

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО МАГНИТНОГО ШУМА НА ГЕОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

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

Аннотация. Показано, что техногенный магнитный шум при спокойной или слабо возмущенной магнитосфере может заметно влиять на результаты измерения геомагнитного поля магнитными обсерваториями, расположенными относительно недалеко от крупных городов и промышленных центров. Предложены основные критерии для различия техногенного магнитного шума от геомагнитных вариаций.

Геомагнитная активность, техногенный магнитный шум.

INFLUENCE OF TECHNOGENIC MAGNETIC NOISE ON GEOMAGNETIC MEASUREMENTS

Sokol-Kutylovskii O.L., Tyagunov D.S. – Institute of geophysics UB RAS, Yekaterinburg

Abstract. It is shown that technogenic magnetic noise at the quiet or poorly indignant magnetosphere can influence geomagnetic measurements of the magnetic observatories located rather near to big cities and industrial centers considerably. The basic criteria for distinction technogenic magnetic noise from geomagnetic variations are offered.

Geomagnetic activity, technogenic magnetic noise.

Введение

Изучение Солнечно-Земных связей и геомагнитного поля, как источника данных о строении нашей планеты и протекающих в её недрах процессах, являются одними из фундаментальных проблем геофизики. Магнитные исследования востребованы и в повседневной жизни общества. С развитием техногенной инфраструктуры возрастает ее зависимость от возникающих аномальных явлений, связанных с поведением магнитного поля. Особую опасность представляют сильные магнитные бури, которые воздействуют на системы энергоснабжения, воздушные и космические перевозки, на здоровье людей. С быстрым ростом энергетической насыщенности промышленной и бытовой сфер, кроме геомагнитных возмущений, появилась и новая проблема – техногенный магнитный шум, который в крупных промышленных центрах сопоставим по величине с влиянием магнитных бурь.

Публикуемые в Интернете индексы геомагнитной активности являются количественной оценкой геомагнитных вариаций и используются в геофизике для контроля за состоянием магнитосферы, в технике космической связи и дальней радио-

связи на коротких волнах – для прогноза оценки прохождения радиоволн коротковолнового диапазона, в биомедицине – для предупреждения населения о магнитных бурях. По результатам измерения вариаций магнитной индукции определяются А и К индексы, характеризующие величину магнитного и ионосферного возмущений. Индекс К показывает величину геомагнитной активности за каждые 3 часа, начиная с 00:00 Всемирного координированного времени (UTC), которое соответствует ранее принятому всемирному времени (UT). При этом определяются максимальные отклонения значения индекса относительно значений для спокойного для данной обсерватории дня, и из этих данных выбирается наибольшая величина. По этой наибольшей величине вариаций магнитной индукции вычисляется значение индекса K_p . На основании индексов К находится индекс А, который представляет собой дневное среднее. Согласно (Индексы..., 2011) вычисляется он так: каждое измерение индекса К, сделанное с 3-х часовым интервалом, по специальной таблице преобразуется в эквивалентный индекс, и полученные в течение дня значения этого индекса усредняются. В результате усреднения получается

значение индекса А, который в обычные дни не превышает 100, а во время геомагнитных бурь может достигать 200 и более. Текущие значения индексов геомагнитной активности, используемые в технике коротковолновой дальней радиосвязи, постоянно публикуются на сайтах Интернета (Dx портал, 2011; Solar..., 2011; Solar-Terrestrial Data, 2011) и многих других. При этом предполагается, что основная часть геомагнитных вариаций в зоне расположения магнитной обсерватории создается магнитосферой Земли. До относительно недавнего времени это было действительно так. Но с непрерывным увеличением энергопотребления в быту и в промышленности, быстрым ростом мегаполисов, развитием всех видов городского, пригородного и междугороднего транспорта, особенно на электрической тяге, а также с расширением сети линий электропередач разного уровня, охватывающих огромную площадь поверхности Земли, давно назрела необходимость учитывать при геомагнитных измерениях электромагнитный шум техногенного происхождения.

Техногенный электромагнитный шум, создаваемый крупными городами и промышленными центрами, преимущественно сосредоточен в области частот 0,01–100 Гц и многократно превосходит по амплитуде вариации геомагнитного поля в данном диапазоне.

