

## Статистические характеристики флуктуаций электромагнитного поля Земли

К. П. Гармаш, С. Г. Леус, С. А. Пазюра, С. Н. Похилько, Л. Ф. Черногор

*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина,  
61077, Украина, г. Харьков, пл. Свободы, 4  
E-mail: Leonid F. Chernogor @ univer. kharkov.ua*

*Статья поступила в редакцию 30 июля 2002 г.*

Кратко описан магнитометрический комплекс Харьковского национального университета. Вычислены основные статистические характеристики вариаций  $H$ - и  $D$ -компонент геомагнитного поля в 1999 г. (продолжительность наблюдений 1488 ч). Показано, что при усреднении на интервале времени не менее 10 мин статистические распределения амплитуд сигналов заметно отличаются от нормального закона. Временные вариации выборочных средних квадратических отклонений  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  отражают характер процессов в геокосмосе (уровень геомагнитной и солнечной активности, суточные изменения и т. п.). Спектральный и вейвлетный анализ подтвердили, что вариации магнитометрических сигналов  $H(t)$  и  $D(t)$  кроме общих сведений о вариациях космической погоды, содержат в себе также сведения о более “тонких” процессах в геокосмосе (величине амплитуд, периодах пульсаций, их продолжительности и т. д.).

Коротко описано магнітометричний комплекс Харківського національного університету. Обчислено основні статистичні характеристики варіацій  $H$ - і  $D$ -компонентів геомагнітного поля в 1999 р. (тривалість спостережень 1488 годин). Показано, що при усередненні на інтервалі часу не менше 10 хвилин статистичні розподіли амплітуд сигналів помітно відрізняються від нормального закону. Часові варіації вибіркового середнього квадратичного відхилення  $\sigma_H$  і  $\sigma_D$  відбивають характер процесів у геокосмосі (рівень геомагнітної і сонячної активності, добові зміни і т. п.). Спектральний і вейвлетний аналіз підтвердили, що варіації магнітометричних сигналів  $H(t)$  і  $D(t)$  крім загальних відомостей про варіації космічної погоди, містять у собі також відомості про більш “тонкі” процеси у геокосмосі (величину амплітуд, періоди пульсацій, їх тривалість і т. д.).

### Введение

Одной из главных проблем физики околоземной космической среды (геокосмоса) является проблема космической погоды. Этот емкий термин служит для описания сложной многогранной совокупности физических (и не только физических) процессов, формирующих состояние геокосмоса. Космическая погода в основном определяется процессами на Солнце и в значительно меньшей степени – явлениями на Земле или в космосе.

Исследование состояния космической погоды и ее вариаций, адекватность моделирования и предсказание космической погоды являются актуальными задачами ввиду их большой общенаучной и прикладной значимости. Прикладное значение заключается в том, что сильные и, как правило, внезапные вариации космической погоды могут приводить к сбоям в работе и даже авариям мощных линий электропередач, систем радионавигации и телекоммуникации, глобальных информационных сетей типа INTERNET, к из-

менениям траекторий низкоорбитных космических аппаратов и т. д. Более того, они опосредованно влияют на самочувствие и здоровье людей, а также состояние биосферы в целом.

Важное место в проблеме космической погоды занимает ее мониторинг. Для этой цели запускаются специальные искусственные спутники Земли и используется целый арсенал наземных средств. К ним относятся и наземные магнитометры. С одной стороны, они отличаются простотой, долговечностью, надежностью и низкой стоимостью изготовления и эксплуатации. С другой стороны, всемирная магнитометрическая сеть позволяет организовать непрерывный и эффективный мониторинг состояния космической погоды (точнее, ее отдельных параметров). Дело в том, что короткопериодические (период  $T \approx 0.1 \div 10^3$  с) флуктуации электромагнитного поля Земли, как и ОНЧ-излучения, генерируются как в солнечном ветре, достигнувшем геокосмоса, так и в магнитосфере и переносят на поверхность Земли богатые и уникальные сведения о физических процессах в геокосмосе [1-3]. Исследуя структуру этих флуктуаций, можно судить об особенностях взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли, об изменении конфигурации плазмосферы и плазмопаузы, о вариациях параметров радиационных поясов и т. д. Следовательно, регистрируемые на поверхности планеты флуктуации электромагнитного поля Земли служат своеобразным индикатором состояния космической погоды и ее вариаций.

В указанном выше диапазоне  $T$  флуктуации электромагнитного поля Земли удобнее отслеживать путем измерения магнитной компоненты поля. Устройство, осуществляющее такие измерения на основе фиксации вариаций магнитного потока, называется магнитометром-флюксометром.

Исследованию вариаций геомагнитного поля и геомагнитным пульсациям посвящено большое количество работ – десятки книг и тысячи научных статей. Не имея возможности перечислить эти статьи, укажем лишь хорошо известные изданные на рус-

ском языке книги [1-10]. В них обобщен богатый материал о вариациях геомагнитного поля и сопутствующих процессах. Основное внимание в литературе уделялось описанию кратковременных (порядка нескольких минут) пульсаций или медленным вариациям главного магнитного поля Земли, а также разработке механизмов их генерации.

Для мониторинга состояния космической погоды представляет интерес одновременный анализ вариаций геомагнитного поля во всем диапазоне периодов флуктуаций ( $\sim 1 \div 10^3$  с).

Целью настоящей работы является изложение результатов статистического анализа флуктуаций выходного сигнала магнитометра (далее – магнитометрического сигнала) по результатам измерений в 1999 г. в среднеширотной обсерватории (вблизи г. Харькова) и выбор информативных статистических характеристик, отражающих состояние космической погоды.

В соответствии с общей целью работы в ней решаются следующие задачи:

- 1) оценка временных интервалов, на которых магнитометрические сигналы могут рассматриваться как случайные процессы;
- 2) поиск статистических характеристик магнитометрических сигналов, удобных для мониторинга состояния космической погоды;
- 3) установление статистических связей между статистическими характеристиками магнитометрических сигналов, измеренных в обсерватории вблизи г. Харькова, и планетарными индексами геомагнитной активности  $K_p$  и  $A_p$ ;
- 4) определение периодов преобладающих колебаний в зависимости от геомагнитной активности (состояния космической погоды).

### **Сведения о магнитометрическом комплексе**

Приведенные ниже результаты наблюдений получены при помощи несерийного высокочувствительного магнитометра, включенного

в состав программно-аппаратного комплекса. Он размещен в радиофизической обсерватории Харьковского национального университета (ХНУ) им. В. Н. Каразина (с. Граково, Чугуевский район, Харьковская обл.). Его геофизические координаты:  $49^{\circ}40'$  с. ш.,  $36^{\circ}50'$  в. д.; геомагнитные координаты:  $+45^{\circ}20'$  геомагнитной широты,  $119^{\circ}20'$ .

Комплекс содержит индукционный датчик, магнитометр-флюксметр ИМ-II, устройство регистрации на базе IBM PC AT-286 совместимого компьютера, оснащенного картой расширения многоканального аналого-цифрового ввода/вывода (АЦП) ЕС 1839.3004, СНЧ-генератор (для проведения калибровки) и блок бесперебойного питания с аккумулятором емкостью 65 А·ч. Последний обеспечивает автономное функционирование комплекса продолжительностью до 18 часов.

Индукционный магнитометр ИМ-II разработан и изготовлен в ОКБ Института физики Земли РАН (г. Москва). Конструктивно он представляет собой выносные активные индукционные датчики (до 3-х датчиков в комплекте) и моноблок, имеющий в своем составе: 3-канальный блок контроля и усиления (БКУ), блок полосовых фильтров в узких частотных диапазонах. Дополнительно в состав могут включаться блок питания и калибровочный низкочастотный генератор, а также устройства регистрации (самописец или медленный аналоговый магнитофон).

Приведем основные технические характеристики магнитометра.

*Активный индукционный датчик:*

- полоса рабочих частот от 0.001 до 15 Гц (амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) в полосе  $0.001 \div 2$  Гц представляет собой АЧХ идеальной дифференцирующей цепочки);

- внутренние шумы на частотах 1, 0.1, 0.01 Гц не более 0.5, 5 и 50 пТл соответственно;

- коэффициент преобразования на выходе активного датчика ( $1 \pm 0.2$ ) мВ/(Гц·нТл);

- габаритные размеры датчика не более  $133 \times 133 \times 715$  мм;

- габаритные размеры сердечника не более  $15 \times 2000$  мм.

*Блок контроля и усиления:*

- полоса рабочих частот (с завалом  $-3 \text{ дБ} \pm 1 \text{ дБ}$  от чистой дифференциальной АЧХ) от 0.001 до 2 Гц;

- коэффициент преобразования (с подключенным активным датчиком) от 2 до 32 мВ/(Гц·нТл) для частот  $0.001 \div 2$  Гц соответственно;

- шаг ступенчатой регулировки усиления  $6 \text{ дБ} \pm 0.6 \text{ дБ}$ ;

- глубина регулировки усиления 24 дБ;

- крутизна среза АЧХ на верхней границе полосы пропускания не менее 24 дБ/октава;

- выходное напряжение  $\pm 7$  В.

Сигнал для оцифровки снимается непосредственно с выхода БКУ. Кроме того, задействованы только датчики измерения горизонтальных компонент геомагнитного поля.

