



Перов С.Ю., Походзей Л.В., Пальцев Ю.П., Лифанова Р.З.

## Оценка хронического воздействия электромагнитных полей систем сотовой связи 2–5G на организм животных

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Интенсивное внедрение современных беспроводных сетей связи и коммуникаций, создающих многочастотные модулированные электромагнитные поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ), привело к существенному изменению электромагнитного фона в среде обитания человека, что требует проведения научных исследований по оценке риска их влияния на организм.

**Цель исследования** — изучить особенности биологического действия мультичастотных электромагнитных полей радиочастотного диапазона, создаваемых системами сотовой связи стандартов GSM (2G), UMTS (3G), LTE (4G) и 5G NR IMT-2020 (5G), на отдельные показатели функционального состояния организма животных в условиях хронического эксперимента.

**Материалы и методы.** Крысы-самцы линии Wistar массой тела 180–200 г подвергались круглосуточному четырехмесячному облучению: группа 1 — воздействие ЭМП в соответствии со стандартами 2–5G (1,8; 2,1; 2,6; 3,6; 28; 37 ГГц) с суммарной плотностью потока энергии (ППЭ) 500 мкВт/см<sup>2</sup>, группа 2 — воздействие ЭМП стандарта 5G NR IMT-2020 (3,6; 28; 37 ГГц) с ППЭ 250 мкВт/см<sup>2</sup>. Группа контроля облучению не подвергалась. После каждого месяца экспозиции проводили декапитацию 12 животных каждой группы, осуществляли забор периферической крови для определения концентрации adrenocorticotrophic hormone (АКТГ) и кортикостерона, показателей перекисного окисления липидов, каталазы, изучения лейкоцитарной формулы.

**Результаты.** Выявлены волнообразные достоверные изменения содержания АКТГ и кортикостерона в сыворотке крови в отдельные периоды облучения, более выраженные в группе экспозиции 2–5G. У животных этой группы к концу 3-го и 4-го месяцев облучения обнаружено достоверное снижение концентраций карбониллов, диеновых конъюгатов и кетодиенов, в группе 5G в 1-й, 2-й, 3-й месяцы воздействия волнообразно изменялась только концентрация карбониллов, а после 1-го и 4-го месяцев снижалась концентрация каталазы, что свидетельствует о нарушении баланса про- и антиоксидантной систем. Выявленные достоверные изменения процентного соотношения форменных элементов белой крови, особенно лимфоцитов, нейтрофилов и эозинофилов, свидетельствуют о неустойчивости иммунного статуса организма облученных животных.

**Ограничения исследования** связаны с числом экспериментальных животных и режимов облучения.

**Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о чувствительности исследованных систем организма животных к воздействию мультичастотных ЭМП, более выраженной в группе экспозиции 2–5G, отличающейся от группы 5G большим набором используемых частот и в два раза большей интенсивностью, и позволяют говорить о развитии адаптационно-компенсаторных изменений, которые при продолжении облучения могут привести к срыву адаптации.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле; мультичастотная экспозиция 2–5G; хроническое облучение; гормоны; про- и антиоксидантная системы; лейкоцитарная формула

**Соблюдение этических стандартов.** Получено положительное экспертное заключение локального этического комитета ФГБНУ «НИИ МТ» (протокол № 3 от 19.04.2023 г.).

**Для цитирования:** Перов С.Ю., Походзей Л.В., Пальцев Ю.П., Лифанова Р.З. Оценка хронического воздействия электромагнитных полей систем сотовой связи 2–5G на организм животных. Гигиена и санитария. 2025; 104(3): 258–264. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-3-258-264> <https://elibrary.ru/vgtvce>

**Для корреспонденции:** Походзей Лариса Васильевна, e-mail: Lapokhodzey@yandex.ru

**Участие авторов:** Перов С.Ю. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Походзей Л.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста, редактирование; Пальцев Ю.П. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста, редактирование; Лифанова Р.З. — сбор и обработка данных, написание текста. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи и ответственность за целостность всех её частей.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 30.07.2024 / Поступила после доработки: 18.09.2024 / Принята к печати: 03.12.2024 / Опубликовано: 31.03.2025

Sergey Yu. Perov, Larisa V. Pokhodzey, Yuriy P. Paltsev, Rano Z. Lifanova

## 2–5 G mobile communication electromagnetic field chronic animal exposure assessment

Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The intensive implementation of modern wireless communications networks using multi-frequency modulated electromagnetic fields radiofrequency (EMF RF) has led to a significant change in the electromagnetic background, which requires scientific research to assess the human health risk.

**The aim of the study.** To study the features of the biological effects chronic exposure to multi-frequency EMF RF from mobile communication systems of GSM (2G), UMTS (3G), LTE (4G) and 5G NR IMT-2020 (5G) standards on some state of indices in animals.

**Materials and methods.** Male Wistar rats of 180–200 g weight were subjected to round-the-clock 4-month exposure: group 1 — EMF exposure according to 2–5G standards (1.8; 2.1; 2.6; 3.6; 28; 37 GHz) with a total power density (PD) of 500 μW/cm<sup>2</sup>, group 2 — EMF exposure according to 5G NR IMT-2020 standard (3.6; 28; 37 GHz) with a PD 250 μW/cm<sup>2</sup> with sham-exposure (parallel control). After every exposure month 12 animals from each group were decapitated and peripheral blood was collected for evaluation of adrenocorticotrophic hormone (ACTH), corticosterone, lipid peroxidation, catalase, and leukogram.

**Results.** Wave-like significant changes in ACTH and corticosterone blood concentrations were revealed in exposure periods, more pronounced in the 2–5G exposure group. In this group, by the end of the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> months, carbonyls, diene conjugates and ketodienes concentrations had significant decrease; in the 5G group, in the 1<sup>st</sup>–3<sup>rd</sup> months of exposure, only the concentration of carbonyls changed, and in the 1<sup>st</sup> and 4<sup>th</sup> months the concentration of catalase decreased, which indicates an

imbalance of pro- and antioxidant systems. The identified significant formed elements of white blood, especially lymphocytes, neutrophils, and eosinophils, indicate to the instability of the immune status of exposure animals.