Критерии, позволяющие различить геомагнитное и техногенное магнитные поля

Существуют, по крайней мере, два основных критерия, по которым можно отличить техногенный магнитный шум от геомагнитных вариаций. Во-первых, это можно сделать по соотношению амплитуд короткопериодных вариаций вертикальной и горизонтальных составляющих вектора магнитной индукции, а во-вторых – по точной цикличности амплитуды низкочастотных шумов вертикальной составляющей магнитного поля.

Поскольку основным источником геомагнитных вариаций является магнитосфера Земли, то на любую часть поверхности Земли наибольшее влияние оказывают электромагнитные волны, направление распространения которых ортогонально этой поверхности. Этому же способствует некоторая круговая симметрия магнитосферы относительно вертикали к выбранному участку поверхности. Но в такой как бы падающей сверху электромагнитной волне горизонтальные составляющие вектора магнитной индукции, как правило, должны превышать по амплитуде вертикальную составляющую вектора магнитной индукции или, в крайнем случае, могут быть примерно равны ей.

На рис. 1 показан фрагмент записи вариаций геомагнитного поля, записанный в

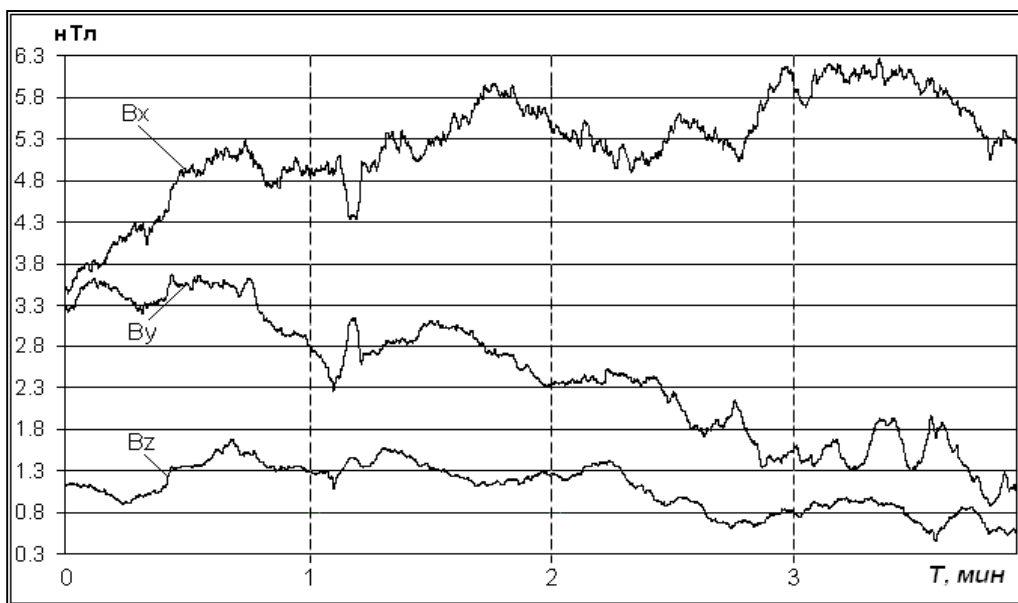


Рис. 1. Фрагмент записи измерений вариаций геомагнитного поля в Каменск-Уральском районе; B_x , B_y , B_z — компоненты магнитного поля

Каменск-Уральском районе в 100 км от Екатеринбурга. Амплитуда короткопериодных вариаций вертикальной составляющей (нижняя кривая на рис. 1) здесь явно меньше амплитуды короткопериодных вариаций горизонтальных составляющих. Аналогичная картина наблюдается и в других местах, значительно удаленных от городов.

Техногенные же источники электромагнитного поля низких частот такие, как электрический ток в линиях электропередач, блуждающие токи электротранспорта и трубопроводов расположены по большей части вдоль поверхности Земли. Создаваемая ими магнитная индукция всегда имеет преобладающую вертикальную составляющую, в то время как одна из горизонтальных составляющих (вдоль направления электрического тока) практически отсутствует, а вторая горизонтальная составляющая, ортогональная первой, на поверхности сравнительно невелика. В результате, в суммарном техногенном магнитном поле множества источников амплитуда вертикальной составляющей, как правило, превышает амплитуду горизонтальных составляющих магнитной индукции.

На рис. 2 приведен фрагмент записи магнитных вариаций на юго-западной окраине Екатеринбурга, где техногенный

шум существенно выше вариаций геомагнитного поля. В данном случае видно, что амплитуда короткопериодных вариаций вертикальной составляющей магнитного поля (нижняя кривая на рис. 2) многократно превышает амплитуду горизонтальных составляющих.

