

ISSN 1561-8323 (print)

УДК 537.612.2+612.112+591.463

Поступило в редакцию 23.05.2017

Received 23.05.2017

Г. Г. Верещако¹, **И. А. Чешик**¹, **В. И. Шалатонин**², **Н. В. Чуешова**¹, **Г. А. Горох**¹,
М. А. Бакшаева¹, **А. Е. Козлов**¹, **Е. В. Цуканова**¹

¹Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Республика Беларусь

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КЛЕТОК КРОВИ И ЭПИДИДИМАЛЬНЫХ СПЕРМАТОЗОИДОВ КРЫС К ВОЗДЕЙСТВИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ (50 Гц)

(Представлено членом-корреспондентом В. А. Кульчицким)

Аннотация. В сообщении обсуждаются данные исследований длительного воздействия магнитного поля промышленной частоты (МП ПЧ 50 Гц, 0,4 мТ, 4 ч/день, 5 дней в неделю, суммарное количество 26 дней) на клетки крови и эпидидимальные сперматозоиды крыс Вистар. Установлено, что в различные сроки после воздействия (3-и, 15-е и 30-е сутки) выявляются изменения различных количественных и качественных показателей исследуемых клеток, некоторые из которых сохраняются в отдаленном периоде (30-е сутки после экспозиции).

Ключевые слова: крысы-самцы, лейкоциты, лейкоцитарные элементы крови, эпидидимальные сперматозоиды, жизнеспособность, апоптоз, акрозин, глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа

Для цитирования: Чувствительность клеток крови и эпидидимальных сперматозоидов крыс к воздействию магнитного поля промышленной частоты (50 Гц) / Г. Г. Верещако [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 5. – С. 115–120.

Gennady G. Vereschako¹, **Igor A. Cheshik**¹, **Valery I. Shalatonin**², **Natalya V. Chueshova**¹, **Gregory A. Gorokh**¹,
Margaryta A. Bakshayeva¹, **Aliaksandr Ya. Kazlou**¹, **Elena V. Tsukanova**¹

¹Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

SENSITIVITY OF RATS BLOOD CELLS AND EPIDIDYMAL SPERMATOZOA TO LOW FREQUENCY MAGNETIC FIELDS (50 Hz)

(Communicated by Corresponding Member Vladimir A. Kulchitsky)

Abstract. The article discusses the data on the long-time effect of low frequency magnetic fields (IF MF 50 Hz, 0.4 mT, 4h/day, 5 days/week, 26 days) on blood cells and spermatozoa of Wistar rats. It was determined that at different times after exposure (3th, 15th and 30th days) the changes in different quantitative and qualitative indicators of test cells were revealed, some of which are kept in 30 days after exposure.

Keywords: male rats, leukocytes, leukocyte blood elements, spermatozoa, viability, apoptosis, acrosyn reaction, glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase

For citation: Vereschako G. G., Cheshik I. A., Shalatonin V. I., Chueshova N. V., Gorokh G. A., Bakshayeva M. A., Kazlou A. Ya., Tsukanova E. V. Sensibility of rats blood cells and epididymal spermatozoa to low frequency magnetic fields (50 Hz). *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2017, vol. 61, no. 5, pp. 115–120 (in Russian).

Введение. В настоящее время среди различных антропогенных факторов окружающей среды, оказывающих влияние на организм человека, магнитное поле промышленной частоты (МП ПЧ, 50 Гц) является одним из наиболее значимых, так как многочисленные источники этих полей повсеместно распространены не только на производстве, транспорте, но и в быту. Считается, что действие таких полей низкой частоты сопровождается поглощением электромагнитной энергии тканями и повышением их температуры [1]. Несмотря на то что поглощенная энергия недостаточна для того, чтобы вызвать прямые нарушения в клетках ДНК, в них выявляются генотоксические эффекты, экспрессия генов, индукция апоптоза и другие изменения [2].

Значительное внимание в исследованиях уделяется изучению эффектов облучения МП ПЧ (50 Гц) на репродуктивную систему самцов. В ряде работ показано, что продолжительная (14 дней)

и длительная (85 дней) электромагнитная экспозиция в магнитном поле частота 50 Гц вызывает нарушения ее состояния, в том числе снижение диаметра извитых семенных канальцев, повышение их количества на единицу площади семенников, снижение подвижности сперматозоидов и уровня тестостерона в крови [3], редукцию семенных канальцев, увеличение количества клеток Лейдига и дефектных форм эпидидимальных сперматозоидов [4]. Напротив, другие авторы существенных негативных эффектов при 4- и 8-недельном облучении в течение 4 ч ежедневно на репродуктивную систему взрослых крыс не выявили [5]. В связи с этим объективный анализ действия МП НЧ (50 Гц) на чувствительные клетки крови и эпидидимальные сперматозоиды представляет несомненный интерес.

