

© Никитина В.Н., Ляшко Г.Г., Калинина Н.И., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П., 2020
УДК 613.648.2

Современная метеорологическая радиолокация. Гигиенические аспекты контроля уровней электромагнитных полей на рабочих местах операторов и в окружающей среде

В.Н. Никитина, Г.Г. Ляшко, Н.И. Калинина, Е.Н. Дубровская, В.П. Плеханов

ФБУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора,
ул. 2-я Советская, д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме: *Введение.* Размещение метеорологических радиолокаторов вблизи населенных пунктов, на селитебных и приаэродромных территориях делает актуальным обеспечение электромагнитной безопасности населения при эксплуатации данных передающих радиотехнических объектов. Предельно допустимые уровни электромагнитных полей метеорологических радиолокаторов, разработанные в 80-е годы прошлого века, являются устаревшими. *Цель исследования.* Анализ современных систем метеорологических радиолокационных наблюдений для разработки предложений по совершенствованию контроля уровней электромагнитных полей, создаваемых метеорологическими радиолокаторами. *Материалы и методы.* Ознакомление с тенденциями развития метеорологической радиолокации, изучение технических характеристик современных метеорологических радиолокаторов аэрологического зондирования атмосферы и штормооповещения, анализ нормативно-методических документов по определению и гигиенической оценке уровней электромагнитных полей метеорологических радиолокаторов, проведение измерений электромагнитных полей от антенн метеорологических радиолокаторов на открытой территории и на рабочих местах операторов. *Результаты исследования.* Мы установили, что современные типы метеорологических радиолокаторов в системах аэрологического зондирования атмосферы и в сети штормового оповещения существенно отличаются по техническим характеристикам и режимам эксплуатации от метеорологических радиолокаторов предыдущих поколений. Разработанные в 80-е годы прошлого века гигиенические нормативы воздействия на население электромагнитных полей от антенн метеорологических радиолокационных станций устарели. *Выводы.* Необходима разработка нового нормативно-методического документа по расчетному прогнозированию и инструментальному контролю уровней электромагнитных полей, создаваемых метеорологическими радиолокаторами, и средств измерения для контроля импульсно-модулированных электромагнитных излучений.

Ключевые слова: метеорологическая радиолокация, электромагнитные поля, нормативные документы, контроль. **Для цитирования:** Никитина В.Н., Ляшко Г.Г., Калинина Н.И., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П. Современная метеорологическая радиолокация. Гигиенические аспекты контроля уровней электромагнитных полей на рабочих местах операторов и в окружающей среде // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 10 (331). С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-34-40>

Modern Weather Surveillance Radars: Hygienic Aspects of Monitoring Electromagnetic Fields at Operators' Workplaces and in the Environment

V.N. Nikitina, G.G. Lyashko, N.I. Kalinina, E.N. Dubrovskaya, V.P. Plekhanov

North-West Public Health Research Center, 4th Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary. *Introduction:* Location of weather surveillance radars near settlements, in residential areas and on airport premises makes it important to ensure safe levels of electromagnetic fields when operating these radio transmitters. Electromagnetic fields maximum permissible levels for weather radars developed in the 1980s are outdated. Our *objective* was to analyze modern weather surveillance radars to develop proposals for improvement of radar-generated radiofrequency field monitoring. *Materials and methods:* We studied trends in meteorological radiolocation and technical characteristics of modern weather radars for atmospheric sensing and weather alerts, analyzed regulations for electromagnetic fields measurements and hygienic assessment, and measured radiofrequency fields produced by weather radar antennas in open areas and at workplaces of operators. *Results:* We established that modern types of weather radars used in upper-air sensing systems and storm warning networks differ significantly in terms of technical characteristics and operating modes from previous generations. Developed in the 1980s, current hygienic standards for human exposures to radiofrequency fields from weather radar antennas are obsolete. *Conclusions:* It is essential to develop an up-to-date regulatory and method document specifying estimation and instrumental monitoring of electromagnetic fields levels generated by weather radars and measuring instruments for monitoring of pulse-modulated electromagnetic radiation.

Keywords: weather surveillance radar, electromagnetic fields, regulations, monitoring.

For citation: Nikitina VN, Lyashko GG, Kalinina NI, Dubrovskaya EN, Plekhanov VP. Modern weather surveillance radars: hygienic aspects of monitoring electromagnetic fields at operators' workplaces and in the environment. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; (10(331)):34–40. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-34-40>

Author information: Nikitina V.N., <https://orcid.org/0000-0001-8314-2044>; Lyashko G.G., <https://orcid.org/0000-0002-4832-769X>; Kalinina N.I., <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176>; Dubrovskaya E.N., <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X>; Plekhanov V.P., <http://orcid.org/0000-0002-8141-7179>.