Подобный критерий применялся для автоматического выделения геомагнитных вариаций от техногенного магнитного поля при магнитотеллурических исследованиях (Вишнева и др., 1988), однако там анализировались не только отношения магнитных компонент поля, но и отношения магнитных и электрических компонент.

Второй основной критерий базируется на том, что у амплитуды техногенного магнитного шума существует суточная цикличность, особенно хорошо выраженная на вертикальной составляющей магнитной индукции. Это связано с суточной цикличностью энергопотребления большинства основных источников техногенного электромагнитного шума, минимум которого приходится на интервал от полуночи до четырех часов утра по местному времени.

На рис. 3 приведена суточная запись усредненной величины техногенного магнитного шума, записанная на юго-западе Екатеринбурга. Хорошо видно, что минимум средней амплитуды магнитного шума

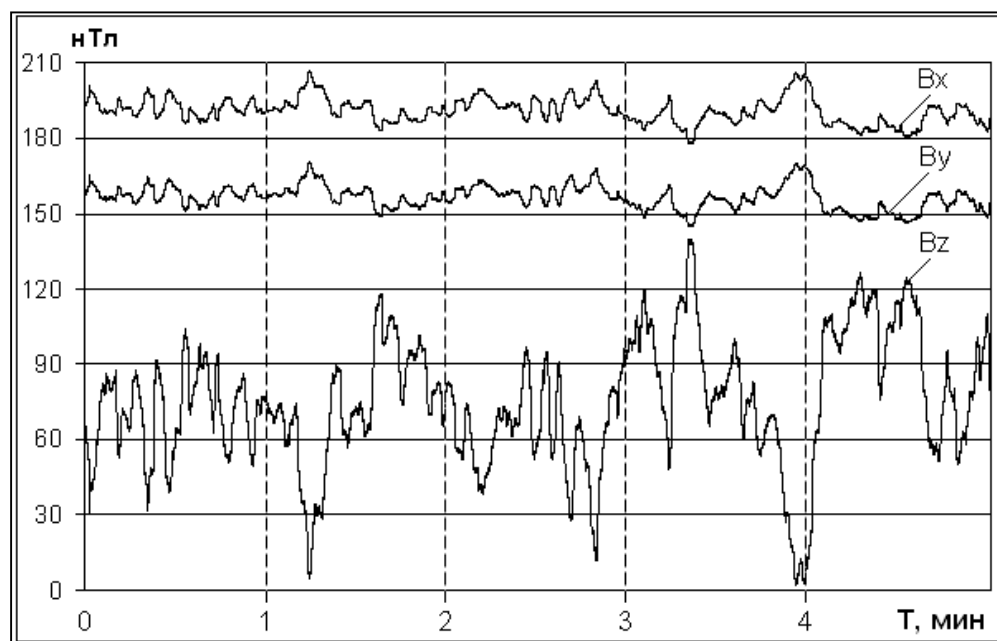


Рис. 2. Диаграммы записи составляющих индукции магнитного поля, выполненные на юго-западной окраине Екатеринбурга; B_x , B_y , B_z – компоненты магнитного поля

