

На правах рукописи



**ПЕРОВ Сергей Юрьевич**

**ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭКСПОЗИЦИИ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТНОГО  
ДИАПАЗОНА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГИГИЕНИЧЕСКОГО  
НОРМИРОВАНИЯ**

14.02.04 - медицина труда

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Москва - 2016 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт медицины труда»

**Научный консультант:** доктор биологических наук, профессор  
**Рубцова Нина Борисовна**

**Официальные оппоненты:** **Темурьянц Наталия Арменаковна**  
доктор биологических наук, профессор / ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского», кафедра физиологии человека и животных, профессор  
**Гудков Сергей Владимирович**  
доктор биологических наук / Научный центр волновых исследований ФГБУН «Института общей физики им. А.М.Прохорова РАН», ведущий научный сотрудник  
**Сподобаев Юрий Михайлович**  
доктор технических наук, профессор / ФГУП Научно-исследовательский институт радио Самарский филиал «Самарское отделение научно-исследовательского института радио», главный научный сотрудник

**Ведущая организация:** ФГБУН Государственный научный центр Российской Федерации «Институт медико-биологических проблем РАН»

Защита состоится 27 марта 2017 г. в 14:00 часов на заседании Диссертационного совета Д.001.012.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении «Научно-исследовательский институт медицины труда» Российской академии медицинских наук по адресу: 105275, Москва проспект Буденного, д.31

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «НИИ МТ» и на официальном сайте ФГБНУ «НИИ МТ» - <http://www.niimt.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор биологических наук, профессор

Нина Борисовна Рубцова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В последние десятилетия электромагнитные поля (ЭМП) антропогенного происхождения стали глобальным физическим фактором производственной среды, намного превышающим естественный электромагнитный фон. Эволюция взглядов на биологическое действие антропогенной составляющей в электромагнитном фоне Земли привела к заключению о большей биологической эффективности присутствующих в окружающей среде техногенных ЭМИ, чем естественных (Kottou S. et al., 2014; Valmorì A., 2015, Panagoroulos D.J. et al., 2015). Создаваемые в результате техногенной деятельности человека ЭМП относятся к таким неблагоприятным факторам и, безусловно, требуют обеспечения их гигиенического нормирования и контроля (Измеров Н.Ф. и др., 2003, Тищенко В.А. и др., 2003).

Существенное повышение уровней ЭМП обусловлено резким увеличением количества и видов новых технических средств, эксплуатация которых связана с излучением электромагнитной энергии в окружающую среду. В первую очередь, к этим средствам относятся радиотехнические объекты радио- и телевидения, в том числе и носимые (беспроводные) системы связи, к которым относятся сотовые (мобильные) телефоны и носимые радиостанции (рации). Последние привлекают особое внимание с точки зрения электромагнитной безопасности для человека, что обусловлено расположением источника ЭМП в максимальной близости к пользователю в связи с чем влияние излучения может проявляться в большей степени неблагоприятно.

Одной из сторон интенсивного технологического развития является существенное повышение уровней ЭМП как на производстве, так и в окружающей среде, что определяет важную роль разработки гигиенических нормативов для новых условий окружающей электромагнитной обстановки. Однако при этом, на фоне подавляющего, но вполне объяснимого, потока исследований влияния ЭМП сотовых телефонов, эксплуатация которых осуществляется вне профессиональных групп остались в стороне носимые радиостанции систем подвижной радиосвязи, которые, как правило, находятся в профессиональном пользовании.

В систему подвижной радиосвязи входят абонентские терминалы (носимые радиостанции) и базовые станции транкинговой связи (стационарное оборудование), которые обеспечивают связь между подвижными и стационарными абонентами. В отличие от сотовых телефонов, носимые радиостанции во время разговора (передачи информации) как правило, располагаются непосредственно перед лицом пользователя, т.е. тогда, когда происходит максимум излучения ЭМП (Leszko W. et al., 2012). Таким образом, профессиональный пользователь может располагаться как в ближней зоне источника излучения (рации), так и в дальней зоне ЭМП (базовые станции транкинговой связи). Биологическое действие ЭМП в диапазоне 30-300 МГц достаточно хорошо изучено, однако следует признать, что в части влияния на организм человека отсутствует детальный анализ характера влияния и особенностей оценки экспозиции в диапазоне метровых длин волн. Следует также отметить, что до настоящего времени практически отсутствуют комплексные исследования, направленные на детальный анализ возможных биологических эффектов ЭМП для такого рода воздействий. Это представляется особо значимым в связи с тем, что практически все регламентирующие безопасный для человека уровень ЭМП нормативы в США, многих странах ЕС, и рекомендации Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений биологически необоснованны и определяют предельно-допустимые (ПДУ) лишь для условий дальней зоны облучения. Российские специалисты, т.к. в основе всех гигиенических нормативов, принятых в Российской Федерации, а ранее в СССР, лежат фундаментальные медико-биологические обоснования, неоднократно поднимали вопрос о гармонизации западных стандартов и российских с проведением комплексных исследований в этом направлении (Пальцев Ю.П. и др., 2008; Рубцова Н.Б. и др., 2011; Bukhtiyarov I.V. et al., 2015), в том числе с учетом специфики оценки экспозиции ближней зоны и особенностей биологического действия.

Электромагнитная дозиметрия является одной из обязательных составляющих изучения и оценки биологического действия по определению количественных характеристик поглощенной энергии ЭМП. В России оценка электромагнитной безопасности носимых радиостанций и базовых станций, а

также их соответствия санитарно-гигиеническим регламентам проводится только по уровню ЭМП, создаваемому ими в процессе эксплуатации (Бакушев Ю.В. и др. 2001). Имеющаяся сложность в определении величины поглощенной биологическим объектом энергии ЭМП, может быть преодолена с использованием методов теоретической дозиметрии, которые позволяют путем моделирования с приемлемой точностью и в реальных условиях экспозиции, в том числе и в эксперименте, получить требуемые характеристики.

Вышеизложенное указывает на необходимость комплексного подхода для оценки биологического действия ЭМП носимых средств связи, причем особенно в диапазоне 30-300 МГц, включающего изучение характера распределения и реально существующих интенсивностей ЭМП, количественную оценку характера взаимодействия излучения с биологическим объектом и проведение экспериментальных исследований биологического действия на лабораторных животных. Имеющаяся сложность экспериментального определения величины поглощенной биологическим объектом энергии ЭМП может быть преодолена при параллельном использовании методов теоретической дозиметрии, которые позволяют путем моделирования реальных условий экспозиции с приемлемой точностью, в том числе и в эксперименте, получить требуемые данные.

Дозиметрические измерения сами по себе не могут считаться полноценным гигиеническим критерием оценки эффектов ЭМП радиочастотного диапазона, поскольку они требуют медико-биологического подтверждения. В научной литературе отсутствуют данные о комплексном изучении биологического действия ЭМП в сочетании с получением таких дозиметрических показателей как удельная поглощенная мощность (УПМ) в области ЭМП метрового диапазона длин волн. Экспериментальное изучение биологических эффектов, выполненное как на лабораторных животных, так и с использованием адекватных моделей, позволит, на наш взгляд, более объективно оценить влияние сложных условий экспозиции на организм человека. Корректное проведение исследований при изучении биологического действия ЭМП в экспериментах на животных, которые являются неотъемлемой составляющей в обосновании величин ПДУ, требует контролируемых и стандартизированных

ных условий эксперимента. Обеспечение таких условий невозможно без комплексного использования методов теоретической и экспериментальной дозиметрии, разработки и применения систем измерения поглощенной биологическим объектом энергии ЭМП и контролируемого облучения животных в реальных условиях (ближняя и дальняя зоны источника) экспозиции.

Все вышеуказанное подтверждает актуальность комплексного исследования, включающего теоретическую и экспериментальную дозиметрию с оценкой биологического действия ЭМП на реальных объектах в диапазоне метровых длин волн (30-300 МГц) на примере подвижной радиосвязи.

**Целью работы** являлась разработка и научное обоснование комплекса критериев оценки экспозиции, с учетом особенностей биологического действия в ближней и дальней зонах электромагнитных полей радиочастотного диапазона для совершенствования гигиенического нормирования.

**В соответствии с целью данной работы предстояло решить следующие задачи:**

1. Апробировать и адаптировать методы и средства расчётной и экспериментальной дозиметрии ЭМП для оценки уровней эффективной экспозиции на примере метрового диапазона длин волн.
2. Разработать численные модели условий экспозиции источников ЭМП метрового диапазона, соответствующие реальным условиям экспозиций в ближней и дальней зонах с учетом биологического объекта.
3. Изучить распределения и поглощения энергии ЭМП метрового диапазона длин волн биологическими объектами на созданных и апробированных моделях.
4. Разработать метод определения поглощения энергии ЭМП и изучить характер поглощения электромагнитной энергии метрового диапазона длин волн биологическим объектом в дальней зоне источника излучения.
5. Изучить некоторые особенности биологического действия ЭМП метрового диапазона длин волн с учетом величин падающей и поглощенной энергии сочетанием методов математического моделирования (численной дозиметрии) и экспериментальной дозиметрии применительно к задачам оценки экспозиции при гигиеническом нормировании.

6. Провести экспериментальные исследования по изучению влияния ЭМП метрового диапазона на глюко- и минералкортикоидную активность надпочечников, в зависимости от времени экспозиции и величины падающей и поглощенной энергии ЭМП.
7. Обосновать современный подход к оценке экспозиции при изучении биологического действия ЭМП радиочастотного диапазона как методологически корректный принцип совершенствования гигиенического нормирования.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Предложенный принцип комплексной оценки экспозиции ЭМП радиочастотного диапазона позволяет детально и эффективно оценить характер распределения и поглощения электромагнитной энергии в ближней и дальней зонах источника и дает возможность определить зависимость падающей и поглощенной электромагнитной энергии метрового диапазона длин волн, учитывая биологическое действие фактора.
2. На примере антропометрического фантома головы человека показано, что в ближней зоне источника поглощение электромагнитной энергии ЭМП метрового диапазона длин волн, несмотря на его высокую проникающую способность в биологические среды, зависит от формы облучаемого объекта с формированием локальных максимумов поглощения энергии.
3. Разнонаправленность биологических реакций на воздействие ЭМП метрового диапазона длин волн нетермогенных уровней в зависимости от величины поглощенной электромагнитной энергии и времени экспозиции проявляется в повышении глюко- и минералкортикоидной активности надпочечников при величинах поглощенной энергии, равной 0,023 Вт/кг при уровне экспозиции 25 В/м и времени облучения до 8 дней, и ее угнетении при увеличении поглощения энергии до 0,038 Вт/кг при уровне экспозиции 35 В/м и увеличении времени экспозиции до 11 дней.
4. Предложенный комплексный трехэтапный принцип является необходимым и достаточным условием для решения вопросов воспроизводимости постановки и проведения исследований по изучению биологического действия фактора с оценкой условий экспозиции в ближней и дальней зоне

источника ЭМП и обеспечения гармонизации гигиенических нормативов с международными.

**Научная новизна работы.** Предложен трехэтапный принцип комплексного использования взаимодополняющих методов изучения биологического действия ЭМП радиочастотного диапазона (на примере носимых средств связи метрового диапазона длин волн), охватывающий как характеристики источников, условий экспозиции величины поглощенной энергии излучения в биологических объектах и их моделях, так и экспериментальное изучение биологических эффектов в условиях облучения.

Впервые получены качественные и количественные характеристики поглощения энергии ЭМП радиочастотного диапазона в моделях биологических объектов (участка тела и головы человека) при облучении в ближней зоне источника метрового диапазона длин волн.

Теоретически и экспериментально определены количественные показатели поглощения энергии ЭМП метрового диапазона длин волн в области глаз антропометрической модели (фантома) головы человека при облучении в ближней зоне источника излучения.

Впервые получены сравнительные результаты измерений общего поглощения энергии ЭМП лабораторными животными (крысами) при разных уровнях экспозиции с детальной оценкой этих величин на численных моделях животных.

Получены зависимости гормонального отклика надпочечников повышением глюко- и минералкортикоидной активности на воздействие ЭМП метрового диапазона длин волн в зависимости от величины поглощенной энергии излучения и времени экспозиции, имеющие адаптационный характер.

Показана разнонаправленность биологических эффектов в зависимости от величины поглощенной энергии ЭМИ метрового диапазона длин волн, заключающаяся в стимуляции функциональной активности надпочечников и сопровождающаяся повышением экскреции кортикостерона при малых величинах поглощенной энергии излучения, которое сменяется угнетением при увеличении времени экспозиции и росте интенсивности воздействия.



Разработанный комплексный подход позволяет обеспечить четкую постановку, верификацию и воспроизводимость результатов экспериментальных исследований в том числе в целях международной гармонизации гигиенических нормативов ЭМП.

**Практическое значение.** Материалы диссертационной работы использованы в обосновании МУК 4.3.2501-09 «Измерение электромагнитных полей персональных подвижных систем сотовой связи», ГОСТ ССБТ 12.4.305-2016 «Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Общие требования» и включены в ГОСТ ССБТ 12.4.306-2016 «Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Методы контроля», материалы диссертации используются в курсе лекций повышения квалификации ГБОУ ВПО Первый МГМУ имени И.М. Сеченов «Методы контроля факторов производственной среды и трудового процесса. СОУТ».

**Апробация работы.** Основные материалы диссертации доложены и обсуждены на заседании Проблемной комиссии «Научные основы медицины труда Научного совета по медико-экологическим проблемам здоровья работающих» (Москва, 2015; 2016) ФГБНУ «НИИ медицины труда». Основные положения диссертационной работы и результаты исследований доложены на заседаниях Ученого совета ФГБНУ «НИИ медицины труда» (2014; 2015), VII Съезде по радиационным исследованиям (Москва, 2014), Международном конгрессе «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине» (Санкт-Петербург, 2015), Всероссийских Конгрессах «Профессия и здоровье» (Москва, 2007; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013), II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Окружающая среда и здоровье» (Рязань, 2007), Международных симпозиумах по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии (Санкт-Петербург, 2006; 2007; 2011), Международных конференциях «Человек и электромагнитные поля» (Саров, 2007; 2010; 2013), Совместном совещании Комиссии биоэлектромагнитного общества и Европейской биоэлектромагнитной ассоциации «Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the

European BioElectromagnetics Association» (Davos, 2009), Международных симпозиумах «Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS)» (Москва, 2009; Xian, 2010; Stockholm, 2013; Prague, 2015), Школах-конференциях «Биология-наука XXI века» (Пушино, 2012; 2013; 2014), Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора (Пермь, 2012), Международных конференциях «Экспериментальная и теоретическая биофизика» (Пушино, 2012; 2013; 2014), 8-м Международном семинаре по биологическому действию электромагнитных полей «8th International Workshop on biological effects of electromagnetic fields» (Varna, 2014), Второй Международной конференции по радиационной дозиметрии в различных областях исследований «The Second International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research (RAD-2014)» (Niš, 2014), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы безопасности и оценка риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания» (Пермь, 2014), V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Окружающая среда и здоровье. Здоровая среда – здоровое население» (Москва, 2014), Научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы медицины труда. Сохранение здоровья работников как важнейшая национальная задача» (Санкт-Петербург, 2014), 9-м Международном семинаре по биологическому действию электромагнитных полей “9th EMF International Workshop “Bioelectromagnetics and Water Science to Aid Environmental Health Defence” (Erevan, 2016).

