

Краткие сообщения

УДК 537.636: 577.3

СПЕКТРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРОДСКОГО МАГНИТНОГО ШУМА В ДИАПАЗОНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

© 2016 Д.С. Тягунов, О.Л. Сокол-Кутыловский

*Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, 620016;
e-mail: tds-07@mail.ru*

В статье рассмотрено спектральное распределение магнитного шума в диапазоне низких частот (0.01÷200 Гц) в пределах крупного промышленного города на примере Екатеринбурга в различное время суток. Показано, что кроме промышленной частоты и ее первых гармоник, средняя амплитуда магнитного шума монотонно возрастает в области частот менее 3 Гц. Наиболее высокую амплитуду имеют импульсы магнитного поля, создаваемые железнодорожным и электрическим транспортом (до 10000 нТл от пика до пика над линией метрополитена), которые значительно превышают среднюю интенсивность городского магнитного шума, однако они локализованы вблизи линий метро и железнодорожных путей. Так как длительность и частота появления этих импульсных шумов носит случайный характер, то в спектре Фурье в виде отдельных спектральных линий они не проявляются.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, техногенный магнитный шум, электромагнитное поле.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным ростом крупных городов резко увеличивается их энергетическая насыщенность, связанная с развитием всех видов электрического транспорта, резким увеличением числа автомобилей, плотности жилого сектора в виде строительства многоэтажных жилых комплексов, развития городской инфраструктуры и сетей, электрического, теплового и газового снабжения, проводной и сотовой связи. В результате этого уровень электромагнитного шума в современных городах значительно увеличился во всем диапазоне частот. Энергетическое влияние электромагнитного излучения очень низких частот на живые организмы и на человека достаточно мало. Однако, низкочастотные электромагнитные поля не только создают помехи в работе чувствительной электронной аппаратуры, но и могут привести к ее полной неработоспособности. Например, приборы медицинской диагностики для регистрации магнитных кардиограмм или энцефалограмм

не могут успешно функционировать в условиях даже относительно небольших электромагнитных помех. По данным (Сокол-Кутыловский, Тягунов, 2012) техногенный электромагнитный шум низких частот влияет на работу геомагнитных обсерваторий, искажая изучение естественных геомагнитных вариаций.

В местах интенсивного электромагнитного шума не могут быть применены такие геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых, как магниторазведка, магнитотеллурическое зондирование и некоторые методы электроразведки на переменном токе. Поэтому изучение величины и распределения электромагнитного шума низких частот техногенного происхождения является актуальной проблемой современных городов (Беляев и др., 2003; Колесник и др., 2007; Уткин, Тягунов, 2013). Авторы провели такие исследования в пределах г. Екатеринбурга (рис. 1), где измерялись магнитные составляющие шумового электромагнитного поля в диапазоне частот 0.01÷200 Гц.