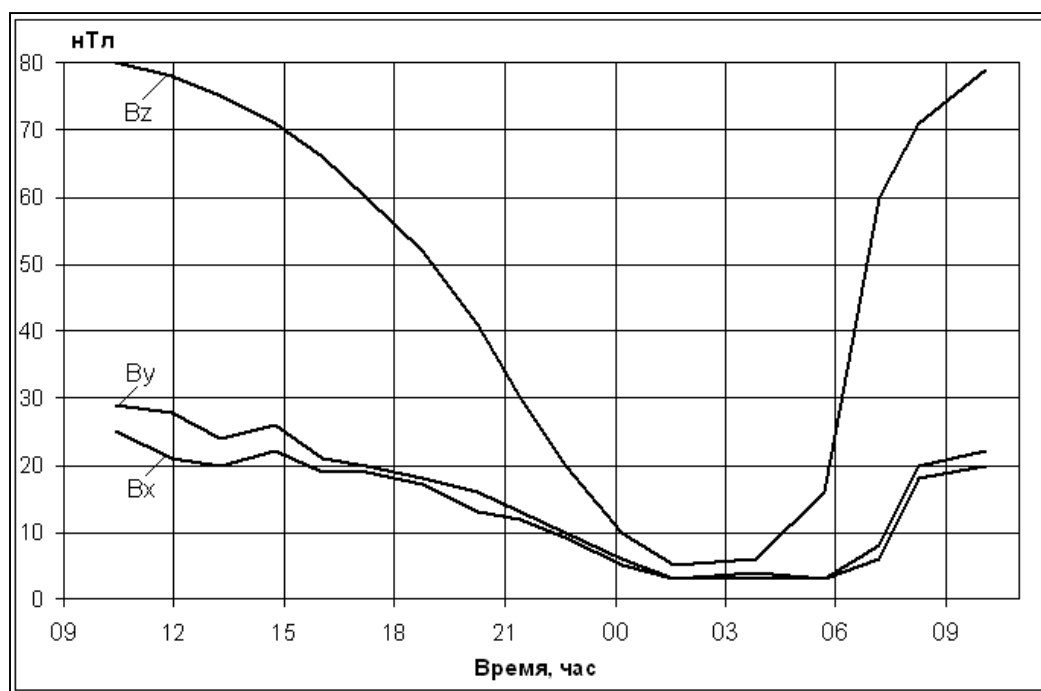


Рис. 3. Суточные измерения средней величины техногенного магнитного шума в районе юго-западной окраины Екатеринбурга (время местное); V_x , V_y , V_z – компоненты магнитного поля

приходится на указанный промежуток времени, и этот минимум особенно хорошо проявляется на амплитуде вертикальной составляющей магнитного поля (рис. 3, верхняя кривая).

В некоторых сложных случаях кроме основных критериев отличия техногенного шума от геомагнитных короткопериодных вариаций могут потребоваться и дополнительные способы определения принадлежности отдельных короткопериодных вариаций к тому или иному источнику. Эти способы заключаются в Фурье-анализе фрагментов магнитограмм и в сравнении магнитограмм, полученных с работающих синхронно и разнесенных в пространстве приборов или станций магнитного наблюдения.

Применение критериев различия техногенного магнитного шума от геомагнитных короткопериодических вариаций (на примере магнитной обсерватории «Москва»)

Рассмотрим теперь данные по геомагнитной активности, публикуемые ИЗМИРАН (Центр прогнозов..., 2011). На рис. 4 показаны магнитограммы трех составляющих магнитной индукции и соответствующи-

щие им K_i индексы.

Полоса пропускания при записи магнитограмм ограничена сверху частотой $\sim 0,1$ Гц, тем не менее, можно заметить, что амплитуда короткопериодных вариаций вертикальной составляющей магнитной индукции на фоне суточных вариаций достигает 10 нТл (от пика до пика), что в два–три раза выше, чем амплитуда короткопериодных вариаций горизонтальных составляющих. Следует отметить, что при расширении полосы пропускания магнитометров до единиц–десятков герц амплитуда вертикальной составляющей во много раз возрастет, что существенно затруднит запись короткопериодных геомагнитных вариаций.

При этом на магнитограммах на рис. 4 и 5 минимумы короткопериодных вариаций практически совпадают с минимумами индексов геомагнитной активности K_i и попадают в ночные интервалы времени, примерно от полуночи до трех часов по московскому времени. Более наглядно совпадение минимумов индексов геомагнитной активности с ночными интервалами времени видно на недельной записи вариаци-

