УДК 504.055; 537.636

ОБ ИСТОЧНИКАХ ГОРОДСКОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМА

Сокол-Кутыловский О.Л., Тягунов Д.С. **–** Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассмотрены различные источники магнитного шума техногенного происхождения в области низких частот (0,05-20 Гц). Показано, что основной вклад в низкочастотный электромагнитный шум города дают различные линии передач электрического тока промышленных частот. Так же рассматривается влияние электромагнитного шума автомобильного транспорта.

Низкочастотный электромагнитный шум, источники городского электромагнитного шума.

ABOUT SOURCES OF LOW – FREQUENCIES MAGNETIC NOISE IN THE CITY

Sokol-Kutylovskij O.L., Taygunov D.S. – Institute of Geophysics, UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. In this article various sources of magnetic noise of a technogenic origin in the field of low frequencies (0,05-20 Hz) are considered. The basic contribution to the electromagnetic noise of low-frequency in the city is formed due to various lines of transfers of an electric current of industrial frequencies it is shown. The influence of electromagnetic noise of motor transport too is considered.

Low-frequency electromagnetic noise, sources of electromagnetic noise of town.

Известно, что население современных крупных городов живет в условиях повышенного электромагнитного шума, поскольку именно там расположены многочисленные производственные и перерабатывающие предприятия и организации, сосредоточен городской и пригородный электротранспорт, проходят железнодорожные линии с электрической тягой. Кроме того, высокая плотность населения требует развития энергоемкой инфраструктуры сферы услуг. Да и сам жилой сектор крупных городов является мощнейшим потребителем электроэнергии. При этом полагается, что основной электромагнитный шум сосредоточен вблизи промышленных частот (50 Гц и, в некоторых случаях, 400 Гц).

Амплитуда электромагнитного поля вблизи сетевой частоты 50 Гц действительно велика около линий электропередач и может достигать сотен и даже тысяч нТл. Измерения электромагнитного шума в области низких частот (0,05 Гц – 20 Гц) показали, что электромагнитный шум в крупном промышленном центре превышает естественный геомагнитный шум в тысячи раз (URL: http://www.lomonosov-msu.ru/2008/06_9.pdf). Вариации электромагнитного поля в диапазоне низких частот 0,05-20 Гц практически не изучаются и санитарными правилами и нормами не регламентированы, хотя на этих частотах возможно их существенное влияние на организм человека. В частности имеется корреляция между повышенным низкочастотным электромагнитным шумом и частотой сердечно-сосудистых заболеваний (Талалаева и др., 2003).

Источники техногенного электромагнитного шума можно разделить на первичные и вторичные. Первичными источниками техногенного электромагнитного шума низких частот являются те источники, которые сами создают электромагнитное поле. К ним относятся: все линии электропередач постоянного и переменного тока любой частоты; движущиеся ферромагнитные и электромагнитные источники, имеющие свой собственный магнитный момент, который при перемещении в пространстве или при вращении создает электромагнитное поле. К вторичным источникам техногенного электромагнитного шума низких частот относятся такие источники, которые преобразуют изменение воздействующего на них электромагнитного поля во вторичное магнитное поле, которое складывается с первичным полем. К источникам такого вида относятся все источники,

связанные с проявлением эффектов и явлений электромагнитной индукции и самоиндукции в металлических проводниках, а также источники вторичного магнитного поля, возникающие при движении металлических немагнитных проводников во внешнем магнитном поле.

Цель данной статьи – рассмотреть основные источники техногенного электромагнитного шума низких частот и оценить их вклад в общий электромагнитный шум города.

Применяемая аппаратура

В качестве датчика магнитного поля использован магнитомодуляционный преобразователь магнитной индукции, выполненный на основе аморфного ферромагнитного сердечника, работающего в режиме автопараметрического усиления. Собственный магнитный шум датчика составляет 3 ÷ 5 пТл·Гц$^{-1/2}$, коэффициент преобразования без внешнего усиления − 0,2 мВ/нТл, полоса частот измеряемого магнитного поля 0,05-20 Гц (с завалом на краях диапазона не более 1,4 дБ). Аналоговый электрический сигнал с магнитомодуляционного преобразователя поступает на 24-х разрядный программируемый аналого-цифровой преобразователь AD7714, соединенный с переносным персональным компьютером. Частота дискретизации измеряемого сигнала составляет 80 Гц. Наблюдение вариаций измеряемого магнитного поля ведется в реальном масштабе времени на экране компьютера и записывается на электронный носитель информации (Уткин, Сокол-Кутыловский, 2006; Сокол-Кутыловский, Тягунов, 2007.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Вполне понятно, что вклад в техногенный электромагнитный шум вносят все эти источники: линии электропередач (все линии силового электрического постоянного и переменного тока всех частот), движение и вращение ферромагнитных масс, все эффекты электромагнитной индукции и самоиндукции в металлических проводниках, движение и вращение металлических немагнитных проводников во внешнем магнитном поле.