Цель работы – изучение реакции лейкоцитов и лейкоцитарных элементов крови и эпидидимальных сперматозоидов крыс линии Вистар в различные сроки после воздействия ЭМП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТ, 4 ч/день, 5 дней в неделю, суммарная экспозиция 26 дней).

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на крысах-самцах линии Вистар (исходный возраст 4,5 мес, масса $344,85 \pm 2,01$ г), находившихся на стандартном пищевом рационе вивария и имевших свободный доступ к питьевой воде. Контролем служили животные аналогичного возраста и пола, содержащиеся в таких же условиях.

Все животные были разделены на две группы: контроль (интактные животные); животные, которые подвергались воздействию МП ПЧ на специальной установке (50 Гц, 0,4 мТ, 4 ч/день) на протяжении 5 дней в неделю, суммарное количество дней экспозиции – 26.

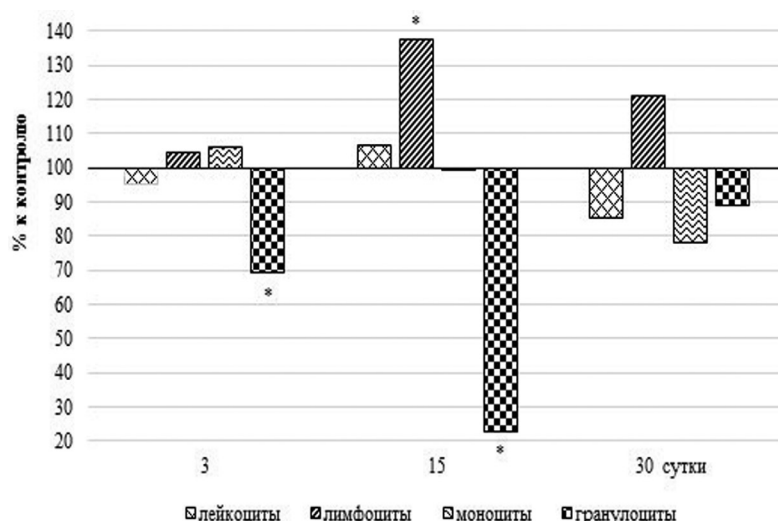
Источником МП являлась установка, состоящая из двух рядом расположенных одинаковых радиальных катушек (катушки Гельмгольца), соединенных таким образом, чтобы обеспечить в них одинаковое направление тока. Расстояние между центрами катушек равнялось их радиусу, что позволило обеспечить наибольшую однородность магнитного поля в рабочей зоне установки. Рабочая зона с магнитным полем, воздействующим на объект исследования, формируется между центрами катушек (примерно $50 \times 50 \times 50$ см).

Опыты проводили на 3-и, 15-е и 30-е сутки после прекращения воздействия. После декапитации животных собирали кровь, в которой определяли количество лейкоцитов и лейкоцитарных элементов крови (лимфоциты, моноциты, гранулоциты) на гемоанализаторе Celltac MEK-63-18 J/K (Япония), выделяли семенные пузырьки и придатки семенников (эпидидимисы), из которых получали зрелые половые клетки, их количество подсчитывали в камере Горяева [6], определяли жизнеспособность [7], число апоптотических и некротических сперматозоидов [8], активность глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы (ГФДГ) [9], активность акрозина [10; 11] и содержание фруктозы в семенных пузырьках [12].

Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами биологической статистики, используя пакеты программ Excel и GraphPad Prism 5. При сравнении двух независимых групп по количественному признаку использовали критерий Манна–Уитни. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что магнитное поле промышленной частоты (50 Гц) в различные сроки после воздействия не оказывало существенного влияния на количество лейкоцитов в крови, за исключением их некоторого снижения к 30-м суткам после экспозиции (до 85,2 % по сравнению с контрольной группой). Однако реакция отдельных лейкоцитарных элементов на облучение является значимой. Так, на 15-е и 30-е сутки после воздействия наблюдали повышение количества лимфоцитов, а на 30-е сутки – снижение числа моноцитов (до 78,3 %, $p < 0,05$), в то время как на 3-и и 15-е сутки отмечается выраженное падение числа гранулоцитов (рисунок). По данным [13] после 30-дневного облучения МП ПЧ (50 Гц, 8 ч/день) у беспородных белых мышей выявляется значительный лейкоцитоз за счет существенного повышения количества лейкоцитарных элементов, в том числе лимфоцитов, моноцитов и гранулоцитов.