Введение. Применение радиолокации в метеорологии основано на рассеянии радиоволн микроволнового диапазона частицами облаков и осадков. По функциональному назначению метеорологические радиолокаторы (МРЛ) разделяются на три класса. МРЛ первого класса предназначены для обнаружения зон облаков и осадков с целью штормового оповещения об опасных метеоявлениях. Метеорологические радиолокаторы второго класса используются для измерения количества и интенсивности атмосферных осадков, контроля за результатами активных воздействий на дождевые и грозовые облака. МРЛ третьего класса предназначены для

наблюдения за недождевой облачностью, ведут измерение ее границ, контроль за результатами активных воздействий на недождевые облака. Существуют метеорологические радиолокаторы, которые могут одновременно выполнять функции радиолокационных станций, относящихся к различным видам. Метеорологические радиолокаторы используются с целью получения метеорологической информации для Росгидромета, МЧС России, служб безопасности морского транспорта, служб управления движением и обеспечения безопасности полетов в авиации, а также для многих других пользователей этой информации. Правительством Российской

Федерации в 2008 году были приняты две федеральные целевые программы: «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации» и «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации». В рамках этих программ проводится модернизация сети Росгидромета и техническое переоснащение наблюдательной сети современными метеорологическими радиолокаторами. В настоящее время значительно расширился круг задач, которые решаются при помощи радиолокации: помимо традиционных направлений, связанных с изучением процессов, протекающих в облачных образованиях и системах, появилось направление по изучению безоблачной атмосферы, недоступной для исследования при помощи иных средств и методов. Расширение направлений, по которым развивается современная радиолокационная метеорология, стало возможным за счет значительного увеличения потенциала радиолокационных станций [1–6]. Метеорологические радиолокаторы часто размещаются вблизи населенных пунктов, на селитебных и приаэродромных территориях, что делает актуальным обеспечение электромагнитной безопасности населения при эксплуатации данных передающих радиотехнических объектов.

Цель исследования. Анализ современных систем метеорологических радиолокационных наблюдений для разработки предложений по совершенствованию контроля уровней электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых метеорологическими радиолокаторами.

Материалы и методы. Программа исследования включала следующие этапы:

– ознакомление с тенденциями развития метеорологической радиолокации сети и системы метеорологических радиолокационных наблюдений;

– изучение технических характеристик современных МРЛ и технологий аэрологического зондирования атмосферы и штормового оповещения;

– анализ нормативно-методических документов по определению и гигиенической оценке уровней электромагнитных полей метеорологических радиолокаторов^{1,2};

– проведение измерений ЭМП от антенн МРЛ на открытой территории и на рабочих местах операторов;

Для проведения измерения уровней электромагнитных полей были использованы следующие приборы: измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-42, измеритель электрического поля ИЭП-05, измерители магнитного поля ИЭП-05/1 и ИЭП-05/2, измеритель напряженности электростатического поля СТ-01. Все средства измерений были внесены в Федеральный информационный

фонд по обеспечению единства измерений и имели действующие свидетельства о поверке. В каждой точке измерения выполнены не менее трех раз. Определяющим являлось максимальное измеренное значение для каждого нормируемого параметра. Оценка результатов измерений проведена с учетом неопределенности измерений. Условия проведения измерений (температура и влажность воздуха) контролировались прибором «Метеометр МЭС-200А» и соответствовали требованиям эксплуатации средств измерений.

Результаты исследования. Установлено, что метеорологические радиолокационные сети включают аэрологическое радиозондирование атмосферы и систему штормоповещения. Каждая система метеонаблюдений использует свои типы радиолокационных станции и имеет собственные режимы работы, что существенно с гигиенических позиций.

Аэрологическое зондирование атмосферы

Для аэрологического зондирования атмосферы применяются метеорологические радиолокаторы «МАРЛ», «Вектор-М», радиолокационные комплексы АВК-1, АВК-1М, установленные в сети Росгидромета. Метеордиолокаторы выполняют сопровождение радиозонда в полете, определяют его координаты с измерением высоты полета зонда и параметров ветра, принимают и регистрируют радиотелеметрические сигналы. Радиозондирование представляет наиболее точные результаты контактных измерений таких термодинамических параметров атмосферы, как вертикальные профили температуры, влажность, скорость и направление ветра, давление воздуха. Измерение этих параметров осуществляется на высотах до 35–40 км от поверхности земли [6–8]. Существует определенный порядок запуска радиозондов, который соблюдается метеослужбами всех государств, – дважды в сутки в 00.00 ч и 12.00 ч мирового времени^{3,4}.

