

УДК 577.3

ИСКАЖЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ШУМОМ НИЗКИХ ЧАСТОТ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

© 2010 В.И. Уткин, Д.С. Тягунов, О.Л. Сокол-Кутыловский, Т.Е. Сенина

*Институт геофизики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург;
e-mail: voutkin@mail.ru*

Исследуется интенсивность электромагнитного шума в области низких частот (0.05-20 Гц), вызываемого техногенными причинами. Рассматриваются особенности источников шума. Проведено сравнение интенсивности электромагнитного и акустического шумов городского транспорта. Показано, что население крупных промышленных городов постоянно находится под влиянием низкочастотного техногенного электромагнитного шума, сопоставимого по величине с геомагнитными бурями средней величины.

Ключевые слова: геомагнитное поле, движение магнитных масс, техногенные вариации поля.

В настоящее время в мегаполисах проводятся масштабные геофизические исследования, как инженерно-изыскательского, так и геоэкологического характера (Куликова, 2002, 2005; Слепак, 2007; Уткин, 2009). Выполнены достаточно объемные исследования, связанные с воздействием электромагнитных волн на биологические объекты, в частности на живые организмы и человека (Бинге, 2003; Хабарова, 2002). В качестве источников электромагнитных волн низких частот обычно рассматриваются волны, возникающие за счет шумановских или альфвеновских резонансов в атмосфере. В то же время практически не произведена оценка возможного искажения геомагнитного поля и соответственно влияния на живые организмы электромагнитных волн, создаваемых техногенными источниками.

ИСТОЧНИКИ ТЕХНОГЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМА

Основными источниками техногенного электромагнитного шума низких частот в крупных промышленных городах считаются силовые линии электропередач, железнодорожный и городской электротранспорт. Обычно предполагают, что основные источники электромагнитного шума лежат в области частот 50 Гц. Однако любое изменение токовой нагрузки потребителями электрического тока с частотой 50 Гц вызывает

не менее интенсивное изменение электромагнитного поля во всем диапазоне частот, в том числе и на частотах ниже 50 Гц, что необходимо учитывать при оценке общей электромагнитной обстановки в крупных промышленных городах. Следует отметить, что именно в области низких частот (0.05-20 Гц) находятся основные сигналы, управляющие главными функциями организма человека: дыханием (0.2-0.4 Гц), сердечной деятельностью (около 1 Гц), ритмами головного мозга (10-20 Гц).

В данной статье сделана попытка рассмотреть с помощью геофизических методов интенсивность источников электромагнитного поля низких частот, вызываемых техногенными источниками.

Для изучения вариаций электромагнитного поля техногенного происхождения был применен магнитомодуляционный преобразователь магнитной индукции, выполненный на основе аморфного ферромагнитного сердечника работающий в режиме автопараметрического усиления (Сокол-Кутыловский, 2009). Полоса частот измеряемого магнитного поля составляла 0.05-20 Гц, собственный магнитный шум датчика — 3-5 нТл·Гц^{-1/2}, коэффициент преобразования без внешнего усиления — 0.2 мВ/нТл. Аналоговый электрический сигнал с магнитомодуляционного преобразователя поступал на 24-разрядный программируемый АЦП AD7714, соединенный с

ПК (ноутбуком). Частота дискретизации – 80 Гц. Диапазон рабочих температур – от -15 до $+50^{\circ}\text{C}$.

Для регистрации акустических колебаний низких частот использовался низкочастотный регистратор сейсмических сигналов «Регистр-3MS», разработанный в ИГ УрО РАН (Сенин, 2005, Уткин, 2005). Регистратор предназначен для записи ближних и удаленных (тысячи километров) сейсмических событий. Основные технические характеристики прибора: число сейсмических каналов – 3; диапазон регистрируемых частот – 0.01 – 64 Гц; число разрядов аналого-цифрового преобразователя (устанавливается программно) – 16 или 24; частоты среза программно управляемого цифрового фильтра нижних частот 2, 4, 8, 16, 32 и 64 Гц (глубина подавления в полосе пропускания ≥ 100 дБ); степени усиления (устанавливаются программно) – 1, 2, 4, 8, 16, 32 и 64; объем флэш-диска ≥ 6 Мбайт. Диапазон рабочих температур колеблется от -30 до $+45^{\circ}\text{C}$.