**Limitations of the study** are related to the number of experimental animals and exposure modes.

**Conclusion.** The data obtained indicate to the sensitivity of animals for multi-frequency EMF biological effects, more pronounced in the 2–5G exposure group, which differs from the 5G group in a larger set of frequencies used and 2 times higher level exposure. These research results indicate to adaptive-compensatory changes that with continued exposure can lead to failure the of adaptation.

**Keywords:** electromagnetic field; multi-frequency exposure 2–5G; chronic exposure; hormones; pro- and antioxidant systems; leukogram

**Compliance with ethical standards.** A positive expert opinion was received from the local ethics committee of the Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation (protocol No. 3 dated of 19.04.2023).

**For citation:** Perov S.Yu., Pokhodzey L.V., Paltsev Yu.P., Lifanova R.Z. 2–5 G mobile communication electromagnetic field chronic animal exposure assessment. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(3): 258–264. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-3-258-264> <https://elibrary.ru/vgtvcv> (In Russ.)

**For correspondence:** Larisa V. Pokhodzey, e-mail: pokhodzey@irioh.ru

**Contribution:** Perov S.Yu. — study concept and design, text writing, editing; Pokhodzey L.V. — study concept and design, data collection and processing, text writing, editing; Paltsev Yu.P. — study concept and design, data collection and processing, text writing, editing. Lifanova R.Z. — data collection and processing, text writing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: July 13, 2024 / Revised: September 18, 2024 / Accepted: December 3, 2024 / Published: March 31, 2025

## Введение

В настоящее время одними из основных источников электромагнитных полей радиочастотного диапазона в окружающей и производственной среде являются современные системы беспроводной связи и коммуникаций, использующие стандарты GSM (2G), UMTS (3G), LTE (4G) и 5G NR IMT-2020 (5G), различающиеся частотными диапазонами, режимами генерации и модуляции, интенсивностно-временными и частотными параметрами, характером распространения [1–3]. В перспективе к 2030 г. развитие беспроводных технологий приведёт к увеличению числа пользователей мобильной телефонной связью и Интернетом, до 6,3 млрд (в 2023 г. — 5,6 млрд). Изменится структура распределения сетей различных стандартов: основное место займут сети 5G (> 56%), которые будут активно использоваться в различных отраслях экономики, сфере услуг и производстве [4].

В последние годы появилось много публикаций, посвящённых изучению возможного неблагоприятного влияния на организм человека современной сложной электромагнитной обстановки, сформировавшейся при эксплуатации наземных и спутниковых базовых станций, технологий Wi-Fi и Wimax, абонентских терминалов мобильной связи. ЭМП РЧ рассматриваются как фактор, вызывающий стрессорные реакции, в развитии которых ведущую роль играют изменения в системе «гипоталамус — гипофиз — кора надпочечников» [5–10]. Появляются публикации о развитии окислительного стресса под воздействием ЭМП РЧ как одного из механизмов, приводящих к повреждению клеточных мембран, ДНК, меняющих конформацию белков [11, 12].

В экспериментах на животных, имитирующих реальные условия экспозиции мультиспектрными ЭМП современных систем связи и коммуникаций, представляется возможность изучить реакции организма в зависимости от интенсивностно-временных и частотных параметров используемых стандартов сотовой связи и их сочетания. Однако публикаций в этой области крайне мало. В основном в литературе приведены результаты изучения острых и подострых воздействий ЭМП РЧ, где особое внимание уделяется изменениям состояния центральной нервной, нейроэндокринной и гематологической систем, перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты [13–18]. Учитывая, что в реальных условиях жизни человек подвергается систематическому, длительному облучению ЭМП РЧ, представляют особый интерес экспериментальные исследования их влияния на эти системы в условиях хронического воздействия.

**Цель исследования** — изучить особенности биологического действия мультиспектрных электромагнитных полей радиочастотного диапазона, создаваемых системами сотовой связи стандартов GSM (2G), UMTS (3G), LTE (4G) и 5G NR

IMT-2020 (5G), на отдельные показатели функционального состояния организма животных в условиях хронического эксперимента.

## Материалы и методы

В лабораторных условиях на специальном экспериментальном стенде моделировались два режима облучения, имитирующие работу базовых станций сотовой связи:

1) сочетанное воздействие ЭМП действующих стандартов с центральными частотами GSM — 1,8 ГГц, UMTS — 2,1 ГГц, LTE — 2,6 ГГц и перспективного 5G NR IMT-2020 — 3,6; 28; 37 ГГц (2–5G) с суммарной плотностью потока энергии (ППЭ) 500 мкВт/см<sup>2</sup> (2G — 10%, 3G — 10%, 4G — 30%, 5G — 50%);

2) воздействие ЭМП только перспективного стандарта 5G NR IMT-2020 (3,6; 28; 37 ГГц) (5G) с суммарной ППЭ 250 мкВт/см<sup>2</sup>.

Объектами исследования являлись 144 крысы линии Wistar с начальной массой тела 180–200 г, из которых были сформированы три группы (по 48 особей в каждой): две опытные, подвергавшиеся круглосуточному четырёхмесячному воздействию ЭМП РЧ указанных выше режимов, и контрольная, находившаяся в отдельном помещении с идентичными условиями содержания (микроклимат, световой режим, пищевой рацион), но без облучения ЭМП (группа мнимого воздействия).

Радиопрозрачные клетки группового содержания с опытными животными в процессе облучения размещались на деревянных стеллажах на расстоянии 3 м от излучающих антенн.

Контроль величин ППЭ (Е) в зоне облучения животных проводился один раз в неделю с использованием измерителей Narda NBM-550 и Narda SRM-3006 (Narda AG, Германия).