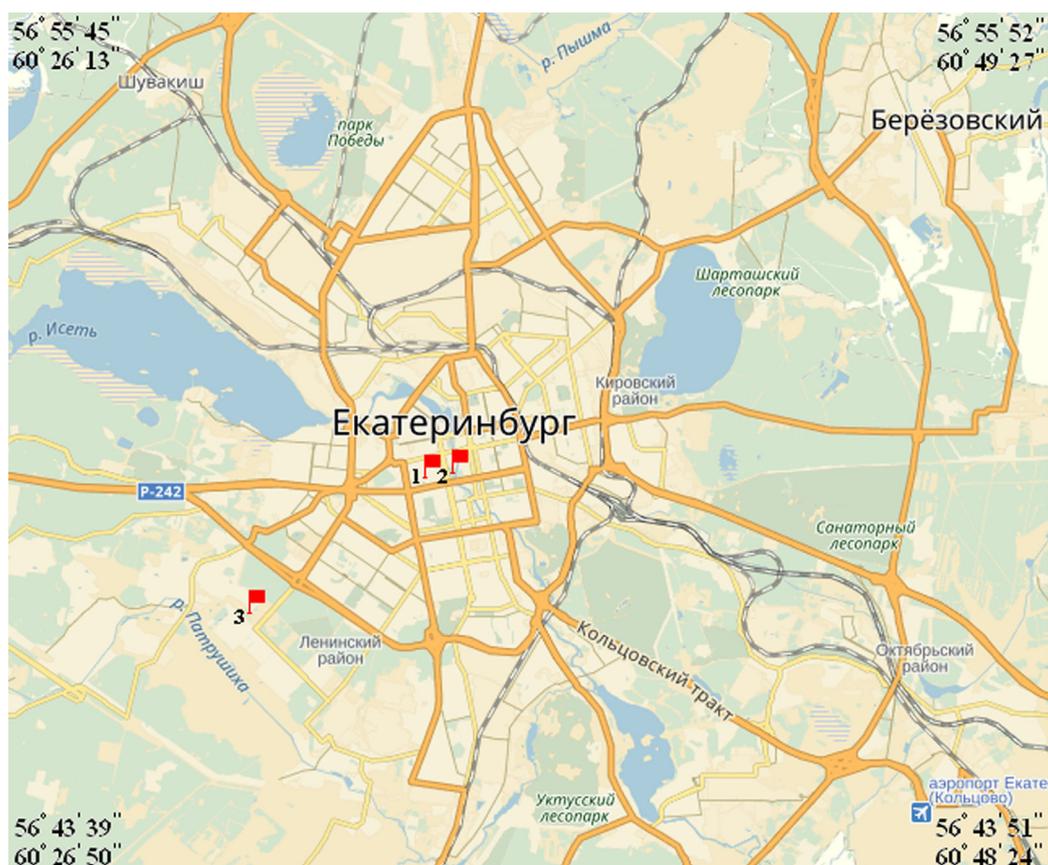


Рис. 1. Фрагмент карты г. Екатеринбурга с местоположением изученных объектов. Флажками показаны точки измерения: флажок 1 — вблизи жилых зданий и ~400 м от станции метро «Геологическая»; флажок 2 — 20 м от станции метро «Геологическая»; флажок 3 — на окраине города вдали от жилых зданий.

Под техногенным электромагнитным шумом в настоящей работе понимаются нерегулярные низкочастотные электромагнитные колебания.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения трех составляющих вектора магнитной индукции в Институте геофизики УрО РАН был разработан специальный магнитометр. В качестве датчика магнитного поля используется магнитомодуляционный преобразователь с автопараметрическим усилением измеряемого сигнала. Датчик выполнен на основе аморфных ферромагнитных сердечников с компенсированной продольной магнитострикцией, работающих на основной частоте возбуждения, и содержит три независимых взаимно-ортогональных канала измерения компонент магнитной индукции. Диапазон частот измеряемого магнитного поля $0.01 \div 200$ Гц. Порог чувствительности в указанном диапазоне частот — не более 0.1 пТл при коэффициенте преобразования 7.5 мВ/нТл. При таком коэффициенте преобразования максимальная амплитуда измеряемого магнитного поля ограничена на уровне ± 1300 нТл, но в магнитометре имеется

возможность измерения более интенсивного магнитного поля с меньшим коэффициентом преобразования. Выходные сигналы датчика магнитной индукции подавались на многоканальный 24-х разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), выход которого соединен с переносным компьютером, управляющим работой АЦП и сохраняющим данные измерений в цифровом виде в отдельном текстовом файле.

Измерения амплитуды магнитного поля от пика до пика в городской среде проводили следующим образом. Одна из горизонтальных компонент, V_x , была направлена по магнитному меридиану, а составляющая магнитной индукции V_z устанавливалась по вертикали с помощью уровня. Датчик располагался на немагнитном штативе вдали от явных локальных источников электромагнитного шума. Минимальное время регистрации шумового сигнала 30 минут, максимальное — несколько суток. Координаты точек измерения фиксировались с помощью GPS-приемника.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средняя амплитуда магнитного шума в точке измерения, расположенной поблизости

от многоэтажных зданий в районе станции метро «Геологическая» составила около 500 нТл, однако, отдельные импульсы достигают величины 600 нТл (рис. 1, 2). Как следует из спектра записанного сигнала, городской магнитный шум сосредоточен в низкочастотной части спектра, а также вблизи частоты 50 Гц. Для сравнения представлен фрагмент записи, полученный в 20 м от станции метро «Геологическая» и на значительном удалении от жилых домов (рис. 1, 3). Установлено, что импульсные помехи от электрического транспорта (метрополитен) имеют амплитуду до 10000 нТл, которая значительно превышает среднюю интенсивность магнитного шума в центральной части города.

