
СТАТИСТИЧЕСКАЯ
РАДИОФИЗИКА

УДК 621.396;537.86

**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ДОЗИМЕТРИЯ
МИКРОВОЛНОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.
ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С УСТРОЙСТВОМ “МЕРА”**

© 2021 г. А. С. Дмитриев^а, В. В. Ицков^а, А. И. Рыжов^а, *

^аИнститут радиотехники и электроники им. А.В. Котельникова РАН,
ул. Моховая, 11, стр. 7, Москва, 125009 Российская Федерация

*E-mail: mef.box@gmail.com

Поступила в редакцию 29.05.2020 г.

После доработки 29.05.2020 г.

Принята к публикации 15.06.2020 г.

Представлены результаты измерений динамики уровня электромагнитного микроволнового излучения, полученные с помощью персональных дозиметров “Мера”, разработанных в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. Измерения проводились в разных условиях: в России и зарубежных странах, в мегаполисах и курортных зонах, круглосуточно, в городском транспорте и самолетах. Совокупность полученных данных на основе прямых долговременных измерений позволяет судить о реальной электромагнитной микроволновой нагрузке, оказываемой современными средствами мобильной связи на среду, окружающую человека.

DOI: 10.31857/S0033849421010010

ВВЕДЕНИЕ

Рост интенсивности электромагнитного микроволнового излучения антропогенного происхождения в окружающем пространстве за последнее время привел к тому, что большая часть населения планеты вынуждена постоянно находиться в загрязненной этими излучениями среде — “электромагнитном смоге”.

При определенных уровнях плотности мощности микроволновое излучение может оказывать негативное влияние на людей и биологическую среду в целом. Анализ ситуации показывает, что в отличие от ряда других типов загрязнения, электромагнитное загрязнение имеет крайне неравномерную пространственную и временную структуру. Это означает, в частности, что его одномоментное измерение в каком-то месте и в какое-то время может быть малоинформативным с точки зрения оценки влияния на биологическую среду. Для адекватного понимания уровня воздействия нужны достаточно долговременные измерения, которые должны проводиться (и их результаты должны фиксироваться) применительно либо к определенному месту, либо к конкретному биологическому объекту (например, человеку) или даже его определенной части.

Поскольку в случае измерений применительно к биологическому объекту речь идет о локальных по пространству измерениях, вблизи окрестности объекта, то в отношении такого объекта

уместно использовать термин “персональное пространство” или, так как речь идет об одном из факторов, связанных с экологией, “персональное экологическое пространство”. В этом “персональном экологическом пространстве” и осуществляется электромагнитная микроволновая дозиметрия.

Такие измерения позволяют получить картину интенсивностей электромагнитного загрязнения во времени (и в измерениях, проводимых с биологическими объектами, в какой-то степени по пространству, поскольку в записях фиксируется их время, по которому может быть восстановлено и местоположение измерений), а также суммарную микроволновую электромагнитную энергию, принятую на единицу площади.

Решение этой задачи требует создания специальных измерительных устройств — дозиметров микроволнового электромагнитного излучения.

Такое устройство — персональный дозиметр “Мера”¹ было создано в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН [1]. Следует отметить, что принцип работы дозиметра “Мера” основан на статистическом накоплении падающей на единицу площади мощности реальных сигналов средств мобильной связи со сложной модуляцией. Получаемые данные дают оценку принимаемой прибором мощности в реальной электромагнитной обстановке,

¹ <https://riafan.ru/1213477-rossiiskie-uchenye-sozdali-pervyi-personalny-dozimetr-izluchenii-ot-smartfonov>.

но не могут сравниваться напрямую с результатами измерений, выполняемыми по методикам, регламентируемым документами СанПиН [2]. Последние должны выполняться в лабораторных условиях для специальных режимов работы передающей аппаратуры, при помощи сертифицированного и поверенного оборудования и выполнении условий по взаимному расположению передатчика и приемной аппаратуры. В современном виде они обеспечивают качественные и достаточно точные “статические” измерения уровня излучения, выполняя тем самым важную роль при сертификации передающей аппаратуры, но не предназначены для долговременных измерений реальной электромагнитной обстановки и не могут быть использованы в мобильных условиях.

Цель данной работы — провести с помощью дозиметра “Мера” долговременные, в течение 12 мес., измерения уровня микроволнового электромагнитного излучения в различных условиях городской среды и в разных регионах как нашей страны, так и за рубежом.

1. ДОЗИМЕТР “МЕРА”

Созданное устройство представляет собой интеллектуальный датчик, управление которого осуществляется встроенным микроконтроллером. Основой дозиметра является гиперширокополосный приемник (ГШП) с рабочей полосой частот от 800 до 8000 МГц (отношение верхней рабочей частоты к нижней 10 : 1), динамическим диапазоном 55 дБ и чувствительностью около 3 нВт. Диапазон частот работы приемника таким образом перекрывает практически весь используемый и перспективный (относящийся к 5G до 6 ГГц) частотный диапазон работы современных систем мобильной связи, кроме малоиспользуемого в настоящее время диапазона частот ниже 800 МГц. Приемник периодически (один раз в 1 с) измеряет мощность поступающего на антенну электромагнитного микроволнового сигнала и записывает ее в память. Эти данные могут быть непосредственно выведены на экран подключаемого к дозиметру компьютера (ноутбука, планшета, смартфона), и тогда имеется возможность в режиме реального времени наблюдать динамику изменения мощности принимаемого сигнала. После накопления в течение 1 мин отсчетов суммарная энергия записывается в постоянную энергонезависимую память, и такие данные могут записываться в течение длительного времени. Максимальное время записи составляет более 6 мес. Эти данные или любые их фрагменты также могут выводиться в виде графиков на монитор.

Стандартный вывод данных на экран производится в двух режимах:

— вывод текущих данных, когда на графике отображаются данные об электромагнитной обстановке в виде принимаемой каждую секунду мощности, при этом имеется возможность отслеживать значения интегральной принятой энергии с начала сеанса;

— вывод массива данных с интервалом 1 мин, полученных за весь период наблюдений с момента включения дозиметра (работа с устройством в режиме истории). Кроме того, в цифровом виде выводятся данные о полной принятой на единицу площади энергии за время накопления.

