

Конференции «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре  
в эпоху цифровой трансформации» 5 лет

УДК 504.055

Учет наложения секторов базовых станций сотовой связи  
при экологическом мониторинге электромагнитных полей

Пищугина А. Д.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Актуальность исследования** связана с недостаточной изученностью пространственной динамики и временной изменчивости электромагнитного фона радиочастотного диапазона в условиях городской среды. Действующие методики экологической оценки параметров электромагнитных полей, разработанные несколько десятилетий назад, не соответствуют современным реалиям, характеризующимся быстрым развитием технологий и увеличением числа источников излучения. Существующая методика измерений предполагает проведение мониторинга отдельно для каждого источника излучения. Однако в современных городах с высокой плотностью излучающих устройств, которые постоянно взаимодействуют друг с другом, невозможно выделить параметры электромагнитных полей для одного конкретного устройства. Это создает трудности в определении источника излучения максимальных значений, что, в свою очередь, осложняет разработку активных мер защиты. В текущих условиях необходим поиск новых методик прогнозирования электромагнитной обстановки с учетом большого количества радиотехнических устройств, используемых технологий излучения и сложной архитектуры высокоурбанизированных территорий. **Целью работы** является исследование влияния наложения секторов базовых станций на формирование областей повышенных значений плотности потока энергии. **Используемые методы:** проведение инструментального мониторинга плотности потока энергии, сравнение эмпирических данных с предельно допустимыми уровнями электромагнитных полей, интерполяция полученных значений, их геометрическая и картографическая обработка с помощью ГИС-технологий. **Новизна:** моделирование наложения секторов связи различных стандартов от базовых станций для прогноза зон повышенных значений плотности потока энергии и определения источников максимальных значений в урбанизированной среде. **Результат:** на исследуемой территории электромагнитный фон повышен, превышения предельно допустимого уровня электромагнитных полей радиочастотного диапазона обнаружены в 31,6 % точек, в том числе превышения предельно допустимого уровня в 3–5 раз отмечены в 4,4 % случаев. Максимальное зафиксированное значение составило 52,29 мкВт/см<sup>2</sup>. В зонах наложения пяти и более секторов базовых станций сотовой связи, использующих центральную частоту 900 МГц, формируются области максимальных значений плотности потока энергии электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Кроме этого, данные области формируются при наложении трех и более секторов, если хотя бы один использует стандарт LTE. **Практическая значимость:** применение полученных результатов для актуализации существующих методов экологического мониторинга плотности потока энергии и мероприятий по защите от электромагнитных полей радиочастотного диапазона, а также создание картографических материалов электромагнитного фона в процессе исследования.

**Библиографическая ссылка на статью:**

Пищугина А. Д. Учет наложения секторов базовых станций сотовой связи при экологическом мониторинге электромагнитных полей // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 4. С. 7. EDN: QEXGOE

**Reference for citation:**

Pishugina A. Considering Overlapping Sectors of Cellular Base Stations in the Environmental Monitoring of Electromagnetic Fields // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 4. P. 7. EDN: QEXGOE

**Ключевые слова:** электромагнитные поля, плотность потока энергии, базовые станции сотовой связи, экологический мониторинг, ГИС-технологии

## Введение

Современное общество невозможно представить без использования технологий, базирующихся на передаче и обработке информации посредством электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ). Мобильная связь, беспроводной интернет, радиовещание и телевидение стали неотъемлемой частью городской инфраструктуры, обеспечивающей высокий уровень комфорта телекоммуникационной связи. Однако интенсивное развитие этих технологий сопровождается увеличением общего уровня электромагнитного излучения, что вызывает необходимость проведения экологической оценки, прогнозирования и разработки соответствующих защитных мероприятий в целях обеспечения экологической безопасности населения и окружающей среды от негативного воздействия электромагнитных полей [1–5].

В условиях высокоурбанизированной среды проблема электромагнитного загрязнения приобретает особую актуальность. Плотная застройка, высокая концентрация технических средств и значительное количество источников излучения способствуют формированию сложной электромагнитной обстановки. Существующая методика измерений<sup>1</sup> предполагает получение значений отдельно для каждого источника излучения. Однако, как показывают проведенные ранее исследования электромагнитного фона [6–9], распределение (ЭМП РЧ) в пространстве обычно неоднородное. В современных городах с высокой плотностью излучающих устройств, которые постоянно взаимодействуют друг с другом, невозможно выделить параметры ЭМП для одного конкретного устройства. Это создает трудности в определении источника максимальных значений плотности потока энергии (ППЭ), что, в свою очередь, осложняет разработку активных мер защиты, таких как изменение характеристик и режимов работы излучателя.