Наибольший вклад в электромагнитный шум, в том числе на низких частотах, вызывают все основные потребители электрического тока промышленной частоты. Среднее потребление электрической мощности крупнейших индустриальных городов (на примере Екатеринбурга) составляет 800 МВт (URL**:** http://www.tencom.ru/director/appearances/2006/05/01/5/) при большой протяженности линий электропередач (ЛЭП) и кабельных линий электропитания.

Медленное и скачкообразное изменение нагрузки в линиях электропередач с частотой 50 Гц вызывает изменение результирующего магнитного поля на частотах ниже 50 Гц. А импульсы включения/выключения нагрузки создают целый спектр частот импульсов электромагнитного поля, вплоть до самых высоких частот.

В качестве примера изменения магнитного поля на низких частотах, возникающих в области проводов с электрическим током частотой питания электрического тока 50 Гц, был проведен следующий эксперимент. Датчик магнитной индукции располагался около одного из проводников двухпроводной линии, причем, датчик мог регистрировать только сигналы с частотой менее 20 Гц, а сигнал с частотой 50 Гц подавлялся более, чем в 1000 раз.

На рис. 1 показана запись магнитного поля от провода с электрическим током частотой 50 Гц при периодическом изменении амплитуды тока путем изменения нагрузки в этой электрической цепи.

Как видно из записи на рис. 1, амплитуда магнитного поля электрического тока 50 Гц изменяется с частотой изменения силы тока в ней (1-2 Гц), которая много ниже частоты этого переменного электрического тока. Амплитуда электрического тока изменялась примерно на 0,02 А при среднем токе порядка 0,1 А.

Влияние движения ферромагнитных масс в данной точке измерения рассмотрим на примере регистрации сигнала магнитного поля от проезжающих автомобилей.

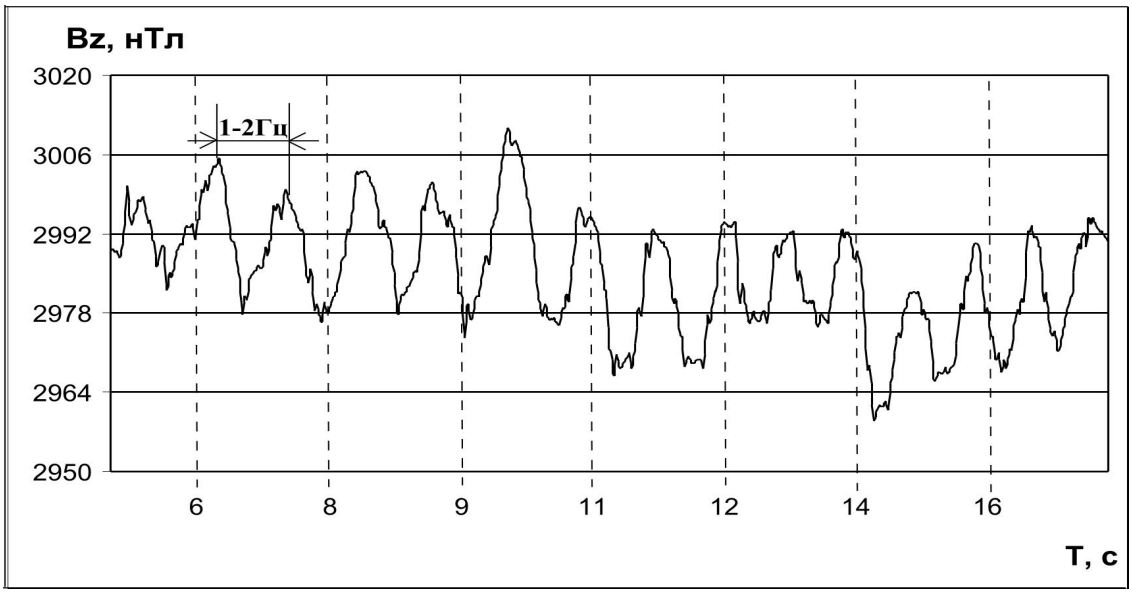

Рис. 1. Фрагмент записи изменения амплитуды магнитного поля, вызванного изменением амплитуды электрического тока частотой 50 Гц в проводе