Связь с компьютером, планшетом или смартфоном осуществляется через USB-интерфейс. Через него же производится зарядка аккумулятора от внешнего вычислительного устройства или от сети 220 В.

Устройство имеет светодиодный индикатор. Если уровень заряда выше критического, то индикатор периодически мигает зеленым цветом, если уровень заряда снизился и стал ниже критического, — то красным цветом. При этом устройство продолжает работать до полного исчерпания заряда, после чего индикатор гаснет.

Размеры устройства $85 \times 50 \times 5$ мм, масса — менее 30 г (рис. 1). Конструкция устройства и его технические характеристики описаны в [1].

Каждый экземпляр устройства имеет уникальный номер. Реализована возможность задания и считывания индивидуального номера каждого устройства, что позволяет обрабатывать данные нескольких дозиметров на одном устройстве считывания (ПК, планшет, телефон), а также удаленно хранить персональную статистику по многим устройствам, например в облаке.

На устройстве предусмотрена синхронизация календаря и текущего времени со считывающим устройством при подключении по интерфейсу USB для привязки полученной дозы излучения к абсолютному времени.

Время автономной работы устройства от аккумулятора составляет не менее 50 дней.

2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО КОМПЬЮТЕРНОГО УСТРОЙСТВА

Для взаимодействия с дозиметром на компьютере используется программа Radiodoze, которая имеет несколько режимов работы. Перед запуском программы дозиметр через micro-USB-кабель подключают к компьютеру. Запуск программы управления дозиметром осуществляют с помощью файла “Radiodoze.exe”, после чего на экране появляется основное окно программы (рис. 2).

При запуске работы устройства в режиме реального времени кнопкой “Старт” верхний и нижний графики начинают заполняться данными



Рис. 1. Внешний вид устройства и его упаковки.

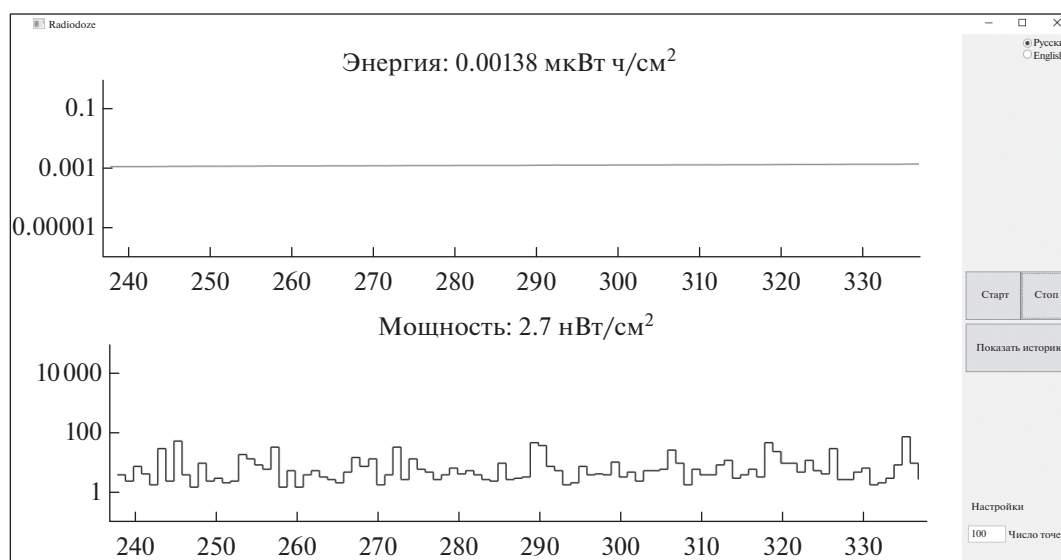


Рис. 2. Скриншот окна программы при отображении работы устройства в реальном времени. По горизонтальной оси отложены секунды.

ми, и появляется картина, аналогичная рис. 2. Остановка работы программы осуществляется кнопкой “Стоп”.

Количество точек на графике по умолчанию равно 10, но это значение можно менять в ходе работы программы кнопкой “Число точек” в правом нижнем углу экрана.

Для работы с дозиметром в режиме истории необходимо нажать на кнопку “Просмотр истории”, после чего появляется новое окно (рис. 3).

В окошках справа от графика можно выбирать даты начала и конца интересующего периода времени. При первом открытии окна истории эти даты определяются автоматически, и они соответствуют дате запуска дозиметра и настоящему времени. После выбора дат нужно нажать на кнопку “Показать” для обновления информации. Под этой кнопкой отображается суммарная энергия, принятая дозиметром за выбранный временной интервал.



Рис. 3. Окно программы при выводе записанной истории: интегральная принятая энергия (верхний график); текущая принимаемая мощность (нижний график).