Нами были выполнены измерения уровней электромагнитных полей при эксплуатации радиолокационного комплекса «МАРЛ-А», работающего в составе системы сетевого комплексного аэрологического радиозондирования атмосферы в сети Росгидромета. В работе комплекса применяется радиолокационный принцип определения координат радиозонда. Процесс радиозондирования осуществляется с помощью информационно-измерительных систем, включающих, помимо самого радиозонда, устройства для приема и обработки информации. Основным элементом комплекса – аэрологический радиолокатор «МАРЛ-А». Радиозонд, выпускаемый в свободный полет, снабжен датчиками различных метеорологических параметров и радиопередатчиком. Датчики измеряют в точке пролета температуру и влажность атмосферы, по каналу радиосвязи эти параметры передаются на радиолокационный комплекс «МАРЛ-А». Комплекс «МАРЛ-А» производит

¹ МУК 3913–85 «Методические указания по определению и нормализации электромагнитной обстановки в местах размещения метеорологических радиолокаторов» (утв. заместителем Главного государственного врача СССР от 15.07.1985 № 3913–85). М.: Министерство здравоохранения СССР, 1985. 49 с.

² МУК 4562–88 «Методические указания по нормализации электромагнитной обстановки в местах размещения двухканальных метеорологических РЛС» (утв. заместителем Главного государственного врача СССР от 05.03.1988 № 4562–88). М.: Министерство здравоохранения СССР, 1988. 31 с.

³ Фридон М.Б., Ермошенко Ю.М. Радиозондирование атмосферы // Мир измерений. науч. Интернет-журн. июль, 2009. URL: <https://ria-stk.ru/mi/adetail.php?ID=30717>. Ссылка активна на 18 мая 2020 г.

⁴ РД 52.11.652–2003 Временные методические указания по производству радиозондирования атмосферы системой МАРЛ-А – МРЗ-3АТ. <http://docs.cntd.ru/document/1200036906>. Ссылка активна на 18 мая 2020 г.

автоматический поиск, сопровождение зонда в полете, прием и обработку метеорологической информации (температура, влажность) и определение координат. По текущим координатам зонда (наклонная дальность, высота, угол места и азимут) проводится определение скорости и направления ветра. По результатам наблюдений ведется автоматизированная подготовка и выдача в аэрологическую сеть стандартных метеотелеграмм, которые содержат информацию о вертикальных профилях температуры, влажности, скорости, направлении ветра, а также о давлении воздуха на заданных уровнях.

В табл. 1 представлены технические характеристики аэрологического радиолокатора «МАРЛ-А».

Комплекс «МАРЛ-А» конструктивно разделен на две основные части: антенный пост и пост оператора. Управление антенным постом при проведении зондирования, диагностика работоспособности комплекса и предпусковая проверка зондов осуществляется с поста оператора, который находится в отдельном помещении, соединяемом с антенным постом кабелями. Антенна МРЛ установлена на здании, передатчик совмещен с антенной. Инструментальные измерения уровней электромагнитных полей были выполнены в помещении на рабочем месте оператора. Система индикации и управления радиолокатором включает в себя персональный компьютер, на который поступает информация о режимах работы, координатах зонда, исправности аппаратуры. На рабочем месте оператора, оборудованном персональным компьютером, были выполнены измерения

– напряженности электрического поля в диапазонах от 5 Гц до 2 кГц и от 2 кГц до 400 кГц, (В/м);

– плотности магнитного потока в диапазонах от 5 Гц до 2 кГц и от 2 кГц до 400 кГц, (нТл);

– напряженности электростатического поля, (кВ/м).

Результаты измерений показали, что зарегистрированные значения электромагнитных полей не превышают предельно допустимых значений, установленных СанПиН 2.2.4.3359–16⁵.

На открытой территории измерения уровней ЭМП проводились от антенны МРЛ «МАРЛ-А» на площадке запуска радиозонда (рабочее место аэролога) на высоте 2,0 м от поверхности земли

на расстоянии 110 м от антенны. Согласно технологии запуска радиозонда, в процессе работы осуществляется ориентация антенны МРЛ на площадку установки радиозонда. Данная операция выполняется на пониженной мощности радиолокационной станции. Уровни плотности потока энергии (ППЭ) ЭМП, создаваемого антенной данного передающего радиотехнического объекта (ПРТО), составили от 2,54 до 9,51 мкВт/см² и не превышали ПДУ ЭМП, установленные для рабочего места аэролога (250 мкВт/см²) и для населения (25 мкВт/см²).

