

В.И. СТУРМАН

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22, корп. 1, Россия, st@izh.com

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполнено исследование пространственного распределения и временной изменчивости электрических и магнитных полей промышленной частоты в Санкт-Петербурге, Казани, Белгороде и Петрозаводске. Установлено, что электрические поля со значимыми показателями напряженности проявляются только вблизи высоковольтных линий. Выявлено, что санитарно-защитные и охранные зоны нормативного размера не всегда обеспечивают снижение напряженности электрических полей до предельно допустимых уровней на их границах. Так, напряженность электрических полей четырех высоковольтных линий в Санкт-Петербурге увеличивается вследствие массового многоэтажного жилищного строительства, приводящего к росту энергопотребления. Также выявлена зависимость напряженности электрических полей от метеорологических факторов, прежде всего влажности воздуха (прямая зависимость) и атмосферного давления (опосредованная обратная зависимость). Магнитное поле промышленной частоты образует изменчивый общегородской фон от совокупности источников. Чем интенсивнее техногенная нагрузка, тем выше магнитная индукция, что делает ее удобным для картографирования геоиндикатором. Также показатели магнитной индукции отражают особенности электрических сетей. Во всех городах отмечены аномально высокие значения магнитной индукции, объясняемые влиянием электрических кабелей. Превышений допустимых уровней магнитной индукции в жилых зонах не отмечено.

Ключевые слова: электрические поля, напряженность, магнитные поля, магнитная индукция, высоковольтные линии, мониторинг, картографирование.

V.I. STURMAN

Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications, 193232, St. Petersburg, pr. Bol'shevikov, 22, corp. 1, Russia, st@izh.com

POWER FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS IN THE URBAN ENVIRONMENT AS THE OBJECT OF ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL RESEARCH

The spatial distribution and temporal dynamics of power frequency electric and magnetic fields in Saint-Petersburg, Kazan, Belgorod and Petrozavodsk has been studied. It is established that electric fields of significant strengths occur near high-voltage transmission lines (HVTL) only. It is found that sanitary-protection and exclusion zones of the standard size do not always ensure a decrease in electric field strength to maximum allowable levels on their boundaries. Thus, the electric field intensity of four 4 HVTL in St. Petersburg increases due to the mass construction of multi-storey housing leading to an increase in power consumption. A dependence of the electric field strength on meteorological factors was also determined, primarily on air humidity (direct dependence), and on atmospheric pressure (indirect inverse relationship). The power frequency magnetic field produces a variable city-wide background caused by a set of sources. The more intense is the technogenic load, the higher is magnetic induction, which renders it a convenient geoindicator for mapping. Also, the indicators of magnetic induction reflect the characteristics of power networks. Abnormally high values of magnetic induction were recorded in all cities, which are explained by the influence of electric cables. No exceedances of allowable levels of magnetic induction in residential areas were observed.

Keywords: electric fields, strength, magnetic fields, magnetic induction, high-voltage lines, monitoring, mapping.

ВВЕДЕНИЕ

Техногенные электромагнитные поля представляют собой малоизученный и слабо контролируемый вид негативного воздействия на окружающую среду. Воздействие электромагнитных полей на человека связано с индуцированием ими внутри тела электрических токов различной частоты и силы,

что может приводить к различным последствиям, преимущественно негативным. У людей, подвергающихся воздействиям электромагнитных полей повышенной интенсивности, отмечаются нарушения функционирования сердечно-сосудистой системы, обмена веществ, эндокринной, иммунной и репродуктивной систем, чему посвящено довольно много исследований [1–5]. Формирующиеся вблизи высоковольтных линий (ВЛ) электрические поля с напряженностью порядка нескольких киловольт на метр способны вызывать деформацию и разрушение клеток [6], пролиферацию клеток и изменения свойств крови [7]. Под действием магнитного поля затрудняется движение крови в кровеносных сосудах [8]. Как показали исследования в Китае [9], электромагнитные поля ВЛ могут вызывать ухудшение памяти, способствовать хронической диарее, анемии, лейкопении и тромбоцитопении.

