

УДК 504.055(470.24)

*В.И. Стурман, А.Н. Логиновская***ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВЕЛИКОГО НОВГОРОДА**

Выполнено картографическое исследование электрических и магнитных полей в центральной части Великого Новгорода. Измерения выполнены в 121 пункте жилой зоны и на 2 перекрестках высоковольтных линий. Исследование показало, что электрические поля нигде не превышают допустимых значений напряженности. Показатели выше 1–3 в/м отмечены только около высоковольтных линий. Значения магнитной индукции также низкие, и почти везде соответствуют безопасному уровню, включая наиболее строгие зарубежные стандарты 200–400 нТл. Уровни магнитной индукции определяются особенностями землепользования и застройки, подобно тому, как это имеет место в других городах России. При этом общий фон несколько ниже с преобладанием значений до 20 нТл. Наиболее низкие значения, не превышающие 10 нТл, зафиксированы в зонах зеленых насаждений. Наиболее высокие показатели выявлены в районах преобладающей застройки прошедших десятилетий, где электропроводка не вполне соответствует современным нагрузкам, в т. ч. магнитные поля интенсивнее 100 нТл отмечены локально. Вследствие близкого залегания грунтовых вод подземная прокладка кабелей для Великого Новгорода нехарактерна, и связанная с этим аномалия отмечена только в одном месте. Результаты исследования представлены в виде оригинальной изолинейной карты, созданной в программе ArcGIS ArcMap, с использованием метода билинейной интерполяции.

Ключевые слова: электромагнитные поля, электрические поля, напряженность, магнитные поля, магнитная индукция, картографирование, Великий Новгород.

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-427-433

Электромагнитные поля (ЭМП) – специфический вид загрязнения природной среды, не ощущаемый органами чувств, но способный оказывать негативное воздействие на биологические объекты и в т. ч. на человеческий организм. Исследования биологических последствий воздействия ЭМП в настоящее время многочисленны; к наиболее существенным из них относят нарушения обмена веществ, а также отклонения и сбои в функционировании ряда важных органов и систем организма [1–4]. Данная проблема остается пока относительно слабо изученной, несмотря на наличие большого количества исследований и публикаций. Об этом говорит тот факт, что по странам мира величины допустимых уровней воздействия различаются на 3–4 порядка. Так, низкочастотные ЭМП и в т. ч. наиболее распространенные ЭМП промышленной частоты (50 гц в России) в большинстве развитых стран ещё недавно считались сравнительно безопасными. В отношении магнитных полей эта оценка сейчас пересмотрена, и по результатам целого ряда исследований был приближенно определен безопасный предел значений магнитной индукции 0,2–0,4 микротесла (мкТл) [5; 6]. Этот ориентировочный уровень на порядок ниже, чем наиболее строгий из установленных в России нормативов магнитных полей промышленной частоты (5 мкТл для жилых зданий, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных учреждений, согласно СанПиН 1.2.3685-21¹), и на 3 порядка ниже, чем безопасный уровень для населения (100 мкТл), исходя из рекомендаций Всемирной организации здравоохранения, Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) [7] и Консультативного совета Европейского союза [8]. Указанный уровень 0,2–0,4 мкТл рассматривается в странах Европейского Союза как перспективный норматив магнитного поля промышленной частоты, для чего принята соответствующая «дорожная карта» [9].

В настоящее время при установлении и совершенствовании нормативов учитываются не только результаты биологических экспериментов (существуют определенные проблемы с переносом на человека выводов, сделанных в отношении организмов с существенно иной физиологией и морфологией), но и результаты исследований реального распространения в окружающей среде ЭМП с теми или

¹ СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406408041/> (дата обращения: 09.07.2023).

инными параметрами, и количества населения, подверженного их воздействию [10]. Одно из исследований такого рода было выполнено нами в пределах центральной части города Великий Новгород. Подобных исследований в Великом Новгороде ранее не выполнялось.

