



Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2021. Т. 29, № 4
Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics. 2021;29(4)

Научная статья
УДК 621.391
DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-4-549-558

Взаимодействие электромагнитного излучения с биологическими объектами и социальными системами

А. С. Дмитриев✉, А. И. Рыжов

Институт радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова РАН, Москва, Россия

E-mail: ✉chaos@cplire.ru, mef.box@gmail.com

Поступила в редакцию 30.04.2021, принята к публикации 04.06.2021,
опубликована 30.07.2021

Аннотация. Популяризация ключевых научных проблем занимает значительное место в творчестве Д. И. Трубецкова. В память об этом в статье в популярной форме обсуждается проблема воздействия электромагнитного излучения на биологические объекты, имеющая более чем вековую историю, но все еще далекая от своего окончательного решения. **Цели.** Рассмотреть вопрос о взаимосвязи между сложностью биологических объектов и социальных структур, с одной стороны, и мобильными беспроводными системами связи, с другой стороны. Проанализировать проблему взаимодействия электромагнитных полей с биологическими объектами и социальными структурами, как сложными многоэлементными системами, и оценить возможность выявления при этом новых эффектов в их поведении. **Методы.** В результате многих исследований в разных странах к середине 60-х годов двадцатого века сформировалась идея о комплексном и системном характере влияния электромагнитных полей на биологические объекты. Поэтому взаимодействие электромагнитных полей с биологическими объектами и социальными средами рассматривается в работе, как проблема внешнего воздействия на сложные многоэлементные, связанные между собой системы, с применением концептуальных подходов нелинейной динамики. **Результаты.** Показано, что наряду с эффектами воздействия ЭМП на отдельные биологические объекты имеют место эффекты воздействия информационной составляющей ЭМП на социальные системы, элементами которых являются люди как биологические объекты. Пороговая плотность потока мощности, при которой начинают проявляться эффекты воздействия на социальные системы, значительно ниже, чем порог влияния на сами биологические объекты. **Заключение.** Эффективные подходы к снижению негативного влияния микроволнового излучения на человека могут быть реализованы с использованием персональных средств контроля уровня и получаемой дозы излучения – дозиметров электромагнитного излучения, которые являются фактически аналогом градусников при измерении температуры тела.

Ключевые слова: электромагнитное поле, биологические объекты, мобильные системы связи.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания.

Для цитирования: Дмитриев А. С., Рыжов А. И. Взаимодействие электромагнитного излучения с биологическими объектами и социальными системами // Известия вузов. ПНД. 2021. Т. 29, № 4. С. 549–558.

DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-4-549-558

Статья опубликована на условиях Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Interaction of electromagnetic radiation with biological objects and social systems

A. S. Dmitriev✉, A. I. Ryzhov

Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: ✉chaos@cplire.ru, mef.box@gmail.com

Received 30.04.2021, accepted 04.06.2021,

published 30.07.2021

Abstract. Popularisation of the key scientific problems occupied a significant place in D. I. Trubetskov's work. In memory of this fact, the problem of electromagnetic field affecting biological objects is discussed in a popular manner in this article. This problem has more than a century in its history, but still being far from the final solution. *Objectives.* Analyze the problem of the interaction of electromagnetic fields with biological objects and social structures as complex multielement systems, and assess the possibility of identifying new effects in their behavior. *Methods.* As a result of many studies in different countries, by the mid-60s of the twentieth century, an idea was formed about the complex and systemic nature of the influence of electromagnetic fields on biological objects. Therefore, the interaction of electromagnetic fields with biological objects and social environments is considered in the work as a problem of external influence on complex multielement interconnected systems, using conceptual approaches of nonlinear dynamics. *Results.* It is shown that along with the effects of EMF on individual biological objects, there are effects of the influence of the information component of EMF on social systems, the elements of which are people considering as biological objects. The threshold power flux density where the influence effects on the social systems begin to manifest is significantly lower than the one for biological objects. *Conclusion.* Effective approaches aimed to reduce the negative impact of microwave radiation on humans can be implemented using personal means for monitoring the level and the received dose of radiation – electromagnetic radiation dosimeters, which are actually analogous to thermometers for measuring body temperature.

Keywords: electromagnetic field, biological objects, mobile communication systems.