Измерения вариаций магнитного поля проводились как на экспериментальном полигоне ИГ УрО РАН в Екатеринбурге (Тягунов, 2008), так и по меридиональному профилю Североуральск–Сысерть, проходящему через Екатеринбург. Измерения проводились в условиях приблизительно одинаковой верхней части геологического разреза: 8–10 м четвертичных

отложений (песчано-глинистая смесь) и до 200–250 м мощности массивов гранита или габбро. В этих измерениях всегда регистрировались три компоненты электромагнитного поля (X , Y , Z). Было определено, что все они синхронно изменяются во времени при прохождении вариаций поля. Поэтому в дальнейшем при описании наблюдаемых эффектов приводятся только вариации вертикальной составляющей электромагнитного поля как наиболее детально отражающей основные эффекты в вариациях поля. Влияние электрических свойств полупространства, в котором располагался датчик электромагнитного поля, на поведение вариаций поля не рассматривалось, в предположении изучения этого вопроса при будущих исследованиях.

На рис. 1 показан пример регистрируемых вариаций вертикальной составляющей геомагнитного поля в Екатеринбурге и пунктах, расположенных на различном расстоянии от города (Уткин, 2006). Продолжительность фрагмента записи вертикальной составляющей геомагнитного поля – 250 с. Записи проводились в период относительно спокойного геомагнитного поля (по данным обсерватории Института геофизики УрО РАН – АРТИ).

Как видно из представленных диаграмм, амплитуда максимальных вариаций вертикаль-

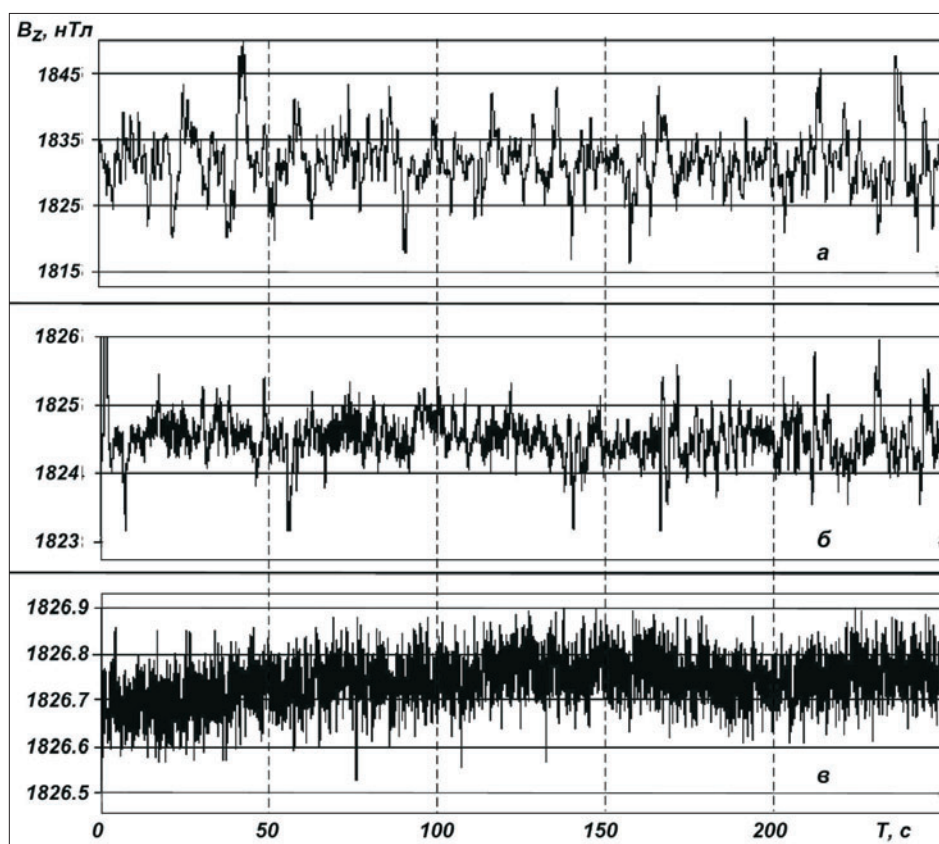


Рис. 1. Диаграммы записи вертикальной составляющей индукции магнитного поля: *a* – в пределах города Екатеринбурга (Юго-Западный район); *б* – при удалении на запад от первоначальной точки на расстояние около 10 км; *в* – на территории обсерватории АРТИ (расстояние от Екатеринбурга – около 150 км).