Устройство регистрации функционирует под управлением операционной системы MS-DOS 6.22. Программа регистрации, написанная на языке Turbo Pascal 6, осуществляет непрерывное периодическое считывание данных с каждого измерительного канала АЦП, их предварительную фильтрацию с помощью блочного цифрового фильтра нижних частот с полосой 1 Гц и сохранение в файлах с уникальными именами на жестком диске. Частота считывания данных составляет 2 Гц, разрядность АЦП – 12 двоичных разрядов. Основная временная привязка данных осуществляется при помощи энергонезависимых часов CMOS компьютера. Для повышения стабильности и точности хода часов их кварцевый резонатор был заменен на прецизионный генератор 32 КHz фирмы Dallas Semiconductor, в результате чего была достигнута точность хода не хуже  $5 \cdot 10^{-7}$  в диапазоне комнатных температур. Погрешность начальной установки часов по сигналам станций службы точного времени не более  $\pm 0.5$  с. При необходимости она может быть увеличена на несколько порядков.

Считывание накопленной информации, а также корректировка часов производится раз в 2 – 3 месяца. Дальнейшая обработка и анализ данных выполняется с использованием специального программного обеспечения, включающего узкополосную цифровую филь-

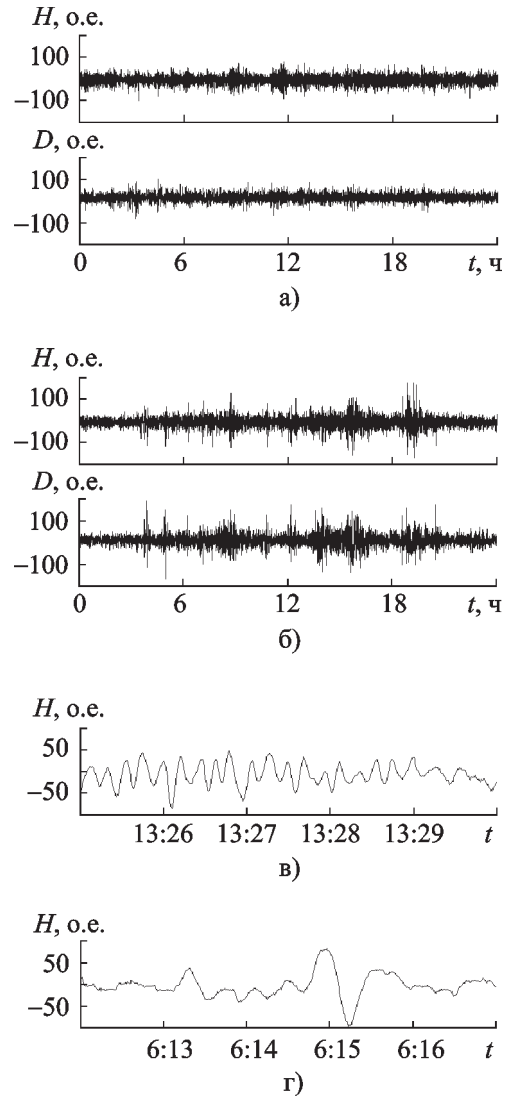
трацию, спектральное, статистическое оценивание и т. д.

Во избежание недоразумений подчеркнем, что речь идет о магнитометре-флюксометре, а не феррозондовом магнитометре. Во втором случае измеряются абсолютные значения компонент геомагнитного поля и приходится аппаратным способом компенсировать вклад главного магнитного поля (его “постоянную” составляющую), индукция которого около  $5 \cdot 10^{-5}$  Тл. В результате этого чувствительность такого магнитометра сравнительно невысока. Она определяется относительной нестабильностью схемы компенсации, которая на сегодняшний день составляет около  $2 \cdot 10^{-7}$ , что приводит к чувствительности феррозондового магнитометра порядка 10 пТл. В случае магнитометра-флюксометра измеряется лишь уровень флуктуаций, и поэтому его чувствительность определяется уровнем шумов и величиной эдс индукционного датчика, пропорциональной  $T^{-1}$ . Поэтому чувствительность прибора ухудшается с увеличением  $T$ . Чувствительность  $\sim 0.5 \div 1$  пТл близка к рекордной. Следовательно, описываемый магнитометр является уникальным по своей чувствительности.

### Методика анализа данных наблюдений

*Статистический анализ.* Пример регистрации временных зависимостей магнитометрических сигналов компонент  $H(t)$  и  $D(t)$  геомагнитного поля показан на рис. 1 (здесь и далее время киевское). Видно, что сигнал на достаточно больших интервалах времени является двухполярным и в целом носит случайный характер. Для его обработки целесообразно применять статистические методы. На достаточно малых интервалах времени сигнал близок к детерминированному (рис. 1, в, г). Поэтому в каждом конкретном случае требуется оценка величины интервала времени.

Статистическому оцениванию подлежали распределения плотности вероятности амплитуд  $p$ , а также моменты случайного процесса [11, 12]. В результате получены гистограммы  $p(H)$  и  $p(D)$ , выборочные средние  $\langle H \rangle$ ,  $\langle D \rangle$  и выборочные дисперсии  $\sigma_H^2$ ,  $\sigma_D^2$ .



**Рис. 1.** Флуктуации  $H$ - и  $D$ -компонент геомагнитного поля в магнитоспокойный (27.03.99) и умеренно возмущенный (07.11.99) дни:

- а) 27 марта 1999 г.,  $A_p = 4$ ,  $\sum K_p = 8$ , число солнечных вспышек – 1;
- б) 7 ноября 1999 г.,  $A_p = 31$ ,  $\sum K_p = 32.6$ , число солнечных вспышек – 13;
- в) 7 ноября 1999 г., пример регулярных пульсаций  $P_c$ ;
- г) 7 ноября 1999 г., пример иррегулярных пульсаций  $P_i$

*Спектральный анализ.* Для выявления преобладающих периодов в спектре флуктуаций применялось спектральное оценивание [13]. Как оказалось, продолжительность квазипериодических процессов с периодами  $1 \div 100$  с



редко превышала  $2 \div 5$  мин. Поэтому не всегда удавалось обеспечить приемлемое разрешение и по времени, и по частоте. Преодолеть эту трудность в отдельных случаях удавалось, привлекая нетрадиционные методы спектрального оценивания [13]. При этом приходилось задаваться моделью искомого квазипериодического процесса. Чаще всего предполагалось, что он может быть представлен в виде суммы двух-трех гармоник. Оцениванию подлежали их частоты и амплитуды.

*Вейвлет-анализ.* Кардинального улучшения разрешающей способности, как по времени, так и по частоте, удалось достичь посредством применения методов вейвлет-анализа [14-16]. Этот анализ относится к новым и многообещающим. До настоящего времени он очень мало (в нескольких работах) применялся для анализа вариаций геомагнитного поля Земли [17-18]. В наших исследованиях использовался DOG-вейвлет, задаваемый соотношением

$$\psi(\tilde{t}) = \exp\left(-\frac{|\tilde{t}|^2}{2}\right) - \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{|\tilde{t}|^2}{8}\right),$$

где  $\tilde{t}$  – безразмерный аргумент.

Этот вейвлет имеет один положительный и два отрицательных лепестка, их общая продолжительность примерно равняется 8. Вейвлет-преобразование сигнала  $s(\tilde{t})$  имеет вид:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} s(\tilde{t}) \psi\left(\frac{\tilde{t} - b}{a}\right) d\tilde{t},$$

где  $W(a, b)$  – двумерный массив коэффициентов вейвлет-преобразования (аналог спектра сигнала);  $a$  – масштабный коэффициент;  $b$  – параметр сдвига;  $\tilde{t} = t/\Delta t$ ,  $\Delta t$  – интервал дискретизации времени  $t$  (в наших измерениях – 0.5 с). Для DOG-вейвлета период анализируемого процесса

$$T = a \sqrt{\frac{3\pi^2}{\ln 2}} \Delta t \approx 6.5a \Delta t.$$

Распределение плотности энергии в “вейвлет-спектре”

$$\epsilon(a, b) = W^2(a, b).$$

## Результаты анализа

*Общие сведения.* Измерения проведены в различные сезоны с 26 марта по 10 декабря 1999 г. Комплекс работал круглосуточно. Ниже изложены результаты анализа данных для весеннего (27 марта – 23 апреля) и осеннего (20 октября – 22 ноября) сезонов продолжительностью 1488 ч.

Сведения о геомагнитной обстановке, активности Солнца и моментах восхода и захода Солнца приведены в табл. 1. Геомагнитная обстановка характеризовалась традиционными индексами: суточным  $A_p$  и трехчасовым  $K_p$ . За период наблюдений были зарегистрированы 1134 солнечных вспышки. Подавляющее большинство из них не были геоэффективными. (Геоэффективной вспышкой, как известно, называют вспышку, которая вызывает на Земле существенные вариации космической погоды). Примерами геоэффективных вспышек на Солнце являются события 15 апреля (классы В и С), 20 октября (классы С и М), 5 ноября (классы С и М), а также 11 ноября (класс С). Напомним, что классы соответствуют плотности потока  $P_r$  рентгеновского излучения Солнца. Для классов В, С, М и Х соответственно  $P_r \sim 10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$  и  $10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup>. Геоэффективные вспышки и усиление интенсивности солнечного ветра вызывают в геокосмосе комплекс процессов, в частности, усиливаются флуктуации геомагнитного поля, возникают магнитные суббури и бури (см., например, [2, 6, 8]).