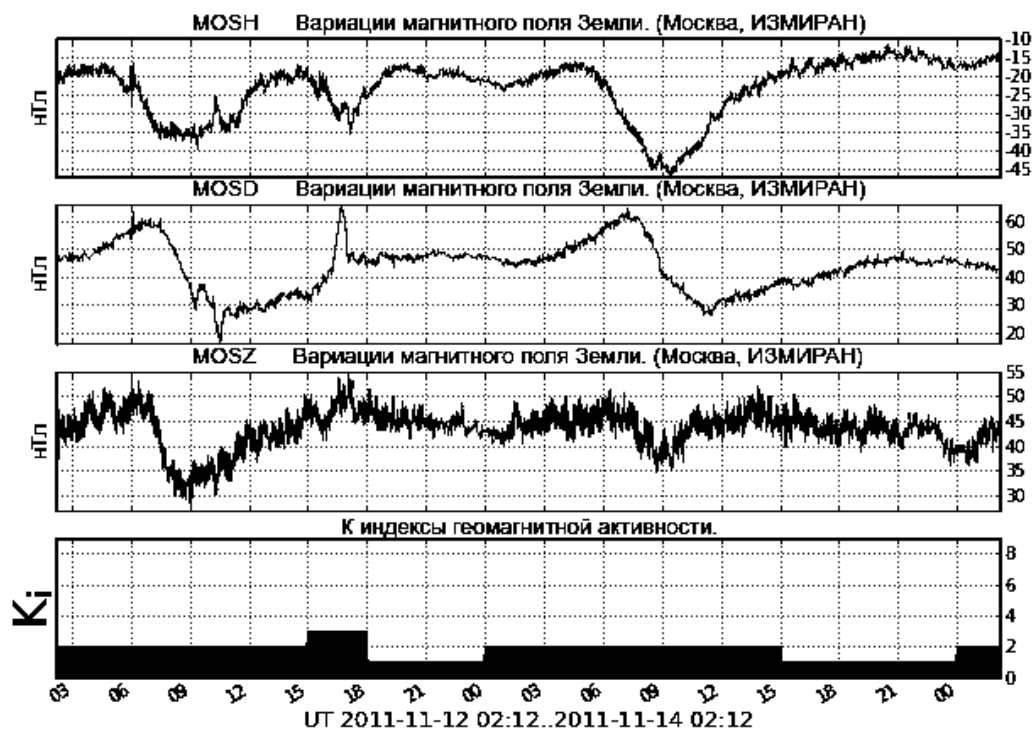


Рис. 4. Магнитограммы трех составляющих магнитной индукции и соответствующие им K_p индексы за двое суток. По оси ординат – UT (ч) (Центр прогнозов..., 2011)

ций магнитного поля (рис. 6), где все семь ночных интервалов с минимумом коротко-

периодных вариаций попадают в минимумы геомагнитной активности. Такое совпа-

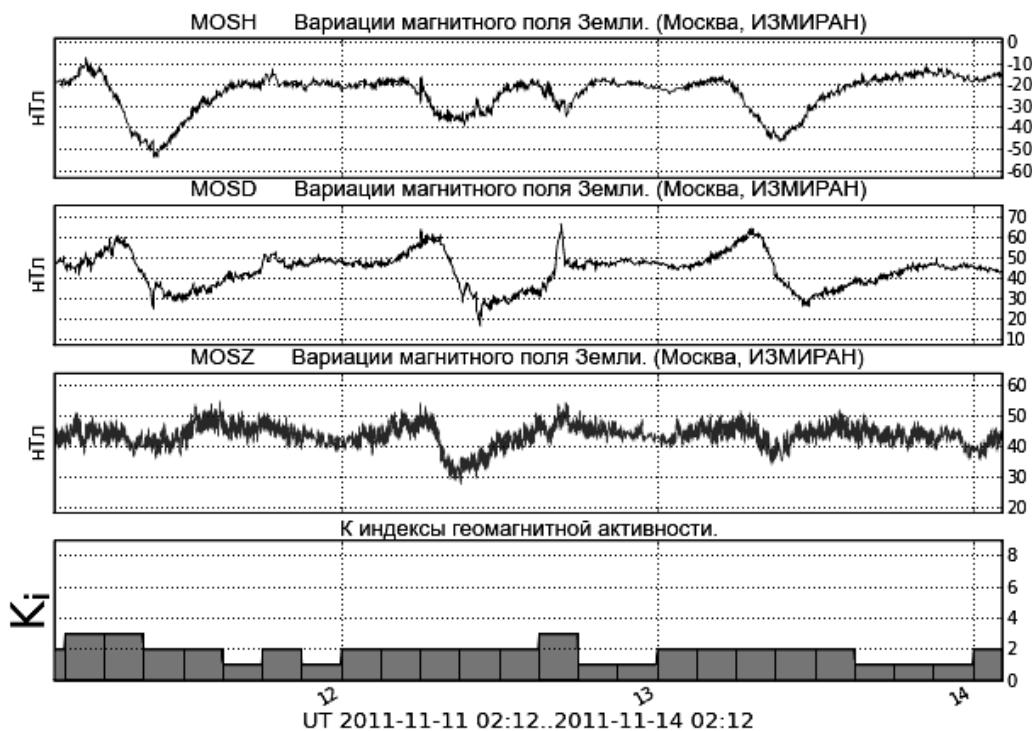


Рис. 5. Магнитограммы трех составляющих магнитной индукции и соответствующие им K_p индексы за трое суток. По оси ординат – UT (ч) (Центр прогнозов..., 2011)