**Личный вклад автора.** Автор лично участвовал в постановке проблемы, формулировании цели и задач, планировании исследований, разработке и обосновании методологических подходов, разработке экспериментальных стендов, методов исследований, в создании математических моделей, постановке исследований, получении и анализе результатов экспериментов, формулировании выводов, подготовке публикаций. Доля участия соискателя в

разработке методологии и моделей составляет 95 %, в экспериментальных исследованиях 80 %, в обработке и анализе результатов 90%.

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 101 научной работе, в том числе в 25 статьях в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК Министерства образования и науки РФ, включая 19 работ по профилю специальности.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, списка цитируемой литературы и приложений. Работа изложена на 228 страницах машинописного текста, содержит 26 таблиц (из них 5 в приложении) и 45 рисунка. Библиографический указатель содержит 234 ссылки, из них 90 на русском языке, 144 на иностранных.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В соответствии с целью и задачами исследования по обоснованию совершенствования комплексного принципа гигиенического нормирования электромагнитных полей радиочастотного диапазона с использованием теоретической, экспериментальной дозиметрии и экспериментальных исследований на животных, работа выполнялась по схеме, представленной на рис. 1. Проведение исследований осуществлялось по трем направлениям и, в соответствии с этим, включало три основных дополняющих друг друга этапа: численная дозиметрия (математическое моделирование), экспериментальная дозиметрия, исследования биологических эффектов на лабораторных животных.

Источником ЭМП метрового диапазона длин волн для условий экспозиции ближней зоне служила типовая модель носимой рации «Радий 301» («Ижевский радиозавод», Россия), настроенная на рабочую частоту 171 МГц. В целях обеспечения условий экспозиции дальней зоны использовалась камера плоскополяризованной электромагнитной волны (ТЕМ-камера), входящая в состав специально разработанного стенда, позволяющего проводить облучение экспериментальных животных. Контроль уровней ЭМП от источников осуществлялся с помощью измерителей «NARDA NBM-550» с зондом «EF-0391» («Narda Safety Test Solutions GmbH», Германия) и «ИПМ 101-М»



Рисунок 1. Направления - этапы выполнения исследований

(НПП «Доза», Россия).

В теоретической дозиметрии использовался метод конечных разностей во временной области, который реализован в программном продукте SEMCAD X v. 18.2 («SPEAG AG», Швейцария). В исследованиях использовались численные модели (фантомы): антропометрический фантом головы человека (Specific Anthropomorphic Mannequin – «SAM») и плоский фантом «ELI4» разработки «SPEAG AG» (Швейцария) с тканеэквивалентными жидкостями, имитирующими диэлектрические характеристики (проводимость, диэлектрическая проницаемость) тканей мозга – серого ( $\sigma=0,62$  См/м;  $\epsilon=67,60$ ) и белого ( $\sigma=0,36$  См/м;  $\epsilon=48,70$ ) вещества и лабораторных крыс-самцов разработанные «ITIS Foundation» (Швейцария). В исследованиях помимо готовых решений использовались разработанные нами численные модели плоского фантома с диэлектрическими параметрами различных биологических тканей, в том числе мышечной ткани ( $\sigma=0,73$  См/м;  $\epsilon=61,20$ ), источника ближней зоны и ТЕМ-камеры.

В экспериментальной дозиметрии использовались инструментальные методы определения величины локальной и общей УПМ в тканеэквивалентных фантомах (антропометрическом и лабораторных животных), соответственно, в ближней и дальней зонах источников ЭМП. Определение величины и структуры распределения УПМ в фантомах осуществлялось с помощью системы автоматизированной дозиметрии «DASY 52 NEO» («SPEAG AG», Швейцария), с применением дозиметрических зондов «ER3DV6» и «ET3DV6» («SPEAG AG», Швейцария). Определение УПМ проводилось в гомогенных фантомах (плоском «ELI4» и головы человека «SAM») с тканеэквивалентной жидкостью HBBL30-300 («SPEAG AG», Швейцария), диэлектрические параметры ( $\sigma=0,76$  См/м,  $\epsilon=51,90$ ) которой соответствовали биологическим тканям на исследуемой частоте ЭМП. Определение структуры распределения УПМ в фантоме проводилось путем сканирования с помощью зонда «ET3DV6» в горизонтальной плоскости фантома с шагом 15 мм при соприкосновении рации с поверхностью фантома «ELI4» (2 мм до жидкости HBBL30-300), а также на расстояниях 10 и 50 мм от него в трех последовательностях. В процессе измерений в фантоме «SAM» при помощи зонда

«ET3DV6» проводилось плоскостное сканирование при соприкосновении источника ЭМП с фантомом (8 мм до тканеэквивалентной жидкости HBVL30-300) и на расстояниях 10 и 50 мм от его поверхности. Сканирование в правой и левой плоскости фантома отстоящих на 20 мм от его сагиттальной плоскости выполнялось при двух расстояниях источника ЭМП относительно его поверхности – 8 мм и 50 мм.

Одной из важных задач дозиметрии в оценке биологического действия ЭМП является определение в экспериментальных условиях величины поглощенной лабораторным животным энергии в экспериментальных условиях. В экспериментальной части исследований общая дозиметрия проводилась с помощью созданного на основе разработанной в рамках исследования ТЕМ-камеры стенда при использовании метода трех мощностей (Marshall S.V., Brown R.F., 1983). Экспериментальное определение величины общей УПМ было проведено на 108 беспородных белых крысах массой 200 г. В рабочую область ТЕМ-камеры в радиопрозрачных клетках размещались животные при *E*-ориентации относительно векторов ЭМП частотой 171 МГц при трех величинах электрической составляющей ЭМП – 15; 25 и 35 В/м.

Изучение биологического действия ЭМП на функциональное состояние надпочечников выполнено на 216 беспородных белых крысах-самцах массой 200-220 г., случайным образом распределенных на равные группы – опытную и контрольную, что составило 9 экспериментальных серий (по 12 крыс в каждой). Животных подвергали воздействию ЭМП частотой 171 МГц в ТЕМ-камере по 6 часов в день ежедневно на протяжении 15 суток при трех интенсивностях ЭМП: 15; 25 и 35 В/м. В течение всего времени облучения животные содержались в метаболических клетках; контрольные животные – в аналогичных условиях без воздействия ЭМП. Отбор и подготовка проб (фракции суточной мочи крыс) для проведения анализов проводились ежедневно. В пробах определялись концентрации кортикостерона, ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ . Кортикостерон определяли иммуноферментным методом с помощью тестов «Corticosterone EIA» («Labor Diagnostika Nord GmbH & Co. KG», Германия). Содержание ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  – методом пламенной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре «AAAnalyst 400» («PerkinElmer Inc.»),

США), с дейтериевым корректором фона по стандартной методике, затем рассчитывалось отношение  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ .

Приборное обеспечения стендов для экспериментальной дозиметрии и облучения животных на основе разработанной ТЕМ-камеры включало: генератор «Agilent 8648C» («Agilent Technologies», США), усилитель «R&S BBA100» («Rohde&Schwarz», Германия), одно- и двунаправленные ответвители «Agilent 788D-011» («Agilent Technologies», США), двухканальный измеритель мощности «Agilent E4419B» («Agilent Technologies», США).

Общий объем исследований составил более 1100000 данных, из них методами математического моделирования выполнено 854 000 исследований, в т.ч. моделей изучения возможных вариантов экспозиции в ближней и дальней зоне источников ЭМП, трехмерная детализированная оценка структуры распределения напряженности ЭМП при различных уровнях экспозиции, исследования влияния диэлектрических свойств фантомных материалов (ткане-эквивалентных жидкостей) и размеров фантомов на процессы поглощения энергии ЭМП метрового диапазона длин волн, оценка вариантов размещения источников ЭМП относительно объектов экспозиции как наиболее негативных условий действия на модели биологических объектов, изучение влияния разрешения численных моделей оценки экспозиции с учетом структуры распределения поглощенной электромагнитной энергии, значений средних и максимальных УПМ, оценка условий различных вариантов размещений фантомов животных с оценками УПМ для всех тканей и органов.

В экспериментальной дозиметрии общее число исследований составило около 217 000, в т.ч. измерения на плоских фантомах и фантоме головы человека (более 210 000), измерения УПМ с использованием биологических объектов (крыс) при различных уровнях экспозиции и измерения напряженности электрической составляющей ЭМП в свободном пространстве ближней и дальней зоны источников метрового диапазона длин волн.

Общее число исследований по изучению биологического действия ЭМП на состояние глюкокортикоидной и минералокортикоидной функций надпочечников в экспериментах на животных составило 29 160.

Предварительная обработка данных численного моделирования проводилась методами, включенными в программный продукт SEMCAD X 18. В последующей обработке полученных данных численной дозиметрии, а также для анализа полученных результатов экспериментальной дозиметрии и биологических экспериментов использовались пакеты прикладных программ MS Office Excel 2003 (Microsoft Corp., США), MathLab R2010a (The MathWorks Inc., США), OriginPro 8.5.1 SR2 (OriginLab Corp., США), STATISTICA 6.0 (Install Shield Software Corp., США). Статистическая обработка данных проводилась при помощи пакета прикладных программ параметрическими и непараметрическими методами. Для оценки достоверности различий сравниваемых средних между малыми выборками использовали параметрический критерий t Стьюдента и непараметрический критерий Манна – Уитни; нулевую гипотезу отвергали при  $p < 0,05$ .

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Обоснование критериев оценки экспозиции ЭМП радиочастотного диапазона для совершенствования гигиенического нормирования складывалось из трех взаимосвязанных и взаимодополняющих разделов - этапов: теоретическая дозиметрия, экспериментальная дозиметрия и исследования биологического действия на лабораторных животных.

В теоретической дозиметрии были разработаны численные модели источников ЭМП, позволяющих моделировать условия экспозиции ближней и дальней зон источников ЭМП метрового диапазона длин волн, результаты моделирования которых были сопоставлены с данными инструментальной оценки напряженностей электрической составляющей ЭМП, причем для ТЕМ-камеры, был произведен расчет конструкции и создана численная модель. Оценка характера распределения и величин УПМ в плоском фантоме и фантоме головы человека были проведены при экспозиции в ближней зоне и при разных вариантах размещения источника ЭМП. Оценка уровней УПМ в численных моделях лабораторных животных (крыс), размещенных в ТЕМ-камере (дальняя зона источника) осуществлялась при разных уровнях облучения ЭМП.



Наиболее неблагоприятными условиями экспозиции в ближней зоне источника ЭМП для человека является его расположение перед лицом пользователя. Результаты проведенных измерений показали, что уровни экспозиции человека по электрической составляющей ЭМП в зависимости от расстояния изменяются в пределах от 180 В/м до 10 В/м. Сравнительный анализ величин электрической составляющей ЭМП в ближней зоне, полученных экспериментальным путем и в результате численного моделирования, показал их удовлетворительное соответствие, т.к. максимальное различие составляло не более 17%, а в основном различие между результатами составляло менее 10 %.

С учетом возможных условий экспозиции профессиональных пользователей при определении поглощения энергии ЭМП использовались два вида гомогенных фантомов, моделирующих различные биологического ткани – плоский фантом и антропометрический фантом головы человека «SAM».

Теоретическая оценка структуры распределения и величин УПМ осуществлялась в плоских гомогенных фантомах с тканезквивалентной жидкостью HBVL30-300 и мышечной тканью. Сравнение характеристик поглощения энергии в фантоме показало, что УПМ было максимальным на расстоянии 2 мм от источника и резко снижалось при 50 мм, затем падение было незначительным (рисунок 2). Характер зависимости изменения величины УПМ в самом фантоме был идентичен для разных расположений источника ЭМП, причем по мере его удаления от поверхности фантома, имеющиеся различия в поглощении становились незначительными. Максимальные значения УПМ в фантомах с мышечной тканью и жидкостью HBVL30-300 были сходны: для мышечной ткани величина УПМ находилась в пределах от  $0,38 \pm 0,03$  до  $0,73 \pm 0,05$  Вт/кг, для жидкости HBVL30-300 – от  $0,48 \pm 0,03$  до  $0,88 \pm 0,06$  Вт/кг.

Определение поглощения энергии ЭМП в фантоме головы человека «SAM» в условиях ближней зоны проводилось при расположении источника по срединной линии фантома параллельно его лицевой стороне, на расстояниях 8; 10 и 50 мм от него. Расстояния соответствовали расположению источника ЭМП относительно плоского гомогенного фантома, за исключением

2 мм, что объясняется антропометрическими и конструктивными особенностями фантома головы человека.