Вместе с тем сложность изучения биологических эффектов электромагнитных полей связана с тем, что их воздействие в условиях городской среды подвержено сложной временной изменчивости и обычно сопровождается другими видами загрязнения, тогда как реакции организмов зависят от индивидуальных особенностей. Поэтому оценки воздействия электромагнитных полей на здоровье человека часто противоречивы, а дискуссии о допустимых нормативах ведутся десятилетиями. Исследования электромагнитных полей выполняются преимущественно в камеральных и лабораторных условиях, с преобладанием физико-математических (расчетных) методов и медико-физиологических аспектов, тогда как эколого-географические исследования реально наблюдаемых показателей, их пространственной изменчивости и временной динамики единичны [10–12], и их остро недостает.

В России защита населения от воздействия электромагнитных полей осуществляется путем создания санитарно-защитных и охранных зон вблизи ВЛ и других источников, а также гигиенической сертификацией электроприборов. Санитарно-защитные зоны предусмотрены в СанПиН 2971-84 [13] и в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [14] для ВЛ-330 кВ шириной 20 м от проекции крайних фазовых проводов, ВЛ-500 кВ шириной 30 м, ВЛ-750 кВ шириной 40 м и ВЛ-1150 кВ шириной 55 м. Предельно допустимые уровни (ПДУ) электрических полей составляют 1 кВ/м для зон жилой застройки и 5 кВ/м для населенной местности вне жилых зон. Наряду с санитарно-защитными существуют охранные зоны, предназначенные для защиты самих ВЛ; их ширина составляет 20 м для ВЛ-110, 25 м для ВЛ-220, 30 м для ВЛ-330 и ВЛ-500. Охранные зоны ВЛ регламентируются согласно [15]. При этом действует ряд ограничений, в том числе запрещается проводить в данных зонах мероприятия и размещать объекты, связанные со скоплением людей.

В большинстве стран мира негативное воздействие низкочастотных (включая промышленные частоты 50 и 60 Гц) электромагнитных полей считается недоказанным и активно изучается, в частности Научным комитетом по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR) — консультативным органом при Европейской комиссии по вопросам безопасности потребителей, общественного здоровья и окружающей среды. В числе наиболее опасных из возможных эффектов рассматриваются риски лейкемии, повреждения ДНК и нарушения иммунной системы [16]. В качестве примерного безопасного уровня магнитной индукции указывается величина 0,4 мкТл (400 нТл) [16], что на порядок ниже наиболее жестких из действующих в России нормативов магнитных полей (5 мкТл для жилых помещений, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных и медицинских учреждений согласно ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 [17]).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование электромагнитных полей выполнено при помощи прибора Gigahertz Solutions ME 3830 В М/Е Analyser, позволяющего измерять напряженность электрических полей промышленной частоты (50 Гц) в диапазоне от 1 до 2000 В/м и интенсивность магнитных полей (магнитную индукцию) от 1 до 2000 нТл. Максимальные измеряемые значения 2000 В/м и 2000 нТл в ряде случаев оказались недостаточными и позволяли лишь определить размеры зон превышения указанных величин. Измерения проводились с октября 2016 г. по декабрь 2017 г. на высоте 1,8 м от поверхности земли. Объектами исследования были:

— динамика напряженности электрических полей ВЛ в Санкт-Петербурге (под проводами в местах их наибольшего провисания и на стандартных расстояниях, от 37 до 50 серий измерений на четырех профилях);

— динамика показателей магнитной индукции в отдельных точках Санкт-Петербурга (четыре точки, от 47 до 75 измерений в каждой);

— распределение показателей магнитной индукции в жилых и рекреационных зонах Санкт-Петербурга, Казани, Белгорода, Петрозаводска (от 120 до 300 единичных измерений) с созданием изолинейных карт.

При обработке результатов измерений использовались стандартные программные средства. Для оценки влияния метеоусловий соответствующие сведения заимствовались из интернет-сервиса [18]. Цель настоящей работы — исследование пространственной изменчивости и временной динамики электрических и магнитных полей промышленной частоты для совершенствования мероприятий по обеспечению электромагнитной безопасности населения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Напряженность электрических полей. Исследования показали, что непосредственно под проводами ВЛ напряжением 110, 220 и 330 кВ значения напряженности превышали 2 кВ/м при всех измерениях. С увеличением расстояния от ВЛ повторяемость превышения указанной величины постепенно снижалась, но определить статистические характеристики (табл. 1) удалось лишь для точек, относительно удаленных от проводов. На расстояниях более 100–120 м от ВЛ фиксировались только значения напряженности 1–2 В/м, что может рассматриваться как общегородской фон либо как погрешность измерения.