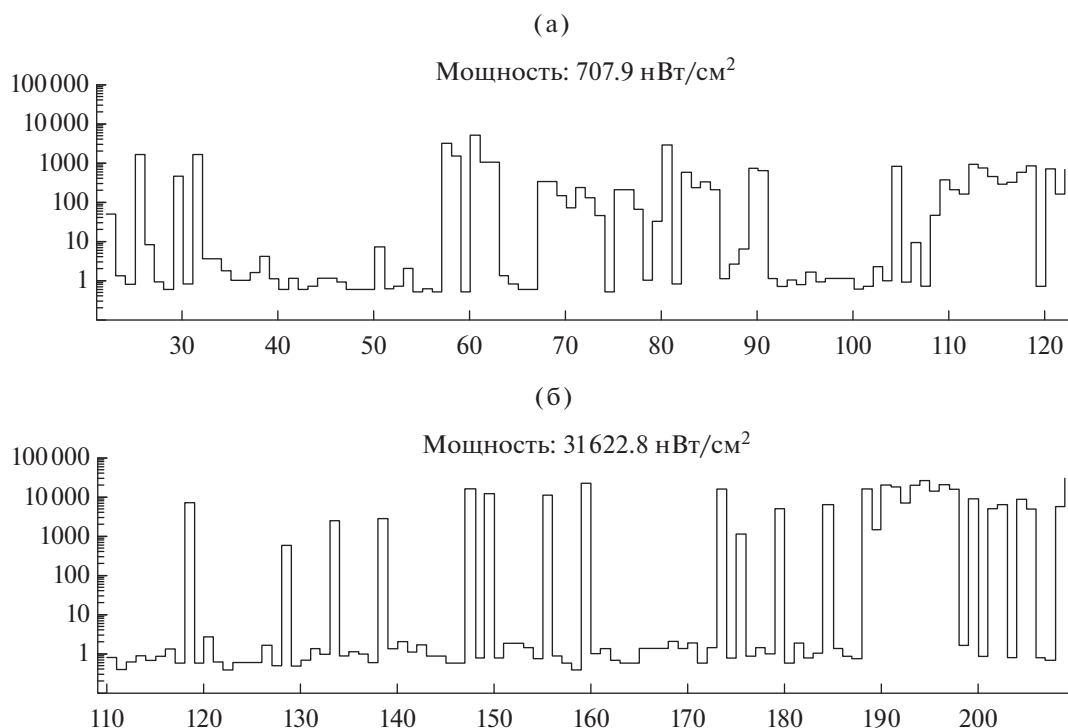


Рис. 4. Скриншот окна программы при работе в режиме реального времени. По горизонтальной оси отложены секунды. Смартфон функционирует в режиме точки доступа Wi-Fi при расстоянии до дозиметра 10 (а) и 1 см (б).

3. ИЗМЕРЕНИЯ

Калибровка устройств с использованием стандартной измерительной аппаратуры, разработка методик измерений и оценка уровня микроволновых полей средств мобильной связи в некоторых типичных условиях была проведена ранее [1].

В данной работе были проведены длительные непрерывные (от нескольких месяцев до года) измерения уровня электромагнитного микроволнового излучения с использованием десяти устройств “Мера” и анализ его динамики в пространстве и во времени. В основном устройства использовались в персональном режиме, т.е. пользователь постоянно

держал устройство при себе: либо в кармане пиджака или рубашки, либо в сумке, либо в обложке смартфона.

Наибольший объем измерений приходился на три устройства из применяемых в экспериментах. Рассмотрим основные полученные результаты.

Устройство 1. Измерения производились с апреля 2019 г. по апрель 2020 г. Первый этап исследований продолжался около двух месяцев с 04.04.2019 по 29.05.2020. На этом этапе определяли максимальную длительность работы устройства без подзарядки. По результатам измерений она составила более 50 сут.

Условия измерений были следующими. Устройство в дневное время находилось в нагрудном кармане пиджака (рубашки) пользователя, либо в носимой им сумке. При нахождении пользователя на работе устройство могло какое-то время находиться на рабочем месте пользователя. Утром и вечером пользователь при нахождении в г. Москва добирался из дома до работы общественным транспортом (метро). В нерабочее время устройство находилось в домашних условиях.

Данные этих измерений представлены на рис. 3, и их можно четко разделить по нескольким временным периодам.

Первая группа данных, с начала наблюдений по начало мая, соответствует наблюдениям в городских условиях г. Москвы. Пользователь каждый рабочий день перемещался из дома на работу и обратно. Для этого периода характерна соответствующая цикличность изменения принимаемой электромагнитной энергии. Максимальная амплитуда колебаний принимаемой энергии соответствует времени нахождения в транспорте и на работе. Участки без колебаний — среднему фоновому значению при нахождении пользователя в домашних условиях.

Вторая группа данных — с начала мая по 12 мая — соответствует пребыванию пользователя на конференции в Международном центре теоретической физики (в окрестности г. Триест, Италия). Это, по существу, пригородная зона среднего по размерам европейского города. Уровень излучения в этой группе данных примерно на порядок ниже, чем в первой серии, но при этом сохраняется суточная цикличность. Поскольку пользователь практически не покидал территорию Международного центра в этот период, такую цикличность можно связать только с внутрисуточным изменением трафика мобильных средств связи в регионе. В целом эта интенсивность значительно ниже, чем в мегаполисе (г. Москва).

После короткой группы данных, полученных в Москве 13–17 мая, структура которой в целом соответствует первой московской группе данных, следует группа данных, зарегистрированных в Подмосковье (с 17 по 26 мая). Здесь обстановка

похожа на “домашнюю” в Москве, что позволяет сделать вывод о незначительном, в среднем, уровне электромагнитного излучения и отсутствии суточных колебаний. Кстати, это свидетельствует также о том, что и причина снижения зафиксированного уровня излучений в домашних условиях, которая наблюдается в нерабочее время в г. Москва, связана с общим снижением мобильного трафика в нерабочее (ночное) время.

Этап исследований с 22.06.2019 по 07.12.2019. продолжался более пяти месяцев. За это время несколько раз производилась подзарядка аккумулятора, но запись велась непрерывно, что свидетельствует о том, что объема памяти у устройства хватает не менее чем на 150 сут (рис. 5).

Для измерений, проведенных в этот период характерны суточные колебания интенсивности, отмечавшиеся при наблюдениях в мае—апреле. Кроме того, с 20.08 2019 до конца периода наблюдений просматриваются недельные циклы в структуре наблюдаемой интенсивности, четко связанные с началом и концом рабочей недели.

Участок данных с 24.07.2019. по 16.08.2019 — измерения в Крыму в п. Кацивели. Общая интенсивность измеренного излучения здесь намного ниже, чем в Москве, и примерно соответствует результатам по измерениям интенсивности излучения в окрестности Триеста, о которых шла речь выше.

Следующая серия измерений с 05.12.2019 по 05.03.2019 г. (рис. 6). Здесь наиболее интересным является временной участок 05.12.19 по 07.02.20, поскольку использовался дозиметр, помещенный в обложку смартфона. Таким образом, при любом активном поведении смартфона, будь то телефонный разговор с непосредственным размещением телефона у уха, либо обмен фото- и видеоинформацией, дозиметр находился на расстоянии не более 1 см от излучающего устройства. Пользователь достаточно аккуратно работал со смартфоном: в среднем не более 1 ч в сутки в режиме телефонного разговора и столько же в режиме монитора при обмене информацией. Визуально картина для одинаковых характерных участков (городские условия, рабочие месяцы) картины при ношении дозиметра в кармане (сумке) и в обложке смартфона различаются слабо (ср. рис. 3 и 6). Однако количественно фиксируемая энергия излучения во втором случае примерно в 1.5 раза больше. В первом случае около 30 мкВт ч/см² за месяц, во втором — около 45 мкВт ч/см² за месяц. В пересчете на сутки поток энергии на единицу площади, фиксируемый дозиметром, составляет примерно 1.0 и 1.5 мкВт ч/см².

