

3. Короткий В. П. Детерминированный хаос в модели колебательного контура с нелинейной индуктивностью // Нелинейный мир. 2010. Т. 8. № 12. С. 758—763.

4. Афанасьев Ю. В. Феррозондовые приборы. Л.: Энергоатомиздат, 1986.

5. Короткий В. П. Модель магнитомодуляционного преобразователя // Измерительная техника. 2009. № 1. С. 47—51; Korotkii V. P. A model of a magnetomodulation converter // Measurement Techniques. 2009. V. 52. N 1. P. 74—80.

6. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. М.: Мир, 1968.

7. Семенов Н. М., Яковлев Н. И. Цифровые феррозондовые магнитометры. Л.: Энергия, 1978.

8. Горяченко В. Д. Элементы теории колебаний. М.: Высшая школа, 2001.

Дата принятия 13.02.2012 г.

550.38

## Влияние техногенных магнитных полей на геомагнитные измерения в обсерваториях

О. Л. СОКОЛ-КУТЫЛОВСКИЙ, Д. С. ТЯГУНОВ

Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия, e-mail: s-k52@mail.ru

*Показано, что индексы геомагнитной активности  $A$  и  $K$ , определяемые магнитными обсерваториями в периоды спокойного и слабо возмущенного магнитного поля Земли, могут быть искажены в результате влияния магнитных помех, создаваемых техногенными источниками. Приведены примеры таких искажений.*

**Ключевые слова:** геомагнитная активность, техногенный магнитный шум.

*It is shown that  $A$  and  $K$  indices of geomagnetic activity determined by magnetic observatories during the periods of quiet and slightly perturbed Earth magnetic field could be distorted due to magnetic noise from technogenic sources. The examples of such distortions are demonstrated.*

**Key words:** geomagnetic activity, technogenic magnetic noise.

Изучение магнитного поля Земли как источника данных о строении нашей планеты и протекающих в ее недрах процессах, а также солнечно-земных связях — одна из фундаментальных проблем геофизики. Магнитные исследования востребованы и в повседневной жизни общества. С развитием техногенной инфраструктуры возрастает их зависимость от возникающих аномальных явлений, связанных с поведением магнитного поля. Как известно, особую опасность представляют сильные магнитные бури, которые воздействуют на системы энергоснабжения, воздушные и космические перевозки, на здоровье людей. С резким ростом энергетической насыщенности промышленной и бытовой сферы возникла и новая проблема — техногенный магнитный шум, который в крупных промышленных центрах сопоставим с влиянием магнитных бурь.

Публикуемые в интернете индексы геомагнитной активности являются ее количественной оценкой и используются в геофизике для контроля за состоянием магнитосферы, в технике космической связи и дальней радиосвязи 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 индексы  $A$  и  $K$ , характеризующие магнитное и ионосферное возмущения. Индекс  $K$  показывает геомагнитную активность за каждые 3 ч, начиная с 00:00 UTC. Находят отклонения

индекса  $K$  относительно значений спокойного дня конкретной обсерватории и выбирают наибольшее значение. По этим данным вычисляют индексы  $K_j$  и  $A$ . Индекс  $A$  представляет собой дневное среднее и его рассчитывают следующим образом. Каждое измеренное значение индекса  $K$ , полученное с трехчасовым интервалом, по специальной таблице преобразуют в эквивалентный индекс, и определенные в течение дня его значения усредняют. В результате находят индекс  $A$ , 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 многих сайтах в интернете. 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 промышленности, быстрым ростом мегаполисов, развитием всех видов городского, пригородного и междугородного 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,

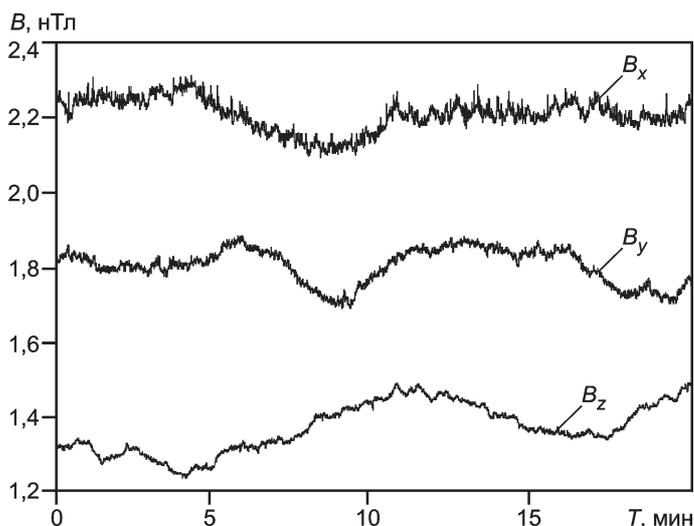


Рис. 1. Фрагмент записи ночных измерений вариаций геомагнитного поля в 150 км от Екатеринбурга

создаваемый крупными городами и промышленными центрами, преимущественно сосредоточен в области частот 0,01 — 100 Гц и многократно превышает по амплитуде вариации геомагнитного поля в данном диапазоне.