Все манипуляции с животными и заборы биологических проб выполнялись в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов о порядке экспериментальной работы и гуманном отношении к животным, что подтверждено экспертным заключением локального этического комитета ФГБНУ «НИИ МТ» (выписка из протокола № 3 заседания Локального этического комитета ФГБНУ «НИИ МТ» от 19 апреля 2023 г.).

Для оценки динамики изменения функционального состояния организма животных после каждого месяца истинных и мнимых воздействий осуществлялась декапитация 12 животных каждой группы с забором проб периферической крови. Исследовали влияние хронического облучения ЭМП РЧ на состояние отдельных показателей нейроэндокринной и гематологической систем, перекисного окисления и антиоксидантной защиты. Состояние нейроэндокринной системы оценивалось по содержанию в сыворотке

Таблица 1 / Table 1

Динамика изменения показателей состояния нейроэндокринной системы крыс в течение четырёх месяцев воздействия ЭМП РЧ,  $M \pm m$   
Trend in changes in indices of the neuroendocrine system state in rats during 4 months EMF RF exposure,  $M \pm m$

| Срок регистрации, мес<br>Registration deadlines, month | Показатель<br>Indicator                       | Группа экспозиции / Exposure group |                  | Мнимое облучение<br>Sham exposure |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|------------------|-----------------------------------|
|                                                        |                                               | 2–5G                               | 5G               |                                   |
| 1                                                      | Кортикостерон, нг/мл<br>Corticosterone, ng/ml | 271.75 ± 30.71                     | 353.18 ± 35.11** | 215.27 ± 16.89                    |
|                                                        | АКТГ, пг/мл   АСТН, pg/ml                     | 1156.71 ± 192.20                   | 815.33 ± 144.63  | 943.43 ± 129.94                   |
| 2                                                      | Кортикостерон, нг/мл<br>Corticosterone, ng/ml | 459.67 ± 35.00**                   | 358.91 ± 25.93** | 248.19 ± 17.92                    |
|                                                        | АКТГ, пг/мл   АСТН, pg/ml                     | 996.48 ± 120.09                    | 1064.33 ± 194.44 | 1366.32 ± 264.29                  |
| 3                                                      | Кортикостерон, нг/мл<br>Corticosterone, ng/ml | 283.96 ± 32.27**                   | 384.58 ± 22.87   | 484.61 ± 46.59                    |
|                                                        | АКТГ, пг/мл   АСТН, pg/ml                     | 896.32 ± 233.46*                   | 2093.81 ± 304.85 | 1718.11 ± 317.65                  |
| 4                                                      | Кортикостерон, нг/мл<br>Corticosterone, ng/ml | 401.28 ± 71.45                     | 338.34 ± 44.81   | 336.70 ± 22.33                    |
|                                                        | АКТГ, пг/мл   АСТН, pg/ml                     | 1893.13 ± 222.05                   | 1164.11 ± 242.54 | 1305.21 ± 208.58                  |

Примечание. Здесь и в табл. 2: достоверность различий с контролем: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ .  
Note: Here and in Table 2: Significant difference with sham exposure: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .

крови адренокортикотропного гормона гипофиза (АКТГ) и кортикостерона иммуноферментным методом с помощью анализатора ELISA DSX (Dy nex Technologies, США).

Концентрации продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) – диеновых конъюгатов (ДК), кетодиенов (КД) и карбонилов (КБ) – определяли спектрофлуориметрическим методом по коэффициентам экстинкции ( $\epsilon M$ ,  $мл^{-1} \cdot см^{-1}$ ) в максимумах поглощения против холостой пробы: ДК при 233 нм ( $\epsilon M = 23\ 200$ ), КД при 268 нм ( $\epsilon M = 21\ 200$ ) и КБ при 203–205 нм ( $\epsilon M = 13\ 500$ ) в гексановом экстракте на спектрофотометре Cary-50 (Agilent Technologies Inc., США) [19].

Для определения активности каталазы использовали метод, основанный на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс [20]. Экстинкцию определяли спектрофлуориметрическим методом при 410 нм по отношению к контрольному образцу.

Изучение лейкоцитарного состава крови животных осуществлялось путём оптической микроскопии мазков, окрашенных по Паппенгейму. На основании дифференциального подсчёта 100 лейкоцитов под иммерсионной системой микроскопа Levenhuk MED 10 (Levenhuk, Inc., США) (объектив  $\times 100$ ) с помощью четырёхпольного метода (Шиллинга) [21] выводили лейкоформулу (процентное содержание каждого вида лейкоцитов).

Статистическая обработка данных проводилась в среде RStudio 4.1.2 [22] с использованием теста Шапиро – Уилка на нормальность распределения в группах,  $t$ -критерия Стьюдента для попарного сравнения групп в различные сроки наблюдения.

Результаты

Анализ полученных результатов изучения состояния нейроэндокринной системы позволил выявить в группе экспозиции 2–5G (ППЭ = 500 мкВт/см<sup>2</sup>) после двух месяцев облучения статистически значимое повышение уровня содержания кортикостерона в сыворотке крови крыс в 1,9 раза ( $p < 0,01$ ) и снижение этого показателя относительно контроля в 1,7 раза ( $p < 0,01$ ) после трёх месяцев (табл. 1).

У животных группы экспозиции 5G (ППЭ = 250 мкВт/см<sup>2</sup>) на протяжении периода облучения уровень кортикостерона значимо не изменялся, тогда как при сравнении с контролем было выявлено достоверное повышение кортикостерона в сыворотке крови в 1,6 и 1,5 раза ( $p < 0,01$ ) после 1-го и 2-го месяцев воздействия, сменившееся тенденцией к снижению после 3-го месяца.

Что касается содержания АКТГ в сыворотке крови, можно отметить некоторые особенности изменения данного показателя в опытных группах в динамике облучения. Так, в группе экспозиции 2–5G первоначальное незначительное повышение концентрации АКТГ относительно контроля после 1-го месяца облучения сменилось к концу 2-го месяца тенденцией к снижению, достигшему порога статистической значимости после 3-го месяца ( $p < 0,05$ ) с последующим повторным увеличением после 4-го месяца.

