

АНАЛИЗ АДАПТАЦИОННО-ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ФАКТОРА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

© 2019 г. ¹А. С. Самойлов, ¹И. Б. Ушаков, ²В. И. Попов, ³О. А. Попова

¹ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, г. Москва;

²ФГБУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко», г. Воронеж;

³ФГБУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», г. Воронеж

Цель исследования – комплексный анализ адапционно-приспособительных возможностей морфоэнзимологических показателей слизистой оболочки тощей кишки в условиях хронического воздействия импульсов электромагнитных полей (ЭМП). **Методы.** В эксперименте, выполненном на белых лабораторных крысах-самцах с начальным возрастом 4 месяца, рассматривали динамику митотической активности эпителиоцитов крипт слизистой оболочки тощей кишки после 5, 7 и 10 месяцев воздействия ЭМП электрических разрядов с плотностью наведенных токов (ПНТ) 0,37; 0,7; 0,8; 2,7 кА/м² и периодичностью импульсов 50, 100 и 500 в неделю (И/н) независимо от их дробности. Гистоэнзимологические реакции проводили на криостатных срезах, а количественную цитологическую оценку осуществляли в эпителии 20 продольных ворсинок с микропрепарата каждого животного ($\times 400$). Полученные количественные данные обрабатывали с помощью методов вариационной статистики. Для оценки значимости различий между связанными выборками непрерывных величин при нормальном распределении применялся парный t-критерий Стьюдента. **Результаты.** В ходе обработки результатов эксперимента были установлены «амплитудно-частотные окна», проявляющиеся отсутствием сдвигов по отношению к показателям контроля и указывающие на возможные проявления толерантности и/или адаптированности изучаемых показателей к отдельным параметрам импульсных ЭМП. Для недифференцированных эпителиоцитов слизистой оболочки тощей кишки «эффект окна» регистрировался при ЭМП с ПНТ 0,8 кА/м² и периодичностью 50 и 500 И/н при 7- и 10-месячном воздействии соответственно. При этом наивысший уровень приспособительных реакций был зафиксирован спустя 5 месяцев после воздействия импульсных ЭМП независимо от ПНТ с периодичностью 50 и 100 И/н. **Выводы:** проведенный комплексный анализ позволил установить морфофункциональные взаимосвязи между клеточными популяциями эпителио-соединительнотканного комплекса интестинальной системы организма как единой системы, принимающей участие в регуляции тканевого гомеостаза, а также отразил реально существующие уровни проявления реактивных, дистрофических процессов и адапционно-приспособительных возможностей, в зависимости от воздействия параметров электромагнитного фактора.

Ключевые слова: электромагнитное поле, митотическая активность, гомеостаз, адаптация

ANALYSIS OF ADAPTIVE CAPABILITIES OF INDIVIDUAL SYSTEMS OF THE ORGANISM UNDER THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FACTOR OF ECOLOGICAL RISK

¹A. S. Samoylov, ¹I. B. Ushakov, ²V. I. Popov, ³O. A. Popova

¹Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia; ²Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia; ³Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russia

Aim: To perform a complex analysis of the adaptive capabilities of the jejunal mucosa morphoenzymological parameters under conditions of chronic exposure to electromagnetic impulses. **Methods:** In an experiment performed on white laboratory male rats aged 4 months we studied changes in the mitotic activity of the jejunum mucosa crypts epithelial cells after 5, 7 and 10 months of exposure to electromagnetic fields (EMF) of electrical discharges with a density of induced currents of 0.37; 0.7; 0.8; 2.7 kA/m² and the impulse frequency of 50, 100 and 500 per week. Histoenzymological reactions were carried out on cryostat sections. Quantitative cytological evaluation was performed in the epithelium of 20 longitudinal villi from each animal's micropreparation ($\times 400$). Paired t-tests were used for analyses of continuous variables. **Results.** So-called "amplitude-frequency windows" were established, showing no shifts in relation to the indicators of control and indicating possible manifestations of tolerance and/or adaptation of the studied indicators to individual parameters and EMF. For undifferentiated epitheliocytes of the jejunum mucosa, the "window effect" was recorded with EMF with 0.8 kA/m² and a frequency of 50 and 500 at 7 and 10 month exposure, respectively. At the same time, the highest level of adaptive reactions was recorded 5 months after the exposure to IEM regardless of density of induced currents with a frequency of 50 and 100 impulses per week. **Conclusions.** Our analysis made it possible to establish morphofunctional associations between the cellular populations of the epithelio-connective tissue complex of the intestinal system of the body, referring to them as a single system that takes part in the regulation of tissue homeostasis, and also reflects the actual levels of manifestation of reactive, dystrophic processes and adaptive capabilities, depending on the effect of the parameters of the electromagnetic factor.