Материалы и методы исследования

Характеристики ЭМП промышленной частоты 50 гц определялись при помощи прибора Gigahertz Solutions ME 3830 В М/Е Analyser. Данный прибор позволяет измерять напряженность электрического поля в пределах от 1 до 2000 в/м и магнитную индукцию от 1 до 2000 нТл. Превышения указанных величин отмечались в единичных случаях, при измерениях вблизи высоковольтных линий. Данный прибор оснащен однокоординатным датчиком магнитного поля, в связи с чем для совмещения направления полного вектора магнитного поля и оси датчика, за величину магнитной индукции принималось максимальное для данной точки значение, получаемое путем вращения прибора вокруг вертикальной оси. Для обеспечения корректности при последующей интерпретации результатов измерений, их точки выбирались по возможности в условиях однородной застройки или иного однородного использования территории. Измерения были выполнены в июле 2023 г. в 123 точках в пределах исторической части территории города, а также отчасти к северо-западу от нее (Привокзальный и Завокзальный районы города) и на правом берегу р. Волхов, к югу ул. Державина. В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21, измерения выполнялись на уровне 1,8 м от поверхности земли.

Моделирование пространственного распределения характеристик ЭМП промышленной частоты в центральной части Великого Новгорода было выполнено с помощью программного продукта ESRI – ArcGis и соответствующего программного обеспечения ArcMap [11]. Данное программное обеспечение ArcGis позволило обработать большие объемы статистической информации, имеющие пространственную привязку, и построить цифровую карту магнитной индукции промышленной частоты с интерполяцией раstra методом обратно взвешенных расстояний. В данном методе значение показателя в произвольной точке определяется как средневзвешенная сумма значений в исходных точках. Веса определяются обратно пропорционально расстоянию: чем дальше расположена точка, тем меньше её вес при оценке [12].

Результаты и их обсуждение

Электрические поля. В Великом Новгороде так же, как и в ранее изученных городах России (Москва, Санкт-Петербург, Казань, Петрозаводск, Белгород, Калининград, Ижевск, Астрахань), показатели напряженности электрических полей, превышающие 1–3 в/м, были отмечены только на расстояниях до 100–150 м от высоковольтных линий. Результаты измерений, выполненных в этих условиях, представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Показатели напряженности электрических полей высоковольтных линий в г. Великий Новгород

Местоположение	Напряжение высоковольтных линий, кВ	Напряженность под проводом, в/м	Расстояние (м) от проекции крайнего провода до значений напряженности:		
			2000 в/м	1000 в/м	500 в/м
Ул. Парковая	220	Более 2000	7	11	14
Сырковское шоссе, 30В	110	485	–	–	–

Приведенные в таблице значения отражают наличие четкой, нелинейной зависимости напряженности электрического поля от расстояния до высоковольтной линии (рис. 1). Также важно отметить, что по всей территории исследования в пределах зон жилой застройки не было выявлено превышений предельно допустимого уровня напряженности, составляющего согласно СанПиН 1.2.3685-21 одну тысячу вольт на метр.

Магнитные поля в сравнении с электрическими характеризуются более высокой проникающей способностью [2]. Магнитные поля формируются многочисленными разнообразными источниками (электропроводка, электроприборы и оборудование). На изученной территории г. Великий Новгород магнитные поля распределяются сложным образом. Но в целом, в отличие от ряда других городов, их уровни едва ли могут рассматриваться как значимая экологическая проблема.