ной составляющей индукции в пределах Екатеринбурга (ближе к окраине города) достигает величины 20 нТл (рис. 1а), при средней величине около 10 нТл. Вариации магнитного поля в центральной части города достигали 300–500 нТл и более, что выходит за рамки динамического диапазона измерений, поэтому их запись здесь не приводится. Удаление от источников промышленных помех на расстояние около 10 км (рис. 1б) приводит к снижению максимальных значений вариаций магнитного поля до 2 нТл при средней величине около 1 нТл. В пределах обсерватории АРТИ, вблизи которой нет мощных источников промышленных помех, отмечается только геомагнитные вариации, амплитуда которых ~ 0.1 нТл (рис. 1в).

Сопоставление амплитуд вариаций компонентов магнитного поля показало интересную особенность. В пределах города и на небольшом удалении от него амплитуда шума вертикальной составляющей магнитного поля значительно (на порядок и более) превышает величину шума горизонтальных составляющих. С увеличением расстояния от города величины максимальных вариаций компонентов выравниваются. Наконец, на расстоянии сотен километров от города амплитуды горизонтальных составляющих превышают амплитуду вариаций вертикальной составляющей магнитного поля.

Это вызвано тем, что основные источники техногенного шума (линии электрических передач, рельсы и силовые провода электрического городского и пригородного транспорта) имеют протяженную и преимущественно плоскую

контурную структуру, параллельную земной поверхности, магнитное поле которых при любом направлении электрического тока в них всегда имеет вертикальную составляющую. Вариации же естественного геомагнитного поля вызваны относительно удаленным источником – магнитосферой. Так как магнитное и электрическое поле электромагнитной волны ортогональны направлению ее распространения, то в электромагнитных волнах, распространяющихся от магнитосферы к поверхности Земли, амплитуда вариаций горизонтальных составляющих магнитного поля выше, чем амплитуда вертикальной составляющей. Этот критерий во многих случаях позволяет разделить техногенные источники возмущающего магнитного поля от геомагнитных вариаций.

В качестве примера отметим, что максимальная амплитуда вариаций в 230 км от Екатеринбурга (п. Висим) и в 280 км от Екатеринбурга (п. Верхотурье) составляет ~ 0.8 нТл при средней величине около 0.4 нТл, а в 500 км от Екатеринбурга (п. Кытлым) – 0.4 нТл при средней величине около 0.2 нТл и примерно равны вариациям, наблюдаемым в обсерватории АРТИ при спокойной магнитосфере. Существенное снижение амплитуды электромагнитного шума на удаленных от Екатеринбурга участках объясняется тем, что там отсутствуют мощные источники техногенного происхождения, характерные для крупных промышленных центров, и нет интенсивного движения транспорта.

