

АЛГОРИТМЫ, МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭКСПОЗИЦИИ ФАКТОРОВ РИСКА

УДК 504.6: 614

DOI: 10.21668/health.risk/2017.3.03

К ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ (300 ГГЦ – 300 МГЦ) В КРУПНОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ЦЕНТРЕ НА БАЗЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

И.В. Май¹, С.Ю. Балашов¹, С.А. Вековшинина¹, М.А. Кудря²

¹Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

²Центр санитарии и эпидемиологии, Россия, 129115, г. Москва, ул. Академика Королева, 13, стр. 1

Рассматриваются вопросы моделирования уровней электромагнитных полей (ЭМП) с частотой 300 ГГц – 300 МГц, создаваемых источниками телерадиопередающих объектов, радиолокации и сотовой связи в крупном краевом центре, в среде геоинформационной системы. Ставилась задача оценки уровней ЭМП в зонах жилой застройки и уровней потоков энергии на разных этажах зданий, зонирования территории города по уровням ЭМП и верификации полученных результатов прямыми измерениями фактора. В расчеты включены данные о 2011 источниках ЭМИ, расположенных на территории города. Учтены объемные параметры 31 949 зданий, в том числе маркированы 17 307 жилых и 3160 административных зданий, 307 дошкольных и 105 школьных общеобразовательных учреждений. Расчеты проводили в городской системе координат в 109 тысячах точек. Каждый расчет формировал картину распространения ЭМП в плоскости на заданной высоте, что позволяло установить уровень экспозиции в контрольной точке по результатам «резца» и построить 3D-модель загрязнения. Порядка 80 % всех расчетов характеризовались параметрами ЭМП в диапазоне 0,1–10 КБ (критерий безопасности). Выделены зоны максимальных расчетных уровней ЭМП на высотах 18–25 метров. В этих зонах инструментальными исследованиями доказаны высокие уровни фактора, в том числе с кратностью превышения допустимых уровней до 4–6 раз, что требует настороженности относительно безопасности среды обитания для лиц, постоянно проживающих на исследованной территории. Полученные данные предназначены для обоснования точек инструментальных измерений в рамках специальных исследований или социально-гигиенического мониторинга, а также для последующей оценки экспозиции и риска для здоровья. В рамках эпидемиологических исследований материалы могут быть использованы для сопряженного пространственного анализа уровней потока энергии и заболеваемости взрослых и детей.

Ключевые слова: электромагнитное поле, фактор риска для здоровья, пространственное моделирование.

Интенсивное развитие современных технологий, основанных на свойствах электромагнитных волн, диктует необходимость совершенствования методов гигиенической оценки состояния среды обитания человека [4, 6, 10]. Базовые станции подвижной связи, ведомственная связь (скорая помощь, пожарные, МЧС и пр.), частотно-модулированное телерадиовещание, радиорелейные системы, трассовые обзорные радио-

локаторы, предназначенные для контроля воздушной обстановки, а также иные источники излучений обеспечивают потребности промышленности и населения во все возрастающих объемах, заменяя иные виды процессов и устройств. Уровни электромагнитных полей (ЭМП) искусственного происхождения становятся значимым экологическим фактором с высокой биологической активностью. В сфере радио- и телевеща-

© Май И.В., Балашов С.Ю., Вековшинина С.А., Кудря М.А., 2017

Май Ирина Владиславовна – доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе (e-mail: may@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-47).

Балашов Станислав Юрьевич – заведующий лабораторией методов комплексного санитарно-гигиенического анализа и экспертиз (e-mail: stas@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

Вековшинина Светлана Анатольевна – заведующий лабораторией методов оценки соответствия и потребительских экспертиз (e-mail: veksa@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

Кудря Михаил Александрович – директор (тел.: 8 (495) 643-24-29).

ния, беспроводной связи и т.п. направленно разрабатываются технологии и средства для максимально плотного «радиопокрытия» территории постоянного проживания населения. Наличие среди участников телекоммуникационного бизнеса борьбы за рынок сбыта услуг ведет к многократному наложению электромагнитных полей, создаваемых конкурирующими компаниями.

Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в 1995 г. официально введен термин «глобальное электромагнитное загрязнение окружающей среды», тем самым включившей проблему электромагнитного загрязнения в перечень приоритетных для человечества. ВОЗ реализует Международный электромагнитный проект (WHO International EMF Project), что подчеркивает актуальность и значение, придаваемое международной общественностью этой теме.

Исследования уровней электромагнитных полей (ЭМП), в том числе в контексте оценки экспозиции населения, выполнялись в рамках отдельных научных проектов [1, 7, 12, 15, 16] или комплексных программ, таких, к примеру, как европейская научная программа COST244bis [18]. Ряд авторов рассматривают электромагнитные поля как факторы риска развития злокачественных новообразований [3, 12]. Имеются данные о влиянии электромагнитных излучений в диапазоне радиочастот на формирование неканцерогенных рисков нарушения здоровья населения [11, 13–15, 23, 24]. Встречаются публикации, свидетельствующие о недоказанности некоторых эффектов для здоровья [21]. Однако все исследования в целом подтверждают актуальность изучения воздействия ЭМП на организм человека. В любом случае документы ВОЗ и других международных организаций требуют при оценках безопасности объектов неионизирующего излучения придерживаться принципов предосторожности [17, 22, 25–28]. Это тем важней, что, по мнению многих авторов, в стране имеет место недооценка опасности ЭМП для здоровья, отсутствует системный мониторинг фактора и средства индивидуальной дозиметрии ЭМП.