На спектре рис. 2 усредненная за два часа амплитуда магнитного шума на частоте точно 50 Гц составила ~10 нТл, на рис. 3 — около

3 нТл. Если развернуть по времени запись амплитуды магнитного шума, представленной на рис. 2, амплитуда с частотой, близкой к 50 Гц, оказывается в десятки раз выше. Это объясняется многочисленными источниками сетевой частоты, имеющимися в расположенных рядом зданиях. Не смотря на то, что эти источники сетевой частоты различаются по амплитуде, частоте и фазе, магнитометр в точке измерения регистрирует их среднюю сумму. Это хорошо видно на спектре сигнала рис. 2 в виде уширенной линии частоты 50 Гц, в то время как на рис. 3 спектральная линия представлена практически одной частотой, без уширения.

Средняя амплитуда магнитного шума в центральной части города в дневное время увеличивается со снижением частоты: в диапазоне частот 1÷10 Гц она составляет около ±20 нТл

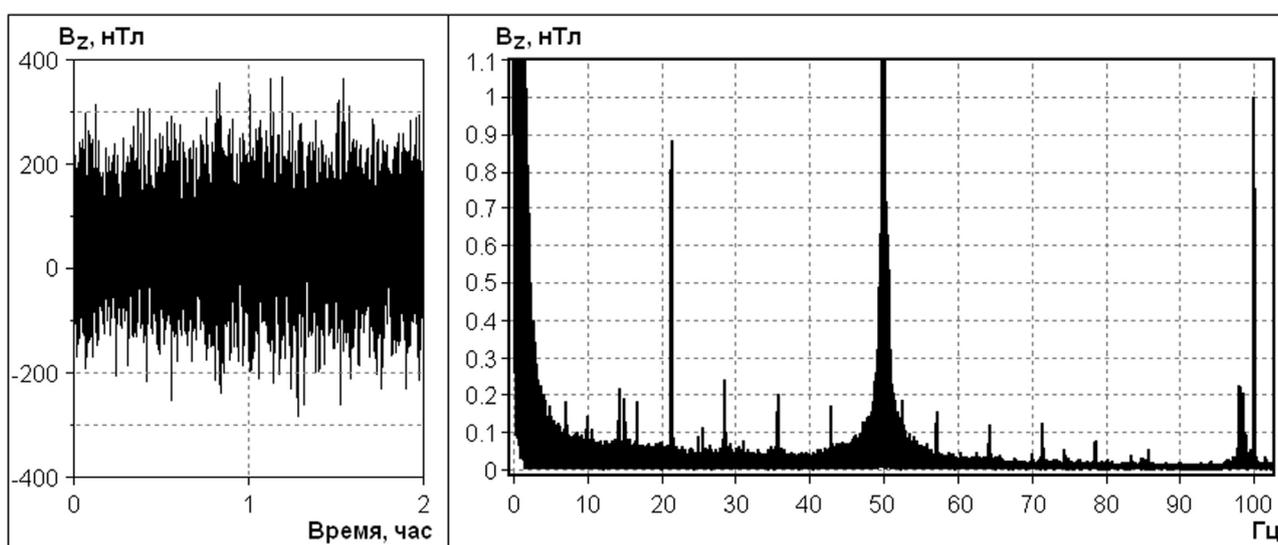


Рис. 2. Фрагмент дневной записи амплитуды вертикальной составляющей магнитного шума в центральной части города в полосе частот 0.01÷200 Гц (слева) и часть его спектра (справа).