В группе экспозиции 5G через три месяца облучения концентрация АКТГ увеличилась по сравнению воздействием в течение одного месяца в 2,6 раза ( $p < 0,01$ ), однако при сравнении с контролем изменения этого показателя в течение всего периода облучения не были статистически достоверны.

Изучение перекисного окисления липидов (ПОЛ) показало, что четырёхмесячное круглосуточное воздействие ЭМП стандартов 2–5G и 5G оказывало влияние на содержание продуктов ПОЛ в сыворотке крови крыс опытных групп (табл. 2). При этом в группе экспозиции 2–5G после 1-го и 2-го месяцев облучения содержание карбонильных соединений не отличалось от контроля, статистически значимое снижение данного показателя было выявлено через 3 и 4 мес воздействия ( $p < 0,01$ ).

Несколько иная динамика изменений наблюдалась в группе экспозиции 5G: через один месяц в сыворотке крови концентрация карбонильных соединений достоверно снижалась в 1,3 раза ( $p < 0,01$ ), после 2-го месяца достоверно повысилась в 1,3 раза ( $p < 0,01$ ), а через три месяца облучения снизилась 1,2 раза ( $p < 0,05$ ).

Изучение изменения содержания в сыворотке крови диеновых конъюгатов (ДК) и кетодиенов показало, что в группе экспозиции 2–5G через три месяца облучения статистически значимо снижалось содержание диеновых конъюгатов (ДК) и кетодиенов в 1,5 раза ( $p < 0,05$ ), а после 4-го месяца экспозиции содержание диеновых конъюгатов в биоматериале крыс данной группы достоверно повысилось ( $p < 0,05$ ).

В группе экспозиции 5G содержание диеновых конъюгатов на протяжении всего периода облучения не отличалось от контроля, тогда как концентрация кетодиенов достоверно снижалась ( $p < 0,05$ ) только после 1-го месяца, что можно рассматривать как кратковременную реакцию на воздействие ЭМП. Данное предположение подтверждается отсутствием изменений этого показателя при дальнейшем облучении.

Таблица 2 / Table 2

**Динамика изменений показателей перекисного окисления липидов и каталазы у животных в течение четырёх месяцев воздействия ЭМП РЧ,  $M \pm m$** Trend in changes in parameters of lipid peroxidation and catalase in animals during 4 months EMF RF exposure,  $M \pm m$ 

| Срок регистрации, мес<br>Registration deadlines, month | Показатель<br>Indicator                 | Группа экспозиции / Exposure group |                    | Мнимое облучение<br>Sham exposure |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
|                                                        |                                         | 2–5G                               | 5G                 |                                   |
| 1                                                      | Карбонилы, пмоль/л   Carbonyls, pmol/L  | 1152.37 ± 114.92                   | 902.05 ± 39.96**   | 1165.08 ± 19.70                   |
|                                                        | ДК, пмоль/л   DC, pmol/L                | 533.11 ± 39.00                     | 623.81 ± 22.39     | 632.37 ± 29.32                    |
|                                                        | Кетодиены, пмоль/л   Ketodienes, pmol/L | 210.73 ± 15.73                     | 215.81 ± 8.48*     | 251.26 ± 13.39                    |
|                                                        | Каталаза, ммоль/л   Catalase, mmol/L    | 8.97 ± 0.62                        | 7.18 ± 0.44*       | 8.65 ± 0.29                       |
| 2                                                      | Карбонилы, пмоль/л   Carbonyls, pmol/L  | 1798.44 ± 64.91                    | 2125.83 ± 110.99** | 1650.71 ± 28.23                   |
|                                                        | ДК, пмоль/л   DC, pmol/L                | 602.37 ± 67.28                     | 634.69 ± 64.83     | 595.52 ± 56.60                    |
|                                                        | Кетодиены, пмоль/л   Ketodienes, pmol/L | 225.43 ± 27.22                     | 229.98 ± 31.35     | 197.50 ± 25.81                    |
|                                                        | Каталаза, ммоль/л   Catalase, mmol/L    | 7.75 ± 0.23                        | 7.91 ± 0.58        | 8.08 ± 0.51                       |
| 3                                                      | Карбонилы, пмоль/л   Carbonyls, pmol/L  | 913.63 ± 46.75**                   | 1253.09 ± 27.68*   | 1496.49 ± 85.75                   |
|                                                        | ДК, пмоль/л   DC, pmol/L                | 387.87 ± 48.61*                    | 523.90 ± 33.41     | 567.23 ± 58.98                    |
|                                                        | Кетодиены, пмоль/л   Ketodienes, pmol/L | 145.74 ± 17.20*                    | 188.46 ± 10.34     | 214.08 ± 19.67                    |
|                                                        | Каталаза, ммоль/л   Catalase, mmol/L    | 8.36 ± 0.47                        | 8.90 ± 0.57        | 9.06 ± 0.49                       |
| 4                                                      | Карбонилы, пмоль/л   Carbonyls, pmol/L  | 1431.08 ± 7.49**                   | 1473.80 ± 49.33    | 1518.34 ± 22.11                   |
|                                                        | ДК, пмоль/л   DC, pmol/L                | 578.02 ± 18.96*                    | 494.37 ± 44.29     | 503.69 ± 29.77                    |
|                                                        | Кетодиены, пмоль/л   Ketodienes, pmol/L | 206.77 ± 6.67                      | 170.99 ± 15.57     | 175.61 ± 14.24                    |
|                                                        | Каталаза, ммоль/л   Catalase, mmol/L    | 7.58 ± 0.52                        | 5.99 ± 0.42**      | 8.18 ± 0.44                       |

В группе животных при экспозиции ЭМП стандарта 2–5G на протяжении всего эксперимента не отмечено статистически значимых различий в содержании каталазы относительно контрольной группы. В сыворотке крови крыс, облучённых ЭМП стандарта 5G, было выявлено достоверное снижение содержания каталазы через один и четыре месяца воздействия ( $p < 0,05$  и  $p < 0,01$  соответственно).