Key words: electromagnetic field, mitotic activity, homeostasis, adaptation

Библиографическая ссылка:

Самойлов А. С., Ушаков И. Б., Попов В. И., Попова О. А. Анализ адапционно-приспособительных возможностей отдельных систем организма в условиях воздействия электромагнитного фактора экологического риска // Экология человека. 2019. № 5. С. 37–42.
Samoylov A. S., Ushakov I. B., Popov V. I., Popova O. A. Analysis of Adaptive Capabilities of Individual Systems of the Organism under the Influence of Electromagnetic Factor of Ecological Risk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 5, pp. 37-42.

В последние годы вопросы, связанные с электромагнитной экологией, получили весьма широкое распространение, электромагнитные поля (ЭМП) окружают нас повсюду, а мощности их достигают значительных величин. Широкомасштабное и всестороннее внедрение во все сферы деятельности человека новых источников ЭМП различных частотных диапазонов, средств мобильной сотовой, транкинговой и спутниковой связи, персональных компьютеров, разнообразной электробытовой техники, новых диагностических и лечебных аппаратов приводит к усложнению электромагнитной обстановки как на рабочих местах, так и в местах проживания населения [1, 6, 12, 17].

Возросший уровень электромагнитного излучения от антропогенных источников связан с риском для жизнедеятельности человека и требует разработки решений по управлению им. Предполагаемые риски могут быть снижены, если будут учтены связанные с их восприятием факторы, зависящие от индивидуальных особенностей, а также от природы воздействующих факторов [5, 8, 11].

Экспериментальные и теоретические исследования в области электромагнитобиологии показывают, что из всего многообразия ЭМП наиболее биологически активными являются импульсные электромагнитные поля (иЭМП), воздействие которых на организм может проявляться на субклеточном и клеточном уровнях, опосредованно реализуя свои эффекты через критические системы и приводя к изменениям гомеостаза. Эти сдвиги являются результатом нарушений сложных координационных и регуляторных взаимоотношений, осуществляемых в целостном организме, а также отчетливым проявлением адаптации организма к изменениям условий внешней среды [4, 13, 18].

Наиболее наглядно радиоадаптация клетки и ткани регистрируется при хроническом облучении, а ее основным показателем является способность к повышению радиорезистентности. При этом механизм толерантности тканей к хроническому облучению, по-видимому, имеет сложную природу и связан с комплексом субклеточных, клеточных, системных, органических и организменных адаптивных реакций на хроническое облучение, осуществляемых на разном уровне. Особенностью хронического облучения является длительное воздействие, при котором эффекты повреждения клеточных структур, тканей и органов с одной стороны и адаптивные процессы — с другой протекают параллельно, а длительное облучение может приводить к снижению компенсаторно-приспособительных механизмов и срыву адаптации [2, 7, 15, 16].

Данное исследование по изучению влияния ЭМП электрических разрядов (ЭМП ЭР) в условиях, эквивалентных профессиональному воздействию на персонал, эксплуатирующий испытательные установки — источники этого вида физических полей электромагнитной природы, проведено с целью выявления изменений морфофункционального состояния слизистой оболочки тощей кишки с установлением

чувствительности и степени поражаемости ее морфоэнзимологических показателей, а также прогнозирования последствий и адапционных реакций при хроническом воздействии фактора и определения направлений в разработке профилактических мероприятий по обеспечению электромагнитной безопасности.

Структурно-метаболическое состояние слизистой оболочки тощей кишки, в которой гидролизуются и всасывается основная масса пищевых веществ, определяет актуальность ее изучения для выяснения закономерностей реакции морфоэнзимологических показателей как эквивалентов функционального состояния, обеспечивающих пищеварительно-всасывательную и барьерную функции, во многом предопределяя радиационную устойчивость организма [3, 10, 19].