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of a state assignment.

For citation: Dmitriev A. S., Ryzhov A. I. Interaction of electromagnetic radiation with biological objects and social systems. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics.* 2021;29(4):549–558. DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-4-549-558

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Введение

Важной составляющей многогранной научной деятельности Дмитрия Ивановича Трубецкого являлась популяризация науки, доведение до широкой научной общественности, в том числе научной молодежи, интересных фактов об историях научных открытий и людях, сделавших эти открытия.

Эта впечатляющая работа велась Дмитрием Ивановичем по нескольким направлениям. Она включала многолетнюю систематическую организацию не только научных конференций, но и школ-конференций, на которых создавалась атмосфера сопричастности слушателей ко всему процессу развития нелинейной науки, а не только к своим собственным, интересным, но иногда достаточно узким задачам.

Здесь было и привлечение к работе конференций и школ лекторов, выдающихся по своим энциклопедическим знаниям и умению чрезвычайно интересно и содержательно доводить их до широкой аудитории (таким был, например, Юлий Александрович Данилов – постоянный участник конференций по вопросам нелинейной динамики). Сюда, безусловно, нужно отнести и постоянное внимание руководимого и вдохновляемого Д. И. Трубецковым журнала «Известия

вузов. Прикладная нелинейная динамика» к персоналиям выдающихся ученых прошлого и настоящего и отслеживания им важных событий научной жизни. Наконец, деятельность самого Дмитрия Ивановича в качестве выдающегося популяризатора истории научного процесса, как лектора и автора многих эссе в области нелинейной науки, часть из которых опубликована в сборниках [1, 2].

В память об этой стороне научной биографии Дмитрия Ивановича в данной статье рассказывается в популярной форме о научной проблеме воздействия электромагнитного излучения на биологические объекты, имеющей более чем вековую историю, но все еще далекую от своего окончательного решения.

1. Сложность биологических и социальных систем и мобильные беспроводные системы связи

В середине 1980-х годов рядом ведущих исследователей США из лаборатории Лос Аламоса была выдвинута и реализована идея создания специального института (Santa Fe Institute – SFI) для изучения проблем сложности (complexity). Этот институт сыграл видную роль в становлении науки об изучении сложных объектов и субъектов. Цель исследований SFI хорошо выражает высказывание одного из его сотрудников Х. Пагельса (H. Pagels): «Я убежден, что нации и люди, овладевшие новой наукой о сложности, станут экономической, культурной и политической сверхдержавой следующего века».

Мобильные сети связи, как коммуникационные элементы сложных систем, в наше время стали одним из главных инструментов реализации этой мысли. Их развитие вместе с очевидными и не очень новыми возможностями и достоинствами затрагивает ряд проблем, перспективы решения которых не выглядят слишком радужными. Одна из этих проблем рассматривается в этой статье и связана с тем, что биологические объекты, в том числе люди, подвергаются воздействию электромагнитного микроволнового излучения базовых станций и персональных устройств мобильных систем связи и взаимодействуют с этим излучением.

2. Биологические системы и электромагнитное излучение

Проблема взаимодействия электромагнитных полей (ЭМП) была осознана практически сразу после появления первых радиосредств. Один из ее активных исследователей Александр Гаврилович Гурвич, подводя итоги своих многолетних исследований, писал в предисловии к своей книге «Теория биологического поля» [3]: «...Я выпускаю в свет эту небольшую монографию не без некоторых колебаний. Разработка основных представлений о биологическом поле ведется мной, правда, с частыми и длительными многолетними перерывами, уже на протяжении 30 лет, тем не менее предлагаемая теперь редакция является в сущности лишь новым, возможно и не решающим этапом эволюции основной идеи поля, правда, этапом, знаменующим собой резкий поворот моей первоначальной концепции.

В значительной степени речь идет скорее о программе для возможных новых и, как мне кажется, многообещающих направлений в биологии, чем об уже достигнутых результатах. Именно этот основной характер моей работы и оправдывает, как мне кажется, ее опубликование: моя цель будет вполне достигнута, если хотя бы немногие из моих будущих читателей заинтересуются реализацией той или иной из намеченных в монографии проблем...»