Сравнительный анализ изменения морфологического состава белой крови животных в динамике четырёхмесячного круглосуточного воздействия ЭМП стандартов 2–5G и 5G относительно контроля (группа мнимой экспозиции) позволил оценить состояние общей резистентности, направленность иммунологических сдвигов в организме и показал следующее.

Из всех исследованных показателей лейкоцитарной формулы после месяца экспозиции у животных в группе 2–5G было выявлено статистически значимое повышение процентного содержания эозинофилов по сравнению с контролем в четыре раза ( $2,67 \pm 0,7$  и  $0,67 \pm 0,19\%$  соответственно;  $p < 0,05$ ) и снижение процентного содержания моноцитов в 2,2 раза ( $1,17 \pm 0,24$  и  $2,58 \pm 0,36\%$ ;  $p < 0,01$ ). После трёх месяцев экспозиции процентное содержание сегментоядерных нейтрофилов в крови животных этой группы достоверно снизилось в 1,9 раза ( $15,33 \pm 1,05$  и  $29,55 \pm 2,15\%$ ;  $p < 0,01$ ) при повышении процентного содержания лимфоцитов в 1,3 раза ( $81,50 \pm 1,19$  и  $64,64 \pm 2,47\%$ ;  $p < 0,01$ ). Через четыре месяца облучения было выявлено достоверное повышение только процентного содержания эозинофилов в крови крыс данной группы ( $p < 0,01$ ).

В группе экспозиции 5G через один месяц воздействия также достоверно повышалось процентное содержание эозинофилов в 5,6 раза ( $3,75 \pm 1,29$  и  $0,67 \pm 0,19\%$ ;  $p < 0,05$ ), при этом после 3-го месяца облучения данный показатель статистически значимо снижался в 9,1 раза ( $0,17 \pm 0,11$  и  $1,55 \pm 0,37\%$ ;  $p < 0,01$ ) на фоне повышения процентного содержания лимфоцитов ( $73,67 \pm 2,92$  и  $64,64 \pm 2,47\%$ ;  $p < 0,05$ ). После 4-го месяца экспозиции повторно наблюдалось достоверное повышение процентного содержания эозинофилов по сравнению с контрольной группой, но менее выраженное по сравнению с группой 2–5G ( $p < 0,05$ ).

После 4-го месяца воздействия ЭМП в обеих опытных группах была отмечена выраженная полихроматофилия ( $0,58 \pm 0,15$  и  $0,67 \pm 0,14$  при отсутствии в контроле;  $p < 0,01$ ).

## Обсуждение

Полученные данные показали, что нейроэндокринная система чувствительна к воздействию мультисистотных ЭМП РЧ, создаваемых системами сотовой связи 2–5-го поколений, что проявилось в волнообразном изменении содержания АКТГ и кортикостерона в сыворотке крови в период облучения, более выраженном в группе экспозиции 2–5G с ППЭ в 2 раза большей, чем в группе 5G (500 и 250 мкВт/см<sup>2</sup> соответственно). Выявленные изменения в гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системе свидетельствуют о том, что ЭМП РЧ являются стрессорным фактором, что совпадает с данными проведённых ранее исследований [23–25].

Изучение перекисного окисления липидов, отражающего состояние прооксидантной системы, позволило выявить различия в динамике изменений отдельных показателей у животных, подвергавшихся воздействию ЭМП стандартов 2–5G и 5G в динамике хронического облучения. В группе экспозиции 2–5G достоверные по сравнению с контролем изменения были выявлены к концу 3-го и 4-го месяцев облучения и проявлялись в снижении концентрации карбониллов, диеновых конъюгатов и кетодиенов. В группе 5G волнообразно изменялась только концентрация карбониллов в 1–3-й месяцы воздействия, а после 1-го и 4-го месяцев было выявлено уменьшение концентрации каталазы, что свидетельствовало об ослаблении антиоксидантной защиты.

Изменения, выявленные к окончанию сроков хронических экспозиций ЭМП при режимах генерации 2–5G и 5G, указывают на возможное нарушение равновесия концентраций прооксидантных и антиоксидантных компонентов, являющиеся следствием активации процессов окисления. Полученные данные позволяют предположить, что ЭМП рассматриваемых характеристик могут вызывать в организме изменения, стимулирующие развитие адаптационных механизмов.

Сравнение данных о состоянии ПОЛ и антиоксидантной защиты, полученных в настоящем исследовании в группе экспозиции 2–5G (ППЭ = 500 мкВт/см<sup>2</sup>), с результатами ранее выполненных исследований (группа экспозиции 2–4G, ППЭ = 250 мкВт/см<sup>2</sup>) [26, 27] показало некоторые различия в динамике изменения оцениваемых показателей, которые, однако, не носят принципиального характера. Наличие экспозиции 5G в группе 2–5G не внесло существенных изменений в реакцию про- и антиоксидантной системы организма животных.

Исследования биомаркеров окислительного стресса и воспаления в мозге крыс Fischer-344 при облучении их в течение 60 дней ЭМП с частотами стандартов мобильной связи 900; 1800 и 2450 МГц при значениях удельной поглощённой мощности (УПМ) для всего тела 0,59; 0,58 и 0,66 мВт/кг соответственно (по 2 ч в день, 5 дней в неделю) позволили выявить увеличение их концентраций, коррелирующее с возрастанием частоты, в то время как антиоксидантная активность (концентрация супероксиддисмутазы) снижалась. Наблюдаемое значительное повышение уровня каталазы могло быть связано с накоплением перекиси водорода в мозге. Длительное воздействие ЭМП РЧ низкой интенсивности на частотах 900; 1800 и 2450 МГц приводило к развитию окислительного стресса и воспалительного дисбаланса, что вызывало одно- и двучпочечные разрывы цепей ДНК в клетках головного мозга (гиппокампе) [28]. Повреждение ДНК под воздействием ЭМП РЧ обнаружено и в лимфоцитах человека [29].