Относительно небольшая разница в результатах измерения при ношении дозиметра в кармане (сумке) и обложке смартфона позволяет заключить, что вклады в общий объем принимаемой

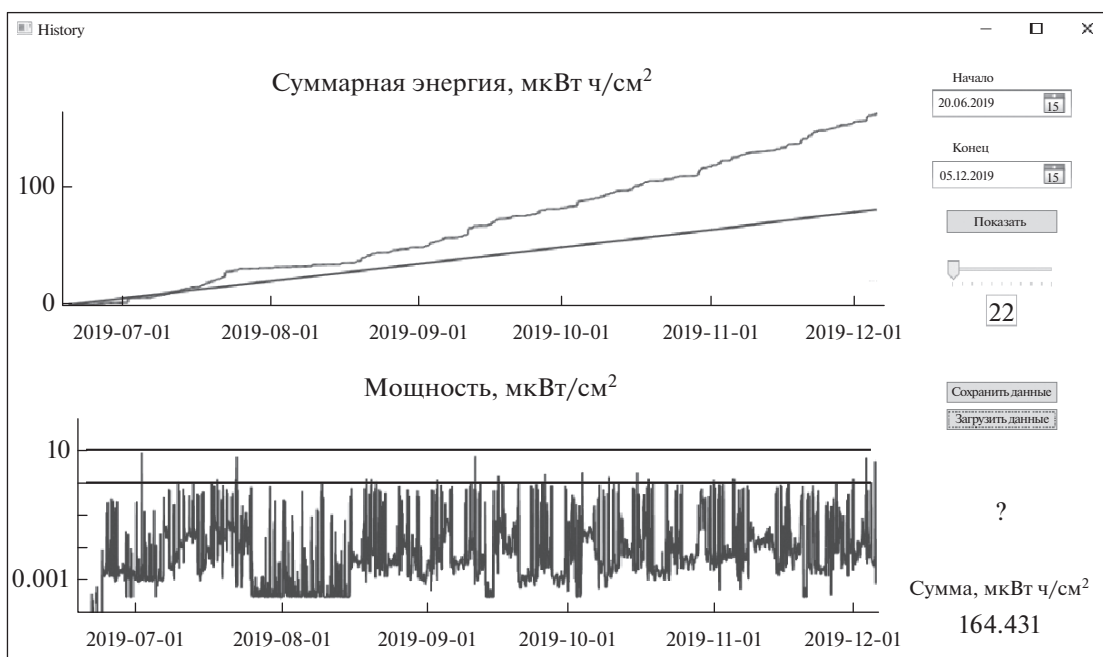


Рис. 5. Измерения устройством 1 с 22.06.2019 по 07.12.2019.

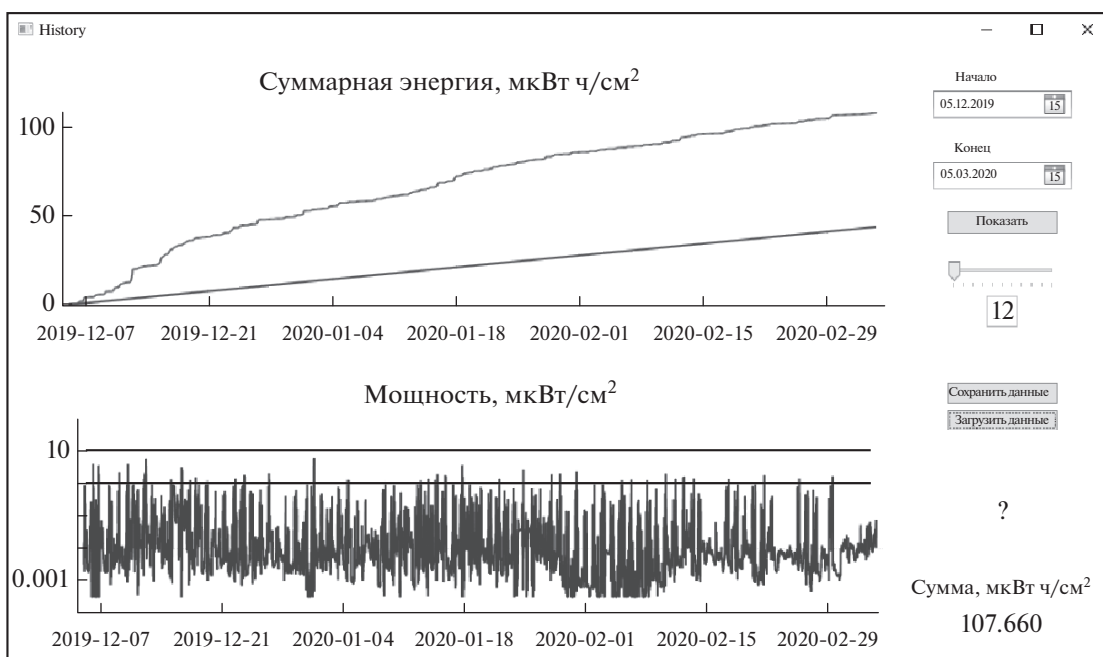


Рис. 6. Измерения устройством 1 с 05.12.2019 по 05.03.2020.

энергии от общего электромагнитного фона и работы смартфона пользователя соотносятся примерно как 2 : 1. Учитывая, что пользователь активно работал со смартфоном в среднем не более 1 ч в день, логично предположить, что при увеличении среднего времени использования смартфона до 4 (8) часов соотношение между фоном и ра-

бочим режимом по принимаемой энергии будет составлять 2 : 4 (2 : 8), а общие принимаемые объемы соответственно 4 и 8 мкВт ч/см².

Отсюда можно сделать следующий вывод.

