

УДК 537.811.57

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕССЫ СВОБОДНОРАДИКАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ¹**Барышев М. Г.², Басов А. А.³, Копытов Г. Ф.⁴, Ильченко Г. П.⁵,
Шашков Д. И.⁶, Арцыбашева О. М.⁷, Джимаков С. С.⁸**

THE INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON PEROXIDATION PROCESS

Barisev M. G.^{*}, Basov A. A.^{**}, Kopitov G. F.^{*}, Ilchenko G. P.^{*}, Shashkov D. I.^{*}, Artsybasheva O. M.^{*}, Dzhimak S. S.^{*}^{*} Kuban State University, Krasnodar, Russia, e-mail: jimack@mail.ru^{**} Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

Abstract: Influence of low frequency electromagnetic fields on experimental animals results in the formation of free radicals, which are recorded by means of chemiluminescence and EPR spectroscopy. It is shown that the use of water with a modified isotopic composition reduces the intensity of free radical oxidation from exposure to electromagnetic fields.

Keywords: low-frequency electromagnetic field, free radicals, deuterium, ESR spectroscopy.

Введение

В настоящее время накопилось достаточно большое количество достоверных экспериментальных данных о нетепловых эффектах электромагнитных полей, о чрезвычайно высокой чувствительности к электромагнитным полям (в том числе слабым) живых организмов самых различных классов — от одноклеточных до человека. Биологические исследования показали, что самые различные организмы чувствительны к постоянному магнитному и переменному электромагнитному полю различных частот [1, 2].

Первые теоретические модели возможных механизмов действия электромагнитного поля низких частот на биологические объекты сделали принципиально возможным прогноз действия этих полей на биологические объекты. Основным ограничением тео-

ретических работ явилась локальность исходных посылок, в результате которой весь спектр возможных резонансных механизмов сводился лишь к действию на концентрации нескольких ионов. Согласно точке зрения В.В. Новикова конструктивным может оказаться подход к теоретическому анализу эффектов действия ЭМП НЧ при учете коллективных взаимодействий внешних электрических и магнитных полей с ансамблем большого числа ионов. Система взаимодействующих ионов, вероятно, приводит к образованию заряженных полиионных структур — кластеров и их взаимодействию с ЭМП НЧ. Эти структуры могут обладать свойством электрохимического аккумулятора, преобразующего энергию внешнего электрического поля, а также часть энергии среды в энергию химических реакций, при управляющем действии на эти процессы слабых компо-

¹Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (4.1755.2011, 4.849.2011).

²Барышев Михаил Геннадьевич, д-р биол. наук, профессор кафедры радиофизики и нанотехнологий Кубанского государственного университета; e-mail: science-pro@kubsu.ru.

³Басов Александр Александрович, канд. мед. наук, доцент кафедры фундаментальной и клинической биохимии Кубанского государственного медицинского университета Минздравсоцразвития России; e-mail: son_sunytch79@mail.ru.

⁴Копытов Геннадий Филиппович, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и нанотехнологий Кубанского государственного университета; e-mail: g137@mail.ru.

⁵Ильченко Геннадий Петрович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры радиофизики и нанотехнологий Кубанского государственного университета; e-mail: g_ilchenko@rambler.ru.

⁶Шашков Денис Игоревич, преподаватель кафедры радиофизики и нанотехнологий Кубанского государственного университета; e-mail: shinix@qip.ru.

⁷Арцыбашева Оксана Михайловна, студент кафедры радиофизики и нанотехнологий Кубанского государственного университета; e-mail: arcybasheva@mail.ru.

⁸Джимаков Степан Сергеевич, канд. биол. наук, доцент кафедры радиофизики и нанотехнологий Кубанского государственного университета, научный сотрудник лаборатории проблем природных и новых материалов Южного научного центра РАН; e-mail: jimack@mail.ru.