Метеорологические радиолокаторы сети «Штормоповещение»

Современные радиолокационная сеть Росгидромета, предназначенные для оперативного получения радиометеорологической информации об опасных явлениях погоды (ОЯП), оснащаются доплеровскими метеорологическими радиолокаторами (ДМРС). Модернизация сети происходит за счет прекращения наблюдений и вывода из эксплуатации радиолокаторов типа МРЛ-5. Внедрение доплеровских методов радиолокационных метеонаблюдений позволило разработать методы идентификации смерчей и торнадо, доплеровской фильтрации отражений от местных предметов, идентификации опасных сдвигов ветра и турбулентности в тропосфере. После внедрения автоматизации радиолокационных метеорологических наблюдений и перехода на использование доплеровских метеорологических радиолокаторов следующим значительным шагом стало внедрение поляризационных методов. В современных поляризационных МРЛ одновременно излучаются два радиосигнала – на вертикальной и горизонтальной поляризациях [9–11]. Наличие двух поляризационных каналов дает возможность дополнительно получать карты с распознаваемостью опасных явлений, оценкой интенсивности осадков и т. д. С 2011 года в России начато серийное производство и внедрение доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С. Значительным преимуществом ДМРЛ-С является большая эффективная мощность излучения, что стало возможным с использованием технологии сжатия широкополосного сложного сигнала. Длительность излучаемого импульса составляет 60 мкс, сжатие его в приеме в 60 раз приводит к результирующей длительности

Таблица 1. Технические характеристики аэрологического радиолокатора «МАРЛ-А»

Table 1. Technical characteristics of the MARL-A upper-air radar

Основные параметры / Basic characteristics	Значения параметров / Values
Рабочая частота, МГц / Operating frequency, MHz	1680 ± 10
Мощность, Вт / Power, W	≤ 500
Дальность автоматического сопровождения, км / Automatic tracking range, km	0,1–250,0
Тип антенны / Antenna type	Активная фазированная решетка (АФАР) / Active phased array (AFAR)
Ширина диаграммы направленности, град. / Width of the radiation pattern, deg.	
– в горизонтальной плоскости / in the horizontal plane	≤ 9
– в вертикальной плоскости / in the vertical plane	≤ 6
Длительность импульса, мкс: / Pulse duration, μs:	
– в ближней зоне/ in the near zone	0,5
– в дальней зоне/ in the far zone	1–1,1
Высота установки антенны, м / Antenna installation height, m	30,0

⁵ СанПиН 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 21.06.2016 № 81).

1 мкс и эффективной мощности излучения 900 кВт. ДМРЛ-С измеряет шесть параметров сигнала, отражаемого метеорообразованиями. Этого достаточно, чтобы с высокой степенью вероятности прогнозировать развитие таких опасных явлений, как град, гроза и сильный ливень, области сдвига ветра, зоны повышенной турбулентности, шквалы и др. [12–14]. Согласно техническому проекту, эксплуатация ДМРЛ-С подразумевает его непрерывную круглосуточную работу в течение года. В сети «МРЛ-Штормоповещение» используются и метеорологические радиолокаторы зарубежного производства.

Важной задачей являлось не только внедрение радиолокаторов нового поколения — ДМРЛ-С, но и создание единой радиолокационной сети с перекрытием информационных областей соседних радиолокационных станций, прежде всего в густонаселенной Европейской части России, с обеспечением возможности доступа к получаемой метеорологической информации широкому кругу потребителей. К ним относятся, в первую очередь, авиационные службы, МЧС, службы обеспечения безопасности наземного и морского транспорта и многие другие. Применение метеорологического радиолокатора позволяет решить проблему обеспечения безопасности в зоне активного градообразования, существенно снизить вероятность нанесения ущерба здоровью людей, материальным объектам, сельскохозяйственным посадкам^{6,7}.

Современные МРЛ позволяют выполнять измерения в диапазоне длин волн от 3 мм до 5,6 м и более, имеют радиус обзора 250–300 км, дают возможность проводить циклические наблюдения с периодичностью от 3 до 15 мин в круглосуточном автоматизированном режиме, предоставляя данные с высоким пространственным разрешением (0,5–1 км) на площади до 200 тыс. км². С 2017 г. Росгидрометом был взят курс на оснащение радиолокационной сети малогабаритными метеорологическими радиолокаторами (ММРЛ), производимыми в нашей стране. ММРЛ может быть установлен как на стационарных, так и на подвижных объектах. Массогабаритные характеристики и конструкция обеспечивают простоту монтажа и демонтажа ММРЛ на выбранной позиции. Имея дальность действия немногим более 50 км, ММРЛ, предположительно, закрывают участки, не охваченные существующей радиолокационной сетью. Уменьшение габаритов радиолокатора и длины волны излучения позволило разработать методы доплеровской томографии и создать соответствующие устройства для изучения поля ветра на различных высотах [15, 16].