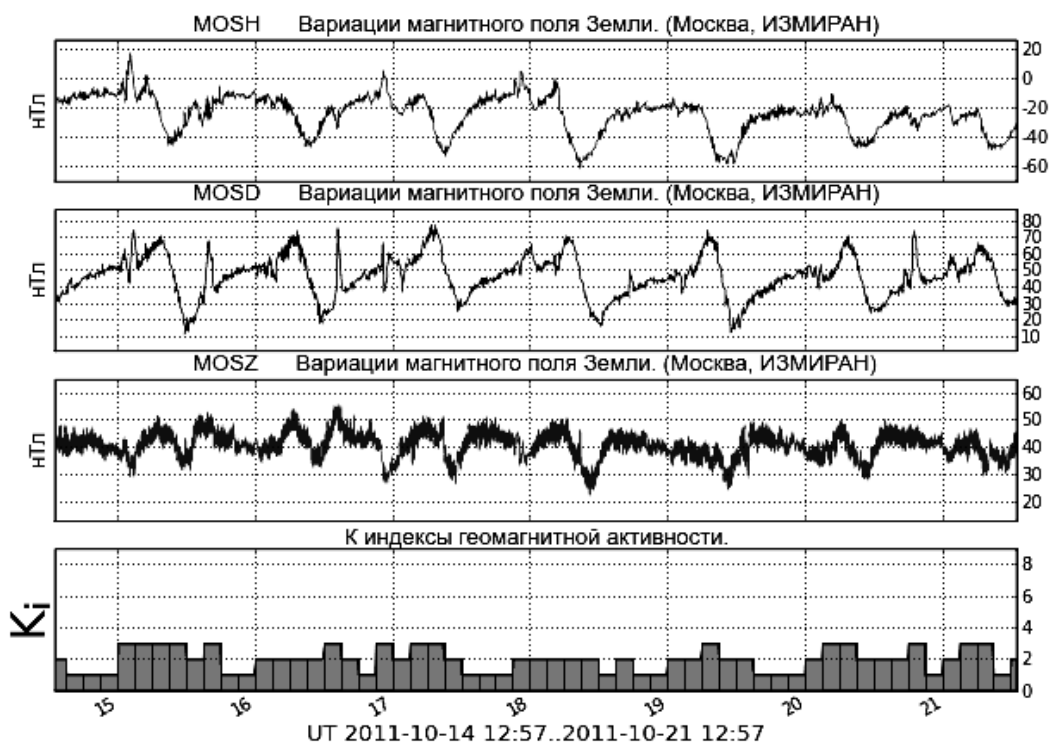


Рис. 6. Магнитограммы трех составляющих магнитной индукции и соответствующие им K_p индексы за семь суток. По оси ординат – UT (ч) (Центр прогнозов..., 2011)

дение уже не может быть случайным.

Если посмотреть магнитные данные за следующие семь дней (22.10.2011–29.10.2011 г.) (Центр прогнозов..., 2011), то наблюдается аналогичная ситуация, за исключением одного дня (25.10.2011 г.),

когда геомагнитные вариации амплитудой порядка 200 нТл совпали с суточным минимумом магнитного шума (рис. 7).

Из магнитограмм на рис. 4–7 следует, что при спокойном или слабо возмущенном магнитном поле индексы геомагнит-