На рис. 2 показаны результаты спектрального анализа вариаций электромагнитного

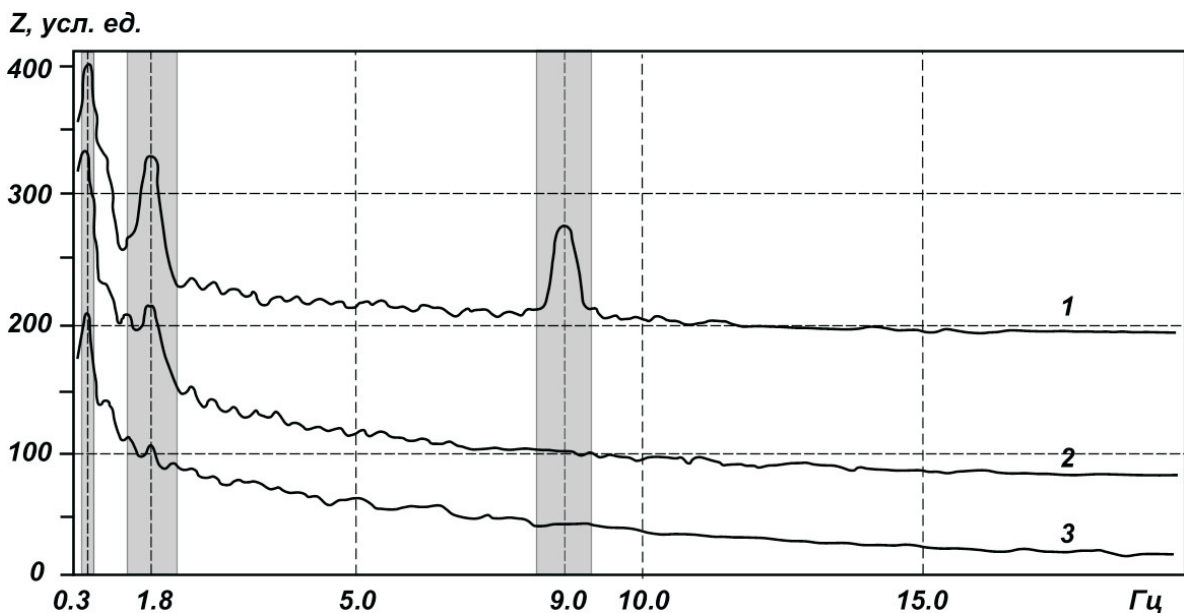


Рис. 2. Спектральные характеристики электромагнитного поля в некоторых населенных пунктах Среднего Урала: в поселках Висим (1), Верхотурье (2), Кытлым (3). Выделенные участки соответствуют повышенной плотности спектра шума, вызванной относительно близко находящимися источниками техногенного происхождения.

поля, полученные в некоторых населенных пунктах Среднего Урала. В п. Висим максимумы спектральной плотности электромагнитного шума отмечаются на частотах 0,3, 1,8, 9 Гц. В п. Верхотурье максимум спектральной плотности электромагнитного шума проявляется на частоте 1,8 Гц, а в п. Кытлым спектр электромагнитного шума не имеет явно выделяющихся максимумов, что свидетельствует об относительно спокойном техногенном электромагнитном поле. Последний вид спектра характерен для областей с минимальным уровнем техногенных шумов при их относительно равномерном распределении по спектру.

ПРИРОДА ВАРИАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для выявления природы вариаций техногенного электромагнитного поля были проведены измерения в различных условиях: вблизи транспортных магистралей и жилых массивов города Екатеринбурга (рис. 3-5).

Из представленных магнитограмм следует,

что вблизи проезжей части максимальная амплитуда вариаций составляет ~ 80 нТл, при средней величине около 40 нТл (рис. 3а). При удалении от проезжей части на расстояние 300 м значения вариаций резко снижаются и составляют 3 нТл (рис. 3б). При этом пиковые предельные значения вариаций однозначно связаны с движением магнитных масс, каковыми являются грузовые автомобили. Проезд грузового автомобиля, груженного металлом (рис. 3в), вызывает изменение амплитуды вариаций до 100 нТл – при уменьшении поля, и еще большей величины – при увеличении поля (данные прибора вышли за пределы области измерений).

Для выяснения причины вариаций был проделан комплексный эксперимент, в котором одновременно, в радиусе нескольких метров, регистрировались изменения магнитной индукции и сейсмической активности. Прохождение городского транспорта мимо измерительного пункта фиксировалось на видеопленку. Результаты измерений представлены на рис. 4.

В интервале от 440 до 500 с зафиксировано прохождение легковых автомобилей и боль-

