

ТЕХНОГЕННОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

© 2023 Р.З. Лифанова^{1,2}, В.С. Орлова¹

¹ Российский университет дружбы народов, г. Москва (Россия)

² Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова,
г. Москва (Россия)

Поступила 08.02.2023

Аннотация. Статья посвящена одной из наиболее важных тем современного мира – проблеме увеличения фонового электромагнитного поля окружающей среды. Представлены литературные данные, свидетельствующие о неблагоприятном воздействии электромагнитного излучения на здоровье человека. Рассмотрены работы по изучению воздействия электромагнитного излучения на живой организм посредством учета и анализа эффектов данного фактора на окислительно-восстановительные свойства воды. Показан возможный механизм действия электромагнитного излучения на биологические объекты посредством вызванных рассматриваемым фактором изменений в жидкой среде организма. Предложена защита от негативного влияния электромагнитного излучения в виде укрепления нервной системы, а также усиления антиоксидантной защиты организма, путем уменьшения энтропии молекул воды в жидкой среде организма за счет потребления продуктов, богатых антиоксидантами и применения антиоксидантных препаратов. Отмечена необходимость максимального снижения воздействия негативных факторов, а именно, уменьшения частоты использования потенциальных источников техногенного электромагнитного излучения.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, окислительный стресс, окислительно-восстановительный потенциал.

Введение

Электромагнитные поля (ЭМП) как фактор окружающей среды, оказывающий неблагоприятное воздействие на здоровье человека, изучены в значительно меньшей степени, чем такие экологические факторы, как радиационное, химическое, промышленное загрязнение. В связи с масштабным повсеместным внедрением технологий (компьютеры, сотовые телефоны, Wi-Fi роутеры, антенны, микроволновые печи и т.д.) в последние несколько десятилетий наблюдается возрастание уровня антропогенных электромагнитных полей окружающей среды (Яценко и др., 2017). Суточная мощность радиоизлучения передающих станций за полвека возросла более чем в 50 тысяч раз. На сегодняшний день величина фонового ЭМП увеличена в сотни раз. Помимо ЭМП природного происхождения, основным источни-

ком которого является ионосфера земли (Цетлин и др., 2019) биологические объекты подвержены техногенному излучению. В процессе длительного исследования (2000–2014 гг.) влияния коммуникационных устройств на состояние здоровья студентов был обнаружен рост электромагнитной нагрузки от персональных компьютеров в 2,83 раза, мобильных телефонов в 20,34 раза (Яценко и др., 2017). В будние дни фоновое ЭМП на 1–2 порядка выше рассматриваемого показателя в выходные дни (рис. 1), что указывает на положительную корреляцию повсеместного использования потенциальных источников электромагнитной энергии и увеличения степени загрязненности окружающей среды ЭМП техногенного происхождения.

На рис. 1 показано стабильное повышение рН воды в выходные дни на фоне снижения тока в электрохимических ячейках, в то время как в рабочие дни наблюдается обратная динамика. Изменение окислительно-восстановительных свойств воды вызывается активацией молекул воды ЭМП, сопровождающейся диссоциацией

Лифанова Раэно Зобидовна, мл. научный сотрудник, аспирант, torazo-414@mail.ru;
Орлова Валентина Сергеевна, профессор, докт. биол. наук, orlova-vs@rudn.ru

молекул воды и изменением концентрации ионов гидроксония H^3O^+ , гидроксила OH^- , супероксида кислорода O_2^- , различных водных радикалов ти-

па гидроксильного радикала OH^\bullet (Лифанова и др., 2019).