А. Г. Гурвич был далеко не единственным ученым, который интересовался в те уже далекие годы проблемой взаимодействия полей, прежде всего электромагнитных, и биологических

объектов. Примерно к этому же и несколько более позднему времени относятся исследования Бернарда Бернардовича Кажинского, представленные им в книге «Биологическая радиосвязь» [4]. В аннотации к книге говорится, что книга посвящена интереснейшему вопросу современной науки – природе, и сущности некоторых явлений электромагнитного общения между живыми организмами. Отмечается, что этот вопрос мало освещен в мировой научной литературе, вызывает горячие споры и дискуссии, однако единой установившейся точки зрения по этому поводу еще нет.

В самом начале прошлого столетия физик и инженер-электрик Б. Кажинский выдвинул гипотезу о том, что человеческий мозг излучает радиоволны, которые он может передавать мозгу другого живого существа. Ученый взялся за разработку «мозгового радио», способного превращать мозговые импульсы в звуковые сигналы, которые можно передавать на большие расстояния. Кажинский успешно выступал с лекциями о своем открытии в лучших европейских и американских университетах, а также провел ряд показательных экспериментов в Канаде.

17 марта 1924 года в Москве в присутствии специально созданной комиссии был проведен эксперимент, в ходе которого при помощи низкочастотного излучателя оператор внушал одной из собак цирка Владимира Дурова приказ пойти в соседнюю комнату, выбрать из стопки определенную книгу и отнести ее хозяину. К изумлению присутствующих, опыт удался. Успешными оказались и эксперименты, в которых участвовали другие цирковые собаки. Однако все это возымело неожиданный эффект: когда эксперимент завершился, животные перестали подчиняться устным командам дрессировщиков: видимо, в их мозгу что-то «перемкнуло». В конце концов опыты над собаками пришлось прекратить.

Следует отметить, что исследования в области взаимодействия электромагнитных волн и биологических объектов велись интенсивно в ведущих странах не только отдельными учеными, но и в рамках больших проектов.

Так, в 1941–1944 годах в Германии в Институте физики сознания из системы Ананербе был реализован проект «Тор», названный в честь одного из древнегерманских богов (герм. миф. «Thor», бог грома и плодородия). Данных по этому проекту чрезвычайно мало, но и по ним можно судить, что успехи фашистов позволяли им перейти от сугубо научных исследований к применению излучателей на практике. К началу 1944 года полтора десятка генераторов электромагнитного излучения и сеть мачт-ретрансляторов были развернуты по всей Германии. Они днем и ночью передавали один и тот же ментальный приказ: боевой дух, преданность фюреру, воля к победе. Утверждается, что, начиная с этого момента, упаднические настроения среди немцев резко пошли на убыль, они вновь с воодушевлением внимали речам доктора Геббельса и готовились умирать за великую Германию. Однако пси-обработка не могла восполнить потери. Войска союзников по антигитлеровской коалиции наступали.

В СССР в 1954–1977 годах была создана установка «Радиосон», способная при воздействии в течение нескольких минут приводить к засыпанию людей на значительных площадях.

Широкий фронт работ проводился в этом направлении, начиная не позже 1950 года в США в рамках проектов «МК-Ультра», «Артишок», «Синяя птица», «МК-Поиск». В 1977 году в этом направлении работало уже 140 исследовательских лабораторий. Основная организация – Центр перспективных физических исследований.

Постепенно сформировалось убеждение, что проблема носит комплексный и системный характер. В Советском Союзе заметным событием, фиксирующим это убеждение, стал выход книги Александра Самуиловича Пресмана «Электромагнитные поля и живая природа» [5].

В аннотации к книге говорилось, что книга посвящена постановке и обоснованию новой биологической проблемы о существенной роли в живой природе электромагнитных полей инфранизкочастотного, низкочастотного и радиочастотного диапазонов. В основу постановки этой

проблемы автором положено предположение о существовании трех видов передачи информации при помощи этих полей в живой природе: из внешней среды в организмы, внутри самих организмов и, наконец, между организмами.

В книге был проведен обзор практически всех представляющих научный интерес, имевшихся на тот момент времени, экспериментальных и теоретических данных о действии электромагнитных полей разных частот на организмы самых различных видов – от одноклеточных до человека, об эффектах таких полей на различных уровнях организации – молекулярном, клеточном, органном и организменном. Рассмотрены возможности использования этих эффектов на практике – в медицине, сельском хозяйстве, биологических исследованиях, в решении некоторых задач бионики и др.

