

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-67-75

УДК 504.75

Научная статья / Research article

## Некоторые гематологические показатели крови крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем перспективных стандартов сотовой связи

В.С. Орлова<sup>1</sup>, С.Ю. Перов<sup>2</sup> , Р.З. Лифанова<sup>1,2</sup>  , С.А. Пинегин<sup>3</sup><sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Москва, Россия<sup>3</sup>Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия torazo-414@mail.ru

**Аннотация.** Электромагнитные поля диапазона сотовой связи в последнее время превратилось в значимый физический фактор окружающей среды, что не может не вызывать обоснованное беспокойство в связи с возможностью неблагоприятного влияния на здоровье человека. Экспериментальные исследования на лабораторных животных являются неотъемлемой частью разработки и обоснования безопасных уровней воздействия, в которых объективным функциональным индикатором состояния организма является система крови. Цели исследования – изучение гематологических показателей крови самцов и самок крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем сотовой связи, оценка характера и уровня возможных отдаленных последствий. Объектом исследований были самцы и самки линии Wistar, которые подвергались многочастотному круглосуточному 30-дневному воздействию электромагнитных полей с плотностью потока энергии 500 мкВт/см<sup>2</sup> на частотах 3,5; 28 и 37 ГГц. Гематологические показатели периферической крови у животных опытных и контрольных групп определялись по завершении 30-дневного облучения электромагнитным полем и через 30 дней после его окончания. Облучение на протяжении 30 дней не привело к статистически значимым изменениям в клеточном составе крови ни у самцов, ни у самок крыс по сравнению с контрольными группами. Спустя 30 дней после завершения экспозиции достоверные изменения в гематологических показателях коснулись только самок крыс и заключались в снижении среднего содержания (MCH) и средней концентрации (MCHC) гемоглобина (Hb) в эритроците (RBC), уровня лейкоцитов (WBC), лимфоцитов (LYM) и повышении содержания моноцитов (MON). Статистических изменений во всех гематологических показателях у самцов крыс не наблюдалось. Полученные данные позволяют предполагать развитие адаптационных реакций последствия у крыс по завершении подострого электромагнитного облучения и их корреляции на воздействие в зависимости от пола животного.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, многочастотное электромагнитное поле, базовые станции, сотовая связь, периферическая кровь, гематологические показатели

© Орлова В.С., Перов С.Ю., Лифанова Р.З., Пинегин С.А., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Вклад авторов.** В.С. Орлова – концепция и дизайн исследования. С.Ю. Перов – концепция и дизайн исследования, его проведение, написание текста статьи. Р.З. Лифанова – проведение исследования, анализ полученных данных, написание текста статьи. С.А. Пинегин – проведение исследования.

**История статьи:** поступила в редакцию 01.02.2022; принята к публикации 01.03.2022.

**Для цитирования:** Орлова В.С., Перов С.Ю., Лифанова Р.З., Пинегин С.А. Некоторые гематологические показатели крови крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем перспективных стандартов сотовой связи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 67–75. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-67-75>

## Rat hematological parameters of subacute multifrequency electromagnetic next-generation cellular communications exposure

Valentina S. Orlova<sup>1</sup>, Sergey Yu. Perov<sup>2</sup>   
Rano Z. Lifanova<sup>1,2</sup>  , Sergei A. Pinegin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*State Scientific Center of the Russian Federation Institute of Biomedical Problems,  
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