На рис. 2 представлены магнитограммы записи амплитуды магнитного поля на различных расстояниях от автомобильной дороги. Вблизи проезжей части максимальная амплитуда вариаций составляет 80 нТл, при средней величине около 40 нТл (рис. 2а). При удалении от проезжей части на расстояние 300 м значения вариаций резко снижаются и составляют 3 нТл (рис. 2б). При измерении магнитного поля от единичного грузового транспортного средства амплитуда вариаций составляет более 150 нТл (рис. 2в).

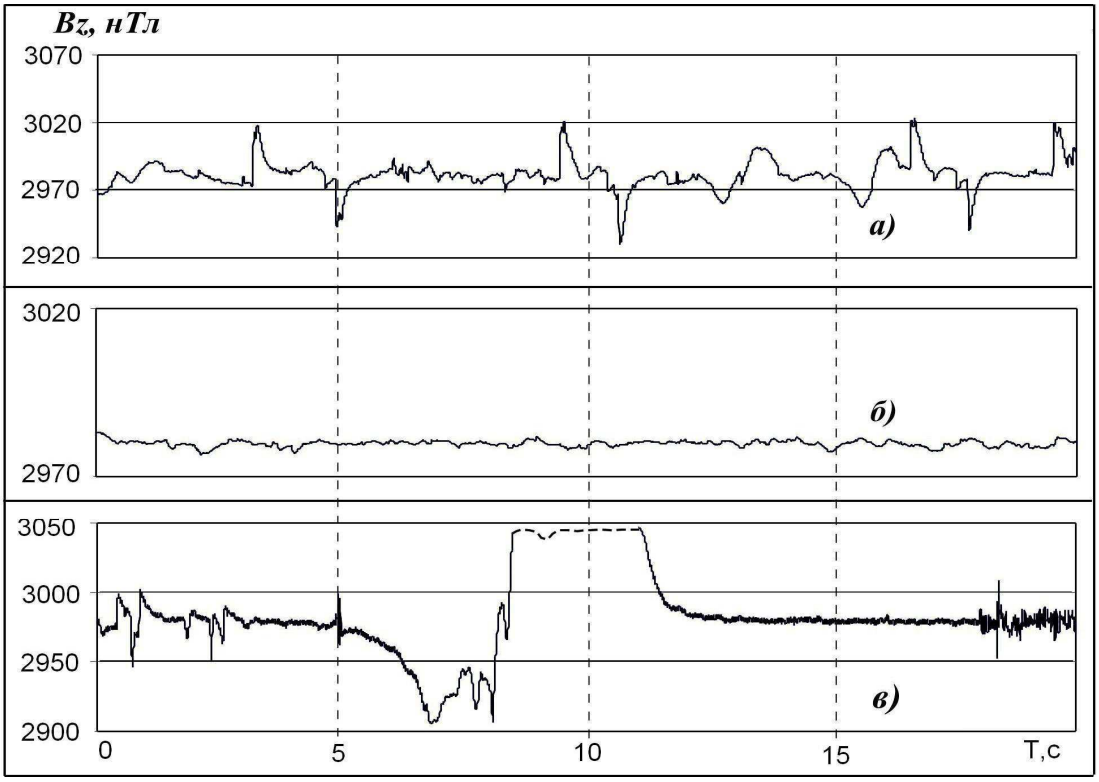

Рис. 2. Диаграммы записи вертикальной составляющей индукции магнитного поля: а) вблизи проезжей части; б) удаление от проезжей части на расстоянии 300 м; в) с проезжающим рядом грузовым автомобилем

Большая величина амплитуды вариаций магнитного поля, создаваемая автомобильным транспортом, требует учитывать и этот вид электромагнитного шума в общем городском электромагнитном шуме. Тем более шум транспорта дает существенный вклад в общий шум города в «часы пик», когда значительная часть городского транспорта приходит в движение в относительно небольшой промежуток времени. Для миллионного города количество источников транспортного шума в «час пик» может достигать $0{,}5 \cdot 10^6$, не учитывая муниципальный транспорт (данные взяты из статьи «Екатеринбург» размещенной в электронной энциклопедии «Википедия»). Кроме того, имеется некоторая согласованность в движении транспортных источников шума, создаваемая системой регулировки уличного движения (управление потоками движения с помощью светофоров).