Воздействие ЭМП частотой 900 МГц в течение 90 дней (1–4 ч в день, 5 дней в неделю при УПМ 0,231 Вт/кг) увеличивало образование активных форм кислорода (АФК) в мозге крыс Wistar, снижало содержание антиоксидантных маркеров (супероксиддисмутазы и каталазы) и индуцировало образование воспалительных цитокинов. Кроме того, отмечалась дегенерация нейрональных клеток и другие морфологические изменения в головном мозге [30]. Усиление окислительного стресса (увеличение производства АФК и NO и снижение антиоксидантных маркеров) у крыс при воздействии ЭМП (2450 МГц с ППЭ = 0,98 мВт/см<sup>2</sup> и 915 МГц с ППЭ = 0,79 мВт/см<sup>2</sup>) выявлено и в работе [31]. В ряде публикаций отмечено, что образование АФК и постоянный окислительный стресс могли быть связаны с развитием нейродегенеративных патологий, канцерогенезом и старением [29, 32].

Изучение динамики изменения показателей лейкоцитарной формулы у крыс опытных групп позволило выявить достоверные изменения процентного соотношения форменных элементов белой крови, особенно лимфоцитов, нейтрофилов и эозинофилов, что типично для стресса и свидетельствует о неустойчивости иммунного статуса организма облучённых животных. Выявленная в обеих опытных группах к концу хронического четырёхмесячного воздействия ЭМП РЧ выраженная полихроматофилия может быть расценена как компенсаторная реакция кровеносной системы в виде выхода незрелых клеток крови для поддержания гомеостаза в ответ на воздействие фактора. При этом, сравнивая общее количество изменённых по сравнению с контролем показате-

телей лейкоцитарной формулы в опытных группах, следует отметить, что реакция на воздействие ЭМП в большинстве случаев была более выраженной в группе экспозиции 2–5G (на частотах 1,8; 2,1; 2,6; 3,5; 26; 37 ГГц) с суммарным ППЭ = 500 мкВт/см<sup>2</sup> (в два раза большим, чем в группе 5G), что, по-видимому, служило отражением некоторых отклонений в состоянии клеточного иммунитета вследствие хронического воздействия ЭМП заданных параметров.

В ранее опубликованном исследовании [33] были представлены результаты изучения влияния на гематологические показатели и клеточный состав костного мозга многочастотных электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями подвижной сотовой связи с аналогичными частотными и интенсивностными параметрами (3,5; 26; 37 ГГц при ППЭ 250 мкВт/см<sup>2</sup> и 1,8; 2,1; 2,6; 3,5; 26; 37 ГГц с ППЭ 500 мкВт/см<sup>2</sup>). Установлено, что через 30 дней после завершения четырёхмесячного воздействия исследуемые показатели оставались в пределах физиологической нормы за исключением статистически значимого повышения в миелограмме костного мозга облучённых крыс относительно контроля процентного содержания палочкоядерных нейтрофилов и лимфоцитов, снижения количества окислительных эритробластов и моноцитов. Обнаруженные изменения могут свидетельствовать о потенциальных отдалённых эффектах хронического воздействия многочастотных электромагнитных полей базовых станций сотовой связи на систему гемопоэза.

## Заключение

Проведённые экспериментальные исследования кругло-суточного четырёхмесячного воздействия на лабораторных животных двух режимов облучения, различающихся используемыми стандартами и интенсивностью (группа 2–5G с ППЭ = 500 мкВт/см<sup>2</sup> и 5G ППЭ = 250 мкВт/см<sup>2</sup>), показали высокую чувствительность отдельных показателей состояния нейроэндокринной системы (концентрации АКГГ и кортикостерона), ПОЛ и антиоксидантной защиты, морфологического состава крови.

Изменения в состоянии системы «гипоталамус – гипофиз – кора надпочечников» позволяют рассматривать ЭМП заданных параметров как стрессорный фактор, что подтверждается и обнаруженными сдвигами в лейкоцитарной формуле.

Нарушение баланса прооксидантной и антиоксидантной систем свидетельствует о возможности развития окислительного стресса, что может в дальнейшем привести к увеличению риска возникновения различных патологий. Выявленные изменения носили волнообразный характер и были более выражены в группе экспозиции 2–5G с большим набором частот и с ППЭ в два раза большей, чем в группе 5G.

Полученные в ходе эксперимента новые данные могут быть использованы наряду с другими показателями для уточнения порога вредного действия мультичастотных ЭМП от систем связи и коммуникаций стандартов GSM, UMTS, LTE и 5G NR IMT-2020.

## Литература

(п.п. 1, 4–7, 9–11, 13–18, 20, 22, 24, 25, 28–32 см. References)

2. Походзей Л.В., Пальцев Ю.П. Критический анализ отечественных и зарубежных гигиенических регламентов ЭМП, создаваемых современными системами беспроводной связи и коммуникаций. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(6): 397–405. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-6-397-405> <https://elibrary.ru/vxfsvxv>
3. Перов С.Ю., Белая О.В. Электромагнитная обстановка, создаваемая базовыми станциями сотовой связи в пилотной зоне 5G. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(6): 538–43. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-6-538-543> <https://elibrary.ru/xutaxy>
8. Казаринов К.Д., Шелконогов В.А., Чеканов А.В. Изучение чувствительности клеток крови человека к микроволновому излучению. *Журнал радиоэлектроники*. 2019; (8): 8. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.8.10> <https://elibrary.ru/fhbyxm>
12. Кузьмина Л.П., Измерова Н.И., Хотулева А.Г., Цидильковская Э.С., Кислякова А.А., Мили Х. Влияние физических производственных факторов на иммунную систему. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(11): 694–701. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-694-701> <https://elibrary.ru/hansax>

