

УДК 550.385.37:550.388

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

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна

## Магнитометрический мониторинг вариаций космической погоды

---

Викладено результати статистичного аналізу флюктуацій геомагнітного поля за результатами вимірювань поблизу м. Харкова в 1999 р. та вибору інформативних статистичних характеристик космічної погоди. Описано унікальну магнітну бурю 21—25 жовтня 1999 р.

---

Среди наземных средств мониторинга параметров состояния космической погоды важное место занимают магнитометры-флюксметры, предназначенные для исследования флюктуаций геомагнитного поля (ГМП) в диапазоне периодов 1—1000 с. Исследуя структуру флюктуаций, можно судить об особенностях взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли, изменении конфигурации плазмосферы, параметров радиационного пояса и т. д.

Целью настоящего сообщения является изложение результатов статистического анализа флюктуаций ГМП по результатам измерений вблизи г. Харькова в 1999 г. и выбор информативных статистических характеристик, отражающих состояние космической погоды. Описана уникальная магнитная буря 21—25 октября 1999 г.

Измерения выполнены на магнитометрическом комплексе Харьковского национального университета (пос. Граково, 49°38' N, 36°20' E). Разрешающая способность измерительной системы составляет 4—100 пТл в зависимости от периода колебаний. Комплекс содержит индукционный магнитометр-флюксметр ИМ-II и устройство регистрации на базе IBM PC.

На основе статистического анализа амплитуд горизонтальных составляющих  $H$  и  $D$  ГМП в различные сезоны 1999 г. общей продолжительностью более 135 сут установлено, что магнитометрический сигнал на интервале наблюдения больше 20 мин — шумоподобный с распределением плотности вероятности амплитуд флюктуаций близким к нормальному при нулевом среднем значении, но, вообще говоря, отличается от него. Для мониторинга за состоянием космической погоды рекомендует-

ся использовать средние квадратические значения  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  амплитуд флюктуаций  $H$ - и  $D$ -составляющих ГМП. Зависимости  $\sigma_H(t)$  и  $\sigma_D(t)$  отслеживают суточные процессы в среде. С увеличением геомагнитной активности величины  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  возрастают. Имеют место линейные законы регрессии для корреляционных полей этих параметров с индексами геомагнитной активности  $A_p$  и  $K_p$ . Спектральный анализ  $H(t)$ ,  $D(t)$  и  $\langle\sigma_H(t)\rangle$ ,  $\langle\sigma_D(t)\rangle$  позволил изучить короткопериодические (1—100 с) и длиннопериодические (2—120 мин) процессы соответственно. Вейвлет-анализ оказался эффективным для изучения тонкой структуры сигналов  $H(t)$  и  $D(t)$  с высоким разрешением по времени и по частоте.

Самая сильная магнитная буря 1999 г. началась в 03:30 UT 21.10.99 г., фаза восстановления продолжалась до 25.10.99 г. Индексы магнитной активности  $A_p$ ,  $a_{pmax}$  и  $K_{pmax}$  составили соответственно 91, 207 нТл и 8. Энергия и мощность этой магнитной бури порядка  $10^{16}$  Дж и  $6 \cdot 10^{11}$  Вт. Начальная фаза длилась около 20 ч. Реакцией на ее начало стало затухающее колебание (2-3 периода) с амплитудой 6—12 нТл и квазипериодом около 100 с. Такие колебания имеют магнитосферное происхождение. Им на смену пришел слабо затухающий процесс с периодом около 3 мин, который длился около 1 ч. Пульсации такого типа генерируются в солнечном ветре. Следующие две группы сильных флюктуаций поля наблюдались в интервалах времени 04:20—04:40 и 05:35—06:00 UT 21.10.99 г. Основная фаза магнитной бури имела место в интервале времени 06:30—11:30 UT 22.10.99 г. Увеличение амплитуды флюктуаций ГМП в диапазоне перио-