Для контроля электромагнитной обстановки перед размещением или реконструкцией радиоэлектронных средств производится расчет значений ППЭ с помощью лицензированных программных комплексов. Тем не менее, они практически не учитывают окружающие объекты и физические характеристики городской среды, из-за чего реальная электромагнитная обстановка на селитебной урбанизированной территории отличается от расчетной. Следовательно, необходим поиск новых подходов и инструментов для прогнозирования и контроля уровней электромагнитных полей. В данной работе предлагается поиск решения проблемы через совместное исследование ППЭ и покрытия сети сотовой связи. Выполнено моделирование наложения секторов базовых станций сотовой связи (БССС) на полученные результаты мониторинга электромагнитных полей для прогноза зон повышенных значений ППЭ и определения источников максимальных значений в урбанизированной среде от различных стандартов связи.

В Российской Федерации, в целях обеспечения экологической безопасности населения от вредного влияния передающих радиотехнических объектов, установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) электромагнитного излучения в соответствии с нормативными документами<sup>2</sup>. Для частотного диапазона 0,3–330 ГГц нормирование осуществляется на основе показателя ППЭ, при этом ПДУ составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup> для жилых и общественных помещений, а также для селитебных территорий.

## Используемые методики

В рамках данного исследования оценка электромагнитного фона проводилась в микрорайоне Западный г. Мурино, расположенного на северо-западе Всеволожского района Ленинградской области. Для исследования ЭМП РЧ была выбрана селитебная территория с плотной высокотэтажной жилой застройкой. Для определения параметров секторов БССС использовался открытый сервис картирования вышек сотовой связи и покрытия CellMapper, который показывает детальную информацию о сетях EDGE,

<sup>1</sup> МУК 4.3.3921-23. 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиоэлектронных средств, работающих в диапазоне частот 300 МГц–300 ГГц. Методические указания. Утверждены Роспотребнадзором 30.06.2023 г.

<sup>2</sup> СанПиН 2.1.8/2.2.4.2302-07. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 19 декабря 2007 г. № 91;

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2.

GSM, CDMA, UMTS, LTE<sup>1</sup>. Для исследования была выбрана центральная частота 900 МГц со стандартами EDGE, GSM и LTE. На данной частоте было обнаружено 109 секторов от 60 БССС, из них 59 зон провайдера ПАО «Мегафон» и 50 секторов ПАО «МТС».

Для измерения ЭМП РЧ использовался измеритель уровня электромагнитного излучения МЕГЕОН 07300 (ООО «МЕГЕОН», Россия), предназначенный для измерений в диапазоне от 50 МГц до 3,5 ГГц. Замеры проводились согласно методике<sup>2</sup> в период с 16 сентября по 28 октября 2024 г. на частоте 900 МГц в 636 точках с интервалом 30–50 м.

Статистическая и картографическая обработка данных проводилась в программе QGIS 3.16.11. Была выбрана географическая система координат WGS 84, в качестве базовой карты использовалась OpenStreetMap (OSM), к которой в дальнейшем привязывался фрагмент карты из портала Яндекс.Карты. С помощью внутренних инструментов программы осуществлялся перенос геометрии и параметров секторов БССС из сервиса CellMapper в QGIS для визуализации данных с учетом параметров стандартов связи и провайдеров и последующей совместной обработки с эмпирическими значениями ППЭ (рисунок 1).



Рис. 1. Зоны секторов БССС на частоте 900 МГц

Затем была произведена обработка полученной геометрии секторов БССС для выявления зон их наложения (рисунок 2). Также в программе производилась статистическая обработка, интерполяция и визуализация полученных значений ППЭ. Интерполяция значений была выполнена методом нерегулярной триангуляционной сети (TIN), что позволило рассчитать и визуализировать поверхность из значений ППЭ по всей исследуемой территории. В результате была построена карта наложений секторов БССС на интерполированные значения ППЭ (рисунок 3).

<sup>1</sup> Сервис картоирования вышек сотовой связи и покрытия CellMapper. URL: <https://www.cellmapper.net> (дата обращения 29.10.2024).