Следует отметить, что крайне мало исследований при организации и проведении измерений ЭМП уделяется оценке экспозиции как меры контакта фактора с человеком. Сложность корректной оценки экспозиции отмечается многими исследователями. Например, данные, собранные в разных странах в рамках программы COST244bis об уровнях ЭМП в зонах расположения базовых станций сотовой связи,

находились в диапазоне от 0,000001 до 48 мВт/м². В серии исследований, проведенных на территории Германии, Франции, Швейцарии, также получены данные, отличающиеся друг от друга на несколько порядков: при средних значениях ЭМП на уровне 0,027–0,09 мВт/м² максимум составлял 3,5 мВт/м² [19, 28]. В работах отечественных исследователей приведены данные о том, что плотность потока энергии от базовых станций составляет от 0,1 до 5 мкВт/см². Значительный разброс результатов измерений свидетельствует о необходимости поиска унифицированных подходов к формированию программ наблюдений, методов и протоколов измерений.

В отчете научного комитета по электромагнитным полям Швеции (SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2016), содержащем наиболее актуальный на текущий момент мета-анализ результатов исследований в системе «электромагнитные поля – здоровье населения», отмечается необходимость общего повышения качества и доказательности эпидемиологических исследований [19].

Последнее особенно важно при проведении санитарно-гигиенических оценок, исследований, расследований, экспертиз в условиях городских поселений. Это объясняется тем, что, по данным ряда авторов, проблема электромагнитного загрязнения усугубляется сложным взаимодействием электромагнитного поля с объектами городской среды (отражением, дифракцией волн), разнонаправленностью антенн, вертикальной изменчивостью поля и т.п. [8–11]. Именно гигиеническая оценка должна лежать в основе планирования и застройки городов высотными зданиями, в том числе предназначанными для постоянного проживания [2]. Актуальным является также совершенствование методов анализа и прогноза санитарно-гигиенической ситуации при выборе мест размещения новых источников излучения (например, базовых станций сотовой связи), установления или снятия ограничений по высотности застройки вблизи передающих радиотехнических объектов (ПРТО) и оптимизации системы точек контроля уровней электромагнитных полей [5]. При этом оптимальным представляется сочетание расчетных методов и прямых измерений, что позволяет при снижении затрат на натурные исследования иметь инструмент для масштабных оценок и ситуационного моделирования [2].

Важность и актуальность разработки методических подходов к построению динамиче-

ских 3D-карт электромагнитного загрязнения территорий для задач градостроительного планирования, оптимизации социально-гигиенического мониторинга, последующих гигиенических оценок определили цель и задачи настоящего исследования [2, 5].

Цель исследования состояла в разработке и верификации инструментальными методами динамической трехмерной векторной карты электромагнитных полей крупного промышленного центра в сопряжении с тематической пространственной информацией о местах постоянного проживания населения.

Были поставлены задачи: инвентаризации основных источников ЭМИ, расположенных на территории города, определения их характеристик, расчета ЭМП на всей территории города на 22 разных высотах от 2 до 75 м над уровнем основания источника, критериальной оценки полученных результатов, зонирования территории города по уровням ЭМП и верификации полученных результатов прямыми измерениями фактора.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись территория и население г. Перми – крупного промышленного центра Западного Урала. Общая площадь поселения – 720 км², население порядка 1 млн человек. Для территориальной привязки использовали векторную карту города в среде геоинформационной системы ArcGIS, версия 9,3 (общая площадь расчетного прямоугольника 1,085 тыс. км²).

Обработку собранных первичных данных осуществляли как в общепринятых программах, например Microsoft Excel, с последующей возможностью передачи данных в программные средства для расчетов уровней ЭМП.

В расчетах учтены объемные параметры 31 949 зданий, в том числе маркованы 17 307 жилых и 3160 административных зданий, 307 дошкольных и 105 школьных общеобразовательных учреждений. Данные о 2011 источниках ЭМИ по г. Перми предоставлены ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае». В базу данных вошли объекты телекоммуникационной деятельности и оборудования, которые являются причиной насыщения окружающей среды электромагнитной энергией в различных диапазонах:

– 30...300 МГц (10...1 м) – подвижная связь, частотно-модулированное радиовещание (УКВ), телевизионное вещание, скорая помощь;

– 0,3...3 ГГц (100... 10 см) – радиорелейные линии, подвижная связь, радиолокация, радионавигация, телевизионное вещание;

– 3...30 ГГц (10...1 см) – радиолокация, спутниковая связь, подвижная связь, метеорологические локаторы, радиорелейные линии;

– 30...300 ГГц (10...1 мм) – радиолокация, спутниковая связь, радиорелейные линии, радионавигация.

Базовые станции сотовой связи излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 463 до 2200 Гц. Учитывали, что антенны базовых станций устанавливаются на высоте 15–100 метров от поверхности земли на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях, дымовых трубах промышленных предприятий и т. д.) или на специально сооруженных мачтах.

В качестве основы для выполнения оценки существующего уровня воздействия ЭМП был использован специализированный программный продукт ПК АЭМО 4.0, МУК 4.3.1167-02 «Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц» и МУК 4.3.1677-03 «Определение уровней электромагнитного поля, создаваемого излучающими техническими средствами телевидения, ЧМ радиовещания и базовых станций сухопутной подвижной радиосвязи».

Расчеты проводили в городской системе координат в 109 тысячах точек. Каждый расчет формировал картину распространения ЭМП в плоскости на заданной высоте, что позволяло установить уровень экспозиции в контрольной точке по результатам «среза» и построить 3D-модель загрязнения.

В качестве критерии допустимого уровня ЭМП рассматривали гигиенические нормативы, установленные в СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» и СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи». В соответствии с указанными СанПиН в диапазоне 30 МГц – 300 ГГц предельно допустимые уровни для населения составляют 10 мкВт/см².