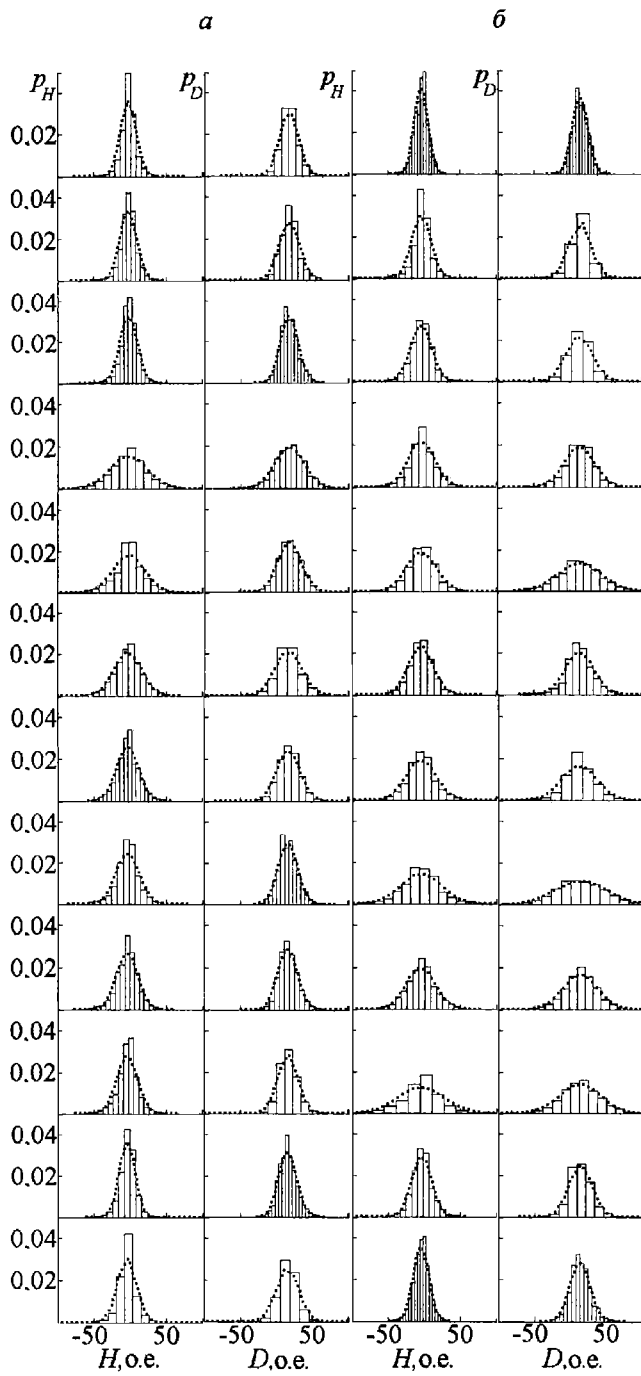


Рис. 1. Распределения плотности вероятности  $p_H$  и  $p_D$  амплитуд флюктуаций  $H(t)$  и  $D(t)$  ( $a$  — 13 апреля 1999 г.,  $б$  — 7 ноября 1999 г.) для интервалов времени (сверху вниз) 00—02, 02—04, ..., 22—24 ч. Точки — их аппроксимация нормальным законом

дов 1—1000 с имело место, как правило, в моменты резких изменений индекса  $D_{st}$ . Самые большие амплитуды флюктуаций  $H(t)$  и  $D(t)$  достигли 20 и 10 нТл и имели квазипериод 35—40 с. Это наблю-