В табл. 2 представлены технические характеристики некоторых типов метеорологических радиолокаторов сети «МРЛ-Штормоповещение»⁸.

Малогабаритные метеорологические радиолокаторы устанавливаются в различных вариантах: на крышах зданий, на специальных автомашинах-контейнерах. Управление

Таблица 2. Технические характеристики метеорологических радиолокаторов
Table 2. Technical characteristics of weather surveillance radars

Основные параметры / Basic characteristics	МРЛ-5/ MRL-5		ДМРЛ-С / DMRL-S	Meteor 500 S (Германия) / (Germany)
	Канал 1 / Canal 1	Канал 2 / Canal 2		
Полоса частот / Band	X	S	C	C
Длина волны, см / Wavelength, cm	3	10	5,3	5,6
Диапазон частот, МГц / Frequency range, MHz	9595	2950	5600–5650	5500–5700
Тип передатчика / Transmitter type	магнетрон/ magnetron	магнетрон/ magnetron	клизотрон/ klystron	магнетрон/ magnetron
Импульсная мощность/эффективная, кВт / Pulse power / effective, kW	250	800	15/900	250
Длительность импульса, мкс/ Pulse duration, μs	1; 2	1;2	1,0; 25; 60	0,5; 0,8; 1;2
Частота повторения импульсов, Гц/ Pulse repetition rate, Hz	250; 500	250; 500	300–2000	200–2400
Тип антенны / Antenna type	Зеркальная параболическая / Parabolic reflector			
Поляризация / Polarization	Линейная горизонтальная/ Linear horizontal	Линейная вертикальная/ Linear vertical	Линейная горизонтальная + вертикальная/ Linear horizontal + vertical	Линейная горизонтальная + вертикальная/ Linear horizontal + vertical
Коэффициент усиления, дБ/ Gain, dB	40/49	40	45	45
Ширина диаграммы направленности антенны на уровне 3 дБ, град./ Width of the antenna pattern at the level of 3 dB, deg.	1,5/0,5	1,5	1,0	1,0
Угол места, град./ Elevation angle, deg.	–1 – +98	–1 – +98	–2 – +91	–2 – +182
Диаметр антенны, м/ Antenna diameter, m	1,4/4,5	4,5	4,5	4,2

⁶ Шукин Г.Г., Булкин В.В., Первушин Р.В. Применение активных радиолокационных систем в мониторинге опасных метеорологических явлений // VII Всероссийские Армандовские чтения: молодая школа: сборник трудов конференции. Муром, 27–29 июня 2017 г. Муром: Муромский институт (филиал) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». 2017. С. 127–155.

⁷ Мнацаканян Р.А., Майорова Н.С., Дерябина Т.П. Современные методы заблаговременного обнаружения опасных метеорологических явлений // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS: сборник статей XXXIV Международной научно-практической конференции. Пенза, 30 августа 2019 г. Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. С. 56–59.

⁸ Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. Вторая редакция. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М.: Росгидромет, 2017. 110 с.

работой радиолокатора осуществляется с рабочего места оператором. Передвижные метеорологические радиолокаторы, устанавливаемые на автомашинах, используются в районах, где отсутствует возможность получения регулярной метеорологической радиолокационной информации, на территории аэродромов для обеспечения работ по активному воздействию на облака. В табл. 3 приведены технические характеристики малогабаритных метеорологических радиолокаторов.

Нами были выполнены измерения уровней ППЭ ЭМП при испытании подвижного метеорологического поста, оснащенного метеорологическим радиолокационным комплексом ближней зоны МРЛК БЗ-ГА, в состав которого входят МРЛС «Монокль-К-100 ГА» и автоматизированное рабочее место (АРМ). Измерения проводились на рабочем месте оператора и от антенны МРЛС «Монокль-К-100 ГА» на открытой территории. Передатчик МРЛС размещается под антенной. Антенна установлена на телескопической мачте, высота которой может изменяться. Соответственно изменяется и высота расположения антенн относительно поверхности земли. Максимальная высота мачты – 12,0 м. Измерения на рабочем месте оператора в помещении аппаратной мобильного метеорологического поста показали, что уровни напряженности электрического поля и индукции магнитного поля промышленной частоты 50 Гц были значительно ниже ПДУ и составили < 0,05 кВ/м и 12,0 мкТл соответственно. Оператор для управления МРЛС использует персональный компьютер. Значения электрических и магнитных полей в диапазонах от 5 Гц до 2 кГц, от 2 кГц до 400 кГц и статических электрических полей на рабочем месте оператора не превышали предельно допустимых уровней. Результаты измерений уровней ППЭ ЭМП в диапазоне частот 2462 МГц,