Вторичные источники электромагнитного поля, связанные с эффектами индукции и самоиндукции, особенно сильно проявляются в длинных проводниках (металлические провода, трубопроводы, эстакады, то есть, любые металлические конструкции большой протяженности, на которые падают электромагнитные волны).

Амплитуда вторичных электромагнитных волн зависит от протяженности источника, удельного электрического сопротивления проводника, из которого он сделан, и угла падения первичной электромагнитной волны. Для хороших проводников переизлученная вторичная электромагнитная волна по амплитуде близка к первичной, но сдвинута по фазе по отношению к ней на 90^0. Эффекты самоиндукции особенно сильно проявляются в протяженных линиях электропередач при резком изменении тока в них и создают вторичное магнитное поле, так же сдвинутое на 90^0 по отношению к первичному магнитному полю электрического тока в данной линии. При самоиндукции в длинных линиях и электрических трансформаторах, при резком изменении первичного электрического тока, вторичные магнитные поля могут многократно превосходить первичные магнитные поля электрического тока. Эти эффекты могут давать вклад не только в импульсные электромагнитные шумы, но и в низкочастотный шум.

В качестве примера показана запись импульсов магнитного поля, возникающих при включении/выключении электрического трансформатора малой мощности (рис. 3).

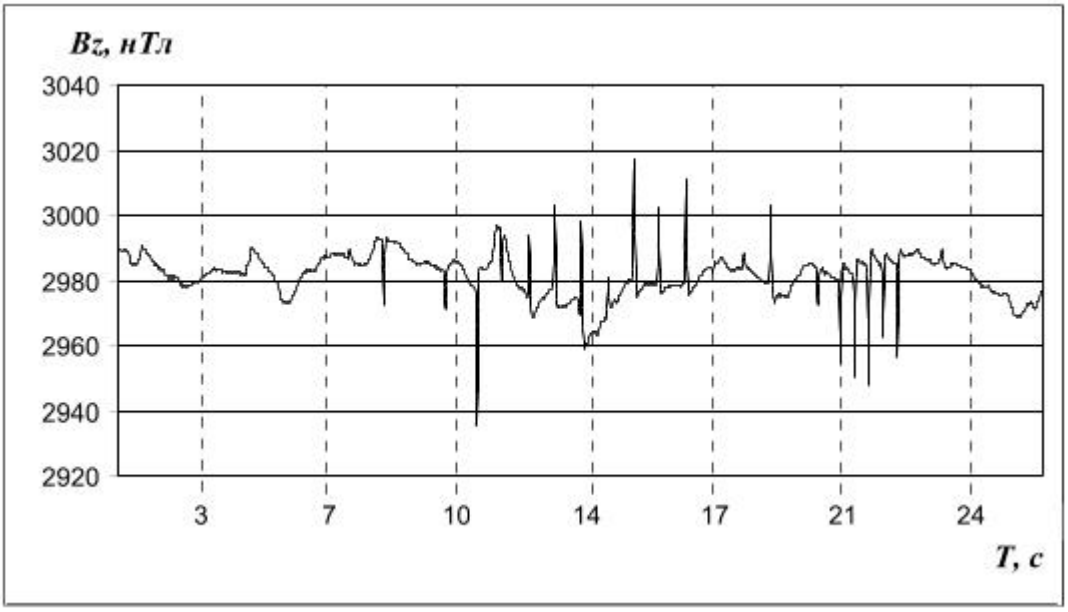

Рис. 3. Запись импульсов магнитного поля при включении и выключении трансформатора мощностью 15 Вт на расстоянии два метра от него

На рис. 3 в интервале от 0 до 8 с прибор регистрировал сигналы только магнитного поля до момента включения трансформатора, от 8,5 до 9,5 с – запись включения трансформатора, от 22,5 до 26 с – выключение трансформатора. В интервалах от 10,5 до 13,5 с, от 14,5 до 16 с, от 18,5 до 20 с, от 21 до 22,5 с прибор регистрировал плавное изменение токовой нагрузки потребителя. Интервал времени между периодами изменения токовой нагрузки равнялся 1-2 с.