МП ПЧ (50 Гц) вызывает существенные нарушения количественных и качественных показателей эпидидимальных сперматозоидов. Во все сроки после облучения выявляется статистически значимое падение количества сперматозоидов, которое снижается в большей степени при увеличении срока после прекращения воздействия и составляет на 3-и, 15-е и 30-е сутки соот-



Влияние МП ПЧ (50 Гц, 4 ч/день) на количество лейкоцитов и лейкоцитарные элементы крови крыс-самцов в различные сроки после воздействия

Influence of low frequency magnetic field (50 Hz, 4 h/day) on the number of leucocytes and leucocyte elements of the blood of male rats during different periods after exposure

ветственно 86,7, 75,6 и 59,9 % по отношению к контролю. Одновременно с уменьшением количества зрелых половых клеток происходит падение их жизнеспособности, которое является достоверным для первых двух сроков наблюдения (таблица).

Изменение некоторых показателей эпидидимальных сперматозоидов крыс в различные сроки после продолжительной экспозиции МП ПЧ (50 Гц, 4 ч/день, 5 дней в неделю, 26 дней)

Change in some indicators of epididymal spermatozoa of rats during different periods after exposure to a low frequency magnetic field (50 Hz, 4 h/day, 5 days/week, 26 days)

Показатель Index	Контроль Control	50 Гц 50 Hz	% к контролю % reliable to control
<i>3-е сутки после облучения</i>			
Количество клеток, $\times 10^6 / \text{г}$	$7,38 \pm 0,36$	$6,40 \pm 0,19^*$	87,78
Жизнеспособность, %	$78,17 \pm 3,10$	$69,50 \pm 1,31^*$	88,91
Апоптотические Спз, %	$0,18 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,02^*$	36,36
Некротические Спз, %	$1,78 \pm 0,12$	$3,47 \pm 0,35^*$	194,39
Активность ГАФДс, мЕд/мг белка	$5,99 \pm 1,77$	$9,70 \pm 2,89$	161,94
Активность акрозина, мг /мин	$2,20 \pm 0,72$	$1,28 \pm 0,44$	106,67
<i>15-е сутки после облучения</i>			
Количество клеток, $\times 10^6 / \text{г}$	$7,76 \pm 0,42$	$5,87 \pm 0,48^*$	75,71
Жизнеспособность, %	$79,50 \pm 2,40$	$67,17 \pm 4,42^*$	84,49
Апоптотические Спз, %	$0,80 \pm 0,09$	$1,03 \pm 0,15$	129,17
Некротические Спз, %	$3,10 \pm 0,40$	$3,48 \pm 0,19$	112,37
Активность ГАФДс, мЕд/мг белка	$6,44 \pm 1,61$	$7,56 \pm 1,55$	101,61
Активность акрозина, мг /мин	$1,11 \pm 0,69$	$2,00 \pm 0,65$	180,18
<i>30-е сутки после облучения</i>			
Количество клеток, $\times 10^6 / \text{г}$	$8,45 \pm 0,29$	$5,06 \pm 0,76^*$	59,96
Жизнеспособность, %	$68,83 \pm 1,78$	$60,83 \pm 3,59$	88,38
Апоптотические Спз, %	$0,67 \pm 0,21$	$2,85 \pm 0,63^*$	427,50
Некротические Спз, %	$1,00 \pm 0,15$	$2,75 \pm 0,33^*$	275,00
Активность ГАФДс, мЕд/мг белка	$4,04 \pm 0,66$	$3,12 \pm 0,86$	77,23
Активность акрозина, мг /мин	$1,64 \pm 0,69$	$2,58 \pm 1,11$	157,32

Примечание: * – достоверно к контролю при $p \leq 0,05$.

Note: * – reliable to control at $p \leq 0.05$.