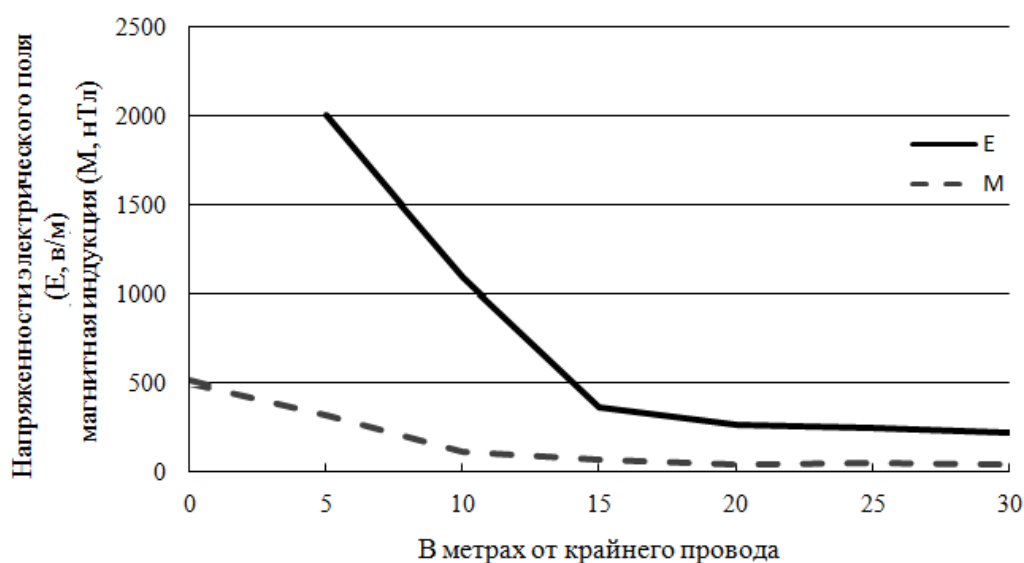


Рис. 1. Изменения напряженности электрического поля (E, в/м) и магнитной индукции (M, нТл) по мере удаления от ВЛ-220, проходящей вдоль ул. Державина, на пересечении ее с ул. Парковая.

Результаты измерений значений магнитной индукции представлены в табл. 2 (выборочно, всего 123 точки измерения) и на рис. 2. Как видно из рис. 2, распределение значений магнитной индукции на изученной территории г. Великий Новгород характеризуется преобладанием минимальных значений до 10 нТл и от 10 до 20 нТл. Более высокие значения встречаются локально.

Таблица 2

Значения магнитной индукции в отдельных точках центральной части Великого Новгорода

Места измерений	Измеренные значения, нТл	Характер использования и застройки
Набережная у аркады Гост. Двора	5	Рекреационная
У памятника 1000-летия России	3	Рекреационная
У башни Часозвоня	82	Историческая
Дворцовая-Бояна	28	Историческая
Железнодорожный вокзал, ЮЗ угол	56	
Стратилатовская, 8	36	Кирпичная 1950–60-х гг. («хрущевка»)
Белова, 16	131 (на асфальте до 350)	Кирпичная 1970–80-х гг. («брежневка»)
Сквер у моста А. Невского	7	Рекреационная
Берег р. Волхов у Антониева монастыря	4	Рекреационная
Парковая, 17 двор	23	Кирпичная 1970–80-х гг. («брежневка»)
Студенческая, 13	135	Кирпичная 1950–60-х гг. («хрущевка»)
Маловишерская, 3	48	Новая застройка
Парк 30 лет Октября, сев. часть	6	Рекреационная
Прусская-Мерецкова	5	Кирпичная 1950–60-х гг. («хрущевка»)
Рахманинова, 6	28	Панельная 1970–80-х гг. («брежневка»)
Десятинная, 15	7	Новая застройка
Федоровский Ручей, 4	12	Историческая
Ильина-Михайлов	114	Историческая
Щитная, 11	15	Кирпичная 1940–50-х гг. («сталинка»)