Хотя в последние десятилетия воздушные ВЛ практически не вводятся, а действующие работают с пониженной нагрузкой [4], предположение об устойчивости их характеристик результатами исследования не подтвердилось. Наблюдался рост напряженности электрических полей (рис. 1) и ширины зон их высоких значений, что проявилось на всех четырех профилях, указанных в табл. 1. Тенденция объясняется тем, что объекты наблюдений располагаются вблизи зон массового многоэтажного жилищного строительства, которое сопряжено с увеличением нагрузки на энергетическую инфраструктуру. Рост напряженности электрических полей и расширение зон превышения ПДУ, в том числе сверх нормативных размеров санитарно-защитных и охранных зон ВЛ, приводит к обострению экологических проблем и еще одному, пока малоизвестному, последствию плотной многоэтажной застройки последних лет: вышеуказанные зоны не обозначены на местности и нередко используются населением в рекреационных целях.

Кроме меняющейся нагрузки ВЛ на показателях напряженности могут сказываться диэлектрические свойства воздуха, прямо зависящие от его влажности и косвенно — от связанных с ней характеристик. Приведенные в табл. 1 корреляционные коэффициенты указывают на существование слабых и средней силы зависимостей между напряженностью электрического поля и метеорологическими характеристиками. Для абсолютной и относительной влажности связи прямые, что отражает ослабление диэлектрических свойств воздуха с увеличением его влажности. Для атмосферного давления связь обратная, поскольку влажность воздуха закономерно увеличивается при циклональных условиях

Таблица 1

Статистические характеристики и коэффициенты корреляции между показателями напряженности по мониторинговым створам высоковольтных линий и метеорологическими характеристиками (г. Санкт-Петербург)

Объекты мониторинговых наблюдений	Статистические характеристики				Коэффициенты корреляции с показателями			
	число измерений, ед.	среднее значение, В/м	среднее квадратическое отклонение (δ), В/м	коэффициент вариации, %	абсолютная влажность	относительная влажность	температура воздуха	атмосферное давление
ВЛ-330 у пересечения проспектов Блюхера и Кондратьевского, 20 м от проводов	50	706	323,7	45,9	0,335	0,161	0,125	0,404
Там же, 25 м от проводов	50	258	129,1	50	0,489	0,093	0,295	-0,410
ВЛ-110 там же, 15 м от проводов	41	1461	419,4	28,7	0,298	0,573	-0,067	-0,404
Там же, 20 м от проводов	44	945	292,9	31	0,382	0,449	0,009	-0,356
ВЛ-330 у станции метро Девяткино, 30 м от проводов	50	1310	365,4	27,9	0,423	-0,096	0,322	-0,317
Там же, 50 м от проводов	49	744	172,8	23,2	0,465	0,032	0,356	-0,221
ВЛ-220 там же, 20 м от проводов	38	960	308	32,1	0,637	0,554	-0,117	-0,054

Примечание. Здесь и в табл. 2: жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции при уровне $\alpha = 0,01$.