Активность ГФДГ в сперматозоидах, выделенных из эпидидимисов животных, в различные сроки после воздействия МП ПЧ (50 Гц) претерпевает значительные колебания: на 3-и и 15-е сутки выявляется повышение активности этого фермента (соответственно до 161,9 и 117,4 % к контролю), в то время как через месяц его активность снижается до 72,2 %. Отмечается также, что полученные данные отличаются значительной вариабельностью и поэтому статистически не достоверны. Тем не менее, следует учитывать, что активность исследуемого фермента взаимосвязана с подвижностью клеток, т. е. повышение активности фермента указывает на увеличение числа подвижных сперматозоидов. Исходя из этого, можно считать, что действие МП ПЧ (50 Гц) в начальном периоде (3-и сутки) и в меньшей степени на 15-е сутки вызывает определенную стимуляцию подвижности зрелых половых клеток. Такой результат в отношении активности ГФДГ в сперматозоидах облученных животных можно считать не вполне однозначным. В подобном случае повышение активности фермента, вероятно, является следствием увеличения уровня глутатиона в клетках и эффективной работы клеточной системы антиоксидантной защиты, как предполагают некоторые авторы для объяснения реакции ГФДГ при действии некоторых химических факторов [9].

Длительная экспозиция МП ПЧ (50 Гц) вызывает падение акрозиновой реакции до 58,2 % на 3-и сутки после воздействия по сравнению с контрольной группой животных, в последующие сроки интенсивность этой реакции не только восстанавливается, но и значительно превышает контрольные значения до 180,2 и 157,2 % на 15-е и 30-е сутки соответственно. Следовательно, эффективность проникновения сперматозоидов у облученных животных значительно изменяется от низкой в начальном периоде (3-и сутки) до повышенной в последующие сроки наблюдения при последовательно снижающемся количестве половых клеток.

В начальном периоде у крыс-самцов после экспозиции в магнитном поле отмечается выраженное уменьшение числа апоптотических сперматозоидов при существенном нарастании количества погибших половых клеток путем некроза (почти в 2 раза). В отдаленном периоде (30-е сутки) после экспозиции выявляется выраженная гибель зрелых половых клеток как путем апоптоза, так и некроза. При этом число апоптотических и некротических клеток достигает значительных величин, соответственно 427,5 и 275,0 % по сравнению с контролем. Полученные данные находятся в соответствии с результатами исследований, в которых указывается, что длительное воздействие магнитным полем низкой частоты (10 месяцев) при 500 μ T оказывает влияние на активность каспазы 3, являющейся индуктором апоптоза [14].

Изучение содержания фруктозы в семенных пузырьках, которая является основным источником энергообеспечения сперматозоидов, не выявила существенного изменения этого субстрата, за исключением тенденции к ее повышению на 3-и сутки после экспозиции в магнитном поле до $10,82 \pm 2,12$ ммоль/л, в то время как в контроле она составляет $9,38 \pm 0,91$ ммоль/л.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена повышенная чувствительность лейкоцитарных элементов крови и сперматозоидов, выделенных из эпидидимисов, к длительному действию МП ПЧ (50 Гц). Негативное влияние этого фактора проявляется в значительном падении числа гранулоцитов на 3-и и 15-е сутки, достоверном повышении количества лимфоцитов на 15-е сутки после воздействия и выраженных изменениях количественных и качественных показателей зрелых половых клеток в различные сроки после экспозиции, которые ведут к ухудшению их оплодотворяющей способности у облученных животных.