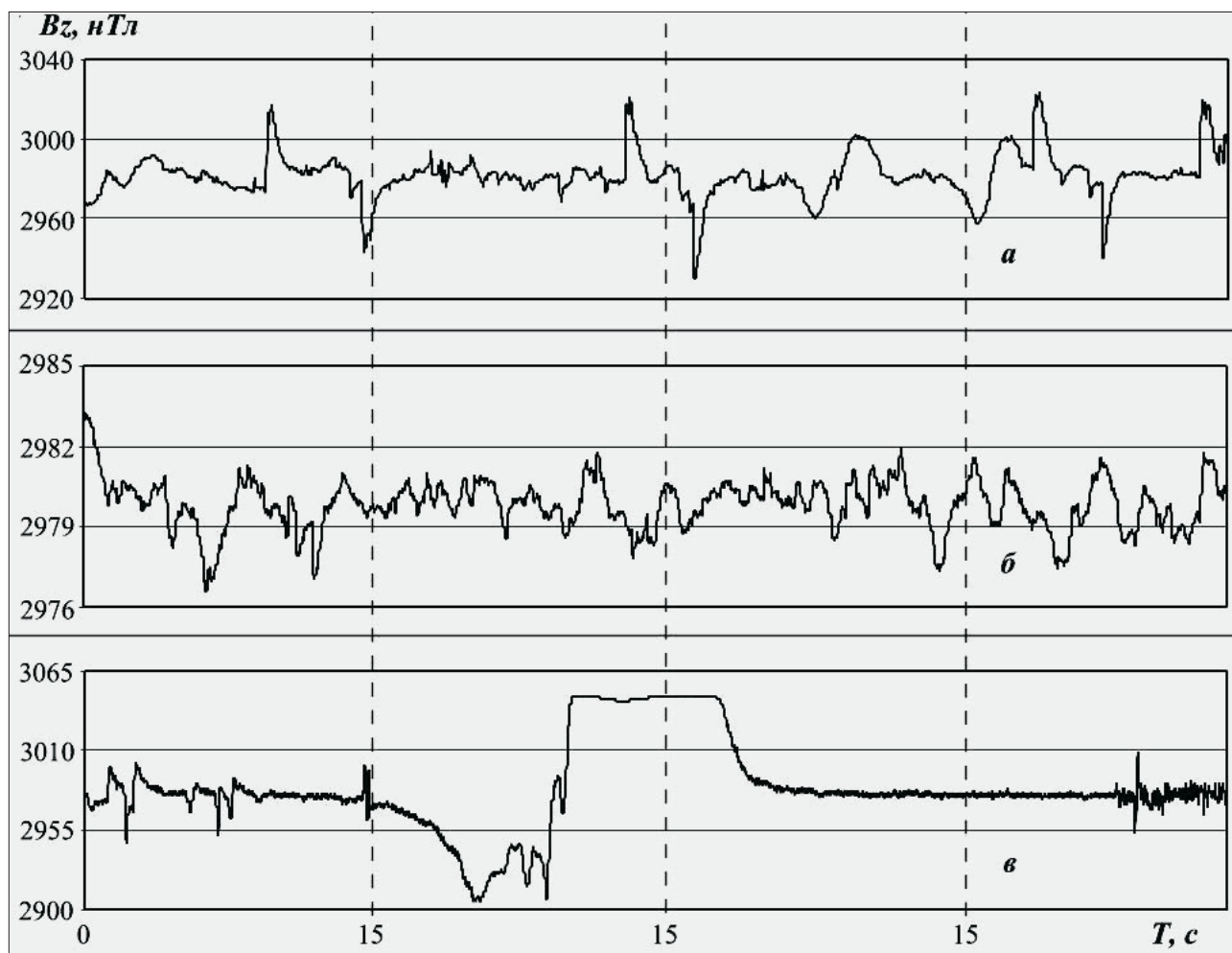


Рис. 3. Диаграммы записи вертикальной составляющей индукции магнитного поля: а – вблизи проезжей части; б – на удалении от проезжей части на расстояние 300 м; в – от проезжающего рядом грузового автомобиля.