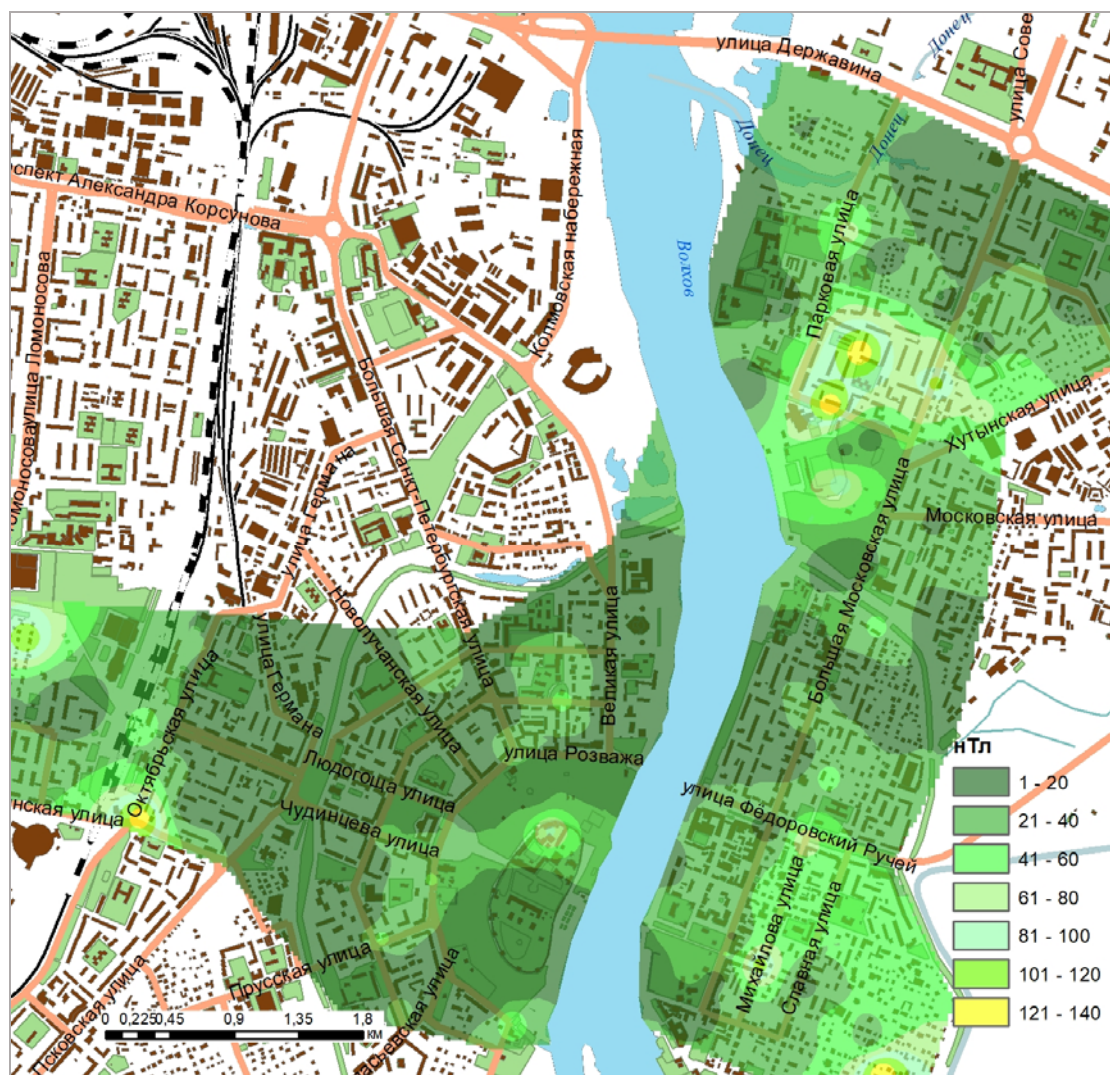


Рис. 2. Схематическая карта распределения значений магнитной индукции (нТл) в центральной части г. Великий Новгород

Осредненные характеристики магнитной индукции и их изменчивости по городским территориям с разным характером использования земель и застройки приведены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, при невысоком общем фоне значений магнитной индукции, дифференциация значений имеет место. Повышенными значениями характеризуются историческая и частная усадебная застройка, где есть несоответствие между проведенной десятилетия назад электропроводкой и нагрузками на нее от современной бытовой и иной техники. Известно [13], что магнитная индукция определяется нагрузкой на системы электроснабжения. Тем не менее, даже в этих случаях значения магнитной индукции не выходят за пределы безопасных по самым строгим зарубежным оценкам [5; 6]. Пониженные значения магнитной индукции приурочены к мало- и среднеэтажной застройке 1940–50-х гг. («сталинкам») и последних десятилетий, где качество электропроводки более высокое. Минимальные значения закономерно свойственны рекреационным зонам.