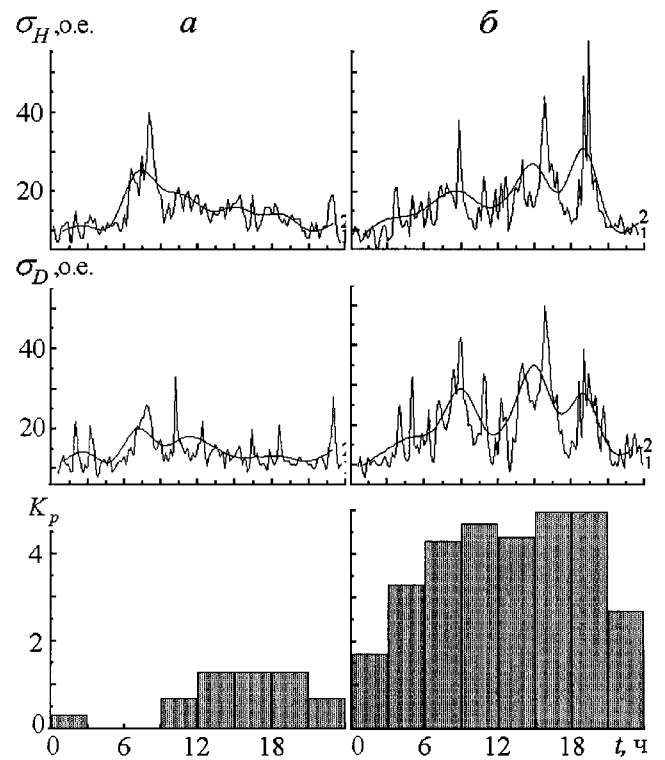


Рис. 2. Временные вариации средних квадратичных отклонений амплитуд флюктуаций  $H$  и  $D$  и  $K_p$ -индексов. Интервал усреднения равен 720 с (1) и 7200 с (2):  $a$  — 13 апреля 1999 г.,  $б$  — 7 ноября 1999 г.

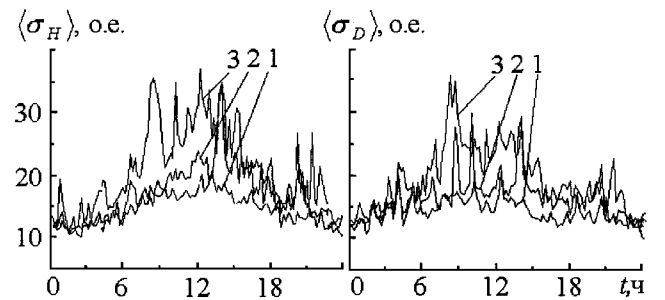


Рис. 3. Временные вариации усредненных по дням с близкой геомагнитной активностью значений  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$ , полученных на интервале 720 с: 1 —  $A_p = 3...10$  ( $N = 29$ ), значение доверительного интервала  $\Delta_H = 1$ ,  $\Delta_D = 0.8$ ; 2 —  $A_p = 11...20$  ( $N = 20$ ),  $\Delta_H = 2.2$ ,  $\Delta_D = 1.8$ ; 3 —  $A_p = 21...30$  ( $N = 8$ ),  $\Delta_H = 3.1$ ,  $\Delta_D = 2.4$

далось примерно в 8:00 UT, что совпало по времени с минимальным значением  $D_{st}$ -индекса. В течение бури в целом вариации  $H(t)$  и  $D(t)$  были близки к случайным со спектром периодов от 20—40 с до 7—15 мин. 22.10.99 г. эпизодически возникали цуги колебаний с квазипериодом появления около

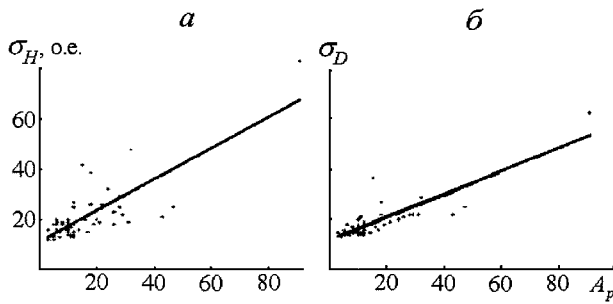


Рис. 4. Корреляционное поле и линии регрессии  $A_p - \sigma_H$  и  $A_p - \sigma_D$

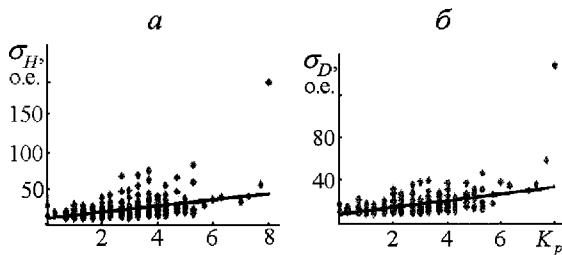


Рис. 5. Корреляционное поле и линии регрессии  $K_p - \sigma_H$  и  $K_p - \sigma_D$

1 ч. Четко наблюдались отдельные пульсации с периодами 45—55 с и средней продолжительностью около 5—7 мин. Их амплитуда достигала 10 нТл (при типичном значении 1 нТл).