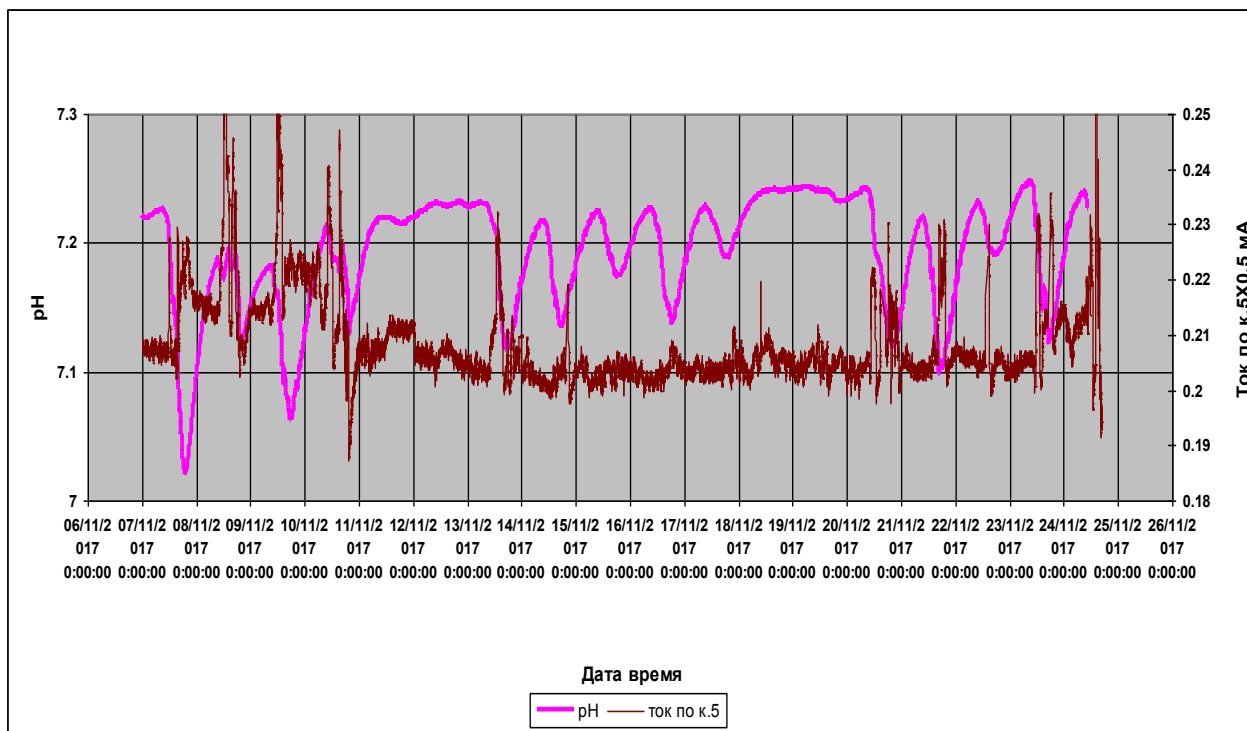


Рис. 1. Динамика окислительно-восстановительных параметров воды и токов в электрохимической ячейке.
Fig. 1. Dynamics of redox parameters of water and currents in an electrochemical cell.

По мнению В.В. Цетлина и Г.С. Файнштейна (2012), воздействие окружающего околоземного пространства на воду может привести к изменениям собственно структуры воды, что может оказать воздействие на физиологические процессы в живых организмах. Известно, что концентрация молекул воды в живой клетке на 2–3 порядка превышает концентрацию белковых и других молекул, входящих в состав цитоплазмы. Вода способна отражать внешние факторы воздействия в изменениях структуры, оказывая влияние на процессы жизнедеятельности человека (Зенин и др., 1997). В работе Н.К. Белишевой и соавторов (2020) описана связь перемены психофизического состояния людей с флуктуациями свойств воды, выраженными через окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), в условиях архипелага Шпицберген. При этом установлена прямая корреляция возрастания значений ОВП с улучшением общего состояния организма, в то время как, при снижении значений ОВП наблюдалось ухудшение психофизического состояния. Проведенные исследования показали, что вода представляет собой детектор, чувствительный к воздействию космофизических агентов, колебания значений ОВП отражаются в синхронных колебаниях функционального состоя-

ния биологических систем, что позволяет считать такой детектор моделью, имитирующей состояние водной среды в организме.

Таким образом, мониторинг ЭМП техногенного происхождения и определение механизма их действия являются актуальной задачей и требуют дальнейших исследований.