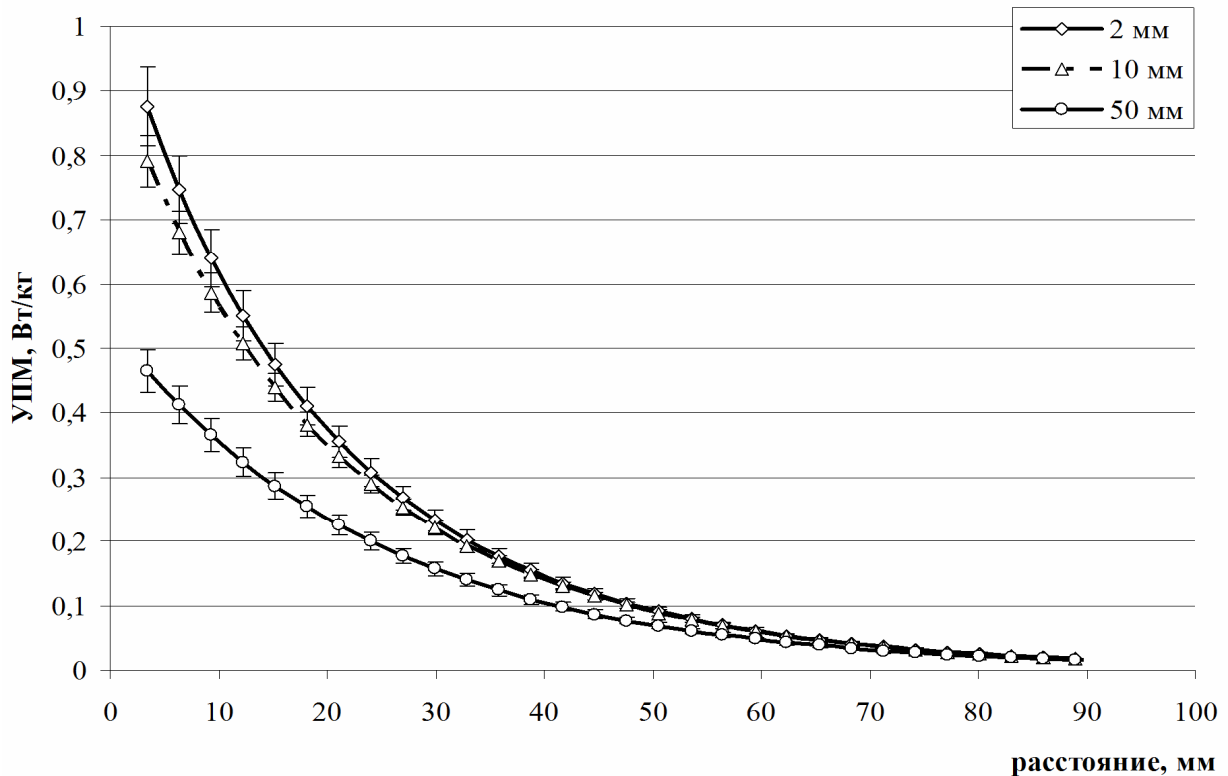


Рисунок 2. Зависимость величины УПМ в ближней зоне источника ЭМП от расстояния в плоском численном фантоме (мышечная ткань) для расстояний: 2; 10 и 50 мм

Представленные на рисунке 3 результаты моделирования показывают, что максимальная величина УПМ для условий ближней зоны экспозиции равная  $1,69 \pm 0,12$  Вт/кг регистрировалась в фантоме головы человека на расстоянии 8 мм до источника ЭМП, при удалении до 10 мм поглощение резко падало до  $1,07 \pm 0,07$  Вт/кг. При минимальном расстоянии (8 мм) между источником ЭМП и фантомом головы, максимум УПМ находился в области носа, переносицы и глаз, при удалении источника на более чем 10 мм, структура поглощения значительно не изменялась, и на 50 мм УПМ составляла  $0,38 \pm 0,03$  Вт/кг.

Симметричное расположение источника ЭМП относительно середины фантома, в связи с асимметрией излучающей части (антенны) позволяет ожидать большего поглощения энергии ЭМП в правой части фантома головы человека по сравнению с левой. С учетом этой особенности был проведен

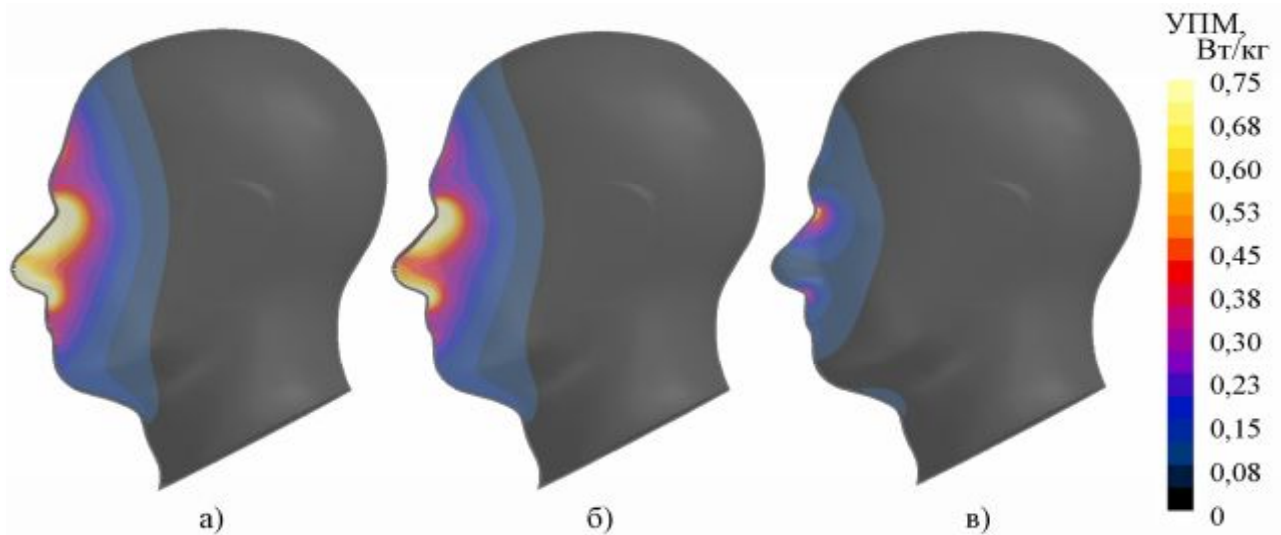


Рисунок 3. Распределение УПМ (Вт/кг) в численном фантоме головы человека «SAM» с жидкостью HBVL30-300 при расположении по срединной линии фантома источника ЭМП на расстояниях: а) 8 мм, б) 10 мм, в) 50 мм

анализ характера поглощения энергии ЭМП в фантоме головы человека в правой и левой вертикальных плоскостях, находящихся на равном расстоянии от сагиттальной плоскости фантома. Данные, показывающие изменения величины поглощенной энергии ЭМП на расстояниях 8 и 50 мм от численного фантома головы человека с жидкостью HBVL30-300 по правой и левой плоскостях, параллельных сагиттальной плоскости и отстоящих от нее на 20 мм, приведены на рисунке 4. Структура распределения УПМ в фантоме головы человека в зависимости от расстояния до его поверхности вплоть до 80 мм для обеих плоскостей (правой и левой), как следует из представленных на рисунке 4 данных, является достаточно схожей. Полученные результаты моделирования позволяют полагать, что, несмотря на большую глубину проникновения ЭМП метрового диапазона, на расстоянии 50 мм поглощение становится более однородным, и характер поглощения энергии уже не зависит от конструктивных особенностей источника излучения, а на него влияет только форма объекта экспозиции.

В целях обоснования критериев оценки экспозиции в условиях дальней зоны источника ЭМП предварительно было определено необходимое и достаточное количество экспериментальных животных (крыс), которые могут быть размещены для облучения в ТЕМ-камере. Основным критерием выбора минимально необходимого количества животных являлась возможность

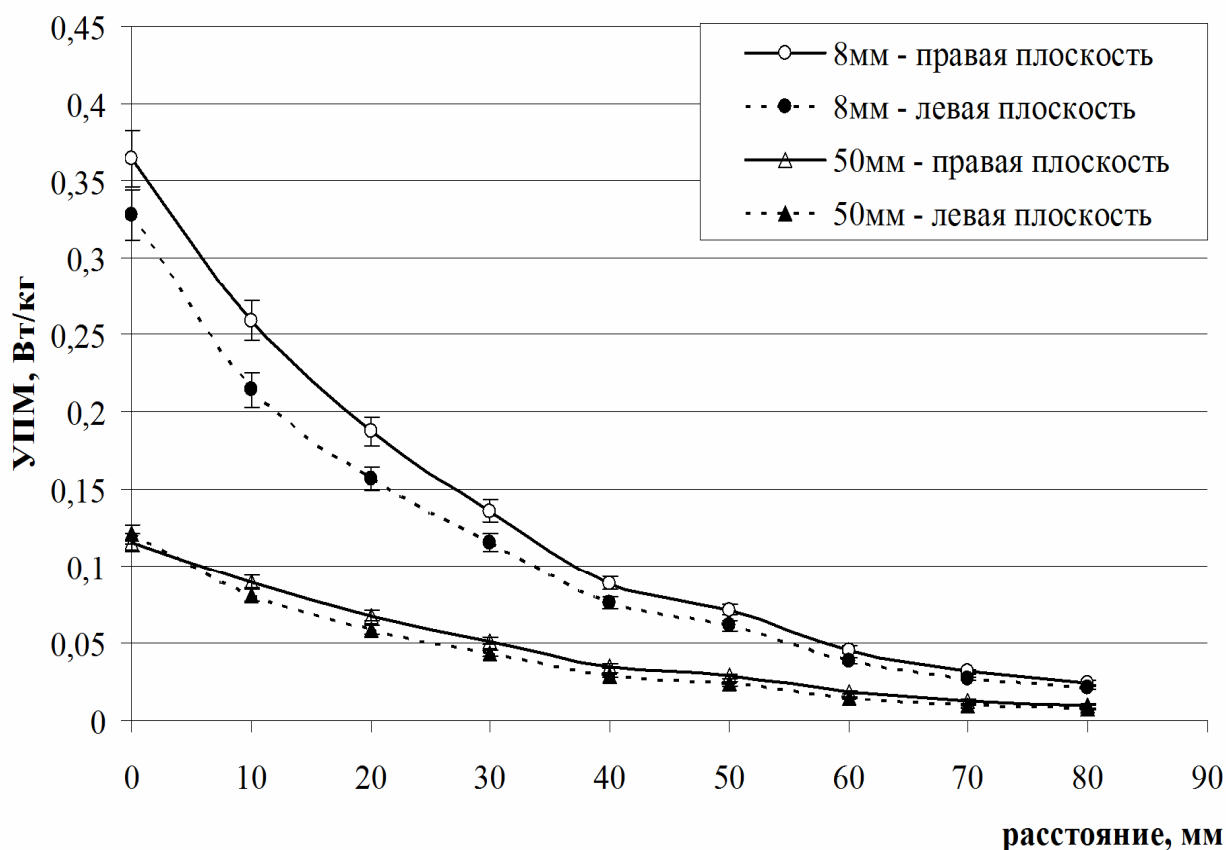


Рисунок 4. Изменения величины УПМ (Вт/кг) в численном фантоме головы человека «SAM» с жидкостью HBVL30-300 на глубине до 80 мм в плоскостях (правой и левой) отстоящих на 20 мм от сагиттальной плоскости фантома при минимальном (8 мм) и максимальном (50 мм) удалении источника ЭМП от поверхности фантома

обеспечения статистических расчетов с получением достоверных данных, а также соблюдение приемлемой однородности условий экспозиции для всех крыс. Размещение животных в рабочем объеме ТЕМ-камеры осуществлялось преимущественно при ориентации по  $E$ -вектору электрической составляющей ЭМП. Подобное размещение объектов экспозиции в рабочей зоне ТЕМ-камеры является оптимальным в экспериментах при оценке биологического действия ЭМП метрового диапазона. С использованием численных методов было установлено, что общее количество крыс оптимальное для расположения в ТЕМ-камере составляет 12 животных, по 6 крыс перпендикулярно к центральной пластине камеры с каждой ее стороны (рисунок 5). В соответствии с установленным числом животных были определены структуры распределения величин электрической составляющей ЭМП в ТЕМ-камере с крысами при разных уровнях экспозиции (15; 25 и 35 В/м).

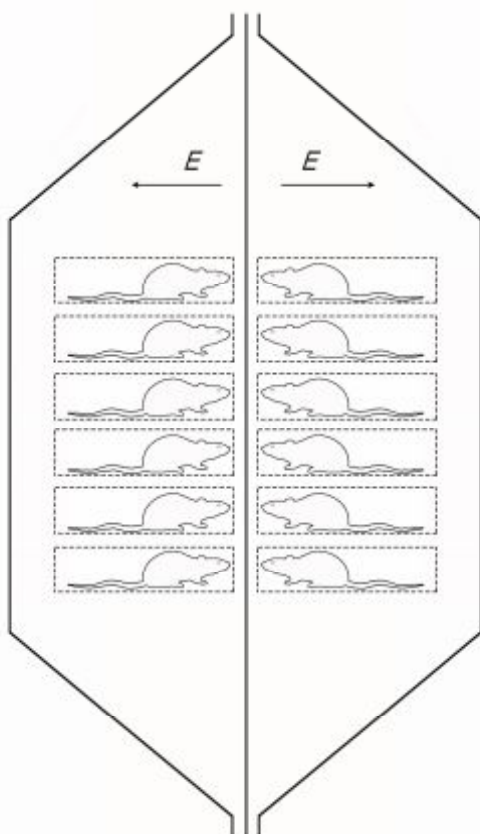


Рисунок 5. Расположение крыс в рабочей зоне ТЕМ-камеры при  $E$ -ориентации животных относительно векторов ЭМП частотой 171 МГц

Максимальные величины напряженности электрической составляющей ЭМП при таком расположении численных моделей крыс относительно центральной пластины ТЕМ-камеры наблюдались в области головы животного, которые при увеличении интенсивности с 15 В/м до 35 В/м распространялись на все тело.

С помощью численной дозиметрии были получены значения средних УПМ для отдельных органов модели животного, а также средние значения УПМ для всего тела на одну крысу для каждого уровня экспозиции, размещенных в ТЕМ-камере моделей животных (таблица 1).

В экспериментальной дозиметрии, составляющей второй этап оценки экспозиции для задач гигиенического нормирования ЭМП, применялись аналогичные варианты условий экспозиции, которые использовались при моделировании, в целях подтверждения адекватности разработанных численных дозиметрических моделей и животных в условиях дальней и ближней зоны метрового диапазона длин волн.

Таблица 1.