 torazo-414@mail.ru

**Abstract.** The cellular communication electromagnetic fields have become a significant physical environmental factor recently, which cannot but cause reasonable concern due to the possible adverse effects of human health. Experimental laboratory animal studies are an integral part of the development and substantiation maximal permissible levels, in which the blood system is an objective functional indicator of the electromagnetic field biological effects. Thus, the purpose of the research was to study the hematological parameters of the male and female rat blood of subacute multi-frequency electromagnetic exposure from cellular communication systems and possible long-term biological effects. The object of research was male and female Wistar line rats. There were multi-frequency 30-days electromagnetic field exposure with 500  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  power density at 3.5, 28 and 37 GHz summary. Hematological parameters of peripheral rat blood of the experimental and control groups were determined at the end of 30 days of exposure and 30 days after exposure. 30 days exposure did not lead to statistically significant changes in the blood cell composition in either male or female rats compared with sham exposure. In post exposure period (30 days after), significant changes in hematological parameters shown female rats only, which consisted in a decrease in the average content (MCH) and the average concentration (MCHC) of hemoglobin (Hb) in erythrocyte (RBC), the level of leukocytes (WBC), lymphocytes (LYM) and an increase in monocytes (MON). There were no statistical changes in all hematological parameters in male rats. The research results suggest the development of aftereffect adaptive reactions in rats upon completion of subacute electromagnetic exposure and their correlation to the effect depending on the sex of the animal.

**Keywords:** electromagnetic field, multifrequency electromagnetic field, cellular base stations, peripheral blood, hematological parameters

**Authors' contributions.** V.S. Orlova – research concept and design. S.Yu. Perov – research concept and design, research conduct, text writing. R.Z. Lifanova – conducting the study, data analysis, text writing. S.A. Pinegin – conducting the study.

**Article history:** received 01.02.2022; accepted 01.03.2022.

**For citation:** Orlova VS, Perov SYu, Lifanova RZ, Pinegin SA. Rat hematological parameters of subacute multifrequency electromagnetic next-generation cellular communications exposure. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):67–75. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-67-75>

## Введение

Электромагнитные поля диапазона мобильной сотовой связи в последнее время превратились в значимый постоянно растущий физический фактор окружающей среды. Сложившаяся электромагнитная обстановка не может не вызывать обоснованное беспокойство в связи с возможностью недооценки опасности этого фактора для здоровья человека. В современных условиях человек подвергается воздействию сложного сочетания модулированных электромагнитных полей (ЭМП) разных частот и интенсивностей, которое обусловлено массовым применением мобильных коммуникаций. Базовые станции сотовой связи по сравнению с другими источниками ЭМП работают круглосуточно на фоне постоянного увеличения их количества и интенсивности воздействия. Стремительное развитие мобильной связи способствовало тому, что существующие научные подходы просто не успевают оценить степень вредности действия ЭМП этих частот для человека. Следует заметить, что ЭМП может быть условно отнесены к категории физических факторов с не окончательно определенным риском воздействия.

Проводимые в настоящее время изыскания биологического действия ЭМП сосредоточены на эпидемиологических обследованиях, исследованиях на добровольцах, экспериментах на лабораторных животных. Однако проблема получения полной картины биологической опасности ЭМП при сложной комбинации частот и сигналов различной интенсивности в диапазоне от 100 МГц до 5,5 ГГц, которую выявили в некоторых крупных европейских городах, пока остается нерешенной [1; 2]. Наибольший вклад (более 60 % от общего воздействия) в формирование электромагнитного фона в среде вносятся базовые станции сотовой связи, работающие преимущественно на частотах 900, 1800, 2100 и 2600 МГц, тогда как облучение населения от радио- и телевещательных вышек является менее интенсивным. Важность эпидемиологических исследований, так же как и изучение действия ЭМП на животных, не подлежит сомнению, но в подавляющем числе случаев в лабораторных экспериментах используется, как правило, только одна частота или интенсивность. В связи с этим не так давно стало формироваться несколько новое направление – проведение исследований, которые в лабораторных условиях воспроизводят реальные условия биологического действия ЭМП при облучении сигналами нескольких частот (multiple frequencies) [3].