## Original article

19. Амиров Д.Р., Тамимдаров Б.Ф., Шагеева А.Р. *Клиническая гематология животных*. Казань; 2020. <https://elibrary.ru/obqjqq>
21. Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е. Метод определения активности каталазы. *Лабораторное дело*. 1988; (1): 16–9. <https://elibrary.ru/sicxej>
23. Пряхин Е.А., Аклев А.В. *Электромагнитные поля и биологические системы: стресс и адаптация*. Челябинск: Полиграф-Мастер; 2011. <https://elibrary.ru/qktyob>
26. Перов С.Ю., Белая О.В., Кислякова А.А., Левченков Д.И. Состояние показателей прооксидантной и антиоксидантной систем крови крыс в процессе хронического облучения многочастотным электромагнитным полем от систем сотовой связи стандартов GSM, UMTS и LTE. *Медицина труда и экология человека*. 2023; (1): 139–50. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10111> <https://elibrary.ru/rebovv>

27. Перов С.Ю., Коньшина Т.А., Кислякова А.А. Колебательный характер окислительных процессов в крови крыс при хроническом многочастотном электромагнитном облучении от систем сотовой связи стандартов GSM, UMTS и LTE. *Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра)*. 2023; 32(2): 88–95. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-2-88-95> <https://elibrary.ru/vklhod>
33. Перов С.Ю., Орлова В.С., Лифанова Р.З., Кислякова А.А. Отдаленные эффекты хронического воздействия электромагнитных полей базовых станций систем сотовой связи на гемопоэз крыс. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2022; 62(1): 70–4. <https://doi.org/10.31857/S086980312201012X> <https://elibrary.ru/oszuqx>

## References

1. Gajšek P. Public exposure to radio frequency electromagnetic fields. In: Markov M.S., ed. *Mobile Communications and Public Health*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group LLC; 2019: 47–63.
2. Pokhodzey L.V., Palkov Yu.P. Critical analysis of Russian and foreign hygienic regulations of electromagnetic fields (EMF) created by modern wireless communication and communication systems. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(6): 397–405. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-6-397-405> <https://elibrary.ru/vxfsvx> (in Russian)
3. Perov S.Yu., Belaya O.V. Electromagnetic environment created by mobile communication base stations in the 5G pilot area. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(6): 538–43. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-6-538-543> <https://elibrary.ru/xutaxy> (in Russian)
4. GSMA report. The Mobile Economy 2024. Available at: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-economy/wp-content/uploads/2024/02/260224-The-Mobile-Economy-2024.pdf>
5. Taheri M., Roshanaei G., Ghaffari J., Rahimnejad S., Khosroshahi B.N., Aliabadi M., et al. The effect of Base Transceiver Station waves on some immunological and hematological factors in exposed persons. *Hum. Antibodies*. 2017; 25(1–2): 31–7. <https://doi.org/10.3233/hab-160303>
6. Pall M.L. Wi-Fi is an important threat to human health. *Environ. Res.* 2018; 164: 405–16. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.035>
7. Vlasova I.I., Mikhalechik E.V., Gusev A.A., Balabushevich N.G., Gusev S.A., Kazarinov K.D. Extremely high-frequency electromagnetic radiation enhances neutrophil response to particulate agonists. *Bioelectromagnetics*. 2018; 39(2): 144–55. <https://doi.org/10.1002/bem.22103>
8. Kazarinov K.D., Shelkonogov V.A., Chekanov A.V. The study of the sensitivity of human blood cells to microwave radiation. *Zhurnal radioelektroniki*. 2019; (8): 8. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.8.10> <https://elibrary.ru/fhbyxm> (in Russian)
9. Israel M., Vangelova K., Tschobanoff P. Study of the secretion of melatonin and stress hormones in operators from broadcasting and TV stations exposed to radiofrequency (RF) electromagnetic radiation (EMR). In: *Bioelectromagnetics: Current Concepts. NATO Security through Science. Series – B: Physics and Biophysics*. Springer; 2006: 271–80. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4278-7\\_16](https://doi.org/10.1007/1-4020-4278-7_16)
10. Hinrikus H., Koppel T., Lass J., Orru H., Roosipuu P., Bachmann M. 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): 1210–21. <https://doi.org/10.1080/09553002.2022.2026516>
11. Schuermann D., Mevissen M. Manmade electromagnetic fields and oxidative stress-biological effects and consequences for health. *Int. J. Mol. Sci.* 2021; 22(7): 3772. <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>
12. Kuzmina L.P., Izmerova N.I., Khotuleva A.G., Tsidilkovskaya E.S., Kisljakova A.A., Mili H. The influence of physical occupational factors on the immune system. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(11): 694–701. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-694-701> <https://elibrary.ru/hansax> (in Russian)
13. Bouji M., Lecomte A., Hode Y., de Seze R., Villégier A.S. Effects of 900 MHz radiofrequency on corticosterone, emotional memory and neuroinflammation in middle-aged rats. *Exp. Gerontol.* 2012; 47(6): 444–51. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2012.03.015>
14. Karadede B., Akdag M.Z., Kanay Z., Bozbiyik A. The effect of 900 MHz radiofrequency (RF) radiation on some hormonal and biochemical parameters in rabbits. *J. Int. Dental. Med. Res.* 2009; 2(3): 110–5.
15. Shahryar H.A., Lotfi A.R., Bahojb M., Karami A.R. Effects of electromagnetic Fields of cellular phone on cortisol and testosterone hormones rate in Syrian hamsters (*Mesocricetus auratus*). *Int. J. Zool. Res.* 2008; 4(4): 230–3. <https://doi.org/10.3923/ijzr.2008.230.233>
16. Koyu A., Gökalp O., Özgüner F., Cesur G., Mollaoglu H., Özer M.K., et al. The effects of subchronic 1800 MHz electromagnetic field exposure on the levels of TSH, T3, T4, cortisol and testosterone hormones. *Genel. Tip. Dergisi*. 2005; 15(3): 101–5. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2005.03.006>
17. Li M., Wang Y., Zhang Y., Zhou Z., Yu Z. Elevation of plasma corticosterone levels and hippocampal glucocorticoid receptor translocation in rats: a potential mechanism for cognition impairment following chronic low-power-density microwave exposure. *J. Radiat. Res.* 2008; 49(2): 163–70. <https://doi.org/10.1269/jrr.07063>
18. Adebayo E.A., Adeyoye A.O., Ogundiran M.A., Olabisi O. Bio-physical effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMR) on blood parameters, spermatozoa, liver, kidney and heart of albino rats. *J. King Saud Univ. – Sci.* 2019; 31(4): 813–21. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.11.007>
19. Amirov D.R., Tamimdarov B.F., Shageeva A.R. *Clinical Hematology of Animals [Klinicheskaya gematologiya zhivotnykh]*. Kazan'; 2020. (in Russian)
20. Pompella A., Maellaro E., Casini A.F., Ferrali M., Ciccoli L., Comporti M. Measurement of lipid peroxidation in vivo: a comparison of different procedures. *Lipids*. 1987; 22(3): 206–11. <https://doi.org/10.1007/BF02537304>
21. Korolyuk M.A., Ivanova L.I., Mayorova I.G., Tokarev V.E. Method for determination of catalase activity. *Laboratornoe delo*. 1988; (1): 16–9. <https://elibrary.ru/sicxej> (in Russian)
22. The R Project for Statistical Computing. Available at: <https://R-project.org/>
23. Pryakhin E.A., Aklev A.V. *Electromagnetic Fields and Biological Systems: Stress and Adaptation [Elektromagnitnye polya i biologicheskie sistemy: stress i adaptatsiya]*. Chelyabinsk: Poligraf-Master; 2011. <https://elibrary.ru/qktyob> (in Russian)
24. Pall M.L. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J. Cell. Mol. Med.* 2012; 17(8): 958–65. <https://doi.org/10.1111/jcmm.12088>
25. Yao C., Zhao L., Peng R. The biological effects of electromagnetic exposure on immune cells and potential mechanisms. *Electromagn. Biol. Med.* 2022; 41(1): 108–17. <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.2001651>
26. Perov S.Yu., Belaya O.V., Kisljakova A.A., Levchenkov D.I. Prooxidant and antioxidant status in rat blood under chronic multifrequency electromagnetic field exposure of GSM, UMTS and LTE mobile systems. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2023; (1): 139–50. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10111> <https://elibrary.ru/rebovv> (in Russian)
27. Perov S.Yu., Konshina T.A., Kisljakova A.A. Oxidative fluctuations in rat blood exposed to GSM, UMTS and LTE multi-frequency electromagnetic field. *Radiatsiya i risk (Byulleten' Natsional'nogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra)*. 2023; 32(2): 88–95. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-2-88-95> <https://elibrary.ru/vklhod> (in Russian)
28. Megha K., Deshmukh P.S., Banerjee B.D., Tripathi A.K., Ahmed R., Abegaonkar M.P. Low intensity microwave radiation induced oxidative stress, inflammatory response and DNA damage in rat brain. *Neurotoxicology*. 2015; 51: 158–65. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2015.10.009>
29. Gulati S., Kosik P., Durdik M., Skorvaga M., Jakl L., Markova E., et al. Effects of different mobile phone UMTS signals on DNA, apoptosis and oxidative stress in human lymphocytes. *Environ. Pollut.* 2020; 267: 115632. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115632>
30. Sharma S., Shukla S. Effect of electromagnetic radiation on redox status, acetylcholine esterase activity and cellular damage contributing to the diminution of the brain working memory in rats. *J. Chem. Neuroanat.* 2020; 106: 101784. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2020.101784>
31. Asl J.F., Goudarzi M., Shoghi H. The radio-protective effect of rosmarinic acid against mobile phone and Wi-Fi radiation-induced oxidative stress in the brains of rats. *Pharmacol. Rep.* 2020; 72(4): 857–66. <https://doi.org/10.1007/s43440-020-00063-9>
32. Dasdag S., Akdag M.Z. The link between radiofrequencies emitted from wireless technologies and oxidative stress. *J. Chem. Neuroanat.* 2016; 75(Pt. B): 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.09.001>
33. Perov S.Yu., Orlova V.S., Lifanova R.Z., Kisljakova A.A. Electromagnetic field chronic exposure effects of cellular base stations on rat hemopoiesis. *Radioekologiya*. 2022; 62(1): 70–4. <https://doi.org/10.31857/S086980312201012X> <https://elibrary.ru/oszuqx> (in Russian)