Вариации вторичного магнитного поля, вызванные движением проводника, показаны на примере перемещения металлической немагнитной пластины в магнитном поле Земли. Вертикально установленная пластина перемещается в горизонтальной плоскости так, что плоскость самой пластины при движении пересекает линии магнитной индукции. В это время датчик регистрирует изменение амплитуды магнитного поля. Для алюминевой пластины размером 26x16x0,4 см максимальная амплитуда сигнала, вызванного ее движением, составила 16 нТл (рис. 4).

При большей площади пластины (45x40 см), но меньшей толщине (0,1 см) амплитуда сигнала магнитного поля увеличилась в несколько раз и составила 70 нТл (рис. 5). Наведенное вторичное магнитное поле быстро убывает с расстоянием от проводящей движущейся пластины, а при расстояниях, в несколько раз превышающих максимальные линейные размеры пластины, индуцируемое ею магнитное поле пренебрежимо мало.

Проведенный анализ основных источников городского электромагнитного шума низких частот позволяет сделать следующие выводы:

- наибольший вклад в уровень магнитного шума низких и особо низких частот в крупных мегаполисах дают первичные источники электромагнитного шума, прежде всего система ЛЭП и силовые кабельные линии электропитания, включая низкочастотный электромагнитный шум городского и пригородного электротранспорта;

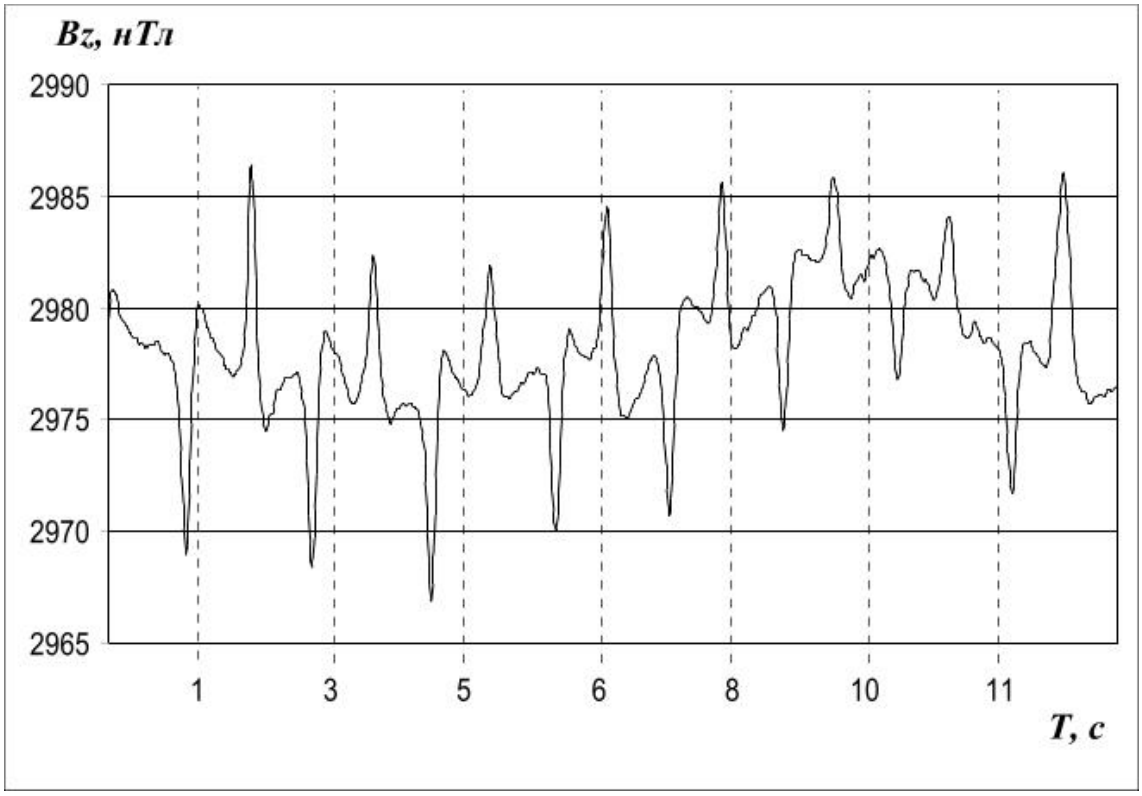

Рис. 4. Запись изменения амплитуды магнитного поля, вызванного движением немагнитной пластины