*Статистическое распределение амплитуд.* Для сравнения выберем магнитоспокойный день 27 марта и умеренно возмущенный день 7 ноября (см. рис. 1). Из рис. 1 видно, что в первый день амплитуда флуктуаций в несколько раз меньше, чем во второй день. Для более детального анализа построены гистограммы

**Таблица 1.** Геомагнитная обстановка в период наблюдений (горизонтальная линия разделяет весенние и осенние дни)

Дни	$A_p$	$K_p$								Кол-во вспышек	Восход	Заход
27.03.99	4	1-	2-	1+	0+	1-	0+	1-	2+	1	5:23	17:56
28.03.99	6	2-	2-	2+	2-	2-	1+	1+	2+	4	6:21	18:58
29.03.99	28	3+	3	4+	4-	6-	4-	4	4-	10	6:19	19:00
30.03.99	22	4	3-	4	4-	3+	4	4-	3+	4	6:17	19:01
31.03.99	15	4-	3-	2+	2	3	3-	3-	4+	2	6:14	19:02
01.04.99	12	4+	4+	1+	1+	1	2+	2+	1-	5	6:13	19:04
02.04.99	10	1+	3+	2+	1+	3-	3-	3-	1+	6	6:11	19:06
03.04.99	10	2+	2+	2+	2	2-	2-	4-	3-	36	6:08	19:07
04.04.99	14	3+	2+	2+	2-	3	2	4	3+	8	6:06	19:09
05.04.99	12	3	2+	3+	3+	3-	3	1	1-	13	6:04	19:10
06.04.99	10	3+	4	2-	1+	2-	2-	3	2+	18	6:01	19:11
07.04.99	11	4-	3	3-	1+	2-	2-	3	2+	13	6:00	19:13
08.04.99	8	1-	1	1+	1-	2	4	2+	2	27	5:58	19:16
09.04.99	6	2	2+	1	1-	1	2+	2-	1-	18	5:56	19:17
10.04.99	16	2-	3-	4-	2+	4-	3+	3	4-	7	5:53	19:18
11.04.99	10	3	3	3	2+	2	2+	1	1	7	5:51	19:19
12.04.99	8	4-	2-	1	3	1+	1+	1-	0+	9	5:49	19:21
13.04.99	3	0	0	1-	1+	1+	1+	1-	1+	7	5:48	19:23
14.11.99	7	1+	1-	3	3	1	2-	2-	1	-	5:45	19:24
15.04.99	4	1+	0+	1	1+	0+	1-	1	1	3	5:43	19:26
16.04.99	18	2-	2	0+	3-	4-	4-	4-	5	4	5:41	19:27
17.04.99	47	6	7+	5+	5	2+	2+	3-	2-	9	5:39	19:29
18.04.99	6	3-	2	1-	2-	2	1+	2	1	9	5:37	19:30
19.04.99	12	1-	1+	2-	4-	3-	2+	3+	3+	7	5:35	19:32
20.04.99	24	4-	4-	4+	4+	4+	4+	3-	2+	10	5:33	19:33
21.04.99	12	2-	2	3-	2+	2+	4+	3-	1+	29	5:31	19:35
22.04.99	4	2-	1	1-	0+	1-	1+	2-	1	2	5:30	19:37
23.04.99	5	1-	1	1+	2-	2-	2-	1	1-	6	5:27	19:38
20.10.99	3	1-	1	0+	1	1	1-	1-	1-	11	7:02	17:36
21.10.99	20	3+	5	2	2	2-	3	3+	5-	20	7:04	17:34
22.10.99	91	7	8-	8	5+	5-	4+	6-	3+	7	7:06	17:33
23.10.99	32	4	5-	3+	3-	5+	5	4+	4	19	7:08	17:31
24.10.99	26	5-	4	4+	4-	4	3	3+	4+	11	7:09	17:28
25.10.99	16	4-	3+	3	3+	4-	3+	2+	1-	31	7:10	17:26
26.10.99	10	1-	2+	2	3-	2+	3-	3-	3-	35	7:12	17:25
27.10.99	19	3-	4	3-	3+	3	5-	3	3-	17	7:14	17:23
28.10.99	21	2+	2-	3-	2-	4+	4	5+	3+	13	7:15	17:21
29.10.99	9	1	1	2-	2	2+	2	1	3-	24	7:17	17:19
30.10.99	6	2	2	2	4-	2	2	2-	2-	2	7:19	17:18
31.10.99	10	3-	2	2	2+	2	1	3-	3	27	6:21	16:16
01.11.99	10	3-	2+	2	4-	2+	2-	2+	1+	27	6:22	16:14
02.11.99	7	3-	2	2	2	1	1	1+	2	10	6:24	16:13
03.11.99	5	3	0+	0+	1+	1	0+	2-	2	6	6:26	16:11

Таблица 1. Продолжение

Дни	$A_p$	$K_p$								Кол-во вспышек	Восход	Заход
04.11.99	5	2	2+	1	1-	1	1-	1-	1+	15	6:27	16:09
05.11.99	5	1+	1-	0+	0+	0+	1-	2	3	12	6:29	16:08
06.11.99	10	3	1+	2-	2	2-	2+	4-	2-	9	6:30	16:06
07.11.99	31	3+	4+	5-	4+	5	5	3-	3+	13	6:32	16:05
08.11.99	29	4	4-	5-	4-	5-	4-	4+	4+	34	6:34	16:03
09.11.99	28	4-	5-	4-	4	4	4+	4	4+	30	6:35	16:01
10.11.99	18	3+	3+	2+	3+	3	3+	4-	4-	40	6:37	16:00
11.11.99	26	4-	5-	4	4	3+	3+	4	4	38	6:38	15:58
12.11.99	10	3	2+	2+	2	2	2	3	3	30	6:40	15:57
13.11.99	43	4+	4+	4-	3-	5	5	6+	5+	38	6:41	15:55
14.11.99	11	3-	2+	3-	2	3-	3-	3	3-	63	6:43	15:54
15.11.99	5	2+	1-	1+	1+	1+	1-	1	1	33	6:45	15:53
16.11.99	14	1	1+	2	4-	4-	4+	3-	3-	49	6:47	15:52
17.11.99	12	2	2-	2+	3	3	3	3	3-	42	6:48	15:50
18.11.99	17	3	3	3+	3	3	3	4-	3+	24	6:50	15:49
19.11.99	12	3-	3+	2+	2-	2	2-	2+	4	27	6:51	15:48
20.11.99	9	3+	3-	2+	3-	1	1	1	2-	22	6:53	15:47
21.11.99	12	2+	3-	3+	2	1-	3-	3+	3	27	6:55	15:46
22.11.99	11	4-	2	1+	4-	3+	2	1+	1	32	6:56	15:45

амплитуд, регистрируемых во всем диапазоне периодов сигналов  $H(t)$  и  $D(t)$  на 2-часовых интервалах времени, нормированные таким образом, что:

$$\sum_{i=1}^n p_{H_i} \Delta H = \sum_{i=1}^n p_{D_i} \Delta D = 1,$$

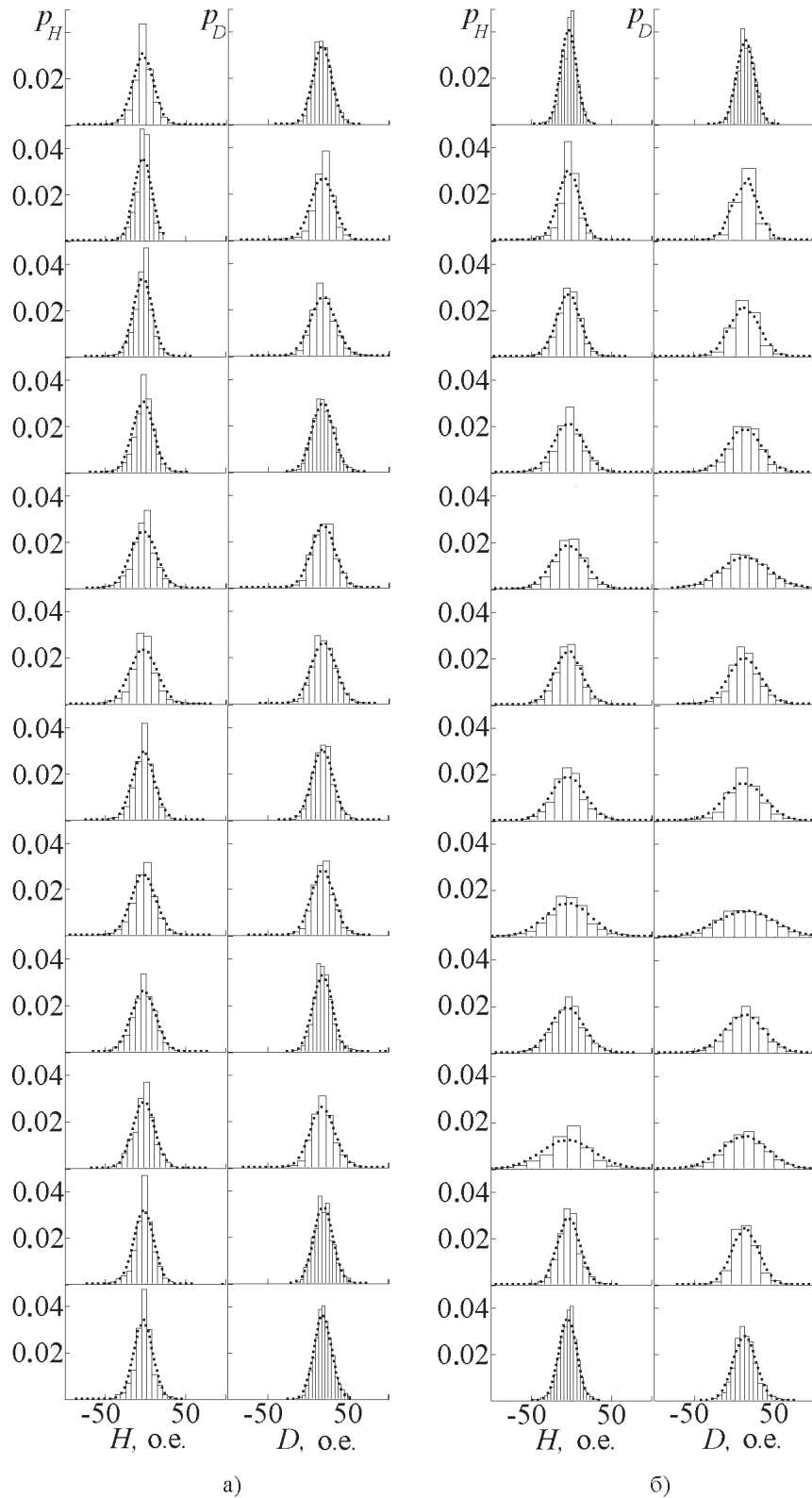
здесь  $\Delta H$  и  $\Delta D$  – интервал дискретизации амплитуд сигналов  $H$  и  $D$ . Они приведены на рис. 2 для спокойных и возмущенных условий. Диапазон изменения случайных амплитуд сигналов  $H$  и  $D$  разбивался на  $n = 21$  интервал. Далее обычным способом (см., например, [11, 12]) вычислялись выборочные значения