Расчетные величины средних значений УПМ (Вт/кг) для численной модели тела крысы в целом и для ее отдельных органов при экспозиции в ТЕМ-камере при разных значениях ЭМП (В/м) частотой 171 МГц

Модель крысы и ее отдельные органы	Электрическая составляющая ЭМП, В/м		
	15	25	35
	средняя УПМ, Вт/кг		
Крыса (полностью)	0,0080	0,0230	0,0380
Гипофиз	0,0120	0,0330	0,0650
Средний мозг	0,0116	0,0323	0,0633
Спинной мозг	0,0035	0,0097	0,0189
Надпочечники	0,0093	0,0259	0,0507

При экспериментальном определении общей структуры распределения поглощенной энергии ЭМП на первом этапе исследований плоскостное сканирование в фантоме показало, что характер распределения величины УПМ в плоском гомогенном фантоме зависел от расстояния. Установлено, что структура распределения поглощенной энергии ЭМП с увеличением расстояния от источника становится более однородной и равномерной, а максимальное поглощение при этом падает. Полученные структуры распределения УПМ в плоскости фантома для условий ближней зоны экспозиции при расположении источника ЭМП на трех расстояниях, показали хорошее совпадение с результатами численной дозиметрии. В соответствии с полученными экспериментальными данными для каждого положения источника ЭМП в фантоме был зарегистрирован только один максимум УПМ.

Определение зависимости поглощения энергии ЭМП в плоском фантоме (вплоть до 90 мм от его поверхности) показало, что характер поглощения в тканеэквивалентной жидкости NBVL30-300 был одинаков для всех трех расстояний от фантома от источника (рисунок 6). Максимальное поглощение отмечено на расстоянии 2 мм от источника ЭМП до фантома, в то время как при удалении источника на 10 и 50 мм, величина УПМ в обоих случаях была одинаковой, причем это равенство также сохранялось и при увеличении расстояния от поверхности фантома.

Величины УПМ в жидкостном фантоме на расстояниях от 60 и до 90 мм от поверхности для всех трех дистанций, на которых располагался источник, были идентичными. Некоторые изменения в характере снижения вели-

чины УПМ, которые зарегистрированы в зависимости от расстояния до поверхности в жидкости фантома на глубине от 15 мм до 25 мм, связаны с искажениями структуры электрической составляющей ЭМП, характерными для ближней зоны.

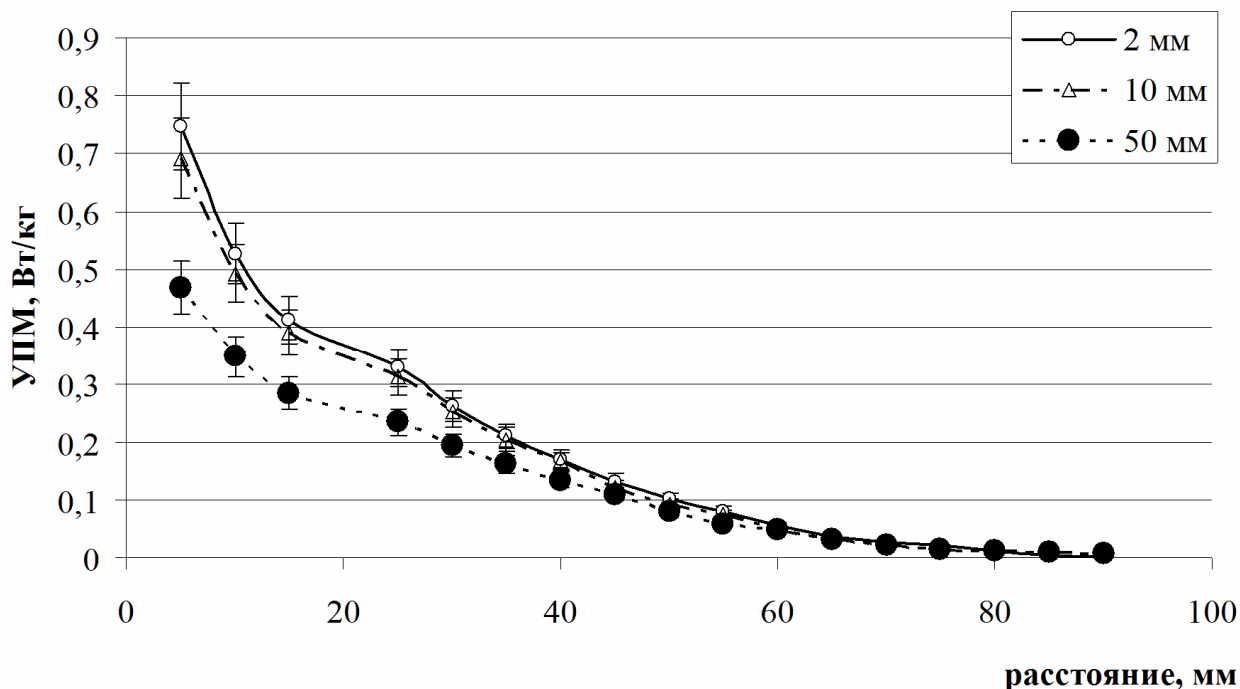


Рисунок 6. Зависимость величины УПМ от расстояния в плоском экспериментальном фантоме «ELI4» с тканезквивалентной жидкостью HBVL30-300 при расположении источника ЭМП от его поверхности: 2; 10 и 50 мм

Сопоставление величин УПМ в плоском гомогенном фантоме с тканезквивалентной жидкостью HBVL30-300 с данными, полученными методами теоретической и экспериментальной дозиметрии представлено на рисунке 7. Установлено, что согласно данным моделирования выявлены недостоверные отклонения от экспериментальных значений для крайних расстояний от фантома до источника в сторону увеличения поглощения энергии ЭМП в самом фантоме на расстоянии 2 мм от источника и уменьшения при 50 мм. При этом характер снижения величины УПМ в фантоме идентичен, как по результатам моделирования, так и измерений, причем по мере увеличения расстояния между фантомом и источником упомянутые различия в поглощении минимизируются.

Полученные данные подтверждают, что выполненное математическое моделирование источника ЭМП в комплексе с плоским гомогенным фанто-

мом является адекватным для анализа процессов поглощения энергии ЭМП метрового диапазона длин волн для гомогенных моделей человека в ближней зоне источника излучения.

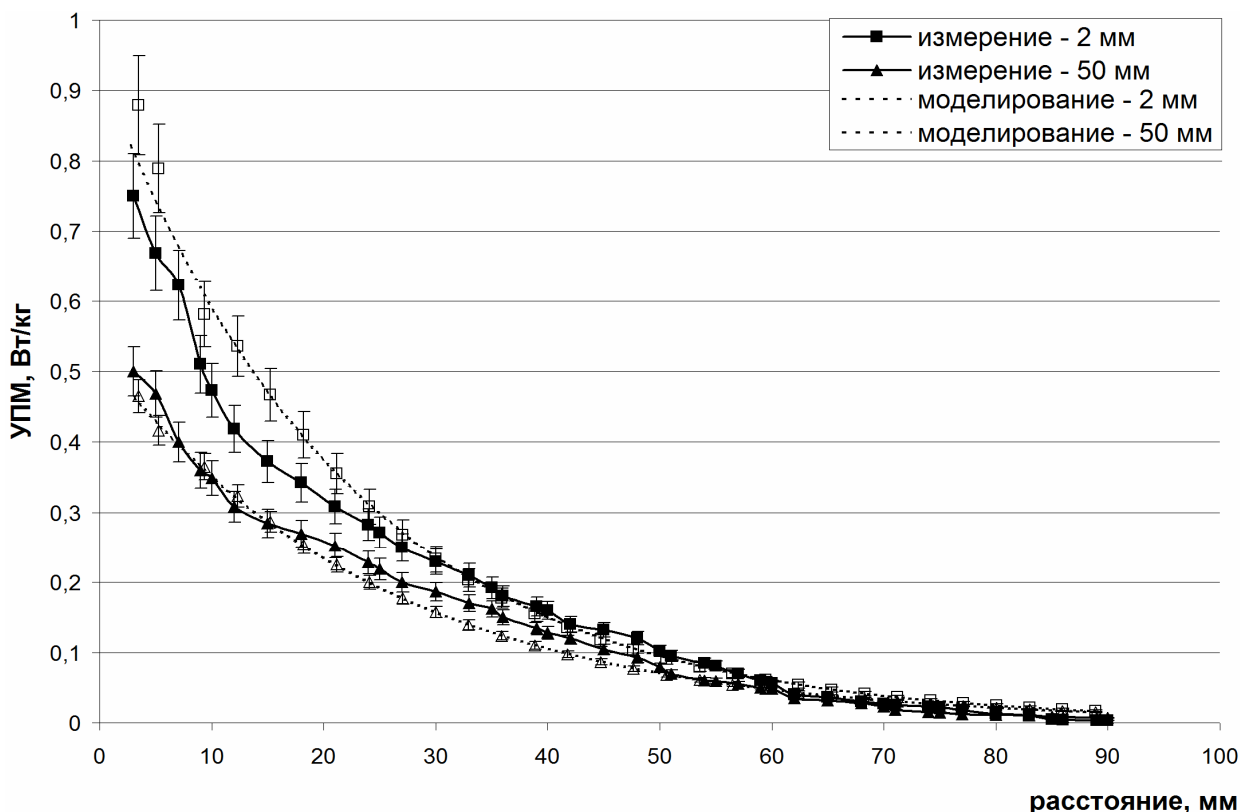


Рисунок 7. Структура изменения величины УПМ (Вт/кг) в плоском фантоме «ELI4» с тканеэквивалентной жидкостью HBVL30-300, полученные методами численной и экспериментальной дозиметрии, в зависимости от расположения источника на расстоянии 2 и 50 мм

Исходя из полученной в измерениях структуры распределения УПМ в лицевой части фантома головы человека «SAM», определялось положение точки максимума поглощения энергии ЭМП для каждого из расстояний размещения источника. Обнаруженный максимум УПМ находился только в одной точке — в области «переносицы» фантома, тогда как других дополнительных максимумов установлено не было. Полученная в результате измерений величина максимального поглощения энергии ЭМП была зарегистрирована при расположении источника ЭМП на расстоянии 8 мм и составляла 1,28 Вт/кг. При его удалении до 10 мм максимальное поглощение снижалось до 1,18 Вт/кг и на расстоянии 50 мм от фантома уменьшалось до 0,27 Вт/кг.



Результаты экспериментального определения значений УПМ в гомогенном фантоме головы человека «SAM» позволяют провести сравнение этих величин с данными, полученными с помощью численных методов. В сравнительном аспекте рассматривались только те результаты, которые были получены при аналогичных условиях облучения и при использовании идентичных фантомов головы человека как при численных, так и в экспериментальных методах оценки УПМ.

Сопоставление величин максимальных УПМ, полученных методами численной и экспериментальной дозиметрии, для условий расположения источника ЭМП по срединной линии фантома головы человека «SAM» на расстояниях 8; 10 и 50 мм, представлено на рисунке 8. Значения УПМ, по данным численной дозиметрии, показали аналогичную тенденцию к уменьшению поглощения энергии при удалении источника ЭМП от фантома. Однако на минимальном расстоянии (8 мм) величины УПМ в фантоме превышали полученные путем экспериментальной дозиметрии значения максимального поглощения. При удалении источника ЭМП до 10 мм от объекта экспозиции экспериментальные величины УПМ несколько превышали теоретические, тогда как при максимальном расстоянии 50 мм численные значения УПМ были больше экспериментальных.

Анализ полученных данных показывает, что различие в значениях максимальных УПМ, полученных методами экспериментальной дозиметрии, не превышает результатов численного моделирования более чем на 15%, что сохранялось при всех условиях экспозиции. Исключением из этого было расстояние 10 мм, когда отмечалась определенная специфика в поглощении энергии ЭМП метрового диапазона длин волн, связанная с геометрическими размерами объекта экспозиции. При этом результаты численной дозиметрии для всех случаев экспозиции оказались ниже, чем полученные экспериментальным путем значения. Анализ установленных зависимостей дает основание предполагать, что величина УПМ на расстоянии 2 мм не будет превышать 2,28 Вт/кг для фантома головы человека, что больше максимальной УПМ для плоского гомогенного фантома в 3 раза.

С учетом конструктивных особенностей источника ЭМП, влияющего на условия экспозиции объекта изучения в ближней зоне (смещение антенны вправо относительно середины) была проведена оценка поглощения энергии ЭМП в правой и левой части экспериментального фантома головы человека «SAM» при симметричном расположении рации по его срединной линии.