Энергетическая нагрузка в виде падающего электромагнитного излучения в значительной степени определяется общим уровнем электро-

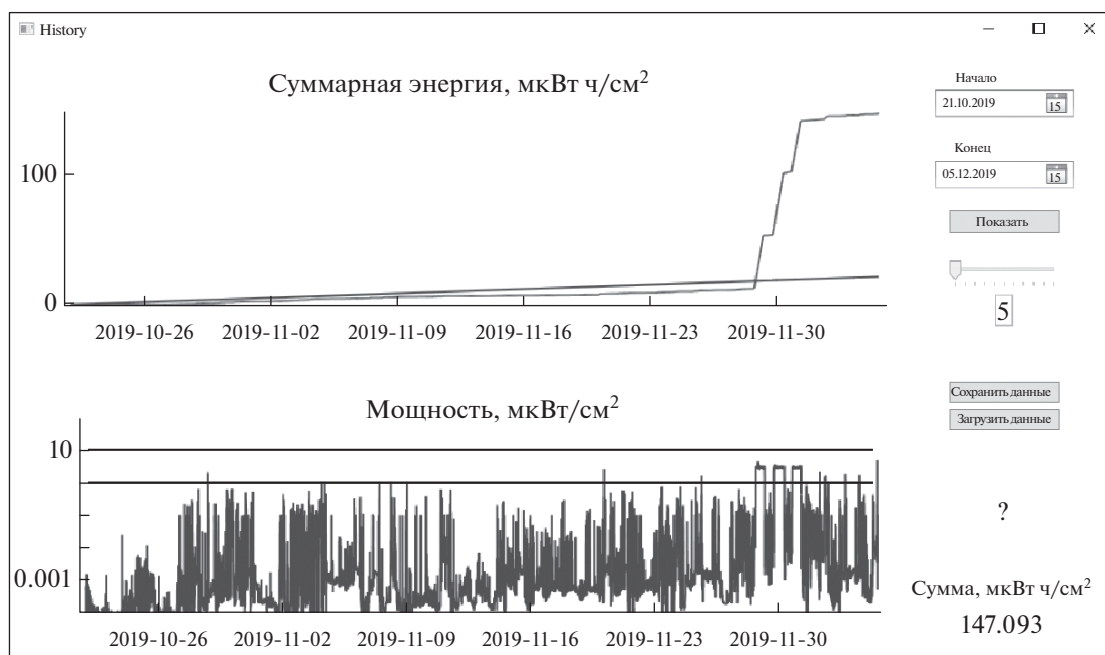


Рис. 7. Измерения устройством 2 за все время наблюдений.

магнитного поля, создаваемого всеми активными “участниками” работы мобильных и Wi-Fi-сетей. Здесь под “участниками” понимаются как сотовые станции и Wi-Fi-роутеры, так и пользователи этих систем с их мобильными устройствами.

Далее рассмотрим результаты измерений, проведенных с устройствами 2 и 3. Работа с этими дозиметрами проходила в двух разных режимах: в городских условиях, когда дозиметр находился в непосредственной близости от испытуемого, и в условиях проведения специальных измерений, когда искусственно создавались интересные условия проведения измерений. В первой группе специальных измерений (они проводились с устройством 2) был исследован уровень излучения телефона при его работе в режиме Wi-Fi, а во второй группе специальных измерений (проводились с устройством 3) телефон работал в режиме LTE и 2G.

Устройство 2. Этот дозиметр использовался в период с 21.10.2019 по 05.12.2019. Суммарно устройством была зарегистрирована принятая энергия в объеме 147.1 мкВт ч/см² (сюда включена в том числе энергия, накопленная в ходе специальных измерений, без них значение составляет 20.1 мкВт ч/см²).

На рис. 7 приведены графики принятой суммарной энергии и текущей принимаемой мощности, полученные за все время измерений. На графике накопленной суммарной энергии хорошо виден значительный вклад специальных измерений, проводившихся в конце ноября.

По характеру данных здесь можно выделить три основные зоны.

Первая зона соответствует временному промежутку с 21.10.2019 по 26.11.2019. Дозиметр в это время находился преимущественно в рюкзаке рядом с телефоном. В это время испытуемый большую часть времени находился на работе, дома или в поездках в городском транспорте. Суммарно за это время дозиметром было накоплено 11.4 мкВт ч/см² энергии. Большую часть времени принимаемая мощность не превышала значения 0.1 мкВт/см². Отдельные интервалы времени с превышением уровня 1 мкВт/см² соответствуют передвижению в метро и активной передаче данных с телефона. Стоит отметить, что на графике имеется область с измененной временной структурой излучения. Она относится к временному интервалу с 23.11.2019 по 24.11.2019 (здесь дозиметр был расположен непосредственно на стационарном радиотелефоне Termit 2).

Вторая временная зона, с 27.11.2019 по 01.12.2019, соответствует поездке в г. Санкт-Петербург, где дозиметр по-прежнему располагался в рюкзаке рядом с телефоном.

В ходе поездки были также проведены специальные измерения, когда дозиметр располагался рядом с Wi-Fi-роутером. На рис. 8 можно наблюдать три горизонтальные “полки”, которые как раз соответствуют расположению дозиметра непосредственно на Wi-Fi-роутере в квартире. Во время этих экспериментов сигнал, принимаемый дозиметром “Мера”, колеблется на уровне около