В то же время результаты лабораторных исследований биологического действия многочастотных ЭМП далеко неоднозначны. Изучение влияния ЭМП

с частотами 1,5 и 4,3 ГГц по отдельности и в комбинации на когнитивные функции и структуру гиппокампа у самцов крыс Wistar показало, что комбинированное облучение на обеих частотах вызвало более серьезные когнитивные нарушения и повреждение ткани гиппокампа крыс, чем воздействие на одной частоте [4]. Одновременное облучение ЭМП беременных крыс и их родившегося потомство по 20 ч в день восьми различными сигналами на частотах 800 МГц; 2,0; 2,4; 2,5 и 5,2 ГГц не привело к каким-либо неблагоприятным последствиям на беременность или развитие крыс [5].

Экспериментальные исследования на лабораторных животных являются неотъемлемой частью разработки и обоснования безопасных уровней воздействия. Анализ литературных источников показал, что изучение гематологических показателей позволит оценить влияние ЭМП не только на процессы в органах кроветворения, но и уровень функциональной активности компенсаторно-приспособительных реакций организма животных в поддержании гомеостаза [6].

**Цель исследования** – изучить гематологические показатели крови самцов и самок крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем сотовой связи, оценить характер и уровень отдаленных последствий.

### Материалы и методы

Объектом исследований послужили половозрелые беспородные крысы (самцы и самки) линии Wistar массой  $267 \pm 32$  г на начало эксперимента. Животные (48 крыс) были распределены на четыре группы по 12 крыс, которые составляли две серии с параллельным контролем. Экспериментальные группы животных, сформированные из самцов и самок крыс, подвергались многочастотному воздействию ЭМП с одинаковой величиной плотности потока энергии (ППЭ)  $500 \text{ мкВт/см}^2$  на частотах 3,5; 28 и 37 ГГц. Облучение проводили непрерывно по 23 ч в сутки в течение 30 дней, после чего крысы всех групп 30 дней находились в аналогичных условиях, но без воздействия ЭМП. Во время облучения животные пребывали в пластиковых радиопрозрачных клетках коллективного содержания и имели возможность свободного перемещения, доступ к корму и воде. Крысы всех групп содержались в условиях с поддерживаемым стандартным световым режимом: 9 ч освещения и 15 ч затемнения. Группа контроля содержалась в аналогичных с экспериментальными животными условиях за исключением воздействия ЭМП. Все работы с животными выполняли в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов о порядке экспериментальной работы и гуманном отношении к животным. Во всех экспериментах для облучения животных использовалось стандартное оборудование базовых станций в служебном режиме стандарта 5G NR IMT-2020, обеспечивающего постоянный уровень ЭМП. Анализ периферической крови у животных обеих групп проводили на автоматическом гематологическом анализаторе BC-2800 Vet (Mindray, Китай) после декапитации через 30 дней после прекращения облучения и 30 дней спустя. Проверку на нормальность распределения данных проводили по критерию Шапиро – Уилка, статистическую обработку данных – по непараметрическому критерию Данна.

## Результаты и обсуждение

В результате облучения животных на протяжении 30 дней такие показатели красной крови самцов крыс, как эритроциты (RBC), гемоглобин (Hb), гематокрит (HCT) и тромбоциты (PLT) демонстрировали тенденцию к повышению по сравнению с группой контроля. Противоположные изменения наблюдались в крови самок крыс после 30-дневной экспозиции – прослеживалась тенденция к снижению этих показателей. Остальные гематологические параметры крови у животных обеих групп после облучения не имели существенных отличий от контрольной группы крыс (табл. 1).