## Сведения об авторах

**Перов Сергей Юрьевич**, доктор биол. наук, зав. лаб. электромагнитных полей ФГБНУ «НИИ МТ им. акад. Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия. E-mail: [perov@irioh.ru](mailto:perov@irioh.ru)

**Походзей Лариса Васильевна**, доктор мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. электромагнитных полей ФГБНУ «НИИ МТ им. акад. Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия. E-mail: [Lapokhodzey@yandex.ru](mailto:Lapokhodzey@yandex.ru)

**Пальцев Юрий Петрович**, доктор мед. наук, профессор, гл. науч. сотр. лаб. электромагнитных полей ФГБНУ «НИИ МТ им. акад. Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия. E-mail: paltsev@iriioh.ru

**Лифанова Раёно Зобидовна**, мл. науч. сотр. лаб. электромагнитных полей ФГБНУ «НИИ МТ им. акад. Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия. E-mail: lifanova@iriioh.ru

### Information about the authors

**Sergey Yu. Perov**, DSc (Biology), Head of the Electromagnetic field laboratory, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6903-4327> E-mail: perov@iriioh.ru

**Larisa V. Pokhodzey**, DSc (Medicine), leading researcher of the Electromagnetic field laboratory Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3561-1605> E-mail: Lapokhodzey@yandex.ru

**Yuriy P. Paltsev**, DSc (Medicine), Professor, chief researcher of the Electromagnetic field laboratory Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3999-0457> E-mail: paltsev@iriioh.ru

**Rano Z. Lifanova**, junior researcher of the Electromagnetic field laboratory, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8747-9856> E-mail: lifanova@iriioh.ru