

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРА МИКРОВОЛНОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ «МЕРА»

А. С. Дмитриев¹, В. В. Ицков¹, А. И. Рыжов¹, О. А. Григорьев²
¹ Институт радиотехники и электроники им В.А. Котельникова РАН,
125009, Москва, Моховая, 11/7

² Национальный научно-исследовательский центр безопасности новых технологий,
109028, Москва, Яузская, 1/15-1

Статья поступила в редакцию 29 июня 2020 г.

Аннотация. 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 условиях электромагнитное поле радиочастотного диапазона может быть вредным для здоровья и оказывать неблагоприятное действие на экологические системы. Анализ данных показывает, что электромагнитное загрязнение имеет крайне неравномерную пространственную и временную структуру. Это означает, в частности, что его одномоментное измерение в произвольной точке селитебной территории может быть малоинформативным с точки зрения прогноза и оценки возможных медико-биологических эффектов. Характеристика персональной экспозиции важна в современных условиях как для задач предупредительного санитарного и экологического надзора за состоянием электромагнитного фактора в окружающей среде, так и для исследовательских задач, в частности, при эпидемиологических исследованиях. Решение этой задачи требует создания специальных измерительных устройств – дозиметров электромагнитного поля радиочастотного диапазона. Такое устройство – персональный дозиметр «МЕРА» – было создано в ИРЭ им В.А. Котельникова РАН. В работе представлены описание устройства, его технические

характеристики и результаты апробации, проведенной с помощью опытных образцов дозиметра «Мера» в течение длительного времени. Измерения проводились в разных условиях: в России и зарубежных странах, в мегаполисах и курортных зонах, круглосуточно, в городском транспорте и самолетах.

Ключевые слова: электромагнитный смог, дозиметр, персональное экологическое пространство, микроволновое излучение.

Abstract. An increase in the intensity of electromagnetic microwave radiation of anthropogenic origin in the surrounding space in recent years has led to the fact that the majority of the world's population is forced to constantly be in an environment contaminated with these emissions - the “electromagnetic smog”. At certain levels of power density of microwave radiation (the bottom border is not well investigated) it can have a negative effect on people and the biological environment as a whole. Analysis of the situation shows that, unlike a number of other types of pollution, electromagnetic pollution has an extremely uneven spatial and temporal structure. This means, in particular, that its simultaneous measurement in some place and time may be uninformative in terms of assessing the impact on the biological environment. Correct understanding of the level of exposure requires rather long-term measurements that must be carried out (and their results must be recorded) either for a specific place or for a specific biological object (for example, a person) or even a certain part of it. These measurements will provide a picture of the intensities of electromagnetic pollution over time (and to some extent in space, in case of biological objects measurements, since the time is recorded in the records by which the location of measurements can be restored) as well as the total microwave electromagnetic energy taken per unit area. The solution of this problem requires the creation of special measuring devices - dosimeters of microwave electromagnetic radiation. Such a device - a personal dosimeter "MERA" was developed in the IRE RAS. The description of device, specifications, results of the measurements carried out using some dosimeters for a long time are presented in the work. The measurements were carried out in different conditions: Russia and foreign countries, megapolis and resort areas, twenty four hours a day, in public transport and airplanes.

The totality of the data obtained on the basis of direct long-term measurements gives a preliminary experimental assessment of the real electromagnetic microwave load that is created by modern means of mobile communication and affecting environment surrounding a person.

Key words: electromagnetic smog, dosimeter, personal ecological space, microwave radiation.

Введение

Существующая в нашей стране система санитарно-эпидемиологического надзора за источниками электромагнитного поля радиочастот складывалась около 50 лет. Поскольку в ее основу был положен контроль за конкретными передающими радиотехническими объектами (ПРТО), система прежде всего эффективна для контроля соблюдения предельно допустимого уровня (ПДУ) вблизи крупных единичных ПРТО, таких как теле- и радио- вещательные центры и т.п. Система ПДУ ЭМП для населения сопровождается методиками измерения фактических значений электромагнитного поля, которые в первую очередь предназначены для проверки расчетных значений санитарно-защитных зон (СЗЗ) и зон ограничения застройки (ЗОЗ), а также для планово-предупредительного контроля земель, предназначенных для строительства жилых и общественных зданий, дорог, улиц, площадей в пределах городов и посёлков городского типа (селитебных территорий) [3].

Однако сегодня состав и структура ПРТО и других источников РЧ, значимых для населения, принципиально отличается от того состава, который был в период формирования основ контроля за ЭМО РЧ: в городских условиях отдельно стоящие ПРТО вытеснены многочисленными базовыми станциями подвижной сотовой связи и другими относительно маломощными источниками ЭМП РЧ, в том числе абонентскими терминалами и роутерами Wi-Fi. К настоящему времени неоднократно обсуждалось, что прежние методы санитарно-эпидемиологического надзора не решают задачи надзора и контроля соблюдения ПДУ, так как на практике невозможно обеспечить требования

методик измерений и расчета, что ставит под сомнение адекватность самой системы санитарно-эпидемиологического надзора за современными источниками ЭМП РЧ прежде всего в городских условиях [4]. Декларируемое развитие систем интернета вещей, использование активных фазированных решеток (АФАР) в системах LTE и прототипах 5G еще более усложнит традиционный подход к контролю за соблюдением санитарных норм ЭМП РЧ.

В связи с этим обсуждаются различные подходы к контролю за условиями воздействия ЭМП РЧ на население, в том числе методы мониторинга ЭМО на селитебной территории и методы учета индивидуальной энергетической экспозиции. Последний подход ранее применялся для условий производственного воздействия, однако, как было показано нами ранее, в настоящее время условия ЭМ экспозиции основного населения практически такие же, как были ранее в производственных условиях [5].

Реализация учета индивидуальной энергетической экспозиции ЭМП РЧ является известной, но не решенной задачей как для радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений, так и для радиотехники. Отсутствие данных об условиях облучения пользователей сотовой связи много лет является перманентной проблемой при обсуждении результатов эпидемиологических исследований, поскольку ретроспективный анализ не позволяет достоверно установить связь между продолжительностью использования абонентского терминала и реальной энергетической экспозицией, в том числе из-за отсутствия данных о суммарной экспозиции [6].

Статья посвящена разработке программно-аппаратного комплекса «МЕРА» по учету индивидуальной энергетической экспозиции электромагнитных полей, излучаемых сотовыми средствами связи и его экспериментальной апробации.

Идея создания комплекса родилась несколько лет назад на конференции по сверхширокополосным сигналам и системам в Суздале, после эмоционального выступления Ю.Б. Зубарева, посвященного экологическим проблемам сотовой связи. В ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН к этому времени имелся

значительный опыт как по приему и обработке сверхширокополосных сигналов, так и по энергетическому приему любых сигналов в сверхшироких и гипершироких полосах микроволнового диапазона. Этот опыт и был использован при создании дозиметра «МЕРА».

Принцип работы дозиметра «Мера» основан на накоплении падающей на единицу площади совокупной мощности электромагнитного излучения от любых источников в диапазоне частот 800...8000 МГц, включая средства мобильной связи и Wi-Fi. Получаемые данные дают оценку плотности мощности в реальной, зависящей от времени и местоположения электромагнитной обстановке. Однако их не следует напрямую сравнивать с результатами измерений, выполняемыми по методикам, регламентируемым документами СанПиН [3]. Последние выполняются 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 такие измерения обеспечивают качественные и достаточно точные «статические» измерения уровня излучения, выполняя тем самым важную роль при сертификации передающей аппаратуры. Однако рекомендации СанПиН не предполагают долговременных измерений реальной электромагнитной обстановки и не могут быть использованы в мобильных условиях.

В статье описываются конструкция дозиметра и его технические характеристики, рассматриваются результаты измерений интегрального уровня микроволнового электромагнитного излучения. Измерения проводились в течение 12 месяцев в различных условиях городской среды и в разных регионах, как нашей страны, так и за рубежом.

В экспериментах с дозиметрами «МЕРА» использовалось около 10 устройств. Наибольший объем измерений приходился на устройства с номерами 1, 5 и 6, результаты измерений с которыми представлены в разделе 5.

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.

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 МГц 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 (раз в секунду) измеряет мощность, поступающего на антенну электромагнитного микроволнового сигнала, и записывает его 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 минуты отсчетов суммарная энергия записывается в постоянную энергонезависимую память, и такие данные могут записываться в течение длительного времени. Максимальное время записи составляет более 6 месяцев. 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 минута, 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, который периодически мигает зеленым цветом, если уровень заряда выше критического, и красным цветом, если уровень заряда снизился и стал ниже критического. При этом устройство продолжает работать до полного исчерпания заряда, после чего индикатор гаснет.



Рис. 1. Внешний вид устройства и его упаковки
Конструкция устройства и его технические характеристики описаны в [1].

Устройство имеет размеры 85x50x5 мм.

Масса устройства менее 30 г.

Каждое экземпляра 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. Она имеет несколько режимов работы. Перед запуском программы дозиметр через micro-USB кабель подключается к компьютеру.

