продолжительностью воздействия ЭМП не выявлено четких отличий в поведенческих реакциях животных при облучении ЭМП стандарта 5G и немодулированным ЭМП. Возможно, что большая продолжительность эксперимента позволила бы выявить особенности воздействия ЭМП с различными характеристиками радиосигналов. В динамике эксперимента зарегистрированы статистически значимые изменения поведения животных контрольной группы.

При проведении экспериментов по изучению биоэффектов ЭМП рекомендуется использование безэховых экранированных камер, что позволяет исключить влияние на животных внешних ЭМП, создать условия для равномерного воздействия ЭМП на животных, исключить создание помех в работе оборудования за пределами безэховой камеры. Вместе с тем, в безэховой камере животные в дополнение к радиочастотным излучениям подвергаются воздействию гипогеомагнитного поля. Мы склонны предполагать, что наблюдаемые существенные изменения поведения животных контрольной группы в динамике эксперимента могут быть обусловлены влиянием гипогеомагнитного поля. Чувствительность животных к гипогеомагнитному полю доказана экспериментальными исследованиями [20].

Данные, полученные при выполнении пилотного эксперимента, позволили обратить внимание на некоторые методические аспекты, которые следует учитывать при научном обосновании гигиенических нормативов ЭМП радиочастотного диапазона.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование не имело спонсорской поддержки (The study had no sponsorship).

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи (Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interests).

Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим стандартам. Все применимые международные, национальные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Проведение исследований разрешено Локально этическим комитетом ФБУН “СЗНЦ гигиены и общественного здоровья”, протокол № 2022/47.1 от 06.04.2022 г.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никитина Валентина Николаевна (Nikitina Valentina Nikolaevna) <https://orcid.org/0000-0001-8314-2044>, ФБУН “Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья” Роспотребнадзора, Санкт-Петербург, Россия (Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia), v.nikitina@s-znc.ru

Калинина Нина Ивановна (Kalinina Nina Ivanovna) <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176>, ФБУН “Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья” Роспотребнадзора, Санкт-Петербург, Россия (Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia), n.kalinina@s-znc.ru

Дубровская Екатерина Николаевна (Dubrovskaya Ekaterina Nikolaevna) <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X>, ФБУН “Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья” Роспотребнадзора, Санкт-Петербург, Россия (Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia), nikanorushka@mail.ru

Плеханов Владимир Павлович (Plekhanov Vladimir Pavlovich), <https://orcid.org/0000-0002-8141-7179>, ФБУН “Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья” Роспотребнадзора, Санкт-Петербург, Россия (Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia), v.plehanov@s-znc.ru

Ковшов Александр Александрович (Kovshov Aleksandr Aleksandrovich), <https://orcid.org/0000-0001-9453-8431>, ФБУН “Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья” Роспотребнадзора, Санкт-Петербург, Россия (Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia), a.kovshov@s-znc.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М., Сподобаев М.Ю. Электромагнитная безопасность: критические характеристики 5 G. *Электросвязь*. 2019; 4:53–58.

[Maslov M.Yu., Spodobayev Yu.M., Spodobayev M.Yu. Electromagnetic safety: critical features of 5G networks. *Electrosvyaz*. 2019; 4:53–58. (In Russ.)]