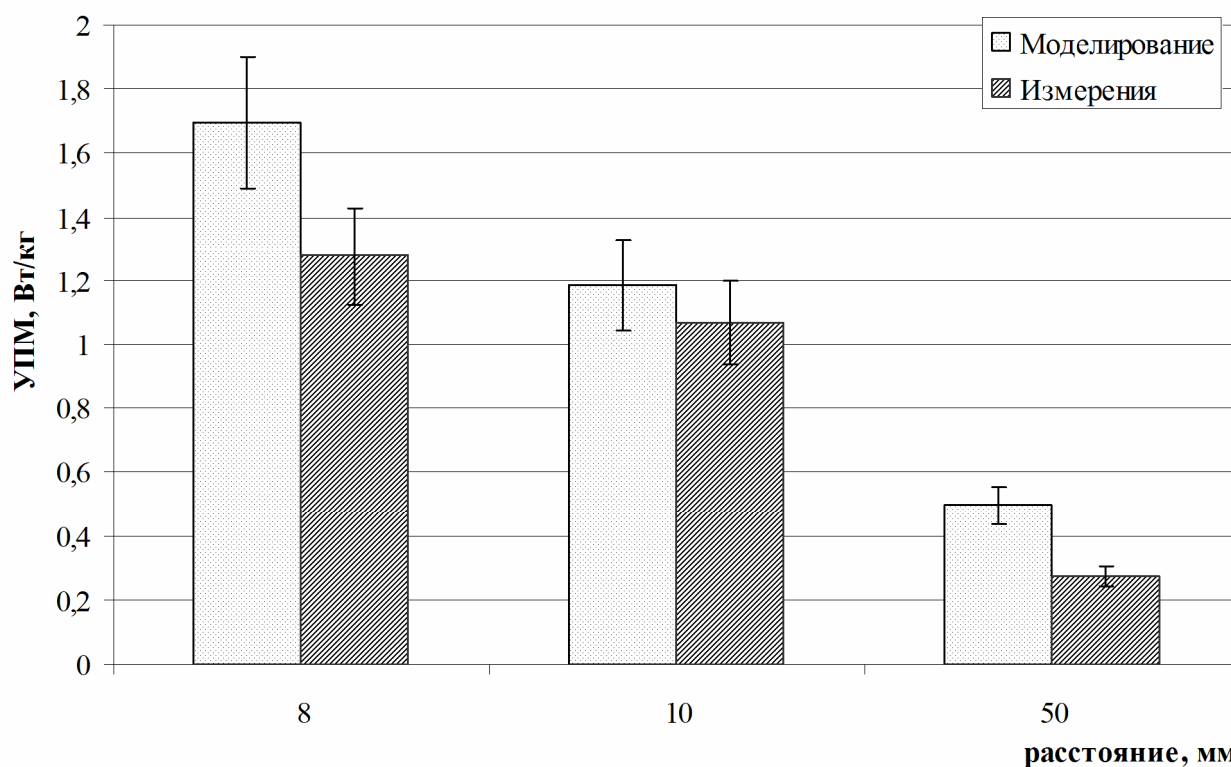
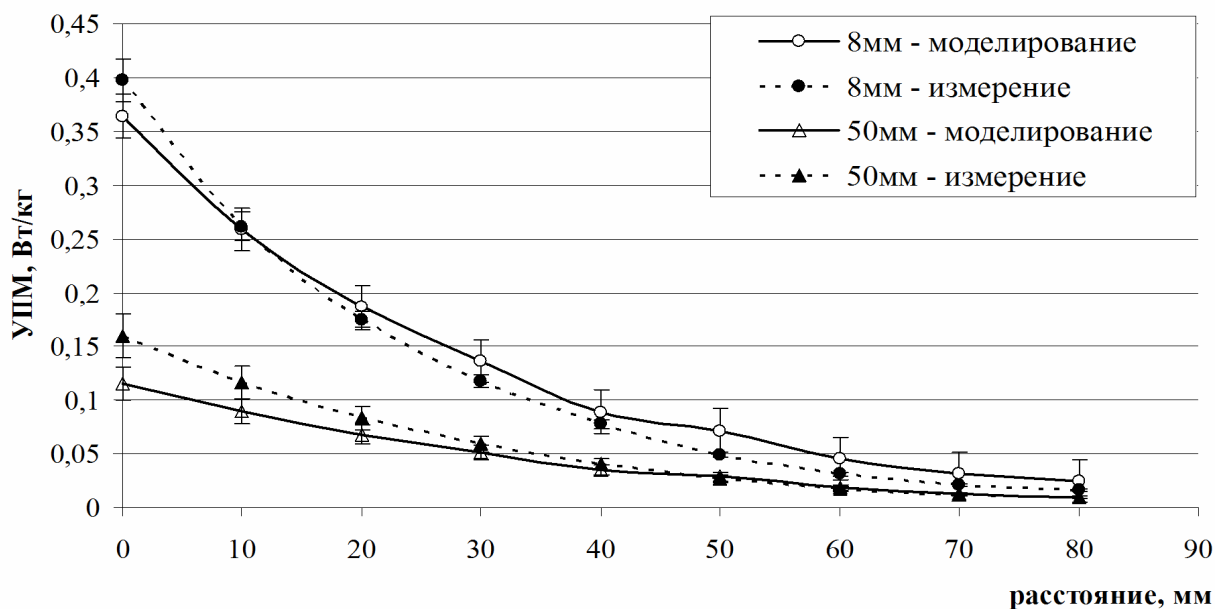


Рисунок 8. Максимальные величины УПМ (Вт/кг) в фантоме головы человека «SAM» с тканэквивалентной жидкостью HBVL30-300, полученные методами численной и экспериментальной дозиметрии при расположении источника ЭМП по срединной линии фантома на расстояниях: 8; 10 и 50 мм

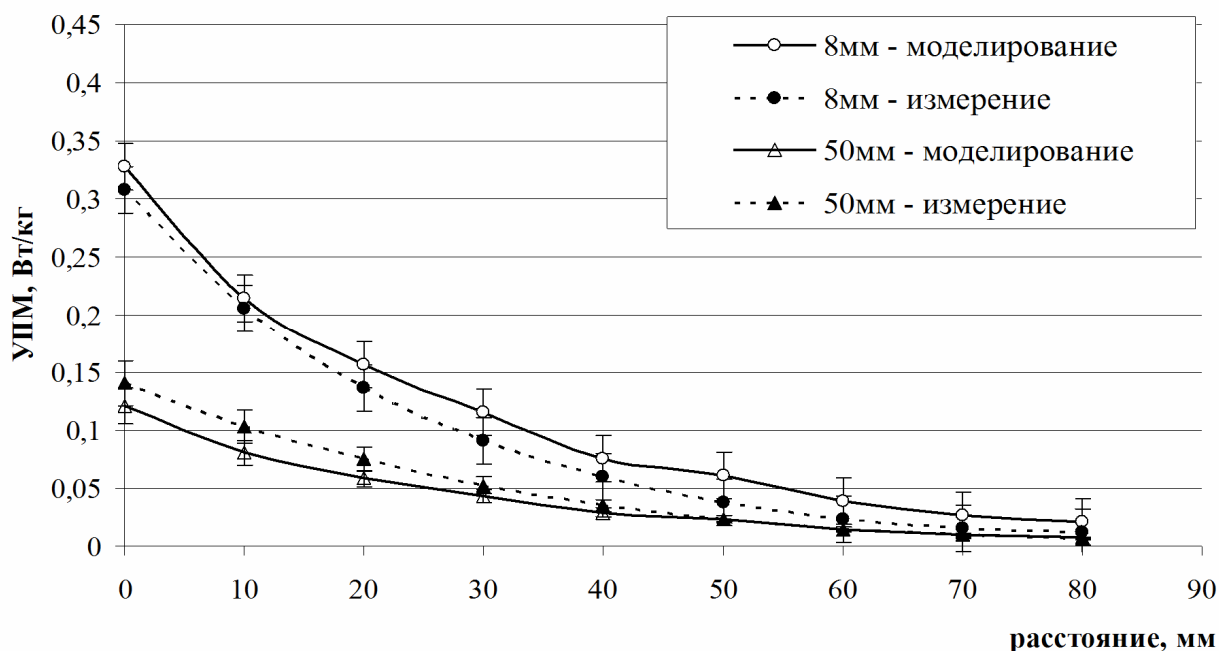
Сравнение полученной теоретическими и экспериментальными методами структуры поглощения энергии ЭМП в фантоме головы человека «SAM» с тканэквивалентной жидкостью HBVL30-300 по правой и левой плоскостям, находившимся на расстоянии 20 мм от сагиттальной плоскости фантома, при идентичных расстояниях от него, представлено на рисунке 9.

Характер распределения УПМ в экспериментальном фантоме головы человека «SAM» в глубине до 80 мм для обеих плоскостей практически одинаков. Наибольшие различия зарегистрированы в непосредственной близости от поверхности и при наиболее близком (8 мм) расположении источника ЭМП от фантома. В то же время, минимальные отличия в величинах УПМ

отмечаются для расстояния 50 мм от фантома, которые, начиная уже с 40 мм от его поверхности, практически отсутствуют. Зависимости величин УПМ от расстояния от поверхности фантома вплоть до максимальной точки сканирования, как по правой, так и по левой плоскостям измерений наблюдаются только при минимальном удалении источника ЭМП от фантома.



а)



б)

Рисунок 9. Изменения величины УПМ (Вт/кг) в численном и экспериментальном фантоме головы человека «SAM» на расстоянии до 80 мм от его поверхности в плоскостях (а – правой, б – левой) отстоящих на 20 мм от сагитальной плоскости фантома при минимальном (8 мм) и максимальном (50 мм) удалении источника

Величины УПМ, которые были зарегистрированы при минимальном удалении источника ЭМП от фантома головы человека по обеим плоскостям и сохранялись вплоть до расстояния 80 мм от его поверхности с использованием обоих методов дозиметрии, следует оценивать как сходные. Характер соотношения между вычисленными и измеренными величинами УПМ в зависимости от расстояния источника до поверхности фантома сохраняется и при максимальном удалении на 50 мм. Различия в величинах УПМ в правой и левой плоскостях фантома, которые сохраняются на расстоянии до 70-80 мм от его поверхности, связаны с асимметричным расположением излучающей системы используемого источника ЭМП метрового диапазона.

В связи с тем, что глаз человека является критическим органом в биологическом действии ЭМП, было проведено измерение величины УПМ в области «глаз» фантома головы человека и сопоставление данных, полученных теоретическими методами. Результатом оценки величины УПМ в «глазах» (правом и левом) фантома головы человека «SAM», с учетом конструктивных особенностей источников ЭМП, приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Максимальные величины УПМ (Вт/кг) области глаз (правом и левом) фантома головы человека «SAM» с тканэквивалентной жидкостью HBVL30-300 при расположении источника ЭМП по срединной линии фантома по данным расчетных и измерительных методов дозиметрии

Расстояние между источником ЭМП и фантомом, мм	Область оценки в фантоме	Метод определения УПМ	
		Моделирование	Измерение
		УПМ, Вт/кг	
8	Правый глаз	0,364±0,025	0,398±0,024
	Левый глаз	0,327±0,023	0,307±0,018
10	Правый глаз	0,318±0,022	0,349±0,021
	Левый глаз	0,287±0,020	0,256±0,015
50	Правый глаз	0,115±0,008	0,160±0,010
	Левый глаз	0,121±0,008	0,141±0,008

Исследовали три положения источника ЭМП относительно срединной линии фантома головы человека (численного и экспериментального), которые использовались при моделировании и в измерениях на практике (8; 10 и 50 мм) и соответствующие им величины УПМ. Результаты измерений оказа-

лись выше, чем при численном моделировании, причем расхождение были максимальным при наименьшем расстоянии источника ЭМП от фантома (8 мм) и между правым и левым «глазом» фантома головы человека. С увеличением расстояния расхождение в величинах УПМ сохранялось, а при максимальном удалении источника ЭМП от фантома, оно становилось минимальным и не превышало погрешности этих двух методов дозиметрии.

В связи с тем, что антенна источника смещена относительно срединной линии вправо, большее поглощение энергии ЭМП было зарегистрировано в области правого «глаза», чем левого, причем и численными, и измерительными методами, и для всех трех расстояний от источника до фантома. Анализ данных, полученных теоретическими и экспериментальными методами, представленных в таблице 2, показал, что различия между ними не превысили 1,5 %, причем бóльшие различия наблюдались в области левого «глаза» для всех трех расстояний до источника ЭМП.

Сопоставление полученных внутри каждого метода данных показало, что различие в величинах УПМ для левого и правого «глаза» фантома на расстояниях 8-10 мм от источника ЭМП в вычислениях не превышало 1,1 %, в то время как при измерениях эти различия не были больше 2,0 %, но при удалении фантома на 50 мм от источника ЭМП они составляли менее 1,0 %. Таким образом, установленные различия связаны с локальным поглощением ЭМП в отдельных областях головы человека, в том числе, в глазах, наблюдающимся при минимальном расстоянии от источника излучения. Однако при удалении источника ЭМП облучение носит преимущественно общий характер и, как следствие, поглощение электромагнитной энергии в симметрично расположенном относительно источника объекте экспозиции, которым является голова человека становится более однородным.

На основании полученных различными методами данных можно предполагать, что поглощение энергии в условиях ближней зоны и при минимальном расстоянии (до 10 мм включительно) до объекта экспозиции зависит от технических решений источника ЭМП, тогда как при удалении источника до 50 мм в большей степени влияет форма объекта экспозиции.

Анализ результатов экспериментальных определений величины УПМ, данных полученных экспериментальным путем на животных и результатов численной дозиметрии свидетельствует о пропорциональной зависимости между значениями индивидуальной УПМ и величинами электрической составляющей ЭМП (таблица 3). Подобные соотношения позволяют проводить адекватную и точную экстраполяцию соответствующих величин УПМ для необходимых уровней экспозиции экспериментальных животных. Полученные экспериментальные результаты величин средней УПМ для всех 12 крыс и для одного животного в ТЕМ-камере позволяют сравнивать данные теоретической дозиметрии и сопоставлять их с численными моделями крыс и реальными животными. Анализ результатов, приведенных таблице 3, показывает, что экспериментально полученные значения УПМ и для всех животных, и для одной крысы меньше, чем данные моделирования, однако различия не превышают общей погрешности обоих методов. В то же время, минимальная разница между данными теоретической и экспериментальной дозиметрии, которая не превышает суммарную погрешность обоих методов, позволяет сделать однозначное заключение о применимости совмещения таких методических приемов для получения истинных величин поглощенных экспериментальными животными энергии ЭМП в метровом диапазоне длин волн.

Таблица 3.

Величины средней УПМ (Вт/кг) для животных, полученные в результате теоретической (численные модели крыс в ТЕМ-камере) и экспериментальной (крысы в ТЕМ-камере) дозиметрии в зависимости от уровней экспозиции ЭМП частотой 171 МГц

Электрическая составляющая ЭМП, В/м	Теоретические методы	Экспериментальные методы
15	0,008±0,001	0,006±0,001
25	0,022±0,001	0,023±0,003
35	0,043±0,002	0,038±0,006

Полученные экспериментальные данные показали согласованность с результатами численного моделирования, подтверждая тем самым результаты теоретической дозиметрии и адекватность разработанных моделей для обоснования оценки экспозиции, в том числе для поглощения энергии ЭМП

метрового диапазона длин волн.

На третьем этапе комплексной оценки биологического действия ЭМП было проведено облучение животных с помощью созданного на основе ТЕМ-камеры стенда при трех уровнях экспозиции с параллельным контролем в трехкратном повторе каждой серии. В соответствии с выбранной моделью биологические эффекты ЭМП метрового диапазона оценивались, исходя из состояния глюко- и минералкортикоидной функции надпочечников крыс. Оценивали зависимость биологических эффектов ЭМП от времени экспозиции и величин УПМ, определенных методами численной и экспериментальной дозиметрии. Продолжительность экспозиции была выбрана, исходя из результатов предварительных экспериментов, по определению временных соотношений для формирования адаптационно-компенсаторных реакций животных. Результаты оценки зависимости суточной экскреции кортикостерона у крыс в процессе облучения ЭМП частотой 171 МГц по 6 часов в день на протяжении 15 суток от величины УПМ и электрической составляющей ЭМП приведены на рисунке 10.