Таблица 1

**Некоторые показатели красной крови крыс (самцы и самки) после 30-дневного сочетанного облучения ЭМП-частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см<sup>2</sup>**

| Экспериментальные группы |          | Показатели красной крови      |            |           |            |             |              |           |                             |            |       |
|--------------------------|----------|-------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|--------------|-----------|-----------------------------|------------|-------|
|                          |          | RBC<br>( $\times 10^{12}/л$ ) | Hb,<br>г/л | HCT,<br>% | MCV,<br>фл | MCH,<br>пкг | MCHC,<br>г/л | RDW,<br>% | PLT,<br>( $\times 10^9/л$ ) | MPV,<br>фл | PDW   |
| Самцы                    | Контроль | 8,065                         | 149        | 48,75     | 61,2       | 18,35       | 305          | 12,1      | 720                         | 6,55       | 17,1  |
|                          | Опыт     | 9,575                         | 183,5      | 58        | 61,35      | 19,4        | 313          | 12        | 1324                        | 6          | 16,65 |
| Самки                    | Контроль | 8,98                          | 171        | 57,4      | 64,05      | 19,7        | 310          | 10,4      | 1236                        | 5,85       | 16,85 |
|                          | Опыт     | 6,4                           | 121        | 41,5      | 63,9       | 18,55       | 297,5        | 11,7      | 744,5                       | 6          | 17    |

Table 1

**Some indicators of the red blood of rats (males and females) after 30-days combined exposure to EMF at frequencies of 3.5, 28 and 37 GHz at energy flux density 500  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>**

| Experimental groups |            | Indicators of red blood       |            |           |            |            |              |           |                             |            |       |
|---------------------|------------|-------------------------------|------------|-----------|------------|------------|--------------|-----------|-----------------------------|------------|-------|
|                     |            | RBC<br>( $\times 10^{12}/L$ ) | Hb,<br>g/L | HCT,<br>% | MCV,<br>fL | MCH,<br>pg | MCHC,<br>g/L | RDW,<br>% | PLT,<br>( $\times 10^9/L$ ) | MPV,<br>fL | PDW   |
| Males               | Control    | 8.065                         | 149        | 48.75     | 61.2       | 18.35      | 305          | 12.1      | 720                         | 6.55       | 17.1  |
|                     | Experience | 9.575                         | 183.5      | 58        | 61.35      | 19.4       | 313          | 12        | 1324                        | 6          | 16.65 |
| Females             | Control    | 8.98                          | 171        | 57.4      | 64.05      | 19.7       | 310          | 10.4      | 1236                        | 5.85       | 16.85 |
|                     | Experience | 6.4                           | 121        | 41.5      | 63.9       | 18.55      | 297.5        | 11.7      | 744.5                       | 6          | 17    |

В лейкоцитарной формуле крови самцов и самок крыс все показатели не выходили за пределы значений контрольной группы, за исключением тенденции к повышению уровня гранулоцитов (GRAN) у самцов (табл. 2).

В показателях красной крови у самцов и самок крыс спустя 30 дней после окончания облучения отмечалась тенденция к снижению уровня Hb в крови и статистически достоверное ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем падение среднего содержания (MCH) и средней концентрации (MCHC) Hb в RBC (табл. 3).

Таблица 2

**Лейкоцитарная формула крови крыс (самцы и самки) после 30-дневного сочетанного облучения ЭМП-частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см<sup>2</sup>**

| Экспериментальные группы |          | Показатели белой крови      |                            |                            |                             |           |           |            |
|--------------------------|----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|------------|
|                          |          | WBC,<br>( $\times 10^9/л$ ) | LYM<br>( $\times 10^9/л$ ) | MON<br>( $\times 10^9/л$ ) | GRAN<br>( $\times 10^9/л$ ) | LYM,<br>% | MON,<br>% | GRAN,<br>% |
| Самцы                    | Контроль | 3,5                         | 2,6                        | 0,1                        | 0,85                        | 71,2      | 3,25      | 25,65      |
|                          | Опыт     | 4,4                         | 3                          | 0,15                       | 1,25                        | 67,15     | 3,55      | 29,4       |
| Самки                    | Контроль | 3,5                         | 2,6                        | 0,1                        | 0,85                        | 71,2      | 3,25      | 25,65      |
|                          | Опыт     | 3,05                        | 2,15                       | 0,1                        | 0,8                         | 70,7      | 3,7       | 25,85      |

