

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-610-613>

УДК 621.396.1

© Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М., 2020

Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М.

Конвергенция в нормировании и контроле электромагнитных полей современных беспроводных технологий

ФГУП «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева», Самарский филиал «Самарское отделение научно-исследовательского института радио», ул. Советской Армии, 217, г. Самара, Россия, 443011

Эволюция инфотелекоммуникаций показывает высочайшие темпы перехода к высокотехнологичным системам и сопровождается тенденцией глубокого взаимного проникновения технологий — конвергенцией. Доминирующими технологиями стали беспроводные системы связи. Широкое их использование привело к насыщению окружающей среды технологическими электромагнитными полями и актуализации проблем защиты населения от них. Изменившиеся параметры излучаемых полей стали причиной пересмотра нормативно-методического обеспечения электромагнитной безопасности. Структурный и параметрический анализ проблемы защиты населения от технологических полей выявил неопределенность в толковании реальных ситуаций и необоснованность методологической основы санитарно-гигиенических подходов. Растущая социальная напряженность и некоторая радиophobia сопровождаются развитием беспроводных технологий связи. Основой для решения практически всех проблем защиты населения может быть перенос субъективных методов и средств мониторинга и контроля полей в область IT-технологий.

Ключевые слова: конвергенция технологий; электромагнитные поля; сетевые технологии; частотно-временные и энергетические параметры; санитарно-гигиенический контроль

Для цитирования: Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М. Конвергенция в нормировании и контроле электромагнитных полей современных беспроводных технологий. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(9). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-610-613>

Для корреспонденции: Сподобаев Юрий Михайлович, гл. науч. сотр., д-р тех. наук, проф. E-mail: spod@soniir.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 15.06.2020 / Дата принятия к печати: 12.08.2020 / Дата публикации: 07.10.2020

Michail Yu. Maslov, Yuri M. Spodobaev

Convergence in norming and control of modern wireless technologies electromagnetic fields

Order of the Red Banner of Labor Russian Scientific Research Institute of Radio named after M.I. Krivosheeva, Samara branch of the Research Institute of Radio, 217, Sovetskoiy Armii str., Samara, Russia, 443011

Telecommunications industry evolution shows the highest rates of transition to high-tech systems and is accompanied by a trend of deep mutual penetration of technologies — convergence. The dominant telecommunication technologies have become wireless communication systems. The widespread use of modern wireless technologies has led to the saturation of the environment with technological electromagnetic fields and the actualization of the problems of protecting the population from them. This fundamental restructuring has led to a uniform dense placement of radiating fragments of network technologies in the mudflow areas. The changed parameters of the emitted fields became the reason for the revision of the regulatory and methodological support of electromagnetic safety. A fragmented structural, functional and parametric analysis of the problem of protecting the population from the technological fields of network technologies revealed uncertainty in the interpretation of real situations, vulnerability, weakness and groundlessness of the methodological basis of sanitary-hygienic approaches. It is shown that this applies to all stages of the electromagnetic examination of the emitting fragments of network technologies. Distrust arises on the part of specialists and the population in not only the system of sanitary-hygienic control, but also the safety of modern network technologies is being called into question. Growing social tensions and radio phobia are everywhere accompanying the development of wireless communication technologies. The basis for solving almost all problems of protecting the population can be the transfer of subjective methods and means of monitoring and sanitary-hygienic control of electromagnetic fields into the field of IT.

Keywords: convergence of technologies; electromagnetic fields; network technologies; time-frequency and energy parameters; sanitary and hygienic control

For citation: Maslov M.Yu., Spodobaev Y.M. Convergence in norming and control of modern wireless technologies electromagnetic fields. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60(9). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-610-613>

For correspondence: Yuri M. Spodobaev, Senior Research Officer, Dr. of Sci. (Tech.), prof. E-mail: spod@soniir.ru

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflicts of interests.