Инструментальные исследования, верифицирующие расчеты, были выполнены лабораторно-испытательным центром ООО «Центр санитарии и эпидемиологии», г. Москва (аттестат аккредитации № RA.RU.21ЦСО1 от 29.01.2016 г.). Плотность потока энергии измеряли в соответствии с МУК 4.3.1.67-02 «Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работаю-

щих в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц» измерителем уровней электромагнитных излучений ПЗ-41. В течение года выполнено 80 измерений на разных высотах в жилых и общественных зданиях в зонах наибольшей расчетной плотности потоков энергии.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что внешнешредовую нагрузку в краевом центре формирует 2011 источников телекоммуникационной деятельности и оборудования, которые являются причиной насыщения окружающей среды электромагнитной энергией в различных диапазонах. Сформирована база данных об источниках электромагнитного излучения, в которую включены:

– 1666 базовых станций подвижной связи с мощностью передатчиков от 10 до 20 Вт, которые расположены равномерно по всей территории города, излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 400 до 3000 Гц, установлены на высоте 15–100 метров от поверхности земли на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях, дымовых трубах промышленных предприятий и т.д.) или на специальных мачтах;

– 248 единиц радиорелейных линий связи, образованных цепочками ретрансляционных радиостанций;

– 95 антенн, составляющих антенные поля трех передающих радиоцентров различной ведомственной принадлежности;

– 2 трассовых обзорных радиолокатора с мощностью передатчиков 4100 Вт, работающих на частоте 3000 МГц, и иные источники излучения.

Источники на территории города расположены неравномерно. Наибольшее число источников ПРТО расположено в центральной части города на участках повышения рельефа. Практически все источники размещены непосредственно в селитебных зонах или максимально приближены к ним.

По результатам проведения всего спектра расчетов уровней ЭМП на высотах от 2 до 70 метров был получен массив расчетных точек в границах расчетного параллелепипеда с результатами расчетов уровней ЭМП на каждой отдельно взятой высоте. В результате сопряжения полученных результатов с векторными слоями зданий и сооружений с учетом высотности застройки была получена трехмерная картина распределения воздействия, фрагмент которой представлен на рис. 1.

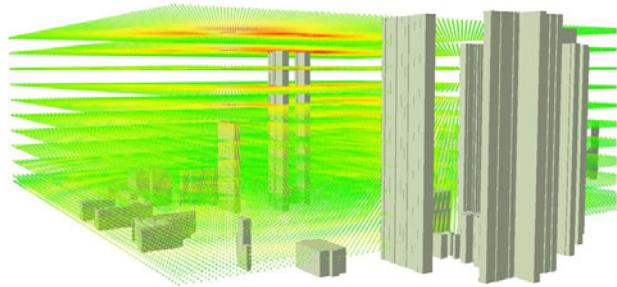


Рис. 1. Пример трехмерной визуализации уровня ЭМП (высоты от 3 до 35 м над уровнем земли)

Расчеты и последующее картографирование ЭМП на территории города показали отсутствие превышений ПДУ в городской черте.

Наибольший ожидаемый уровень ЭМП в исследованном диапазоне составил 15,2 КБ в зоне размещения радиолокатора аэропорта, осуществляющего связь воздушно-транспортных средств с диспетчерской. Объект находится в нескольких километрах за чертой города на территории Пермского района. В настоящее время в зоне с ненормативным уровнем ЭМП расположена жилая застройка и даны рекомендации для генерального плана города.

Порядка 80 % всех расчетных точек характеризовались параметрами ЭМП в диапазоне 1–10 КБ. Максимальные значения находились в диапазоне 4,0–5,5 КБ и были установлены на высотах 4–7-х этажей в разных зонах города (рис. 2).

С увеличением высоты расчетные значения ЭМП в целом по городу возрастили, достигая максимума на уровнях 9–18 м, затем постепенно снижались, продолжая оставаться более высокими, чем в приземном слое.

Площадь территории с уровнем 1–10 КБ в пределах расчетного прямоугольника на высоте 3 м (первые этажи зданий) составляла 5,86 км², на высотах 12 м (2–4-е этажи зданий) – 20,9 км², на высоте 30 (9–11-е этажи зданий) – 13,6 км², на высотах 48 м – порядка 14,5 км².

В зонах, характеризующихся плотностью потока энергии от 1 до 10 КБ, где были выполнены и инструментальные исследования, расположены около 1000 домов, в которых на текущий момент проживает около 145 тысяч человек. Количество жителей, постоянно проживающих в зонах наибольшего расчетного электромагнитного загрязнения исследованного диапазона (более 3 КБ), составляет порядка 15 тысяч человек. Здесь же расположен ряд детских дошкольных и школьных учреждений (рис. 3).

