

Лифанова Р.З.<sup>1,2</sup>, Орлова В.С.<sup>1</sup>, Цетлин В.В.<sup>3</sup>

## Влияние электромагнитного излучения радиодиапазона на организм в целом и структурные единицы (обзор литературы)

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», 113093, Москва, Россия;<sup>2</sup>ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Россия;<sup>3</sup>ФГБНУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН», 123007, Москва, Россия

Представлен обзор имеющихся экспериментальных и теоретических данных о воздействии электромагнитного излучения глобальной системы мобильной связи (GSM) на живой организм. Радиационное облучение долгое время было проблемой для общественности, политиков и исследователей в области здравоохранения. В последнее время воздействие радиочастотного излучения на биологические объекты значительно возросло. В 2011 г. Международное агентство по исследованию рака рассмотрело опубликованную литературу и классифицировало данный вид излучения как «возможный» (группа 2B) канцероген для человека. На сегодняшний день имеются результаты исследований, свидетельствующие о широком диапазоне неблагоприятных последствий для здоровья человека, связанных с излучением радиодиапазона. Особую озабоченность вызывают последствия воздействия рассматриваемого фактора на репродуктивную функцию и нервную систему, в особенности на развивающийся мозг у детей. Излучение от сотового телефона, приложенного к голове ребёнка, оказывает более пагубное влияние на структуры мозга, чем в случае со взрослым человеком. Экспериментальные исследования также показывают, что ношение мужчинами сотовых телефонов в карманах брюк приводит к значительному уменьшению количества сперматозоидов, ухудшению их подвижности и морфологии. Основываясь на накопленных фактических данных, авторы предлагают Роспотребнадзору и Рособрнадзору ввести контроль по эксплуатации сотовых телефонов детьми в возрасте до 16 лет и беременными женщинами, а также пересмотреть место излучения радиодиапазона в систематике опасных факторов окружающей среды.

**Ключевые слова:** обзор; электромагнитное излучение радиодиапазона; глобальная система мобильной связи (GSM); окислительный стресс; антиоксидантная система

**Для цитирования:** Лифанова Р.З., Орлова В.С., Цетлин В.В. Влияние электромагнитного излучения радиодиапазона на организм в целом и структурные единицы (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (2): 123–128. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-123-128>

**Для корреспонденции:** Лифанова Раёно Зобидовна, аспирант кафедры системной экологии экологического факультета ФГАОУ ВО РУДН, 113093, Москва. E-mail: torazo-414@mail.ru

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

**Благодарность.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов:** Лифанова Р.З. — сбор и обработка материала, написание текста; Орлова В.С., Цетлин В.В. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 25.01.2020 / Принята к печати 18.09.2020 / Опубликована 30.03.2021

Rano Z. Lifanova<sup>1,2</sup>, Valentina S. Orlova<sup>1</sup>, Vladimir V. Tsetlin<sup>3</sup>

## Effects of radiofrequency electromagnetic radiation on the organism as a whole and structural units (Literature review)

<sup>1</sup>Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, 113093, Russian Federation;<sup>2</sup>Izmerov Research Institute of Occupational health, Moscow, 105275, Russian Federation;<sup>3</sup>State Scientific Center of the Russian Federation Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 123007, Russian Federation

This work presents a review of the available experimental and theoretical data on the effects of electromagnetic radiation from the global mobile communications system (GSM) on a living organism. Radiation exposure has long been a problem for the public, health policymakers, and researchers. Recently, the effect of radiofrequency radiation on biological objects has increased significantly. In 2011, the International Agency for Research on Cancer reviewed the published literature and classified this type of radiation as a potent (group 2B) carcinogen for humans. To date, research results indicate a wide range of adverse effects on human health associated with radiation in the radio range. Of particular concern is the effects of this factor on reproductive function and the nervous system, particularly in children's developing brains. Radiation from a cell phone, leaning against the head of a child, has a more detrimental effect on brain structures than in the case of an adult. Experimental studies also show men wearing cell phones in their trouser pockets lead to a significant decrease in sperm cells and the deterioration of mobility and morphology. Based on the accumulated evidence, we suggest Federal Service on Customers' Rights Protection and Human Well-being Surveillance (Rosпотребнадзор) and Federal Agency for the Supervision in Education and Science (Rosobrnadzor) introduce control over the use of cell phones by children under 16 years of age and pregnant women and review the place of radiofrequency radiation in the systematics of hazardous environmental factors.

**Keywords:** review; radiofrequency electromagnetic radiation; Global System for Mobile Communications (GSM); oxidative stress; antioxidant system

**For citation:** Lifanova R.Z., Orlova V.S., Tsetlin V.V. Effects of radiofrequency electromagnetic radiation on the organism as a whole and structural units (Literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (2): 123–128. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-123-128> (In Russ.)