Information about authors:

Maslov M.Yu. <https://orcid.org/0000-0003-4458-7352> Spodobaev Y.M. <https://orcid.org/0000-0002-8871-1530>

Received: 15.06.2020 / Accepted: 12.08.2020 / Published: 07.10.2020

Введение. Характерной чертой современного научно-технического прогресса стало явление конвергенции, которое наиболее ярко и эффективно проявляется в эволюции техники и технологий отрасли телекоммуникаций. Этот процесс сменился тенденцией глубокого взаимного проникновения технологий — конвергенцией — с конечной целью решения актуальных задач. В рамках цифровых технологий слились воедино не только процессы передачи, приема и преобразования информации, но и процессы формирования сигналов аудио, видео, телеметрии, контроля, сигнализация, управления и прочее. На первый план форм передачи информации вышли беспроводные технологии, основой большинства которых является радиоканал в виде свободно распространяющихся электромагнитных волн.

До широкого внедрения сотовых технологий телекоммуникационная инфраструктура в России характеризовалась следующими организационно-техническими признаками:

– подавляющее большинство телекоммуникационных си-

стем осуществляло доставку населению программ и каналов телерадиовещания;

- источники излучений (антенны) размещались на выделенных технических территориях, башнях и опорах, которые располагались на или вблизи селитебных территорий;
- технические территории охранялись и были насыщены инфраструктурой — это были радио или телецентры, которые получили название передающие радиотехнические объекты (ПРТО);
- ПРТО были основными элементами топологии размещения излучающих объектов, они работали в диапазонах длинных, средних, коротких и ультракоротких волн;
- горизонтальная топология размещения характеризовалась наличием антенного поля, на котором располагались антенны и антенные системы;
- вертикальная топология реализовывалась размещением излучающих элементов на мачтах и башнях;

- подвижная радиосвязь и технические средства, работающие в диапазоне СВЧ и выше, были представлены фрагментарно.

Действующая в настоящее время нормативно-методическая и правовая база электромагнитной безопасности, в том числе и гигиенические нормативы, были связаны с полями, которые создавались техническими средствами, организованными по перечисленным принципам. В санитарно-гигиенической практике за основу в электромагнитном мониторинге принимался ряд принципов, однозначно привязанных к электромагнитным полям (ЭМП), которые создавались актуальными в те далекие времена телекоммуникационными системами:

- рассматривался частотный диапазон от 30 кГц до 300 МГц;
- амплитудная модуляция с характерным узким спектром позволяла заменять при анализе реальный сигнал энергетически эквивалентным монохроматическим;
- рассматривалось только облучение на максимально возможных уровнях излучаемой мощности, что соответствовало реальным режимам работы оборудования;
- по времени предполагалось круглосуточное облучение населения, а производственного персонала – в течение рабочей смены;
- полное и равномерное облучение человека было основой моделирования воздействий ЭМП для санитарно-гигиенических целей.

На этих принципах вполне обоснованно была построена вся нормативно-методическая база электромагнитной безопасности не только населения, но и производственного персонала.

Сегодня на селитебных территориях десятки тысяч равномерно распределенных излучающих фрагментов современных сетевых технологий и до сотни излучающих технических средств на телевизионных башнях заменили счетное количество излучающих объектов прошлого.

Сейчас наблюдается тенденция игнорирования требований адекватности условий экспозиции, что возможно делать в рамках обобщенных энергетических оценок электромагнитной обстановки и совершенно недопустимо при проведении экспериментальных исследований.

Технические критерии нормирования в контексте конвергенции технологий. В настоящее время в РФ в диапазоне частот 0,3 до 300 ГГц для населения действует гигиенический норматив на уровень ЭМП, в виде регламентации плотности потока энергии (ППЭ), равной 10 мкВт/см². Этот норматив был принят во времена, когда на селитебных территориях практически не встречались излучающие технические средства, работающие в диапазоне выше 300 МГц. Исключение составляли радиорелейные системы передачи прямой видимости и радиолокационные станции (РАС). Появление и обоснование этого норматива, которому сейчас порядка 70 лет, можно проследить по [1–3]. Импульсные режимы работы РАС коренным образом отличались от режимов телекоммуникационных систем обслуживания населения телерадиовещанием и связью, поэтому норма уточнялась для конкретных станций с учетом мощности, длительности импульсов, скважности и параметров обзора.