Заключение. Суммируя вышеизложенное можно отметить, что МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТ, 4 ч/день, на протяжении 5 дней в неделю, суммарное количество дней экспозиции – 26) вызывало значимые изменения количества отдельных лейкоцитарных элементов крови (гранулоциты и лимфоциты) и приводило к выраженным эффектам на изучаемые показатели эпидидимальных сперматозоидов, в том числе к падению их числа и жизнеспособности, нарушению активности глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы и активности акрозина, значительному повышению числа апоптотических и некротических половых клеток, что, в конечном счете, может негативно отразиться на оплодотворяющей способности эпидидимальных сперматозоидов, определяющих фертильность животных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кудряшов, Ю. Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения / Ю. Б. Кудряшов, Ю. Ф. Перов, А. Б. Рубин. – М.: Физматлит, 2008. – 184 с.
2. Extremely low frequency magnetic fields induce spermatogenic germ cell apoptosis: possible mechanism / S. K. Lee [et al.] // *BioMed. Res. Int.* – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–8. doi.org/10.1155/2014/567183
3. Effects of 50 Hz magnetic field on the testes and sperm of adult albino rats / M. Ibrahim [et al.] // *The Open Conference Proceeding J.* – 2014. – Vol. 5, N 1. – P. 8–18. doi.org/10.2174/2210289201405030008
4. Low frequency electromagnetic fields long-term exposure effects on testicular histology, sperm quality and testosterone levels of male rats / A. Bahaodini [et al.] // *Asian Pacific J. Reproduction.* – 2015. – Vol. 4, N 3. – P. 195–200. doi.org/10.1016/j.apjr.2015.06.001
5. Effects of exposure to Extremely Low frequency magnetic fields on Spermatogenesis in adult rats / W. Duan [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 2014. – Vol. 35, N 1. – P. 58–69. doi.org/10.1002/bem.21816
6. Влияние радиационного облучения на витаминный статус и сперматогенез крыс / В. В. Евдокимов [и др.] // *Бюл. эксп. биол. и мед.* – 1997. – Т. 123, № 5. – С. 524–527.
7. World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. – 5th ed. – Geneva, Switzerland: WHO Press, 2010. – 271 p.
8. Association of sperm apoptosis and DNA ploidy with sperm chromatin quality in human spermatozoa / R. Z. Mahfouz [et al.] // *Fertil. Steril.* – 2009. – Vol. 91, N 4. – P. 1110–1118. doi.org/10.1016/j.fertnstert.2008.01.047
9. Низкие концентрации H₂O₂ активируют систему антиоксидантной защиты сперматозоидов человека / В. В. Евдокимов [и др.] // *Биохимия.* – 2015. – Т. 80, № 9. – С. 1431–1439.
10. Химическая природа антиоксидантов и их действие при замораживании семени барана / В. К. Милованов [и др.] // *Животноводство.* – 1981. – № 9. – С. 45–46.
11. Активность акрозина в криоконсервированных спермиях человека / А. В. Дунаевская [и др.] // *Проблемы криобиологии.* – 2003. – № 1. – С. 65–70.
12. Лабораторная диагностика мужского бесплодия / В. В. Долгов [и др.]. – М.; Тверь: «Триада», 2006. – 145 с.
13. Влияние электромагнитного излучения промышленной частоты на гематологические показатели крови грызунов / В. С. Соловьев [и др.] // *Принципы экологии.* – 2016. – № 2. – С. 84–90.
14. Can safe and long-term exposure to extremely low frequency (50 Hz) magnetic fields affect apoptosis, reproduction and oxidative stress / M. Z. Akdag [et al.] // *Int. J. Radiat. Biol.* – 2013. – Vol. 89, N 12. – P. 1053–1060. doi.org/10.3109/09553002.2013.817705