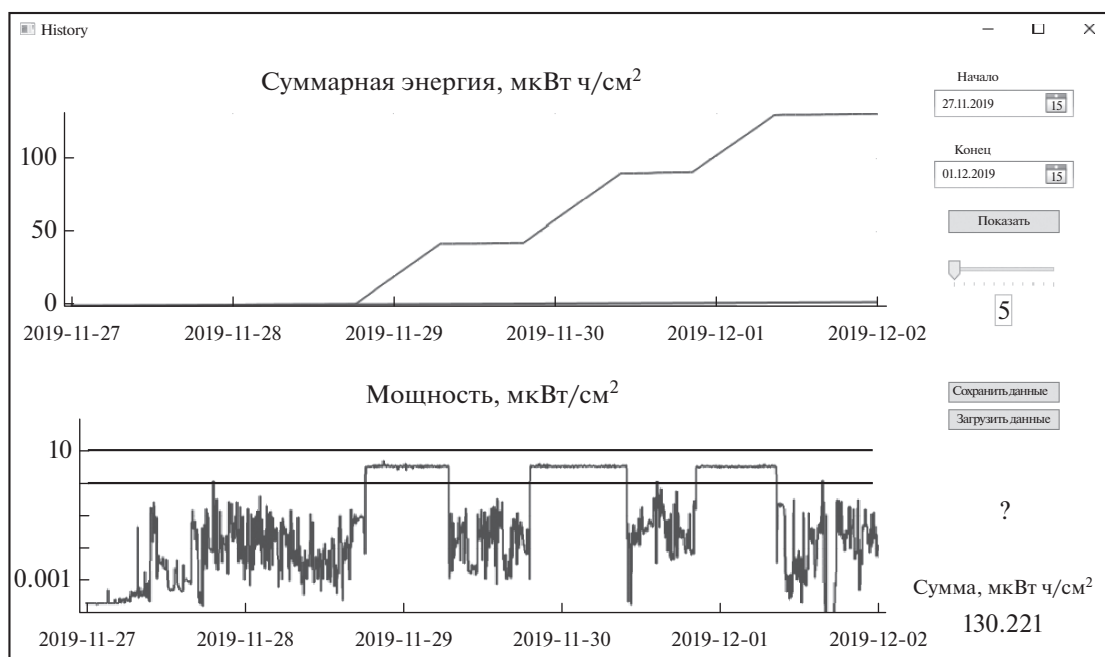


Рис. 8. Данные, полученные с устройства 2 за период с 27.11.2019 по 01.12.2019.

4...5 мкВт/см². Сводные результаты по этим экспериментам приведены в табл. 1. Всего в ходе этих испытаний было накоплено 127 мкВт ч/см² энергии.

Из табл. 1 следует, что при нахождении дозиметра на поверхности роутера поток принимаемой энергии в час составляет в среднем около 3.2 мкВт ч/см².

Наконец, последняя, третья временная зона соответствует возвращению в Москву и нахождению в обычном городском режиме с 02.12.2019 по 05.12.2019. Дозиметр находился внутри рюкзака рядом с телефоном, а характер графика соответствует первой временной зоне. Суммарно за это время дозиметром было накоплено 5.6 мкВт ч/см² энергии.

В табл. 2 приведены сводные данные полученных в измерениях с устройством 2 (без учета специальных измерений).

Таким образом, при работе в городской среде значение принимаемого потока энергии излучения устройством 2 варьировалось от измерения к

измерению в пределах 0.2...1.4 мкВт ч/см² в сутки, и среднее значение принимаемой за сутки энергии по всем измерениям составило 0.43 мкВт ч/см².

Устройство 3. Измерения с помощью устройства проводили в период с 05.12.2019 по 17.03.2020. При этом суммарно устройством была зарегистрирована принятая энергия в количестве 436.6 мкВт ч/см² (без учета специальных измерений – 94.1 мкВт ч/см²).

На рис. 9 приведены общие графики принятой суммарной энергии (в мкВт ч/см²) и мощности (мкВт/см²), полученные за все время эксплуатации дозиметра. На графике принятой суммарной энергии можно видеть, что наибольший вклад в накопленное излучение дали специальные измерения, проводившиеся в конце декабря 2019 г. и в конце января 2020 г.

По характеру данных на рис. 9 можно выделить четыре основные зоны.

Первая зона соответствует временному промежутку с 05.12.2019 по 30.12.2019, пользователь находился либо на работе, либо в общественном транс-

Таблица 1. Специальные измерения с устройством 2

Начало измерений	Окончание измерений	Интервал, сут	Накоплено, мкВт ч/см ²	Среднее за час, мкВт ч/см ²
28.11.2019 18:15	29.11.2019 6:55	0.53	41	3.2
29.11.2019 19:18	30.11.2019 9:51	0.61	47	3.2
30.11.2019 20:00	01.12.2019 8:35	0.50	39	3.25

Таблица 2. Итоговые результаты измерений с устройством 2

Начало измерений	Окончание измерений	Накоплено, мкВт ч/см ²	Число дней	Среднее в сутки, мкВт ч/см ²	Среднее в месяц, мкВт ч/см ²
21.10.2019	26.11.2019	11.4	37	0.31	9.3
27.11.2019	01.12.2019	3.2	5	0.64	19.2
02.12.2019	05.12.2019	5.6	4	1.4	42
ИТОГО					
21.10.2019	05.12.2019	20	46	0.43	12.9

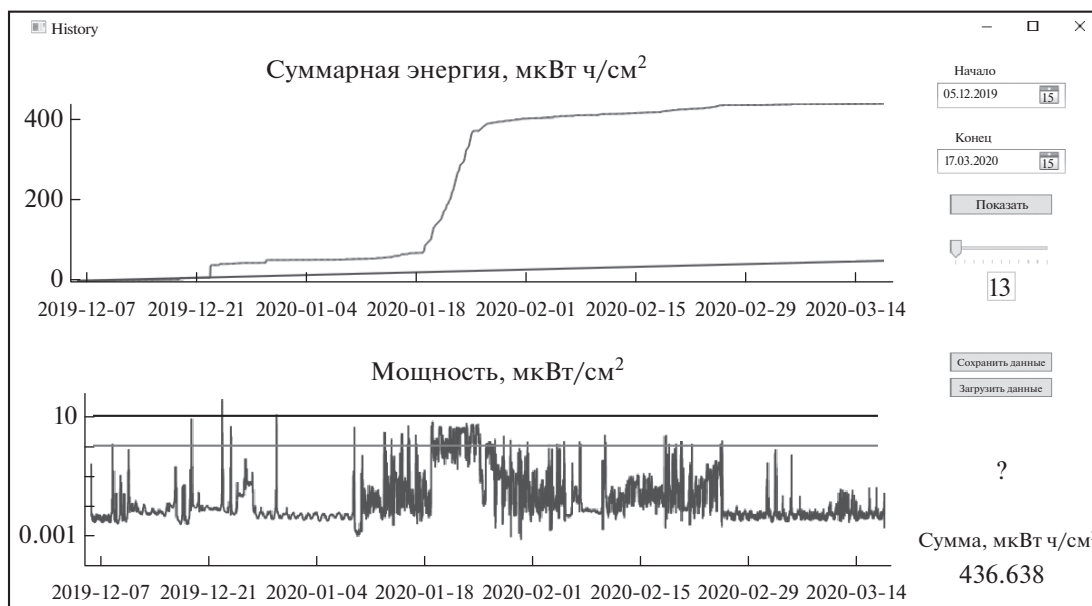
порте, дозиметр носил в кармане рубашки, иногда оставлял его на работе. На этом же отрезке времени был произведен ряд специальных измерений. Суммарно за это время дозиметром было накоплено 51.2 мкВт ч/см² энергии, включая 41.6 мкВт ч/см² при специальных измерениях. Можно отметить, что большую часть времени в стандартном режиме работы принимаемая мощность не превышала значения 1 мкВт/см².