Анализируя экспериментальные данные в разрезе концепции об информационных функциях электромагнитных полей, автор высказал ряд гипотез по поводу не выясненной еще природы некоторых взаимосвязей внутри живых организмов, о возможных причинах некоторых загадочных пока особенностей в поведении животных и их взаимоотношении в сообществах.

Следующий этап по изучению электромагнитных полей в связи с биологическими объектами связан с двумя событиями: проектом по изучению собственных полей излучения человека (Ю. В. Гуляев, Э. Э. Годик [6]), в котором впервые комплексно изучались различные типы полей, излучаемые человеком (в первую очередь тепловое электромагнитное и акустическое излучение), а также многолетняя программа работ научного коллектива под руководством Н. Д. Девяткова по исследованию воздействия электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на биологические объекты, включая человека [7, 8]. Предварительные идеи по этой программе были высказаны Н. Д. Девятковым в докладе «Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты» на научной сессии отделения общей физики и астрономии АН СССР в январе 1973 года [7]. В докладе отмечалось, что «... Несколько лет назад в организациях Министерства электронной промышленности СССР и в Институте радиофизики и электроники АН УССР (Харьков) были закончены разработки генераторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн типа ламп обратной волны, дающих возможность плавно изменять частоту генерируемых колебаний в широких пределах. На базе разработанных генераторов миллиметровых волн были созданы специализированные установки для проведения биологических исследований. Начиная примерно с 1965 г., в ряде организаций СССР начались систематические исследования воздействия миллиметровых волн на биологические объекты. Экспериментальные исследования, проведенные в миллиметровом диапазоне, при очень малых плотностях потока СВЧ-энергии (не более единиц милливольт на квадратный сантиметр) выявили очень интересные специфические эффекты воздействия облучения. Почти на всех исследуемых биологических объектах было установлено, что:

- эффект воздействия сильно зависит от частоты СВЧ-колебаний;
- в определенных пределах величины СВЧ-мощности эффект воздействия слабо зависит от изменения мощности на порядки величины;
- наблюдается значительная зависимость эффектов от времени облучения.

Полученные результаты представляют большой научный и практический интерес. Например, установлена зависимость жизнедеятельности микроорганизмов от облучения миллиметровыми волнами. Влияние в различных участках диапазона и при различных условиях облучения может быть либо положительным, либо отрицательным. **Получаемые при облучении микроорганизмов эффекты в дальнейшем могут явиться основой новых методов получения вакцин, увеличения продуктивности методов получения антибиотиков.** Не исключена возможность применения облучения миллиметровыми волнами ожоговых поражений и других ран с нагноением для ускорения процесса заживления...».

Проведенные последующие исследования в значительной степени подтвердили первоначальные надежды и гипотезы. Промежуточные итоги этих исследований представлены, в частности в [8], где обобщается почти сорокалетний опыт исследований в области применения низкоинтенсивных электромагнитных волн миллиметрового (крайне высокочастотного) диапазона в биологии и медицине. Рассмотрен широкий круг вопросов – от биотропных параметров миллиметровых волн до особенностей их взаимодействия с биологическими структурами, и подробно анализируются механизмы взаимодействия миллиметровых волн с живыми системами.

Таким образом, вопрос влияния электромагнитных волн на организм человека интенсивно изучается несколько десятилетий, однако до сих пор для него нет консолидированной позиции научного сообщества. Острота проблемы проявляется все сильнее с учетом того, что системы беспроводной связи, использующие электромагнитные излучения (ЭМИ), являются неотъемлемой частью жизни современного общества, а их количество только растет. И одним из самых важных вопросов является вопрос о безопасности электромагнитного излучения и его безопасных уровнях для здоровья человека.

3. Какие уровни излучений можно считать безопасными для биологических систем?

Уже в 50–60 годы двадцатого века на основании специально проведенных исследований во многих странах мира были введены критерии, определяющие безопасный уровень. Энергетический критерий, согласно которому излучение считается безопасным, это уровень, который не приводит к быстрому нагреванию кожного покрова. Этот уровень был определен в 1 мВт/см^2 .