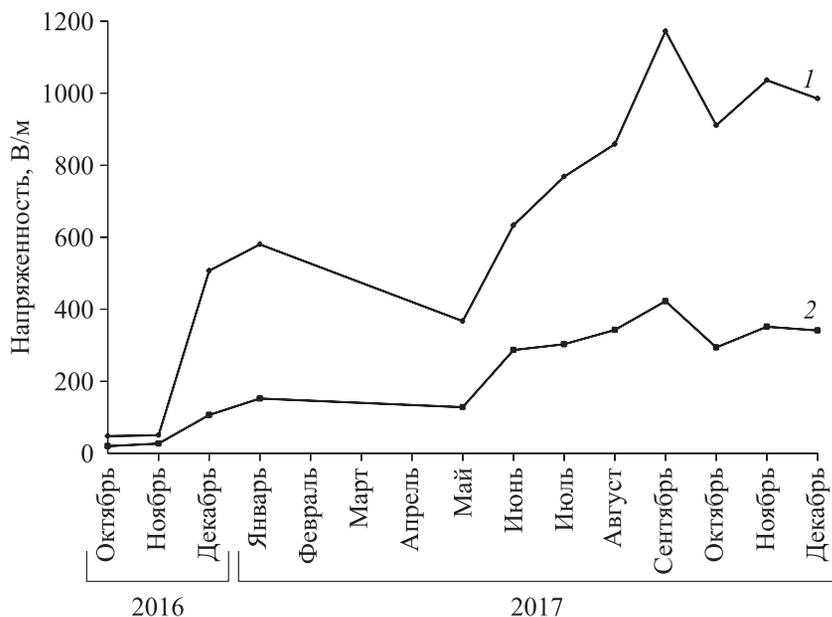


Рис. 1. Динамика напряженности электрического поля ВЛ-330 (В/м) у пересечения проспектов Блюхера и Кондратьевского, г. Санкт-Петербург.

Объекты мониторинга: 1 – 20 м от ВЛ, 2 – 25 м от ВЛ.

и уменьшается при антициклональных. Влияние температуры менее однозначно, поскольку низкая влажность имеет место как при летних антициклонах (наиболее высокие температуры), так и, особенно, при зимних (наиболее низкие температуры).

Магнитные поля. Магнитные поля, характеризуемые показателями магнитной индукции, не образуют столь резких максимумов под ВЛ, как электрические, но характеризуются менее быстрым снижением по мере удаления от них (рис. 2), а также более высоким и практически повсеместно представленным общегородским фоном от совокупности разнообразных источников.

Значения магнитной индукции 1–2 нТл, находящиеся на уровне погрешности измерения, отмечены только в глубине лесопарковых зон, на удалении более 0,5 км от ближайших возможных источников. Как видно из табл. 2, показатели магнитной индукции, как вблизи ВЛ, так и на мониторинго-

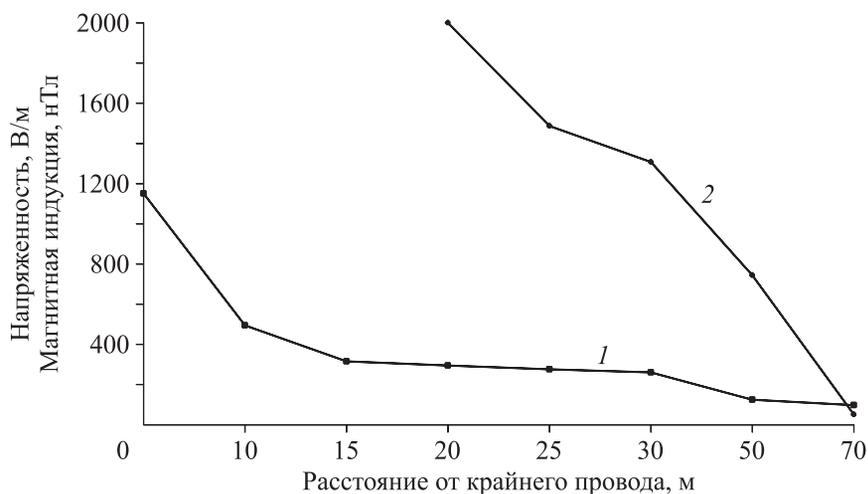


Рис. 2. Средние значения напряженности и магнитной индукции (шкала общая) на разных расстояниях от ВЛ-330 у станции метро Девяткино, г. Санкт-Петербург.

1 – напряженность электрического поля; 2 – магнитная индукция.

Таблица 2

Статистические характеристики и коэффициенты корреляции между показателями магнитной индукции и метеорологическими характеристиками (г. Санкт-Петербург)

Объекты мониторинговых наблюдений	Статистические характеристики				Коэффициенты корреляции с показателями:			
	число измерений, ед.	среднее значение, нТл	среднее квадратическое отклонение (δ), нТл	коэффициент вариации, %	абсолютная влажность	относительная влажность	температура воздуха	атмосферное давление
ВЛ-330 у пересечения проспектов Блюхера и Кондратьевского, 20 м от проводов	74	174,1	40,6	23,3	-0,426	0,255	-0,454	0,058
Там же, 25 м от проводов	71	83,2	27,8	33,5	-0,314	0,245	-0,352	-0,083
ВЛ-110 там же, 15 м от проводов	75	36,8	8,1	22,1	0,325	-0,281	0,388	-0,15
Там же, 20 м от проводов	45	17,9	6,5	36,3	-0,35	0,179	-0,439	0,183

вых точках жилых зон, в сравнении с напряженностью электрических полей менее изменчивы и обнаруживают только слабые зависимости от метеорологических характеристик либо отсутствие таковых.