<sup>2</sup> МУК 4.3.3921-23. 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиоэлектронных средств, работающих в диапазоне частот 300 МГц–300 ГГц. Методические указания. Утверждены Роспотребнадзором 30.06.2023 г.

### Результаты обработки данных

На исследуемой территории электромагнитный фон повышен, превышения ПДУ ЭМП РЧ обнаружены в 31,6 % точек, в том числе превышения в 3–5 раз отмечены в 4,4 % случаев. Максимальное зафиксированное значение составило 52,29 мкВт/см<sup>2</sup>. Области максимальных значений в большинстве случаев формируются на юге территории и относятся к бульвару Менделеева с пересекающими его улицей Шувалова и Воронцовским бульваром. Среднее значение ППЭ в данной области составляет 17,20 мкВт/см<sup>2</sup>. Кроме того, участки повышенных значений формируются на смежной территории во дворах на юго-западе и юго-востоке исследуемого участка. Отдельные районы максимальных значений отмечены на Петровском бульваре и Екатерининской улице, со средним значением 9,86 мкВт/см<sup>2</sup>.



Рис. 2. Зоны наложения секторов БССС на частоте 900 МГц

От 12 БЗСС наложение в трех и более слоях происходит у 17 секторов, из которых восемь относятся к компании МТС, остальные – к «Мегафону». Наложение трех зон секторов БССС, использующих стандарт GSM, отмечено в южной части исследуемой территории, стандарты EDGE и LTE – в западной, центральной и восточной. Наложение четырех зон секторов формирует на юге три области, две из которых образуются стандартами EDGE и GSM, и одна – LTE и GSM. Наложение пяти и более секторов

происходит стандартами EDGE, GSM и LTE на центральном участке бульвара Менделеева, и стандартами GSM и LTE на перекрестке бульвара Менделеева и улицы Шувалова. В итоге наибольшая площадь наложения секторов формируется в южной части исследуемого участка, а наибольшее количество пересечений относится к центральной части бульвара Менделеева и его перекрестку с улицей Шувалова.