Целью данного исследования было проведение комплексного анализа адаптационно-приспособительных возможностей морфоэнзимологических показателей слизистой оболочки тощей кишки в условиях хронического воздействия импульсов электромагнитных полей.

Методы

Эксперимент был выполнен на белых половозрелых лабораторных крысах-самцах (351 животное, 13 групп) возрастом от 4 до 14 месяцев, что эквивалентно профессиональному воздействию для персонала от 22 до 45 лет, эксплуатирующего испытательные электроразрядные установки.

Животных подвергали воздействию редко повторяющихся широкополосных высокоамплитудных импульсов ЭМП ультракороткой длительности ($15\div 40$ нс) на протяжении 5, 7 и 10 месяцев. Уровни воздействующих ЭМП ЭР подбирались таким образом, чтобы плотность наведенных токов (ПНТ) в теле экспериментальных животных была эквивалентна уровню в теле человека при его профессиональной деятельности и с учетом коэффициента перерасчета составила 0,37; 0,7; 0,8; 2,7 кА/м². Эта градация дает адекватную возможность проведения как интерполяции, так и экстраполяции для других уровней ПНТ. В связи со статической неопределенностью периодичности работы персонала животные находились в свободном режиме передвижения, в условиях воздействия фактора ЭМП ЭР при моделировании. Количество импульсов, подаваемых в неделю на каждом уровне воздействия, составляло 50, 100 и 500 независимо от их дробности. Источниками, генерировавшими ЭМП, служил ряд экспериментальных электроразрядных установок.

Взятие биологического материала производили через 5, 7 и 10 месяцев воздействия ЭМП ЭР. Эвтаназия экспериментальных и контрольных животных осуществлялась декапитацией, которая проводилась в одно и то же время суток с предварительной наркотизацией.

Извлеченный фрагмент тощей кишки фиксировали в растворе Беккера и после соответствующей обра-

ботки заливали в парафин. Продольные срединные срезы толщиной 6 мкм окрашивали по М. Г. Шубичу с докраской гематоксилином и подсчитывали митотически делящиеся недифференцированные эпителиоциты 20 продольно разрезанных крипт, а также тучные клетки на этом же по протяженности участке в межкрипальной строме собственной пластинки слизистой оболочки тощей кишки, идентифицируя их по морфофункциональным особенностям, что позволяет оценить поражаемость и степень адаптационно-приспособительных возможностей, а также определить возможности гомеостаза на уровне всего организма.

Гистоэнзимологические реакции проводили на криостатных срезах и изучали динамику показателей столбчатых эпителиоцитов по критерию светооптической плотности щелочной и кислой фосфатаз исчерченной каемки энтероцитов. Количественную оценку осуществляли в эпителии 20 продольных ворсинок с микропрепарата каждого животного ($\times 400$).

Полученные количественные данные обрабатывали с помощью методов вариационной статистики. Для оценки значимости различий между связанными выборками непрерывных величин при нормальном распределении применялся парный t-критерий Стьюдента.

Результаты

Анализ состояния морфоэнзимологических показателей слизистой оболочки тощей кишки в условиях хронического воздействия ЭМП ЭР показал обратную зависимость ферментативной активности эпителия слизистой оболочки тощей кишки от продолжительности воздействия с наибольшей выраженностью для кислой фосфатазы, а также от периодичности импульсов в неделю с избирательной зависимостью от ПНТ (рис. 1 и 2).

При воздействии ЭМП в изученных параметрах обнаруживалась чувствительность недифференциро-