Запуск программы управления дозиметром осуществляется с помощью файла «Radiodoze.exe», после чего на экране появляется основное окно программы (рис. 2).

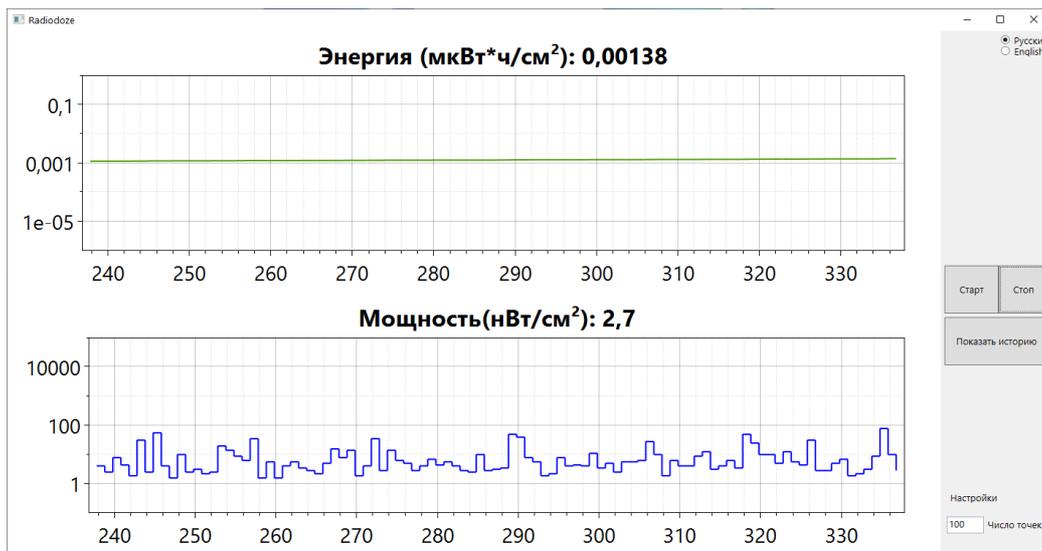


Рис. 2. Окно программы при отображении работы устройства в реальном времени.

Для работы устройства в реальном времени необходимо нажать на кнопку «Старт» в основном окне программы. Постепенно верхний и нижний графики начнут заполняться данными, и появится картина, аналогичная картине на рис. 2.

Остановка работы программы в режиме реального времени осуществляется при нажатии кнопки «Стоп».

Количество точек на графике по умолчанию равно 10, этот параметр меняется в правом нижнем углу экрана, где задаётся значение для «Число точек». Его можно менять в ходе работы программы.

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

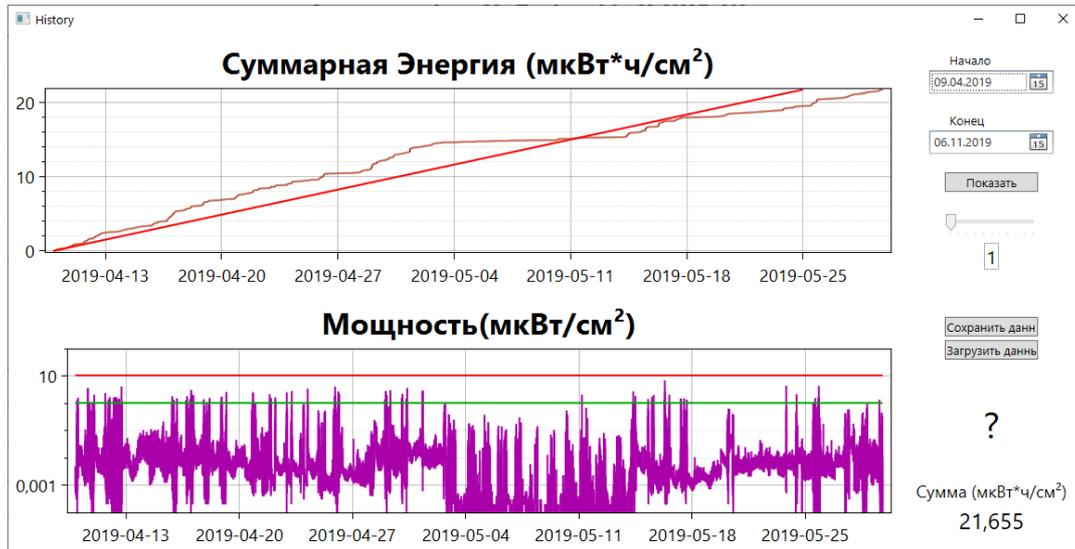


Рис. 3. Окно программы при выводе записанной истории: интегральная принятая энергия (верхний график); текущая принимаемая мощность (нижний график)

Справа от графика в окошках можно выбирать даты начала и конца интересующего периода времени. По умолчанию при первом открытии окна истории даты начала и конца периода выбираются минимальной (дата запуска дозиметра) и максимальной (настоящее время), соответственно. После выбора дат нужно нажать на кнопку «Показать» для обновления информации. Под этой кнопкой отображается суммарная энергия, принятая дозиметром за выбранный временной интервал.

3. Предварительные исследования

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

После этого с использованием нескольких образцов была проведена оценка уровня микроволновых полей в различных условиях.

Оценка интенсивности излучения в окрестности смартфона. На рис. 4а показано поведение плотности электромагнитного поля на расстоянии 10 см от смартфона, работающего в режиме точки доступа WiFi при передаче видеопотока на другой смартфон. Из графика видно, что мощность время от времени превышает несколько микроватт на квадратный сантиметр, но не достигает уровня 10 мкВт/см^2 .

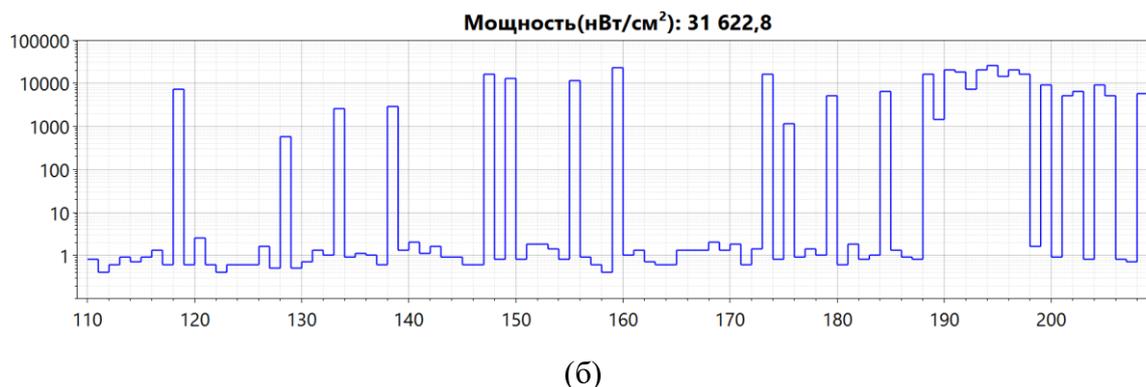
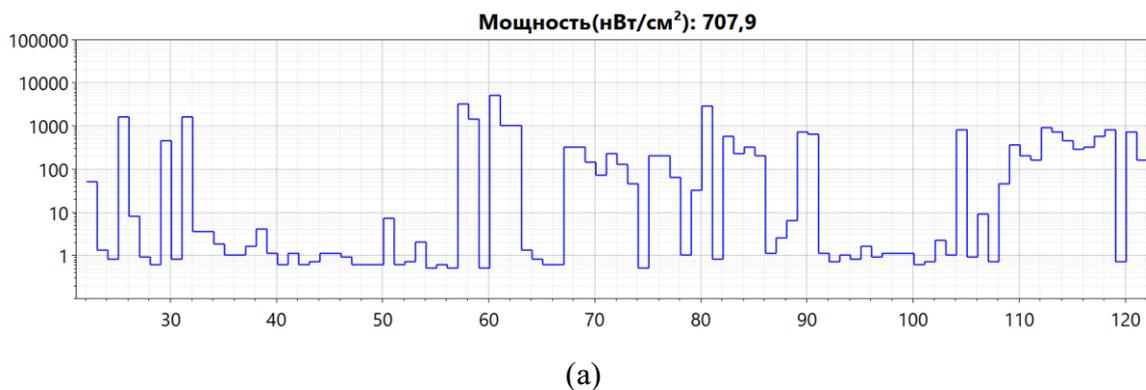


Рис. 4. Режим реального времени. Работа смартфона в режиме точки доступа Wi-Fi: (а) расстояние до дозиметра 10 см; (б) расстояние до дозиметра 1 см.

Ситуация в значительной степени меняется, если поднести дозиметр на расстояние в 1 см. В этом случае значительную часть времени уровень сигнала превышает 10 мкВт/см^2 и достигает значений в несколько десятков мкВт/см^2 (рис. 4б).

Группы измерений проводились также в метро, как на станциях, так и внутри поездов с различным числом активно работающих смартфонов в радиусе до трех метров, в автобусе при движении по центральной магистрали в домашних и офисных условиях.