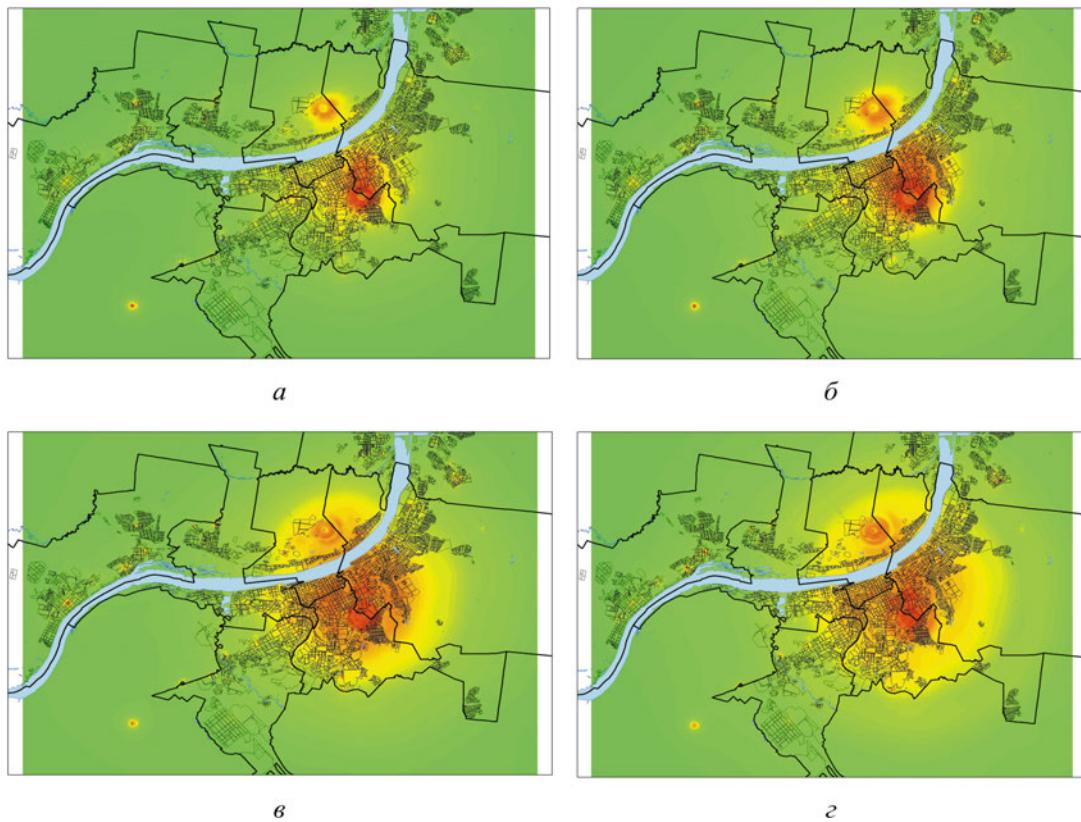


Рис. 2. Уровень электромагнитного поля на территории г. Перми на разных высотах от поверхности земли: *a* – 3 м; *б* – 6 м; *в* – 18 м; *г* – 30 м

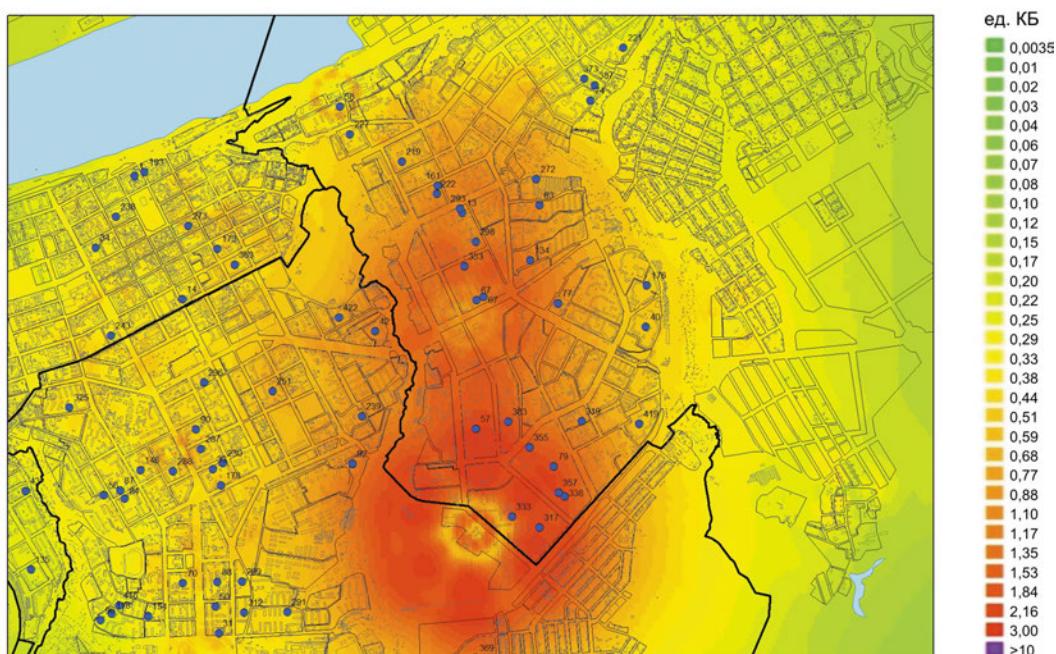


Рис. 3. Уровень ЭМП в центральной части города и расположенные в зонах влияния ПРТО детские дошкольные учреждения (обозначены синим цветом)

Показатели интенсивности ЭМП на разных этажах жилых зданий в центральной части г. Перми в зоне повышенных расчетных величин КБ

Показатель	Точки проведения измерений				
	Придомовая территория	1–2-е этажи (3–6 м)	3–5-е этажи (9–15 м)	6–9-е этажи (18–27 м)	10–14-е этажи (30–42 м)
Средний уровень ППЭ, мкВт/см ²	0,91	0,96	1,58	4,21	1,30
Неопределенность «-» U-	0,45	0,47	0,78	2,07	0,64
Неопределенность «+» U+	0,77	0,82	1,35	3,59	1,11
$\Sigma (E/PDU)^2$	0,04	0,16	0,07	0,13	0,09
КБ _{ср}	0,20	0,34	0,35	0,87	0,32
Максимальный уровень, ППЭ, мкВт/см ²	1,64	2,56	12,73	31,29	4,21
Неопределенность «-» U-	0,81	1,26	6,25	15,37	2,07
Неопределенность «+» U+	1,39	2,18	10,85	26,68	3,59
$\Sigma (E/PDU)^2$	0,01	0,57	–	–	0,25
КБ _{max}	0,31	1,05	2,36	5,80	1,03

Инструментальные измерения показали довольно высокую сходимость с расчетными показателями. Уровни ЭМП по данным натурных исследований в «красно-оранжевой зоне», для которой по результатам моделирования ситуации расчетами был определен уровень ЭМП от 0,3 до 3,0 КБ, характеризовались средней измеренной величиной ППЭ на уровне 0,52 мкВт/см².