**Критерии различия геомагнитного и техногенного магнитного полей.** Существуют, по крайней мере, два 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 суточной цикличности амплитуды низкочастотных шумов вертикальной составляющей магнитного поля.

Поскольку основным источником геомагнитных вариаций является магнитосфера Земли, на любую часть поверхности Земли наибольшее влияние оказывают электромагнитные волны, направленные 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 их вертикальную составляющую или, в крайнем случае, могут быть примерно равны ей. На рис. 1 показан фрагмент записи вариаций геомагнитного поля, записанный в Артинском районе в 150 км от Екатеринбурга. Амплитуда короткопериодных вариаций вертикальной составляющей  $B_z$  явно меньше амплитуды короткопериодных вариаций горизонтальных составляющих. Аналогичная картина наблюдается и в других местах, значительно удаленных от городов.

Техногенные 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 горизон-

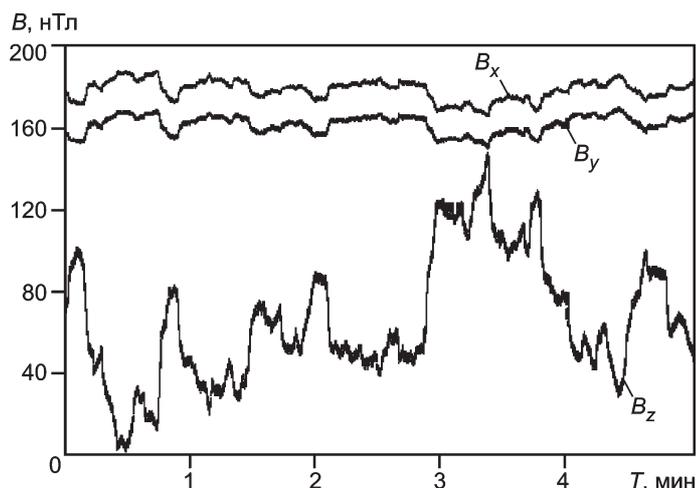


Рис. 2. Диаграммы записи составляющих индукции магнитного поля, выполненные на юго-западной окраине Екатеринбурга

тальная составляющая, ортогональная первой, на поверхности сравнительно невелика. В итоге, 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 амплитуда короткопериодных вариаций вертикальной составляющей  $B_z$  магнитного поля многократно превышает амплитуду горизонтальных составляющих.

Кроме того, 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 усредненного техногенного магнитного шума на юго-западе Екатеринбурга. Как видно, минимум средней амплитуды магнитного шума приходится на указанный промежуток времени, и этот минимум особенно хорошо проявляется на амплитуде вертикальной составляющей  $B_z$  магнитного поля.

**Применение критерия (на примере магнитной обсерватории «Москва»).** Рассмотрим теперь данные по геомагнитной активности, публикуемые Институтом земного магнетизма и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН). На рис. 4 показаны магнитограммы трех составляющих магнитной индукции и соответствующие им индексы  $K_p$ .

Полоса пропускания при записи магнитограмм ограничена сверху частотой около 0,01 Гц, тем не менее можно заметить, что амплитуда короткопериодных вариаций вертикальной составляющей магнитной индукции 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 возрастает и это существенно затруднит запись геомагнитных вари-

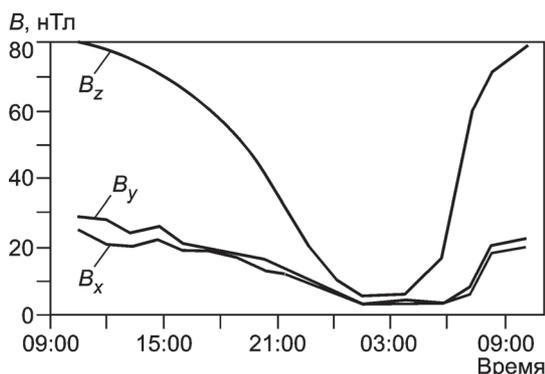


Рис. 3. Суточные измерения среднего значения короткопериодных вариаций магнитного поля в районе юго-западной окраины Екатеринбурга (время местное)

ций. На магнитограмме рис. 4 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.