Эксперименты в метрополитене. В настоящее время метро в крупных городах может являться местом повышенного уровня электромагнитного излучения. Это вызвано следующими причинами:

- повышенный уровень излучения сигнала мобильными телефонами в виду сложности установления связи с базовыми станциями;
- значительная плотность мобильных телефонов в вагонах метро (до 1...3 на квадратный метр) в часы «пик»;
- наличие Wi-Fi роутеров внутри вагонов;
- все вышеуказанные источники электромагнитного излучения находятся внутри металлического вагона, где сигнал отражается от его стенок, что может приводить к усилению электромагнитного излучения.

В ходе испытаний дозиметра «Мера» были проведены оценочные эксперименты по определению уровня электромагнитного излучения в московском метрополитене.

В экспериментах использовалось следующее оборудование: измеритель уровней электромагнитных полей EMR-300; дозиметр «Мера»; ноутбук с соответствующим ПО для обработки сигналов с дозиметра.

На перроне станции метрополитена прибором EMR-300 были зафиксированы значения в диапазоне 0.5...1.5 мкВт/см². Затем были проведены измерения внутри вагона метро, при среднем заполнении пассажирами. Результаты измерений при помощи EMR-300 показали пиковые значения принимаемой мощности электромагнитного излучения в пределах 0.5...10 мкВт/см².

Далее в течении нескольких дней производилось снятие показаний дозиметра при поездках в вагоне метро. Это позволило определить диапазон изменений принимаемой мощности излучения. Он составил от 0.1 до 8 мкВт/см², что в целом согласуется с данными измерений, полученных в контрольных измерениях с помощью измерителя электромагнитного поля EMR-300.

4. Систематические измерения

Систематические измерения электромагнитной обстановки проводились в течение достаточно длительного времени с использованием нескольких устройств «Мера». Ниже описаны их основные результаты.

Устройство 1 (№1). Измерения производились с апреля 2019 года по апрель 2020 года. Первый этап исследований продолжался около двух месяцев с 04.04.2019 по 29.05. 2020. На нем, в том числе, определялась максимальная длительность работы устройства без подзарядки. Она по результатам измерений составила более 50 суток.

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 именно по этой серии измерений представлены на рис. 3.

Эти данные 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 середину по 12 мая, соответствуют 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 внутри суточным 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, снятых 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 5 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 суток (рис. 5).

Для измерений, проведенных в этот период характерна 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 центре теоретической физики в окрестности Триеста, о которых шла речь выше.

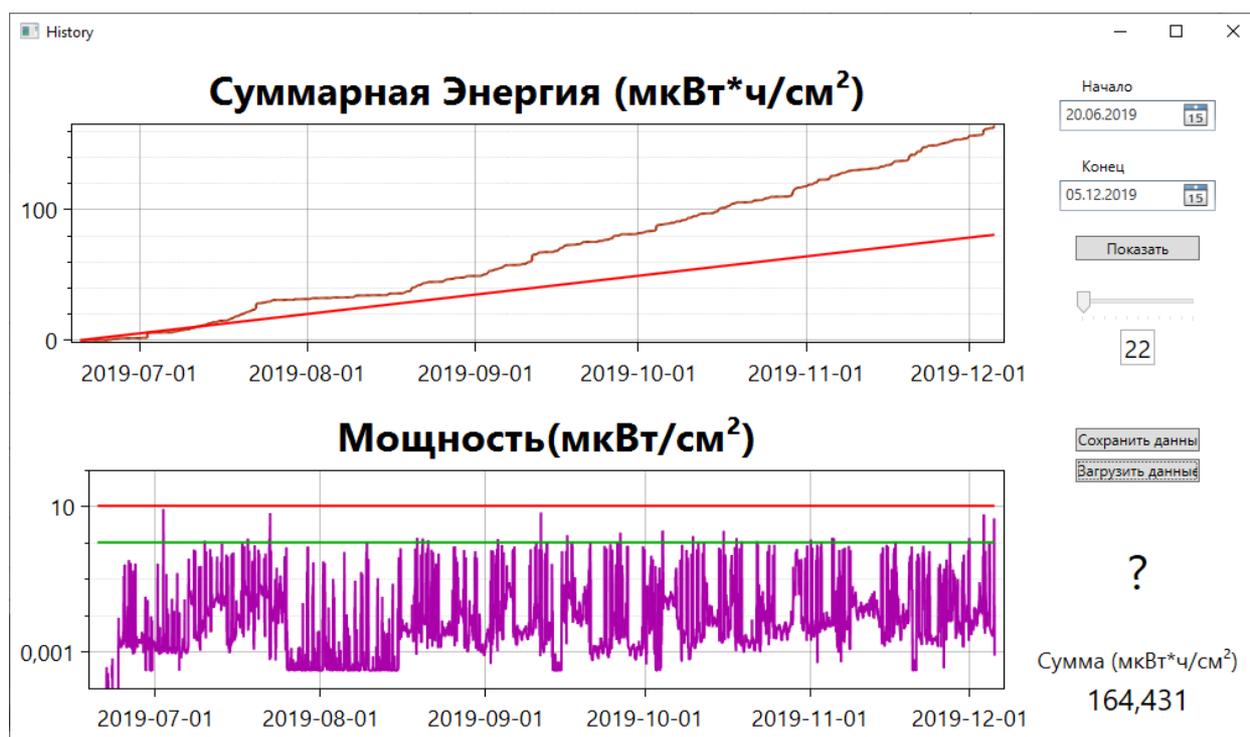


Рис. 5. История измерений с 22.06.2019 по 07.12.2019.

Следующая серия измерений с 05.12.2019 по 05.03.2020 года (рис. 6). Здесь наиболее интересным является временной участок 05.12.19 по 07.02.20, на котором 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 видеoinформацией, дозиметр находился на расстоянии не более одного сантиметра от излучающего устройства. Пользователь достаточно аккуратно работал со смартфоном: в среднем не более часа в сутки в режиме телефонного разговора и столько же в режиме монитора при обмене информации. Визуально картина для одинаковых характерных участков (городские условия, рабочие месяцы) картины при ношении дозиметра в кармане (сумке) и в обложке смартфона различаются слабо (см. рис. 3 и 6). Однако количественно фиксируемая энергия излучения во втором случае примерно в 1.5 раза больше. В первом случае около $30 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ за месяц, во втором - около $45 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ за месяц. В пересчете на сутки поток энергии на единицу площади, фиксируемый дозиметром, составляет примерно 1.0 и $1.5 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$.

Относительно небольшая разница в результатах измерения при ношении дозиметра в кармане (сумке) и обложке смартфона позволяет заключить, что вклады в общий объем принимаемой 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 одного часа в день, логично предположить, что при увеличении среднего времени использования смартфона до 4 (8) часов соотношение между фоном и рабочим режимом по принимаемой энергии будет составлять 2:4 (2:8), а общие принимаемые объемы, соответственно, 4 и 8 мкВт*час/см².

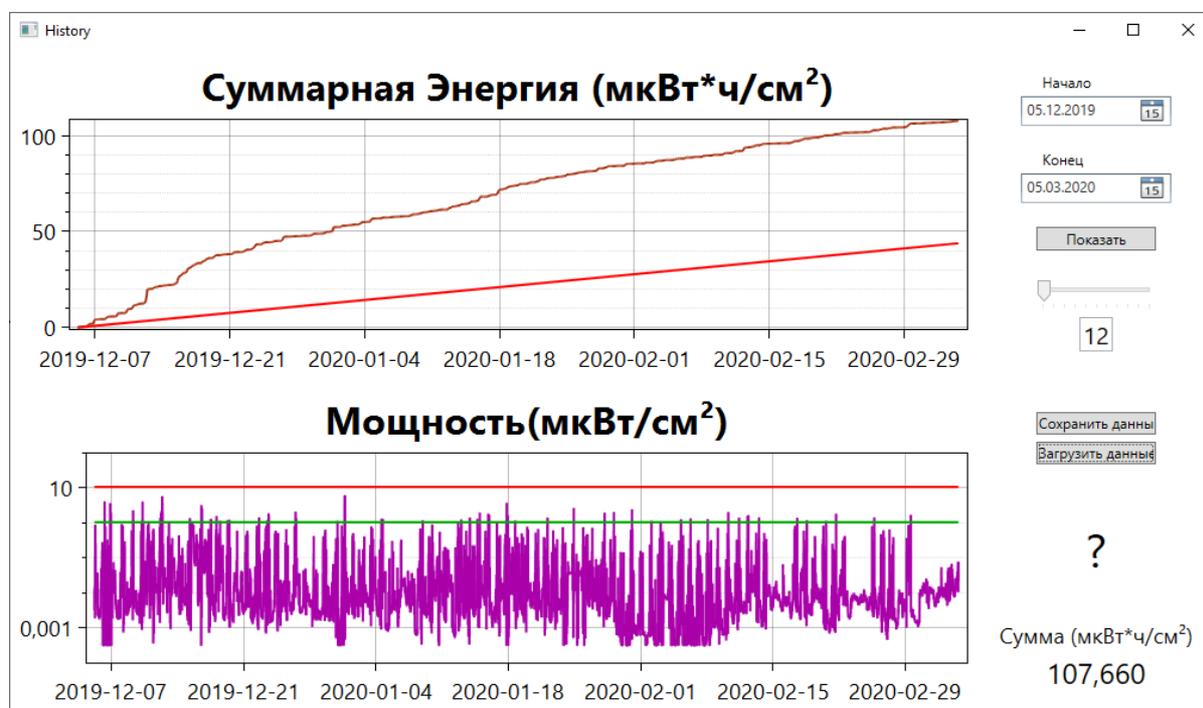


Рис. 6. История измерений с 05.12.2019 по 5.03.2020.