В изученных ранее городах довольно часто (до 10 % мест измерений) встречались аномальные (повышенные) значения магнитной индукции, связанные с влиянием кабелей подземной прокладки. При измерениях в Великом Новгороде такое явление было отмечено в одной точке, у д. 16 по ул. Белова, где на уровне 1,8 м зафиксировано 131 нТл, а на уровне асфальта – до 350 нТл. Это – единственная точка в жилой зоне города, где магнитная индукция достигает уровня, рассматриваемого [5; 6] за рубежом как ориентировочный предел безопасных значений.

Таблица 3

**Средние значения магнитной индукции по типам застройки и использования территорий
в г. Великий Новгород**

Характер использования, тип застройки	Число измере- ний	Сред. значение, нТл	Среднее квадр. откло- нение (δ)	Коэфф. вариа- ции, в %%	Сред. значение, нТл при исключении ано- малий по 3 δ и 2 δ пре- делам
Историческая	19	36	29	81	31
Средне- и малоэтажная 1940–50-х гг. («сталинки»)	22	21	23	110	16
Среднеэтажная 1950–60-х гг. («хрущевки»)	23	30	35	117	20
В т. ч. кирпичные	21	26	28	108	21
В т. ч. панельные	2	71			
Многоэтажная 1970–80-х гг. «брежневки»	10	33	36	109	22
В т. ч. кирпичные	8	35	41	117	21
В т. ч. панельные	2	25			
Частная усадебная	9	48	43	90	37
Средне- и малоэтажная последних лет	14	22	32	145	14
Парки, скверы, площади	16	11	21	191	6

Соотношения значений магнитной индукции на территориях с разными типами использования и застройки земель в Великом Новгороде в целом схожи с таковыми в городах (Москва, Санкт-Петербург, Казань, Ижевск, Петрозаводск, Калининград, Белгород), где подобные исследования были выполнены ранее [14]. Представленное на рис. 2 распределение показателей магнитной индукции отражает сложившиеся за длительное время особенности планировки и застройки города, такие как:

- относительно малая этажность при большой доле исторической и частной усадебной застройки;
- сравнительно небольшие размеры рекреационных зон, вписанных в городскую среду и насыщенных освещением, киосками, аттракционами, что требует электроснабжения, в сочетании с отсутствием лесопарков;
- близкое залегание грунтовых вод, вследствие чего подземная прокладка кабелей электро-снабжения мало характерна.

Выводы

Центральная часть Великого Новгорода, как следует из созданной в рамках настоящего исследования карты, в целом благополучна в отношении электромагнитных полей промышленной частоты. Напряженность электрических полей превышает 1–3 в/м только вблизи высоковольтных линий, а магнитная индукция в основном не превышает 20 нТл и лишь в отдельных пунктах выше 100 нТл. Такие показатели ЭМП промышленной частоты в жилых зонах практически повсеместно соответствуют не только действующим нормативам, но и наиболее строгим из ориентировочных уровней, внедряемых за рубежом. Пространственная изменчивость показателей магнитной индукции в зависимости от характера использования земель и застройки аналогична выявленной ранее в других городах, но сами значения могут быть оценены как несколько пониженные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлева М.И. Физиологические механизмы действия электромагнитных полей. Л.: Медицина, 1973. 175 с.
2. Тихонов М.Н., Довгуша В.В., Довгуша Л.В. Механизм влияния естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности // Экологическая экспертиза. 2013. № 6. С. 48–65.
3. Rifai, A.B. and Nakami, M.A. Health Hazards of Electromagnetic Radiation // Journal of Biosciences and Medicines. 2014.2. P. 1–12.