Table 2

**Leukogram blood of rats (males and females) after 30-days combined exposure to EMF at frequencies of 3.5, 28 and 37 GHz at energy flux density 500  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$** 

| Experimental groups |            | Indicators of white blood          |                                   |                                   |                                    |           |           |            |
|---------------------|------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|------------|
|                     |            | WBC,<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | LYM<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | MON<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | GRAN<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | LYM,<br>% | MON,<br>% | GRAN,<br>% |
| Males               | Control    | 3.5                                | 2.6                               | 0.1                               | 0.85                               | 71.2      | 3.25      | 25.65      |
|                     | Experience | 4.4                                | 3                                 | 0.15                              | 1.25                               | 67.15     | 3.55      | 29.4       |
| Females             | Control    | 3.5                                | 2.6                               | 0.1                               | 0.85                               | 71.2      | 3.25      | 25.65      |
|                     | Experience | 3.05                               | 2.15                              | 0.1                               | 0.8                                | 70.7      | 3.7       | 25.85      |

Таблица 3

**Некоторые показатели красной крови крыс (самцы и самки) через 30 дней после 30-дневного сочетанного облучения ЭМП-частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см<sup>2</sup>**

| Экспериментальные группы |          | Показатели красной крови              |            |           |            |             |              |           |                                    |            |       |
|--------------------------|----------|---------------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|--------------|-----------|------------------------------------|------------|-------|
|                          |          | RBC,<br>( $\times 10^{12}/\text{л}$ ) | Hb,<br>г/л | HCT,<br>% | MCV,<br>фл | MCH,<br>пкг | MCHC,<br>г/л | RDW,<br>% | PLT,<br>( $\times 10^9/\text{л}$ ) | MPV,<br>фл | PDW   |
| Самцы                    | Контроль | 9,11                                  | 152        | 53,4      | 58,75      | 16,75       | 284,5        | 11,7      | 1161,5                             | 7,85       | 17,6  |
|                          | Опыт     | 8,67                                  | 106        | 50,4      | 58,25      | 16,8        | 286,5        | 11,7      | 1109                               | 7          | 17,9  |
| Самки                    | Контроль | 8,405                                 | 177        | 53,8      | 63,85      | 20,9        | 328,5        | 10,95     | 877,5                              | 6,2        | 17    |
|                          | Опыт     | 8,32                                  | 126,5      | 51,4      | 62,15      | 15,55*      | 256,5*       | 10,9      | 1218,5                             | 6,65       | 17,35 |

Примечание: \*  $p < 0,05$  относительно показателей контрольной группы.

Table 3

**Some indicators of the red blood of rats (males and females) after 30 days of 30-days combined exposure to EMF at frequencies of 3.5, 28 and 37 GHz at energy flux density 500  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$** 

| Experimental groups |            | Indicators of red blood               |            |           |            |            |              |           |                                    |            |       |
|---------------------|------------|---------------------------------------|------------|-----------|------------|------------|--------------|-----------|------------------------------------|------------|-------|
|                     |            | RBC,<br>( $\times 10^{12}/\text{L}$ ) | Hb,<br>g/L | HCT,<br>% | MCV,<br>fL | MCH,<br>pg | MCHC,<br>g/L | RDW,<br>% | PLT,<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | MPV,<br>fL | PDW   |
| Males               | Control    | 9.11                                  | 152        | 53.4      | 58.75      | 16.75      | 284.5        | 11.7      | 1161.5                             | 7.85       | 17.6  |
|                     | Experience | 8.67                                  | 106        | 50.4      | 58.25      | 16.8       | 286.5        | 11.7      | 1109                               | 7          | 17.9  |
| Females             | Control    | 8.405                                 | 177        | 53.8      | 63.85      | 20.9       | 328.5        | 10.95     | 877.5                              | 6.2        | 17    |
|                     | Experience | 8.32                                  | 126.5      | 51.4      | 62.15      | 15.55*     | 256.5*       | 10.9      | 1218.5                             | 6.65       | 17.35 |

Note: \*  $p < 0.05$  relative to the indicators of the control group.