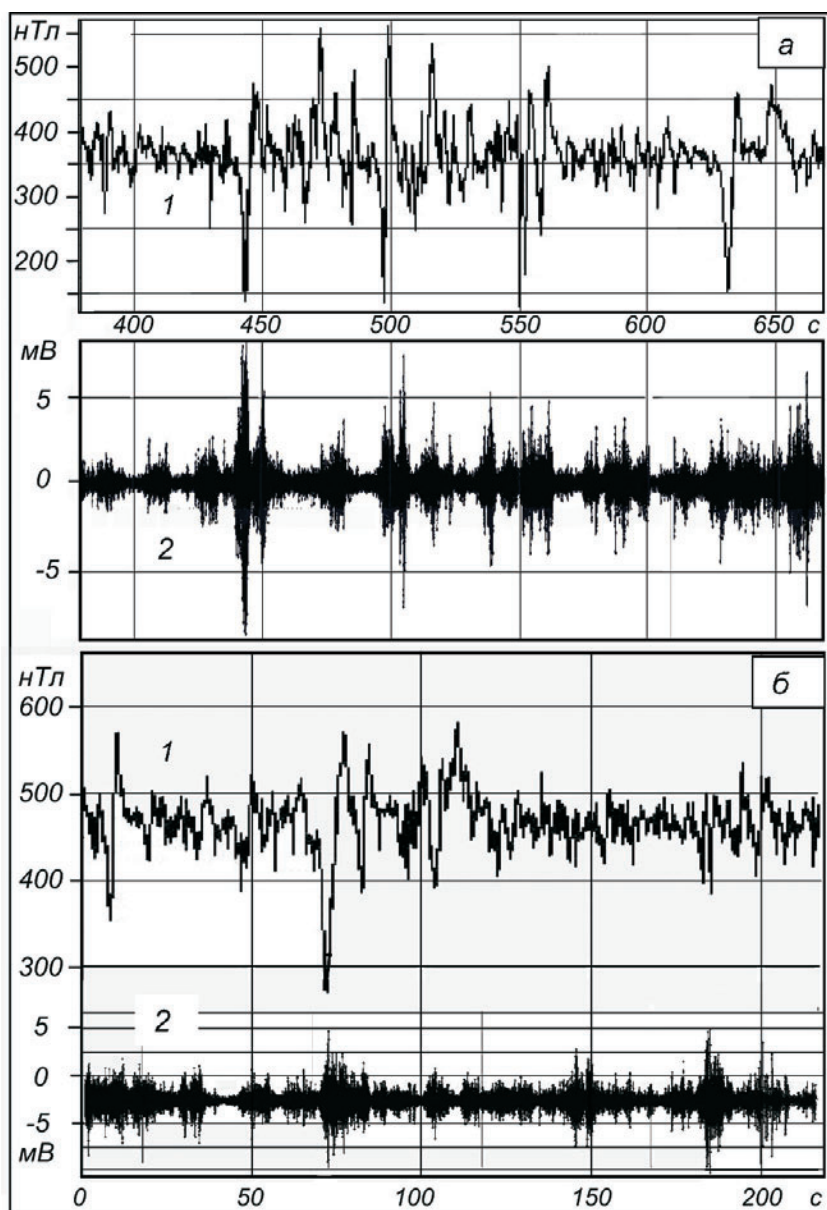


Рис. 4. Результаты комплексных измерений на расстоянии 50 м от автострады с электротранспортом (троллейбус): *а, б* – различные обстановки движения транспорта; 1 – вариации индукции геомагнитного поля; 2 – вариации сейсмического поля.

шегрузного транспорта; от 500 до 600 с – прохождение троллейбуса (рис. 4*а*). Видно, что прохождение большегрузного транспорта вызывает аномальные изменения, как электромагнитного поля, так и сейсмической активности. Прохождение же по трассе троллейбусов вызывает существенные изменения только электромагнитного поля, что, очевидно, связано с токовыми системами транспорта.

Изменение регистрируемых полей при начальном движении троллейбуса и после его остановки показано на рис. 4*б*. Видно, что включение электродвигателей вызывает вариацию электромагнитного поля около 200 нТл, в то время как начальное движение транспорта в сейсмическом поле отмечается вариациями средней величины. Иначе говоря, движение городского транспорта вызывает изменения геомагнитного поля порядка 40–50 нТл, вызванное относительно малыми

магнитными массами («легкими» автомобилями), и максимальное возмущение до 200–300 нТл, вызываемое большегрузным транспортом и городским электротранспортом.

Таким образом, постоянно движущийся городской транспорт является распределенным генератором непрерывных вариаций электромагнитного поля низких частот. Амплитуда этих вариаций может достигать величины 1000 и более нТл, поэтому движение городского транспорта – это заметный вклад в общий электромагнитный низкочастотный шум города.