**For correspondence:** Rano Z. Lifanova, MD, postgraduate student of the Department of Systemic Ecology, Faculty of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia, 113093, Moscow. E-mail: torazo-414@mail.ru

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

**Acknowledgements.** The study had no sponsorship.

**Contribution of the authors:** Lifanova R.Z. — collection and processing of material, writing the text; Orlova V.S., Tsetlin V.V. — editing. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: January 25, 2020 / Accepted: September 18, 2020 / Published: March 30, 2021

## Введение

Мы живём в поколении, которое сильно зависит от технологий. Независимо от того, применяются ли они в личных целях или для работы, беспроводные устройства, такие как сотовые телефоны, широко используются во всём мире, и воздействие радиочастотного излучения широко распространено, в том числе в общественных местах. Электромагнитные поля (ЭМП) являются неотъемлемой частью среды обитания человека. Натуральные ЭМП являются результатом ионизации внешнего слоя атмосферы, магнитных свойств Земли и других факторов. В последние десятилетия в связи с повышенным использованием сотовых телефонов и иных электронных приборов и устройств в современном обществе значительно возросла насыщенность среды обитания людей источниками ЭМП. В настоящее время все жилые районы покрыты беспроводной сетью нескольких операторов, и почти в каждом доме есть хотя бы один мобильный телефон. На основании того, что подключение к Интернету чаще всего реализуется с использованием беспроводных маршрутизаторов и большинство стационарных телефонов также работает в беспроводной системе (цифровая усовершенствованная беспроводная связь — система цифровой беспроводной связи на короткие расстояния), можно сделать вывод, что воздействие ЭМП высоких частот быстро увеличивается. Возможные последствия его воздействия вызывают как общественное беспокойство, так и интерес научного сообщества.

В представленном исследовании проведён анализ современных научных данных, полученных из 48 рецензированных научных публикаций, описывающих экспериментальные наблюдения с целью выявления физиологических и морфологических изменений в живых организмах под влиянием электромагнитного излучения (ЭМИ) мобильных устройств. Поиск литературы для составления данного обзора производили в англоязычной текстовой базе данных медицинских и биологических публикаций PubMed и научной электронной библиотеке CyberLeninka. Рассмотрены ответы клеток, органов, тканей и организма в целом на излучение. Наш анализ показывает, что данные значительного количества исследований излучения мобильных телефонов отражают физиологические и морфологические эффекты. В ряде работ отрицательного влияния сотового телефона на организм не наблюдается. Однако в большинстве исследований выявлены негативные последствия использования сотовой связи. Серия изученных публикаций посвящена изучению влияния излучения радиодиапазона на активность антиоксидантной системы организма. Также показано влияние рассматриваемого фактора на мозг. В рассматриваемых работах источниками излучения служили как оригинальные сотовые телефоны, так и имитаторы мобильного телефона. Недостаточно экспериментальных данных по изучению влияния излучения радиодиапазона при непрерывном длительном контакте с мобильными устройствами в реальных условиях жизни современного человека.

Целью данного обзора является обобщение экспериментальных и теоретических данных о влиянии излучения радиодиапазона на живые организмы с возможностью дальнейшего использования в качестве справочного материала для исследователей, проводящих эпидемиологические исследования и долгосрочные эксперименты с использованием живых организмов с целью установления эффектов излучения радиодиапазона. Обзор литературных данных об эффектах ЭМИ радиодиапазона на организм на различных уровнях организации может помочь конкретизировать наши представления о возможных путях восприятия организмами этого вида излучения.

## Влияние электромагнитного излучения радиодиапазона на человека

С 1998 г. Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения утверждает, что не существует никаких доказательств неблагоприятных биологических эффектов ЭМИ радиодиапазона, за исключением нагревания ткани при облучении выше установленных порогов [1].

Однако в 2011 г. рабочая группа экспертов Международного агентства по исследованию рака классифицировала ЭМИ, излучаемое сотовыми телефонами, как канцероген для людей группы 2B («возможный») [2].

Объединённые анализы результатов работ группы исследователей под руководством шведского онколога и профессора Леннарта Харделла, в которых изучался риск глиомы и акустической невромы, стратифицированной по возрасту при первом воздействии сотовых телефонов, выявили самые высокие коэффициенты вероятности среди тех, кто впервые столкнулся в возрасте до 20 лет. Касаемо глиомы — при первом использовании сотовых телефонов в возрасте до 20 лет отношение шансов (OR) составило 1,8 (доверительный интервал (ДИ) 1,2–2,8). Для ипсилатерального применения OR было 2,3 (ДИ 1,3–4,2); контралатеральное использование составило 1,9 (ДИ 0,9–3,7). Использование беспроводного телефона в возрасте до 20 лет привело к OR 2,3 (ДИ 1,4–3,9), ипсилатеральное — OR 3,1 (ДИ 1,6–6,3) и контралатеральное использование — OR 1,5 (ДИ 0,6–3,8) [3–5].

Шведское исследование глиомы показало снижение выживаемости у пациентов с глиобластомой, связанной с длительным использованием беспроводных телефонов [6]. Однако результаты исследования в Дании, Финляндии и Швеции не сообщили о снижении выживаемости среди пациентов с глиобластомой, пользовавшихся мобильным телефоном (когда-либо регулярное использование), относительно отсутствия или нерегулярного использования [7]. Примечательно, что при исследовании в Дании, Финляндии и Швеции не учитывали использование беспроводных телефонов, время ожидания при звонке и исключили пациентов старше 69 лет, а также пациентов с наихудшим прогнозом, что привело бы к изменению оценки риска.