4. Electric and Magnetic Fields // *Cancer Cases Control*. 1996. Vol. 7. Pp. 49–54.
5. Muller B. Electromog. Hausgemachtes Problem // *Bild Wiss*. 1996. № 4. Pp. 12–14.
6. Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health // Expressed at the 27th CSTEEN plenary meeting Brussels, 30 October 2001. URL: https://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/out128_en.pdf (дата обращения 09.07.2023).
7. Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz) / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection // *Health Physics*. 2010. Vol. 99, no. 6. Pp. 818–836.
8. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council, “The Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of Workers to the Risks Arising from Physical Agents (Electromagnetic Fields)” // *Official Journal of the European Union*, L184. 2004. Vol. 30, no. 4. Pp.1–9.
9. National precautionary policies on magnetic fields from power lines in Belgium, France, Germany, the Netherlands and the United Kingdom. RIVM Report 2017-0118. DOI 10.21945/RIVM-2017-0118. Pp. 56.
10. Прокофьева А.С., Григорьев О.А. Оценка численности населения, проживающего вблизи воздушных линий электропередачи, по критерию экспозиции магнитным полем промышленной частоты (на примере Московского региона) // *Актуальные вопросы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений: сборник докладов всероссийской научной конференции, (Москва, 12–13 ноября 2019 г.)*. М., 2019. С. 159–160.
11. Esri CIS – Геоинформационные системы и геоданные (официальный сайт) Esri – GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps, and Data. URL: <http://www.esri.com/> (дата обращения: 08.08.2023).
12. Самсонов Т.Е. Пространственная статистика и моделирование на языке R. М.: Географический факультет МГУ, 2023. URL: <https://tsamsonov.github.io/r-spatstat-course/> (дата обращения: 29.07.2023).
13. Довбыш В.Н., Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем. Самара: ООО «ИПК «Содружество», 2009. 198 с.
14. Стурман В.И., Логиновская А.Н. Техногенные электромагнитные поля на городских территориях и подходы к их картографированию // *Известия РАН. Серия географическая*. 2022. Т. 86, № 2. С. 255–267.

Поступила в редакцию 12.10.2023

Стурман Владимир Ицхакович, доктор географических наук, профессор,
профессор кафедры экологической безопасности телекоммуникаций
E-mail: st@izh.com

Логиновская Алёна Николаевна, кандидат географических наук,
доцент кафедры экологической безопасности телекоммуникаций
E-mail: aloginovskaja@bk.ru

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
имени проф. М.А. Бонч-Бруевича»
193232, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22

V.I. Sturman, A.N. Loginovskaya

RESEARCH OF SPATIAL DISTRIBUTION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF INDUSTRIAL FREQUENCY IN THE CENTRAL PART OF VELIKY NOVGOROD

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-4-427-433

The cartographical research of electric and magnetic fields in the central part of Veliky Novgorod is executed. Measurements are executed in 121 points of a residential zone and at 2 intersections of high-voltage lines. The research showed that tension of electric fields everywhere does not exceed admissible values. Indicators higher than 1-3 in oil are noted only about high-voltage lines. Values of magnetic induction also low, and almost everywhere correspond to safe level, including most the most strict perspective foreign standards 200–400 nTl. Levels of magnetic induction depend on the nature of use of lands and building, like other cities of Russia, but is slightly lower, with prevalence of values to 20 nTl. The minimum values, to 10 nTl, are noted in recreational zones. Rather increased values are noted in areas of houses of construction of last decades where the electrical wiring not quite corresponds to modern loadings, including magnetic fields more intensively 100 nTl are noted locally. Owing to close bedding of ground waters underground laying of cables for Great Novgorod is uncharacteristic, and the anomaly connected with it is noted only in one place. Results of the research presented by the original isolinear map created in the ArcGIS ArcMap programs with use of a method of bilinear interpolation.