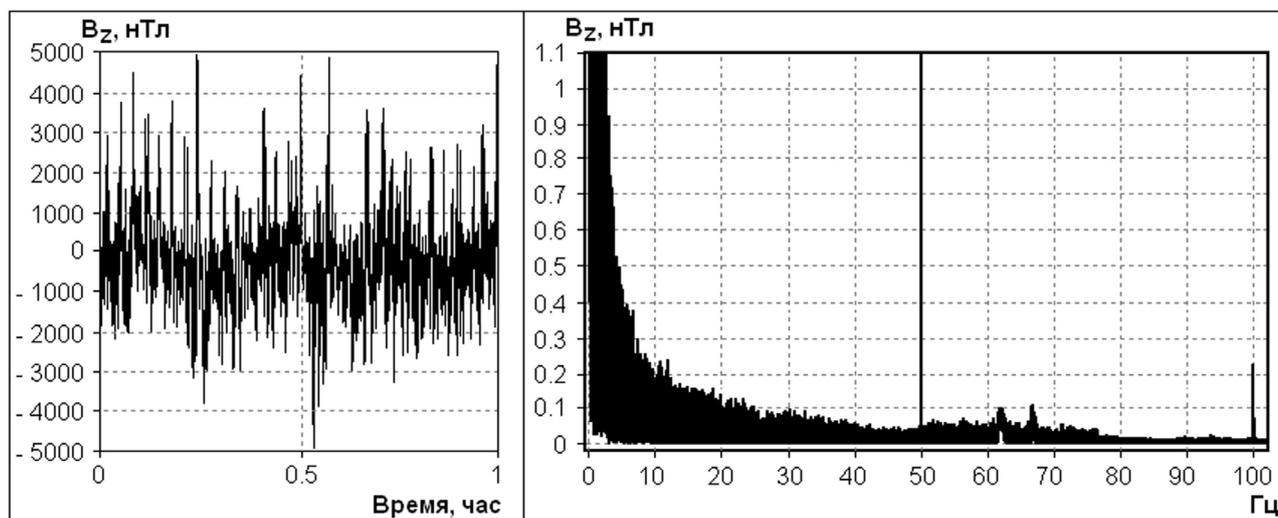


Рис. 3. Фрагмент дневной записи амплитуды вертикальной составляющей магнитного шума вблизи от станции метро в полосе частот 0.01÷200 Гц (слева) и часть его спектра (справа).

(от пика до пика), в диапазоне частот $0.1 \div 1$ Гц возрастает до ± 100 нТл и в диапазоне частот $0.01 \div 0.1$ Гц увеличивается почти до ± 200 нТл (рис. 4). В ночное время средняя амплитуда магнитного шума примерно на порядок ниже (рис. 5).

В ночное время в центральной части города максимальная амплитуда для компонент x, y и z на частоте 50 Гц составила: $V_{x50}=10.9$ нТл; $V_{y50}=3.8$ нТл; $V_{z50}=11.5$ нТл (рис. 6). На окраине города вдали от жилых зданий максимальная амплитуда магнитного шума на частотах 50, 100 и 150 Гц для составляющих x, y и z составила: $V_{x50}=0.23$ нТл; $V_{y50}=0.09$ нТл; $V_{z50}=0.82$ нТл; $V_{z100}=0.1$ нТл; $V_{z150}=0.026$ нТл (рис. 7).

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что городской магнитный шум создается множеством локальных источников,

неравномерно расположенных по площади города, интенсивность излучения которых значительно изменяется во времени. Вблизи линий электропередач, вдоль всей их протяженности, создается повышенное магнитное поле промышленной частоты и ее первых гармоник, которое на расстоянии $50 \div 100$ м от линии электропередач достаточно быстро снижается до среднего уровня магнитного шума для данного участка города (Уткин и др., 2010).