Прямое воздействие на здоровье сотового телефона и его радиочастотного ЭМП для человека всё ещё неясно, однако влияние на одноклеточные организмы довольно очевидно. Микробиота человека, включая микробиоту кожи, играет очень важную роль в здоровье организма человека. Авторы исследовали реакцию как лабораторных штаммов культуры, так и изолятов кожных бактерий в условиях влияния ЭМП [8]. Характер роста лабораторных культур *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus epidermidis* при облучении был вариabельным для разных видов. Бактериальные изоляты микробиоты кожи от 4 субъектов с различной историей использования сотового телефона также показали противоречивые реакции роста. Эти результаты дают основание предполагать, что уровень радиочастотных помех на сотовом телефоне нарушает микробиоту кожи человека.

Анализ результатов исследований и отчётов Международной комиссии по защите неионизирующих излучений показал, что люди, которые более 50 мин в день используют мобильный телефон, могут иметь раннюю деменцию или другие термические повреждения из-за сжигания глюкозы в мозге [9].

Мужская фертильность была рассмотрена в перекрёстных исследованиях. Сообщалось о связи между хранением сотовых телефонов в карманах брюк и снижением количества и качества спермы [10].

Как *in vivo*, так и *in vitro* исследования сперматозоидов человека подтверждают неблагоприятное влияние ЭМИ на протеом яичка и другие показатели репродуктивного здоровья мужчин, включая бесплодие [10–12]. Авторы обнаружили существенно изменённую фрагментацию ДНК спермы у субъектов, которые используют мобильные телефоны более 4 ч в день, и особенно у тех, кто помещает устройство в карман брюк [13].

Долгосрочные риски для детей от воздействия радиочастотного излучения сотовых телефонов выше, чем для взрослых [14]. Данный эффект объясняется быстрым темпом роста и большей уязвимостью развивающейся нервной системы. Показано, что использование сотовых телефонов у детей, которое можно рассматривать как форму зависимого

поведения, влияет на их эмоциональное состояние и поведение [15].

При изучении 13 000 матерей и детей выявлено, что дорожное воздействие сотовых телефонов вызывало поведенческие проблемы и гиперактивность у детей [16]. Последующее датское исследование с участием 24 499 детей показало, что в возрасте 11 лет вероятность возникновения эмоциональных и поведенческих трудностей увеличилась на 23% среди детей, матери которых сообщили о каком-либо использовании сотового телефона в возрасте до 7 лет, по сравнению с детьми, матери которых не сообщили об использовании телефона в возрасте до 7 лет [17].

В двух исследованиях выявлено, что при более активном использовании мобильных телефонов матерями во время беременности (1198 пар мать-ребёнок) ЭМИ радиодиапазона усиливает неблагоприятные воздействия свинца на развитие нервной системы и увеличивает частоту появлений гиперактивного расстройства с дефицитом внимания [18, 19].

Исследование установок башен базовой станции мобильного телефона, прилегающих к школьным зданиям, показало, что высокая подверженность ЭМИ учеников мужского пола от этих башен влечёт задержку мелкой и грубой моторики, ухудшение пространственной рабочей памяти и снижение внимания у подростков по сравнению с учениками, которые были менее подвержены ЭМИ [20].

Авторы обзорной статьи о влиянии низкоинтенсивных ЭМП на антеннатальный период развития организма отмечают, что излучение мобильных телефонов является неконтролируемым и постоянно действующим фактором с выраженным накопительным эффектом [21], и делают заключение о том, что рассматриваемый фактор влияет на антеннатальное развитие организма.

При исследовании влияния ЭМИ мобильного телефона на активацию лимфоцитов *in vitro* методом проточной цитофлуориметрии с использованием моноклональных антител изменение продукции цитокинов (ИФН- $\gamma$ , ФНО- $\alpha$ , ИЛ-6 и ИЛ-8) клетками крови под воздействием ЭМИ телефона происходило индивидуально [22].

В процессе длительного исследования (2000–2014 гг.) влияния коммуникационных устройств на состояние здоровья студентов обнаружен рост электромагнитной нагрузки от персональных компьютеров в 2,83 раза, мобильных телефонов — в 20,34 раза [23]. При этом число студентов, ни разу не болевших за всё время обучения, снизилось на 32,67% на фоне достоверно не различимых по годам исследования характера питания, двигательной активности, распространённости вредных привычек и самооценки их здоровья. При проведении корреляционного анализа получены достоверные положительные связи между распространённостью болезней глаза, органов дыхания и индивидуальной дозой электромагнитной нагрузки мобильных телефонов, а также компьютера.

Данные эпидемиологических обследований детей и подростков, подвергавшихся воздействию ЭМИ сотовых телефонов, указывают на возможность ухудшения устойчивости внимания и памяти, некоторое увеличение времени реакции на слуховой сигнал, изменение показателя работоспособности. Некоторые данные показывают, что если ребёнок начал пользоваться сотовым телефоном в раннем возрасте, то уже к 29 годам у него может развиться опухоль мозга чаще, чем в контрольной группе [24].

Активно ведётся работа по оценке технических характеристик окружающей среды в присутствии источников радиоизлучения техногенного происхождения. Так, в работе [25] дана характеристика вредного воздействия электромагнитных излучений от базовых станций (БС) мобильной (сотовой) связи как наиболее распространённых источников электромагнитных полей радиочастотного диапазона в окружающей среде. Самые высокие значения плотности потока энергии были измерены на крышах домов, где установлены антенны операторов (более 10 мкВт/см<sup>2</sup>); самые низкие — внутри помещений с экспозициями 0,1–1 мкВт/см<sup>2</sup>.