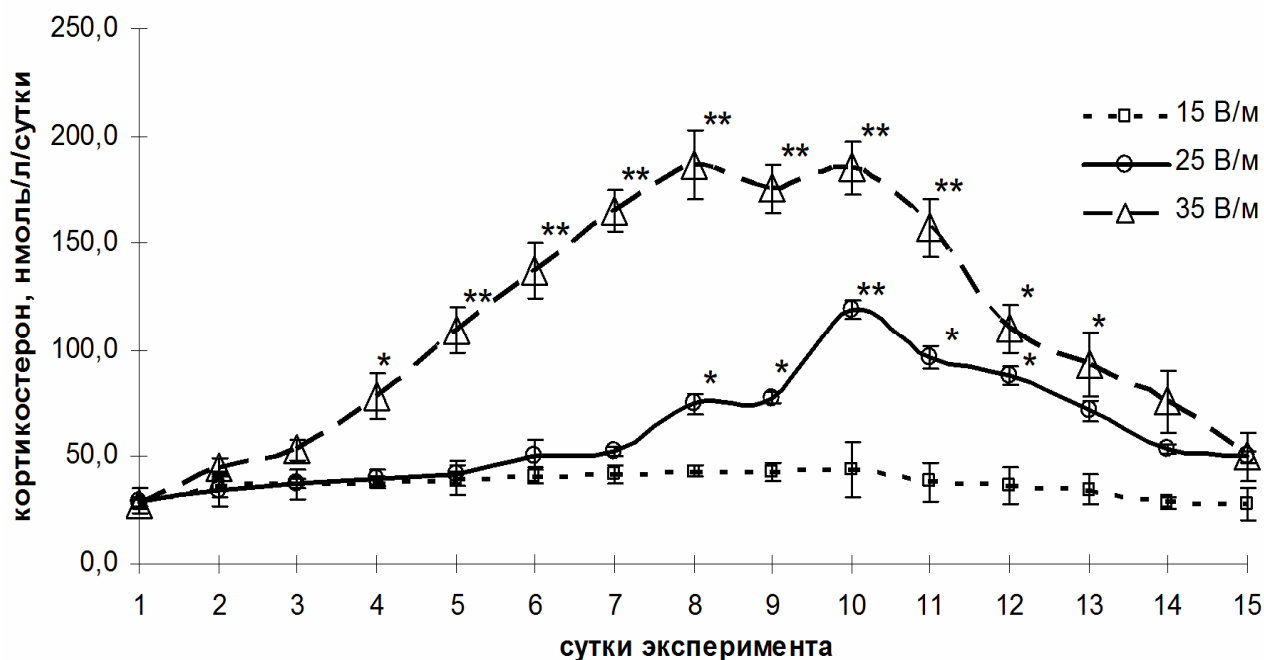


Рисунок 10. Зависимость уровня суточной экскреции кортикостерона (нмоль/л/сутки) у крыс при облучении ЭМП частотой 171 МГц по 6 часов в сутки на протяжении 15 дней при величине электрической составляющей 15, 25 и 35 В/м. \*  $p < 0,01$ ; \*\*  $p < 0,001$  относительно контроля (на рисунке не показан)

Наиболее выраженное повышение функциональной активности надпочечников крыс, оцениваемое по изменениям в содержании кортикостерона в суточной моче животных, отмечено на 3-й ( $p < 0,01$ ), 5-й, и 10-й ( $p < 0,001$ ) дни экспозиции при максимальной величине УПМ, равной 0,038 Вт/кг. Облучение ЭМП частотой 171 МГц по 6 часов в сутки вызывало повышение активности надпочечников крыс при величине УПМ 0,038 Вт/кг уже после 3-х дней экспозиции, тогда как при УПМ, равной 0,023 Вт/кг, только на 10-й день ( $p < 0,001$ ). А при минимальных величинах УПМ 0,006 Вт/кг во всех экспериментальных сериях с 1-го по 10-й дни облучения достоверные изменения в экскреции кортикостерона отсутствовали.

Результаты оценки влияния ЭМП частотой 171 МГц на минералкортикоидную функцию надпочечников по суточной экскреции электролитов (отношение  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ) у крыс представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Динамика суточной экскреции электролитов (отношение концентраций  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ) у крыс в процессе ежедневного облучения ЭМП частотой 171 МГц по 6 часов в день на протяжении 15 суток в зависимости от величин электрической составляющей (В/м) и УПМ (Вт/кг)

Сутки облучения	Электрическая составляющая ЭМП, (УПМ)					
	15 В/м, (0,006 Вт/кг)		25 В/м, (0,023 Вт/кг)		35 В/м, (0,038 Вт/кг)	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
1	1,02±0,11	1,02±0,08	1,05±0,11	1,05±0,12	1,03±0,14	1,04±0,10
3	1,05±0,13	1,14±0,12	1,08±0,13	1,49±0,14	1,08±0,13	1,22±0,18
5	1,08±0,15	1,19±0,15	1,05±0,12	1,55±0,14*	1,05±0,12	1,70±0,26**
10	1,08±0,13	1,50±0,13*	1,42±0,13	1,95±0,16*	1,05±0,13	2,99±0,32**
15	1,03±0,11	1,15±0,10	1,11±0,12	1,32±0,11	1,07±0,12	1,33±0,30

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

Статистически достоверные изменения в величине отношения  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  по сравнению с контрольными группами животных, как следует из представленных данных, отмечены на 5 и 10 дни экспозиции, как при УПМ 0,023 Вт/кг ( $p < 0,05$ ), так и при 0,038 Вт/кг ( $p < 0,01$ ) соответственно. При величинах УПМ (0,006 и 0,023 Вт/кг) и в 1-й и 3-й дни экспозиции значимые отличия величин отношения  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  у животных опытной группы от контрольной не наблюдались. Экскреция электролитов (ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ ), отражающая изменение минералкортикоидной активности надпочечников, сдвинута по



времени ее проявления по сравнению с изменением уровня кортикостерона в моче животных, максимум которого отмечался на 6-11 сутки экспозиции животных при максимальной интенсивности ЭМП, составляющей 35 В/м, соответствующей УПМ 0,038 Вт/кг.

Вероятно, что в выполненных нами исследованиях облучение ЭМП при малых величинах УПМ от 0,023 до 0,038 Вт/кг изменяет функцию надпочечников, способствуя выработке кортикостерона, что, в свою очередь, приводит к изменению ионорегулирующей функции почек через альдостерон.

Согласно данным большого числа исследований, основным путем реализации нейроэндокринных эффектов воздействия ЭМП является ось гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников. Один из наиболее показательных критериев биохимических сдвигов, оценка которых возможна в динамике подострых воздействий являются изменения функционального состояния коры надпочечников как конечного звена оси.

По-видимому, собственно воздействие ЭМП малых интенсивностей не оказывает значимого непосредственного влияния на функции почек у подопытных животных, а наблюдающееся изменение натрий- и калийуретической функции, проявляющееся в задержке выведения ионов  $\text{Na}^+$  и ускорения – ионов  $\text{K}^+$ , связано с реабсорбцией ионов  $\text{Na}^+$  из почечного фильтрата. Вероятно, что наблюдавшееся повышение экскреции кортикостерона при увеличении как продолжительности воздействия, так и величин УПМ, свидетельствует об адаптационно-компенсаторной реакции организма на воздействие ЭМП. Наряду с этим, можно полагать, что малые величины УПМ и время экспозиции вызывают стимуляцию функциональной активности надпочечников, сопровождающуюся повышением экскреции кортикостерона, что сменяется ее угнетением, как по мере увеличения времени экспозиции, так и с ростом величины УПМ.

Основываясь на классической теории Г.Селье об общем адаптационном синдроме как защитной реакции организма в ответ на воздействие повреждающего фактора, логично предположить, что установленный эффект действия ЭМП метрового диапазона длин волн, имеющий адаптационно-

компенсаторный характер, обнаруженный в выполненных исследованиях, обусловлен преимущественным поглощением излучения в головном мозге (гипофизе) животных, а не в надпочечниках. В пользу этого предположения свидетельствуют большие величины УПМ ЭМП в головном мозге крыс – от 0,011 Вт/кг до 0,57 Вт/кг (от 0,012 Вт/кг до 0,065 Вт/кг в гипофизе), чем в надпочечниках – от 0,003 Вт/кг до 0,017 Вт/кг.

Анализ зависимости уровня экскреции кортикостерона у крыс, облученных ЭМП при максимальной интенсивности (35 В/м, УПМ 0,038 Вт/кг) на протяжении 15 дней позволяет выявить в ней две части – восходящую и нисходящую (рисунок 10). Восходящую часть этой зависимости можно рассматривать как пермиссивный эффект, ориентированный на включение (активацию) защитных механизмов организма в ответ на действие облучения ЭМП более высокой интенсивности. В то же время нисходящая часть свидетельствует о преобладании супрессивного действия кортикостерона, направленного на оптимизацию адаптационно-защитных реакций организма, регулирующего их интенсивность. На этом фоне максимум экскреции кортикостерона в рассматриваемом случае представляет собой индуцированное стрессом повышение концентрации гормона в конечном звене оси нейроэндокринных реакций на воздействие фактора.

Рассматривая взаимоотношение между интенсивностью воздействия ЭМП и ответной реакцией в зависимости от поглощенной энергии излучения, можно отметить пропорциональность между уровнем экскреции кортикостерона и величиной УПМ. Уровень экскреции кортикостерона в первый день экспозиции не зависел от величины УПМ в пределах от 0,006 до 0,038 Вт/кг и соответствующей интенсивности ЭМП – от 15 до 35 В/м. На третий и особенно на пятый день облучения достоверное повышение содержания кортикостерона в моче отмечалось только при максимальном поглощении энергии излучения и величине электрической составляющей. Наибольший уровень экскреции кортикостерона, а, следовательно, и глюкокортикоидной активности надпочечников, отмечен на десятый день экспозиции, причем в эти же сроки увеличилась активность и минералкортикоидной функции. Сравнительный анализ показывает, что именно в эти сроки 15-дневного эксперимен-

та, отмечался максимум экскреции кортикостерона и одновременно точка перегиба в кривой зависимости от интенсивности излучения ЭМП (величины УПМ), т.е. в максимум пермиссивной активности.

В связи с тем, что при гигиеническом нормировании неблагоприятных факторов производственной среды особое внимание обращается на наличие выраженных функциональных изменений, в то время как порог вредного действия находится на границе, разделяющей области адаптации и компенсации и экстремальных воздействий, развивающаяся таким образом при действии низкоинтенсивных ЭМП адаптационно-компенсаторная реакция, характер которой оценивается по глюко- и минералкортикоидной активности надпочечников, позволяет провести адекватную оценку и прогнозировать порог вредного действия фактора, что представляется крайне важным для совершенствования гигиенического нормирования.

Полученные результаты обосновывают необходимость комплексной оценки экспозиции при исследованиях биологического действия ЭМП, которая позволяет не только определять характер поглощения и распределения электромагнитной энергии в биологических объектах, оценивать эффекты воздействия в эксперименте или при изучении влияния этого фактора на человека, но и определять взаимосвязь между ними в целях совершенствования гигиенического нормирования. Разработанный принцип позволяет корректно осуществлять постановку исследований и выполнять оценку результатов, и дает возможность адекватно экстраполировать результаты исследований с животных на человека, что особенно важно для условий производственных воздействий. Все это доказывает особую актуальность выполненных исследований, в том числе и в части возможности использования этих результатов как в совершенствовании действующих в стране гигиенических регламентов, так и в сфере их международной гармонизации.

## **ВЫВОДЫ**

1. Актуальность оценки реальных уровней экспозиции, использование расчетных и экспериментальных методов дозиметрии, применительно к особенностям ЭМП метрового диапазона длин волн (30-300 МГц) в

комплексе с экспериментальным изучением биологического действия фактора на животных, позволяет адекватно определять характер и степень его влияния, как в ближней, так и в дальней зоне источника излучения для совершенствования гигиенического нормирования.

2. Величины и характер поглощения энергии ЭМП в численных моделях биологических объектов (плоском фантоме и фантоме головы человека) при моделировании их облучения в ближней и дальней зонах метрового диапазона длин волн показывают совпадение результатов до  $93 \pm 6\%$ , что позволяет использовать разработанные методы оценки поглощенной энергии ЭМП при различных вариантах экспозиции в экспериментальных исследованиях по изучению биологического действия фактора, в том числе направленных на установление порога вредного действия в целях гигиенического нормирования.
3. Результаты оценки экспозиции с использованием теоретической и экспериментальной дозиметрии свидетельствуют о наличии сложной зависимости распределения поглощения электромагнитной энергии в моделях биологических объектов, связанных как с условиями экспозиции в ближней зоне (до 10 метров) источника ЭМП метрового диапазона длин волн, так и с формой фантома: большее поглощение ( $1,69 \pm 0,12$  Вт/кг) отмечается в антропометрическом фантоме головы человека по сравнению с плоским фантомом ( $0,88 \pm 0,05$  Вт/кг), а при увеличении расстояния от источника, более чем на 10 мм, наблюдается изменение положения и значений максимума поглощения в фантоме головы человека ( $0,29 \pm 0,02$  Вт/кг), тогда как при аналогичных условиях в плоском фантоме смещение максимума поглощения не установлено ( $0,39 \pm 0,03$  Вт/кг).
4. Максимальное поглощение энергии ЭМП метрового диапазона длин волн в модели головы человека (фантоме) при расположении перед ней источника излучения, по результатам теоретической и экспериментальной дозиметрии, локализовано преимущественно в лицевой части фантома, при этом для области глаз установлены собственные максимальные уровни поглощения энергии ЭМП ( $0,40 \pm 0,02$  Вт/кг) на рас-

стоянии 10 мм от источника, что подтверждает наличие отдельных локальных максимумов поглощения связанных с особенностями формы фантома и условиями ближней зоны источника ЭМП.