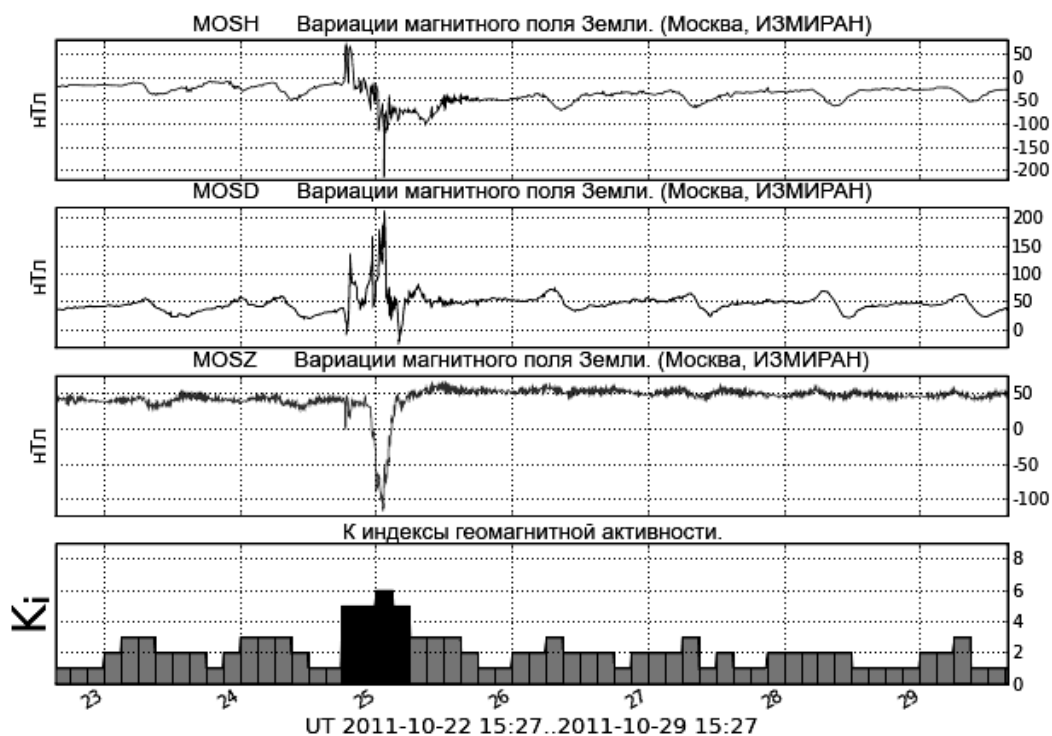


Рис. 7. Магнитограммы трех составляющих магнитной индукции и соответствующие им K_p индексы за семь суток. По оси ординат – UT (ч) (Центр прогнозов..., 2011)

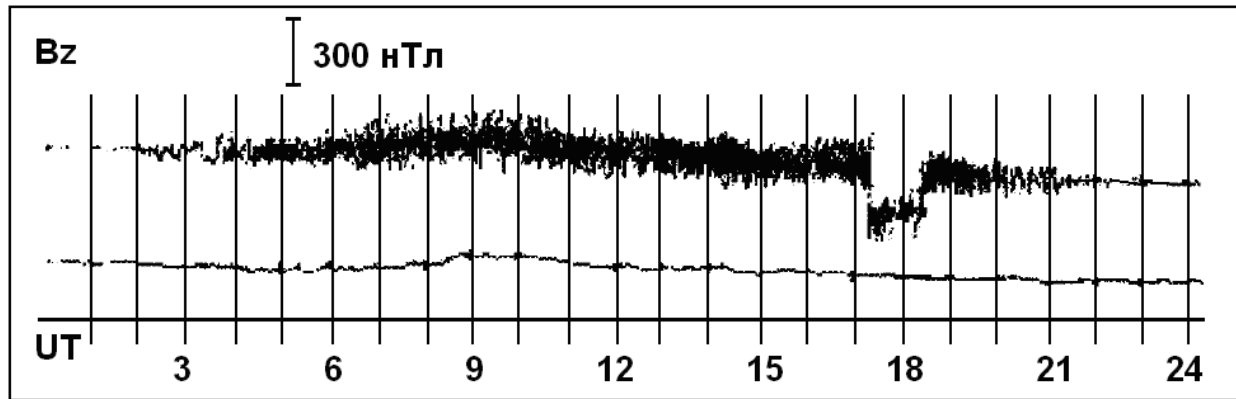


Рис. 8. Вертикальная составляющая вариаций магнитного поля B_z (нТл) в северной части Москвы (верхняя кривая) и синхронная запись вертикальной составляющей геомагнитных вариаций вТроицке (нижняя кривая) (Заболотная, 2007). По оси ординат – UT (ч)

ной активности характеризуют не только геомагнитную активность, но и техногенный магнитный шум Москвы. Город Троицк, где расположена магнитная обсерватория ИЗМИРАН, находится всего в 20 км от московской кольцевой автодороги, то есть, фактически, от окраины Москвы. В работе (Заболотная, 2007) показано, что в 1973 году техногенный магнитный шум вертикальной составляющей магнитной индукции в северной части Москвы в дневное время достигал 300 нТл, но на записи магнитограмм в Троицке он был практически не заметен (рис. 8).