## Исследования на животных

Тем временем эксперименты на животных и моделях биологических объектов позволяют исключить ряд погрешностей при изучении влияния рассматриваемого фактора на организм человека.

Национальная токсикологическая программа США в исследованиях канцерогенности у крупных животных при воздействии ЭМИ радиодиапазона сообщила о значительном увеличении заболеваемости глиомой и злокачественной шванномой (в основном на сердце, но и в других органах) [26, 27].

В исследовании, проведённом итальянским институтом Рамаззини, оценено воздействие на грызунов в течение всей жизни ЭМИ частотой 1,8 ГГц, создаваемым GSM-антеннами базовых радиостанций сотовых телефонов. Наблюдались статистически значимые увеличения шванномы сердца у грызунов мужского пола, подвергшихся воздействию самой высокой дозы, и гиперплазия шванновских клеток в сердце у грызунов мужского и женского пола [28]. Также обнаружено статистически значимое увеличение злокачественных глиальных опухолей у самок грызунов. Эти результаты согласуются и подтверждают результаты исследования Национальной токсикологической программы США. В обоих исследованиях сообщается об увеличении частоты опухолей головного мозга и сердца у крыс Спрег-Дули, подвергшихся воздействию радиочастотного излучения, которые представляют собой опухоли того же гистологического типа, что и опухоли, наблюдаемые в некоторых эпидемиологических исследованиях у пользователей сотовых телефонов.

Многие утверждают, что ЭМИ радиодиапазона не может быть канцерогенным, поскольку у него недостаточно энергии, чтобы вызвать прямое повреждение ДНК. В комплексном обзоре качества публикаций и метаанализе генетического повреждения клеток млекопитающих, подвергшихся воздействию неионизирующих радиочастотных полей, обнаружили, что в некоторых исследованиях предполагается значительное увеличение повреждения в клетках, подвергшихся воздействию радиочастотной энергии, по сравнению с контрольными клетками, в других — нет [29].

В экспериментах с использованием имитатора мобильного телефона Глобальной системы мобильной связи (GSM) в качестве источника микроволн (МВ) у большей части подопытных кроликов выявлена гиперемия сосудов цилиарного тела глаза [30]. Значительных различий между средними значениями электроретинографии не установлено, отмечаются статистически незначимые тенденции к изменениям у облучённых МВ глазах.

Результаты исследований воздействия ЭМИ на содержание гидроксипролина в коже крыс указывают на то, что воздействие на весь организм радиочастотного излучения с импульсной модуляцией, аналогичного тому, которое излучает GSM, вызывает статистически значимое повышение уровня гидроксипролина в коже [31]. Содержание гидроксипролина в коже измеряли методом жидкостной хроматографии с масс-спектрометром. Двухмесячных самцов крыс линии Вистар подвергали импульсной электромагнитной модуляции с частотой 900 МГц в течение 3 нед.

Одним из направлений изучения влияния ЭМИ радиодиапазона на организм является исследование влияния рассматриваемого фактора на мозг. Полученные данные при исследовании влияния длительного раннего воздействия ЭМИ частотой 900 МГц на поведение и память крыс не выявляют отрицательных последствий на поведение, общее развитие, навыки обучения крыс [32]. Крыс подвергали воздействию ЭМП в возрасте от 14 дней до 19 мес. Выводы сделаны на основании анализа результатов исследований в 4 обучающих и поведенческих тестах (ротарод, водный лабиринт Морриса, восьмирукавный радиальный лабиринт, открытое поле).

Установлено ингибирование экспрессии ядерного антигена пролиферирующих клеток (PCNA) и даблкортина (DCX) в зубчатой извилине потомства крыс, подвергнутых

длительному пренатальному воздействию мобильным телефоном в режиме разговора, путём подавления нейротрофического фактора мозга (BDNF) [33].

Авторы работы [34] не выявили влияния воздействия мобильного телефона на проницаемость гематоэнцефалического барьера в мозге плода мыши. Воздействие ЭМИ частотой 900 МГц в течение 60 мин/сут с 1-го по 19-й день беременности мышей не приводило к какому-либо увеличению проницаемости сосудов мозга плода, изученных с использованием эндогенного альбумина в качестве светового микроскопического иммуногистохимического маркера.

При изучении влияния индуцированной радиочастотной волны на окислительный стресс в мозжечке и головном мозге крыс и оценке профилактического действия витамина С на эти ткани путём измерения активности антиоксидантных ферментов, включая глутатионпероксидазу, супероксиддисмутазу, каталазу и малоновый диальдегид (MDA), установлено, что воздействие рассматриваемого фактора в тестируемой группе снижало активность антиоксидантных ферментов и увеличивало MDA по сравнению с контрольными группами ( $p < 0,05$ ), а также показана защитная роль витамина С [35].

В исследовании влияния облучения мобильных телефонов на окислительный стресс и апоптоз в мозге крыс подчёркивается пагубное влияние излучений мобильных телефонов на мозг [36]. Взаимодействие этих излучений с мозгом происходит через рассеивание его антиоксидантного статуса и запуск апоптотической гибели клеток. Выводы сделаны на основании анализа полученных результатов опытов на крысах, которые в течение 60 дней (2 ч в день) подвергались воздействию микроволн, генерированных тестовым мобильным телефоном.