## ВЫВОДЫ

В ХНУ им. В. Н. Каразина функционирует современный программно-аппаратный магнитометрический комплекс, позволяющий исследовать флуктуации амплитуды двух горизонтальных составляющих геомагнитного поля в диапазоне периодов 1—1000 с (частоты 1—0.001 Гц). Чувствительность комплекса в зависимости от частоты изменяется в пределах 1—50 пТл.

1. Магнитометрический сигнал на достаточно большом интервале наблюдения (больше 10—12 мин) — шумоподобный с распределением плотности вероятности амплитуд флуктуаций близким к нормальному при нулевом среднем значении.

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

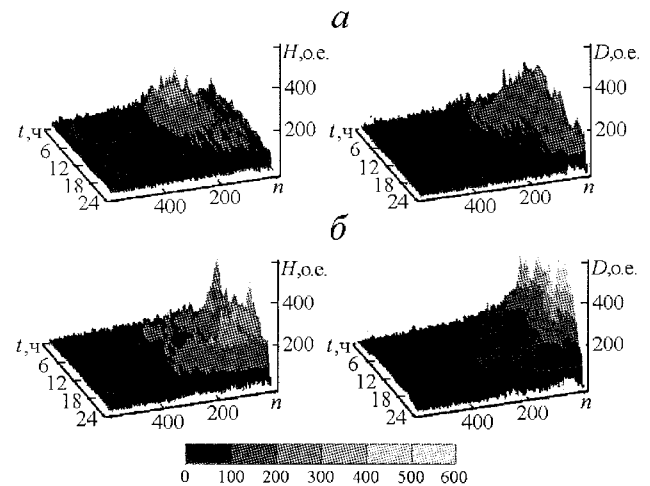


Рис. 6. Динамические спектры  $H(t)$  и  $D(t)$ :  $a$  — 13 апреля 1999 г.,  $b$  — 7 ноября 1999 г. ( $n$  — номер гармоники)

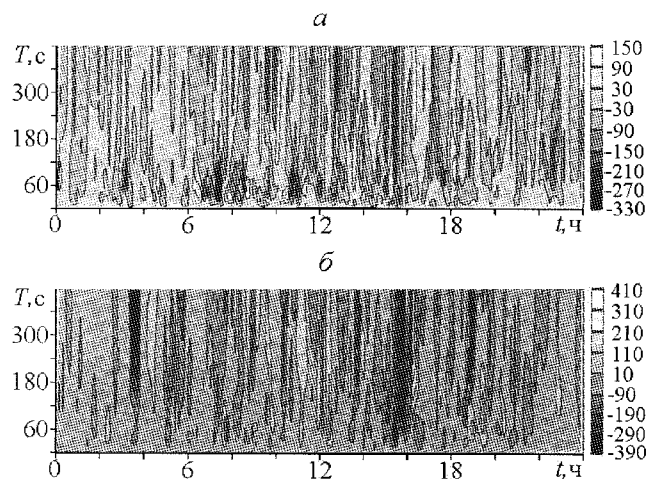


Рис. 7. Результаты вейвлетного преобразования:  $a$  — 13 апреля 1999 г.,  $b$  — 7 ноября 1999 г.

— зависимости  $\sigma_H(t)$  и  $\sigma_D(t)$  отслеживают суточные процессы в среде;

— с увеличением геомагнитной активности величины  $\sigma_H$  и  $\sigma_D$  растут. Имеют место линейные зависимости  $A_p(\sigma_H)$ ,  $A_p(\sigma_D)$ ,  $K_p(\sigma_H)$  и  $K_p(\sigma_D)$ .

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 отнесли периоды около 1—100 с, ко вторым — 2 мин — 2 ч.