В СССР (а позже в РФ) этот критерий также использовался, но проведенные исследования показали, что реально изменения в различных показателях жизнедеятельности организма наступают при значительно более низких уровнях плотности микроволнового излучения: уже при значениях $\sim 10 \text{ мкВт/см}^2$. Поэтому был введен также «информационный» порог воздействия, имеющий именно такое значение [9].

Как отмечалось в [5], максимальной чувствительностью к ЭМП обладают целостные организмы, меньшей – изолированные органы и клетки, и еще меньшей – растворы макромолекул.

Существенные различия наблюдаются в реакции на ЭМП у одной и той же биологической системы (молекулярной, клеточной, органной или системной) в зависимости от того, в каких условиях на нее производится воздействие, когда она находится в целостном организме или в изолированном состоянии.

В этих двух случаях наблюдается различие и в характере зависимости реакции системы от параметров ЭМП.

4. Почему ситуация обострилась с введением 5G?

Первоначально введенные критерии безопасности ЭМИ предназначались, в основном, для людей, профессионально связанных с электромагнитными излучениями, и мало касались большей части населения. Ситуация кардинально стала меняться с появлением средств мобильной связи и их массовым применением. Постепенно это стало значительной проблемой, которая интенсивно обсуждается научно-техническим и медицинскими сообществами, а также общественностью. Особенно эти обсуждения стали острыми и интенсивными при переходе к системам связи 5G. Пятое поколение мобильной связи – 5G, отличается от предыдущих поколений по нескольким критериям: многократным повышением пиковых скоростей передачи, значительно меньшим запаздыванием при передаче сигнала от источника к конечному потребителю (примерно в 100 раз:

от 100 мс до 1 мс по сравнению с поколением 4G), расширением возможной области используемых частот в нижней части спектрального диапазона до 6 ГГц и возможностью использования нескольких диапазонов частот в миллиметровом диапазоне.

Поэтому те опасения, которые имелись в отношении экологической безопасности мобильной связи предыдущих поколений, для систем 5G только обострились.

5. Социальные системы как суперорганизмы, и влияние на них электромагнитного излучения

Суперорганизм – организм, состоящий из множества организмов. Обычно это социальная единица, где происходит разделение труда на основе специализации особей, и где по отдельности организмы выжить не в состоянии.

Будем рассматривать социальные системы, например, города, в качестве систем, которые являются объединением людей как организмов и образуют суперорганизм.

Согласно идее Пресмана, чувствительность объектов к электромагнитным полям растет с увеличением сложности объектов.

Можно рассмотреть следующую цепочку биологических объектов с возрастающей сложностью: вирусы, клетки, культуры клеток, органы, живое существо в целом (например, человек), суперорганизм (социально-экономическая система, например, город), как объединение людей, обменивающихся информацией.

Если на уровне организма (или его частей) воздействие микроволнового излучения начинается с уровня плотности мощностей в единицы мкВт/см², то на какие плотности мощности может реагировать город как суперорганизм?

На сегодняшний день, как нам представляется, этот уровень многократно ниже, чем тот, который задается санитарными нормами. Отсюда следует, что *реальное влияние микроволновых ЭМП мобильных систем связи на социальные организмы может начинаться при очень низких уровнях излучения, если это излучение несет принципиально важную для членов сообщества информацию.*

Действительно, каждый человек со смартфоном «привязан» к мобильной сети. Такой «парциальный» организм постоянно находится в общем для данного местоположения в пространстве электромагнитном поле. Если совокупная плотность мощности превышает допустимые санитарные нормы, то организму угрожает опасность в соответствии с механизмами, обоснованными в нормах. Когда уровень потока излучения значительно ниже порогового «информативного» уровня воздействия, но при этом начинает превышать уровень, при котором обеспечивается устойчивая связь между мобильным терминалом пользователя и сетью, то есть попадающий в терминал поток электромагнитной мощности достаточен для качественного приема сигнала, поведение суперорганизма (социальной системы) качественно меняется. Это и есть порог воздействия ЭМП на город, как на суперорганизм.

6. Контроль уровня микроволнового излучения. Персональный дозиметр «Мера»

Для безопасного использования современных средств мобильных коммуникаций нужно иметь возможность простого постоянного контроля уровня излучения в окрестности тела человека. Примером таких средств служит персональный дозиметр микроволнового излучения «Мера» [10, 11], созданный в ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН совместно с ООО «Нанохаос».