Источники техногенных электромагнитных полей

К антропогенным источникам ЭМП условно относят оборудование и устройства, созданные человеком и генерирующие ЭМП в процессе их эксплуатации. Антропогенные источники ЭМП можно разделить на две группы (Григорьев, 1997):

1. Источники ЭМП низких и сверхнизких частот (0–3 кГц), генерирующие статические и магнитные поля – устройства выработки, передачи и распределения электроэнергии (линии электропередач, электростанции, система электропроводки, офисная электротехника, транспорт на электроприводе);
2. Источники ЭМП радиочастотного и микроволнового диапазона (3 кГц – 300 ГГц) – медицинские терапевтические и диагностические установки, (20 МГц – 3 ГГц) радиостанции, мик-

роволновые печи, теле- и радиопередатчики, спутниковая связь и так далее.

При этом значительную часть второй группы занимают функциональные передатчики – устройства, используемые в целях передачи и/или получения информации. Воздействие радиочастотных электромагнитных полей (ЭМП) является одним из наиболее распространенных и быстрорастущих антропогенных факторов на окружающую среду. Искусственные источники радиочастотных ЭМП в основном используются для телекоммуникационных целей, таких как радио- и телевидение, мобильная телефония, спутниковая передача, Wi-Fi и многие другие беспроводные коммуникации. Также ЭМП радиочастотного диапазона применяются в целях обеспечения безопасности и навигации (радиочастотная идентификация, радиолокация и радары), в промышленности (отопление и сварка) и сельском хозяйстве (например, борьба с насекомыми и обработка продуктов). Глобальное распространение этих источников, особенно беспроводной связи, приводит к повсеместному распространению антропогенных ЭМП радиочастотного диапазона в окружающей среде.

Учитывая многообразие техногенных источников ЭМП, современные условия экспозиции человека можно охарактеризовать многообразием одновременно присутствующих в окружающей среде мультисигнальных сигналов.

Некоторые биологические эффекты

Влияние ЭМП на биологические объекты является общеизвестным фактом. Ученые ведущих стран активно занимаются изучением данного вопроса. Ответ организма на рассматриваемый фактор зависит как от характеристик ЭМП, так и от состояния мишени. При этом наибольший интерес вызывают биологические эффекты ЭМП радиочастотного диапазона, так как специфика взаимодействия полей этого диапазона с биологическими объектами, которая складывается из характера поглощения энергии поля и соответствующей биологической реакции, в условиях экспозиции, в настоящее время исследована не в полной мере.

В исследовании влияния ЭМП на дестабилизацию генома клеток костного мозга крыс линий с контрастной возбудимостью нервной системы (Дюжикова и др., 2019) подтверждается зависимость восприимчивости организма к ЭМП от генотипа животных и функционального состояния их нервной системы.

В 2011 году рабочая группа экспертов Международного агентства по исследованию рака классифицировала ЭМП, излучаемое сотовыми телефонами, как канцероген для людей группы

2В («возможный») (International commission..., 2020).

Анализ результатов исследований и отчетов Международной комиссии по защите неионизирующих излучений показал, что люди, которые более 50 минут в день используют мобильный телефон, могут иметь раннюю деменцию или другие термические повреждения из-за сжигания глюкозы в мозге (Moradi et al., 2016).

Широкое распространение получило направление по изучению влияния ЭМИ на репродукцию и детей. Как *in vivo*, так и *in vitro* исследования сперматозоидов человека подтверждают неблагоприятное влияние ЭМП на протеом яичка и другие показатели репродуктивного здоровья мужчин, включая бесплодие (Adams et al., 2014; Houston et al., 2016; Kesari et al., 2018). Авторы обнаружили существенно измененную фрагментацию ДНК спермы у субъектов, которые используют мобильные телефоны более 4 часов в день, и особенно у тех, кто помещает устройство в карман брюк (Rago et al., 2013).

Установлено, что риски для детей от воздействия радиочастотного излучения сотовых телефонов, выше, чем для взрослых (Redmayne et al., 2013), при этом отмечается изменение эмоционального состояния и поведения детей, пользующихся мобильными устройствами, а также детей, подверженных родовому воздействию излучения сотовых телефонов (Divan et al., 2008; De-Sola Gutiérrez et al., 2016).