В экспериментах на крысах, подвергаемых воздействию мобильного телефона в течение 2 ч в день в течение 45 дней, где удельная скорость поглощения составляла 0,9 Вт/кг, также отмечается усиление окислительных процессов в мозге подопытных животных [37]. Кроме того, зарегистрировано значительное увеличение уровня активных форм кислорода ( $P < 0,05$ ). Авторы данной работы предполагают, что снижение или увеличение активности антиоксидантных ферментов связано с перепроизводством активных форм кислорода у животных при облучении мобильным телефоном.

Серия работ посвящена исследованию действия излучения радиодиапазона на окислительные процессы в печени. После воздействия радиочастотного излучения, модулированного GSM на 900 МГц (средняя удельная абсорбция 0,4 Вт/кг, 20 мин в день в течение 7 дней подряд) на морских свинок, отмечается снижение активности супероксиддисмутазы в их печени [38].

В работах [39, 40] подтверждается возникновение окислительного повреждения печени и изменение активности антиоксидантных ферментов в печени под влиянием электромагнитного излучения, вызванного сотовым телефоном с частотой 900 МГц.

Выявлено, что воздействие излучения 900 МГц может вызвать апоптоз эндометрия и окислительный стресс, но лечение витаминами Е и С может уменьшить эти изменения и оказывает положительное влияние на предотвращение изменений эндометрия у крыс [41].

При оценке влияния электромагнитного радиочастотного излучения на клетки мозга, печени и почек крыс с использованием метода ДНК-комет авторы предположили, что в применяемых экспериментальных условиях повторное облучение с частотой 915 МГц может быть причиной разрывов ДНК в клетках почек и печени, но не может влиять на клеточный геном в большей степени по сравнению с повреждением базальной области [42]. Крыс подвергали воздействию ЭМИ частотой 915 МГц, удельная скорость поглощения — 0,6 Вт/кг. Установкой экспозиции была GTEM-ячейка. Были оценены параметры анализа кометы, такие как длина хвоста и интенсивность хвоста.

Одним из направлений научных исследований эффектов электромагнитной энергии, излучаемой мобильными

телефонами на живой организм, является влияние рассматриваемого фактора на сердце. Полученные в экспериментах результаты не показали существенных различий в параметрах артериального давления (АД), сердечного ритма (ЧСС) и ЭКГ между группами как до, так и после эксперимента [43]. На крыс воздействовали ЭМИ, характерным для 3G, в течение 20 дней (40 мин/день; 20 мин — активная (речевая позиция) и 20 мин — пассивная (положение прослушивания)).

Известны работы по изучению влияния ЭМИ на репродукцию и детей. Результаты гистологического и цитологического исследования репродуктивной ткани крыс после кратковременного прерывистого радиочастотного воздействия не доказывают неблагоприятного влияния радиочастотного излучения на функцию или структуру яичка [44]. При этом проводили гистологический анализ яичек сразу после воздействия ЭМИ (в течение 2 нед ежедневно, время экспозиции — 1 ч, частота — 915 МГц), оценивали свободные сперматозоиды и их количество, качество, морфологию.

Широко известны отечественные исследования в данном направлении. Интересна работа по изучению влияния ЭМИ на поведение [45]. Однократное двухчасовое воздействие электромагнитного излучения частотой 905 МГц на белых нелинейных крыс приводило у самок к повышению уровня тревожности, снижению локомоторной и ориентировочно-исследовательской активности, а у самцов — к увеличению ориентировочно-исследовательской активности. Активность антиоксидантной системы организма и содержание глюкокортикоидов в плазме увеличивались у обоих полов. Полученные результаты свидетельствуют о значимом влиянии облучения GSM-диапазона на поведение и на активность стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем организма.

В исследовании влияния ЭМИ на дестабилизацию генома клеток костного мозга крыс линий с контрастной возбудимостью нервной системы [46] подтверждается зависимость восприимчивости организма к ЭМИ от генотипа животных и функционального состояния их нервной системы.

Установлено негативное влияние ЭМИ 925 МГц на морфологическую структуру эпифиза крыс [47], проявляющееся исчезновением ядрышек и вакуализацией цитоплазмы, накоплением гранул липофусцина и электронного плотного «мозгового песка».

При оценке влияния Wi-Fi-оборудования на развитие депрессивного состояния, поведенческие реакции и рабочую память лабораторных животных (самцов белых мышей) на 25-е сутки эксперимента у животных основной группы наблюдалось развитие депрессивного состояния, после 36-дневного круглосуточного облучения отмечено снижение показателей горизонтальной и вертикальной двигательной активности [48]. Исследования проводили в специально оборудованном полубезэховом экранированном помещении для исключения прямого или опосредованного влияния других источников. В качестве источника ЭМИ был использован маршрутизатор для беспроводного доступа к сети Интернет марки ZyXEL Keenetic Extra. Лабораторных животных основной группы (20 особей) размещали на расстоянии 0,5 и 1 м от маршрутизатора, контрольная группа (20 особей) находилась в помещении без источника ЭМИ. Ежедневно каждое лабораторное животное выполняло тесты «открытое поле», «Т-образный лабиринт», «вынужденное плавание».