Отсюда можно сделать вывод, что энергетическая нагрузка в виде падающего электромагнитного излучения в значительной степени определяется общим уровнем электромагнитного 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.

Устройство 2 (№ 5). Этот дозиметр использовался в период с 21.10.2019 по 05.12.2019. Суммарно устройством была зарегистрирована принятая энергия в объеме $147.1 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ (сюда включена, в том числе, энергия, накопленная в ходе специальных измерений, без них значение составляет $20.1 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$).

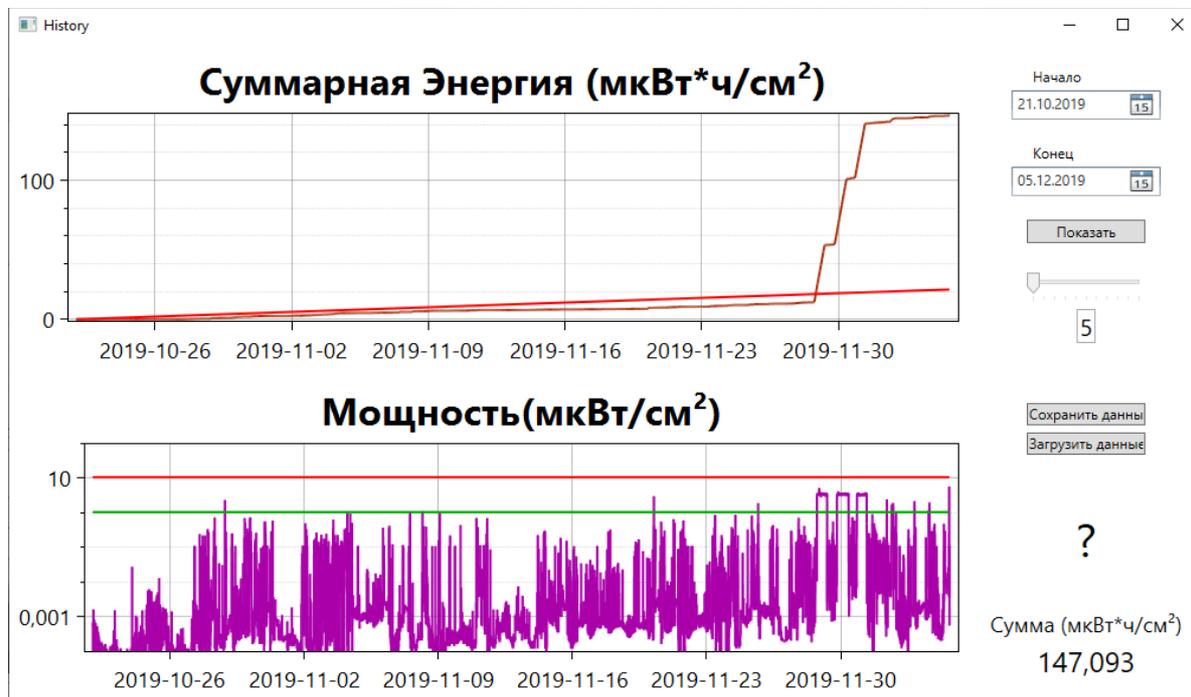


Рис. 7. Данные, накопленные дозиметром 2 за всё время использования.

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

По характеру данных здесь можно выделить 6 основных зон.

Первая зона соответствует временному промежутку с 21.10.2019 по 01.11.2019. На рис. 8 эти данные приведены с детальным разрешением по времени. Дозиметр в это время находился в рюкзаке рядом с телефоном. В это время испытуемый преимущественно находился дома в начале периода, а затем последовал более активный этап с поездками в транспорте и работой.

Суммарно за это время дозиметром было накоплено $2.5 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ энергии. Можно отметить, что большую часть времени принимаемая мощность не превышала значения $0.1 \text{ мкВт}/\text{см}^2$. Отдельные интервалы времени с

превышением уровня 1 мкВт/см^2 соответствуют передвижению в метро и активной передаче данных с телефона.

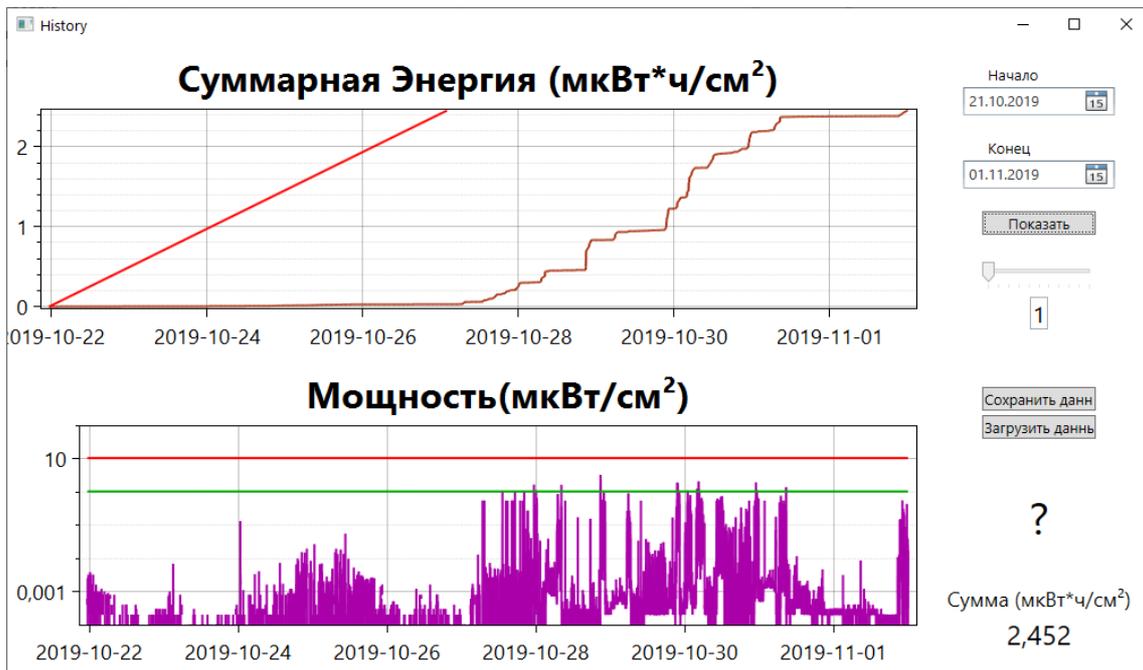


Рис. 8. Данные, полученные за период с 21.10.2019 по 01.11.2019.

Вторая зона соответствует временному промежутку с 02.11.2019 по 04.11.2019. На рис. 9 эти данные приведены с более высоким разрешением по времени. Дозиметр в это время находился по-прежнему в рюкзаке рядом с телефоном, однако пользователь при этом переехал из Москвы в пригород. Суммарно за это время дозиметром было накоплено 2.1 мкВт*ч/см^2 энергии.

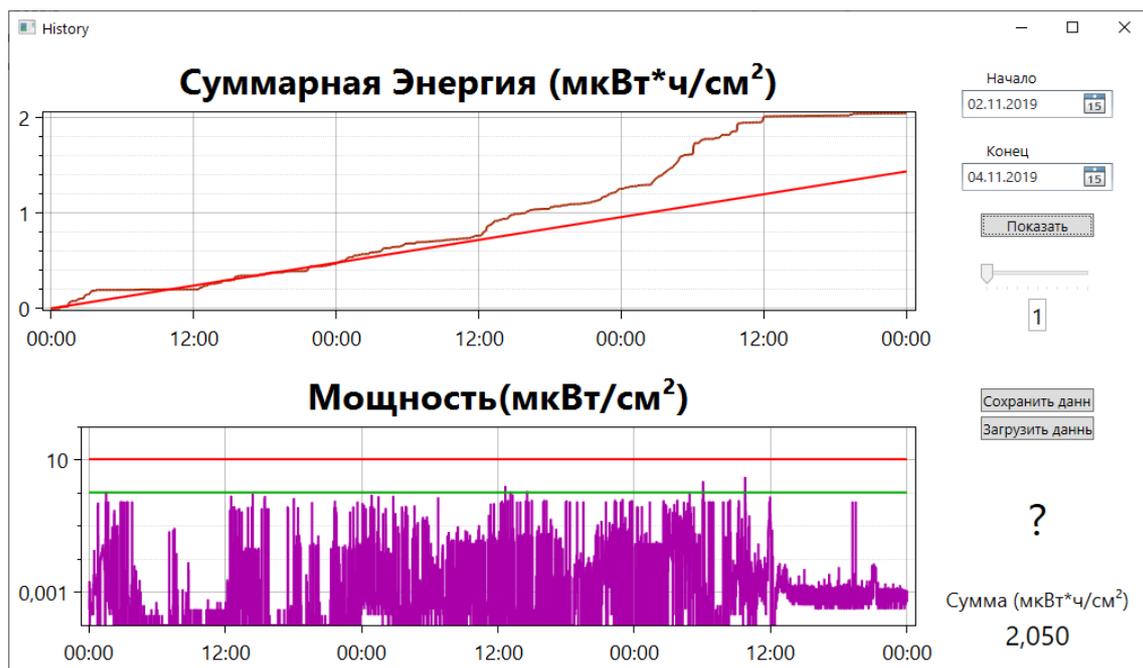


Рис. 9. Данные, полученные за период с 02.11.2019 по 04.11.2019.