Особое внимание следует уделить влиянию ЭМП на возникновение оксидативного стресса. В ряде исследований эффектов ЭМП мобильных телефонов на биологические объекты показано пагубное влияние рассматриваемого фактора на окислительный стресс и апоптоз в различных органах лабораторных животных, в том числе на мозг (Tarek et al., 2014; Kesari et al., 2011; Ozgur et al., 2015; Ya-ping et al., 2014; Ozgur et al., 2010; Oral et al., 2006). Предполагается, что одним из возможных механизмов действия ЭМП на биологические объекты является окислительный стресс, возникающий при увеличении активности свободных радикалов в клетках крови в результате реакции Фентона (Aydin et al., 2011). Образование свободных радикалов происходит при протекании реакции окисления в присутствии активных форм кислорода (АФК). АФК возникают в результате электронного возбуждения или окислительно-восстановительных превращений молекулы кислорода и обладают высокой реакционной способностью. Обычно реакции свободнорадикального окисления происходят в активном центре соответствующих ферментов без высвобождения промежуточных продуктов реакции во внешнюю среду, что является

естественным процессом и при нормальном протекании составляет основу жизнедеятельности всех клеток. Поддержание концентрации АФК и свободных радикалов в организме на относительно стабильном низком уровне осуществляется системой регуляции процессов активации кислорода – антиоксидантной защитой, обеспечивающей адаптацию к окислительному стрессу (Ďuračková, 2010). Однако, факторы внешней среды, стимулирующие образование АФК, включая ионизирующее и неионизирующее излучение, приводят к увеличению количества свободных радикалов и, как следствие, нарушению баланса между прооксидантами и антиоксидантами в пользу первых с выраженным увеличением продукции АФК и снижением антиоксидантных функций, на фоне которого возникает окислительный стресс. Гиперпродукция АФК, сопровождающая повышение концентрации свободных радикалов, приводит к нарушению клеточных структур и, как следствие, их функций.

Выводы

Увеличение фона ЭМП техногенными источниками усиливает реакцию живых организмов на воздействие флуктуаций ионосферного фона ЭМП. Образующиеся при этом в водной среде организма оксиданты отрицательно влияют на белковые коллоидные системы, истощая защитные свойства биологического объекта, и, как следствие, приводя к ухудшению состояния организма в целом. Для защиты живых систем от негативного влияния ЭМП необходимо поддерживать в тонусе работу ЦНС, а также повышать уровень антиоксидантной защиты организма путем уменьшения энтропии молекул воды в жидкой среде организма за счет потребления продуктов, богатых антиоксидантами и применения антиоксидантных препаратов. Наряду с активацией защитных сил организма важно снизить воздействие негативных факторов, а именно, уменьшить частоту использования потенциальных источников техногенного ЭМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список русскоязычной литературы

Белишева Н.К., Цетлин В.В., Мартынова А.А., Соловьевская Н.Л., Завадская Т.С., Пряничников С.В., Мегорский В.В. Вода как детектор воздействия космофизических агентов на организм человека в условиях архипелага Шпицберген // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54, № 2. С. 96-104.

Григорьев Ю.Г. Человек в электромагнитном поле (существующая ситуация, ожидаемые биоэффекты и оценка опасности) // Радиационная биология. Радиоэкология. 1997. Т. 37, вып. 4. С. 690-702.

Дюжикова Н.А., Вайдо А.И., Даев Е.В. и др. Влияние электромагнитного излучения УФЧ-диапазона на дестабилизацию генома клеток костного мозга крыс линий с контрастной возбудимостью нервной системы // Экологическая генетика. 2019. Вып. 17, № 2. С. 83-92.

Зенин С.В. Водная среда как информационная матрица биологических процессов // Тез. докл. 1-го Междунар. симп. «Фундаментальные науки и альтернативная медицина». Пущино, 1997. С. 12-13.

Лифанова Р.З., Орлова В.С., Цетлин В.В. Воздействие электромагнитного излучения на энергетическое состояние молекул воды // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2019. Т. 27, № 2. С. 138-142.