5. Применение ТЕМ-камеры позволило, с использованием методов расчетной и экспериментальной дозиметрии, установить и подтвердить характер распределения и поглощения энергии ЭМП в дальней зоне: при увеличении значений напряженности электрической составляющей от 15 В/м до 35 В/м значения удельной поглощенной мощности составили от  $0,006 \pm 0,001$  Вт/кг до  $0,038 \pm 0,006$  Вт/кг (экспериментальная дозиметрия), а по расчетным (численная дозиметрия) – от  $0,008 \pm 0,001$  Вт/кг до  $0,043 \pm 0,002$  Вт/кг, что не выходит за пределы погрешностей обоих методов дозиметрии.
6. Экспериментально установленная разнонаправленность биологических эффектов ЭМП обусловлена различным влиянием на функцию надпочечников облученных животных: при величинах напряженности электрической составляющей (до 25 В/м), времени воздействия (до 8 дней) и поглощенной энергии излучения ( $0,023 \pm 0,003$  Вт/кг), сопровождающееся повышением их глюко- и минералкортикоидной активности, которое сменяется угнетением при увеличении времени экспозиции (до 11 дней), большей интенсивности облучения (до 35 В/м) и поглощенной энергии излучения ( $0,038 \pm 0,006$  Вт/кг).
7. Предложенная современная методологически корректная оценка условий экспозиции при изучении биологического действия ЭМП является необходимым и достаточным для обеспечения репрезентативности результатов исследований, и позволяет его рассматривать как направление совершенствования и гармонизации гигиенической регламентации ЭМП радиочастотного диапазона.

#### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Алабовский В.В., Кудряшов Ю.Б., Богачева Е.В., Винокуров А.А., Маслов О.В., Перов С.Ю. Влияние электромагнитного поля радиочастотного диапазона на состояние  $\text{Na}^+$ - $\text{Ca}^{2+}$  обмена в изолированном сердце крысы // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2016. – Т.56. – №.2. – С.171-176.

2. Бухтияров И.В., Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Перов С.Ю. Новации в проблеме обеспечения электромагнитной безопасности работающих и населения // Тезисы докладов V Международной конференции "Человек и электромагнитные поля". Саров, 23-27 мая 2016 г. Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ". – 2016. – С.19-20.
3. Перов С.Ю., Белая О.В. Методы испытания экранирующих свойств средств индивидуальной защиты от электромагнитных полей радиочастотного диапазона // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – №9. – С. 110 - 111.
4. Rubtsova N., Perov S., Belaya O., Kuster N., Balzano Q. Near field radiofrequency electromagnetic exposure assessment // *Electromagnetic Biology and Medicine*. – 2015. – Vol. 34. – N. 3. – P.180-182.
5. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В. Новый методический подход к оценке поглощения электромагнитной энергии в условиях ближней зоны источника излучения // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – №7. – С. 32 - 36.
6. Rubtsova N., Perov S., Bogacheva E., Balzano Q., Kuster N. Specific absorption rate assessment of very-high frequency RF portable transmitters // *Bulgarian journal of public health*". – 2015. – Supplement, vol.VII. – №2(1). – P.41-44
7. Rubtsova N.B., Perov S.Yu., Belaya O.V., Bogacheva E.V. Experimental study of digital enhanced cordless telecommunication devices electromagnetic field possible hazard health effects // *Proceedings of PIERS 2015 in Prague, July 6-9, 2015*. – P. 1242-1244.
8. Bukhtiyarov I.V., Rubtsova N.B., Perov S.Yu., Belaya O.V., Kravtsova T.A. Principles and methods of EMF safety Maintenance by individual protective means // *Proceedings of PIERS 2015 in Prague, July 6-9, 2015*. – P. 1238-1241.
9. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В., Кравцова Т.А. Исследование возможной связи магнитной составляющей электромагнитного поля с удельной поглощенной мощностью в ближней зоне // Актуальные проблемы медицины труда: Сборник трудов института / Под ред. академика РАН, проф. Измерова, проф. И.В. Бухтиярова.-М: ООО"Мелга". – 2015. – С. 194–204.
10. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В. Исследование функционального состояния отдельных систем организма при воздействии низкоинтенсивного радиочастотного электромагнитного поля // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2015. №3. Публикация №2-4 URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5112.pdf> (дата обращения: 1.09.2015).
11. Перов С.Ю., Белая О.В. Исследование интенсивностно-временных зависимостей отдельных биологических эффектов электромагнитных полей радиочастотного диапазона // *Техногенные системы и экологические риски: Тезисы докладов XII Региональной конференции / Под общ. ред. А.А. Удаловой*. - Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ. – 2015. – С 160-161.

12. Перов С.Ю., Богачева Е.В. Теоретическая и экспериментальная дозиметрия в оценке биологического действия электромагнитных полей носимых радиостанций. Сообщение 2. Гомогенные фантомы головы человека // *Радиационная биология. Радиозэкология.* – 2015. – Т.55. – №4. – С. 431-435.
13. Кудряшов Ю.Б., Алабовский В.В., Перов С.Ю. Влияние электромагнитного излучения коротковолнового диапазона на функциональное состояние надпочечников крыс // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.* 2015. №1. Публикация №1-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-1/5016.pdf> (дата обращения: 28.01.2015).
14. Рубцова Н. Б., Перов С. Ю., Богачева Е. В., Белая О. В. Корректировка принципов контроля уровней электромагнитных излучений носимых средств связи в ближней зоне источника // *Сборник докладов IV Международной конференции - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ.* – 2014. – С. 317–322.
15. Рубцова Н. Б., Перов С. Ю., Богачева Е. В., Белая О. В. Численная дозиметрия как метод оценки биологического действия электромагнитных полей в ТЕМ-камере // *Сборник докладов IV Международной конференции - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ.* – 2014. – С. 304–308.
16. Бухтияров И.В., Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Перов С.Ю. Обеспечение защиты человека от электромагнитных полей путем совершенствования гигиенических регламентов и методов оценки // *Сборник докладов IV Международной конференции - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ.* – 2014. – С. 140–149.
17. Рубцова Н.Б., Фараджев В.И., Перов С.Ю., Белая О.В. Обеспечение индивидуальной защиты человека от воздействия электромагнитных полей // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – Т.16. – №5(2). – 2014. – С.801-804.
18. Перов С.Ю., Макарова-Землянская Е.Н. Использование математического моделирования в экспериментальной дозиметрии в условиях *in vivo* // *Экспериментальная и теоретическая биофизика '14. Сборник тезисов.* – Пушкино: типография Fix-Print. – 2014. – С. 185-186.
19. Перов С.Ю., Белая О.В. Задачи и критерии оценки эффективности средств индивидуальной защиты от электромагнитных полей радиочастотного диапазона // *Материалы V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием "Окружающая среда и здоровье. Здоровая среда - здоровое население".* 25–26 сентября 2014, Москва. – С. 360–364.
20. Rubtsova N., Perov S., Belaya O., Balzano Q., Kuster N. Near field radiofrequency electromagnetic exposure assessment // *8th International Workshop on biological effects of electromagnetic fields, 21–26 September, 2014, Varna, Bulgaria.* – P.29.
21. Rubtsova N., Perov S., Bogacheva E., Balzano Q., Kuster N. Specific absorption rate assessment of very-high frequency RF portable transmitters // *8th In-*

- ternational Workshop on biological effects of electromagnetic fields, 21–26 September, 2014, Varna, Bulgaria. – P. 33.
22. Алабовский В.В., Перов С.Ю., Маслов О.В., Богачева Е.В. Исследование состояния перекисного окисления липидов в сыворотке крови крыс в результате облучения электромагнитным полем метрового диапазона // VII Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): тезисы докладов, Москва, 21–24 октября 2014 г. – М.: 2014. – С. 201.
  23. Перов С.Ю., Кудряшов Ю.Б., Макарова-Землянская Е.Н. Функциональная активность надпочечников крыс при действии радиочастотных электромагнитных полей низких интенсивностей // VII Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): тезисы докладов, Москва, 21-24 октября 2014 г. – М.: 2014. – С. 221.
  24. Bogacheva E., Perov S., Balzano Q., Kuster N., Alabovskiy V. VHF portable radio transmitters: theoretical and experimental dosimetry // Book of Abstracts / The Second International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research, RAD 2014, May 27-30, 2014, Niš, Serbia. – P. 209.
  25. Perov S., Bogacheva E., Balzano Q., Kuster N., Rubtsova N. Correlation of dosimetric and magnetic near field free space measurements // Book of Abstracts / The Second International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research, RAD 2014, May 27-30, 2014, Niš, Serbia. – P. 267.
  26. Перов С.Ю. Исследование влияния электромагнитных излучений на глюкокортикоидную функцию надпочечников крыс // БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА: 18-ая Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых (Пущино, 21–26 апреля 2014 года) Сборник тезисов. – С. 110-111.
  27. **Перов С.Ю., Богачева Е.В. Теоретическая и экспериментальная дозиметрия в оценке биологического действия электромагнитных полей носимых радиостанций. Сообщение 1. Плоские фантомы // Радиационная биология. Радиоэкология. –2014. – Т.54. –№.1. – С.57-61.**
  28. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Богачев Е.В., Белая О.В. Пути гармонизации методик оценки электромагнитных полей радиочастотного диапазона в производственных условиях //Актуальные проблемы медицины труда. Сохранение здоровья работников как важнейшая национальная задача: Мат-лы научной конференции с международным участием/под ред. С.В. Гребенькова, И.В. Бойко – СПб.:Изд-во СЗГМУ им И.И. Мечникова. – 2014. – С. 67-68.
  29. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В. Гигиеническая оценка уровней электромагнитных полей и поглощения энергии в условиях ближней зоны источника излучения //Актуальные проблемы медицины труда. Сохранение здоровья работников как важнейшая национальная задача: мат-лы научной конференции с международным участием/под ред. С.В. Гребенькова, И.В. Бойко – СПб.: Изд-во СЗГМУ им И.И. Мечникова. – 2014. – С. 61 – 62.



30. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В. Возможности оценки поглощения электромагнитной энергии биологическими объектами в условиях ближней зоны источника излучения // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – Т.59. – №12. – Ч.III. – С. 57–58.
31. Перов С.Ю., Маслов О.В., Богачева Е.В. Исследование влияния радиочастотного электромагнитного излучения на биологические модели в условиях ближней зоны // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – Т.59. – №12. – Ч.III. – С.59-60.
- 32. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В. Моделирование электромагнитных полей в диапазоне 20-200 МГц применительно к задачам медико-биологических исследований // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2013. – № 12. – С. 61-65.**
33. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В. Новый методический подход к оценке поглощения электромагнитной энергии в условиях ближней зоны источника излучения // Материалы XII Всероссийского Конгресса "Профессия и здоровье" и V Всероссийского съезда врачей-профпатологов. Москва, 27–30 ноября 2013 г. – М.: ООО Фирма «Реинфор» . – С. 379–381.
34. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В., Вуйцик П.А., Коляскина М. М. Состояние форменных элементов крови животных в условиях подострого облучения *in vivo* // Материалы XII Всероссийского Конгресса "Профессия и здоровье" и V Всероссийского съезда врачей-профпатологов. Москва, 27–30 ноября 2013 г. - М.: ООО Фирма «Реинфор». – С. 381–382.
35. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В. Возможности оценки поглощения электромагнитной энергии биологическими объектами в условиях ближней зоны источника излучения // Экспериментальная и теоретическая биофизика'13. Сборник тезисов. – Пушкино: типография Fix-Print. – 2013. – С.119–120.
36. Перов С.Ю., Маслов О.В., Богачева Е.В. Исследование влияния радиочастотного электромагнитного излучения на биологические модели в условиях ближней зоны // Экспериментальная и теоретическая биофизика'13. Сборник тезисов. – Пушкино: типография Fix-Print. – 2013. – С. 121.
37. Rubtsova N., Perov S., Bogacheva E., Balzano Q., Kuster N. VHF EMF Portable Radio Assessment // PIERS Proceeding, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013. – P. 806-809.
38. Bukhtiyarov I.V., Rubtsova N.B., Paltsev Yu.P., Pokhodzey L.V., Perov S.Yu. Electromagnetic field as human health risk factor: EMF safety ensuring by hygienic standardization // PIERS Proceeding, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013. – P. 1077-1081.
39. Rubtsova N., Perov S., Bogacheva E., Balzano Q., Kuster N. VHF EMF Portable Radio Assessment // Progress In Electromagnetics Research Symposium Abstracts, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013. – P. 736
40. Bukhtiyarov I.V., Rubtsova N.B., Paltsev Yu.P., Pokhodzey L.V., Perov S.Yu. Electromagnetic field as human health risk factor: EMF safety ensuring by hygienic standardization // Progress In Electromagnetics Research Symposium Abstracts, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013. – P. 877

41. Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Богачева Е.В. Проблема изучения влияния электромагнитных полей на здоровье человека. Итоги и перспективы // Медицина труда и промышленная экология. – 2013. - № 6. – С. 35–40.
42. Рубцова Н. Б., Перов С. Ю., Богачева Е. В., Белая О. В. Корректировка принципов контроля уровней электромагнитных излучений носимых средств связи в ближней зоне источника // Тезисы докладов IV Международная конференция «Человек и электромагнитные поля» г. Саров, 27–31 мая 2013 г. - Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ". – С. 76-77.
43. Рубцова Н. Б., Перов С. Ю., Богачева Е. В., Белая О. В. Численная дозиметрия как метод оценки биологического действия электромагнитных полей в ТЕМ-камере // Тезисы докладов IV Международная конференция «Человек и электромагнитные поля» г. Саров, 27-31 мая 2013 г. - Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» . – С. 74-75.
44. Бухтияров И.В., Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Перов С.Ю. Обеспечение защиты человека от электромагнитных полей путем совершенствования гигиенических регламентов и методов оценки // Тезисы докладов IV Международная конференция «Человек и электромагнитные поля» г. Саров, 27-31 мая 2013 г. - Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ". – С. 40–41.
45. Перов С.Ю., Богачева Е.В. Дозо-временные зависимости при оценке биологического действия электромагнитных полей нетепловых уровней экспозиции // БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА: 17-ая Международная Пушкинская школа-конференция молодых ученых (Пушино, 21 -26 апреля 2013 года). Сборник тезисов, Пушино. – С. 167–168.
46. Белая О.В., Богачева Е.В., Перов С.Ю. Дозиметрия неионизирующих электромагнитных полей с использованием камеры поперечной электромагнитной волны // БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА: 17-ая Международная Пушкинская школа-конференция молодых ученых (Пушино, 21–26 апреля 2013 года). Сборник тезисов, Пушино. – С. 99–100.
47. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Богачева Е.Н., Кюстер Н. К разработке гармонизированных с международными методов оценки производственных воздействий электромагнитных полей носимых радиостанций // Медицина труда и промышленная экология. – 2013. – № 2. – С. 9-13.
48. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю. Кинетические кривые «доза-время» в нормировании электромагнитных полей низких интенсивностей: биологическая оценка // Материалы XI Всероссийского Конгресса «Профессия и здоровье». Москва, 27-29 ноября 2012 г. – М.: ФГБУ «НИИ МТ» РАМН. – С. 395-396.
49. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Белая О.В. Оценка и нормирование радиочастотных электромагнитных полей в ближней зоне источника излучения // Материалы XI Всероссийского Конгресса «Профессия и здоровье». Москва, 27-29 ноября 2012 г. - М.: ФГБУ «НИИ МТ» РАМН. – С.396–398.
50. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Пальцев Ю.П. Пути и методы гармонизации гигиенических регламентов и методов оценки электромагнитных полей,