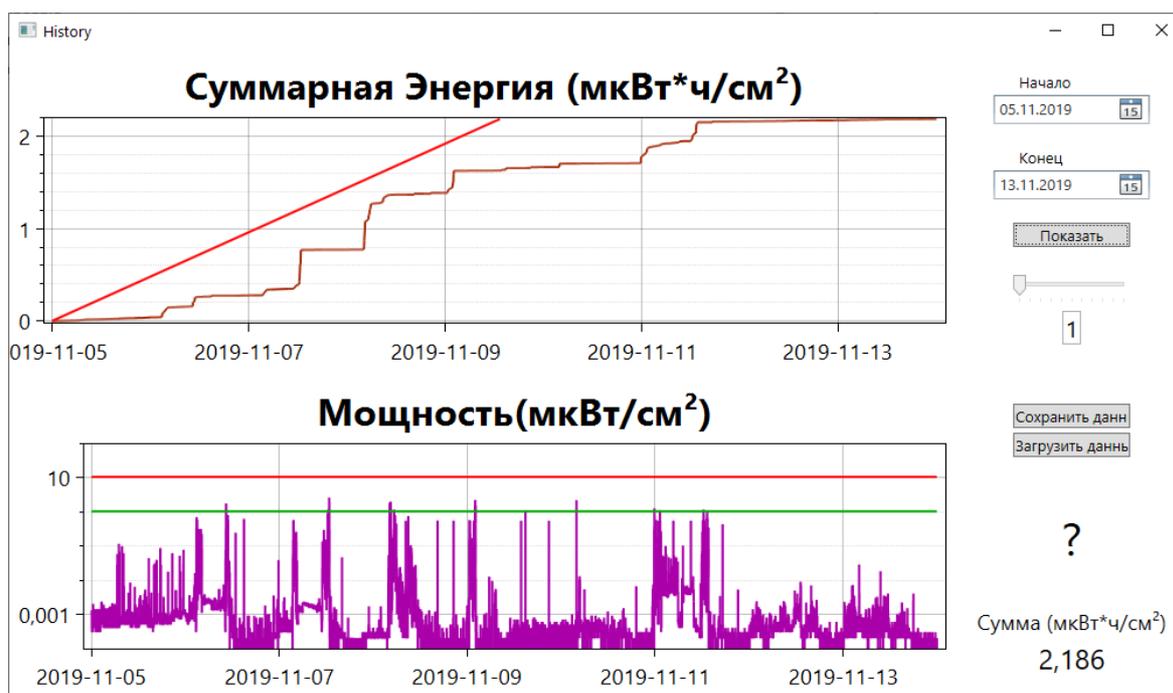


Рис. 10. Данные, полученные за период с 05.11.2019 по 13.11.2019.

Третья зона соответствует временному промежутку с 05.11.2019 по 13.11.2019 (рис. 10). Дозиметр в это время находился в рюкзаке. Интервал похож на первый, здесь пользователь находился преимущественно или на работе, или дома, или в транспорте. Суммарно за это время дозиметром было накоплено $2.2 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ энергии.

Четвёртый временной интервал находится в промежутке с 14.11.2019 по 26.11.2019 (рис. 11). Дозиметр в это время располагался в рюкзаке, а пользователь большую часть времени проводил на работе, дома или в транспорте. Суммарно за это время дозиметром было накоплено $4.6 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ энергии. Стоит отметить, что на графике имеется область с изменённой 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).

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

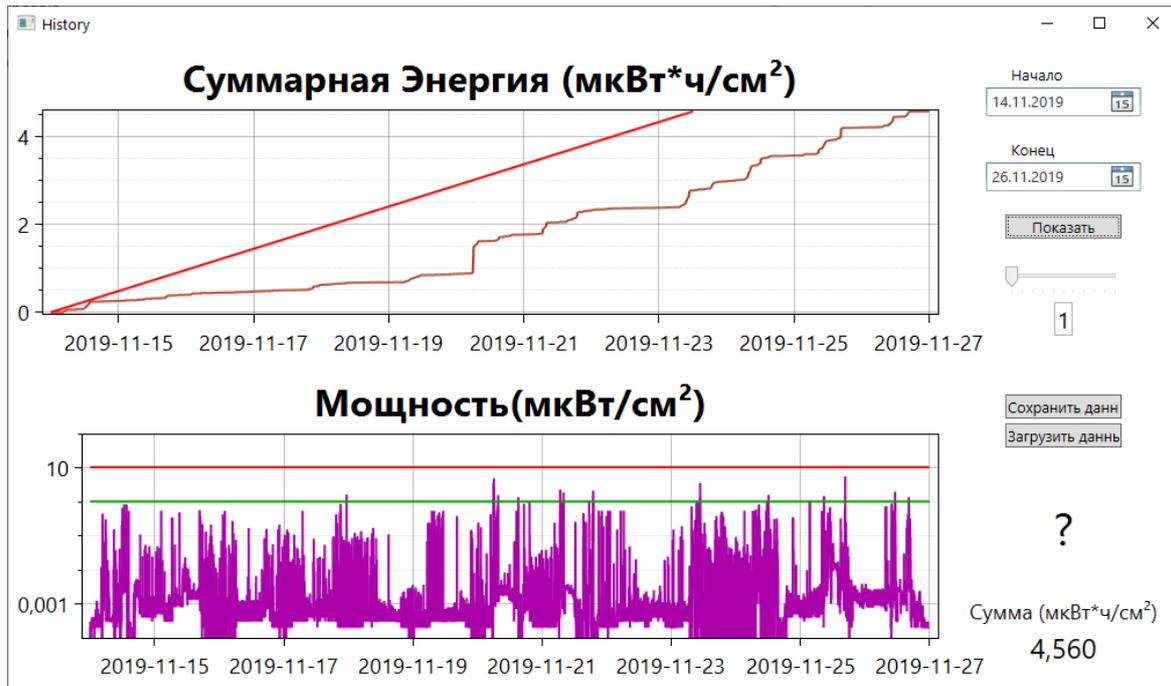


Рис. 11. Данные, полученные за период с 14.11.2019 по 26.11.2019.

В ходе поездки были также проведены специальные измерения, когда дозиметр располагался рядом с Wi-Fi роутером. На рис. 12 изображён график, полученный во время этой поездки, и на нём 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 2...5 мкВт/см². Сводные результаты по этим экспериментам приведены в таблице 1. Всего в ходе этих испытаний было накоплено 127 мкВт*ч/см² энергии.

Таблица 1. Специальные измерения при расположении дозиметра рядом с Wi-Fi роутером.