Цетлин В.В., Степанова Г.П. Исследование воздействия электромагнитных факторов на воду и внутреннюю среду живых организмов // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53, № 6. С. 70-76.

Цетлин В.В., Файнштейн Г.С. О влиянии космофизических, геофизических и радиационных факторов на электрофизические и биологические свойства воды // Метафизика. 2012. № 2 (4). С. 81-99.

Яценко С.Г., Рыбалко С.Ю., Пилунская О.А., Шибанов С.Э. Гигиеническая оценка влияния электромагнитных факторов коммуникационных

устройств на состояние здоровья студентов // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 10. С. 1001-1003.

Reference List

Belisheva N.K., Tsetlin V.V., Martynova A.A., Solovyovskaya N.L., Zavadskaya T.S., Pryanichnikov S.V., Megorsky V.V. Water as a detector of the impact of cosmophysical agents on the human body in the conditions of the Svalbard archipelago // Aerospace and Ecological Medicine. 2020. Vol. 54, no. 2. P. 96-104. (In Russian).

Grigor'ev Yu.G. Man in an electromagnetic field (current situation, expected bioeffects and hazard assessment) // Radiation biology. Radioecology. 1997. Vol. 37, iss. 4. P. 690-702. (In Russian).

Dyuzhikova N.A., Vaido A.I., Daev E.V. et al. Influence of UHF electromagnetic radiation on destabilization of the genome of bone marrow cells of rat lines with contrast excitability of the nervous system // Ecological genetics. 2019. Iss. 17, no. 2. P. 83-92. (In Russian).

Zenin S.V. Aquatic environment as an information matrix of biological processes // Abstracts of the 1st International Symposium "Basic sciences and alternative medicine". Pushchino, 1997. P. 12-13. (In Russian).

Lifanova R.Z., Orlova V.S., Tsetlin V.V. Effect of electromagnetic radiation on the energy state of water molecules // Bulletin of RUDN University. Series: Ecology and life safety. 2019. Vol. 27, no. 2. P. 138-142. (In Russian).

Tsetlin V.V., Stepanova G.P. Study of the impact of electromagnetic factors on water and the internal environment of living organisms // Aerospace and Ecological Medicine. 2019. Vol. 53, no. 6. P. 70-76. (In Russian).

Tsetlin V.V., Fainshtein G.S. On the influence of cosmophysical, geophysical and radiation factors on the electrophysical and biological properties of water // Metaphysics. 2012. No. 2 (4). P. 81-99. (In Russian).

Yashchenko S.G., Rybalko S.Yu., Pilunskaya O.A., Shibarov S.E. Hygienic assessment of the influence of electromagnetic factors of communication devices on the state of health of students // *Hygiene and Sanitation*. 2017. Vol. 96, no. 10. P. 1001-1003. (In Russian).

Adams J.A., Galloway T.S., Mondal D., Esteves S.C., Mathews F. Effect of mobile telephones on sperm 421 quality: a systematic review and meta-analysis // *Environ Int*. 2014. Vol. 70. P. 106-112.

Aydin B., Akar A. Effects of a 900-MHz electromagnetic field on oxidative stress parameters in rat lymphoid organs, polymorphonuclear leukocytes and plasma // *Archives of medical research*. 2011. Vol. 42, no. 4. P. 261-267.

De-Sola Gutiérrez J., Rodríguez de Fonseca F., Rubio G. Cell-phone addiction: a review // *Front Psychiatry*. 2016. Vol. 7. Article 175. P. 1-15.

Divan H.A., Kheifets L., Obel C., Olsen J. Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children // *Epidemiology*. 2008. Vol. 19. P. 523-529.

Đuračková Z. Some current insights into oxidative stress // *Physiological research*. 2010. Vol. 59, no. 4. P. 459-469.

Houston B.J., Nixon B., King B.V., De Iulius G.N., Aitken R.J. The effects of radiofrequency electromagnetic radiation on sperm function // *Reproduction*. 2016. Vol. 152. P. 263-276.