Keywords: electromagnetic fields, electric fields, tension, magnetic fields, magnetic induction, mapping, Veliky Novgorod.

REFERENCES

1. Yakovleva M.I. *Fiziologicheskie mekhanizmy deystviya elektromagnitnykh poley* [Physiological mechanisms of action of electromagnetic fields], Leningrad: Meditsina Publ., 1973, 175 p. (in Russ.).
2. Tihonov M.N., Dovgusha V.V., Dovgusha L.V. [Natural and technological electromagnetic fields influence on safety of vital activity], in *Ekologicheskaya ekspertiza*, 2013:(6), pp. 48-65 (in Russ.).
3. Rifai A.B. and Hakami M.A. Health Hazards of Electromagnetic Radiation, in *Journal of Biosciences and Medicines*, 2014, 2, pp. 1-12.
4. Electric and Magnetic Fields. Cancer Cases Control, 1996, vol. 7, pp. 49-54.
5. Muller B. Electrosmog. Hausgemachtes Problem, in *Bild Wiss.*, 1996, no. 4, pp. 12-14.
6. Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health, in *Expressed at the 27th CSTEEN plenary meeting Brussels*, 30 October 2001. Available at: https://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/out128_en.pdf (accessed on: 09.07.2023).
7. Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz) / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, in *Health Physics*, 2010, vol. 99, no. 6, pp. 818-836.
8. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council, “The Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of Workers to the Risks Arising from Physical Agents (Electromagnetic Fields)”, in *Official Journal of the European Union*, L184, 2004, vol. 30, no. 4, pp.1-9.
9. National precautionary policies on magnetic fields from power lines in Belgium, France, Germany, the Netherlands and the United Kingdom. RIVM Report 2017-0118. DOI 10.21945/RIVM-2017-0118. P. 56.
10. Prokofyeva A.S., Grigoriev O.A. [Number of population living near the power transmission lines and exposed by the power frequency magnetic field above 0,3 MT (on the example of the Moscow region)], in *Sborn. dokl. Vseross. nauch. konf. “Aktual'nye voprosy radiobiologii i gigieny neioniziruyushchikh izlucheniy”* [Proceedings of scientific conference “actual issues of radiobiology and hygiene for non-ionizing radiation”] (Moscow, 12-13 November, 2019), 2019, pp. 159-160 (in Russ.).
11. Esri – GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps, and Data. Available at: <http://www.esri.com/> (accessed: 08.08.2023).
12. Samsonov T.E. *Prostranstvennaya statistika i modelirovanie na yazyke R* [Spatial statistics and modeling in language R], Moscow: Geographical faculty of MSU, 2023. Available at: <https://tsamsonov.github.io/r-spatstat-course/> (accessed: 29.07.2023) (in Russ.).
13. Dovbysh V.N., Maslov M.Yu., Spodobaev Yu.M. *Elektromagnitnaya bezopasnost' elementov energeticheskikh system* [Electromagnetic safety of elements of power systems], Samara: IPK «Sodruzhestvo Publ., 2009, 198 p. (in Russ.).
14. Sturman V.I., Loginovskaya A.N. [Technogenic electromagnetic fields on urban areas and approaches to their mapping], in *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [News of RAS. Geographical series], 2022, vol.86, no. 2, pp. 255-267 (in Russ.).

Received 12.10.2023

Sturman V.I., Doctor of Geography, Professor
of the Department of Environmental Safety of Telecommunications
E-mail: st@izh.com

Loginovskaya A.N., Candidate of Geography, Associate Professor
of the Department of Environmental Safety of Telecommunications
E-mail: aloginovskaja@bk.ru

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications
Bolshevikov Ave., 22, Saint Petersburg, Russia, 193232