нентов поля, обеспечивающих их когерентность. Очевидно, что низкочастотное ЭМП может выполнять лишь управляющую функцию, производя перераспределение суммарной энергии между компонентами раствора. При этом инициация химических реакций типа конденсации аминокислот является следствием снижения барьера энергии активации за счет ионной организации структуры раствора, т.е. ЭМП НЧ может выполнять функцию селективного катализатора. Согласно этой концепции снимается ряд ограничений на возможность резонансного избирательного действия таких полей на биологические системы [3].

Так, например, Н.А. Темурьянц на 1330 беспородных белых крысах было показано, что ежедневное трехчасовое воздействие переменного магнитного поля с частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл приводит к снижению функционального состояния нейтрофилов на 8–12% уже в первые дни эксперимента [4].

Исследовано влияние ЭМП низкой частоты на содержание эритроцитов в периферической крови животных. Экспериментально установлено, что после начала ежедневного воздействия на 4–5 сут. у опытных животных наблюдается достоверное (на 15–19%) снижение количества эритроцитов в крови по сравнению с контрольными животными. На 16 сут. ежедневного воздействия магнитным полем низкой частоты в эритроцитах у животных увеличивается содержание более мелких форм клеток. То есть при многодневном действии происходят значительные обратимые изменения морфологического состава крови у мышей, что закономерно проявляется в заметном снижении количества эритроцитов в циркулирующей крови, увеличении размеров депо крови (печени и селезенки) [5].

Таким образом, воздействие электромагнитного поля низких частот способно вызывать образование свободных радикалов в организме лабораторных животных при длительном воздействии.

Ранее нами было показано, что употребление воды с модифицированным изотопным составом с пониженным содержанием дейтерия позволяет купировать окислительный стресс, вызванный гнойным воспалением мягких тканей [6, 7]. В настоящей работе проведены исследования возможности купирования окислительного стресса, вызванного воздействием электромагнитного поля низких частот.

1. Методика проведения эксперимента

На основе ранее проведенных работ, кровь лабораторных животных подвергалась обработке электромагнитным полем в диапазоне 3–16 Гц, магнитной индукцией 30 мкТл. Обработка крыс низкочастотным электромагнитным полем производилась по методике, описанной в [8–10]. Время, в течение которого проводилась воздействие составляло 1 час. Измерение магнитной индукции проводилось при помощи портативного прибора «Экофизика-110А», погрешность измерений которого составляла $\pm 3\%$.

В эксперименте крысы были разделены на несколько групп:

- пьющие дистиллированную минерализованную воду, лабораторные животные ($n = 7$);
- пьющие дистиллированную минерализованную воду, лабораторные животные, облучаемые радиочастотным электромагнитным полем ($n = 7$);
- пьющие дистиллированную минерализованную воду с пониженным содержанием дейтерия (80 ppm), лабораторные животные, облучаемые радиочастотным электромагнитным полем ($n = 7$).

Измерение спектров ЭПР лиофилизированных органов проводилось при комнатной температуре на спектрометре JES Fa 300 (JEOL, Япония) в X-диапазоне [11]. Лиофилизация проводилась при помощи лиофильной сушилки ЛС-1000.

Вода с пониженным содержанием дейтерия получена на установке, разработанной в Кубанском государственном университете [12, 13]. Исходная концентрация дейтерия в воде составляла 40 ppm (≈ 85 мг/л). Ее разбавляли дистиллированной водой с содержанием дейтерия 150 ppm до концентрации 80 ppm. По международному стандарту SMOW абсолютное содержание дейтерия в океанической воде составляет $155,76 \pm 0,05$ ppm (≈ 330 мг/л).

Для определения частоты, наиболее эффективно вызывающей окислительный стресс у лабораторных животных, образцы крови в объеме 0,5 мл помещались в пластиковые кюветы (14 штук для крыс, употреблявших обычную воду и 14 штук для крыс, употреблявших воду с содержанием дейтерия 80 ppm). Каждый образец подвергался воздействию ЭМП НЧ с различной частотой (3–16 Гц) в течение 10 мин. Изучались