International commission on non-ionizing radiation protection (ICNIRP) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). // *Health Physics*. 2020. Vol. 118, no. 5. P. 483-524.

Kesari K.K., Agarwal A., Henkel R. Radiations and male fertility // *Reprod Biol Endocrinol*. 2018. Vol. 16. P. 118.

Kesari K.K., Kumar S., Behari J. MHz microwave radiation promotes oxidation in rat brain // *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2011. Vol. 30, no. 4. P. 219-234.

Luo Y.P., Ma H.R., Chen J.W., Li J.J., Li C.X. Effect of American Ginseng Capsule on the liver oxidative

injury and the Nrf2 protein expression in rats exposed by electromagnetic radiation of frequency of cell phone // *Chinese journal of integrated traditional and Western medicine*. 2014. Vol. 34, no. 5. P. 575-580.

Moradi M., Naghdi N., Hemmati H., Asadi-Samani M., Bahmani M. Effect of Ultra High Frequency Mobile Phone Radiation on Human Health // *Electron Physician*. 2016. Vol. 8, iss. 5. P. 2452-2457.

Motawi T.K., Darwish H.A., Moustafa Y.M., Labib M.M. Biochemical Modifications and Neuronal Damage in Brain of Young and Adult Rats After Long-Term Exposure to Mobile Phone Radiations // *Cell Biochemistry and Biophysics*. 2014. Vol. 70, no. 2. P. 845-855.

Oral B., Guney M., Ozguner F., Karahan N., Mungan T., Comlekci S., Cesur G. Endometrial apoptosis induced by a 900-MHz mobile phone: preventive effects of vitamins E and C // *Advances in Therapy*. 2006. Vol. 23. P. 957-973.

Ozguner E., Güler G., Seyhan N. Mobile phone radiation-induced free radical damage in the liver is inhibited by the antioxidants n-acetyl cysteine and epigallocatechin-gallate // *International Journal of Radiation Biology*. 2010. Vol. 86, no. 11. P. 935-945.

Ozguner E., Sahin D., Tomruk A., Guler G., Dinçel A.S., Altan N., Seyhan N. The effects of N-acetylcysteine and epigallocatechin-3-gallate on liver tissue protein oxidation and antioxidant enzyme levels after the exposure to radiofrequency radiation // *International Journal of Radiation Biology*. 2015. Vol. 91. No. 2. P. 187-193.

Rago R., Salacone P., Caponecchia L., Sebastianelli A., Marcucci I., Calogero A.E., Condorelli R., Vicari E., Morgia G., Favilla V., Cimino S., Arcoria A.F., La Vignera S. The semen quality of the mobile phone users // *Journal of Endocrinological Investigation*. 2013. Vol. 36. P. 970-974.

Redmayne M., Smith E., Abramson M.J. The relationship between adolescents' well-being and their wireless phone use: a cross-sectional study // *Environ Health*. 2013. Article 90. P. 1-12.

MAN-MADE ELECTROMAGNETIC RADIATION AS A FACTOR OF ENVIRONMENTAL RISK

© 2023 R.Z. Lifanova^{1,2}, V.S. Orlova¹

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow (Russia)

² Izmerov Research Institute of Occupational, Moscow (Russia)

Annotation. The article is devoted to one of the most important topics of the modern world - the problem of increasing the background electromagnetic field of the environment. Literature data are presented that testify to the adverse effects of electromagnetic radiation on human health. The works on studying the impact of electromagnetic radiation on a living organism by taking into account and analyzing the effects of this factor on the redox properties of water are considered. A possible mechanism of action of electromagnetic radiation on biological objects is shown through changes in the liquid medium of the body caused by the considered factor. Proposed protection from the negative effects of electromagnetic radiation in the form of strengthening the nervous system, as well as enhancing the antioxidant defense of the body, by reducing the entropy of water molecules in the liquid medium of the body through the consumption of foods rich in antioxidants and the use of antioxidant drugs. The need to minimize the impact of negative factors, namely, to reduce the frequency of use of potential sources of technogenic electromagnetic radiation, is noted.

Key words: electromagnetic radiation, oxidative stress, redox potential.