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

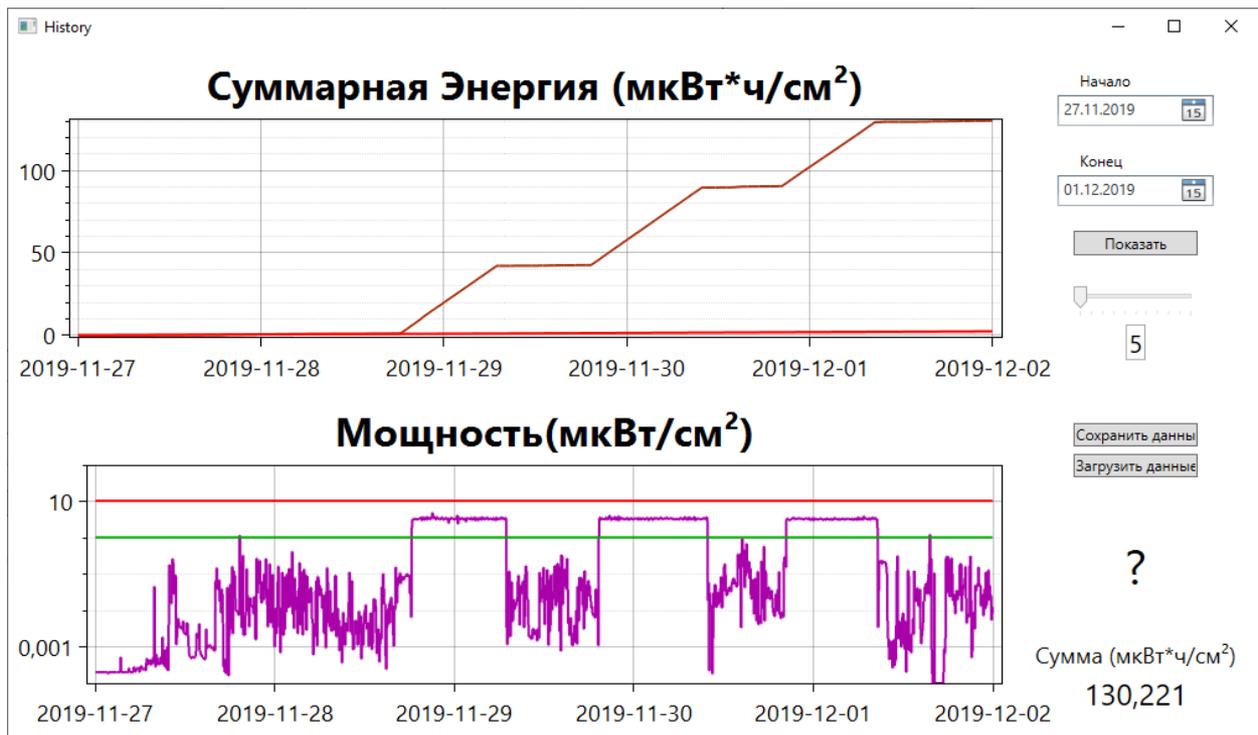


Рис. 12. Данные, полученные за период с 27.11.2019 по 01.12.2019.

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

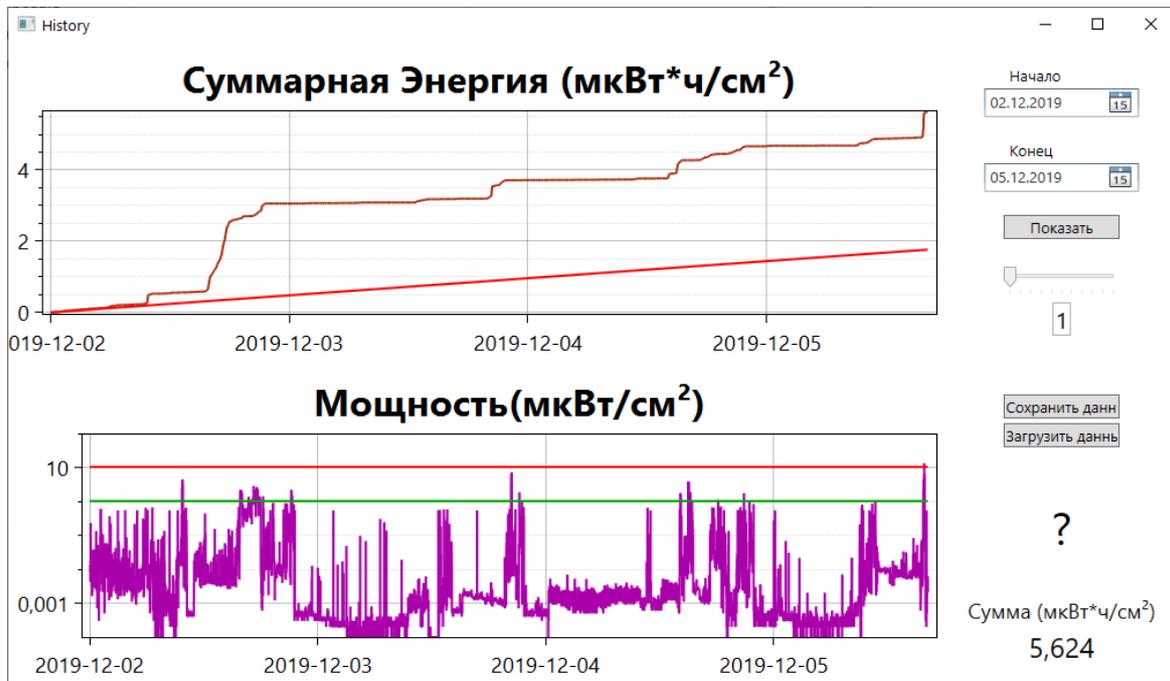


Рис. 13. Данные, полученные за период с 02.12.219 по 05.12.2019.

Наконец, последняя, шестая временная зона (рис. 13) соответствует возвращению в Москву и нахождению там в обычном городском режиме с 02.12.2019 по 05.12.2019. Дозиметр находится внутри рюкзака рядом с телефоном, а характер графиков соответствует аналогичным графикам для первой и третьей временных зон. Суммарно за это время дозиметром было накоплено $5.6 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ энергии.

В таблице 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 $0.2 \dots 1.4 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ в сутки, и среднее значение принимаемой за сутки энергии по всем измерениям составило $0.43 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$.

Таблица 2. Итоговые результаты измерений с устройством 2.

Начало измерений	Окончание измерений	Накоплено ($\text{мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$)	Число дней	Среднее в сутки ($\text{мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$)	Среднее в месяц ($\text{мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$)
21.10.2019	01.11.2019	2.5	12	0.2	6
02.11.2019	04.11.2019	2.1	3	0.7	21
05.11.2019	13.11.2019	2.2	9	0.2	7.3
14.11.2019	26.11.2019	4.6	13	0.3	10
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

Устройство 3 (№ 6). Измерения с помощью устройства проводились в период с 05.12.2019 по 17.03.2020. При этом суммарно устройством была зарегистрирована принятая энергия в количестве $436.6 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ (без учёта специальных измерений – $94.1 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$).

На рис. 14 приведены общие графики принятой суммарной энергии (в $\text{мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$) и мощности ($\text{мкВт}/\text{см}^2$), полученные за всё время эксплуатации

дозиметра. На графике принятой суммарной энергии можно видеть, что наибольший вклад в накопленное излучение дали специальные измерения, проводившиеся в конце декабря 2019 года и в конце января 2020 года.

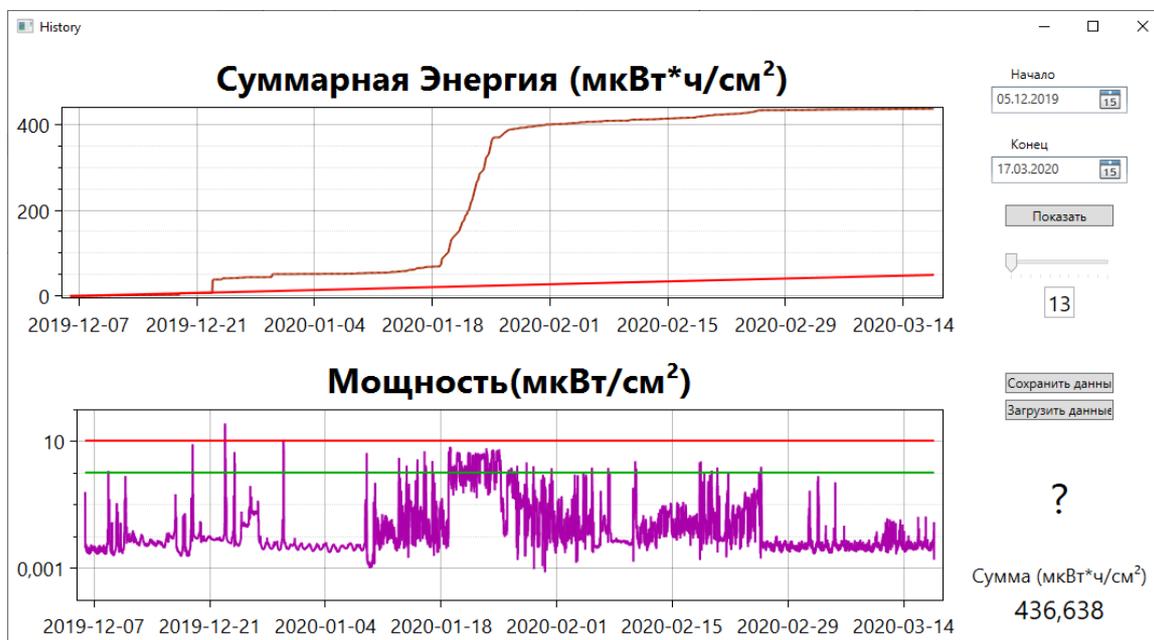


Рис. 14. Данные, накопленные дозиметром 3 за всё время использования.

По характеру данных здесь можно выделить 4 основные зоны.

Первая зона соответствует временному промежутку с 05.12.2019 по 30.12.2019. На рис. 15 эти данные приведены более детально. Дозиметр в это время находился в кармане рубашки пользователя, в то время как он ходил на работу и ездил в общественном транспорте. Иногда дозиметр оставлялся 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.