С тех пор магнитный шум Москвы многократно возрос, да и Москва расстроилась и приблизилась к Троицку почти на 20 км. Поэтому техногенный магнитный шум Москвы стал явно виден на магнитограммах ИЗМИРАН не только на записях вертикальной составляющей магнитной индукции, – он заметен уже и на записях горизонтальных составляющих.

Выводы и заключение

Таким образом, техногенный электромагнитный шум уже в настоящее время заметно влияет на геомагнитные измерения, выполняемые магнитными обсерваториями, расположенными в относительной близости к крупным населенным пунктам и промышленным центрам. В частности, для обсерватории «Москва», расположенной в г. Троицке, магнитный шум амплитудой 5–10 нТл и более может восприниматься, как слабо возмущенное геомагнитное поле, и при этом ему могут соответствовать индексы магнитной активности до $K \leq 2$. То есть при спокойном или слабо возмущенном геомагнитном поле не совсем понятно, что является основной причиной вариаций магнитного поля, – геомагнитные вариации, техногенный магнитный шум мегаполиса Москва или то и другое вместе.

Короткопериодные вариации магнитного поля, обусловленные техногенным магнитным шумом, можно в какой-то степени подавить ограничением полосы пропускания магнитометров. Однако такое решение противоречит современной тенденции развития магнитных наблюдений. В последние годы многие магнитные обсерватории мира переходят к высокоточным магнитным измерениям и присоединяются к глобальной сети цифровых магнитных обсерваторий INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network), в которой действует 1-секундный стандарт, и для его обеспечения обсерватории изменили частоту выборки сигналов с магнитометров. Вместо ранее принятого одного раза в минуту данные теперь снимаются один раз в секунду. Кроме того, стандарт INTERMAGNET предусматривает в настоящее время необходимый уровень порога чувствительности при

Короткопериодные вариации магнитного поля, обусловленные техногенным магнитным шумом, можно в какой-то степени подавить ограничением полосы пропускания магнитометров. Однако такое решение противоречит современной тенденции развития магнитных наблюдений. В последние годы многие магнитные обсерватории мира переходят к высокоточным магнитным измерениям и присоединяются к глобальной сети цифровых магнитных обсерваторий INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network), в которой действует 1-секундный стандарт, и для его обеспечения обсерватории изменили частоту выборки сигналов с магнитометров. Вместо ранее принятого одного раза в минуту данные теперь снимаются один раз в секунду. Кроме того, стандарт INTERMAGNET предусматривает в настоящее время необходимый уровень порога чувствительности при

измерении компонент магнитной индукции не более $10 \text{ пТл} \times \text{Гц}^{-1/2}$. Это приводит к необходимости расширения диапазона рабочих частот вверх до 4 Гц (на уровне – 3дБ) и к более жестким требованиям по фильтрации сетевых помех частотой 50 Гц. В перспективе в сети INTERMAGNET предполагается снижение допустимого порога чувствительности еще на порядок, до $1 \text{ пТл} \times \text{Гц}^{-1/2}$. При реализации таких высокоточных магнитных наблюдений фактор техногенного магнитного шума становится одной из основных проблем, поскольку сеть магнитных обсерваторий должна быть регулярной, а найти подходящие места расположения обсерваторий с предельно малыми электромагнитными помехами достаточно трудно. И решать проблему электромагнитного шума с каждым годом становится все труднее.

Литература

Вишнев В.С., Иванов Н.С., Измайлов Ю.В. Критерии для автоматического выделения геомагнитных вариаций // Повышение эффективности геолого-геофизических методов исследования месторождений полезных ископаемых. Сборник научных трудов. Карагандинский ордена Трудового Красного Знамени политехнический ин-

ститут. 1988. С. 48–50.

Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности: Справочное пособие. Изд. 2-е. М.: ЛКИ, 2007. 88 с.

Индексы солнечной и геомагнитной активности. URL: <http://radiouniverse.ru/article/indeksy-solnechnoi-i-geomagnitnoi-aktivnosti> (дата обращения: 21.10.2011).

Центр прогнозов космической погоды. URL: <http://forecast.izmiran.ru> (даты обращения: 14.10.2011; 21.10.2011; 29.10.2011).

Dx портал. URL: <http://dxing.ru/tablitsa-sgi.html> (дата обращения: 21.10.2011).

Solar Weather Forecasting Vital as Sun Gears Up for Wild Ride. URL: <http://eham.net> (дата обращения: 21.10.2011).

Solar-Terrestrial Data. URL: <http://qrz.com> (дата обращения: 21.10.2011).