$$\langle H(t) \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i, \quad \langle D(t) \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i,$$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \langle H \rangle)^2}{n}}, \quad \sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \langle D \rangle)^2}{n}}.$$

По найденным  $\langle H \rangle$ ,  $\langle D \rangle$  и  $\sigma_H$ ,  $\sigma_D$  на этом же рисунке построены кривые нормального закона (точки). Как видно, наблюдаемые и вычисленные распределения плотности вероятностей заметно отличаются друг от друга. При малых амплитудах сигнала, как правило, имеет место наибольшее отклонение от нормального закона. По-видимому, это обусловлено аппаратными шумами и шумами квантования. В этом случае гистограмма представляет собой наложение двух гистограмм. Первая из них описывает флуктуации геомагнитного поля, а вторая – шумы.

Информация о флуктуациях содержится в первых двух статистических характерис-



**Рис. 2.** Временные вариации статистических распределений  $p_H$  и  $p_D$  амплитуд флуктуаций  $H(t)$  и  $D(t)$  и их аппроксимация (точки) нормальным законом. Последовательность рисунков сверху вниз соответствует интервалам времени 00:00 ÷ 02:00; 02:00 ÷ 04:00; 22:00 ÷ 24:00 ч: а) 27 марта 1999 г.; б) 7 ноября 1999 г.

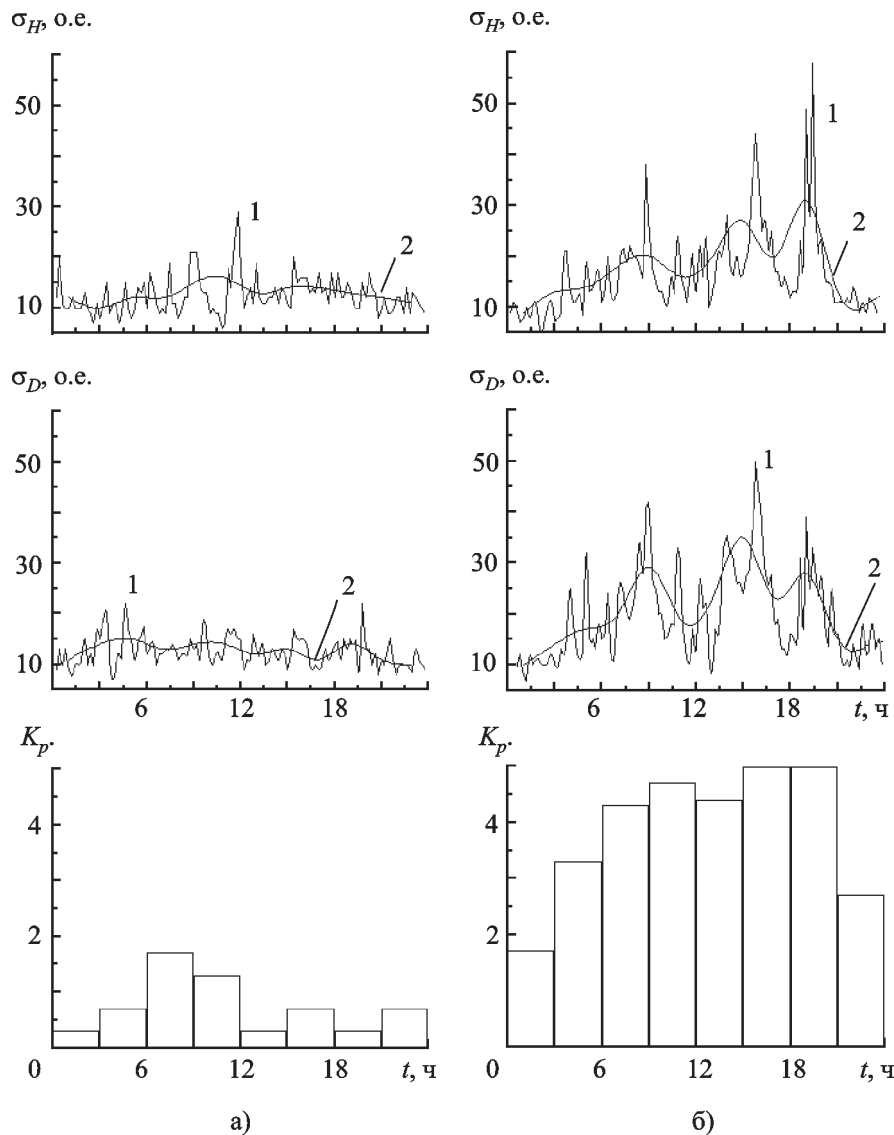


тиках  $\langle H \rangle$ ,  $\langle D \rangle$  и  $\sigma_H$ ,  $\sigma_D$ . Суточный ход  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  показан на рис. 3. Видно, что в магнитоспокойный день выборочное среднее квадратическое значение амплитуд флуктуаций  $H$  и  $D$  примерно в 1.5 раза меньше, чем в умеренно возмущенный день. Четко прослеживается суточный ход  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  – ночью их значение меньше, чем днем примерно в 2 раза. Зависимости  $\sigma_H(t)$  и  $\sigma_D(t)$  лишь в среднем отражают зависимость  $K_p(t)$ . Это понятно, так как индекс  $K_p$  –

планетарный. Он представляет собой результат усреднения вариаций геомагнитного поля по большому числу магнитных обсерваторий.

Такое поведение  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$ , хорошо соответствующее ожидаемому, свидетельствует об адекватности фиксируемых вариаций космической погоды.

Заметим, что  $\langle H \rangle$  и  $\langle D \rangle$  изменялись слабо, как в течение суток, так и в зависимости от уровня магнитной возмущенности.



**Рис. 3.** Временные вариации выборочных средних квадратических отклонений амплитуд флуктуаций  $H$  и  $D$ , и  $K_p$  – индексов. Интервал усреднения равен 720 с (кривая 1) и 7200 с (кривая 2): а) 27 марта 1999 г.; б) 7 ноября 1999 г.

*Интервал статистической обработки.*  
 На достаточно больших интервалах времени магнитометрические сигналы  $H(t)$  и  $D(t)$  близки к случайным, а на малых интервалах времени они носят квазидетерминированный характер (см. рис. 1). В последнем случае часто наблюдаются геомагнитные пульсации, как регулярные ( $Pc$ ), так и иррегулярные ( $Pi$ ). Продолжительность пульсаций обычно не превышает несколько минут. На таких интервалах времени статистическая обработка неразумна.

Для интервала обработки  $T_{st} = 12, 24, 48, 96$  и 120 мин построены гистограммы амплитуд магнитометрических сигналов, которые затем по критерию Колмогорова сравнивались с нормальным законом распределения. Далее оценивалась мера расхождения между статистической функцией распределения  $F^*(x)$  и гипотетической функцией распределения  $F(x)$ :

$$D_m = \max |F^*(x) - F(x)|.$$

По полученной  $D_m$  вычислялась величина  $\lambda = D_m \sqrt{n}$ , где  $n$  – число независимых отсчетов. По  $\lambda$  определялась вероятность  $P(\lambda)$  того, что амплитуды флуктуаций геомагнитного поля действительно распределены по нормальному закону. Затем подсчитывалось число случаев  $n_{TH}$  и  $n_{TD}$ , для которых  $P(\lambda) > 0.1$ , а также их относительная частота появления  $n_{TH}/N_T$ ,  $n_{TD}/N_T$  ( $N_T$  – количество интервалов обработки за сутки). Результаты расчетов для 27 марта и 7 ноября приведены соответственно в табл. 2 и табл. 3. Из таблиц видно, что при интервале  $T_{st} = 12$  мин  $n_{TH}/N_T$ , и  $n_{TD}/N_T$  составляют около 24 % и 27 %, а также 31 % и 19 % в невозмущенные и возмущенные дни соответственно. С увеличением  $T_{st}$  значения  $n_{TH}$ ,  $n_{TD}$ , как и  $n_{TH}/N_T$ ,  $n_{TD}/N_T$  уменьшаются.