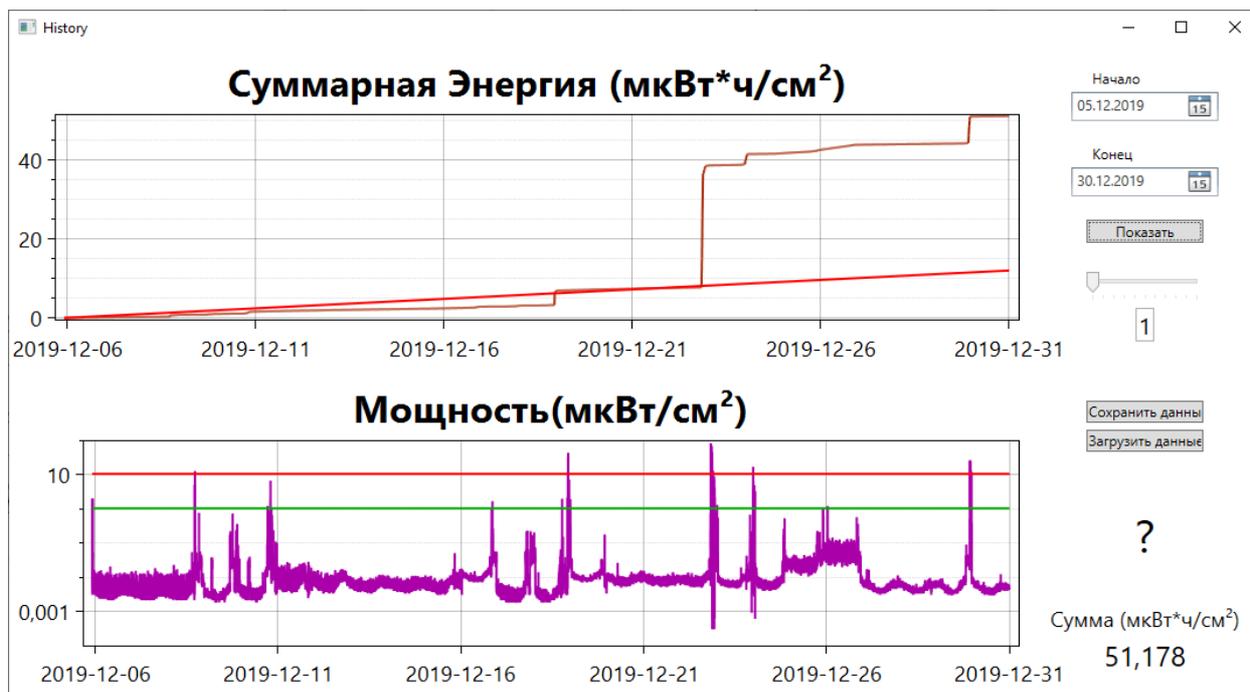


Рис. 15. Данные, полученные за период с 05.12.2019 по 30.12.2019.

Интервалы времени, на которых производились эти измерения, характеризовались быстрым нарастанием накопленной принятой энергии, и хорошо видны в виде скачков накопленной энергии на рис. 15. В ходе испытаний телефон находился в режиме звонка в течение часа, дозиметр располагался непосредственно на телефоне. Этим измерениям соответствуют также пики на рис. 15, превышающие значения 10 мкВт/см^2 . Подробные количественные характеристики приведены в табл. 3.

Таблица 3. Специальные измерения с дозиметром 3.

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

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 (таблица 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. На рис. 16 эти данные приведены с более детальным разрешением по времени. Дозиметр в это время находился в домашних условиях в удалении от каких-либо источников микроволнового излучения. В праздничное время суммарно дозиметром было накоплено $2.0 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ энергии. Можно отметить, что в целом большую часть времени принимаемая мощность не превышала значения $0.1 \text{ мкВт}/\text{см}^2$.

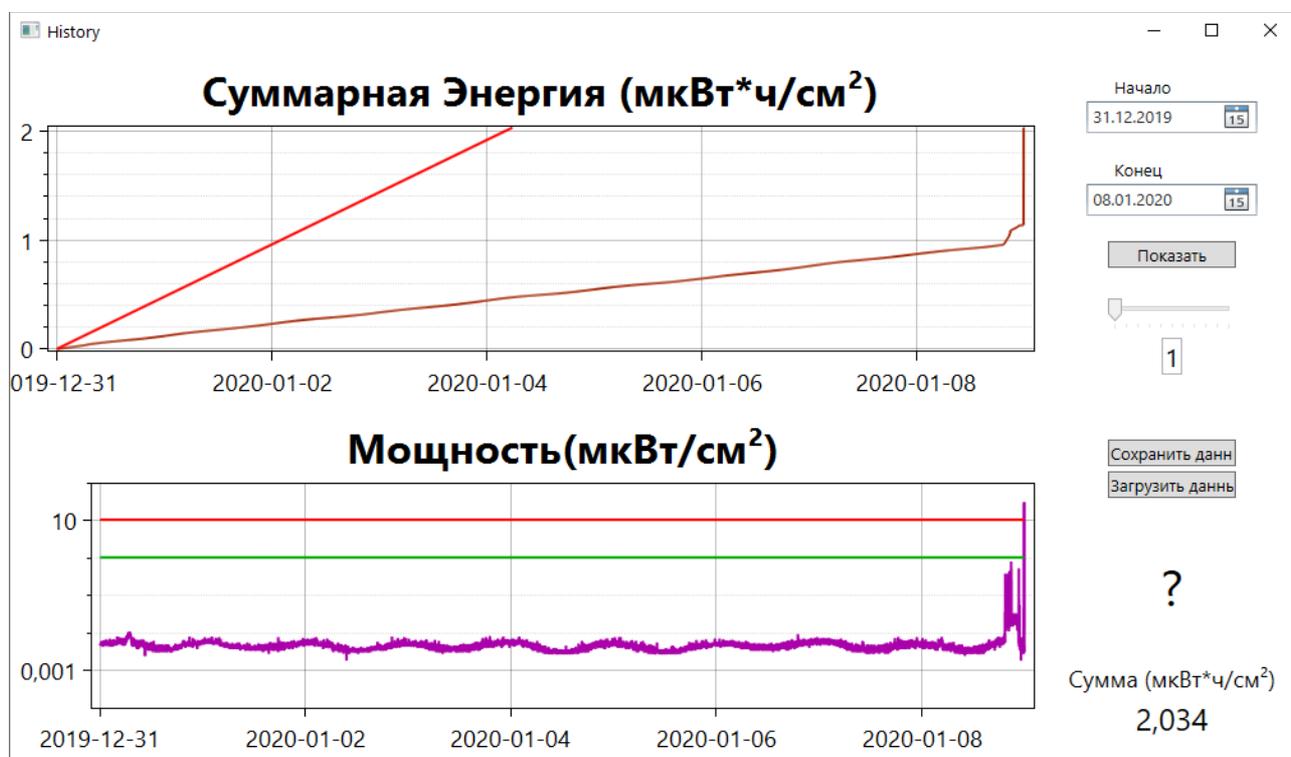


Рис. 16. Данные, полученные за период с 31.12.2019 по 8.01.2019.

Третья зона соответствует временному промежутку с 09.01.2020 по

25.02.2020. На рис. 17 эти данные приведены с более детальным разрешением по времени. 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 $379.8 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ энергии ($300 \text{ мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ за время специальных измерений). Следует отметить, что в целом большую часть времени принимаемая мощность была выше значений $0.1 \text{ мкВт}/\text{см}^2$, часто превышая значения $1 \text{ мкВт}/\text{см}^2$. Во время специальных измерений с 18.01.2020 по 25.01.2020 (дозиметр располагался на роутере) значения принимаемой дозиметром мощности находились на уровне $10 \text{ мкВт}/\text{см}^2$.