создаваемых Wi-Fi роутером, не выявили превышений предельно допустимого уровня (10 мкВт/см²)⁹. Измерения уровней плотности потока энергии ЭМП на открытой территории проводились на высоте 2 м от поверхности земли на расстояниях от антенны от 10 до 35 м при установке антенны МРЛС «Монокль» на высотах 4 м и 11,5 м от уровня поверхности земли. Измеренные значения ППЭ ЭМП при данных вариантах эксплуатации подвижного комплекса были ниже диапазона измерения прибора (< 0,26 мкВт/см²). Поскольку высота установки антенн МРЛС на телескопической башне может меняться, то, по нашему мнению, расчетное прогнозирование уровней ЭМП для установления санитарно-защитных зон (СЗЗ) и зон ограничения (ЗО) должно выполняться для различных высот установки антенн. Материалы расчетов должны быть составной частью технической документации на МРЛС.

В ходе исследования установлено несоответствие нормативного, методического и аппаратного обеспечения контроля уровней ЭМП современным технологиям метеорологических радиолокационных наблюдений. Предельно допустимые уровни ЭМП, представленные в ГН 2623–82 «Предельно допустимые уровни плотности потока электромагнитной энергии, создаваемой метеорологическими радиолокаторами 3 см и 0,8 см диапазона в прерывистом режиме воздействия на население» и в ГН 2958–84 «Предельно допустимый уровень плотности потока импульсной электромагнитной энергии, создаваемой метеорологическими радиолокаторами 17 см волн в прерывистом режиме воздействия на население», разработаны для метеорологических радиолокаторов, которые в настоящее время не эксплуатируются. Данные документы были отменены постановлениями Главного государственного санитарного врача Российской Федерации^{10,11}.

Таблица 3. Технические характеристики передвижных малогабаритных метеорологических радиолокаторов
Table 3. Technical characteristics of portable mini weather radars

Основные параметры / Basic characteristics	«Монокль» / “Monocle”	«Контур-Метео-01» / “Kontur-Meteo-01”
Диапазон рабочих частот, МГц / Bandwidth, MHz	9330–9375	9368
Длина волны, см / Wavelength, cm	3,2	3,2
Импульсная мощность передатчика, Вт / Pulse power of the transmitter, W	≥ 100	7000
Длительность излучаемых импульсов, мкс / Duration of emitted pulses, μs	2–32	4,0
Период повторения импульсов, мкс / Inter-pulse period, μs	200–2000	2500
Тип антенны, размер / Antenna type, size	щелевая антенная решетка диаметром 760 мм / slot array antenna, d = 760 mm	волноводно-щелевая решетка диаметром 760 мм / waveguide slot-fed grid array antenna, d = 760 mm
Диаграмма направленности антенны в горизонтальной/вертикальной плоскостях, град. / Antenna radiation pattern in horizontal/vertical planes, deg.	3,0	3,0
Азимут излучения, град. / Azimuth radiation pattern, deg.	0–360	0–360
Угол места, град. / Elevation angle, deg.	0–90	0–90

⁹ СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383–03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов». (Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21.06.2016 № 81). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. 110 с.

¹⁰ Постановление Главного государственного санитарного врача от 29.04.2020 № 13 «О признании не действующими на территории Российской Федерации актов СССР». https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=14365. Дата обращения 08.06.2020.

¹¹ Постановление Главного государственного санитарного врача от 10.07.2020 № 19 «О признании не действующими на территории Российской Федерации актов СССР». https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=14917. Дата обращения 15.07.2020.

Согласно требованиям нормативно-правовых документов в области санитарного законодательства, контроль уровней ЭМП, создаваемых антеннами ПРТО, осуществляется расчетными и инструментальными методами.

Сравнительный анализ технических параметров современных МРЛ, методических указаний МУК 3913–85 и МУК 4562–88 показал, что методические указания устарели. Представленные в них методики расчета и построения санитарно-защитных зон требуют корректировки. В документах не учитываются технические параметры современных МРЛ (частотные характеристики радиочастотного сигнала, особенности конструкции и диаграммы направленности антенных систем). В настоящее время ни в одном методическом документе по определению ППЭ ЭМП не представлена методика расчетного прогнозирования уровней электромагнитных полей, создаваемых антенной МРЛ типа «Активная фазированная решетка (АФАР)».