## Заключение

Обзор многочисленных опубликованных исследований подтверждает нетепловые биологические эффекты повреждения (например, окислительный стресс, снижение репродуктивной функции, изменения в поведении, указывающие на нарушение в работе высшей нервной деятельности, и т. д.), возникающие в результате воздействия ЭМИ радиодиапазона. Действительно, возросло число людей с развивающимися симптомами, связанными с воздействием рас-

смагриваемого фактора (повышенная раздражительность, головные боли, усталость, потеря аппетита, бессонница). Совокупный объём фактических данных, связывающих ЭМИ радиодиапазона с рисками для здоровья населения, включает в себя широкий спектр результатов: экспериментальные биологические доказательства нетеплового воздействия ЭМИ; доказательства в отношении канцерогенности ЭМИ; факт влияния на репродукцию; подтверждение вреда для здоровья человека и животных. Учитывая относительно недавнюю глобализацию сотовой телефонной связи и Wi-Fi сети, многие вопросы по изучению влияния излучения, генерируемого сотовой связью, на живой организм остаются открытыми.

Необходимо совершенствовать меры профилактики негативного воздействия излучения радиодиапазона, учитывая показатели здоровья восприимчивого объекта. При этом имеет большое значение информирование населения о по-

тенциальном вреде сотовой связи, в том числе Wi-Fi. Мы считаем, что снижение времени эксплуатации мобильного телефона (минимально пользоваться социальными сетями, уменьшить длительность разговоров, отключать мобильное устройство на ночь или переводить в авиарежим) и непосредственного его контакта с телом человека (не носить телефон в карманах, использовать наушники во время разговоров) может снизить негативные последствия радиоизлучения. Также важно усиливать систему защиты организма посредством ведения здорового образа жизни, тренировать высшую нервную деятельность.

Основываясь на накопленных фактических данных, авторы предлагают Роспотребнадзору и Рособрудзору ввести контроль по эксплуатации сотовых телефонов детьми в возрасте до 16 лет и беременными женщинами, а также пересмотреть место излучения радиодиапазона в систематике опасных факторов окружающей среды.

## Литература

(п.п. 1–20, 26–44 см. References)

21. Хорсева Н.И., Григорьев Ю.Г., Григорьев П.Е. Влияние низкоинтенсивных электромагнитных полей на антенатальный период развития организма. Часть 1. От гаметогенеза до родов (обзор). *Журнал медико-биологических исследований*. 2017; 5(4): 42–54. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.42>
22. Бляхер М.С., Тульская Е.А., Капустин И.В., Фёдорова И.М., Лопатина Т.К., Нестеренко В.Г. и соавт. Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на активацию лимфоцитов *in vitro*. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(10): 965–70. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-965-970>
23. 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; 96(10): 1001–3. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-1001-1003>
24. Жаворонков Л.П., Петин В.Г. Влияние электромагнитных излучений сотовых телефонов на здоровье. *Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра)*. 2016; 25(2): 43–56.
25. Луценко Л.А., Тулакин А.В., Егорова А.М., Микаилова О.М., Гвоздева Л.Л., Чигряй Е.К. Риск-ориентированная модель контроля уровней ЭМП базовых станций сотовой связи. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(11): 1045–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-11-1045-1048>
45. Хиразова Е.Э., Байжуманов А.А., Трофимова Л.К., Деев Л.И., Маслова М.В., Соколова Н.А. и соавт. Влияние электромагнитного излучения GSM-диапазона на некоторые физиологические и биохимические характеристики крыс. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2012; 153(6): 791–4.
46. Дюжикова Н.А., Вайдо А.И., Даев Е.В., Копыльцов А.В., Сурма С.В., Щеголев Б.Ф. и соавт. Влияние электромагнитного излучения УВЧ-диапазона на дестабилизацию генома клеток костного мозга крыс линий с контрастной возбудимостью нервной системы. *Экологическая генетика*. 2019; 17(2): 83–92. <https://doi.org/10.17816/ecogen17283-92>
47. Яценко С.Г., Рыбалко С.Ю. Морфологическая структура эпифиза крыс при воздействии электромагнитных излучений коммуникационных устройств. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(10): 977–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-977-979>
48. Зибарев Е.В., Афанасьев А.С., Слюсарева О.В., Булавина И.Д. Исследования влияния Wi-Fi оборудования на организм лабораторных животных. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(7): 661–4. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-661-664>