Специальные измерения, проведенные на этом интервале времени, были посвящены получению информации об уровне электромагнитного излучения, создаваемом сотовым телефоном при осуществлении связи в режимах LTE и 2G. Интервалы времени, на которых производились эти измерения, характеризовались быстрым нарастанием накопленной принятой энергии, и хорошо видны в виде скачков накопленной энергии на рис. 10. В ходе испытаний телефон находился в режиме звонка в течение часа, дозиметр располагался непосредственно на телефоне. Этим измерениям соответствуют также пики на рис. 10, пре-

вышающие значения 10 мкВт/см². Подробные количественные характеристики приведены в табл. 3.

Данные, полученные в первой временной зоне измерений в стандартном режиме, примерно соответствуют данным, полученным в стандартных режимах измерений с устройствами 1 и 2. Наибольший интерес в первой временной зоне измерений представляют данные специальных измерений. Они показывают (см. табл. 3), что при определенных условиях средняя плотность потока мощности вблизи смартфона может значительно превышать показания, полученные при работе в обычных городских условиях.

Вторая зона соответствует временному промежутку с 31.12.2019 по 8.01.2020 (новогодние праздники). Дозиметр в это время находился в домашних условиях в удалении от каких-либо источников микроволнового излучения. В праздничное время суммарно дозиметром было накоплено 2.0 мкВт ч/см² энергии. Можно отметить,


Рис. 9. Данные, полученные с устройства 3 за все время наблюдений.

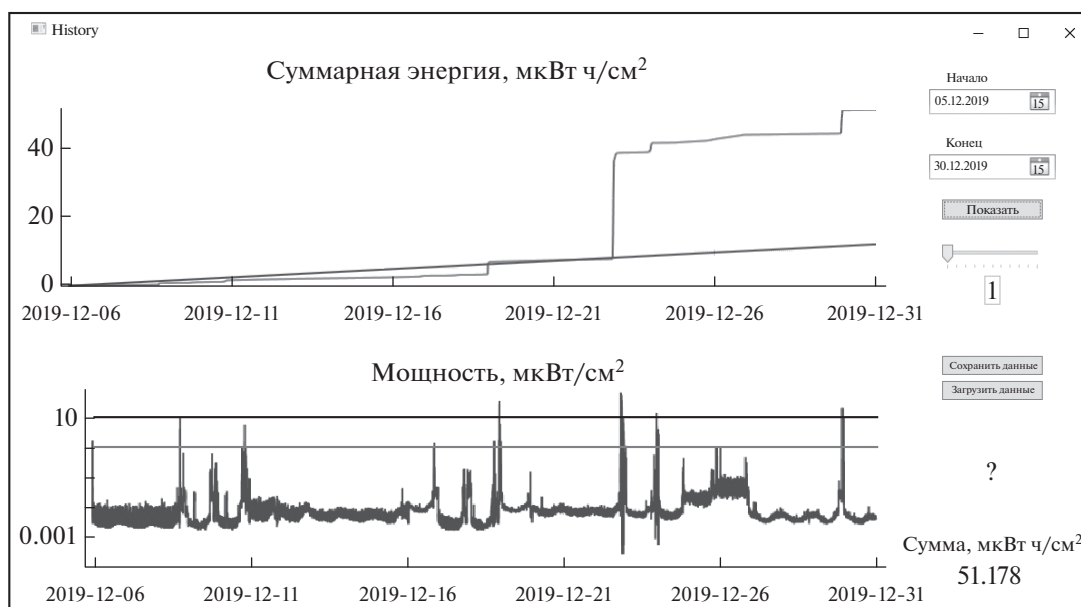


Рис. 10. Данные, полученные с устройства 3 за период с 05.12.2019 по 30.12.2019.

что в целом большую часть времени принимаемая мощность не превышала значения 0.1 мкВт/см^2 .

Третья зона соответствует временному промежутку с 09.01.2020 по 25.02.2020. Дозиметр в это время находился, как и ранее, в домашних условиях, однако теперь проводились длительные измерения с Wi-Fi-роутером, где устройство располагалось на расстоянии 10...20 см от роутера. Кроме того, были проведены измерения, в процессе которых дозиметр располагался непосредственно на роутере. Суммарно за это время дозиметром было накоплено $379.8 \text{ мкВт ч/см}^2$ энергии (300 мкВт ч/см^2 за время специальных измерений). Следует отметить, что в целом большую часть времени принимаемая мощность была выше значений 0.1 мкВт/см^2 , часто превышая значения 1 мкВт/см^2 . Во время специальных измерений с 18.01.2020 по 25.01.2020 (дозиметр располагался на роутере) значения принимаемой дозиметром мощности находились на уровне 10 мкВт/см^2 .

Наконец, рассмотрим четвертую зону временного интервала, с 26.02.2020 по 17.03.2020. Дозиметр в это время был подключен к персональному ком-

пьютеру и находился в режиме подзарядки на рабочем месте пользователя в одном из помещений ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. Суммарно за это время дозиметром было накоплено 3.6 мкВт ч/см^2 энергии. В целом результаты продемонстрировали низкие значения принимаемой мощности электромагнитного излучения на рабочем месте (средняя накопленная энергия за сутки составляет около 0.2 мкВт ч/см^2). Значения принимаемой мощности электромагнитного излучения большую часть времени находятся ниже уровня 0.1 мкВт/см^2 . Имеются отдельные пики, которые были зарегистрированы во время близкого расположения мобильного телефона к дозиметру. Они обусловлены телефонными разговорами и передачей данных через Wi-Fi/LTE/3G. Также наблюдается более ярко выраженная шумовая подложка (относительно предыдущих временных областей измерений), которая вызвана подключением дозиметра к внешнему источнику питания.