*Связь с геомагнитной активностью.* Как и следовало ожидать,  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  чувствительны к изменениям индекса  $A_p$ . Поэтому целесообразно произвести статистическое усреднение  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  по всем дням с близкой магнитной активностью.

**Таблица 2.** Влияние интервала статистического усреднения (невозмущенные условия)

$T_{st}$ , мин	12	24	48	96	120
$N_T$	120	60	30	15	12
$n_{TH}$	29	5	1	0	0
$n_{TH}/N_T$ , %	24.2	8.3	3.3	0	0
$n_{TD}$	32	9	0	0	0
$n_{TD}/N_T$ , %	26.7	15	0	0	0

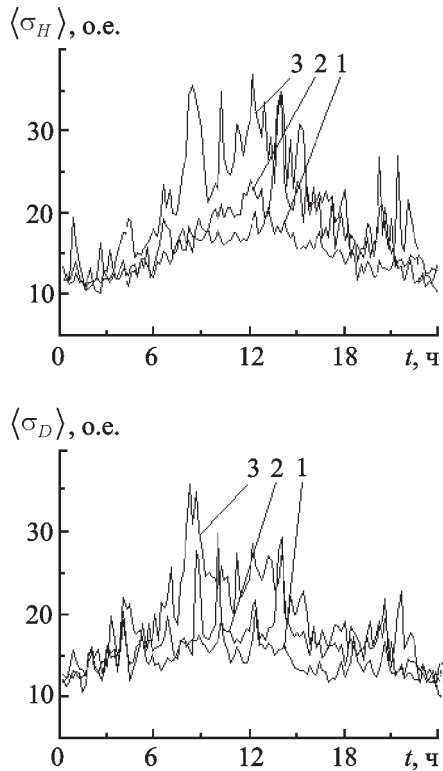
**Таблица 3.** Влияние интервала статистического усреднения (возмущенные условия)

$T_{st}$ , мин	12	24	48	96	120
$N_T$	120	60	30	15	12
$n_{TH}$	37	12	2	0	0
$n_{TH}/N_T$ , %	30.8	20	6.7	0	0
$n_{TD}$	23	8	5	0	0
$n_{TD}/N_T$ , %	19.2	13.3	16.7	0	0

Во время наших наблюдений индекс  $A_p$  изменялся от 3 до 91 (см. табл. 4). Из таблицы видно, что для статистической обработки пригодны лишь те наблюдения, для которых число суток  $N$  достаточно велико. К ним относятся дни с  $A_p = 3 \div 10$  ( $N = 29$ ),  $11 \div 20$  ( $N = 20$ ) и  $21 \div 30$  ( $N = 8$ ). Результаты усреднения  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  по числу суток  $N$  приведены на рис. 4. Из него видно, что увеличение индекса  $A_p$  действительно приводит к росту  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$ . Естественно, что такая взаимосвязь является статистической. Для ее подтверждения построены корреляционные поля  $A_p - \sigma_H$  и  $A_p - \sigma_D$ , а также  $K_p - \sigma_H$  и  $K_p - \sigma_D$  и со-

**Таблица 4.** Число суток  $N$  с близкой геомагнитной активностью

$A_p$	3–10	11–20	21–30	31–40	41–50	91
$N$	29	20	8	2	2	1



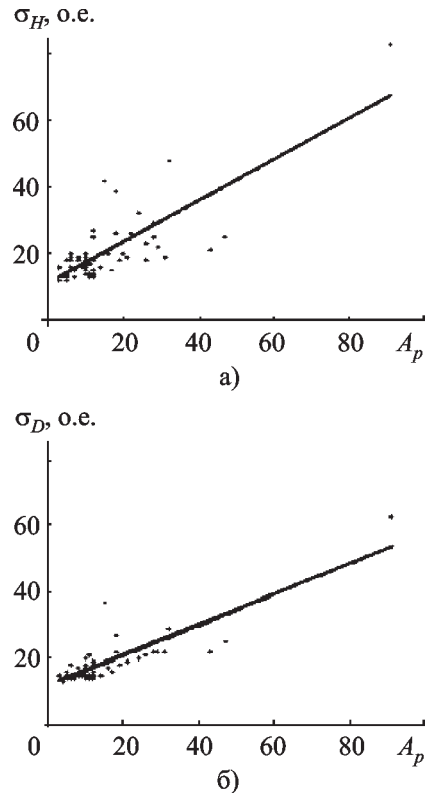
**Рис. 4.** Временные вариации усредненных по дням с близкой геомагнитной активностью значений  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$ , полученных на интервале 720 с:  
 1 –  $A_p = 3 \div 10$  ( $N = 29$ ), значения доверительных интервалов:  $\Delta_H = 1$  о. е.,  $\Delta_D = 0.8$  о. е.;  
 2 –  $A_p = 11 \div 20$  ( $N = 20$ ),  $\Delta_H = 2.2$  о. е.,  $\Delta_D = 1.8$  о. е.;  
 3 –  $A_p = 21 \div 30$  ( $N = 8$ ),  $\Delta_H = 3.1$  о. е.,  $\Delta_D = 2.4$  о. е.

ответствующие линии регрессии (см. рис. 5 и рис. 6). Из рисунков следует, что статистическая связь между вариациями  $A_p$  и  $K_p$ , с одной стороны, и  $\sigma_H$ ,  $\sigma_D$ , с другой стороны, действительно существует. Линии регрессии являются прямыми. Их уравнения имеют вид:

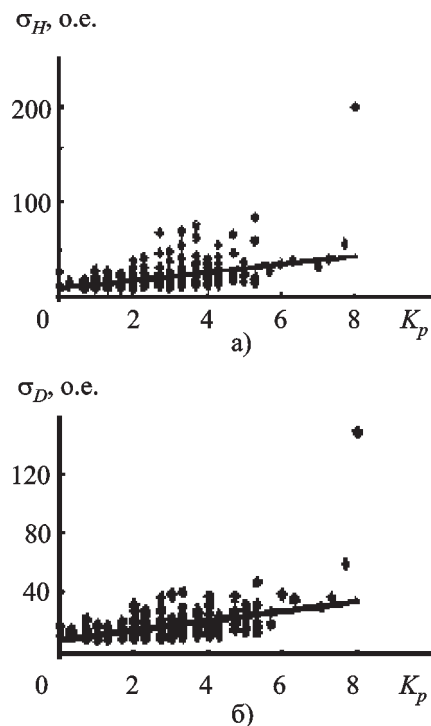
$$\sigma_{H1} = \sigma_{H01} + K_{H1}A_p, \quad \sigma_{D1} = \sigma_{D01} + K_{D1}A_p,$$

$$\sigma_{H2} = \sigma_{H02} + K_{H2}K_p, \quad \sigma_{D2} = \sigma_{D02} + K_{D2}K_p,$$

где  $\sigma_{H01} = 10.98$ ,  $\sigma_{D01} = 11.66$ ,  $K_{H1} = 0.62$ ,  
 $K_{D1} = 0.45$ ,  $\sigma_{H02} = 7.59$ ,  $\sigma_{D02} = 9.09$ ,  
 $K_{H2} = 0.048$ ,  $K_{D2} = 0.079$ .



**Рис. 5.** Корреляционное поле и линия регрессии:  
 а)  $A_p - \sigma_H$ , б)  $A_p - \sigma_D$



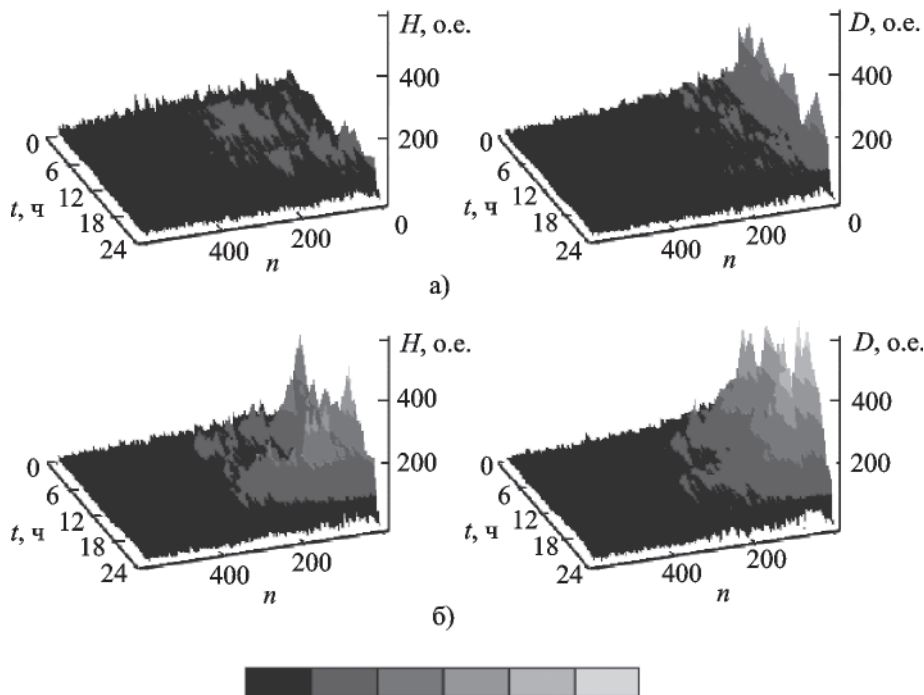
**Рис. 6.** Корреляционное поле и линия регрессии:  
 а)  $K_p - \sigma_H$ , б)  $K_p - \sigma_D$