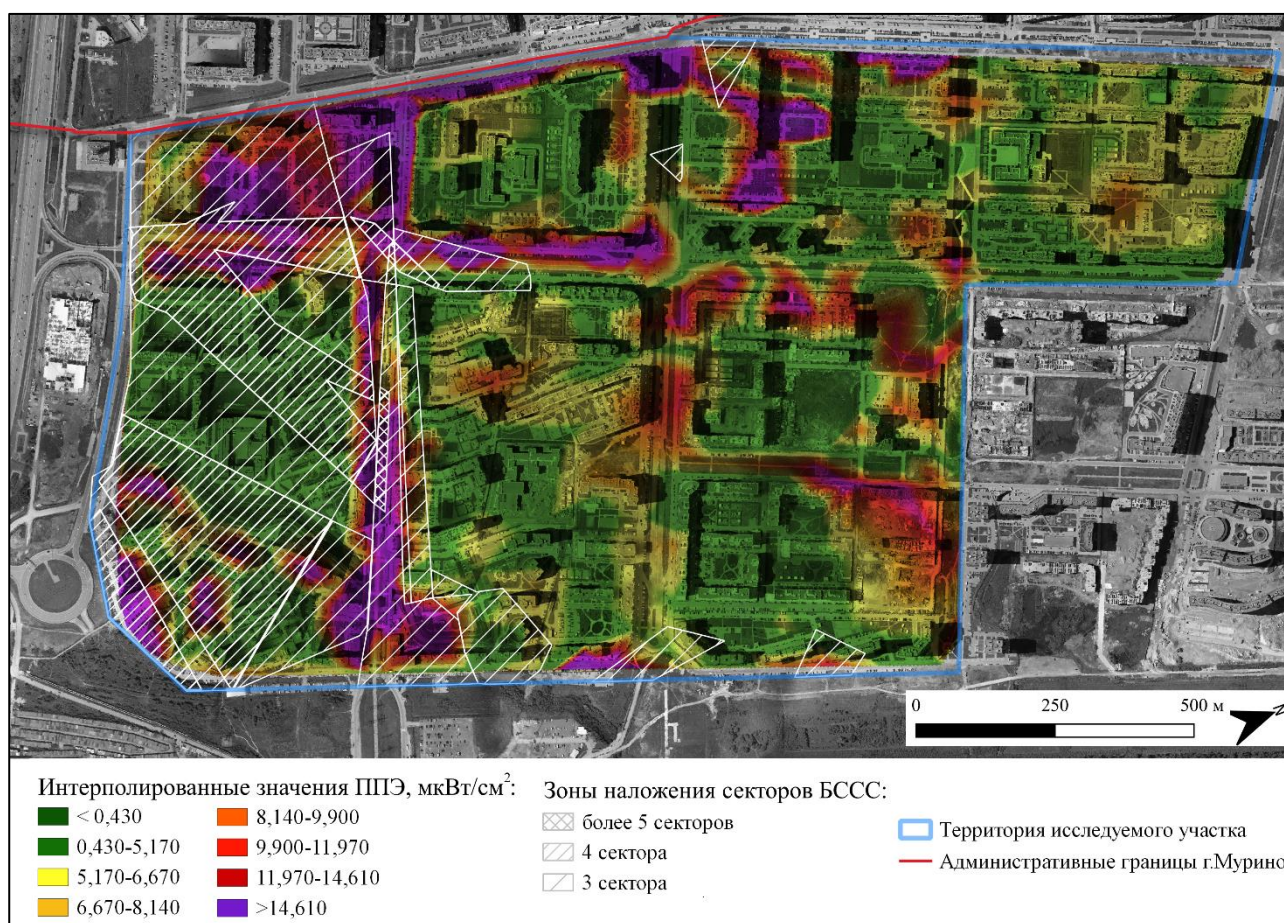


Рис. 3. Карта наложений секторов БССС на интерполированные значения ППЭ

В результате сравнения данных интерполированных значений ППЭ и участков наложения секторов БССС приблизительно 63 % площади участков наибольших значений ППЭ входят в зоны наложения секторов. Практически 40 % территории в зоне наложения секторов не относится к областям повышенных значений ППЭ. В зоне наложения трех секторов БССС к областям повышенных значений ППЭ не относится 62 % площади, в зоне наложения четырех секторов – 42 %, а в зоне наложения пяти и более секторов – менее 1 %. При этом в зонах наложения секторов со стандартом LTE области повышенных значений ЭМП занимают 96 % площади. Источниками являются БССС 185321, 202711, 202642 провайдера МТС и БССС 473475, 479722 провайдера «Мегафон».

### Выводы

Таким образом, на исследуемой территории в зонах наложения пяти и более секторов БССС, использующих центральную частоту 900 МГц, формируются области максимальных значений ППЭ ЭМП РЧ. Кроме этого, данные области формируются при наложении трех и более секторов, если хотя бы один использует стандарт LTE. Источниками максимальных значений ППЭ с учетом наложения секторов являются БССС 185321, 202711, 202642 (МТС) и 473475, 479722 («Мегафон»). Стоит отметить, что для данной работы использовался открытый сервис картирования вышек сотовой связи и покрытия, для более корректной оценки необходимо проведение исследования покрытия сети сотовой связи в г. Мурино.