Не менее интересно изучение вариаций электромагнитного поля вблизи жилых домов, из-за высокой энергонасыщенности жилого сектора.

Электромагнитный шум, создаваемый одиноким девятиэтажным зданием, представлен на рис. 5. Из этих магнитограмм следует, что

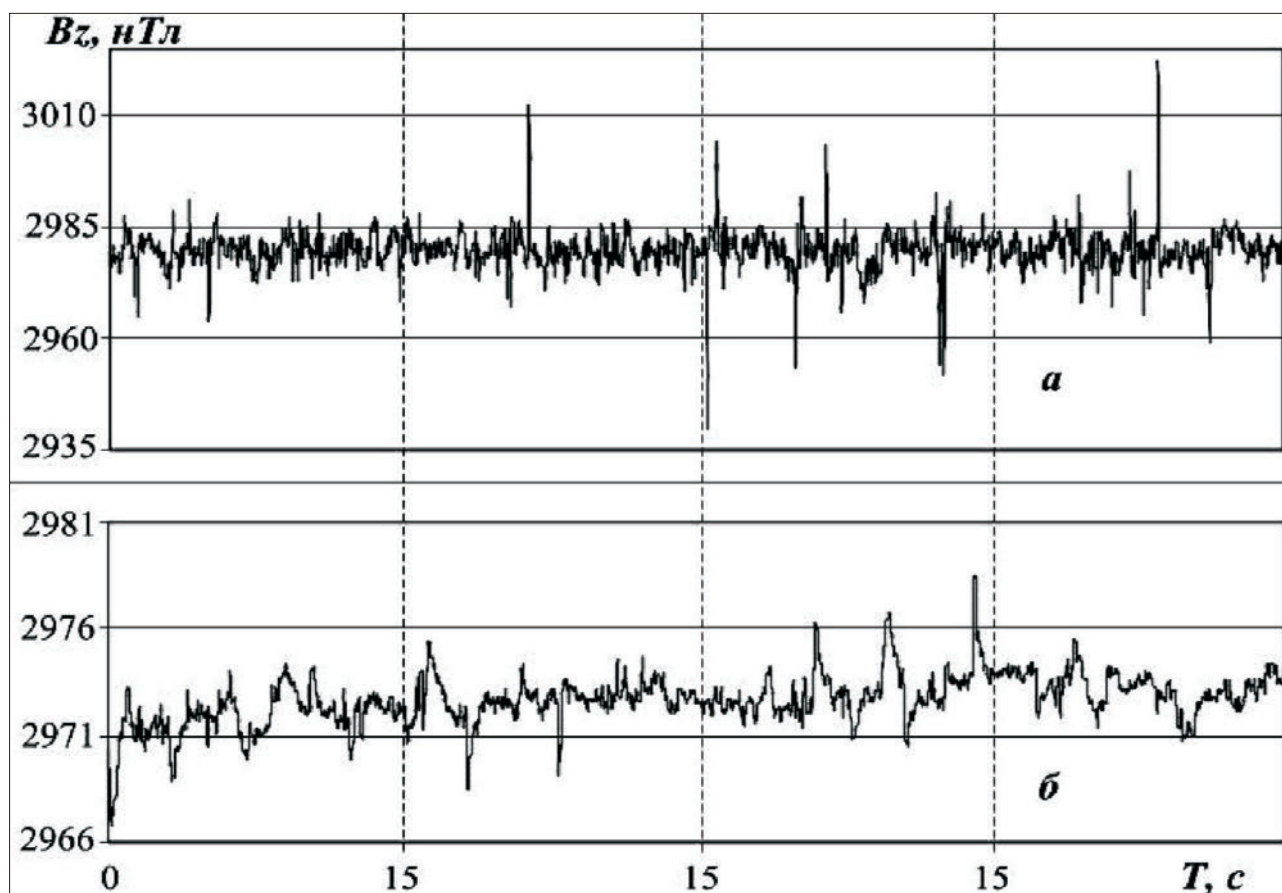


Рис. 5. Диаграммы записи вертикальной составляющей индукции магнитного поля: *a* – у стены девяти этажного жилого дома; *б* – в 35 м от девяти этажного жилого дома.