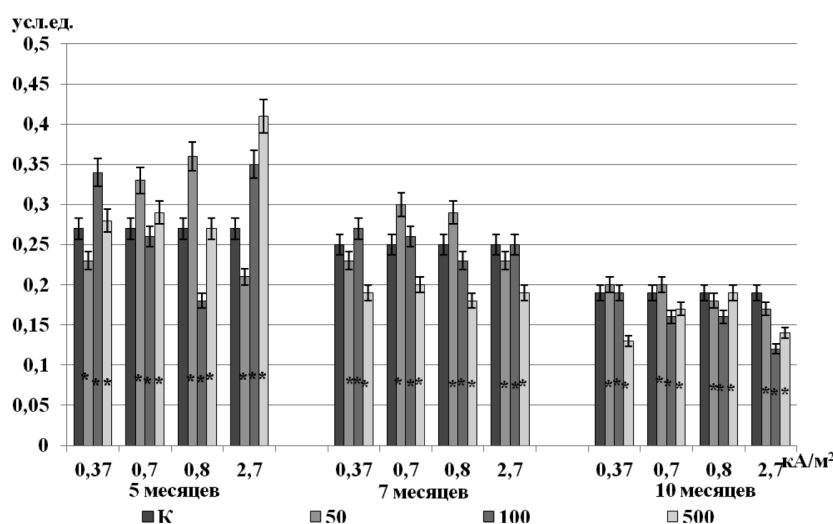


Рис. 1. Динамика распределения щелочной фосфатазы в столбчатых энтероцитах по показателям светооптической плотности в условиях воздействия иЭМП

Примечание. * — $p < 0,05$ по отношению к контролю.

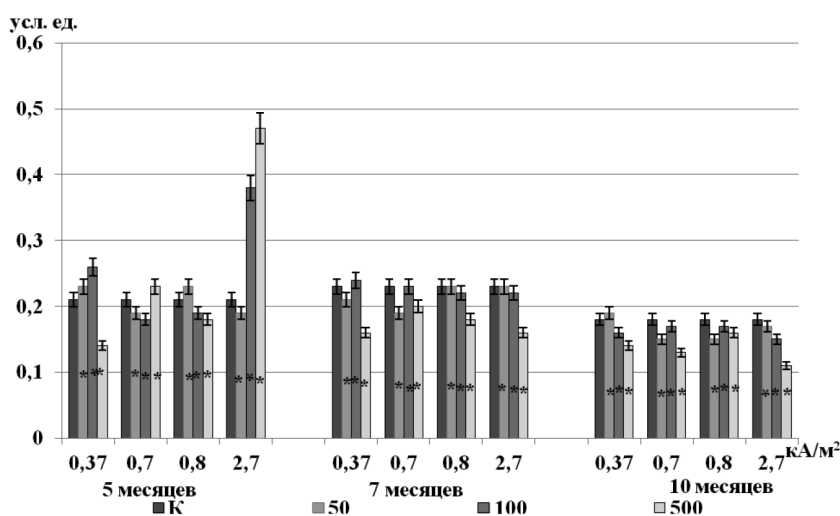


Рис. 2. Динамика распределения кислой фосфатазы в столбчатых энтероцитах по показателям светооптической плотности в условиях воздействия иЭМП

Примечание. * — $p < 0,05$ по отношению к контролю

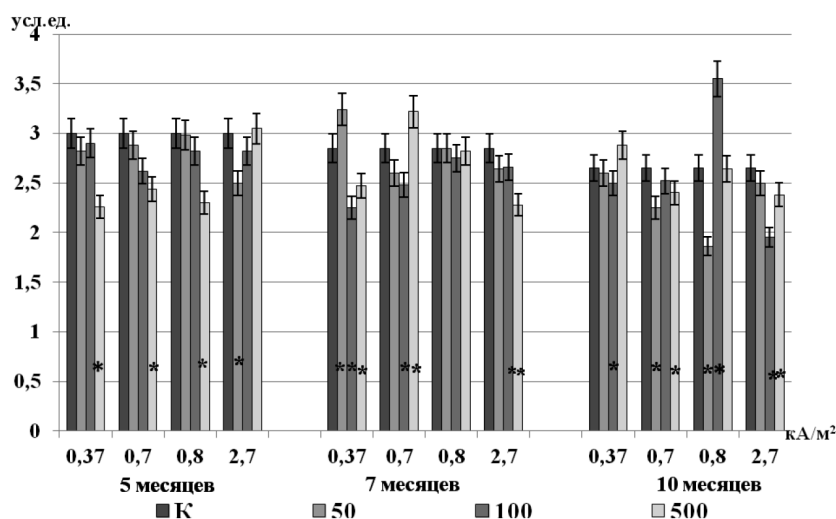


Рис. 3. Динамика митотической активности недифференцированных эпителиоцитов крипт слизистой оболочки тощей кишки в условиях воздействия иЭМП
Примечание. * – $p < 0,05$ по отношению к контролю.