Вернемся к рис. 4. Кривые  $\langle \sigma_H \rangle$  и  $\langle \sigma_D \rangle$  построены с дискретностью по времени  $T_0 = 12$  мин. Как известно, при такой дискретности могут наблюдаться квазипериодические процессы с  $T \geq 24$  мин. Спектральный анализ показал, что действительно имели место квазипериодические колебания  $\langle \sigma_H \rangle$  и  $\langle \sigma_D \rangle$  со статистически значимыми амплитудами  $2 \div 5$  о. е. (соответственно при доверительном интервале  $0.8 \div 2.2$  о. е.). Как правило, преобладали колебания с периодом  $(55 \pm 4)$  мин.

*Результаты спектрального анализа.* Спектральная обработка экспериментальных данных заключалась в получении динамических Фурье-спектров. Данные регистрации разбивались на интервалы примерно по 2 часа 25 минут (16384 отсчета), устранялся тренд (вычислялось скользящее среднее на интервале 12 минут и вычиталось из исходного ряда), производилось быстрое преобразование Фурье (БПФ) на каждом интервале. Результатом обработки

является трехмерный график изменения спектров в течении суток (рис. 7). Из рис. 7, а видно, что 27 марта 1999 г. преобладали колебания  $H(t)$  и  $D(t)$  с периодами около  $30 \div 60$  с и  $200 \div 1000$  с соответственно. Амплитуды спектральных гармоник не превышали 200 и 300 о. е. соответственно. 7 ноября (рис. 7, б) преобладали колебания с периодами  $100 \div 1000$  с, амплитуда которых достигала  $400 \div 500$  о. е. Наблюдались также колебания меньшей амплитуды с периодами  $30 \div 60$  с. Следует отметить, что в отличие от рис. 7, а здесь хорошо видны участки спектров, где магнитная активность возрастает (с 5 до 9 часов и с 15 до 21 часа). Это полностью согласуется с временным поведением  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  (см. рис. 3, б).

*Результаты вейвлет-анализа.* Результаты обработки показаны на рис. 8. Для иллюстрации были выбраны дни 27 марта 1999 г. (а) и 7 ноября 1999 г. (б). Коэффициенты вейвлет-разложения имеют знакопеременный характер. Из рис. 8, а видно,



**Рис. 7.** Динамические спектры  $H(t)$  и  $D(t)$  ( $n$  – номер гармоники):  
а) 27 марта 1999 г.; б) 7 ноября 1999 г.

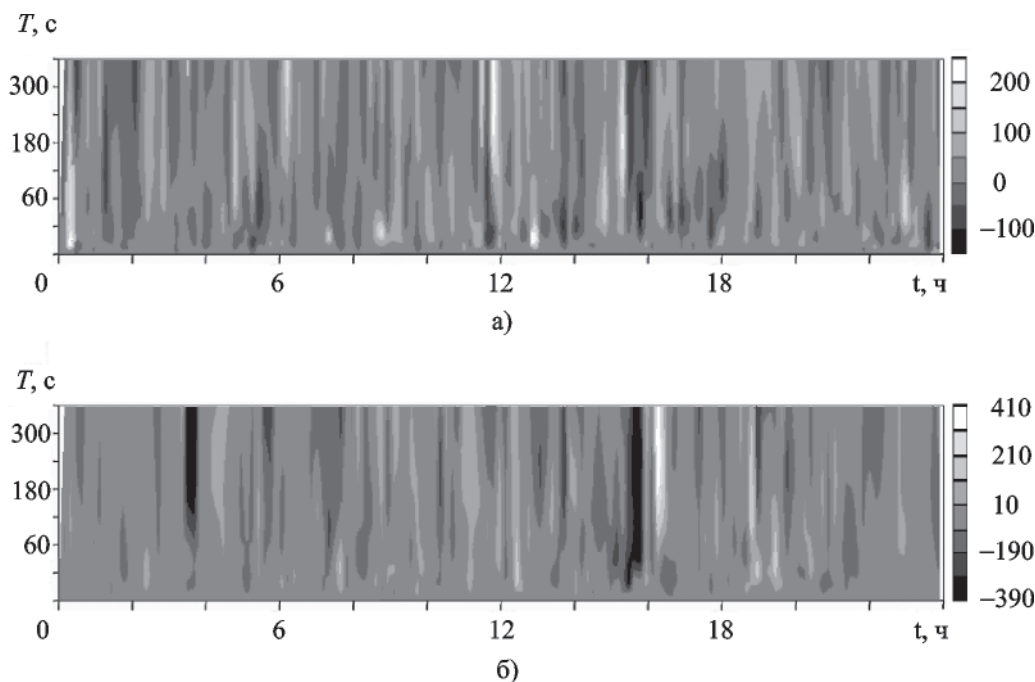


Рис. 8. Результаты вейвлетного преобразования: а) 27 марта 1999 г.; б) 7 ноября 1999 г.

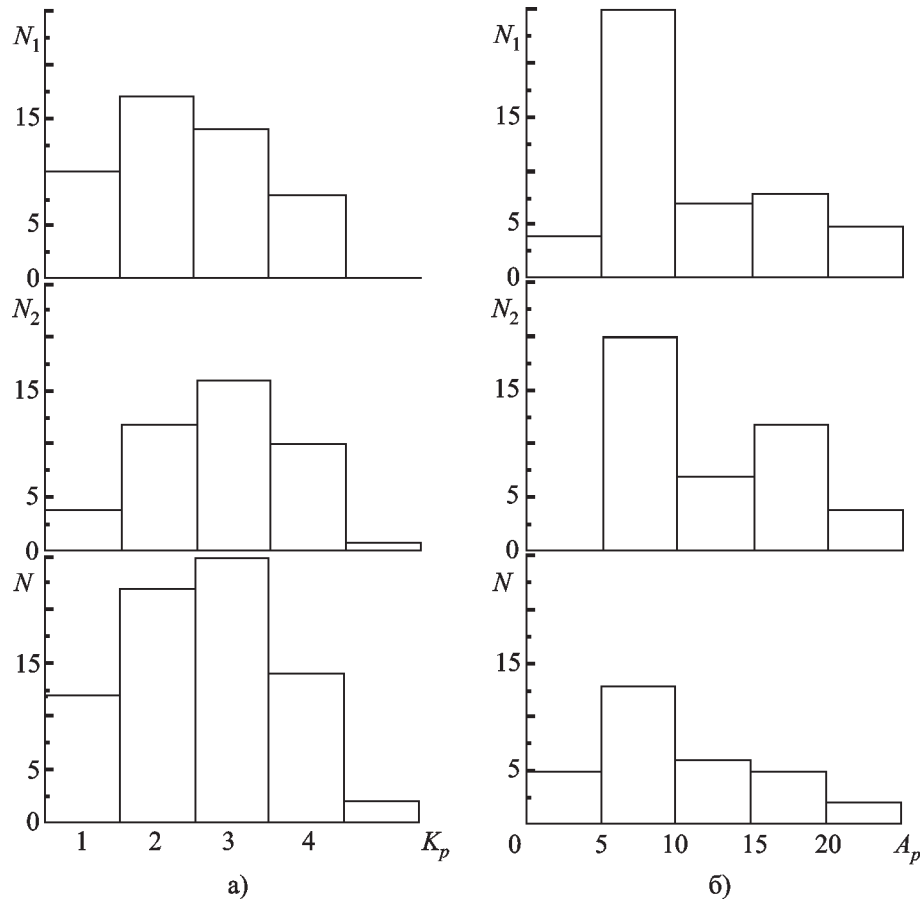
что возникали колебания с периодами около 30 с (вблизи 0 ч 20 мин и 13 ч 00 мин), 240 ÷ 420 с (около 12 ч 00 мин). Из рис. 8, б видно, что возникали колебания с периодами 240 ÷ 420 с (вблизи 3 ч 30 мин), 60 ÷ 420 с (около 15 ч 30 мин) и 180 ÷ 420 с (вблизи 16 ч 30 мин). Интервал времени появления доминирующих периодов хорошо согласуется с результатами статистического анализа (см. рис. 3, б) и с результатами Фурье-анализа (см. рис. 7, б).

Применение вейвлет-анализа позволило проследить моменты возникновения и исчезновения кратковременных и относительно локализованных по частоте всплесков геомагнитной активности в условиях слабой и умеренной возмущенности геомагнитного поля.