В лейкоцитарной формуле крови самок статистически достоверные изменения по сравнению с контрольной группой животных происходили в снижении содержания лейкоцитов (WBC) ( $p < 0,01$ ), лимфоцитов (LYM) ( $p < 0,05$ ) и повышении уровня моноцитов (MON) ( $p < 0,05$ ). В остальные показатели белой крови животных (самцов и самок) каких-либо достоверных изменений относительно контроля не обнаружено (табл. 4).

Таблица 4

**Лейкоцитарная формула крови крыс (самцы и самки) через 30 дней после 30-дневного сочетанного облучения ЭМП-частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см<sup>2</sup>**

| Экспериментальные группы |          | Показатели белой крови             |                                    |                                    |                                     |           |           |            |
|--------------------------|----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|------------|
|                          |          | WBC,<br>( $\times 10^9/\text{л}$ ) | LYM,<br>( $\times 10^9/\text{л}$ ) | MON,<br>( $\times 10^9/\text{л}$ ) | GRAN,<br>( $\times 10^9/\text{л}$ ) | LYM,<br>% | MON,<br>% | GRAN,<br>% |
| Самцы                    | Контроль | 4,6                                | 3,2                                | 0,15                               | 1,15                                | 67,2      | 3,4       | 29,85      |
|                          | Опыт     | 4,1                                | 2,85                               | 0,1                                | 1,35                                | 68,65     | 3,55      | 27,6       |
| Самки                    | Контроль | 4,9                                | 3,65                               | 0,2                                | 1,1                                 | 74,25     | 3,35      | 22,55      |
|                          | Опыт     | 2,55**                             | 1,6**                              | 0,15                               | 0,85                                | 61,5      | 5,15*     | 31,5       |

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  относительно показателей контрольной группы.

Table 4

**Leukogram blood of rats (males and females) after 30 days of 30-days combined exposure to EMF at frequencies of 3.5, 28 and 37 GHz at energy flux density 500  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$**

| Experimental groups |            | Indicators of white blood          |                                    |                                    |                                     |           |           |            |
|---------------------|------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|------------|
|                     |            | WBC,<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | LYM,<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | MON,<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | GRAN,<br>( $\times 10^9/\text{L}$ ) | LYM,<br>% | MON,<br>% | GRAN,<br>% |
| Males               | Control    | 4.6                                | 3.2                                | 0.15                               | 1.15                                | 67.2      | 3.4       | 29.85      |
|                     | Experience | 4.1                                | 2.85                               | 0.1                                | 1.35                                | 68.65     | 3.55      | 27.6       |
| Females             | Control    | 4.9                                | 3.65                               | 0.2                                | 1.1                                 | 74.25     | 3.35      | 22.55      |
|                     | Experience | 2.55**                             | 1.6**                              | 0.15                               | 0.85                                | 61.5      | 5.15*     | 31.5       |

Note: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$  relative to the indicators of the control group.

Полученные в процессе проведенных экспериментов гематологические показатели свидетельствуют о влиянии многочастотного облучения ЭМП на систему крови животных. В некоторых публикациях приведены результаты исследований, соответствующие полученным данным.