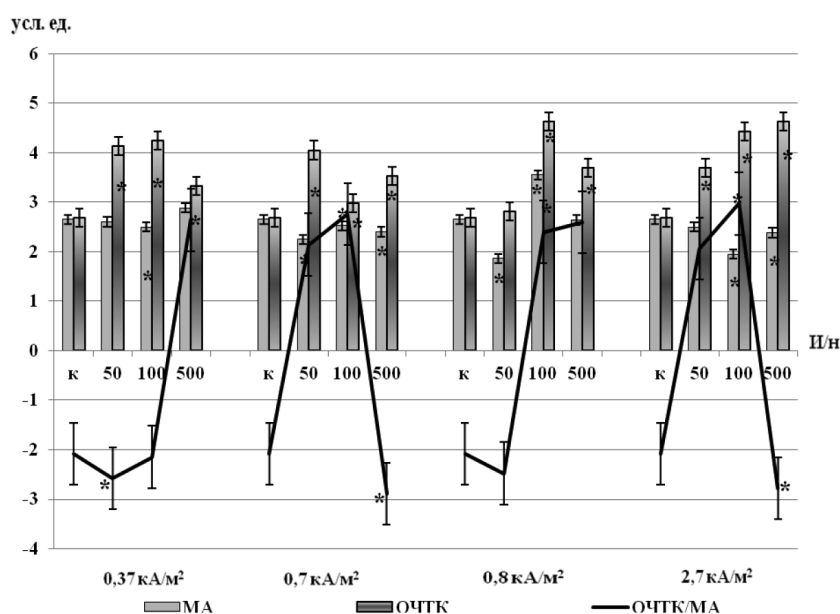


Рис. 4. Динамика скоррелированности взаимодействий тучных клеток и митотических эпителиоцитов слизистой оболочки тощей кишки в условиях воздействия параметров иЭМП
Примечания: * – $p < 0,05$ по отношению к контролю; МА – митотическая активность; ОЧТК – общее число тучных клеток.

ванных эпителиоцитов крипт и наблюдался разнонаправленный эффект, который зависел от периодичности ЭМП ЭР и ПНТ, причем при их повышении усиливалась поражаемость эпителия слизистой оболочки тощей кишки за счет снижения митотической активности с увеличением коэффициента поражаемости эпителия в хронодинамике для ряда параметров (рис. 3).

Выявлена зависимость тучных клеток межкрип- тальной стромы слизистой оболочки тощей кишки от величины ПНТ и периодичности импульсов, что коррелировало с продолжительностью воздействия, то есть увеличением их числа в хронодинамике (рис. 4). При этом тучные клетки претерпевали как количественные, так и качественные изменения, выражающиеся в перераспределении морфофункцио-

нальных типов, что преимущественно сопровождалось либо подавлением, либо стимуляцией дегрануляции, а следовательно, торможением или активацией высвобождения гепарина или гистамина, определяющих местный гомеостаз и адаптационный потенциал.

Обсуждение результатов

В ходе обработки результатов эксперимента были установлены амплитудно-частотные окна в динамике событий по морфологическим критериям, которые проявлялись в отсутствии сдвигов по отношению к показателям контроля и являлись неспецифической формой реагирования слизистой оболочки тощей кишки на полученные воздействия, свидетельствовали об их возможной толерантности к определенному комплексному воздействию некоторых параметров

ЭМП ЭР, а также регистрировались и в отношении других сенситивных систем организма, таких как нервная и эндокринная [9, 14, 20].

Так, для недифференцированных эпителиоцитов слизистой оболочки тощей кишки «эффект окна» регистрировался при ЭМП с ПНТ 0,8 кА/м² и периодичности 50 и 500 И/н при 7- и 10-месячном воздействии соответственно.