## References

1. International commission on non-ionizing radiation protection. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 1998; 74(4): 494–522.
2. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields*. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2013.
3. Hardell L., Carlberg M. Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma – analysis of pooled case-control studies in Sweden, 1997–2003 and 2007–2009. *Pathophysiology*. 2015; 22(1): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2014.10.001>
4. Hardell L., Carlberg M., Söderqvist F., Kjell H.M. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997–2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. *Int. J. Oncol.* 2013; 43(4): 1036–44. <https://doi.org/10.3892/ijo.2013.2025>
5. Hardell L., Carlberg M., Gee D. Chapter 21: Mobile phone use and brain tumour risk: early warnings, early actions? In: *Late Lessons from Early Warnings, Part 2. European Environment Agency*. Copenhagen; 2013.
6. Carlberg M., Hardell L. Decreased survival of glioma patients with astrocytoma grade IV (glioblastoma multiforme) associated with long-term use of mobile and cordless phones. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2014; 11(10): 10790–805. <https://doi.org/10.3390/ijerph111010790>
7. Olsson A., Bouaoun L., Auvinen A., Feychting M., Johansen C., Mathiesen T., et al. Survival of glioma patients in relation to mobile phone use in Denmark, Finland and Sweden. *J. Neurooncol.* 2019; 141(1): 139–49. <https://doi.org/10.1007/s11060-018-03019-5>
8. Crabtree D.P.E., Herrera B.J., Kang S. The response of human bacteria to static magnetic field and radiofrequency electromagnetic field. *J. Microbiol.* 2017; 55(10): 809–15. <https://doi.org/10.1007/s12275-017-7208-7>
9. Moradi M., Naghdi N., Hemmati H., Asadi-Samani M., Bahmani M. Effects of the effect of ultra high frequency mobile phone radiation on human health. *Electron. Physician*. 2016; 8(5): 2452–7. <https://doi.org/10.19082/2542>
10. 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; 70: 106–12. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.015>
11. 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; 152(6): R263–76. <https://doi.org/10.1530/REP-16-0126>
12. Kesari K.K., Agarwal A., Henkel R. Radiations and male fertility. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2018; 16(1): 118. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0431-1>
13. Rago R., Salacone P., Caponecchia L., Sebastianelli A., Marcucci I., Calogero A.E., et al. The semen quality of the mobile phone users. *J. Endocrinol. Invest.* 2013; 36(11): 970–4. <https://doi.org/10.3275/8996>
14. 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; 12: 90. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-90>
15. De-Sola Gutiérrez J., Rodríguez de Fonseca F., Rubio G. Cell-phone addiction: a review. *Front. Psychiatry*. 2016; 7: 175. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00175>
16. Divan H.A., Kheifets L., Obel C., Olsen J. Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiology*. 2008; 19(4): 523–9. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318175dd47>
17. Sudan M., Olsen J., Arah O.A., Obel C., Kheifets L. Prospective cohort analysis of cellphone use and emotional and behavioural difficulties in children. *J. Epidemiol. Community Health*. 2016; 70(12): 1207–13. <https://doi.org/10.1136/jech-2016-207419>
18. Choi K.H., Ha M., Ha E.H., Park H., Kim Y., Hong Y.C., et al. Neurodevelopment for the first three years following prenatal mobile phone use, radio frequency radiation and lead exposure. *Environ. Res.* 2017; 156: 810–17. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.04.029>
19. Byun Y.H., Ha M., Kwon H.J., Hong Y.C., Leem J.H., Sakong J., et al. Mobile phone use, blood lead levels, and attention deficit hyperactivity symptoms in children: a longitudinal study. *PLoS One*. 2013; 8(3): e59742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059742>
20. Meo S.A., Almahmoud M., Alsultan Q., Alotaibi N., Alnajashi I., Hajjar W.M. Mobile phone base station tower settings adjacent to school buildings: impact on students' cognitive health. *Am. J. Mens Health*. 2018; 13(1): 1557988318816914. <https://doi.org/10.1177/1557988318816914>