О прямом влиянии метеорологических условий на магнитное поле речи не идет, но косвенные воздействия, связанные с социальными факторами, могут быть отмечены. Так, выявляющаяся в жилой зоне «спального» района обратная зависимость магнитной индукции от абсолютной влажности и температуры отражает отток части населения в летнее время на дачи и уменьшение пользования бытовыми электроприборами и освещением. Аналогичным образом пониженная рекреационная и прочая активность населения при повышенной относительной влажности воздуха во все сезоны создает очень слабую, но прямую связь, причем данный эффект перекрывает даже противоположное по направленности воздействие летнего загородного отдыха. Показатели магнитной индукции в жилой зоне растут днем и снижаются ночью, размах колебаний достигает 2–3 раз. Динамику показателей магнитной индукции вблизи станций метро следует интерпретировать с учетом особенностей работы размещенных в павильонах метро торговых и прочих объектов.

Будучи при прочих равных относительно устойчивыми характеристиками, показатели магнитной индукции обнаруживают достаточно четкую пространственную дифференциацию в зависимости от использования территории и типа застройки (табл. 3).

Подобное распределение характеристик в зависимости от использования земель и характера застройки было выявлено в Казани, Белгороде и Петрозаводске. Относительно повышенные значения

Таблица 3

Основные результаты измерений магнитной индукции на территориях Санкт-Петербурга с разным характером использования и застройки

Характер использования, тип застройки	Число измерений, ед.	Среднее значение, нТл	Среднее квадратическое отклонение (δ), нТл	Коэффициент вариации, %	Число аномальных значений по 2σ пределу	Среднее значение без аномалий, нТл
Исторический центр, в том числе:	139	300,6	290,6	96,7	9	242,7
улицы	101	320,7	302	94,2	6	255,1
дворы	25	215	226,6	105,4	1	181,4
площади и другие разрывы застройки	13	55,3	65,3	118	1	38,7
Застройка смешанного характера	29	135,4	125,3	92,5	1	124,2
Современная застройка, в том числе:	110	86,7	107,3	123,8	4	70,7
среднеэтажная	32	99,2	97,7	98,5	2	71,4
многоэтажная 1960–1990-х гг.	61	87,4	120,9	138,3	1	74,1
многоэтажная 2000–2010-х гг.	17	60,1	63,3	105,3	1	50,7
Парки, скверы	45	8	9,9	123,8	2	6,5