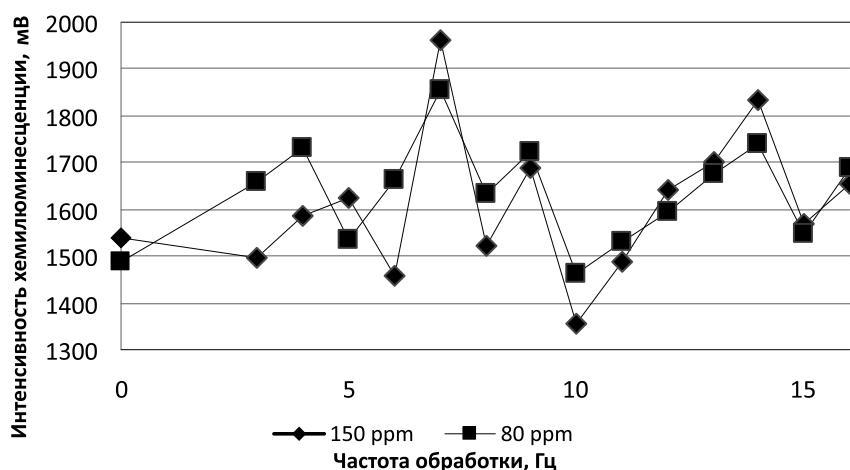


Рис. 1. Результаты измерения хемилюминесценции крови крыс, употреблявших обычную воду и воду с содержанием дейтерия 80 ppm

показатели хемилюминесценции крови после обработки ЭМП НЧ, по полученным данным производился выбор наиболее оптимальной частоты для воздействия на лабораторных животных.

Использованный в работе хемилюминескометр Lum-5773 измеряет интенсивность света, возникающего в химических и биологических образцах. Значения интенсивности свечения соответствуют световому потоку, т.е. количеству фотонов в единицу времени. При этом $1 \text{ мВ} \approx 1 \text{ фотону/сек.}$

2. Результаты и их обсуждение

Результаты исследования образцов крови лабораторных животных, на хемилюминескометре представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, направленность хемилюминесценции при обработке образцов крови крыс употреблявших обычную воду и воду с пониженным содержанием дейтерия при ее обработке в диапазоне 3–16 Гц одинакова. Наиболее предпочтительной частотой для обработки лабораторных животных ЭМП НЧ является 7 Гц, т.к. в обоих случаях на этой частоте наблюдается максимальная вспышка хемилюминесценции.

У крыс, употреблявших обычную воду (с содержанием дейтерия 150 ppm) наблюдалось увеличение количества парамагнитных центров на 16–19% по сравнению с контрольной емкостью (рис. 2). У крыс, употреблявших воду с пониженным содержанием дейтерия в лиофилизированных органах (печени, почках, сердце) наблюдалось увеличение количества парамагнитных центров в сравнении с контрольной группой на 3–5%.

Это свидетельствует о том, что вода с пониженным содержанием дейтерия оказывает влияние на прооксидантно-антиоксидантную систему организма, снижая интенсивность свободнорадикального окисления и восстанавливая потенциал эндогенной антиоксидантной системы при воздействии внешнего низкочастотного ЭМП на организм [14]. При воздействии низкочастотным электромагнитным полем положительный эффект воды с пониженным содержанием дейтерия объясняется ее возможным иммуномодулирующим эффектом, позволяющим уменьшить отрицательное воздействие электромагнитного поля на организм.

Заключение

Таким образом, вода с пониженным содержанием дейтерия оказывает влияние на прооксидантно-антиоксидантную систему организма, снижая интенсивность свободнорадикального окисления и восстанавливая потенциал эндогенной антиоксидантной системы при воздействии внешнего низкочастотного ЭМП на организм. Следует отметить, что в плазме крови и тканях организма лабораторных животных происходит достоверное снижение концентрации дейтерия при употреблении воды с пониженным содержанием дейтерия. При воздействии низкочастотным электромагнитным полем положительный эффект воды с пониженным содержанием дейтерия объясняется ее возможным иммуномодулирующим эффектом, позволяющим уменьшить отрицательное воздействие электромагнитного поля на организм.