21. Khorseva N.I., Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev P.E. Influence of low-intensity electromagnetic fields on the organisms' antenatal development. Part 1. From gametogenesis to birth (review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy*. 2017; 5(4): 42–54. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.42> (in Russian)
22. Blyakher M.S., Tul'skaya E.A., Kapustin I.V., Fedorova I.M., Lopatina T.K., Nesterenko V.G., et al. The impact of electromagnetic radiation of mobile phone for lymphocyte activation *in vitro*. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(10): 965–70. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-965-970> (in Russian)
23. Yashchenko S.G., Rybalko S.Yu., Pilunskaya O.A., Shibano S.E. Hygienic evaluation of the effect of electromagnetic factors of communication devices on the state of student's health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(10): 1001–3. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-1001-1003> (in Russian)
24. Zhavoronkov L.P., Petin V.G. The influence of cell phones electromagnetic radiation on a public health. *Radiatsiya i risk (Byulleten' Natsional'nogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra)*. 2016; 25(2): 43–56. (in Russian)
25. Lutsenko L.A., Tulakin A.V., Egorova A.M., Mikailova O.M., Gvozdeva L.L., Chigryay E.K. Risk-oriented model of the control of the level of electric magnetic fields of base stations of cellular communications. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(11): 1045–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-11-1045-1048> (in Russian)
26. National Toxicology Program NTP Technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in Hsd: Sprague-dawley sd rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. NTP TR 595; 2018.
27. National Toxicology Program NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1800 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. NTP TR 596; 2018.
28. Falcioni L., Bua L., Tibaldi E., Lauriola M., De Angelis L., Gnudi F., et al. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ. Res.* 2018; 165: 496–503. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.037>
29. Vijayalaxmi, Prihoda T.J. Comprehensive review of quality of publications and meta-analysis of genetic damage in mammalian cells exposed to non-ionizing radiofrequency fields. *Radiat. Res.* 2019; 191(1): 20–30. <https://doi.org/10.1667/rr15117.1>
30. Talebnejad M.R., Sadeghi-Sarvestani A., Nowroozadeh M.H., Mortazavi S.M.J., Alighanbari A., Khalili M.R. The effects of microwave radiation on rabbit's retina. *J. Curr. Ophthalmol.* 2017; 30(1): 74–9. <https://doi.org/10.1016/j.joco.2017.08.010>
31. Cam S.T., Seyhan N., Kavaklı C., Çelikbiçak Ö. Effects of 900 MHz radio-frequency radiation on skin hydroxyproline contents. *Cell Biochem. Biophys.* 2014; 70(1): 643. <https://doi.org/10.1007/s12013-014-9968-6>
32. Klose M., Grote K., Spathmann O., Streckert J., Clemens M., Hansen V.W., et al. Effects of early-onset radiofrequency electromagnetic field exposure (GSM 900 MHz) on behavior and memory in rats. *Radiation Research.* 2014; 182(4): 435–47. <https://doi.org/10.1667/RR13695.1>
33. Lingxing W., Honghong H., Guorong L. Cts of prenatal exposure of 850–1900MHz mobile phone on the expression of PCNA and DCX in dentate gyrus of offspring rats. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* 2018; 34(1): 35–8. <https://doi.org/10.12047/j.cjap.5592.2018.010> (in Chinese)
34. Finnie J.W., Blumbergs P.C., Cai Z., Manavis J., Kuchel T.R. Effect of mobile telephony on blood-brain barrier permeability in the fetal mouse brain. *Pathology.* 2006; 38(1): 63–5. <https://doi.org/10.1080/00313020500459607>
35. Akbari A., Jelodar G., Nazifi S. Vitamin C protects rat cerebellum and encephalon from oxidative stress following exposure to radiofrequency wave generated by a BTS antenna model. *Toxicol. Mech. Methods.* 2014; 24(5): 347–52. <https://doi.org/10.3109/15376516.2014.910852>
36. 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 Biochem. Biophys.* 2014; 70(2): 845–55. <https://doi.org/10.1007/s12013-014-9990-8>
37. Kesari K.K., Kumar S., Behari J. 900-MHz microwave radiation promotes oxidation in rat brain. *Electromagn. Biol. Medicine.* 2011; 30(4): 219–34. <https://doi.org/10.3109/15368378.2011.587930>
38. Ozgur E., Sahin D., Tomruk A., Guler G., Sepici Dinçel A., Altan N., et al. The effects of N-acetylcysteine and epigallocatechin-3-gallate on liver tissue protein oxidation and antioxidant enzyme levels after the exposure to radio-frequency radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 2015; 91(2): 187–93. <https://doi.org/10.3109/09553002.2015.966210>
39. 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. *Zhongguo Zhong Xi Yi Jie He Za Zhi.* 2014; 34(5): 575–580. (in Chinese)
40. Ozgur 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. *Int. J. Radiat. Biol.* 2010; 86(11): 935–45. <https://doi.org/10.3109/09553002.2010.496029>
41. Oral B., Guney M., Ozguner F., Karahan N., Mungan T., Comlekci S., et al. Endometrial apoptosis induced by a 900-MHz mobile phone: preventive effects of vitamins E and C. *Adv. Therapy.* 2006; 23(6): 957–73. <https://doi.org/10.1007/BF02850217>
42. Trošić I., Pavičić I., Milković-Kraus S., Mladinić M., Zeljezić D. Effect of electromagnetic radiofrequency radiation on the rats' brain, liver and kidney cells measured by comet assay. *Coll. Antropol.* 2011; 35(4): 1259–64.
43. Colak C., Parlakpinar H., Ermis N., Tagluk M.E., Colak C., Sarihan E., et al. Effects of electromagnetic radiation from 3G mobile phone on heart rate, blood pressure and ECG parameters in rats. *Toxicol. Ind. Health.* 2012; 28(7): 629–38. <https://doi.org/10.1177/0748233711420468>
44. Trošić I., Mataušić-Pišl M., Pavičić I., Marjanović A.M. Histological and cytological examination of rat reproductive tissue after short-time intermittent radiofrequency exposure. *Arh. Hig. Rada Toksikol.* 2013; 64(4): 513–9. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-64-2013-2394>
45. Khirazova E.E., Bayzhumanov A.A., Trofimova L.K., Deev L.I., Maslova M.V., Sokolova N.A., et al. Effects of GSM-frequency electromagnetic radiation on some physiological and biochemical parameters in rats. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny.* 2012; 153(6): 817–820.
46. Dyuzhikova N.A., Vaydo A.I., Daev E.V., Kopyl'tsov A.V., Surma S.V., Shehegolev B.F., et al. Impact of electromagnetic uhf radiation on genome destabilization in bone marrow cell of rat strains with contrast nervous system excitability. *Ekologicheskaya genetika.* 2019; 17(2): 83–92. <https://doi.org/10.17816/ecogen17283-92> (in Russian)
47. Yashchenko S.G., Rybalko S.Yu. Morphological structure of rat epiphysis exposed to electromagnetic radiation from communication devices. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(10): 977–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-977-979> (in Russian)
48. Zibarev E.V., Afanas'ev A.S., Slyusareva O.V., Bulavina I.D. Exploratory studies of the influence of wireless equipment on the body of laboratory animals. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(7): 661–4. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-661-664> (in Russian)