Такое совпадение не может быть случайным. Если посмотреть магнитные данные за следующие семь дней (22.10.2011 — 29.10.2011) [6], то наблюдается аналогичная ситуация, за исключением одного дня (25.10.2011), когда с суточным минимумом магнитного шума совпали геомагнитные вариации амплитудой порядка 200 нТл.

Получается, что при спокойном или слабо возмущенном магнитном поле индексы геомагнитной 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 окраины Москвы. В [1] показано, что в 1973 г. техногенный магнитный шум вертикальной составляющей магнитной индукции в северной части Москвы в дневное время достигал

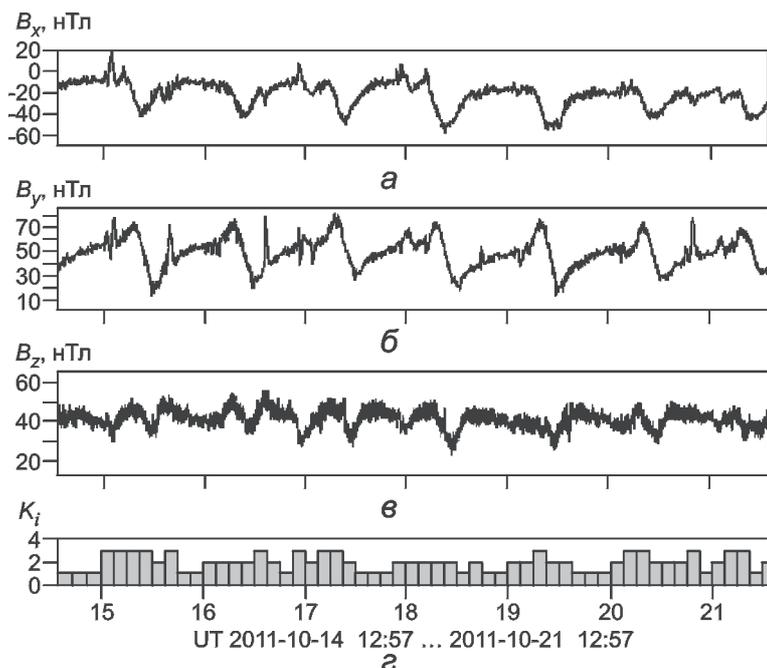


Рис. 4. Магнитограммы трех составляющих магнитной индукции (а—в) и соответствующие им индексы  $K_i$  (г) за семь суток по данным ИЗМИРАН

300 нТл, но на записи магнитограмм в Троицке он был практически не заметен. С тех пор магнитный шум Москвы многократно возрос. Поэтому техногенный магнитный шум Москвы стал явно виден на магнитограммах ИЗМИРАН не только на записях вертикальной составляющей магнитной индукции, но уже и на суточных записях горизонтальных составляющих.

Следует отметить, что места при создании сети магнитных обсерваторий, строительство которых было начато в России еще в двадцатых годах XIX века, выбирались в районах, где практически не было магнитных помех. Но интенсивный рост техногенного магнитного шума и негативные изменения, произошедшие за последние десятилетия, значительно усложнили ситуацию с обсерваторскими измерениями магнитного поля Земли.

**Выводы.** Таким образом, измеряемые некоторыми обсерваториями индексы  $A$  и  $K$  геомагнитной активности, на которых основана оценка текущего состояния магнитосферы Земли, могут быть в значительной степени искажены техногенным электромагнитным шумом. В частности, для обсерватории «Москва», расположенной в Троицке, индекс  $K = 1$  соответствует магнитному шуму амплитудой 5 — 10 нТл, а  $K = 2$  — магнитному шуму амплитудой 10 — 20 нТл, т. е. при индексах  $K \leq 2$  не совсем понятно, что является основной причиной вариаций магнитного поля — геомагнитные вариации или техногенный магнитный шум мегаполиса Москва.

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 односекундный 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 снижение порога чувствительности при измерении составляющих магнитной индукции до  $10 \text{ нТл} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$ . Это приводит к необходимости расширения диапазона рабочих частот вверх до 4 Гц (на уровне  $-3 \text{ дБ}$ ) и к более жестким требованиям по фильтрации сетевых помех частотой 50 Гц. При реализации таких высокоточных магнитных наблюдений фактор техногенного магнитного шума становится одной из основных проблем, поскольку сеть магнитных обсерваторий должна быть более или менее регулярной, а найти подходящие места их расположения с малыми электромагнитными помехами с каждым годом становится все труднее.

Л и т е р а т у р а

1. Заболотная Н. А. Индексы геомагнитной активности: Справ. пособие. М.: Изд. группа «URSS», 2007.

Дата принятия 14.02.2012 г.