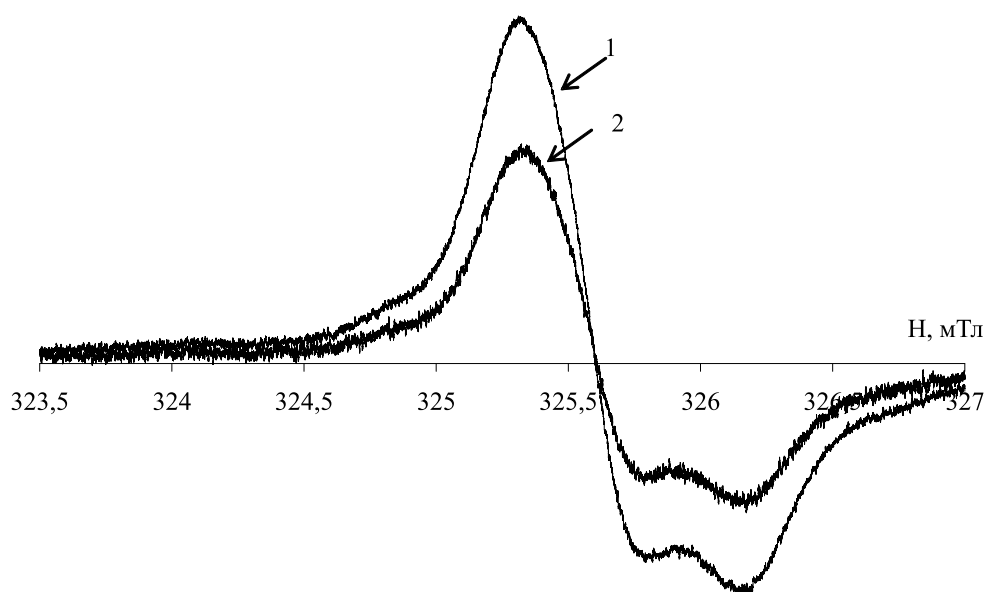


Рис. 2. ЭПР спектры лиофилизированных тканей печени лабораторных животных, подвергнутых воздействию ЭМП (1) и контрольной группы (2)

Литература

1. Барышев М. Г., Касьянов Г. И., Джимаков С. С. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 3. С. 44–48.
2. Новиков В. В., Кузичкин В. В., Фесенко Е. Е. Влияние слабых комбинированных постоянного и переменного магнитных полей на собственную флуоресценцию ряда белков в водных растворах // Биофизика. 1999. Т. 44. Вып. 2. С. 224–230.
3. Новиков В. В. Электромагнитная биоинженерия // Биофизика. 1998. Т. 43. Вып. 4. С. 588–593.
4. Темурьянц Н. А., Михайлов А. В., Малыгина В. И. Модификация стресс-фактором реакций крыс на действие слабых переменных магнитных полей // Биофизика. 1995. Т. 40. Вып. 5. С. 969–973.
5. Сташков А. М., Горохов И. Е. Гипоксическое и антиокислительное биологическое действие многодневного применения слабого переменного магнитного поля сверхнизкой частоты // Биофизика. 1998. Т. 43. Вып. 5. С. 807–810.
6. Барышев М. Г., Басов А. А., Болотин С. Н., Джимаков С. С., Кашаев Д. В., Федосов С. Р., Фролов В. Ю., Малышко В. В., Власов Р. В. ЯМР и ЭПР исследование влияния воды с пониженным содержанием дейтерия на показатели прооксидантно-антиоксидантной системы у лабораторных животных // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2011. Вып. 3. С. 16–20.
7. Барышев М. Г., Джимаков С. С., Долгов М. А., Дыдыкин А. С., Касьянов Г. И. О возможности применения воды с модифицированным изотопным составом и рН в мясной промышленности // Известия вузов. Пищевая технология. 2012. № 2–3. С. 42–44.
8. Барышев М. Г., Джимаков С. С., Кадамша А. М. Исследование влияния магнитообработанной воды на биологические объекты // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. № 2. С. 69–74.
9. Барышев М. Г., Васильев Н. С., Джимаков С. С. Влияние воды, обработанной ЭМП КНЧ на микроорганизмы *Saccharomyces cerevisiae* // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 2. С. 22–25.
10. Барышев М. Г., Васильев Н. С., Джимаков С. С. О корреляции между временем спин-спинной релаксации магнитообработанной воды и выживаемостью // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2010. Вып. 1. С. 26–31.
11. Барышев М. Г., Басов А. А., Болотин С. Н., Джимаков С. С., Федосов С. Р., Фролов В. Ю., Кашаев Д. В., Лысак Д. А., Шашков Д. И., Тимаков А. А. Оценка антирадикальной активности воды с модифицированным изотопным составом с помощью ЯМР, ЭПР и масс-спектропии // Известия РАН. Серия Физическая. 2012. Т. 76. № 12. С. 1507–1510.
12. Барышев М. Г., Болотин С. Н., Джимаков С. С., Фролов В. Ю., Долгов М. А., Шашков Д. И., Петриев И. С., Пижук А. А. Способы получения воды с пониженным содержанием