Полностью нашел подтверждение факт изменения плотности потока энергии по высотам. Для Перми «критическими» на исследованном участке явились высоты 18–25 м над основанием здания (таблица). Именно на этих высотах были зафиксированы наиболее высокие уровни ЭМП (таблица).

В силу того что исследования заведомо выполнялись в местах потенциально наибольших уровней ЭМП, инструментальными исследованиями был выявлен ряд превышений критерия безопасности. В 9 из 80 проб критерий безопасности был выше 1,0, кратность превышения составила почти 6 раз. Максимальный уровень плотности потока энергии (31,29 мкВт/см²) с учетом неопределенности «+» U+ (26,68 мкВт/см²), что составило 5,8 КБ, был зафиксирован на высоте порядка 18 метров. В этом же жилом доме, на верхнем, 5-м, этаже при следующем замере зарегистрирован показатель 2,35 КБ при максимальном уровне плотности потока энергии 12,73 мкВт/см², с учетом неопределенности «+» U+ – 10,85 мкВт/см². Повторные нарушения гигиенических нормативов свидетельствуют об актуальности системного мониторинга уровней ЭМП, оценки рисков для здоровья жителей и обоснования последующих решений по минимизации рисков.

Выводы. В целом проведенные исследования позволили сделать вывод об адекватности общей оценки ситуации на основе расчетных методов в среде геоинформационной системы. Базисом и основным условиям качественной оценки является формирование максимально полной и корректной базы данных об источниках электромагнитного загрязнения города и их геокодирование с применением векторной карты территории.

В проведенном исследовании установлено, что наибольшие уровни электромагнитного загрязнения на исследованной территории краевого центра формируются на уровнях 18–25 метров над основанием зданий, что определяется спецификой размещения излучающих и принимающих антенн.

В зонах наибольшей расчетной плотности потока энергии на высотах 18–25 метров регистрируются превышения допустимых уровней ЭМП с кратностью до 4–6 раз, что требует настороженности относительно безопасности среды обитания для лиц, постоянно проживающих на исследованной территории.

Полученные данные предназначены для обоснования точек инструментальных измерений в рамках специальных исследований или социально-гигиенического мониторинга, а также для последующей оценки экспозиции и риска для здоровья. В рамках эпидемиологических исследований материалы могут быть использованы для сопряженного пространственного анализа уровней потока энергии и заболеваемости взрослых и детей болезнями, доказанно или вероятно ассоциированными с электромагнитным излучением (лейкозы, менингиомы, болезни крови и т.п.).

Список литературы

1. Агеева А.А. Исследование электромагнитной обстановки от передающих объектов в г. Владивостоке с использованием геоинформационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – Т. 122, № 9. – С. 244–246.
2. Балашов С.Ю., Бухаринов А.А. К проблеме риска для здоровья населения г. Перми в результате воздействия уровней ЭМИ // Экология города. – 2015. – С. 22–24.
3. Григорьев Ю.Г. Решение Международного агентства исследования рака (IARC): ЭМП мобильных телефонов как возможные канцерогены для рака мозга // Технологии живых систем. – 2011. – Т. 8, № 8. – С. 48–55.
4. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье. Электромагнитная обстановка. Радиобиологические и гигиенические проблемы. Прогноз опасности: монография. – М.: Экономика, 2016. – 576 с.
5. К обоснованию точек контроля уровней электромагнитного излучения от передающих радиотехнических объектов для формирования программ социально-гигиенического мониторинга / И.В. Май, С.Ю. Балашов, С.А. Вековшинина, С.В. Клейн // Актуальные вопросы организации контроля и надзора за физическими факторами: материалы Всероссийской научно-практической конференции / под ред. д-ра мед. наук, проф. А.Ю. Поповой. – М., 2017. – С. 239–242.
6. Мобильная связь и здоровье детей: проблема третьего тысячелетия / Ю.Г. Григорьев, А.С. Самойлов, А.Ю. Бушманов, Н.И. Хорсева // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2017. – Т. 62, № 2. – С. 39–46.
7. Мовчан В.Н., Шмаков И.А. О влиянии базовых станций сотовой связи на экологическую ситуацию в крупном городе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 5–3. – С. 426–428.
8. Потапов А.А. Экологический мониторинг электромагнитных полей радиочастотного диапазона в условиях города с применением ГИС-технологий // Экология урбанизированных территорий. – 2010. – № 3. – С. 20–29.
9. Розенберг Г.С., Лифиренко Н.Г., Костина Н.В. Воздействие электромагнитного загрязнения на здоровье населения (на примере города Тольятти) // Экология урбанизированных территорий. – 2007. – № 4. – С. 21–24.
10. Тягунов Д.С. Техногенное электромагнитное поле как экологический фактор // Экология урбанизированных территорий. – 2011. – № 2. – С. 45–50.
11. Чеховский А.В., Анисимов Н.К., Маршалович А.С. Воздействие электромагнитных полей в городской урбосистеме и их негативное влияние на здоровье горожан [Электронный ресурс] // Строительство: наука и образование. – 2013. – № 2. – С. 5. – URL: <http://www.nso-journal.ru> (дата обращения: 21.09.2017).
12. A case-control study on the association between environmental factors and the occurrence of acute leukemia among children in Klang Valley, Malaysia. Asian / H.I. Abdul Rahman, S.A. Shah, H. Alias, H.M. Ibrahim // Pac. J. Cancer. Prev. – 2008. – № 9. – P. 649–652.
13. Actual and perceived exposure to electromagnetic fields and non-specific physical symptoms: an epidemiological study based on self-reported data and electronic medical records / C. Balaitsas, J. Bolte, J. Yzermans, G. Kelfkens, M. Hooiveld, E. Lebret, I. Van Kamp // Int. J. Hyg. Environ. Health. – 2015. – Vol. 218. – P. 331–344.
14. Effect of Short-Term Mobile Phone Base Station Exposure on Cognitive Performance, Body Temperature, Heart Rate and Blood Pressure of Malaysians / F. Malek, K.A. Rani, H.A. Rahim, M.H. Omar // Sci. Rep. – 2015. – Vol. 5. – P. 13206.
15. Feasibility of a cohort study on health risks caused by occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields / J. Breckenkamp, G. Berg-Berckhoff, E. Munster, J. Schuz, B. Schlehofer, J. Wahrendorf, M. Blettner // Environ. Health. – 2009. – Vol. 29. – P. 8–23.
16. Impact of input data uncertainty on environmental exposure assessment models: A case study for electromagnetic field modeling from mobile phone base stations / J. Beekhuizen, G.B. Heuvelink, A. Huss, A. Burgi, H. Kromhout, R. Vermeulen // Environ. Res. – 2014. – Vol. 135. – P. 148–155.
17. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz: IEEE Std C95.1, 2005. – New York, 2006. – 250 p.
18. Mobile Telecommunication Base Stations – Exposure to Electromagnetic Fields, Report of a short Term Mission within COST 244 bis / U. Bergqvist, G. Friedrich, Y. Hamnerius, L. Martens, G. Neubauer, G. Thuroczy, E. Vogel, J. Wiart. – 2001. – 77 p.
19. Recent Research on EMF and Health Risk: Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields: Research [Электронный ресурс]. – 2016. – 115 p. – URL: http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2016/SSM_Rapport_2016_15_webb_1.pdf (дата обращения: 21.09.2017).
20. Residential exposure to radiofrequency fields from mobile phone base stations and broadcast transmitters: a population-based survey with personal meter. Occup / J. Vielt, S. Clerc, C. Barrera, R. Rymzhanova, M. Moissonier, M. Hours, E. Cardis // Environ. Med. – 2009. – Vol. 66, № 8. – P. 550–556.
21. Stam R. Electromagnetic fields and the blood-brain barrier // Brain. Res. Rev. – 2010. – Vol. 65, № 1. – P. 80–97. DOI: 10.1016/j.brainresrev.2010.06.001

22. Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)" // Health Phys. – 2009. – Vol. 97, № 3. – P. 257–258. DOI: 10.1097/HP.0b013e3181aff9db.
23. The effects of 2100-MHz radiofrequency radiation on nasal mucosa and mucociliary clearance in rats / F. Aydogan, E. Aydin, G. Koca, E. Ozgur, P. Atilla, A. Tuzuner, I.S. Demirc, A. Tomruk, G.G. Ozturk, N. Seyhan, M. Korkmaz, S. Muftuoglu, E.E. Samim // Int. Forum Allergy. Rhinol. – 2015. – № 5. – P. 626–632.
24. The effects of electromagnetic fields on the number of ovarian primordial follicles: An experimental study / M. Bakacak, M.S. Bostanci, R. Attar, O.K. Yildirim, G. Yildirim, Z. Bakacak, H. Sayar, A. Han // Kaohsiung J. Med.Sci. – 2015. – Vol. 31. – P. 287–292.
25. Valberg P., van Deventer T.E., Repacholi M.H. Workgroup Report: Base Stations and Wireless Networks: Radiofrequency (RF) Exposures and Health Consequences // Environmental Health Perspectives. – 2007. – Vol. 115, № 3. – P. 416–424.
26. Van Deventer E., Foster K. Risk Assessment and Risk Communication for Electromagnetic Fields: A World Health Organization Perspective, chapter in book The Role of Evidence in Risk Characterization: Making Sense of Conflicting Data / P. Wiedemann and H. Schütz, eds. – WILEY-VCH, 2008. – P. 13–24.
27. Van Deventer E., van Rongen E., Saunders R. WHO Research Agenda for Radiofrequency Fields // Bioelectromagnetics. – 2011. – Vol. 32, № 5. – P. 417–421. DOI: 10.1002/bem.20660.
28. Van Deventer T.E., Simunic D., Repacholi M.H. EMF standards for human health // Biological and Medical Aspects of Electromagnetic Fields: Handbook / 3rd ed. In: F. Barnes, B. Greenebaum, eds. – 2007. – P. 314–329.

К оценке уровня электромагнитного поля (300 ГГц – 300 МГц) в крупном промышленном центре на базе 3d-моделирования и инструментальных измерений / И.В. Май, С.Ю. Балашов, С.А. Вековшинина, М.А. Кудря // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 3. – С. 21–30. DOI: 10.21668/health.risk/2017.3.03

UDC 504.6:614

DOI: 10.21668/health.risk/2017.3.03.eng

ON ASSESSING ELECTROMAGNETIC FIELD (300 KMHZ – 300MHz) IN A LARGE INDUSTRIAL CITY ON THE BASIS OF 3D MODELING AND INSTRUMENTAL MEASURING

I.V. May¹, S.Yu. Balashov¹, S.A. Vekovshinina¹, M.A. Kudrya²

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

²Sanitary and Epidemiology Center, 13, build. 1, Akademika Korolyova Str., Moscow 129115 Russian Federation