## Литература

1. Panagopoulos D. J., Chavdoula E. D., Margaritis L. H. Bioeffects of Mobile Telephony Radiation in Relation to its Intensity or Distance from the Antenna // International Journal of Radiation Biology. 2010. Vol. 86. Iss. 5. PP. 345–357. DOI: 10.3109/09553000903567961
2. Toxicology and Carcinogenesis Studies in Sprague Dawley (Hsd: Sprague Dawley SD) Rats Exposed to Whole-Body Radio Frequency Radiation at a Frequency (900 MHz) and Modulations (GSM and CDMA) Used by Cell Phones. National Toxicology program Technical Report: NTP-TR-595. 2018. DOI: 10.22427/NTP-TR-595. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK561730>
3. Колганова О. И., Панфилова В. В., Измestьева О. С., Жураковская Г. П., Чибисова О. Ф. и др. Влияние многократного воздействия сложноорганизованного электромагнитного излучения на поведение крыс в тесте «открытое поле» // Радиационная биология. Радиоэкология. 2024. Т. 64. № 3. С. 286–294. DOI: 10.31857/S0869803124030057. EDN: MBNNYD
4. Ушаков И. Б., Федоров В. П., Давыдов Б. И. Нейроморфологические эффекты острого и хронического электромагнитного облучения // Радиационная биология. Радиоэкология. 2024. Т. 64. № 3. С. 257–273. DOI: 10.31857/S0869803124030034. EDN: MBPWSP
5. Falcioni L., Bua L., Tibaldi E., Lauriola M., De Angelis L. et al. Report of Final Results Regarding Brain and Heart Tumors in Sprague-Dawley Rats Exposed from Prenatal Life until Natural Death to Mobile Phone Radiofrequency Field Representative of a 1.8 GHz GSM Base Station Environmental Emission // Environmental Research. 2018. Vol. 165. PP. 496–503. DOI: 10.1016/j.envres.2018.01.037
6. Pichugina A., Sturman V., Yatsenko M. Application of GIS Technology for Electromagnetic Field Assessment // Вестник факультета социальных цифровых технологий: сборник научно-теоретических статей. 2023. С. 438–442. EDN: CXHTOX
7. Пищугина А. Д. Картографирование электромагнитных полей радиочастотного диапазона в урбанизированной среде (на примере г. Мурино) // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов: в 2 т. / сост. Н. Н. Иванов. Т. 1. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 133–137. EDN: VCAONB
8. Потапов А. А. Экологический мониторинг электромагнитных полей радиочастотного диапазона в условиях города с применением ГИС-технологий // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 3. С. 20–29. EDN: MXGQCP
9. Васильев А. В. Методы и результаты экологического мониторинга некоторых физических загрязнений окружающей среды на примере территорий городских округов Самарской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2021. Т. 23. № 5 (103). С. 25–38. DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-25-38. EDN: QUKKQM

**Статья поступила 15 ноября 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 17 декабря 2024 г.  
Принята к публикации 27 декабря 2024 г.**

*Материалы статьи были представлены на V Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре в эпоху цифровой трансформации» (ПКМ-2024).*

## Информация об авторе

*Пищугина Александра Дмитриевна* – студент 2-го курса магистратуры (группа ЭП-31м) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.  
E-mail: [pishugina.ad@sut.ru](mailto:pishugina.ad@sut.ru)

## Considering Overlapping Sectors of Cellular Base Stations in the Environmental Monitoring of Electromagnetic Fields

Pishugina A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**The relevance** of the study is related to the lack of knowledge of the spatial dynamics and temporal variability of the electromagnetic background of the radio frequency range in an urban environment. The current methods of environmental assessment of electromagnetic field parameters, developed several decades ago, do not correspond to modern realities characterized by rapid technological development and an increase in the number of radiation sources. The existing measurement methodology assumes monitoring separately for each radiation source. However, in modern cities with a high density of emitting devices that constantly interact with each other, it is impossible to isolate the parameters of electromagnetic fields for one specific device. This creates difficulties in determining the source of maximum radiation values, which, in turn, complicates the development of active protection measures. In the current conditions, it is necessary to search for new methods for predicting the electromagnetic situation, taking into account the large number of radio engineering devices, radiation technologies used and the complex architecture of highly urbanized territories. **The aim of the work** is to study the effect of overlapping sectors of base stations on the formation of areas of increased energy flux density. **Methods used:** instrumental monitoring of energy flux density, comparison of empirical data with maximum permissible levels of electromagnetic fields, interpolation of the obtained values, their geometric and cartographic processing using GIS technologies. **Novelty:** modeling the overlap of communication sectors of various standards from base stations to predict areas of increased energy flow density and identify sources of maximum values in an urbanized environment. **The result:** the electromagnetic background is elevated in the studied area, exceeding the maximum permissible level of electromagnetic fields of the radio frequency range was detected in 31.6 % of points, including exceeding the maximum permissible level by 3–5 times in 4.4 % of cases. The maximum recorded value was  $52.29 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . In the overlapping zones of five or more sectors of cellular base stations using a central frequency of 900 MHz, areas of maximum energy flux density of electromagnetic fields of the radio frequency range are formed. In addition, these areas are formed when three or more sectors overlap, if at least one uses the LTE standard. **Practical significance:** the application of the results obtained to update existing methods of environmental monitoring of energy flux density and measures to protect against electromagnetic fields in the radio frequency range, as well as the creation of cartographic materials of the electromagnetic background during the study.

**Key words:** electromagnetic fields, energy flux density, cellular base stations, environmental monitoring, GIS technologies

### Information about Author

Pishugina Alexandra – 2<sup>nd</sup> Year Master's Student (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: pishugina.ad@sut.ru