Импульсные магнитные поля создаются преимущественно всеми видами городского электрического транспорта и электрифицированной железной дорогой. Из городского электротранспорта наиболее интенсивные магнитные шумы создает линия метрополитена. На поверхности над линией метро импульсы магнитной индукции достигают 10000 нТл от пика до пика. При этом на самих подземных станциях метро амплитуда импульсов магнитной

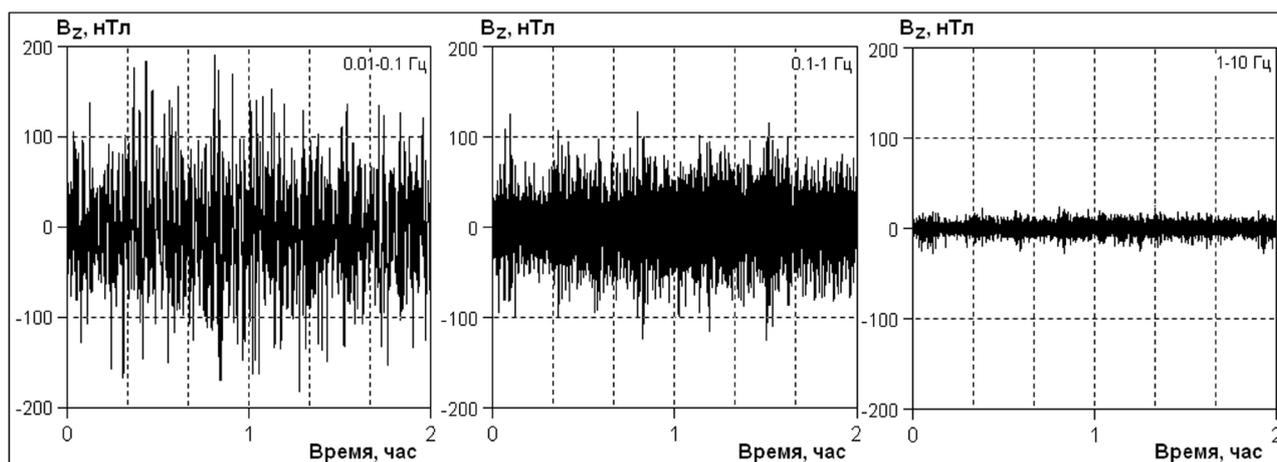


Рис. 4. Амплитуда вертикальной составляющей дневного магнитного шума в центральной части города в полосе частот $0.01 \div 0.1$, $0.1 \div 1$ и $1 \div 10$ Гц.

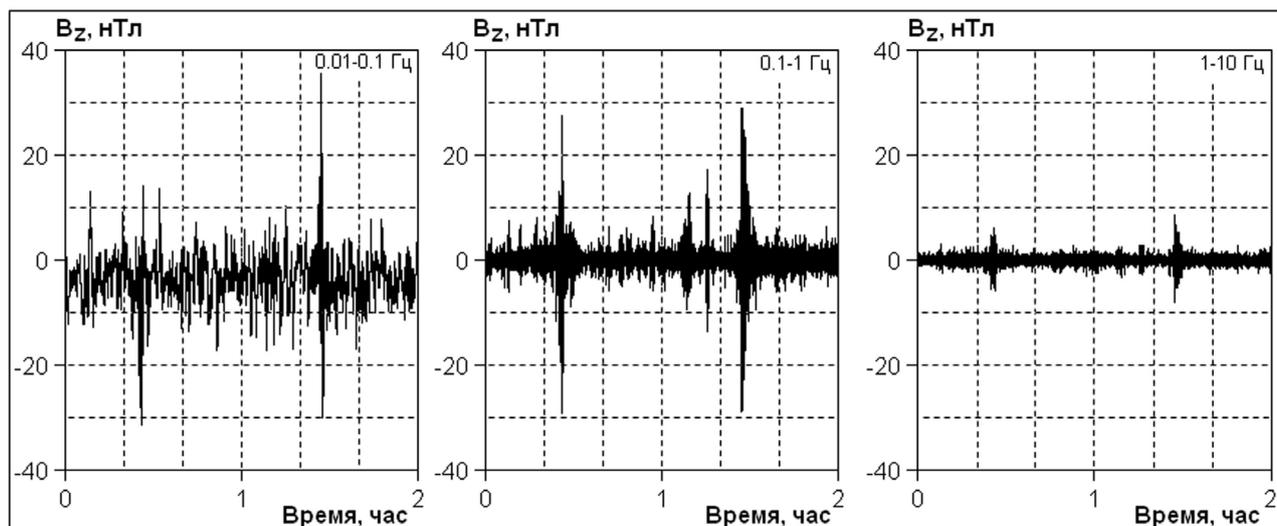


Рис. 5. Амплитуда вертикальной составляющей ночного магнитного шума в центральной части города в полосе частот $0.01 \div 0.1$, $0.1 \div 1$ и $1 \div 10$ Гц.