2. Mobile Kommunikation: Auf dem Weg zu 5G. *Faktenblatt_5G*. Available at: www.bakom.admin.ch. Accessed September 6, 2023.
3. Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г. и др. Особенности архитектуры сетей 5G. Вероятностное прогнозирование воздействия электромагнитных полей радиочастот на население. *Гигиена и санитария*. 2021;100(8):792–796. [Nikitina V.N., Kalinina N.I., Lyashko G.G., Dubrovskaya E.N., Plekhanov V.P. Special features of the architecture of 5G networks. Probabilistic forecasting of the impact of electromagnetic fields of radio frequencies on the population (literature review). *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(8):792–796. (In Russ.)] <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-792-796>
4. Чудова А.С., Алехина Н.А., Гладышева А.О. и др. Определение индивидуально-типологических особенностей поведения у крыс линии Wistar в тесте “открытое поле”. *Тенденции развития науки и образования*. 2021;100(8): 792–796. [Hudova A.S., Alekhina N.A., Gladysheva A.O., Koverzneva Yu.A., et al. Opredelenie individual'no-tipologicheskikh osobennostey povedeniya u kryis linii wistar v teste “otkrytoe pole”. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2021;100(8):792–796. (In Russ.)] <https://doi.org/10.18411/trnio-08-2022-38>.
5. Шубина О.С., Дуденкова Н.А., Божайкина С.Ю., Егорова М.В. Исследование двигательной, ориентировочно-исследовательской и психоэмоциональной активности и белых крыс. Междунар. науч.-практ. конф. “Инновационные технологии современной научной деятельности: стратегия, задачи, внедрение”. Пенза, 2020. С. 16–20. [Shubina O.S., Dudenkova N.A., Bozhajkina S.Yu., Egorova M.V. Issledovanie dvigatel'noj, orientirovochno-issledovatel'skoj i psihoemocional'noj aktivnosti i belyh kryis. Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. “Innovacionnye Tekhnologii sovremennoj nauchnoj deyatelnosti: Strategiya, Zadachi, Vnedrenie”. (Conference proceedings). Penza, 2020. P. 16–20. (In Russ.)]
6. Череповская Н.А., Жунусов Н.С., Миллер Э.С. Изучение поведенческой активности в тесте “открытое поле”. *Научный электронный журнал Меридиан*. 2020; 4(38):75–77. [Cherepovskaya N.A., Zhunusov N.S., Miller E.S. Izuchenie povedencheskoj aktivnosti v teste “otkrytoe pole”. *Nauchnyj elektronnyj zhurnal Meridian*. 2020; 4(38):75–77. (In Russ.)]
7. Лопаткина Н.В., Буянов Л.С., Сметанина М.В. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля с различным направлением вращения плоскости поляризации на поведение крыс. V Междунар. конф. “Человек и электромагнитные поля”. Саров, 2016. С. 303–304. [Lopatkina N.V., Buyanov L.S., Smetanina M.V. Vliyanie nizkointensivnogo elektromagnitnogo polya s razlichnym napravleniem vrashcheniya ploskosti polyarizatsii na povedeniye kryis. V Mezhdunar. konf. “Chelovek i elektromagnitnye polya”. Sarov, 2016. S. 303–304.]

- poliarizacii na povedenie kryss. V Mezhdunar. konf. "Chelovek i elektromagnitnye polya". (Conference proceedings). Sarov, 2016. P.303–304. (In Russ.)]
8. Павлова Л.Н., Дубовик Б.В., Жаворонков Л.П., Глушакова В.С. Экспериментальное обоснование возможных механизмов влияния электромагнитных полей на поведение животных. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2012;52(4):388–393. [Pavlova L.N., Dubrovik B.V., Zhavoronkov L.P., Glushakova V.S. Experimental justification of possible mechanisms of action of low intensity electromagnetic radiation on animals' behavior. *Radiation Biology. Radioecology*. 2012;52(4):388–393. (In Russ.)]
 9. Лопаткина Н.В., Баркин В.В., Лобкаева Е.П. Изменение моторной координации лабораторных животных при воздействии низкоинтенсивного электромагнитного поля радиочастотного диапазона. VIII Междунар. конгресс "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине". СПб., 2018. С. 133–134. [Lopatkina N.V., Barkin V.V., Lobkaeva E.P. Izmenenie motornoj koordinacii laboratornykh zhivotnykh pri vozdeystvii nizkointensivnogo elektromagnitnogo polya radiochastotnogo diapazona. VIII Mezhdunar. kongress "Slabye i sverhslabye polya i izlucheniya v biologii i medicine". (Conference proceedings). Sankt Peterburg, 2018. P. 133–134. (In Russ.)]
 10. Ширяева Н.В., Вайдо А.И., Павлова М.Б., Сурма С.В. и др. Влияние электромагнитных излучений на ориентировочно-исследовательскую активность и когнитивные функции крыс с контрастной возбудимостью нервной системы. *Интегративная физиология*. 2020;1(2):123–132. [Shiryayeva NV, Vaido AI, Pavlova MB, Surma SV et al. Electromagnetic radiation impact on the orienting-exploratory activity and cognitive functions of rat strains with contrasting excitability of the nervous system. *Integrative Physiology*. 2020;1(2):123–132. (In Russ.)] <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2020-1-2-123-132>.
 11. Moskowitz J.M. 5G Wireless Technology: Is 5G Harmful to Our Health? Доступно по: <https://www.saferemr.com/2017/09/5g-wireless-technology-is-5g-harmful-to.html>. Ссылка активна на 12.08.2023 г.
 12. Kostoff R.N., Heroux P., Aschner M. et al. Adverse health effects of 5G mobile networking technology under real-life conditions. *Toxicol. Lett*. 2020;1(323):35–40. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.01.020>.
 13. Di Ciaula A. Towards 5G communication systems: Are there health implications? *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2018;221(3):367–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.011>.
 14. Hinrikus H., Koppel T., Lass J., et al. Possible health effects on the human brain by various generations of mobile telecommunication: a review based estimation of 5G impact. *Int. J. Radiat. Biol*. 2022;98(7):1210–1221. <https://doi.org/10.1080/09553002.2022.2026516>.
 15. Павлова Л.Н., Колганова О.И., Измestьева О.С. и др. Влияние многократного и хронического воздействия электромагнитного излучения диапазона частот мобильной связи на поведение и когнитивные функции мозга крыс. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2019;59(6):619–626. [Pavlova L.N., Kolganova O.I., Izmest'yeva O.S. et al. Influence of multiple and chronic exposure to electromagnetic radiation of the mobile communication frequency range on the behavior and cognitive functions of the rat brain. *Radiation Biology. Radioecology*. 2019;59(6):619–626. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S0869803119060080>.
 16. Панфилова В.В., Колганова О.И., Чибисова О.Ф. Анализ результатов длительного воздействия ЭМИ на когнитивные функции потомства облученных крыс. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2021;61(2):174–179. [Panfilova V.V., Kolganova O.I., Chibisova O.F. Analysis of the results of the prolonged influence of emp on the cognitive functions of the progeny of irradiated rats. *Radiation Biology. Radioecology*. 2021;61(2):174–179. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31857/S0869803121010094>.
 17. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Белая О.В., Гребенюк А.Н. Влияние электромагнитного поля радиочастотного диапазона малой интенсивности на ориентировочно-исследовательскую активность крыс. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2019;59(3):300–304. [Rubtsova N.B., Perov S.Yu., Belaya O.V., Grebenyuk A.N. Effects of exposure to low intensity radiofrequency electromagnetic field on exploratory behavior of rats. *Radiation Biology. Radioecology*. 2019;59(3):300–304. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S0869803119010090>.
 18. Измestьева О.С., Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П. Экспериментальная оценка последствий хронического воздействия электромагнитного излучения диапазона мобильной связи в антенатальном периоде развития крыс. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2020;60(1):63–70. [Izmest'yeva O.S., Pavlova L.N., Zhavoronkov L.P. Experimental evaluation of the consequences of the chronic influence of electromagnetic radiation of the mobile communication range in antenatal rat development period. *Radiation Biology. Radioecology*. 2020;60(1):63–70. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.31857/S0869803120010099>.
 19. Лопаткина Н.В., Баркин В.В., Лобкаева Е.П. Оценка поведенческих реакций лабораторных животных, находящихся на различном удалении от излучателя низкоинтенсивного электромагнитного поля радиочастотного диапазона. 71-я Всерос. с междунар. участием школа-конф. молодых ученых "Биосистемы: организация, поведение, управление". Нижний Новгород, 2018. С. 138. [Lopatkina N.V., Barkin V.V., Lobkaeva E.P. Ocenka povedencheskih reakcij laboratornykh zhivotnykh, nahodyashchihsya na razlichnom udalenii ot izluchatelya nizkointensivnogo-ehlektromagnitnogo