При гигиенической оценке ЭМП необходимо учитывать режимы работы МРЛ. Так, радиолокационные станции сети «МРЛ-Штормоповещение» работают круглосуточно. Однако измерительная аппаратура позволяет проводить инструментальный контроль средних значений ППЭ ЭМП только при остановленной антенне РЛС. Поэтому в настоящее время измерения уровней ППЭ ЭМП от метеорологических радиолокаторов сети «МРЛ-Штормоповещение» могут быть проведены при остановленной антенне только на этапе ввода ПРТО в эксплуатацию. Кроме того, анализ документации на измерительные приборы показывает, что в руководствах по эксплуатации приборов отсутствует информация о возможности измерения импульсно-модулированных ЭМП РЛС и сведения о длительности и частоте следования импульса. Исследования ЭМП от антенн МРЛ выполнялись нами в сотрудничестве с производителем прибора ПЗ-42 ООО «СКБ ПИТОН». Компанией были проведены дополнительные исследования по проверке возможности измерения прибором ПЗ-42 средних значений плотности потока энергии импульсно-модулированного электромагнитного излучения. Это позволило нам выполнить измерения уровней ЭМП, создаваемых МРЛ, и мы признательны коллегам за конструктивное сотрудничество. Следует отметить, что аналогичные проблемы с аппаратурным обеспечением инструментального контроля ППЭ ЭМП возникают при определении уровней импульсно-модулированных ЭМП, создаваемых антеннами обзорных РЛС в гражданской авиации, навигационных РЛС на морском транспорте, то есть данная проблема носит системный характер.

Выводы

1. Исследование показало, что в современных системах аэрологического зондирования атмосферы и в сети штормового оповещения используются различные типы метеорологических радиолокаторов, существенно отличающихся по техническим характеристиками и режимам эксплуатации от МРЛ предыдущих поколений.

2. Необходима разработка нового нормативно-методического документа по расчет-

ному прогнозированию и инструментальному контролю уровней ЭМП, создаваемых МРЛ.

3. В руководства по эксплуатации средств измерения ППЭ ЭМП необходимо внести сведения о возможности измерять средние значения плотности потока энергии импульсно-модулированных излучений РЛС, информацию о длительности и частоте следования импульса. Данные параметры должны контролироваться при проведении испытаний и утверждении типа средства измерения, а также при поверке прибора.

4. Для контроля уровней ЭМП, создаваемых современной радиолокационной техникой, необходима разработка средств измерения, позволяющих измерять ППЭ импульсно-модулированных электромагнитных излучений от антенн РЛС на проходе луча (без остановки антенны).

Информация о вкладе авторов: разработка концепции и дизайна исследования – Никитина В.Н.; получение данных для анализа, анализ полученных данных – Ляшко Г.Г., Калинина Н.И., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П.; написание текста – Калинина Н.И., Ляшко Г.Г.; редактирование статьи – Никитина В.Н.; обзор публикаций по теме статьи – Калинина Н.И., Ляшко Г.Г.; утверждение окончательного варианта статьи – Никитина В.Н.

Финансирование: работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы (пп. 4, 5, 9–11, см. References)

1. Горелик А.Г., Коломиец С.Ф. Радиолокационные измерения в метеорологии // Мир измерений. 2009. № 7. С. 6–14.
2. Болелов Э.А. Метеорологическое обеспечение полетов гражданской авиации: проблемы и пути их решения // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21. № 5. С. 117–129.
3. Сафонова Т.В. Использование радиолокационной информации при оценке метеорологических факторов, влияющих на полеты воздушных судов // Научный вестник УИ ГА. 2017. № 9. С. 56–64.
6. Кочин А.В., Дубовецкий А.З., Ситников Н.М. Аэрологическое зондирование атмосферы // Мир измерений. 2011. № 9. С. 20–24.
7. Тарабукин И.А. Радиометеорологические исследования в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2017. № 585. С. 212–260.
8. Болелов Э.А., Ермошенко Ю.М., Фридзон М.Б. Повышение надежности системы радиозондирования атмосферы за счет комплексирования методов сопровождения радиозонда в полете // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 222 (12). С. 114–119.
12. Жуков В.Ю., Шукин Г.Г. Состояние и перспективы сети доплеровских метеорологических радиолокаторов // Метеорология и гидрология. 2014. № 2. С. 92–100.
13. Жуков В.Ю. Исследование возможности повышения оперативности работы метеорадиолокатора ДМРЛ за счет поочередного излучения ортогональных широкополосных сигналов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 21. С. 112–117.
14. Дмитриева О.А., Дорофеев Е.В., Львова М.В. и др. Использование информации о доплеровской радиальной скорости метеоцелей в задачах синоптического анализа // Метеорология и гидрология. 2016. № 11. С. 88–95.