ем дейтерия // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2013. № 1. С. 13–17.

13. Барышев М. Г., Болотин С. Н., Васильев Н. С., Джимаков С. С., Долгов М. А., Фролов В. Ю. Электрохимический способ получения и биологические свойства воды с пониженным содержанием дейтерия // Наука Кубани. 2010. № 3. С. 18–21.

References

1. Baryshev M.G., Kasjanov G.I., Dzhimak S.S. Vliyanie nizkochastotnogo jelektromagnitnogo polja na biologicheskie sistemy [Effect of low-frequency electromagnetic fields on biological systems]. *Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija* [Proceedings of the Universities. Food Technology], 2007, no. 3, pp. 44–48. (In Russian)
2. Novikov V.V., Kuvichkin V.V., Fesenko E.E. Vliyanie slabых kombinirovannyh postojannogo i peremennogo magnitnyh polej na sobstvennuju fluoriscenciju rjada belkov v vodnyh rastvorah [The effect of weak combined direct and alternating magnetic fields on its own fluorescence of a number of proteins in aqueous solutions]. *Biofizika* [Biophysics], 1999, vol. 44, no. 2, pp. 224–230. (In Russian)
3. Novikov V.V. Jelektromagnitnaja bioinzhenierija [Electromagnetic bioengineering]. *Biofizika* [Biophysics], 1998, vol. 43, no. 4, pp. 588–593. (In Russian)
4. Temurjanc N.A., Mihajlov A.V., Malygina V.I. Modifikacija stress-faktorom reakcij krysa na dejstvie slabых peremennyh magnitnyh polej [Modification of the stress-factor reactions rats on the action of the weak alternating magnetic field]. *Biofizika* [Biophysics], 1995, vol. 40, no. 5, pp. 969–973.
5. Stashkov A.M., Gorohov I.E. Gipoksicheskoe i antiokislitel'noe biologicheskoe dejstvie mnogodnevno primeneniya slabogo peremennogo magnitnogo polja sverhnizkoj chastoty [Hypoxic and biological antioxidant action of the multi-use weak alternating magnetic field of low frequency]. *Biofizika* [Biophysics], 1998, vol. 43, no. 5, pp. 807–810. (In Russian)
6. Baryshev M.G., Basov A.A., Bolotin S.N., Dzhimak S.S., Kashaev D.V., Fedosov S.R., Frolov V.Yu., Malyshko V.V., Vlasov R.V. JaMR i JePR issledovanie vlijaniya vody s ponizhennym soderzhaniem deiterija na pokazateli prooksidantno-antioksidantnoj sistemy u laboratornyh zhivotnyh [NMR and EPR study of the influence of water with low content of deuterium on indicators of prooxidant-antioxidant system in laboratory animals]. *Ekologicheskij vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of

14. Басов А. А., Барышев М. Г., Быков И. М., Павлюченко И. И., Джимаков С. С., Сенишвили Р. И. Воздействие воды с модифицированным изотопным составом на интенсивность свободнорадикальных процессов в эксперименте на лабораторных животных // Аллергология и иммунология. 2012. Т. 13. № 4. С. 314–320.

- Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2011, no. 3, pp. 16–20. (In Russian)
7. Baryshev M.G., Dzhimak S.S., Dolgov M.A., Dydykin A.S., Kas'janov G.I. O vozmozhnosti primeneniya vody s modifitsirovannym izotopnym sostavom i pH v mjasnoj promyshlennosti [About possibility to use the water with modified isotopic composition and pH in the meat industry]. *Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija* [Proceedings of the Universities. Food Technology], 2012, no. 2–3, pp. 42–44. (In Russian)
8. Baryshev M.G., Dzhimak S.S., Kadamsha A.M. Issledovanie vlijaniya magnitoobrabotannoj vody na biologicheskie ob'ekty [Investigation of the influence of magnetic water on biological objects]. *Vestnik RUDN. Serija Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti* [Bulletin of People's Friendship University of Russia. Series Ecology and Life Safety], 2008, no. 2, pp. 69–74.
9. Baryshev M.G., Vasil'ev N.S., Dzhimak S.S. Vlijanie vody, obrabotannoj JeMP KNCh na mikroorganizmy *Saccharomyces cerevisiae* [The influence of water treated ELF EMF on microorganisms *Saccharomyces cerevisiae*]. *Vestnik RUDN. Serija Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti* [Bulletin of People's Friendship University of Russia. Series Ecology and Life Safety], 2009, no. 2, pp. 22–25. (In Russian)
10. Baryshev M.G., Vasil'ev N.S., Dzhimak S.S. O korrelyacii mezhdru vremenem spin-spinovoj relaksacii magnitoobrabotannoj vody i vyzhivaemost'ju [About the correlation between the time of spin-spin relaxation magnetoresonance water and survival]. *Ekologicheskij vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2010, no. 1, pp. 26–31. (In Russian)
11. Baryshev M.G., Basov A.A., Bolotin S.N., Dzhimak S.S., Fedosov S.R., Frolov V.Yu., Kashaev D.V., Lysak D.A., Shashkov D.I., Timakov A.A. Ocenka antiradikal'noj aktivnosti vody s modifitsirovannym izotopnym sostavom s pomoshh'ju JaMR, JePR i mass-spektroskopii [Assessment of antiradical

- activity of water with modified isotopic composition with the help of NMR, EPR and mass-spectroscopy]. *Izvestija RAN. Serija Fizicheskaja* [Proc. of the Academy of Sciences. Series Physical], 2012, vol. 76, no. 12, pp. 1507–1510. (In Russian)
12. Baryshev M.G., Bolotin S.N., Dzhimak S.S., Frolov V.Yu., Dolgov M.A., Shashkov D.I., Petriev I.S., Pikula A.A. Sposoby poluchenija vody s ponizhennym soderzhanijem dejterija [Ways of getting water with low content of deuterium]. *Ekologicheskij vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2013, no. 1, pp. 13–17. (In Russian)
13. Baryshev M.G., Bolotin S.N., Vasil'ev N.S., Dzhimak S.S., Dolgov M.A., Frolov V.Yu. Jeletrohimicheskij sposob poluchenija i biologicheskie svojstva vody s ponizhennym soderzhanijem dejterija [Electrochemical method of obtaining and biological properties of water with low content of deuterium]. *Nauka Kubani* [Science of Kuban], 2010, no. 3, pp. 18–21. (In Russian)
14. Basov A.A., Baryshev M.G., Bykov I.M., Pavljuchenko I.I., Dzhimak S.S., Sepiashvili R.I. Vozdejstvie vody s modifirovannym izotopnym sostavom na intensivnost' svobodno-radikal'nyh processov v jeksperimente na laboratornyh zhivotnyh [Exposure to water with a modified isotopic composition on the rate of free radical processes in the experiment on laboratory animals]. *Allergologija i immunologija* [Allergology and immunology], 2012, vol. 13, no. 3, pp. 314–320. (In Russian)

Статья поступила 5 ноября 2013 г.

© Барышев М. Г., Басов А. А., Копытов Г. Ф., Ильченко Г. П., Шашков Д. И., Арцыбашева О. М., Джимак С. С., 2014