References

1. Kudryashov Yu. B., Perov Yu. F., Rubin A. B. *Radiation biophysics: radio frequency and micro wave electromagnetic radiations.* Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 184 p. (in Russian).
2. Lee S. K., Park S., Gimm Y.-M., Kim Y.-W. Extremely low frequency magnetic fields induce spermatogenic germ cell apoptosis: possible mechanism. *BioMed Research International*, 2014, vol. 2014, pp. 1–8. doi.org/10.1155/2014/567183
3. Ibrahim M., Abdelrahman G., Salem A., Abdelkader G. Effects of 50 Hz magnetic field on the testes and sperm of adult albino rats. *The Open Conference Proceeding Journal*, 2014, vol. 5, no. 1, pp. 8–18. doi.org/10.2174/2210289201405030008
4. Bahaodini A., Owjfar M., Tamadon A., Jafari S. M. Low frequency electromagnetic fields long-term exposure effects on testicular histology, sperm quality and testosterone levels of male rats. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 2015, vol. 4, no. 3, pp. 195–200. doi.org/10.1016/j.apjr.2015.06.001
5. Duan W., Liu C., Wu H., Chen C., Zhang T., Gao P., Luo X., Yu Z., Zhou Z. Effects of exposure to Extremely Low frequency magnetic fields on Spermatogenesis in adult rats. *Bioelectromagnetics*, 2014, vol. 35, no. 1, pp. 58–69. doi.org/10.1002/bem.21816
6. Evdokimov V. V., Kodentsova V. M., Vrzhesinskaya O. A., Yakushina L. M., Erasova V. I., Kirpatovsiky V. I., Sakharov I. Y. Influence of radiation on vitamin status and spermatogenesis in rats. *Bulleten experimentalnoy biologii i meditsiny = Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 1997, vol. 123, no. 5, pp. 524–527 (in Russian).
7. World Health Organization. *WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen.* 5th ed. WHO Press, Geneva, Switzerland, 2010. 271 p.
8. Mahfouz R. Z., Sharma R. K., Said T. M., Erenpreiss J., Agarwal A. Association of sperm apoptosis and DNA ploidy with sperm chromatin quality in human spermatozoa. *Fertility and Sterility*, 2009, vol. 91, no. 4, pp. 1110–1118. doi.org/10.1016/j.fertnstert.2008.01.047
9. Evdokimov V. V., Barinov K. V., Turovetsky V. B., Muronets V. I., Schmalhausen E. V. Low concentrations of H₂O₂ activate antioxidant defense system of human spermatozoa. *Biohimiya = Biochemistry*, 2015, vol. 80, no. 9, pp. 1431–1439 (in Russian).
10. Milovanov V. K., Koltsov E. A., Shaydullina I. N., Varnavskih V. A. The chemical nature of antioxidants and their behavior when freezing semen of sheep. *Jivotnovodstvo = Animal Breeding*, 1981, no. 9, pp. 45–46 (in Russian).
11. Dunaevskaya A. V., Chub N. N., Kramar M. I., Rodionova V. L. Akrozin activity in cryopreserved human spermatozoa. *Problemye criobiologii = Problems of Cryobiology*, 2003, no. 1, pp. 65–70 (in Russian).
12. Dolgov V. V., Lugovskaya S. A., Fanchenko N. D., Mironov I. I., Nazarov E. K., Rakova N. G., Rakov S. S., Selivanov T. S., Shchelochkov A. M. *Laboratory diagnosis of male infertility.* Moscow; Tver, Triada, 2006. 145 p. (in Russian).

13. Solovyev V. S., Zhevnovskaya A. N., Gashev S. N., Solovyeva S. V. Influence of electromagnetic radiation of industrial frequency on the peripheral blood hematological parameters of the rodents. *Printsipy ekologii = Principles of the Ecology*, 2016, no. 2, pp. 84–90 (in Russian).

14. Akdag M. Z., Dasdag S., Uzunlar A. K., Ulukaya E., Oral A. Y., Çelik N., Akşen F. Can safe and long-term exposure to extremely low frequency (50 Hz) magnetic fields affect apoptosis, reproduction and oxidative stress. *International Journal of Radiation Biology*, 2013, vol. 89, no. 12, pp. 1053–1060. doi.org/10.3109/09553002.2013.817705

Информация об авторах

Верещако Геннадий Григорьевич – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: vereschako2@tut.by.

Чешик Игорь Анатольевич – канд. мед. наук, доцент, директор. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: igor.cheshik@gmail.com.

Шалатонин Валерий Иванович – канд. техн. наук, доцент. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shalatonin@bsuir.by.

Чуешова Наталья Владимировна – науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: natalya-chueshova@tut.by.

Горох Григорий Андреевич – заведующий лабораторией. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: gyryn@tut.by.

Бакишаева Маргарита Александровна – науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: m.bakshaeva@yandex.ru.

Козлов Александр Евгеньевич – мл. науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: cozlov.aleksander@yandex.ru.

Цуканова Елена Владимировна – мл. науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: elenatsukanova14@gmail.com.

Information about the authors

Vereschako Gennady Grigorievich – Ph. D. (Biology), Leading researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskii Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: vereschako2@tut.by.

Cheshik Igor Anatolievich – Ph. D. (Medicine), Assistant Professor, Director. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskii Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: igor.cheshik@gmail.com.

Shalatonin Valery Ivanovich – Ph. D. (Engineering), Assistant Professor. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (6, P. Browka Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shalatonin@bsuir.by.

Chueshova Natalya Vladimirovna – Researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskii Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: natalya-chueshova@tut.by.

Gorokh Gregory Andreevich – Head of the Laboratory. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskii Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: gyryn@tut.by.

Bakshayeva Margaryta Alexandrovna – Researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskii Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: m.bakshaeva@yandex.ru.

Kazlou Aliaksandr Evgenievich – Junior researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskii Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: cozlov.aleksander@yandex.ru.

Tsukanova Elena Vladimirovna – Junior researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskii Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: elenatsukanova14@gmail.com.