максимальная амплитуда вариаций составляет 25 нТл, при средней величине около 10 нТл (рис. 5а). При удалении от этого девяти этажного дома на расстояние 35 м (рис. 5б) значения вариаций составляют около 4 нТл. Характер вариаций поля показывает, что вблизи жилых домов наблюдаются резкие скачки и перепады магнитного поля, что связано с эксплуатацией мощных электробытовых приборов и оборудования внутри этих зданий.

Затухание амплитуды вариаций электромагнитного поля обычно обратно пропорционально расстоянию от источника вариаций. Поэтому низкочастотный электромагнитный шум высокой интенсивности, создаваемый крупными промышленными центрами, распространяется на значительные расстояния, исчисляемые десятками километров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные работы позволяют сделать следующие выводы:

– уровень электромагнитного шума в крупных промышленных городах (на примере Екатеринбурга) в диапазоне частот 0.05–20 Гц превышает уровень вариаций естественного

геомагнитного поля в 500–1000 раз;

– городской и пригородный электротранспорт, а также движущийся автомобильный транспорт дает вклад в общий электромагнитный шум в населенных пунктах;

– особенность техногенных электромагнитных помех заключается в том, что вертикальная составляющая поля магнитной индукции больше горизонтальных составляющих, а для вариаций естественного геомагнитного поля – наоборот, что позволяет различить эти основные источники возмущения геомагнитного поля.

Из полученных результатов следует, что часть населения, которая проживает в крупных промышленных центрах и их окрестностях, постоянно находится под воздействием сильно возмущенного электромагнитного поля низких частот, что типично для магнитной бури интенсивностью 4–6 баллов.

Список литературы

Бинге В.Н., Савин А.В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические объекты // УФН. 2003. Т. 173. № 3. С. 265–301.

- Куликова Е.Ю.* Экологическая безопасность при освоении подземного пространства в крупных городах. М.: МГГУ, 2002. 376 с.
- Куликова Е.Ю.* Подземная геоэкология мегаполисов. М.: МГГУ, 2005. 480 с.
- Сенин Л.Н., Сенина Т.Е.* Регистратор сейсмических сигналов «Регистр» // Приборы и техника эксперимента. 2005. № 6. С. 141-142.
- Слепак З.М.* Геофизика для города. Тверь: ГЕРС, 2007. 240 с.
- Сокол-Кутыловский О.Л.* Автопараметрический датчик магнитной индукции // Датчики и Системы. 2009. № 1. С. 37-38.
- Тягунов Д.С.* Изучение электромагнитного шума на Среднем Урале // XV Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. http://www.lomonosov-msu.ru/2008/06_9.pdf.
- Уткин В.И., Сенин Л.Н., Сенина Т.Е.* Полевая аппаратура и способ сейсмического мониторинга. Патент RU 2265867. Оpubл. Бюлл. Открытия, изобретения..., № 10, декабрь 2005 г.
- Уткин В.И., Сокол-Кутыловский О.Л.* Техногенный магнитный шум в пределах мегаполиса и удалении от него // 170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современные состояния. Материалы Международного семинара, Екатеринбург, 17-23 июля 2006 г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. С. 173-175.
- Уткин В.И., Сокол-Кутыловский О.Л., Тягунов Д.С.* Низкочастотный электромагнитный шум техногенного происхождения // Материалы конференции «Пятое научные чтения памяти Ю.П. Булашевича», 06-10 июня 2009 г. Екатеринбург, 2009, С. 487-492.
- Хабарова О.В.* Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2002. № 5. С. 56-66.

DISTORTION OF THE GEOMAGNETIC FIELD CAUSED BY THE LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INDUSTRIAL NOISE

V.I. Utkin, D.S. Tyagunov, O.L. Sokol-Kutylovsky, T.E. Senina

*Institute of Geophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg;
e-mail: voutkin@mail.ru*

The article reveals that intensity of low frequency electromagnetic noise (0,05 Hz-20 Hz) is caused by industrial noise. Intensity of electromagnetic and acoustic noise generated by municipal transport was compared. The population in large industrial cities continuously suffers from low-frequency industrial electromagnetic noise comparable to an average geomagnetic storm.

Keywords: geomagnetic field, moving of magnetic mass, industrial variations of field.