В табл. 4 приведены результаты измерений за период с 26.02.2020 по 17.03.2020 (без учета специальных измерений).

Таблица 3. Специальные измерения с устройством 3

Начало измерений	Режим работы	Окончание измерений	Интервал, сут	Накоплено, мкВт ч/см ²	Среднее за час, мкВт ч/см ²
18.12.2019 21:58	LTE	18.12.2019 22:58	0.042	3.5	3.5
22.12.2019 20:00	2G	22.12.2019 21:00	0.042	28.8	28.8
23.12.2019 23:41	2G	24.12.2019 1:01	0.056	2.53	1.89
29.12.2019 22:00	2G	29.12.2019 23:00	0.042	6.69	6.69

Таблица 4. Итоговые результаты измерений с устройством 3

Начало измерений	Окончание измерений	Накоплено, мкВт ч/см ²	Количество дней	Среднее в день, мкВт ч/см ²	Среднее в месяц, мкВт ч/см ²
05.12.2019	30.12.2019	9.7	26	0.4	1.2
31.12.2019	08.01.2020	2	9	0.2	6.7
09.01.2020	25.02.2020	79.8	48	1.67	49.9
26.02.2020	17.03.2020	3.6	21	0.2	5.1
ИТОГО					
05.12.2019	17.03.2020	95.1	104	0.91	27.4

Таким образом, при работе в городской среде значение принимаемого потока энергии излучения устройством 3 варьировалось в пределах 0.2...1.67 мкВт ч/см² в сутки, и среднее значение по всем измерениям составило 0.91 мкВт ч/см².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты измерений, проведенных с помощью трех дозиметров “Мера” в течение длительного времени в “персональных экологических пространствах пользователей”. Измерения проводились в разных условиях: в России и зарубежных странах, в мегаполисах и курортных зонах, круглосуточно, в городском транспорте и самолетах. Совокупность полученных данных на основе прямых долговременных измерений дает предварительную экспериментальную оценку о реальной электромагнитной микроволновой нагрузке, оказываемой современными средствами мобильной связи на среду, окружающую человека.

Опасения, связанные с потенциальной (или реальной) опасностью воздействия электромагнитного микроволнового излучения средств мобильной связи на здоровье человека, широко распространены, как в научной среде, так и в обществе [3–5]. Особенно остро этот вопрос встает сейчас, когда мир стоит на пороге широкого внедрения и использования мобильных средств пятого поколения и спутниковых низкоорбитальных средств связи с большим числом аппаратов, использующих новые диапазоны частот и, в силу своей многократно возрастающей пропускной способности, неизбежно повышающих микроволновую электромагнитную нагрузку на окружающую среду. О допустимых пределах этого возрастания размышляют не только экологи, медики и обычные граждане, которым придется жить в среде с повышенным уровнем “электромагнитного смога”, но и специалисты, непосредственно занимающиеся вопросами рационального использования электромагнитного спектра и продвижением мобильных систем связи новых поко-

лений и, зачастую, мнения первых [3–5] и вторых [6, 7], не совпадают.

Одна из целей данной работы — показать, что сейчас уже существуют методы и доступные индивидуальные технические устройства объективного персонального контроля уровня электромагнитной нагрузки, получаемой нашими гражданами со стороны мобильных средств связи, которыми они могут пользоваться в целях оценки своей безопасности. Кроме того, наличие таких средств дает возможность перевести дискуссию о реальном уровне электромагнитного смога и его влиянии на окружающую среду (включая человека и животных) в конструктивное русло количественных измерений и основанных на них выводах.

Вместе с тем нужно отчетливо понимать, что устройство “Мера” не является средством, предназначенным для точного измерения уровня излучения, например, в целях определения соблюдения санитарных норм на рабочих местах. Для этого существует профессиональная аппаратура и разработаны специальные методики измерений.

Возможно, устройства типа “Мера” со временем смогут выполнять такую роль при соответствующем согласовании принципов и методов измерений с соответствующими рекомендациями нормативных документов. Такая потенциальная возможность имеется, поскольку “Мера” — устройство XXI века, с возможностями, которые были недоступны на измерительной аппаратуре предыдущих поколений, и допускающими гибкую адаптацию программного обеспечения для реализации требуемых методик измерений. Конечно, в этом случае нужна и соответствующая сертификация.

Пока же прибор нужно рассматривать как компактное и доступное для широкого круга пользователей средство качественной оценки уровня электромагнитной обстановки в “персональном экологическом пространстве” и его динамики на интервалах времени от нескольких минут до нескольких месяцев.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность О.Г. Баринову за участие в проведении измерений с дозиметром “Мера”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев А.С., Ицков В.И., Рыжов А.И., Уваров А.В.* // Физические основы приборостроения. 2020. Т. 9. № 1. С. 85.
2. Электромагнитное излучение радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. М.: Госкомсанэпиднадзор, 2002.
3. *Зубарев Ю.Б.* Мобильный телефон и здоровье. М.: Библио Глобус, 2018.
4. *Григорьев Ю.Г., Григорьев О.В.* Сотовая связь и здоровье (электромагнитная обстановка. Радиобиологические и гигиенические проблемы. Прогноз опасности). М.: Экономика, 2016.
5. *Григорьев О.А., Зубарев Ю.Б.* // Вестник связи. 2019. № 9. С. 46.
6. *Гурьянов И., Посакаухин В., Хоменко В. и др.* // Стандарт. 2019. № 7–8. С. 60.
7. *Аверин И.М.* // Крылья родины. 2019. <http://www.krmedia.ru/news/samoletostroenie/elektromagnitnaya-gigiena-dvustoronnee-dvizhenie-proizvoditelya-i-polzovatelya/>.