Облучение крыс Wistar ЭМП-частотой 900 МГц по одному часу в день ежедневно, 7 дней в неделю на протяжении 3 и 6 месяцев вызвало изменения в системе крови, заключающееся в снижении содержания RBC, WBC, PLT и уровня Hb с увеличением времени воздействия [7]. Определение гематологических показателей после облучения ЭМП с частотой 900 и 1800 МГц самцов белых мышей BALB/c по 15, 30 и 45 мин в день в течение двух недель показало снижение НСТ, содержания Hb и RBC, а также количества PLT как после короткого, так и длительного воздействия [8]. Результаты, полученные после длительного облучения мышей линии Swiss Albino по 7 ч в день, 7 дней в неделю в течение 12 недель ЭМП с частотами 0,9 и 1,8 ГГц показали, что воздействие вызывает увеличение значений НСТ, RBC и Hb в крови. Облучение также привело к снижению содержания WBC и величины МСНС в группах животных, подвергавшихся воздействию ЭМП-частотами 0,9 и 1,8 ГГц, а сравнение между группами показало, что уровень Hb у мышей в группах с 0,9 ГГц увеличивается, тогда как в группе с 1,8 ГГц, напротив, снижается. При этом обнаружено, что значения МСН у мышей в группе, подвергшейся воздействию 1,8 ГГц, снижаются, в то время как в группе с 0,9 ГГц увеличиваются. Величины MCV в группе мышей, подвергшейся воздействию 0,9 ГГц, увеличивались, в то время как в группе, подвергшейся воздействию 1,8 ГГц, снижались. Проверочный анализ крови мышей в контрольной группе показал, что гематологические параметры были в пределах нормального диапазона значений [9].

Таким образом, полученные в выполненных экспериментах результаты свидетельствуют о наличии влияния многочастотного облучения ЭМП с частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см<sup>2</sup> на систему крови, которое в наибольшей степени проявлялось после прекращения воздействия и зависело от пола животного. В ранее выполненном исследовании воздействия облучения от сотовых телефонов на гематологические показатели периферической крови, проведенном на добровольцах возрастом 18–26 лет, было установлено влияние на концентрацию Hb, величины МСН и НСТ, содержание PLT, а также на лейкоцитарную формулу [10]. Помимо этого, были отмечены

ны гендерные различия в виде прямой корреляционной зависимости между уровнем воздействия и содержанием RBC и HCT у мужчин и обратной корреляционной связью по HCT у женщин.

### Заключение

В настоящее время в результате массового развития мобильных коммуникаций проблема мониторинга и оценки биологической опасности ЭМП становится все более актуальной в различных сферах производства и в быту. Основные направления исследования биологического действия ЭМП-частот мобильной связи в основном сосредоточены в области эпидемиологических обследований, а также лабораторных экспериментов на животных. Однако задача получения полной картины биологической опасности многочастотного ЭМП для всех составляющих поля и возможных частот излучения пока остается нерешенной, а отдельные эксперименты не охватывают все направления исследований в целом. Анализ публикаций и полученных данных экспериментальных исследований показывает, что ЭМП диапазона сотовой связи оказывает выраженное биологическое действие на систему крови животных, которое может расцениваться как адаптивная стимуляция процессов гемопоэза. Следует признать, что регистрируемые изменения в системе крови при действии многочастотного ЭМП не выходили за пределы компенсаторных, однако наличие подобных реакций может в дальнейшем вызвать срыв процессов адаптации и способствовать развитию патологических изменений в организме.

### Список литературы / References

- [1] Gajšek P, Ravazzani P, Wiart J, Grellier J, Samaras T, Thuróczy G. Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz – 6 GHz). *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2015;25(1):37–44. <https://doi.org/10.1038/jes.2013.40>
- [2] Chiamarello E, Bonato M, Fiocchi S, Tognola G, Parazzini M, Ravazzani P, Wiart J. Radio frequency electromagnetic fields exposure assessment in indoor environments: a review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019;16(6):955. <https://doi.org/10.3390/ijerph16060955>
- [3] Sienkiewicz Z, Calderón C, Broom KA, Addison D, Gavard A, Lundberg L, Maslanyj M. Are exposures to multiple frequencies the key to future radiofrequency research? *Front. Public Health.* 2017;5(328):11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00328>
- [4] Zhu R, Wang H, Xu X, Zhao L, Zhang J, Dong J, Yao B, Wang H, Zhou H, Gao Y, Peng, R. Effects of 1.5 and 4.3 GHz microwave radiation on cognitive function and hippocampal tissue structure in Wistar rats. *Sci. Rep.* 2021;11(1):1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89348-4>
- [5] Shirai T, Wang J, Kawabe M, Wake K, Watanabe SI, Takahashi S, Fujiwara O. No adverse effects detected for simultaneous whole-body exposure to multiple-frequency radiofrequency electromagnetic fields for rats in the intrauterine and pre-and post-weaning periods. *J. Radiat. Res.* 2017;58(1):48–58. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrw085>
- [6] Darvishi M, Mashati P, Kandala S, Paridar M, Takhviji V, Ebrahimi H, Zibara A, Khosravi A. Electromagnetic radiation: a new charming actor in hematopoiesis? *Expert Rev. Hematol.* 2021;14(1):47–58. <https://doi.org/10.1080/17474086.2020.1826301>
- [7] El-Bediwi AB, Saad M, Elkott AF, Eid E. Influence of electromagnetic radiation produced by mobile phone on some biophysical blood properties in rats. *Cell Biochem. Biophys.* 2012;65(3):297–300. <https://doi.org/10.1007/s12013-012-9432-4>