Для крупноклеточных ядер гипоталамуса данный эффект проявлялся по отношению к нейросекреторным клеткам при 10-месячном воздействии ЭМП с ПНТ 0,7 и 0,8 кА/м² и периодичности 100 И/н. С такими же параметрами наблюдался «эффект окна» в спинномозговых ганглиях, исключая ПНТ 0,7 кА/м². Для щитовидной железы данный эффект наблюдался по отношению к кислой фосфатазе при ПНТ 0,37 кА/м² и 100 И/н спустя 7 месяцев и при ПНТ 0,7 и 2,7 кА/м² с периодичностью 500 И/н спустя 10 месяцев, а также по отношению к общему числу тучных клеток при ПНТ 0,8 кА/м² и 50 И/н после 5 месяцев воздействия [3, 9, 10, 21].

Таким образом, можно отметить, что все биоэффекты структурных элементов слизистой оболочки тощей кишки проявлялись индивидуально в хронодинамике эксперимента на основе исследуемых морфологических критериев и зависели от всех параметров ЭМП ЭР и продолжительности его воздействия с проявлением защитно-приспособительных реакций и наиболее выраженных признаков адаптации для популяции тучных клеток спустя 7 месяцев воздействия, которые опосредованно нашли свое отражение и в нарушении внутриклеточного метаболизма энтероцитов.

Результаты исследования реализованы при разработке Санитарно-эпидемиологических правил и нормативов «Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей» СанПиН 2.2.4.1329-03, утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации №102 от 28.05.2003 г. (введено в действие с 25 июня 2003 г., регистрационный №4708 от 18 июня 2003 г.).

Авторство

Попова О. А. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; Попов В. И. участвовал в разработке концепции исследования, подготовил первый вариант статьи; Самойлов А. С. существенно переработал, внес вклад в интерпретацию полученных данных; Ушаков И. Б. участвовал в анализе данных, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Самойлов Александр Сергеевич — ORCID 0000-0002-9241-7238; SPIN 3771-3848

Ушаков Игорь Борисович — ORCID 0000-0002-6988-9261; SPIN 7120-1771

Попов Валерий Иванович — ORCID 0000-0001-5386-9082; SPIN 8896-9019

Попова Олеся Александровна — ORCID 0000-0002-6687-0776; SPIN 6245-5289

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Макарова И. И. Магнитное поле Земли и организм человека // Экология человека. 2005. № 9. С. 3–9.
2. Аксеев А. В., Аксеев А. А. Адаптация клеток и тканей к хроническому воздействию радиации // VI Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): тезисы докладов. М.: РУДН, 2010. Т. 1. С. 267–269.
3. Бугримов Д. Ю., Попов С. С., Воронцова З. А., Свиридова О. А. Сравнительная оценка проявления чувствительности к воздействию импульсов электромагнитных полей в хронобиологическом аспекте на основе морфологических эквивалентов // Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии IT + ME: труды 15 международной конференции и дискуссионного научного клуба. М., 2007. С. 87–88.
4. Григорьев Ю. Г., Григорьев О. А., Иванов А. А., Лягинская А. М., Меркулов А. В., Степанов В. С. Мобильная связь и изменение электромагнитной среды обитания населения. Необходимость дополнительного обоснования существующих гигиенических стандартов // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50, № 1. С. 6–14.
5. Грязев М. В., Куротченко Л. В., Куротченко С. П., Луценко Ю. А., Субботина Т. И., Хадарцев А. А. Экспериментальная магнитобиология: воздействие полей сложной структуры. Москва; Тверь; Тула: Триада, 2007. 112 с.
6. Кострюкова Н. К., Карпин В. А., Гудков А. Б. Смертность населения, проживающего в местах локальных разломов земной коры // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2005. №4. С. 17–19.
7. Мельниченко П. И., Ушаков И. Б., Попов В. И., Фаустов А. С., Вязовиченко Ю. Е., Датий А. В., Соколова Н. В. Гигиена: словарь-справочник. М.: Высшая школа, 2006. 400 с.
8. Патогенные воздействия неионизирующих излучений на организм человека / под ред. А. А. Хадарцева и А. А. Яшина; ГУП НИИ НМТ, ООО НИЦ «Матрикс». Москва; Тверь; Тула: Триада, 2007. 160 с.
9. Попов С. С., Воронцова З. А., Свиридова О. А. Нейроэндокринные эффекты интегративных проявлений в условиях хронического импульсно-периодического электромагнитного облучения // Сборник статей второй международной научно-практической конференции «Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии и медицине», 26–28.10.2011, Санкт-Петербург. СПб., 2011. Т. 1. С. 25–27.
10. Хадарцев А. А., Воронцова З. А., Есауленко И. Э., Дедов В. И., Гонтарев С. Н., Попов С. С., Свиридова О. А. Морфофункциональные соотношения при воздействии импульсных электромагнитных полей. Тула; Белгород, 2012. 120 с.
11. Шандаля М. Г., Зуев В. Г., Ушаков И. Б., Попов В. И. Справочник по электромагнитной безопасности работающих и населения. Воронеж: Истоки, 1998. 82 с.
12. Ушаков И. Б., Турзин П. С., Агаджанян Н. А., Попов В. И., Чубирко М. И., Фаустов А. С. Экология человека и профилактическая медицина. Воронеж: ИПФ «Воронеж», 2001. 488 с.
13. Bienkowski P., Trzaska H. Electromagnetic Measurements in the Near Field // Second Revised / Ed. SciTech Publishing, Inc. Raleigh, NC. 2010. 49 p.
14. Black D. R., Heynick L. N. Radiofrequency (RF) effects on blood cells, cardiac, endocrine, and immunological functions // Bioelectromagnetics. 2003. Suppl. 6. P. 187–195.