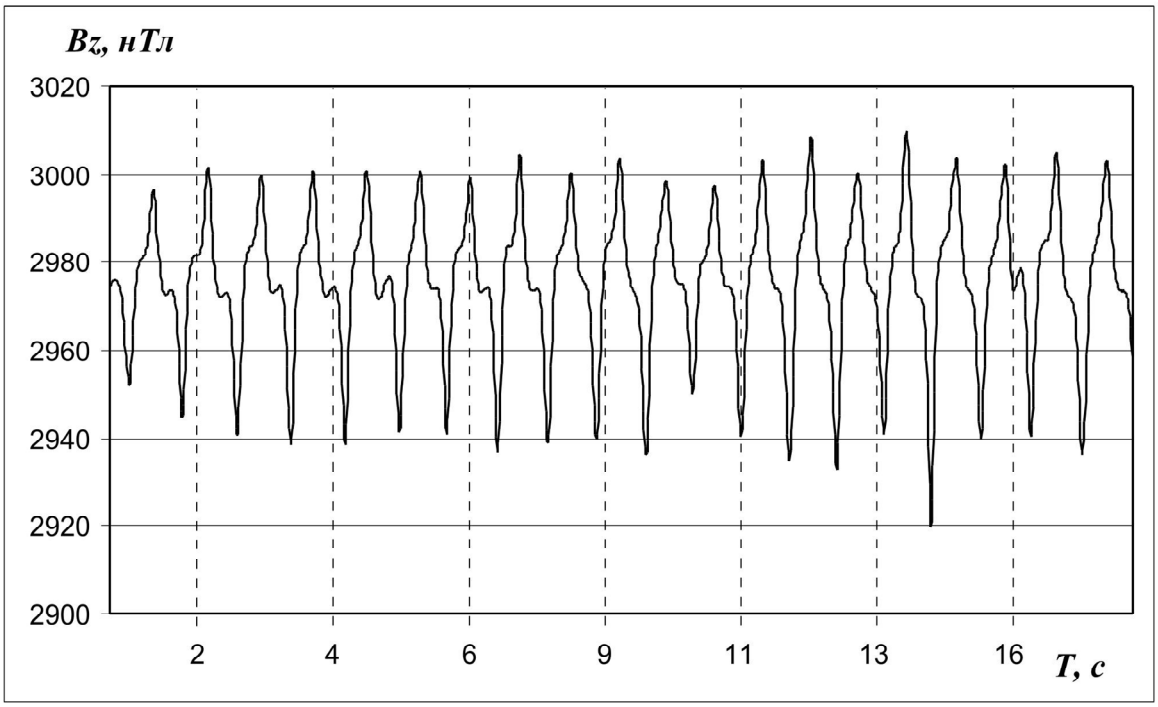

Рис. 5. Запись изменения амплитуды магнитного поля, вызванного движением немагнитной пластины

- большое количество единиц автомобильного транспорта и их значительный собственный магнитный момент требует изучения и учета влияния автотранспорта на общий электромагнитный шум города;
- в отличие от вышеописанных источников электромагнитного шума индукционные эффекты в металлических проводниках и движение немагнитных металлических проводников в магнитном поле оказывают наименьшее влияние на общий городской электромагнитный шум низких частот и проявляются только на относительно малом расстоянии.

Литература

Михеева П.А. Проблема энергоснабжения мегаполисов как ограничение для выполнения программы «Доступное жилье». Пути решения на примере г. Тюмени. URL: http://www.tencom.ru/director/appearances/2006/05/01/5/.

Сокол-Кутыловский О.Л., Тягунов Д.С. Аппаратура для регистрации магнитного поля низких частот // Уральский геофизический вестник. 2007. № 4(13). С. 69-73.

Талалаева Г.В., Рождественская Е.Д., Уткин В.И., Рождественская М.В. «Конечное» знание и бесконечность мироздания: геофизика – наука у края бездны (человек и геофизика) // Мат-лы конф. «Космос и биосфера: Космическая погода и биологические процессы» / Крымский научный центр НАН Украины, 2003. С. 184-190.

Тягунов Д.С. Изучение электромагнитного шума на Среднем Урале // XV Межд. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» / МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва. URL: http://www.lomonosov-msu.ru/2008/06_9.pdf

Уткин В.И., Сокол-Кутыловский О.Л. Техногенный магнитный шум в пределах мегаполиса и удалении от него // Мат-лы Межд. семинара «170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современные состояния» / ИГф УрО РАН. Екатеринбург, 2006. С. 173-175.