- polya radiochastotnogo diapazona. 71-ya Vseross. s mezhdunar. uchastiem shkola-konf. molodyh uchenykh "Biosistemy: organizaciya, povedenie, upravlenie". (Conference proceedings). Nizhnij-Novgorod, 2018. P.138. (In Russ.)].
20. Чайка А.В., Шейхаметова Н.Н., Никитина Ю.О. и др. Влияние умеренного электромагнитного экранирования на исследовательское поведение и межвидовую агрессию у крыс. *Ученые записки*. 2017;3(69)-3: 183–191. [Chajka A.V., Sheikhametova N.N., Nikitina Yu.O. et al. Influence of moderate electromagnetic shielding on intermale rats aggression in resident-intruder test. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2017;3(69)-3: 183–191. (In Russ.)]

Experimental Study of Animal's Behavior under the Influence of an Electromagnetic Field of the 5G Mobile Communication Standard

V. N. Nikitina*, E. N. Dubrovskaya, N. I. Kalinina, V. P. Plekhanov, A. A. Kovshov

Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia

**E-mail: v.nikitina@s-znc.ru*

A pilot experimental study was carried out to assess the effect of an unmodulated and modulated electromagnetic field of the 5G mobile communication standard on the central nervous system of animals. Mature male Wistar rats were exposed to electromagnetic fields with a frequency of 4.9 GHz and an intensity of 250 MW/cm² for 15 days for 2 hours a day. The animals of the two irradiated groups and the control group were in identical conditions in a semi-anechoic shielded chamber. The effect of the electromagnetic field on the functional state of the central nervous system was assessed by a comprehensive analysis of behavior patterns in the "open field" test before and after irradiation. The study did not reveal clear differences in animal behavior when exposed to an unmodulated and modulated 5G electromagnetic field. Statistically significant changes in animal behavior were recorded in the dynamics of the experiment in two irradiated and control groups, which may be due to a change in the natural electromagnetic background in a semi-anechoic shielded chamber.

Keywords: electromagnetic fields, experimental studies, behavioral reactions of animals, biological effects