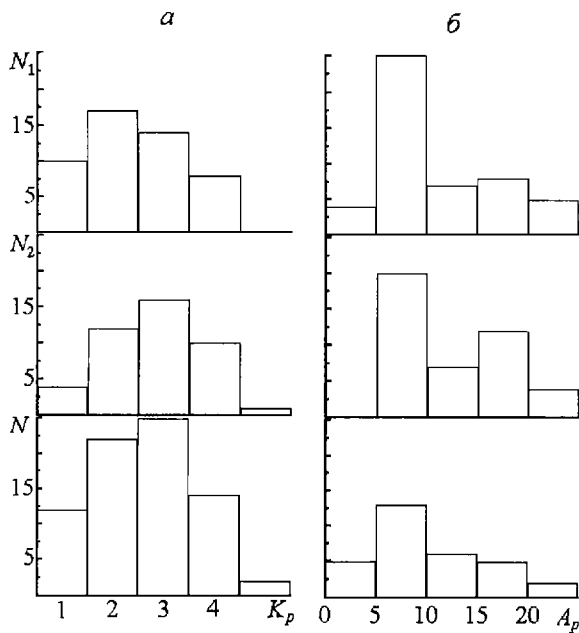


Рис. 8. Распределения появляемости  $N_1$  преобладающих колебаний с периодами в поддиапазонах 20—60 с (верхняя панель) и 61—1000 с ( $N_2$ , средняя панель) в зависимости от индексов  $K_p$  (а) и  $A_p$  (б). Построены по результатам спектрального анализа. На нижней панели показаны распределения индексов  $K_p$  и  $A_p$

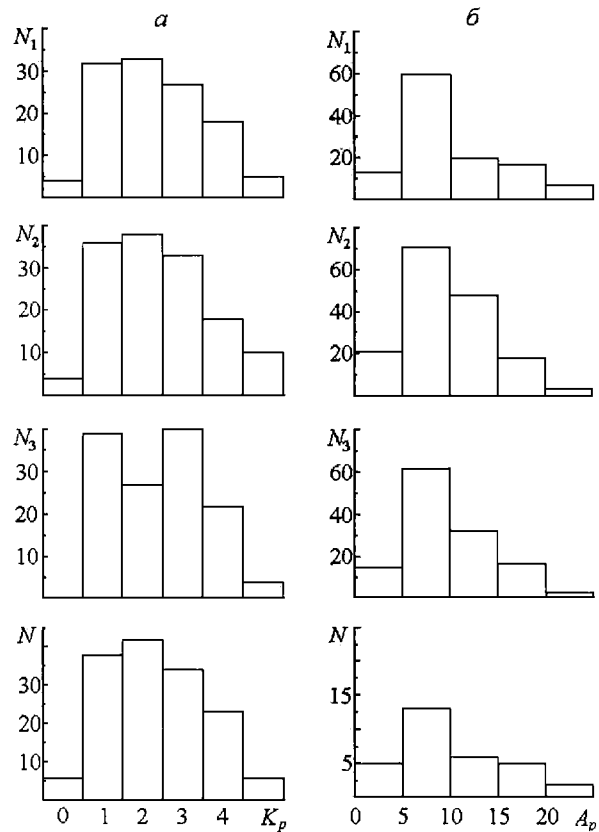


Рис. 9. Распределения появляемости  $N_1$  преобладающих колебаний с периодами в поддиапазонах 1—60 с (верхняя панель), 61—240 с ( $N_2$ , вторая панель) и 241—420 с ( $N_3$ , третья панель) в зависимости от индексов  $K_p$  (а) и  $A_p$  (б). Построены по результатам вейвлет-анализа. На нижней панели показаны распределения индексов  $K_p$  и  $A_p$

4. Вейвлет-анализ оказался эффективным для изучения более тонкой структуры сигналов  $H(t)$  и  $D(t)$ . Он обеспечивает одновременную высокую разрешающую способность как по времени, так и по частоте.

5. Программно-аппаратный комплекс на основе высокочувствительного наземного магнитометра-флюксметра является простым, эффективным и информативным средством мониторинга состояния космической погоды.

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

MAGNETOMETRIC MONITORING OF SPACE WEATHER VARIATIONS

K. P. Garmash, S. G. Leus, S. N. Pokhylko, and L. F. Chernogor