Практически полное обновление техники телекоммуникаций в условиях нарастающей конвергенции технологий определяет необходимость разработки, обновленной нормативно-методической и правовой документации электромагнитной безопасности. И в первую очередь следует, наконец-то, определиться с основным элементом электромагнитного мониторинга — предельно допустимыми параметрами полей.

Исходная позиция для этого очевидна — это известные пространственно-временные, частотные и энергетические характеристики полей, излучаемых фрагментами современных сетевых технологий. Формируя нормативную базу, следует ориентироваться на ее максимальную информативность, которая обеспечит возможность обновления методической документации и исключит многозначность толкований реальных ситуаций. Приведем основные положения, которые должны быть раскрыты

при разработке предельных параметров полей, а по сути — критериев оценки электромагнитной обстановки вблизи излучающих фрагментов сетевых технологий. Это не обязательно должны быть напряженность поля или плотность потока энергии.

1. Следует четко определить применимость критерия оценки электромагнитной обстановки к определенным классам или поколениям сетей. До последнего времени электромагнитная экспертиза базовых станций сетей 2G/3G/4G проводилась традиционными методами в соответствии с действующей нормативной документацией. При этом каждая базовая станция рассматривалась как отдельный ПРТО со всеми вытекающими последствиями. С появлением сетей 5G, а точнее сетевых фрагментов в виде микро-, пико- и фемтосот, понятие ПРТО утратило свой смысл. Примером такого состояния может служить торгово-развлекательный центр, где может находиться до сотни и более точек доступа к сети, каждая из которых содержит все признаки ПРТО и является отдельным источником ЭМП.

Важным информационным фактором для мониторинга будет являться топология размещения сетевых фрагментов. Если ранее сегменты сетей строились по принципам сот с одной базовой станцией, то конвергенция технологий приводит к многослойной структуре сетей. Можно прогнозировать наложение сот, отличающихся диапазоном рабочих частот, мощностью излучения, режимами работы, конфигурацией зон обслуживания, удаленностью от точки наблюдения. При этом область, существенная для распространения радиоволн (радиоканал), практически для всех сетевых фрагментов полностью располагается в приземном слое селитебной территории на высоте от 0 до 20 м. Все это многократно увеличивает сложность прогнозирования и контроля электромагнитной обстановки.

Нормативно-методическое обеспечение электромагнитного мониторинга должно отвечать на эти и подобные вопросы, связанные с топологическими, тактико-временными и энергетическими особенностями сетей.

2. Сейчас известно, что обсуждаемые и перспективные частотные участки развития современных сетей размещены в диапазоне где-то от 0,6 до 60 ГГц (в длинах волн от 50 см до 5 мм). В таком диапазоне частот при взаимодействиях с живыми тканями и организмами в целом может происходить, во-первых, весь спектр подчиняющихся законам макроскопической электродинамики волновых процессов (дифракция, рефракция, явления на границе раздела, резонансы), и, во-вторых, процессы, связанные с квантовой теорией поля (поглощение и преобразование энергии, взаимодействие с системами организма). Весьма вероятно, что биологическая активность отдельных участков диапазонов будет резко различаться, что может привести к необходимости обоснования различных предельных уровней для каждого из них. Вполне вероятна гипотеза, что значимые для санитарно-гигиенических оценок специфические эффекты воздействия на организм будут по уровням падающей энергии близки или даже превышать уровни значимых тепловых эффектов, поскольку практически вся электромагнитная энергия рассеивается на поверхности. Возможно, что картина взаимодействия ЭМП с организмом может быть откорректирована при учете явлений переноса веществ и энергии в живых системах, однако, существенность ожидаемых поправок представляется сомнительной в связи с известными морфологическими особенностями кожного покрова. Несомненно, необходимы исследования и обсуждения этого вопроса, но разделение всего диапазона на участки представляется целесообразным [4, 5].

3. Центральное место в разработке санитарно-гигиенических подходов к оценке качества среды обитания по электромагнитному фактору занимает установление контролируемых параметров электромагнитной обстановки и их предельные уровни.