15. Логвин А.И., Сокол П.П. Возможности повышения уровня метеорологического обеспечения полетов на основе совершенствования алгоритмов функционирования МРЛС // Научный вестник МГТУ ГА. 2010. № 152. С. 204–209.
16. Щукин Г.Г., Степаненко В.Д., Снегуров А.В. Перспективные направления радиолокационных наблюдений за атмосферой // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2010. № 561. С. 223–241.
10. Fukao S, Hamazu K. *Radar for meteorological and atmospheric observations*. Springer Japan; 2014. 537 p.
11. Ryzhkov AV, Schuur TJ, Burgess DW, et al. The joint polarization experiments: polarimetric rainfall measurements and hydrometeor classification. *Bull Amer Meteor Soc*. 2005; 86(6):809–824. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-6-809>
12. Zhukov VYu, Shchukin GG. [The state and prospects of the network of Doppler Weather Radars]. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2014; (2):92–100. (In Russian).
13. Zhukov VY. The research of possibility to increase the efficiency of the meteorological radar set DMRL's work through alternate radiation of orthogonal broadband signals. *Uchenye Zapiski Rossiiskogo Gosudarstvennogo Gidrometeorologicheskogo Universiteta*. 2011; (21):112–117. (In Russian)
14. Dmitrieva OA, Dorofeev EV, L'vova MV, et al. [Using Doppler radial velocity information in synoptic analysis tasks]. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2016; (11):88–95. (In Russian).
15. Logvin AI, Sokol PP. Possibilities for improving the meteorological service of flights based improvement of the algorithm of functioning meteorological radar. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA*. 2010; (152):204–209. (In Russian).
16. Shchukin GG, Stepanenko VD, Snegurov AV. Advanced tendencies of radar observations on atmosphere. *Trudy Glavnoi Geofizicheskoi Observatorii im. A. I. Voeikova*. 2010; (561):223–241. (In Russian).

References

1. Gorelik AG, Kolomiets SF. [Radar measurements in meteorology]. *Mir Izmerenii*. 2009; (7):6–14. (In Russian).
2. Bolelov EA. Meteorological service for civil aviation: problems and ways of their solution. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA*. 2018; 21(5):117–129. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2018-21-5-117-129>
3. Safonova TV. Using of radar information during the assessment of meteorological factors, affecting the aircraft flights. *Nauchnyi Vestnik UI GA*. 2017; (9):56–64. (In Russian).
4. Kropfli RA, Matrosov SY, Uttal T, et al. Cloud physics studies with 8 mm wavelength radar. *Atmos Res*. 1995; 35(2–4):299–313. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-8095\(94\)00025-9](https://doi.org/10.1016/0169-8095(94)00025-9)
5. Zrnich DS, Ryzhkov AV. Polarimetry for weather surveillance radars. *Bull Amer Meteorol Soc*. 1999; 80(3):389–406. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0389:PFWSR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0389:PFWSR>2.0.CO;2)
6. Kochin AV, Dubovetskii AZ, Sitnikov NM. [Aerological sounding of the atmosphere]. *Mir Izmerenii*. 2011; (9):20–24. (In Russian).
7. Tarabukin IA. Radiometeorological research in Voeikov MGO. *Trudy Glavnoi Geofizicheskoi Observatorii im. A. I. Voeikova*. 2017; (585):212–260. (In Russian).
8. Bolelov EA, Ermoshenko YM, Fridzon MB. Improving the reliability of the system of radiosonde measurements at the expense of the aggregation methods for tracking of the radiosonde in flight. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA*. 2015; 222(12):114–119. (In Russian).
9. Brown RA, Wood VT. *A guide for interpreting Doppler velocity patterns*. Northern Hemisphere Edition. NOAA. National Severe Storms Laboratory. Norman, Oklahoma; 2007. 55 p.

Контактная информация:

Никитина Валентина Николаевна, доктор медицинских наук, заведующая отделением изучения электромагнитных излучений отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»
e-mail: nikitina@s-znc.ru

Corresponding author:

Valentina N. **Nikitina**, Doctor of Medical Sciences, Head of the Unit for Electromagnetic Radiation Studies, Department for Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center of Rospotrebnadzor
e-mail: nikitina@s-znc.ru

Статья получена: 05.06.2020
Принята в печать: 07.10.2020
Опубликована 30.10.2020