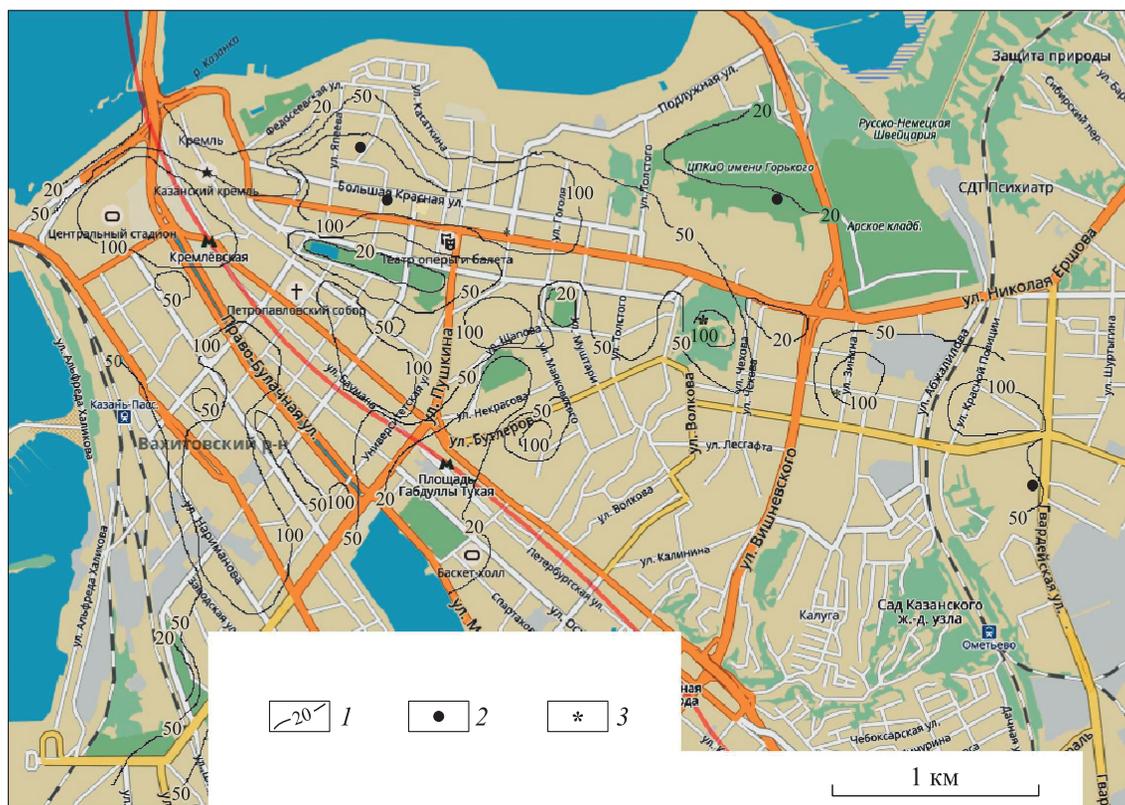


Рис. 3. Схематическая карта значений магнитной индукции в центральной части Казани.

1 — изолинии и их оцифровка, нТл. Аномалии: 2 — по 3δ пределу, 3 — по 2δ пределу.

магнитной индукции свойственны домам постройки прошлых десятилетий («финские» деревянные дома Петрозаводска) и веков (исторические центры Санкт-Петербурга и Казани), электропроводка в которых не соответствует нагрузкам от современной бытовой техники. И, наоборот, во всех городах показатели магнитной индукции невысокие вблизи домов постройки последних лет. Пример картографического изображения пространственного распределения значений магнитной индукции представлен на рис. 3.

Аномальные значения магнитной индукции (до 2000 нТл и более), отмеченные в отдельных точках всех четырех городов, связаны с воздействием кабелей и выявляются не только статистически, но и по резкому росту значений у поверхности земли или защитных кожухов. При сравнении характеристик территорий с разным использованием и застройкой обнаруживается четкая зависимость между общей техногенной нагрузкой на окружающую среду и интенсивностью магнитных полей промышленной частоты. Соответственно, величина магнитной индукции может рассматриваться как индикатор общей техногенной нагрузки на территорию (геоиндикатор), удобный объект измерений и показа на картах посредством изолиний [19, 20]. Его особенность — это исключительно высокая динамичность, включая полное отсутствие зависимости от прошлых состояний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электрические и магнитные поля промышленной частоты образуют внутри крупных городов сложную, постоянно меняющуюся пространственную сеть. Напряженность электрических полей достигает опасных значений вблизи ВЛ, причем по мере увеличения плотности жилой застройки эта проблема обостряется. Дополнительный фактор увеличения напряженности электрических полей — влажность воздуха, снижающая его диэлектрические свойства. Магнитные поля в пределах городов распространены повсеместно, их напряженность закономерно увеличивается от парков и других рекреационных зон к плотной исторической застройке, обнаруживая тем самым четкую зависимость от

общей техногенной нагрузки на окружающую среду. Это делает магнитную индукцию удобным объектом количественного исследования и картографирования (геоиндикатором). Геоэкологическое исследование электромагнитных полей предполагает анализ их пространственной изменчивости и временной динамики, преимущественно по данным натуральных измерений. Сколько-нибудь полное и систематическое изучение электромагнитной среды городов, а также введение в данной сфере экологического менеджмента станут возможными только при организации мониторинга и систематического картографирования электромагнитных полей.