The article dwells on issues of modeling electromagnetic fields levels (EMF with frequency equal to 300 KMHz - 300 MHz which are created by television and radio broadcasting objects, radiolocation, and mobile communication in a large regional center, in geoinformation system environment. Our task was to estimate EMF levels on areas where apartment blocks were located; to assess energy flows at various floors, to determine zones in a city as per EMF levels; to verify the obtained results with the direct factor measuring. Our calculation included data on 2,011 EMF sources located on a city territory. We allowed for bulk parameters of 31,949 buildings including 17,307 apartment blocks, 3,160 administrative buildings, 307 pre-school children facilities and 105 secondary schools. We performed our calculations in city coordinate system at 109 thousand points. Each calculation created a picture of EMF spread in a plane at a set height which allowed us to determine exposure level at a control point as per "slice" results and to build up a 3D contamination model. Approximately 80% of all the calculated results had EMF parameters within 0.1-10 safety criterion range. We spotted zones with maximum calculated EMF levels at 18-25 meters. Instrumental research proved

© May I.V., Balashov S.Yu., Vekovshinina S.A., Kudrya M.A., 2017
Irina V. May – Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director for Research (e-mail: may@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-47).

Stanislav Yu. Balashov – Head of Laboratory for Complex Sanitary-hygienic analysis techniques and inspections (e-mail: stas@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04).

Svetlana A. Vekovshinina – Head of Laboratory for conformity assessment techniques and consumer inspections (e-mail: veksa@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04).

Mikhail A. Kudrya – Director (tel.: +7 (495) 643-24-29).

high factor levels in these zones including those where levels exceeded safety criterion 4-6 times; it makes for certain vigilance in judgments on environmental safety for people who live on the examined territory permanently. The obtained data can be used for foundation of instrumental research points within the frameworks of specific research or social-hygienic monitoring as well as for consequent exposure and health risk assessment. The materials can be used in epidemiologic research for conjugate spatial analysis of energy flows and children and adults mortality.

Key words: *electromagnetic field, health risk factor, spatial modeling.*

References

1. Ageeva A.A. Issledovanie elektromagnitnoi obstanovki ot peredayushchikh ob"ektov v g. Vladivostoke s ispol'zovaniem geoinformatsionnykh system [Investigation of the electromagnetic environment from passed object in vladivostok with the use of gis systems]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2011, vol. 122, no. 9, pp. 244–246 (in Russian).
2. Balashov S.Yu., Bukharinov A.A. K probleme riska dlya zdorov'ya naseleniya g. Permi v rezul'tate vozdeistviya urovnei EMI [On issues of population health risk in Perm caused by exposure to E-field radiation]. *Ekologiya goroda*, 2015, pp. 22–24 (in Russian).
3. Grigor'ev Yu.G. Reshenie mezhdunarodnogo agentstva issledovaniya raka (IARC): EMP mobil'nykh telefonov kak vozmozhnye kantserogeny dlya raka mozga [Decision of the international agency for research on the cancer (IARC): electromagnetic fields of mobile phones as possibly carcinogenic to cancer of brain]. *Tekhnologii zhivykh sistem*, 2011, vol. 8, no. 8, pp. 48–55 (in Russian).
4. Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev O.A. Sotovaya svyaz' i zdorov'e. Elektromagnitnaya obstanovka. Radiobiologicheskie i gigienicheskie problemy. Prognoz opasnosti: monografiya [Mobile communication and health. Electromagnetic situation. Radiobiological and hygienic problems. Danger forecast: a monograph]. Moscow, Ekonomika, Publ., 2016, 576 p. (in Russian).
5. May I.V., Balashov S.Yu., Vekovshinina S.A., Kleyn S.V. K obosnovaniyu tochek kontrolya urovnei elektromagnitnogo izlucheniya ot peredayushchikh radiotekhnicheskikh ob"ektov dlya formirovaniya programm sotsial'no-gigienicheskogo monitoringa [On foundation of points for control over electromagnetic radiation from broadcasting objects used in creation of social-hygienic monitoring programs]. *Aktual'nye voprosy organizatsii kontrolya i nadzora za fizicheskimi faktorami: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakt. konferentsii* [Vital issues of surveillance and control over physical factors: materials of Russian theoretical and practical conference]. In: A.Yu. Popova, ed. Moscow, 2017, pp. 239–242 (in Russian).
6. Grigor'ev Yu.G., Samoilov A.S., Bushmanov A.Yu., Khorseva N.I. Mobil'naya svyaz' i zdorov'e detei: problema tret'ego tysyacheletiya [Cellular Connection and the Health of Children - Problem of the Third Millennium]. *Meditinskaya radiobiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*, 2017, vol. 62, no. 2, pp. 39–46 (in Russian).
7. Movchan V.N., Shmakov I.A. O vliyanii bazovykh stantsii sotovoi svyazi na ekologicheskuyu situatsiyu v krupnom gorode [About the influence of the cellular base stations on the ecological situation in a large city]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanii*, 2016, no. 5-3, pp. 426–428 (in Russian).
8. Potapov A.A. Ekologicheskii monitoring elektromagnitnykh polei radiochastotnogo diapazona v usloviyakh goroda s primeneniem GIS-tehnologii [Environmental monitoring of radio frequency electromagnetic fields in an urban environment with the use of geospatial technologies]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2010, no. 3, pp. 20–29 (in Russian).
9. Rozenberg G.S., Lifirensko N.G., Kostina N.V. Vozdeistvie elektromagnitnogo zagryazneniya na zdorov'e naseleniya (na primere goroda Tol'yatti) [Urbanization and socium The influence of electromagnetic pollution upon the health of the citizens (at the example of the city of Togliatti)]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2007, no. 4, pp. 21–24.
10. Tyagunov D.S. Tekhnogennoe elektromagnitnoe pole kak ekologicheskii faktor [Anthropogenic electromagnetic field as an ecological factor]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2011, no. 2, pp. 45–50.
11. Chekhovskii A.V., Anisimov N.K., Marshalovich A.S. Vozdeistvie elektromagnitnykh polei v gorodskoi urbositeme i ikh negativnoe vliyanie na zdorov'e gorozhan [Exposure to electromagnetic waves in the urban environment and their negative influence on the health of urban residents]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*, 2013, no. 2, pp. 5. Available at: <http://www.nso-journal.ru> (21.09.2017).
12. Abdul Rahman H.I., Shah S.A., Alias H., Ibrahim H.M. A case-control study on the association between environmental factors and the occurrence of acute leukemia among children in Klang Valley, Malaysia. *Asian. Pac. J. Cancer. Prev.*, 2008, no. 9, pp. 649–652.
13. Baliatsas C., Bolte J., Yzermans J., Kelfkens G., Hooiveld M., E. Lebret, Van Kamp I. Actual and perceived exposure to electromagnetic fields and non-specific physical symptoms: an epidemiological study based on self-reported data and electronic medical records. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2015, vol. 218, pp. 331–344.