*Связь периодов преобладающих колебаний с геомагнитной активностью.* Представляет интерес поиск зависимостей периодов преобладающих колебаний от индексов  $K_p$  и  $A_p$ . Для этого диапазон периодов разбивался на два поддиапазона:  $\Delta T_1 = 20 \div 60$  с и  $\Delta T_2 = 61 \div 1000$  с. По ре-

зультатам спектрального анализа магнитометрического сигнала  $H(t)$  подсчитывалось количество случаев появления колебаний  $N_1$  и  $N_2$  с периодами в поддиапазонах  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$ . Зависимости  $N_{1,2}$  от  $K_p$  и  $A_p$  приведены на рис. 9. Видно, что гистограммы имеют слабо выраженные максимумы при  $K_p \approx 2 \div 3$  и хорошо выраженные максимумы при  $A_p \approx 5 \div 10$ . Причем вероятность появления колебаний с периодами в поддиапазоне  $\Delta T_1$  максимальна при  $K_p \approx 2$ , а для колебаний с периодами в поддиапазоне  $\Delta T_2$  – при  $K_p \approx 3$ . Отчетливо видно появление второго максимума на графике  $N_2$  (для  $N_1$  это выражено слабее) для  $A_p \approx 15 \div 20$ . По-видимому, это свидетельствует о проникновении внутрь магнитосферы низкочастотных колебаний, возникающих на ее периферии в области ударной волны или в хвосте магнитосферы в периоды усиления потока солнечного ветра.

По результатам вейвлет-анализа магнитометрического сигнала  $H(t)$  подсчитывались числа появлений  $N_1$ ,  $N_2$  и  $N_3$  колебаний с периодами в поддиапазонах  $\Delta T_1 = 1 \div 60$  с,



**Рис. 9.** Распределения появления преобладающих колебаний с периодами в поддиапазонах  $20 \div 60$  с (верхняя панель) и  $61 \div 1000$  с (средняя панель) в зависимости от индексов  $K_p$  (а) и  $A_p$  (б). Построены по результатам спектрального анализа. На нижней панели показаны гистограммы распределений индексов  $K_p$  и  $A_p$

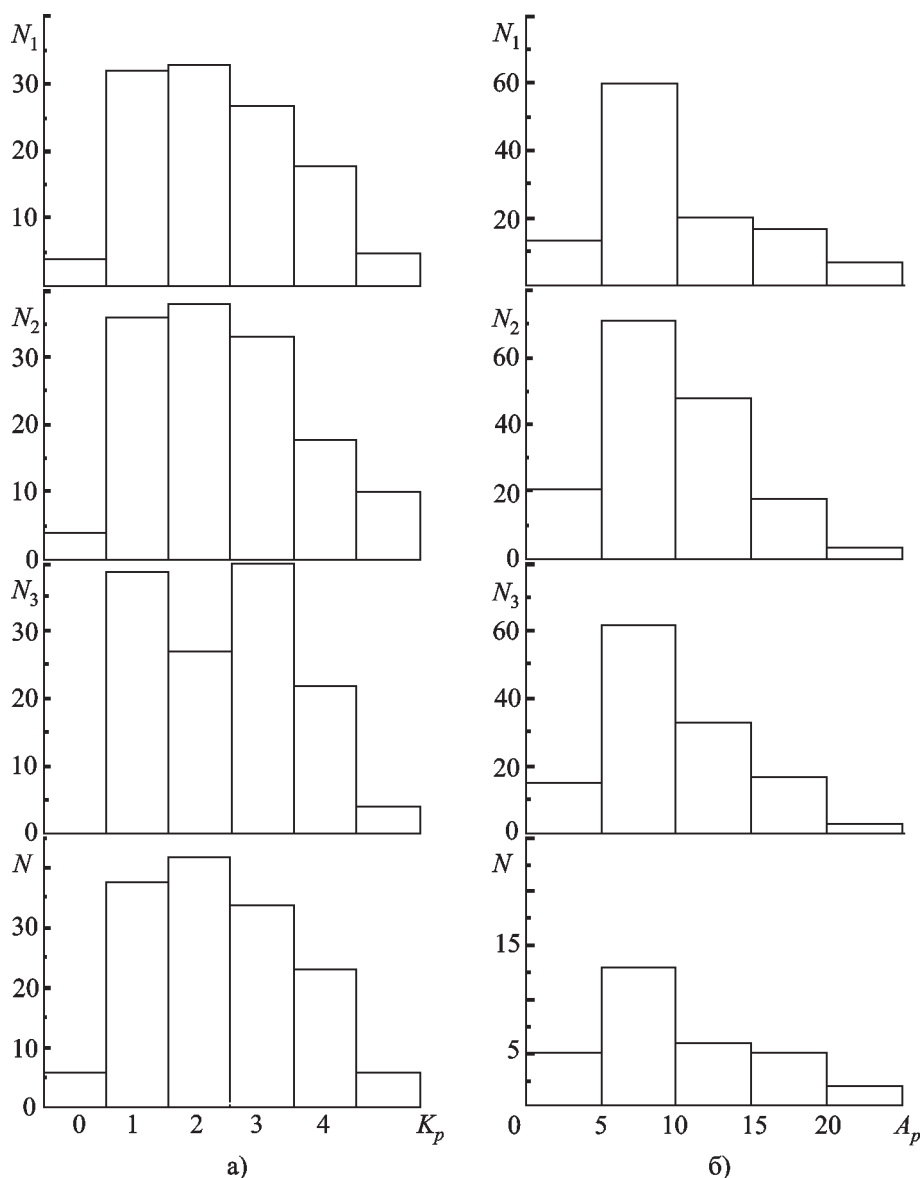
$\Delta T_2 = 61 \div 240$  с и  $\Delta T_3 = 241 \div 420$  с соответственно. Графики распределений  $N_1$ ,  $N_2$  и  $N_3$  в зависимости от индексов  $K_p$  и  $A_p$  приведены на рис. 10. Видно, что распределения  $N_1$  и  $N_2$  имеют широкие максимумы при  $K_p \approx 1 \div 4$ . В поведении  $N_3$  наблюдается два максимума при  $K_p \approx 1$  и  $K_p \approx 3$ . На графиках зависимостей от  $A_p$  максимумы проявлялись в основном при  $A_p \approx 5 \div 10$ .

### Обсуждение

Временные вариации компонент геомагнитного поля  $H(t)$  и  $D(t)$  представляют собой случайный процесс со статистическим распределением амплитуд, вообще говоря,

заметно отличающимся от нормального закона. Это объясняется рядом причин: множеством независимых физических факторов, формирующих эти вариации с существенно отличающимися амплитудами, наличием шумов, нестационарностью процесса и др. К упомянутым причинам относятся процессы, формирующие состояние космической погоды (процессы на Солнце, в геокосмосе, в атмосфере и даже в тектоносфере, а также мощные антропогенные процессы). Как уже отмечалось, отклонение от нормального закона при малых уровнях амплитуды, скорее всего, связано с шумами. Наличие и изменение постоянных составляющих  $\langle H \rangle$  и  $\langle D \rangle$  вызвано аппаратными причинами. Эти величины практически





**Рис. 10.** Распределения появления преобладающих колебаний с периодами в поддиапазонах  $1 \div 60$  с (верхняя панель),  $61 \div 240$  с (средняя панель) и  $241 \div 420$  с (нижняя панель) в зависимости от индексов  $K_p$  (а) и  $A_p$  (б). Построены по результатам вейвлет-анализа. На нижней панели показаны гистограммы распределений индексов  $K_p$  и  $A_p$

ки не изменяются на интервалах времени в несколько суток, легко измеряются и учитываются при дальнейшей обработке. Геофизическому анализу  $\langle H \rangle$  и  $\langle D \rangle$  не подлежат.

Как и следовало ожидать, величины  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  существенно зависят от времени суток, сезона, уровня солнечной активности и особенно магнитной активности. Остановимся на этом подробнее.

Суточные вариации  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  определяются по крайней мере двумя факторами. Значительный (и часто определяющий) вклад в вариации геомагнитного поля дают процессы внемагнитосферного происхождения [5]. Они связаны с динамикой солнечного ветра и, естественно, сильнее выражены с подсолнечной стороны Земли, т. е. в дневное время. С другой стороны, на вариации геомагнитного поля

заметно влияют вариации параметров магнитосферного резонатора и, в частности, проводимости плазмы  $\sigma_p$  (а значит электронной концентрации  $N$ ) в максимуме токовой струи, которая расположена в основном на высотах E-области ионосферы ( $z \approx 100 \div 130$  км). Здесь суточные изменения  $N$  (а значит и  $\sigma_p$ ) достигают одного – полутора порядков величины. Изменения состояния космической погоды (вспышки на Солнце, вариации потоков ультрафиолетового излучения и энергичных частиц и т. п.) приводят также к вариациям  $\Delta N$  и  $\Delta \sigma_p$ , которые являются причиной изменения  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$ .

По-видимому, сезонные изменения  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  также определяются сезонными вариациями параметров магнитосферного резонатора,  $N$  и  $\sigma_p$  в ионосфере.

Солнечная активность влияет на параметры солнечного ветра, изменения которых сказываются на зависимостях  $H(t)$  и  $D(t)$ , а также  $\sigma_H(t)$  и  $\sigma_D(t)$ . Особенно “прозрачной” является зависимость  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  от уровня магнитной активности (индексов  $K_p$  и  $A_p$ ). Конечно, связь эта статистическая, о чем свидетельствуют соответствующие корреляционные поля (см. рис. 5, 6). В разных магнитометрических обсерваториях она разная. Поэтому для оценки вариаций состояния космической погоды по вариациям  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  эту связь необходимо было установить.