В последние годы в практику санитарно-гигиенической экспертизы объектов, излучающих в открытое пространство электромагнитную энергию, стали осторожно внедряться понятия

Таблица 1 / Table 1

Сигнальные полосы частот сетей связи различных поколений
Signal frequency bands of communication networks of various generations

Показатель	1G 1981 год	2G 1992 год	3G 2001 год	4G 2009 год	5G 2020 год
Ширина спектра сигнала	1 МГц	10 МГц	100 МГц	1 ГГц	10 ГГц

неопределенности величин и риск-ориентированные подходы, основанные на вероятностных параметрах. Уместно отметить, что в отрасли телекоммуникаций четко отработаны критерии оценки качества охвата населения и покрытия территорий услугами телерадиовещания и связи — это уровень сигнала и его вероятность на конкретной территории. В санитарно-гигиенической практике напрашивается подобный критерий — уровень опасного/безопасного сигнала и его вероятность на конкретной территории. При этом сохраняется принципиальная возможность детерминизации результатов на финальном этапе электромагнитной экспертизы.

Создание научно-обоснованного критерия оценки электромагнитной обстановки вблизи излучающих фрагментов современных сетевых технологий должно включать четкое обоснование совместимости критерия со случайной природой реальной электромагнитной обстановки.

4. Еще один параметр сигналов современных сетевых технологий требует медико-биологического внимания — это ширина полосы рабочих частот (табл. 1).

Полоса рабочих частот при смене поколений стандартов сетевых технологий каждый раз увеличивается в десять раз. Эта важная для сетевых технологий характеристика, обеспечивающая преимущества каждого последующего поколения сетей над предыдущими, определяет существенные изменения формируемой электромагнитной обстановки. При моделировании полей, создаваемых сетями 1G/2G/3G, было допустимо приближение замены реального спектра монохроматическим сигналом, поскольку ширина полосы не превышала 1% от величины центральной частоты. Для сетей 4G/5G/6G это соотношение достигает 10% и более — мощность распределяется по этому спектру.

Самым обсуждаемым параметром излучающих объектов всегда оставалась излучаемая мощность как входной параметр электромагнитной экспертизы, причем интересовались максимально реализуемыми уровнями. В современных сетевых технологиях принимаются разнообразные меры по экономии энергии и оптимизации режимов излучения фрагментов сетей. Такие меры принимаются как на уровне технических решений, так и в масштабах реального времени, когда излучаемая мощность отслеживает загрузочный трафик, относительную ориентацию и протяженность радиоканалов. Функции энергосбережения и экологичности, основанные на принципах самодиагностики и управления, уже заложены в структуру и топологию современных сетей. Ориентировочные значения номинальных мощностей передатчиков, рекомендованных для различных типов сот и условий размещения, приведены в таблице 2. В практике прогнозирования и эксплуатации зон обслуживания принято использовать понятие эффективная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) или эквивалентная излучаемая мощность (ЭИМ), которые в общем случае учитывают потери в фидере и усиление антенны.

Существенным фактором в теории формирования любых зон покрытия радиосигналом выступает качество и устойчивость связи, которые являлись вероятностными параметрами. Естественная для обеспечения электромагнитной безопасности попытка уменьшить ЭИИМ передатчика (минимизировать излучение) приводит к соответствующему снижению уровня сигнала в зоне обслуживания, что снижает качество связи или уменьшает зоны обслуживания при заданном качестве связи.

Вопросы минимизации ЭИИМ без потери качества связи

должны при необходимости рассматриваться индивидуально для каждой базовой станции и каждой точки установки излучающего фрагмента, поскольку их место в сети всегда сопровождается реальными топологическими характеристиками, особенностями застройки и социальным назначением близко расположенных объектов. Эти материалы необходимо вносить в проектную документацию.

Надо помнить всегда, что зоны обслуживания обеспечиваются мощностью, а цена уменьшения мощности — это потери качества и устойчивости связи или сокращение зон обслуживания и увеличение количества базовых станций.

5. Кроме топологических, частотных и энергетических характеристик каждый предельный уровень ЭМП имеет временные интервалы и назначения — это время экспозиции и время усреднения значений уровня поля. Эти, несущественные, на первый взгляд, условия имеют определяющее значение для формирования предельного уровня.