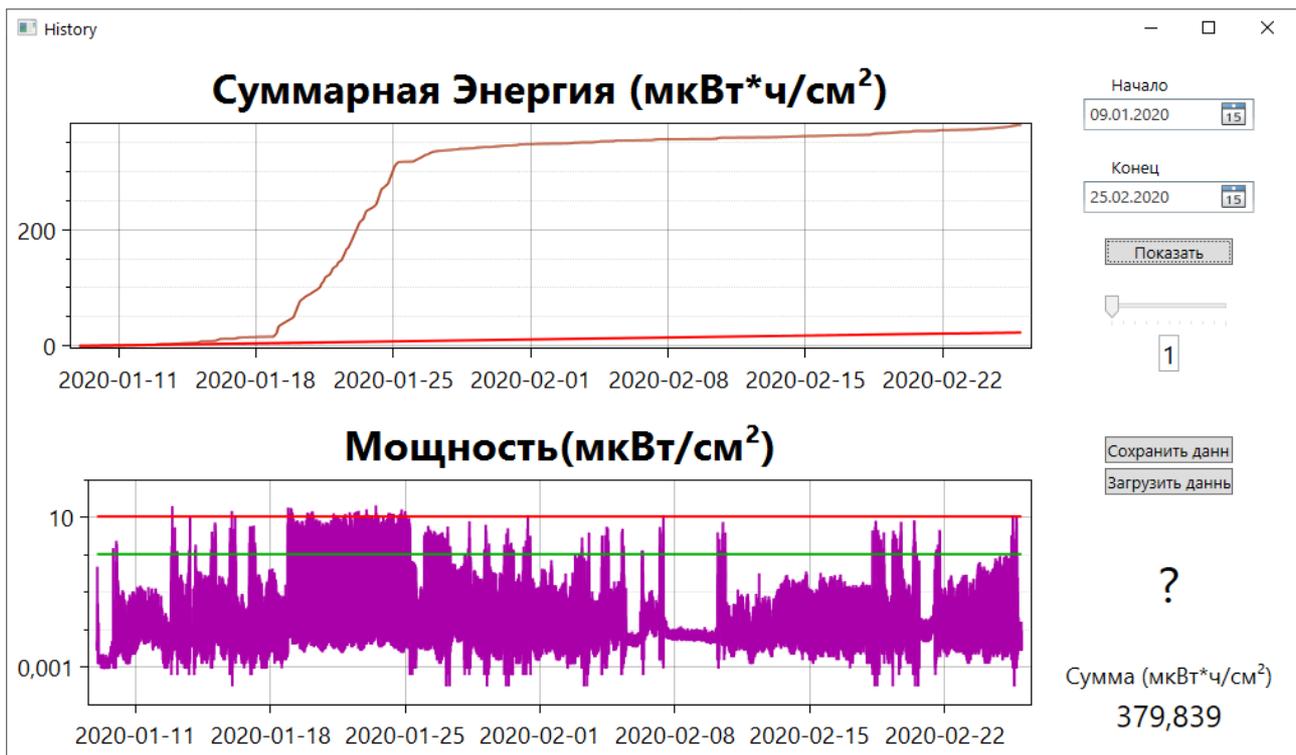


Рис. 17. Данные, полученные за период с 09.01.2020 по 25.02.2020.

Наконец, рассмотрим четвёртую зону, находящуюся во временном интервале с 26.02.2020 по 17.03.2020. Дозиметр в это время располагался на рабочем месте в одном из помещений ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, причём устройство было подключено к персональному компьютеру и находилось в

режиме подзарядки. Суммарно за это время дозиметром было накоплено 3.6 мкВт*ч/см² 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/см²). Судя по графику (рис. 18), значения принимаемой мощности электромагнитного излучения большую часть времени находятся ниже уровня 0.1 мкВт/см². 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. Так же наблюдается более ярко выраженная шумовая подложка (относительно предыдущих временных областей измерений), которая вызвана подключением дозиметра к внешнему источнику питания.

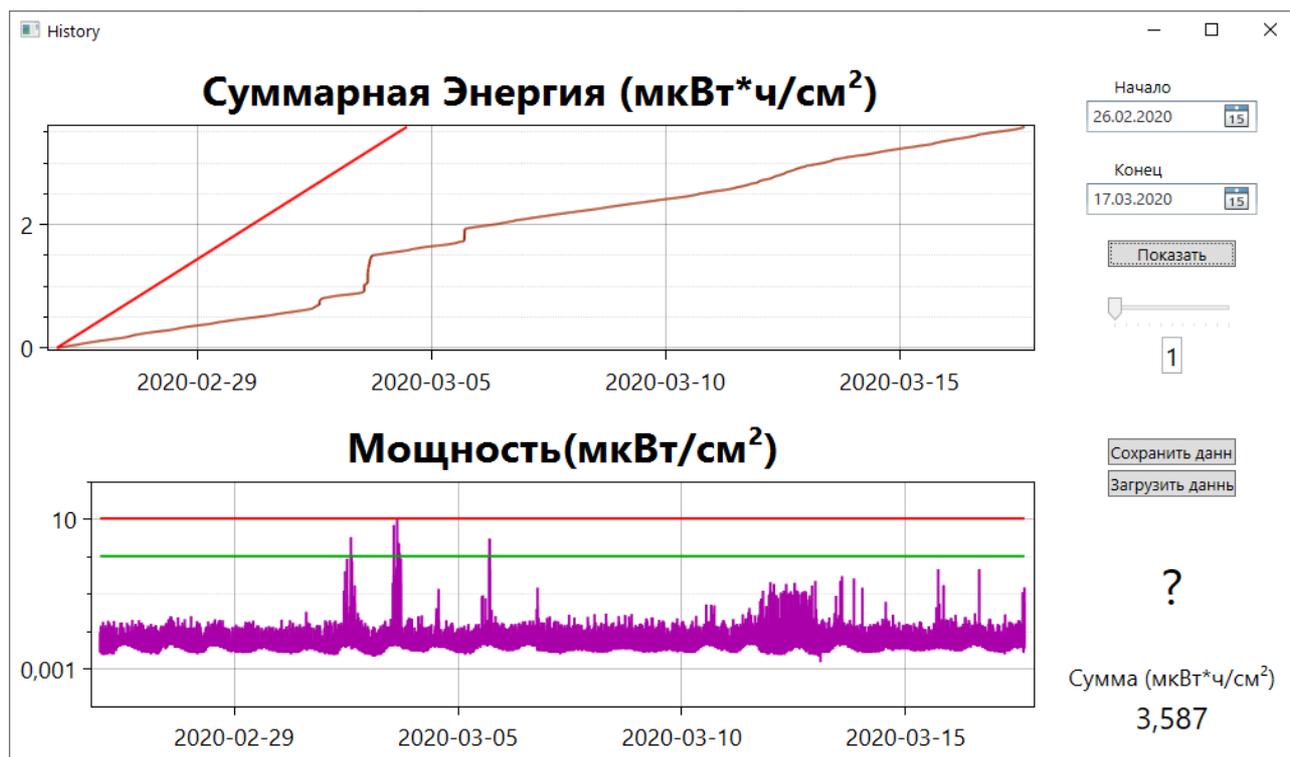


Рис. 18. Данные, полученные за период с 26.02.2020 по 17.03.2020.

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

Таблица 4. Результаты измерений с устройством 3.

Начало измерений	Окончание измерений	Накоплено (мкВт*ч/см ²)	Число 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

Подводя итоги, для измерений, проведённых с данным устройством, отметим, что 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 негативным влиянием электромагнитного микроволнового излучения средств мобильной связи на здоровье человека, широко распространены как в научной среде, так и в обществе [3-8]. Особенно остро этот вопрос встает сейчас, когда мир стоит на пороге широкого внедрения и использования мобильных средств 5 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 просто граждане, которым придется жить в среде с повышенным уровнем «электромагнитного смога», но и люди, непосредственно занимающиеся вопросами рационального использования электромагнитного спектра и продвижением мобильных систем связи новых поколений и, зачастую, мнения первых [5,7,8] и вторых [9,10], не совпадают.

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

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.

Авторы выражают благодарность Ю.Б. Зубареву за полезное обсуждение вопросов, рассматриваемых в работе, и О.Г. Баринову за участие в апробации дозиметра «Мера».

Литература

1. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Рыжов А.И., Уваров А.В. Микроволновая электромагнитная дозиметрия персонального экологического пространства. // Физические основы приборостроения. 2020. Т. 9. №1 (35). С. 85-99.
2. Алексеева А., Гришин Б. Российские ученые создали первый персональный дозиметр излучений от смартфонов [электронный ресурс]. Сайт Федерального агентства новостей. URL <https://riafan.ru/1213477-rossiiskie-uchenye-sozdali-pervyi-personalnyi-dozimetr-izluchanii-ot-smartfonov>
3. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А., Степанов В.С., Меркулов А.В. Электромагнитные поля и здоровье человека. М.: Изд-во РУДН. 2002. 177 с.
4. Григорьев О.А., Маслов М.Ю., Сподобаев М.Ю., Сподобаев Ю.М. Специфика и современное состояние электромагнитного мониторинга Москвы и Московской области. // Электросвязь. 2014. № 2. С. 30-36.
5. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье. Электромагнитная обстановка. Радиобиологические и гигиенические проблемы. Прогноз опасности. М.: Экономика. Изд. 2-ое. 2016. 574 с.

6. Электромагнитное излучение радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Санитарные Правила и нормы. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. М.: Госкомсанэпиднадзор. 2002. 30 с.
7. Зубарев Ю.Б. Мобильный телефон и здоровье. М.: Библио Глобус. 2018. 160 с.
8. Григорьев О.А., Зубарев Ю.Б. Внимание: мобильный телефон! // Вестник связи. 2019. № 9. С. 46-48.
9. Гурьянов И., Посакаухин В., Хоменко В., Мельгунов Д., Бачкова С. Требования СанПиН в РФ тормозят 5G // Стандарт. 2019. № 7-8. С. 60-65.
10. Аверин И.М. Электромагнитная гигиена - двустороннее движение производителя и пользователя // Крылья Родины. КР-медиа. 2019. URL <http://www.kr-media.ru/news/samoletostroenie/elektromagnitnaya-gigiena-dvustoronnee-dvizhenie-proizvoditelya-i-polzovatelya/>

Для цитирования:

Дмитриев А.С., Ицков В.В., Рыжов А.И., Григорьев О.А. Экспериментальная апробация персонального дозиметра микроволнового электромагнитного излучения «Мера». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.7>