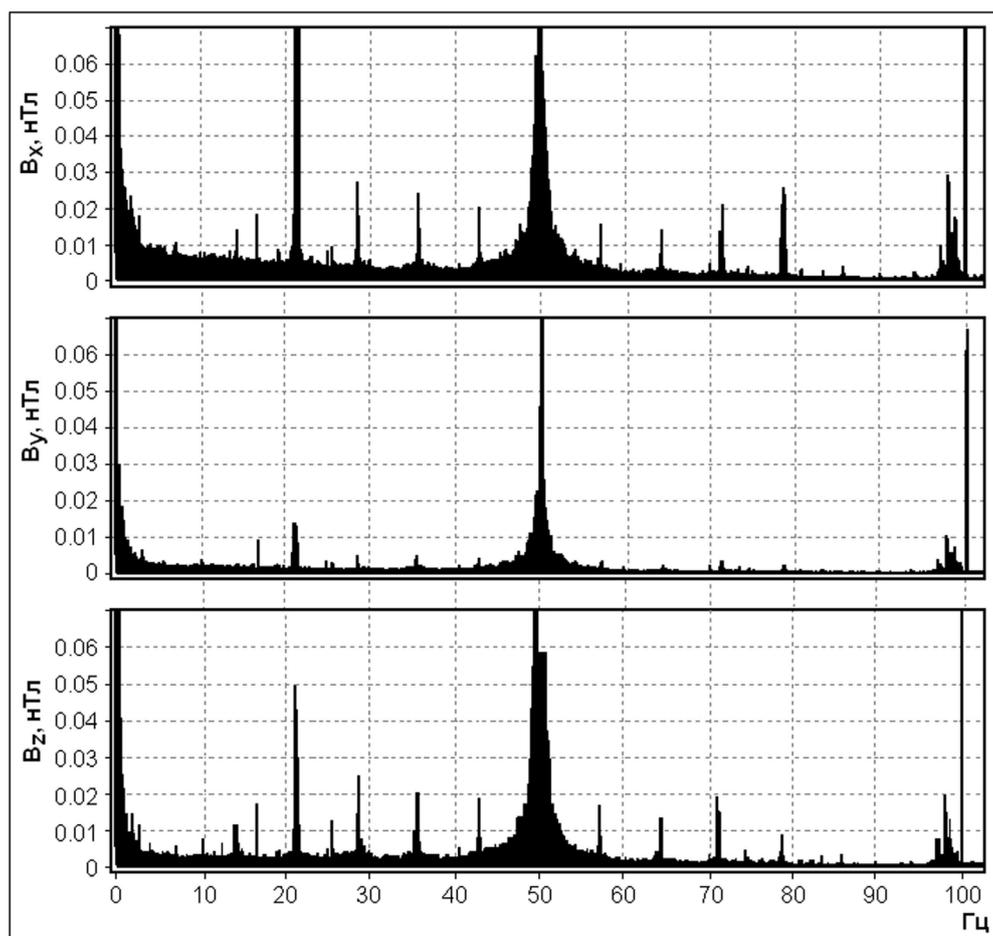


Рис. 6. Спектры записи трех составляющих ночного магнитного шума в центральной части города. Длительность записи 2 часа. Амплитуда магнитного шума от пика до пика ~200 нТл.