Персональный дозиметр микроволнового излучения «Мера»
Personal dosimeter of microwave radiation «Mera»

Устройство позволяет осуществлять постоянный мониторинг дозы излучения, поступающей на единицу площади от средств сотовой связи, Wi-Fi сетей и других источников радиоизлучения микроволнового диапазона частот.

Характеристики дозиметра:

- чувствительность устройства 10 нВт/см^2 ;
- возможность работы в режиме реального времени и в режиме истории;
- взаимодействие с внешними устройствами через USB интерфейс;
- максимальное время записи показаний 7.5 месяцев;
- диапазон рабочих частот 0.8...8.0 ГГц;
- масса устройства $< 30 \text{ г}$;
- габариты $50 \times 80 \times 5 \text{ мм}$.

Заключение

Проблема воздействия электромагнитного излучения на биологические объекты носит системный характер. Давно уже выяснены многие ее аспекты. Не вызывает сомнения, что при превышении определенных уровней плотности электромагнитное излучение самым грубым образом воздействует на биологические объекты, просто нагревая их, вплоть до механического повреждения. При меньших значениях плотности потока мощности могут наблюдаться более тонкие варианты взаимодействия между излучением и облучаемыми биологическими объектами. Это может быть негативное воздействие на так называемом «информационном» уровне, но в определенных диапазонах частот, при соблюдении дополнительных условий такое воздействие может не иметь деструктивного характера и даже использоваться в лечебных целях. При этом традиционно и по регулирующим документам СанПиНа «информационный» уровень воздействия [9] простирается вплоть до плотностей мощности 10 мкВт/см^2 . Однако в ряде экспериментальных работ влияние (немодулированного) миллиметрового излучения обнаружено для уровней плотности мощности начиная с 1 мкВт/см^2 .

Но и это еще не все. Биологические объекты представляют собой сложные многоуровневые иерархические системы. Поэтому у исследователей, особенно интересующихся конструктивным применением микроволнового излучения в медицинских целях, возникает естественное желание использовать сложные по структуре сигналы, чтобы повысить эффективность взаимодействия электромагнитного излучения с биологическими объектами. И, судя по имеющимся опубликованным данным, здесь зафиксированы возможности и даже созданы лечебные методики и аппаратура.

Иногда сообщается о результатах, в которых позитивное медицинское влияние электромагнитного излучения фиксируется при использовании плотностей излучения на несколько порядков ниже границы информационного уровня (10 мкВт/см^2).

В этих исследованиях, однако, имеется проблема, связанная с измерениями. Практически отсутствуют верифицируемые, как это понимается в точных науках, методы измерения как в процессе самого воздействия, так и по его общим результатам.

Представляется принципиально важным переход от анализа воздействия ЭМИ на человека, как биологический объект, к анализу влияния на человеческие сообщества (социальные системы), связанные мобильными средствами коммуникаций. Чувствительность таких сложных систем к ЭМИ (точнее, к его информационному содержанию) оказывается выше, чем у отдельного человека, на три порядка и больше.

Список литературы

1. Трубецков Д. И. Нелинейная наука в датах и лицах. Вып. 5. Ч. 1. Саратов: ИЦ «Наука», 2009. 134 с.
2. Трубецков Д. И. Нелинейная наука в датах и лицах. Вып. 6. Ч. 2. Саратов: ИЦ «Наука», 2010. 199 с.
3. Гурвич А. Г. Теория биологического поля. М.: Советская наука, 1944. 156 с.
4. Кажинский Б. Б. Биологическая радиосвязь. Киев: АН УССР, 1962. 168 с.
5. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
6. Гуляев Ю. В. Физические поля и излучения человека. Новые неинвазивные методы медицинской диагностики. М.: РБОФ «Знание» им. С. И. Вавилова, 2009. 28 с.
7. Девятков Н. Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты // УФН. 1973. Т. 110, № 7. С. 453–454. DOI: 10.3367/UFNr.0110.1973071.0453.
8. Бецкий О. В., Кислов В. В., Лебедева Н. Н. Миллиметровые волны и живые системы. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. 272 с.
9. Электромагнитное излучение радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. М.: Госкомсанэпиднадзор, 2002. 30 с.
10. Дмитриев А. С., Ицков В. В., Рыжов А. И., Уваров А. В. Микроволновая электромагнитная дозиметрия персонального экологического пространства // Физические основы приборостроения. 2020. Т. 9, № 1(35). С. 85–99. DOI: 10.25210/jfor-2001-085099.
11. Дмитриев А. С., Ицков В. В., Рыжов А. И., Григорьев О. А. Экспериментальная апробация персонального дозиметра микроволнового электромагнитного излучения «Мера» // Журнал радиоэлектроники. 2020. № 7. DOI: 10.30898/1684-1719.2020.7.7.