14. Malek F., Rani K.A., Rahim H.A., Omar M.H. Effect of Short-Term Mobile Phone Base Station Exposure on Cognitive Performance, Body Temperature, Heart Rate and Blood Pressure of Malaysians. *Sci. Rep.*, 2015, vol. 5, pp. 13206.
15. Breckenkamp J., Berg-Berckhoff G., Munster E., Schuz J., Schlehofer B., Wahrendorf J., Blettner M. Feasibility of a cohort study on health risks caused by occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields. *Environ. Health*, 2009, vol. 29, pp. 8–23.
16. Beekhuizen J., Heuvelink G.B., Huss A., Burgi A., Kromhout H., Vermeulen R. Impact of input data uncertainty on environmental exposure assessment models: A case study for electromagnetic field modeling from mobile phone base stations. *Environ. Res.*, 2014, vol. 135, pp. 148–155.
17. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz: IEEE Std C95.1, 2005. New York, 2006, 250 p.
18. Bergqvist U., Friedrich G., Hamnerius Y., Martens L., Neubauer G., Thuroczy G., Vogel E., Wiart J. Mobile Telecommunication Base Stations – Exposure to Electromagnetic Fields, Report of a short Term Mission within COST 244 bis. 2001, 77 p.
19. Recent Research on EMF and Health Risk: Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields: Research. 2016, 115 p. Available at: http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2016/SSM_Rapport_2016_15_webb_1.pdf (21.09.2017).
20. Vielt J., Clerc S., Barrera C., Rymzhanova R., Moissonier M., Hours M., Cardis E. Residential exposure to radiofrequency fields from mobile phone base stations and broadcast transmitters: a population-based survey with personal meter. *Occup. Environ. Med.*, 2009, vol. 66, no. 8, pp. 550–556.
21. Stam R. Electromagnetic fields and the blood-brain barrier. *Brain. Res. Rev.*, 2010, vol. 65, no. 1, pp. 80–97. DOI:10.1016/j.brainresrev.2010.06.001
22. Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)". *Health Phys.*, 2009, vol. 97, no. 3, pp. 257–258. DOI: 10.1097/HP.0b013e3181aff9db
23. Aydogan F., Aydin E., Koca G., Ozgur E., Atilla P., Tuzuner A., Demirc I.S., Tomruk A., Ozturk G.G., Seyhan N., Korkmaz M., Muftuoglu S., Samim E.E. The effects of 2100-MHz radiofrequency radiation on nasal mucosa and mucociliary clearance in rats. *Int. Forum. Allergy. Rhinol.*, 2015, no. 5, pp. 626–632.
24. Bakacak M., Bostanci M.S., Attar R., Yildirim O.K., Yildirim G., Bakacak Z., Sayar H., Han A. The effects of electromagnetic fields on the number of ovarian primordial follicles: An experimental study. *Kaohsiung J. Med. Sci.*, 2015, vol. 31, pp. 287–292.
25. Valberg P., van Deventer T.E., Repacholi M.H. Workgroup Report: Base Stations and Wireless Networks: Radiofrequency (RF) Exposures and Health Consequences. *Environmental Health Perspectives*, 2007, vol. 115, no. 3, pp. 416–424.
26. Van Deventer E., Foster K. Risk Assessment and Risk Communication for Electromagnetic Fields: A World Health Organization Perspective, chapter in book The Role of Evidence in Risk Characterization: Making Sense of Conflicting Data. In: P. Wiedemann and H. Schütz, eds. WILEY-VCH, 2008, pp. 13–24.
27. Van Deventer E., van Rongen E., Saunders R. WHO Research Agenda for Radiofrequency Fields. *Bioelectromagnetics*, 2011, vol. 32, no. 5, pp. 417–421. DOI: 10.1002/bem.20660
28. Van Deventer T.E., Simunic D., Repacholi M.H. EMF standards for human health. *Biological and Medical Aspects of Electromagnetic Fields: Handbook*; 3rd ed. In: F. Barnes, B. Greenebaum, eds. 2007, pp. 314–329.

May I.V., Balashov S.Yu., Vekovshinina S.A., Kudrya M.A. On assessing electromagnetic field (300 kmhz – 300mhz) in a large industrial city on the basis of 3d modeling and instrumental measuring. *Health Risk Analysis*, 2017, no. 3, pp. 21–30. DOI: 10.21668/health.risk/2017.3.03.eng

Получена: 08.06.2017

Принята: 16.08.2017

Опубликована: 30.09.2017