Спектральный и вейвлет-анализ подтвердили, что вариации геомагнитного поля формируются как периодическими, так и аперiodическими колебаниями. Величина наблюдаемых нами периодов изменялась в широких пределах (от 1 до  $10^3$  с). Колебания с периодами  $1 \div 600$  с относятся к  $Pc1 \div Pc5$  и неплохо изучены (см., например, [3, 5, 8]). Их появление объясняется рядом причин [8]: периодической модуляцией параметров солнечного ветра, неустойчивостями на границе между солнечным ветром и магнитосферой, внезапными деформациями магнитосферы, переходом кинетической энергии заряженных частиц к магнитогидродинамическим волнам за счет их резонансного взаимодействия и др. По-видимому, эти процессы имели место в наших наблюдениях.

К другой группе квазипериодических процессов отнесем колебания с периодами  $T \approx 10 \div 60$  мин. Они могут быть связаны как с ультранизкочастотными возмущениями динамического давления солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, которые модулируют глобальную конвекцию и токовую систему, так и с волновыми возмущениями в ионосфере (см., например, [19-21]). Колебания с указанными периодами эпизодически наблюдались в наших исследованиях. Их природа изучена еще недостаточно.

Обсудим зависимость периодов преобладающих колебаний от геомагнитной активности. Видно, что графики, показанные на верхних панелях рис. 9, практически повторяют графики, изображенные на нижней панели. Однако это не означает, что ход зависимостей  $N_1$  и  $N_2$  от  $K_p$  и  $A_p$  определяется только ходом зависимости  $N$  от  $K_p$  и  $A_p$ , если объем выборки статистически значимый.

Таким образом, результаты спектрального и вейвлет-анализов новых наблюдательных данных позволили выделить колебания с преобладающими периодами при определенной геомагнитной активности.

Частотно-временные зависимости интенсивности флуктуаций электромагнитного поля Земли (см. рис. 7, 8) являются своеобразными “снимками”, характеризующими состояние космической погоды. Лучшей разрешающей способностью обладают “снимки”, полученные с использованием вейвлет-анализа.

## Выводы

В ХНУ им. В. Н. Каразина функционирует чувствительный и обладающий высокой разрешающей способностью по времени (0.5 с) программно-аппаратный магнитометрический комплекс, позволяющий исследовать флуктуации амплитуды двух горизонтальных компонент геомагнитного поля в диапазоне периодов  $1 \div 1000$  с (частоты  $1 \div 0.001$  Гц). Чувствительность комплекса в зависимости от частоты изменяется в пределах  $1 \div 50$  пТл.

1. Продемонстрировано, что магнитометрический сигнал на достаточно большом интервале наблюдения (больше  $10 \div 12$  мин) – шумоподобный со статистическим распределением амплитуд флуктуаций с нулевым средним значением, вообще говоря, заметно отличающийся от нормального закона. На меньших интервалах времени сигнал является скорее детерминированным.

2. Для мониторинга за состоянием геокосмоса целесообразно использовать выборочные средние квадратические значения  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  амплитуд флуктуаций горизонтальных компонент геомагнитного поля. Они (особенно  $\sigma_H$ ) весьма чувствительны к процессам в геокосмосе и вариациям космической погоды:

– зависимости  $\sigma_H(t)$  и  $\sigma_D(t)$  отслеживающих суточные процессы в среде.

– с увеличением геомагнитной активности величины  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  растут.

Имеют место линейные законы регрессии для пар  $A_p - \sigma_H$  и  $A_p - \sigma_D$ , а также пар  $K_p - \sigma_H$  и  $K_p - \sigma_D$ . Это обстоятельство позволяет судить о вариациях геомагнитного поля на всей планете по измерениям в отдельной обсерватории.

3. При помощи спектрального анализа зависимостей  $H(t)$  и  $D(t)$  с устраненным трендом, а также  $\langle \sigma_H(t) \rangle$  и  $\langle \sigma_D(t) \rangle$  удобно анализировать соответственно короткопериодические и длиннопериодические процессы в геокосмосе. К первым мы условно отнесли периоды около  $1 \div 100$  с, ко вторым –  $2$  мин  $\div 2$  ч.

4. Вейвлет-анализ оказался эффективным для изучения частотно-временной структуры сигналов  $H(t)$  и  $D(t)$ . В отличие от традиционного спектрального анализа вейвлет-анализ обеспечивает высокую разрешающую способность как по времени, так и по частоте. Это оказывается существенным достоинством при обнаружении кратковременных локализованных процессов в геокосмосе, вызванных вариациями состояния космической погоды.

5. Оценены периоды преобладающих колебаний в зависимости от геомагнитной активности.

6. Программно-аппаратный комплекс на основе высокочувствительного наземного маг-

нитометра-флюксметра является простым, эффективным и информативным средством мониторинга состояния космической погоды.

Работа выполнена при поддержке Научно-технологического центра Украины, проектное соглашение № 1772.

## Литература

1. А. В. Гульельми, В. А. Троицкая. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. Москва, Наука, 1978, 208 с.
2. М. П. Пудовкин, О. М. Распопов, Н. Г. Клейменова. Возмущения электромагнитного поля Земли. Ч. 1. Полярные магнитные возмущения. Ленинград, Изд-во Ленинградского ун-та, 1975, 220 с.
3. М. П. Пудовкин, О. М. Распопов, Н. Г. Клейменова. Возмущения электромагнитного поля Земли. Ч. 2. Короткопериодические колебания геомагнитного поля. Ленинград, Изд-во Ленинградского ун-та, 1976, 398 с.
4. А. В. Гульельми. МГД-волны в околосредней плазме. Москва, Наука, 1979, 139 с.
5. А. В. Гульельми. Геомагнитные пульсации внемагнитосферного происхождения. Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. Итоги науки и техники. Москва, ВИНТИ, 1984, с. 114-151.
6. В. Б. Ляцкий. Токовые системы магнитосферно-ионосферных возмущений. Ленинград, Наука, 1978, 198 с.
7. В. Б. Ляцкий, Ю. П. Мальцев. Магнитосферно-ионосферное взаимодействие. Москва, Наука, 1983, 192 с.
8. А. Нишида. Геомагнитный диагноз магнитосферы. Москва, Мир, 1980, 299 с.
9. У. Паркинсон. Введение в геомагнетизм. Москва, Мир, 1986, 528 с.
10. Я. И. Лихтер, А. В. Гульельми, Л. М. Ерухимов, Г. А. Михайлова. Волновая диагностика приземной плазмы. Москва, Наука, 1988, 215 с.
11. Дж. Бендат, А. Пирсол. Прикладной анализ случайных данных. Москва, Мир, 1989, 540 с.
12. Дж. Купер, К. Макгиллем. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. Москва, Мир, 1989, 376 с.
13. С. Л. Марпл-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. Москва, Мир, 1990, 584 с.
14. The Transforms and Applications Handbook. Editor-in-Chief A. Poularikas. USA, CRC Press, 1996, 1103 pp.
15. Н. М. Астафьева. УФН. 1996, **166**, №11, с. 1145-1170.
16. О. В. Лазоренко, С. В. Лазоренко, Л. Ф. Черногор. Радиофизика и радиоастрономия. 2002, **7**, №1, с. 46-63.

17. В. В. Иванов, Н. М. Ротанова, Е. В. Ковалевская. Геомагнетизм и аэрономия. 2001, **41**, №5, с. 610-618.
18. А. В. Агапитов, О. П. Верхоглядова, В. Н. Ивченко. Сборник тезисов Первой украинской конференции по перспективным космическим исследованиям. 2001, с. 71-72.
19. P. Francia, U. Villante, A. Meloni. Ann. Geophysicae. 1995, **13**, No. 5, pp. 522-531.
20. S. Solovyev, D. Baishev, E. Barkova, M. Engebretson, J. Posch, W. Hedges, K. Yumoto, V. Pilipenko. J. Geophys. Res. 1999, **104**, pp. 28,019–28,039.
21. G. Korotova, M. Kivelson, D. Sibeck, T. Potemra, P. Stauning. J. Geophys. Res. 2000, **105**, pp. 23,293–23,302.

## **Statistics of Terrestrial Electromagnetic Field Fluctuation**

**K. P. Garmash, S. G. Leus, S. A. Pazura, S. N. Pokhil'ko, and L. F. Chernogor**

A brief description of Kharkiv V. Karazin National University magnetometric facility is presented. The statistics of  $H$  and  $D$  geomagnetic field components for year 1999 (observation of 1488 hr in duration) is calculated. The statistical distributions of amplitude are shown to be different from normal distributions when averaged over 10 min and larger time intervals. Temporal variations in the sampling root mean square deviations  $\sigma_H$  and  $\sigma_D$  represent the nature of processes in geospace (geomagnetic and solar activity levels, diurnal and seasonal variations, etc.). The spectral and wavelet analyses have confirmed that the variations in the magnetometer signals  $H(t)$  and  $D(t)$  also contain valuable information on more subtle processes occurring in geospace (amplitude magnitude, pulsation periods, their durations, etc.) along with the general data on the variations in space weather.