15. De Santa Barbara P., van den Brink G. R., Roberts D. J. Development and differentiation of the intestinal epithelium // *Cell Mol Life Sciences*. 2003. Vol. 60. P. 1322–1332.

16. Hallberg O., Oberfeld G. Electromagnetic fields and the essence of living systems // *Electromagnetic Biol. Med.* 2006. P. 189–191.

17. Jauchem J. R. Effects of low-level radio-frequency (3kHz to 300GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: a review of the recent literature // *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2008. Vol. 211, N 1–2. P. 1–29.

18. Johansson O. Aspects of studies on the functional impairment electrohypersensitivity // *Int. conf. «Electromagnetic fields and health - a global issue»*. London, 2008. P. 31–34.

19. Maaser C., Kagnoff M. F. Role of the intestinal epithelium in orchestrating innate and adaptive mucosal immunity // *Zeitschrift für Gastroenterologie*. 2002. Vol. 40(7). P. 525–529.

20. Rajkovic V. Studies on the effect of 50 Hz electromagnetic field on the structure of the rat thyroid gland // *Acta morphol. et anthropol.* 2000. Vol. 5. P. 72–78.

21. Schwartz L., Huff T. Biology of mast cells and basophils. *Allergy: Principles and Practice* 4th. 1993. P. 135–168.

References

1. Agadzhanian N. A., Makarova I. I. Magnetic field of the Earth and the human body. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2005, 9, pp. 3-9. [In Russian]

2. Akleev A. V., Akleev A. A. Adaptation of cells and tissues to chronic effects of radiation. *VI Congress on Radiation Research (radiobiology, radioecology, radiation safety)*, Abstracts. Moscow, RUDN, 2010, vol. I, pp. 267-269. [In Russian]

3. Bugrimov D. Yu., Popov S. S., Voroncova Z. A., Sviridova O. A. Comparative evaluation of the manifestation of sensitivity to the effect of electromagnetic fields impulses in the chronobiological aspect on the basis of morphological equivalents. New information technologies in medicine, biology, pharmacology and ecology IT + MEc. *Proceedings of the 15th International Conference and Discussion Science Club*. Moscow, 2007, pp. 87-88. [In Russian]

4. Grigorev Yu. G., Grigorev O. A., Ivanov A. A., Lyaginskaya A. M., Merkulov A. V., Stepanov V. S. Mobile communication and changing the electromagnetic environment of the population. The need for additional justification for existing hygienic standards. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation Biology. Radioecology]. 2010, 50 (1), pp. 6-14. [In Russian]

5. Gryazev M. V., Kurotchenko L. V., Kurotchenko S. P., Lucenko Yu. A., Subbotina T. I., Hadarcev A. A. *Ekspperimentalnaya magnitobiologiya: vozdeistvie polei slozhnoi struktury* [Experimental magnetobiology: the effect of fields of complex structure]. Moscow, Tver, Tula, Triada Publ., 2007, 112 p.