- создаваемых средствами подвижной радиосвязи // Материалы XI Всероссийского Конгресса «Профессия и здоровье». Москва, 27–29 ноября 2012 г. – М.: ФГБУ «НИИ МТ» РАМН. – С. 398–400.
51. Перов С.Ю., Богачева Е.В., Белая О.В. Дозиметрия в гигиенической оценке радиочастотных электромагнитных полей // Медицинский академический журнал. Приложение «Материалы II всероссийской научной конференции молодых ученых «Проблемы биомедицинской науки третьего тысячелетия»». - Изд-во. ИП «Ефименко Дмитрий Леонидович». – 2012. – С. 283–285.
- 52. Бухтияров И.В., Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Богачева Е.В., Пальцев Ю.П. Пути гармонизации гигиенических регламентов и методов оценки электромагнитных полей, создаваемых средствами подвижной радиосвязи // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т.14. – №5(3). – 2012. – С. 768-771**
53. Перов С.Ю., Белая О.В., Богачева Е.В. Влияние импеданса объекта экспозиции в экспериментальной дозиметрии радиочастотных электромагнитных полей и излучений // Экспериментальная и теоретическая биофизика '12. Сборник тезисов. – Изд-во. ИП Воронова. – 2012. – С. 118.
54. Перов С.Ю. Использование кинетических кривых «доза-время» при оценке биологического действия электромагнитных полей низких интенсивностей // Экспериментальная и теоретическая биофизика '12. Сборник тезисов. – Изд-во. ИП Воронова. – 2012. – С. 117
55. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Богачева Е.В. Теоретическая и экспериментальная дозиметрия электромагнитных полей радиочастотного диапазона // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕДИЦИНЫ ТРУДА: сборник трудов института / Под редакцией академика РАМН Н.Ф. Измерова. – М.: ГУ НИИ медицины труда РАМН. – 2012. – С. 331-344.
56. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Богачева Е.В. Требования к стендовой базе для проведения биологических экспериментов и гигиенической оценки носимых беспроводных систем коммуникаций (в сб. «Трудов Института по законченным НИР») // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕДИЦИНЫ ТРУДА: сборник трудов института / Под редакцией академика РАМН Н.Ф. Измерова. – М.: ГУ НИИ медицины труда РАМН. – 2012. – С. 344-355.
57. Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Лазаренко Н.В., Клещенок О.И. Совершенствование и гармонизация гигиенических регламентов электромагнитных полей // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕДИЦИНЫ ТРУДА: сборник трудов института / Под редакцией академика РАМН Н.Ф. Измерова. – М.: ГУ НИИ медицины труда РАМН. – 2012. – С. 89-113.
58. Перов С.Ю., Богачева Е.В. Вопросы нормирования электромагнитных полей, создаваемых средствами коммуникаций. Результаты теоретической и экспериментальной дозиметрии // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотреб-

- надзора: в 2 т./ под общ. ред. акад. РАМН Г.Г.Онищенко, акад. РАМН Н.В. Зайцевой. - Пермь: Книжный формат. – 2012. – Т.2. – С. 109-113.
- 59.Перов С.Ю. Научно-методическое обоснование гармонизации гигиенических нормативов и дозиметрии электромагнитных излучений, создаваемых носимыми системами радиосвязи // *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора: в 2 т./ под общ. ред. акад. РАМН Г.Г.Онищенко, акад. РАМН Н.В. Зайцевой.* - Пермь: Книжный формат. – 2012. - Т.2. – С. 113-116.
- 60.Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Калиничева Е.В. Информационные технологии как источник возможного неблагоприятного влияния на человека электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Классификация // *Безопасность в техносфере.* – 2012. – №.1 . – С.25–29.**
- 61.Перов С.Ю., Богачева Е.В. Сравнение методов оценки носимых средств связи: российский и международный подходы // *Медицина труда и промышленная экология.* – 2012. – №3. – С. 36–40.**
- 62.Перов С.Ю. Новый подход в радиочастотной дозиметрии радиобиологии неионизирующих излучений // *БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА: 16-ая Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых (Пущино, 16 -21 апреля 2012 года).* Сборник тезисов, Пущино. – С. 341.
- 63.Рубцова Н.Б., Перов С.Ю. Методы теоретической дозиметрии электромагнитных полей при оценке их биологического действия // *Авиакосмическая и экологическая медицина.* – 2012. –Т. 46. – № 3. – С. 3-8.**
- 64.Перов С.Ю., Кудряшов Ю.Б., Рубцова Н.Б. Оценка информативности теоретических основ и ограничений расчетной дозиметрии радиочастотных электромагнитных излучений // *Радиац. биология. Радиоэкология.* – 2012. – Т.52. – №.2. – С.181-186.**
- 65.Перов С.Ю., Кудряшов Ю.Б., Рубцова Н.Б. Инструментальная дозиметрия радиочастотных электромагнитных излучений: общие принципы и современная методология // *Радиац. биология. Радиоэкология.* – 2012. – Т.52. – №3. – С. 276-281.**
- 66.Рубцова Н.Б., Перов С.Ю. Теоретическая дозиметрия радиочастотных электромагнитных полей при оценке биологического действия. Возможные погрешности // *Биомедицинская радиоэлектроника.* – 2012. – №2. – С. 12-21.**
- 67.Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Перов С.Ю. Проблема обеспечения сохранения здоровья человека в условиях воздействия электромагнитных полей. Гигиеническое нормирование // *Биомедицинская радиоэлектроника.* – 2011. – № 11. – С. 3–10.**
- 68.Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Калиничева Е.В. Носимые источники электромагнитных полей систем передачи данных и возможные биологические эффекты // *Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений за 2011 год / Сборник трудов.* М.: Центр электромагнитной безопасности. – 2012. – С. 138–153.

69. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Богачева Е.В. Использование быстрого сканнера в задачах электромагнитной дозиметрии беспроводных систем коммуникаций // Материалы X Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва, 6-8 декабря 2011, М. – С. 432–433.
70. Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Перов С.Ю. Проблемы и перспективы гигиенического нормирования электромагнитных полей в Российской Федерации // Материалы X Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва, 6–8 декабря 2011, М. – С. 430–432.
71. Перов С.Ю., Калиничева Е.В. Оценка электромагнитных полей носимых средств радиосвязи // Мир транспорта. – 2011. – Т. 37. – №4. – С. 118-123.
72. Перов С.Ю. Экспериментальная дозиметрия радиочастотных электромагнитных полей персональных средств связи в гигиеническом нормировании // Вестник новых медицинских технологий. - 2011. - Т. 18. – №3. - С.286-288.
73. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Калиничева Е.В. Гигиеническая оценка электромагнитных полей носимых радиостанций // Вестник новых медицинских технологий. - 2011. - Т. 18. – №3. - С.284-286.
74. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Калиничева Е.В. Электромагнитные поля носимых радиостанций: измерение и гигиеническая оценка// 9-й Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. Труды симпозиума 13-16 сентября 2011 г., Санкт-Петербург. – 2011. – С. 584-588.
75. Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Перов С.Ю. Проблемы и перспективы международной гармонизации гигиенических нормативов электромагнитных полей // 9-й Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. Труды симпозиума 13-16 сентября 2011 г., Санкт-Петербург. – 2011. – С. 573-575.
76. Перов С.Ю. Комплексный подход дозиметрии в оценке биологического действия электромагнитных полей // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2011. – Т. 10. – № 3. – С. 559-563.
77. Калиничева Е.В., Перов С.Ю. Нормирование и гигиеническая оценка электромагнитных полей средств передачи информации// Прикладные информационные аспекты медицины. – 2011. – Т. 14. – № 1. – С. 15-17.
78. Перов С.Ю. Подходы численного моделирования поглощения энергии электромагнитных полей в медико-биологических исследованиях// Прикладные информационные аспекты медицины – 2011. – Т. 14. – № 1. – С. 25-26.
79. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Калиничева Е.В. Комплексная оценка уровней электромагнитных полей носимых радиостанций // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С.Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск XLVI. г. Москва, 11–12 мая 2011. – С. 380-381.
80. Перов С.Ю., Готовский М.Ю. Подходы к моделированию электромагнитных полей в медико-биологических исследованиях // Тезисы и доклады

- XVII Международной конференции «Теоретические и клинические аспекты применения адаптивной биорезонансной терапии» Ч.1. - М.:ИМЕДИС, 2011. – С. 199-201.
81. Калиничева Е.В., Перов С.Ю., Рубцова Н.Б. Производственные воздействия электромагнитных полей носимых радиостанций // Материалы IX Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва, 24–26 ноября 2010, М. – С. 231–233.
82. Рубцова Н.Б., Калиничева Е.В., Перов С.Ю. Комплексный подход к гигиенической оценке влияния на человека электромагнитных полей от носимых раций // Сборник докладов III Международной конференции «Человек и электромагнитные поля». – Саров, «РФЯЦ-ВНИИЭФ» . – 2010. – С. 178-184.
83. Перов С.Ю., Balzano Q., Kuster N. Биологические модели и их роль в гигиеническом нормировании электромагнитных полей // Тезисы докладов III Международной конференции «Человек и электромагнитные поля». - Саров, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – С. 59-60.
84. S. Perov, Q. Balzano, N. Kuster Biological Model in Electromagnetic Exposure Safety // Electromagnetics Research Symposium Proceedings, Xi'an, China, March 22-26, 2010. – P. 312-315.
85. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю. Проблемы оценки и дозиметрии мобильных средств связи в гигиеническом нормировании электромагнитного излучения радиочастотного диапазона // Материалы VIII Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва, 25–27 ноября 2009, М. – С.430–431.
86. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Карловская М.А. Численная дозиметрия в гигиеническом нормировании электромагнитных полей и излучений // Материалы VIII Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва, 25–27 ноября 2009, М. – С. 432–433.
87. Рубцова Н.Б., Калиничева Е.В., Перов С.Ю. Электромагнитные поля портативных (носимых) радиостанций как фактор профессионального риска для работников железнодорожного транспорта // Материалы VIII Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва, 25–27 ноября 2009, М. – С. 429-430.
88. Perov S., Balzano Q., Kuster N. Merger of Two Different Dosimetry Rationales Progress// Electromagnetics Research Symposium Proceedings, Moscow, Russia, August 18-21, 2009. – P.157-160.
89. Kuster N., Kuhn S., Perov S., Balzano Q. Fast Evaluation Techniques to Demonstrate Compliance in the Near Field of Active and Passive Transmitters// In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, Moscow, Russia, August 18-21, 2009. – P.658
90. Perov S., Balzano Q., Kuster N. A Scientific Approach to RF Safety Harmonization // Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association, Davos, Switzerland, June 14 – 19, 2009. – P. 18-5.

91. Марков Д.В., Рубцова Н.Б., Перов С.Ю. Гигиеническая оценка электромагнитной обстановки на рабочих местах персонала физиотерапевтических кабинетов // Медицина труда и промышленная экология. – 2008. – № 10. – С. 24 - 31.
92. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Готовский М.Ю. Актуальные вопросы обеспечения электромагнитной безопасности современных беспроводных средств связи типа Wi-Fi и Bluetooth. Перспективы развития // Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений, М. Изд-во «Алана». – 2008. – С. 95–105.
93. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю. Значение импульсно-кодовой модуляции при гигиенической оценке мобильных средств связи // Материалы Всероссийской конф., посв. 85-летию ГУ НИИ медицины труда РАМН «Медицина труда: Реализация Глобального плана действий по здоровью работающих на 2008-2017 гг.» М.: Изд-во «Реинфор». – 2008. – С. 238–239.
94. Рубцова Н.Б., Походзей Л.В., Пальцев Ю.П., Перов С.Ю., Токарский А.Ю. Актуальные проблемы гигиенической оценки производственных и внепроизводственных воздействий электромагнитных полей // Материалы Всероссийской конф., посв. 85-летию ГУ НИИ медицины труда РАМН «Медицина труда: Реализация Глобального плана действий по здоровью работающих на 2008-2017 гг.» М.: Изд-во «Реинфор». – 2008. – С. 270–271.
95. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Походзей Л.В. Электромагнитные поля медицинской аппаратуры как фактор риска для медицинского персонала // Сб. докладов Второй международной конференции «Человек и электромагнитные поля». - Саров. – 2007. – С. 61–62.
96. Рубцова Н.Б., Походзей Л.В., Перов С.Ю. Современные проблемы мониторинга электромагнитной обстановки на рабочих местах и в окружающей среде // 7-й Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. Труды симпозиума 26-29 июня 2007 г., Санкт-Петербург. – 2007. – С.351–354
97. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Десятчикова Ю.В. Актуальные проблемы дозиметрии при обеспечении электромагнитной безопасности // Материалы VI Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва, 30 октября-1 ноября 2007 г., М.: Изд-во «Дельта» . – 2007. – С.203–205
98. Перов С.Ю. Сложности в оценке электромагнитного излучения радиочастотного диапазона // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Окружающая среда и здоровье», Рязань, НПЦ «Информационные технологии» . – 2007. – С. 62–63.
99. Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Криковцова О.В. Особенности аналитических и численных методов, используемых в теоретической дозиметрии электромагнитного излучения сотовых телефонов // Сборник докладов девятой Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности ЭМС-2006. – Санкт-Петербург. – 2006. – С.638–640.

100. Рубцова Н.Б., Походзей Л.В., Самусенко Т.Г., Марков Д.В., Перов С.Ю. Электромагнитные поля медицинского оборудования как источник потенциальной опасности для медицинского персонала // Сборник докладов девятой Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности ЭМС-2006. – Санкт-Петербург. – 2006. – С.567–571.
101. Рубцова Н.Б., Походзей Л.В., Самусенко Т.Г., Перов С.Ю., Марков Д.В. Электромагнитные поля медицинского оборудования как фактор профессионального риска // Материалы V Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье», Москва 30 октября-2 ноября 2006 г., М.: Изд-во «Дельта». – 2006. – С. 259-261.