К сотовым технологиям предъявляются весьма жесткие требования по энергопотреблению, и оборудование включается на передачу только на момент выполнения своих функциональных назначений. Широкое внедрение адаптивных технологий ММО вообще предполагает работу базовой станции с каждым абонентом в отдельности, предоставляя ему свой пространственно-временной канал. Пользователь будет находиться под воздействием ЭМП, формируемых для него характеристикой направленности, только в момент сеанса связи.

Также некорректно использовать предельные уровни, которые устанавливались для условий круглосуточной экспозиции человека, например, в местах массового пребывания людей (торгово-развлекательные центры, стадионы и прочее), где никто не собирается круглосуточно проводить время.

6. В практике санитарно-гигиенической экспертизы нарастают ситуации, при которых на ограниченных территориях сосредоточено десятки и даже сотни излучающих фрагментов различных уровней сетевой иерархии, имеющих все признаки ПРТО. Электромагнитная обстановка в таких случаях будет представлять собой сложнейшую суперпозицию полей, отличающихся как частотными свойствами, так и пространственно-временной структурой. В случае обоснования и принятия для частотных диапазонов современных сетевых технологий двух и более предельных уровней, анализ электромагнитной обстановки будет необходимо выполнять по критериям для смешанного облучения, что дополнительно осложняет, увеличивает трудоемкость процессов мониторинга.

Можно предложить различные научно-технические и организационные пути выхода из сложившейся ситуации, но все они должны начинаться с информационного, структурного, функционального и параметрического анализа проблемы электромагнитной безопасности современных сетевых технологий. Одним из этапов структурного анализа может стать классификация излучающих фрагментов сетевых технологий по критериям номинальной мощности передатчиков и условиям их размещения. Как видно из таблицы 2, мощность сетевых фрагментов может изменяться в широких пределах — от 0,001 до 50 Вт, их классификация позволит часть таких фрагментов вывести из-под обязательного контроля, как это сделано, например, в диапазоне высоких частот, но осуществлять их учет в рамках общих энер-

Таблица 2 / Table 2

Энергетические параметры различных фрагментов сетей
Energy parameters of various network fragments

Тип соты	Мощность (Вт)	Радиус зоны	Размещение
Фемтосота	0,001 ... 0,25	10 ... 100 м	помещение
Пикосота	0,25 ... 1	100 ... 200 м	помещение/ территория
Микросота	1 ... 10	0,2 ... 2 км	помещение/ территория
Макросота	10 ... 50	8 ... 30 км	территория

гетических оценок.

7. Происшедшие в телекоммуникационной инфраструктуре коренные эволюционные изменения в острой форме актуализировали и выявили совершенно новые неожиданные проблемы защиты населения от технологических ЭМП. Одна из них — это особая восприимчивость к полям детского организма. Предельные уровни, которые устанавливаются для населения в России, предполагают, что их действие распространяется на все возрастные группы, независимо от гендерных признаков, состояния здоровья и положения, восприимчивости и прочее. Отсутствие акцентов на охват нормами всего населения привел к всплеску социальной напряженности и спекуляциям на ситуациях, когда под удовлетворяющее нормам для населения обучение попадают дети.

По сути, ссылаясь на здоровье детей, кроме как демонтаж оборудования никто не предлагает два других простых и очевидных конструктивных выхода из этой ситуации. Первый, это разработка «детского предельного уровня» и требований его выполнения на территориях социальных объектов, а второй, четко прописанные в нормативно-методической документации ограничения и регламентации на топологию размещения и характеристики излучающих фрагментов такие, как расстояние до объекта, высота подвеса антенны, ограничение ЭИИМ, пространственная блокировка секторов излучения.

В отношении же абонентских устройств, очевидно необходима разработка системы требований под общим названием «Электромагнитная гигиена», что полностью исключит в дальнейшем смешение структурно разнородных проблем, связанных с наличием на селитебной территории базового оборудования и гаджетов.