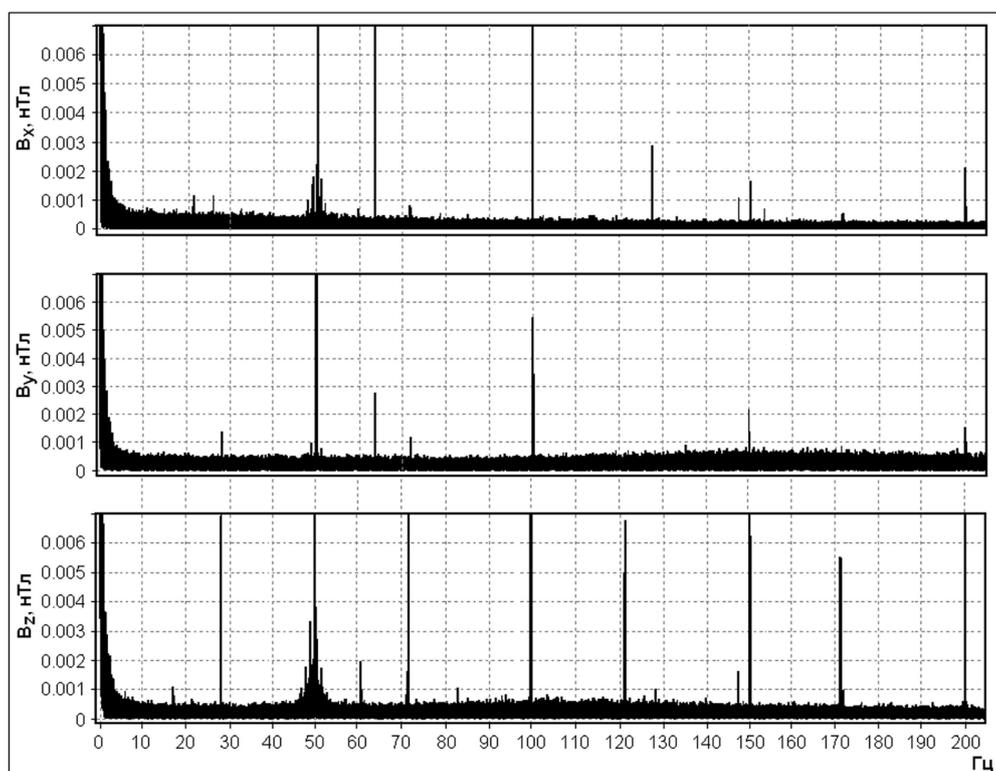


Рис. 7. Спектры трех составляющих фрагмента записи магнитного шума, записанные на окраине города. Длительность записи ~1 час. Амплитуда магнитного шума от пика до пика ~12 нТл.

индукции, как минимум, в десятки раз выше. Длительность и частота появления импульсных шумов носит случайный характер, поэтому в спектре в виде отдельных спектральных линий они не проявляются. Но эти импульсы достаточно уверенно фиксируются магнитометром, так как хорошо видны на записи амплитуды магнитного шума (рис. 3). Из этого следует, что электромагнитные импульсы от электропоездов метро, в основном, попадают в полосу пропускания магнитометра.

Трамваи и троллейбусы создают импульсные магнитные поля амплитудой до нескольких десятков нТл. По данным (Уткин и др., 2010) автомобильный транспорт также активно участвует в создании городского магнитного шума, в основном, за счет имеющегося у автомобилей и автобусов магнитного момента.

Амплитуда городского магнитного шума монотонно увеличивается в области низких частот. Особенно наглядно это видно на записи дневного магнитного шума в центральной части города, где амплитуда магнитного шума представлена тремя различными диапазонами спектра низких частот (рис. 4). Эта же закономерность сохраняется и в записи спектрограмм ночного магнитного шума (рис. 5).

Амплитуда магнитного шума на окраине города от пика до пика исходной записи магнитного поля — 12 нТл (рис. 7). Следует отметить, что на значительном удалении от города (более 50 км) при спокойной геомагнитной обстановке амплитуда магнитного шума от пика до пика, как правило, не превышает 1 нТл (Уткин, Тягунов, 2013). В результате наших исследований установлено, что в записях сплошного спектра (не отдельные спектральные линии) магнитного шума на окраине города в ночное время для двух составляющих магнитной индукции (B_y и B_z), отмеченная выше монотонность возрастания шума при смещении в область низких частот в диапазоне выше 10 Гц нарушается (рис. 7). Возможно, это связано с близко расположенными локальными источниками магнитного шума, имеющими специфический спектр шума.