Предполагается, что систематическое изучение электромагнитных полей городских территорий позволит оценивать приоритетность сопряженных с ними экологических проблем в целях определения очередности замены воздушных ВЛ на подземные кабельные. По мере накопления результатов мониторинга электромагнитных полей встанет вопрос о совершенствовании нормативной базы и разработке методов прогноза, поскольку рост напряженности электромагнитных полей вследствие увеличения нагрузки ВЛ должен рассматриваться как один из факторов, определяющих допустимость реализации проектов при их экспертизе. Это же касается возможной дифференциации нормативов санитарно-защитных и охранных зон в зависимости от климатических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлева М.И. Физиологические механизмы действия электромагнитных полей. — Л.: Медицина, 1973. — 175 с.
2. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. — М.: Радио и связь, 2000. — 240 с.
3. 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.
4. Григорьев О.А. Электромагнитная безопасность городского населения: характеристика современных источников ЭМП и оценка их опасности // Электромагнитные поля и население: Сб. статей. — М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 2003. — С. 76–93.
5. Федорович Г.В. Экологический мониторинг электромагнитных полей. Т. 1: Медико-экологические аспекты. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. — 140 с.
6. Schwan H.P. Nonthermal cellular effects of electromagnetic fields: AC — field induced ponderomotive forces // British Journal of Cancer. — 2009. — Vol. 45. — P. 220–224.
7. Gun L., Ning D. Equivalent permittivity based on Debye model of blood and its SAR // International Journ. of Science, Technology and Society. — 2017. — Vol. 5, N 3. — P. 37–40.
8. Халилов Ф.Х. Электромагнитная совместимость электроэнергетики, техносферы и биосферы. — СПб.: Изд. НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2014. — 190 с.
9. Xiao-Feng P., Gun L. The influences of electromagnetic field irradiated by high voltage transmission lines with 50 Hz on the features of blood in animals // Journ. of Tissue Science & Engineering. — 2017. — Vol. 8, N 1. — P. 10.4172/2157-7552/1000194.
10. Васильев А.В. Моделирование, расчет внешних источников и составление карт электромагнитных полей // Изв. Самар. центра РАН. — 2015. — Т. 17, № 2 (5). — С. 1176–1181.
11. Ивлева Я.С. Мониторинг и составление карт электромагнитных полей в условиях города Оренбурга // Достижения вузовской науки. — 2016. — № 25-2. — С. 183–188.
12. Ponnle Akinlolu, Adedeji Kazeem. Assessment of human exposure to magnetic field from overhead high voltage transmission lines in a city in South Western Nigeria // American Journ. of Engineering Research (AJER). — 2015. — Vol. 4, issue 5. — P. 154–162.
13. СанПиН 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты. Утверждены Главным государственным санитарным врачом СССР 23.02.1984 № 2971-84). — М., 1984. — 8 с. [Электронный ресурс]. — http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_102214/ (дата обращения 02.01.2018).
14. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов (новая редакция). Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 25 сентября 2007 г. № 74 [Электронный ресурс]. — <http://base.garant.ru/12158477/> (дата обращения 02.01.2018).
15. О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон. Постановление Правительства РФ от 24.02.2009 г. № 160 [Электронный ресурс] — <http://base.garant.ru/12165555/> (дата обращения 02.01.2018).
16. Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health Expressed at the 27th CSTEE plenary meeting Brussels, 30 October 2001 [Электронный ресурс]. — http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/sct/documents/out128_en.pdf (дата обращения 02.01.2018).

17. **ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07.** Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21 августа 2007 г. № 60 [Электронный ресурс]. — <http://base.garant.ru/12156058/> (дата обращения 16.07.2017).
18. **Интернет-сервис** Погода в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]. — https://gp5.ru/Погода_в_Санкт-Петербурге (дата обращения 02.01.2018).
19. **Стурман В.И.** Картографирование электромагнитных полей промышленного диапазона частот в городе Белгород // Науч. ведомости Белгород. ун-та. Естественные науки. — 2017. — № 18. — С. 183–191.
20. **Стурман В.И.** Картографирование электромагнитных полей промышленного диапазона частот в городе Петрозаводске // Принципы экологии. — 2017. — № 4. — С. 25–33.

Поступила в редакцию 24 февраля 2018 г.