- [8] Alghamdi MS, El-Ghazaly NA. Effects of exposure to electromagnetic field on of some hematological parameters in mice. *Open Journal of Medicinal Chemistry*. 2012;2(2):30–42. <http://doi.org/10.4236/ojmc.2012.22005>
- [9] Usman AD, Ahmad WW, Ab Kadir MZ, Mokhtar M, Ariffin R. Effect of radiofrequency electromagnetic field exposure on hematological parameters of mice. *World Appl. Sci. J.* 2012;16(5):656–664.
- [10] Yashchenko SG, Rybalko SYu, Karpovich AV. Hematological parameters of human peripheral blood under the influence of electromagnetic radiation of mobile phones. *Ukrainian Medical Almanac*. 2014;17(3):109–111. (In Ukr.)  
*Яценко С.Г., Рибалко С.Ю., Карпович А.В.* Гематологічні показники периферичної крові людини при впливі електромагнітного випромінювання мобільних телефонів // Український медичний альманах. 2014. Т. 17. № 3. С. 109–111.

### Сведения об авторах:

*Орлова Валентина Сергеевна*, доктор биологических наук, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. eLIBRARY SPIN-код: 8078-0470. E-mail: bte2005@mail.ru

*Перов Сергей Юрьевич*, доктор биологических наук, заведующий лабораторией электромагнитных полей, Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Российская Федерация, 105275, Москва, пр-кт Буденного, д. 31. ORCID: 0000-0002-6903-4327, eLIBRARY SPIN-код: 2297-5903. E-mail: perov@iriogh.ru

*Лифанова Раёно Зобидовна*, аспирант, департамент экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Российская Федерация, 105275, Москва, пр-кт Буденного, д. 31. ORCID: 0000-0002-8747-9856, eLIBRARY SPIN-код: 3158-8833. E-mail: torazo-414@mail.ru

*Пинегин Сергей Александрович*, аспирант, младший научный сотрудник, Институт медико-биологических проблем, Российская академия наук, Российская Федерация, 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А, стр. 34. E-mail: serg.pineqin@gmail.com

### Bio notes:

*Valentina S. Orlova*, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 8078-0470. E-mail: bte2005@mail.ru

*Sergey Yu. Perov*, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Electromagnetic Fields, Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budyonnogo Prospekt, Moscow, 105275, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6903-4327, eLIBRARY SPIN-code: 2297-5903. E-mail: perov@iriogh.ru

*Rano Z. Lifanova*, postgraduate student, Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; research fellow, Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budyonnogo Prospekt, Moscow, 105275, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8747-9856, eLIBRARY SPIN-code: 3158-8833. E-mail: torazo-414@mail.ru

*Sergei A. Pinegin*, postgraduate student, researcher fellow, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences, 76A Khoroshevskoe Shosse, bldg 34, Moscow, 123007, Russian Federation. E-mail: serg.pineqin@gmail.com