Сплошной спектр вертикальной и горизонтальных составляющих магнитного шума в ночное время в центральных районах города составляет $1 \div 8$ пТл, а на окраине города — не превышает 0.8 пТл (рис. 6, 7).

Единичные измерения в узкой полосе частот не дают адекватного представления о величине магнитного шума. Наиболее информативным методом оценки интенсивности магнитного шума является регистрация магнитной индукции широкополосным датчиком магнитного поля, в течение не менее 20 минут.

В результате проведенных исследований установлено, что низкочастотный магнитный шум в пределах крупного города преимущественно сконцентрирован в диапазоне частот менее 3 Гц, а также вблизи промышленной частоты 50 Гц и ее первых гармоник и имеет амплитуду от нескольких десятков до нескольких сотен нТл, за исключением близко расположенных источников: линий электропередач, трансформаторных подстанций, маршрутов железнодорожного транспорта и метро, где амплитуда магнитной индукции может достигать до 10000 нТл и более (рис. 2, 3, 6, 7).

Иррегулярные импульсы магнитного поля большой амплитуды наблюдаются вблизи путей передвижения электрического транспорта (метро, трамваи, троллейбусы). Импульсные сигналы высокой амплитуды, создаваемые электро транспортом, на спектре в виде отдельных линий не проявляются, так как они имеют различную длительность, а их появление не синхронизировано по времени.

Единичные измерения амплитуды магнитного шума в узкой полосе частот могут значительно (в десятки и сотни раз) отличаться от реальной амплитуды магнитного шума, полученного при записи шумового сигнала в широкой полосе частот.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-35-60004.

Список литературы

- Беляев Г.Г., Чмырев В.М., Клейменова Н.Г., Козырева О.В.* Электромагнитный ультранизкочастотный фон мегаполиса (г. Москва) // Геомагнетизм и аэрномия. 2003. Т. 43. № 5. С. 697–701.
- Колесник А.Г., Колесник С.А., Бородин А.С. и др.* Электромагнитный фон городских территорий диапазона промышленных частот // Вестник Томского государственного ун-та. 2007. № 297. С. 161–164.
- Сокол-Кутыловский О.Л., Тягунов Д.С.* Влияние техногенных магнитных полей на геомагнитные измерения в обсерваториях // Измерительная техника. 2012. № 9. С. 58–60.
- Уткин В.И., Тягунов Д.С.* Пространственное распределение городского техногенного магнитного шума в частотном диапазоне 0.01–30 Гц // ДАН. 2013. Т. 453. № 3. С. 334–336.
- Уткин В.И., Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л., Сенина Т.Е.* Загрязнение окружающей среды в связи с воздействием электромагнитного поля на частотах 0.05–20 Гц // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2010. № 3. С. 106–112.

SPECTRAL DISTRIBUTION OF URBAN MAGNETIC NOISE AT LOW FREQUENCIES

D.S. Tyagunov, O.L. Sokol-Kutylovsky

Institute of Geophysics Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 620016.

The article presents spectral distribution of the magnetic noise of low frequency (0.01÷200 Hz) within a large industrial city as in the case of Ekaterinburg in a different time of the day. It is shown that in addition to the power frequency and its first harmonics, the amplitude of the magnetic noise at frequencies less than 3 Hz monotonically increases. Pulses of magnetic fields have the highest amplitude generated by rail and electric vehicles (up to 10.000 nT peak to peak above the metro line), which are significantly higher than the average intensity of the magnetic noise of the city, but this magnetic noise is close to the underground lines and to the railway tracks. Since the duration and frequency of occurrence of the pulsed noise has random nature, they do not appear in the Fourier spectrum as discrete spectral lines.

Keywords: electromagnetic radiation, man-made magnetic noise, electromagnetic field.