6. Kostryukova N. K., Karpin V. A., Gudkov A. B. Mortality of population living in areas of local Earth's crust ruptures. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdoravookhraneniya i istorii meditsiny*. 2005, 4, pp.17-19. [In Russian]

7. Melnichenko P. I., Ushakov I. B., Popov V. I., Faustov A. S., Vyazovichenko Yu. E., Datij A. V., Sokolova N. V. *Gigiena: slovar-spravochnik* [Hygiene: a dictionary-reference]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2006, 400 p.

8. *Patogennyye vozdeistviya neioniziruyushchikh izluchenii na organizm cheloveka* [Pathogenic effects of non-

ionizing radiation on the human body]. Eds.: A. A. Hadarcev I. A. A. Yashin. Moscow, Tver, Tula, Triada Publ., 2007, 160 p.

9. Popov S. S., Vorontsova Z. A., Sviridova O. A. Neuroendocrine effects of integrative manifestations in conditions of chronic pulsed-periodic electromagnetic radiation. *Collection of articles of the second international scientific and practical conference "High technologies, fundamental and applied research in physiology and medicine"*. 26-28.10.2011, Saint Petersburg, 2011, vol. 1, pp. 25-27. [In Russian]

10. Hadartsev A. A., Vorontsova Z. A., Esaulenko I. E., Dedov V. I., Gontarev S. N., Popov S. S., Sviridova O. A. *Morfofunktsionalnye sootnosheniya pri vozdeistvii impulsnykh elektromagnitnykh polei* [Morphofunctional relations under the action of pulsed electromagnetic fields]. Tula, Belgorod, 2012, 120 p.

11. Shandala M. G., Zuev V. G., Ushakov I. B., Popov V. I. *Spravochnik po elektromagnitnoi bezopasnosti rabotayushchikh i naseleniya* [Reference book on electromagnetic safety of workers and the population]. Voronezh, Istoki Publ., 1998, 82 p.

12. Ushakov I. B., Turzin P. S., Agadzhanian N. A., Popov V. I., Chubirko M. I., Faustov A. S. *Ekologiya cheloveka i profilakticheskaya meditsina* [Human Ecology and Preventive Medicine]. Voronezh, 2001, 488 p.

13. Bienkowski P., Trzaska H. *Electromagnetic Measurements in the Near Field*. Second Revised. Ed. SciTech Publishing, Inc. Raleigh, NC, 2010, 49 p.

14. Black D. R., Heynick L. N. Radiofrequency (RF) effects on blood cells, cardiac, endocrine, and immunological functions. *Bioelectromagnetics*. 2003, 6, pp. 187-195.

15. De Santa Barbara P., van den Brink G. R., Roberts D. J. Development and differentiation of the intestinal epithelium. *Cell Mol Life Sciences*. 2003, 60, pp. 1322-1332.

16. Hallberg O., Oberfeld G. Electromagnetic fields and the essence of living systems. *Electromagnetic Biol. Med.* 2006, pp. 189-191.

17. Jauchem J. R. Effects of low-level radio-frequency (3kHz to 300GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: a review of the recent literature. *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2008, 211 (1-2), pp. 1-29.

18. Johansson O. Aspects of studies on the functional impairment electrohypersensitivity. *Int. conf. «Electromagnetic fields and health - a global issue»*. London, 2008, pp. 31-34.

19. Maaser C., Kagnoff M. F. Role of the intestinal epithelium in orchestrating innate and adaptive mucosal immunity. *Zeitschrift für Gastroenterologie*. 2002, 40 (7), pp. 525-529.

20. Rajkovic V. Studies on the effect of 50 Hz electromagnetic field on the structure of the rat thyroid gland. *Acta morphol. et anthropol.* 2000, 5, pp. 72-78.

21. Schwartz L., Huff T. Biology of mast cells and basophils. *Allergy: Principles and Practice* 4th. 1993, pp. 135-168.

Контактная информация:

Ушаков Игорь Борисович — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна ФМБА» России; заместитель главного редактора научно-практического журнала «Экология человека»

Адрес: 123182, г. Москва, ул. Живописная, д. 46

E-mail: iushakov@fmbcfmba.ru