References

1. Trubetskov DI. Nonlinear Science in Dates and Persons. Vol. 5. Pt. 1. Saratov: Publishing Center «Nauka»; 2009. 134 p. (in Russian).
2. Trubetskov DI. Nonlinear Science in Dates and Persons. Vol. 6. Pt. 2. Saratov: Publishing Center «Nauka»; 2010. 199 p. (in Russian).
3. Gurvich AG. The Theory of Biological Field. Moscow: Sovetskaya Nauka; 1944. 156 p. (in Russian).
4. Kazhinskiy BV. Biological Wireless Communication. Kiev: Academy of Sciences of the Ukrainian Soviet Socialist Republic; 1962. 168 p. (in Russian).
5. Presman AS. Electromagnetic Fields and Nature. Moscow: Nauka; 1968. 288 p. (in Russian).

6. Gulyaev YV. Physical Fields and Human Radiation. New Noninvasive Methods of Medical Diagnostics. Moscow: RCPF «Znanie» named after S. I. Vavilov; 2009. 28 p. (in Russian).
7. Devyatkov ND. Influence of millimeter-band electromagnetic radiation on biological objects. Sov. Phys. Usp. 1974;16(4):568–569. DOI: 10.1070/PU1974v016n04ABEH005308.
8. Betskii OV, Kislov VV, Lebedeva NN. Millimeter Waves and Living Systems. Moscow: Science-Press; 2004. 272 p. (in Russian).
9. Electromagnetic radiation of radio-frequency range. Sanitary rules and norms. SanRaN 2.2.4/2.1.8.055-96. Moscow: State Committee on Sanitary and Epidemiology Surveillance; 2002. 30 p. (in Russian).
10. Dmitriev AS, Itskov VV, Ryzhov AI, Uvarov AV. Microwave electromagnetic dosimetry of personal ecological space. Physical Bases of Instrumentation. 2020;9(1(35)):85–99 (in Russian). DOI: 10.25210/jfop-2001-085099.
11. Dmitriev AS, Itskov VV, Ryzhov AI. Experimental approbation of personal dosimeter of microwave electromagnetic radiation «Mera». Journal of Radio Electronics. 2020;(7) (in Russian). DOI: 10.30898/1684-1719.2020.7.7.



Дмитриев Александр Сергеевич – окончил факультет общей и прикладной физики Московского физико-технического института (1971). Кандидат физико-математических наук по специальности радиофизика (1974), доктор физико-математических наук по специальности радиофизика (1988), профессор (1995). Заведующий отделом статистической радиофизики в ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН. Профессор Московского физико-технического института. Область научных исследований и разработок: информационные и коммуникационные технологии на основе динамического хаоса. Автор и соавтор более 230 статей в журналах, 9 монографий, более 25 патентов и авторских свидетельств. Дважды Лауреат Премии Совета Министров СССР. Заслуженный радист Российской Федерации.

125009 Москва, ул. Моховая, д. 11, корп. 7
 Институт радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова РАН
 E-mail: chaos@cplire.ru
 ORCID: 0000-0003-2079-3020



Рыжов Антон Игоревич – родился в Москве (1986). Окончил Московский физико-технический институт (2010). Защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук в области радиофизики (2016). Старший научный сотрудник лаборатории информационных и коммуникационных технологий на основе динамического хаоса в Институте радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Москва. Автор более 40 публикаций (в соавторстве).

125009 Москва, ул. Моховая, д. 11, корп. 7
 Институт радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова РАН
 E-mail: mef.box@gmail.com