8. Функции геолокации абонентских устройств, определения зон обслуживания по заданному уровню полей, обработка и архивирование этих данных заложены в сети последних поколений. Современные сети позволяют оперативно не только наблюдать в режимах реального времени за эмиссией ЭМП своих источников (самодиагностика сетей), но и обрабатывать архивированные числовые массивы полей, осуществлять всевозможные выборки и усреднения, а также оценивать поля по любым критериям, представлять результаты в удобном для анализа виде, контролировать и управлять источниками излучений. Такой подход обеспечивает согласованное взаимодействие гигиенической науки с расширяющимся внедрением передовых технологий.

Организационно-методические аспекты нормирования в контексте конвергенции технологий. Чрезвычайные события последнего времени ярко продемонстрировали возможности и результаты глубокого проникновения сетевых технологий в мониторинг окружающей среды, в котором осуществляется наблюдение, анализ, и управление за санитарно-гигиенической обстановкой. Создание в России подобной системы оперативного мониторинга ЭМП в окружающей среде позволит, во-первых, государству и операторам сэкономить огромные средства. Во-вторых, санитарно-гигиеническую практику наделить уникальным инструментом контроля и управления эмиссией ЭМП сетевых технологий. В-третьих, обеспечить широкие возможности предоставления достоверной и важной в настоящее время оперативной и наглядной информации о безопасности современных беспроводных технологий населению.

Системный анализ проблемы защиты населения от ЭМП сетевых технологий позволил сформулировать и обосновать представленные выше положения, которые систематизируют и конкретизируют направления научно-исследовательских и организационных мероприятий по устранению противоречий, порожденных коренными изменениями и конвергенцией телекоммуникационных технологий.

Заключение. Назревшие преобразования в санитарно-гигиеническом нормировании и контроле ЭМП, создаваемых в окружающей среде современными беспроводными технологиями, порождены стремительной эволюцией телекоммуникационных систем. А их масштабность во многом определяется возможностями и глубиной конвергенции современных технологий.

Основой для решения практически всех проблем электромагнитной безопасности населения может быть перенос субъективных методов и средств мониторинга и санитарно-гигиенического контроля ЭМП в область IT-технологий, в рамках которых целесообразна организация эффективной защиты и информирования населения, а также управления электромагнитной обстановкой, создаваемой современными высокотехнологичными системами.

Задача настоящей статьи привлечение широкой научной общественности, занятой в предметной области электромагнитной безопасности, к существующим актуальным проблемам в их совокупности. Современное состояние технологий не позволяет трактовать эту область знания как набор самостоятельных аспектов — гигиенического, технического, организационного. Конвергенция технологий привела к необходимости взаимодействия и поиска компромиссов специалистами различного профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров И.Р. ред. Влияние СВЧ-излучений на организм человека и животных. М.: Медицина; 1970.
2. МР 2.1.10.0061-12. Оценка риска для здоровья населения при воздействии переменных электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населенных мест: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2013.
3. Сподобаев Ю.М. Актуализация подходов к нормированию электромагнитных полей, создаваемых сетевыми технологиями пятого поколения. *Электросвязь*. 2019; 6: 14-18.
4. ICNIRP guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Published ahead of print in: Health physics. ICNIRP publication; 2020. <https://www.icnirp.org/en/activities/news/news-article/rf-guidelines-2020-published.html>.
5. Сподобаев Ю.М. Электромагнитная безопасность современных беспроводных технологий: документы ICNIRP. *Электросвязь* 2020; 4: 21-24.
1. I.R. Petrov ed. *The effect of microwave radiation on the human body and animals*. M.: Medicine. 1970. (in Russian).
2. MR 2.1.10.0061-12. *Health risk assessment under the influence of alternating electromagnetic fields (up to 300 GHz) in populated areas: Methodological recommendations*. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор; 2013 (in Russian).
3. Spodobaev Yu.M. Updating approaches to the regulation of the electromagnetic fields created by 5G network technologies. *Elektrosvyaz'*. 2019; 6: 14-8 (in Russian).
4. ICNIRP guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Published ahead of print in: Health physics. ICNIRP publication, 2020. <https://www.icnirp.org/en/activities/news/news-article/rf-guidelines-2020-published.html>.
5. Spodobaev Yu.M. Electromagnetic security of modern wireless technologies: ICNIRP documents. *Elektrosvyaz'*. 2020; 4: 21-4 (in Russian).