

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 σ_H и σ_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 σ_H и σ_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-

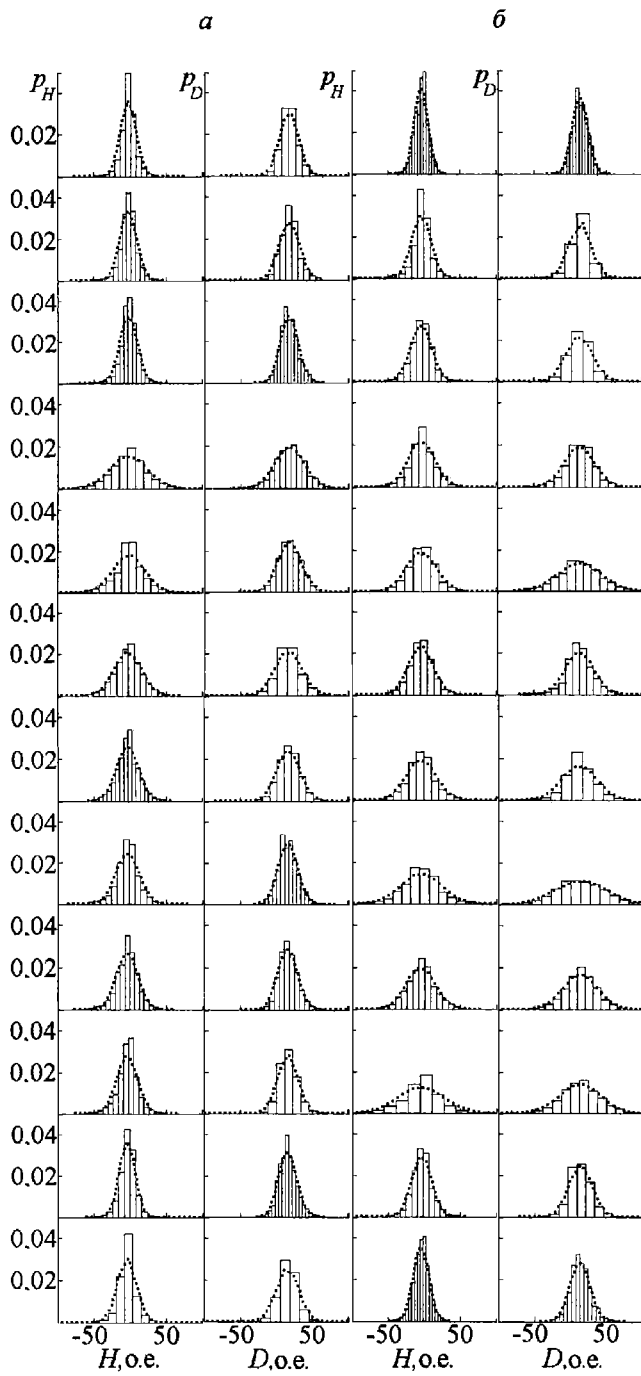


Рис. 1. Распределения плотности вероятности p_H и p_D амплитуд флюктуаций $H(t)$ и $D(t)$ (a — 13 апреля 1999 г., b — 7 ноября 1999 г.) для интервалов времени (сверху вниз) 00—02, 02—04, ..., 22—24 ч. Точки — их аппроксимация нормальным законом

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-

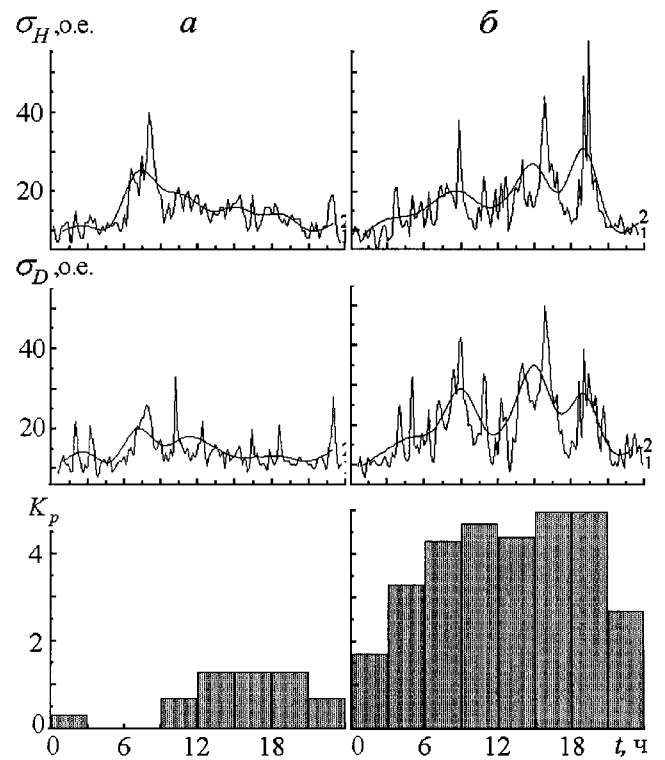


Рис. 2. Временные вариации средних квадратичных отклонений амплитуд флюктуаций H и D и K_p -индексов. Интервал усреднения равен 720 с (1) и 7200 с (2): a — 13 апреля 1999 г., b — 7 ноября 1999 г.

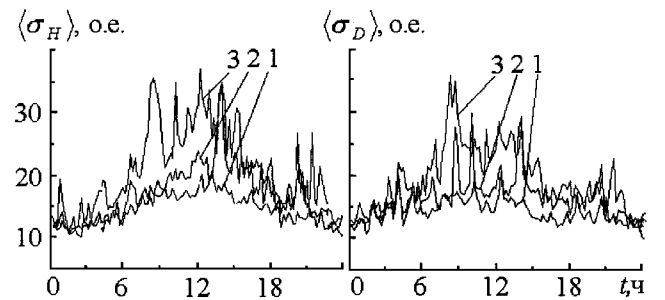


Рис. 3. Временные вариации усредненных по дням с близкой геомагнитной активностью значений σ_H и σ_D , полученных на интервале 720 с: 1 — $A_p = 3...10$ ($N = 29$), значение доверительного интервала $\Delta_H = 1$, $\Delta_D = 0.8$; 2 — $A_p = 11...20$ ($N = 20$), $\Delta_H = 2.2$, $\Delta_D = 1.8$;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

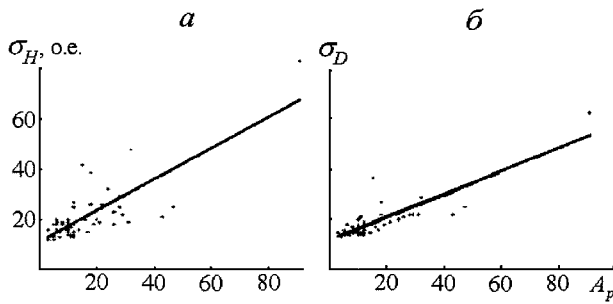


Рис. 4. Корреляционное поле и линии регрессии $A_p - \sigma_H$ и $A_p - \sigma_D$

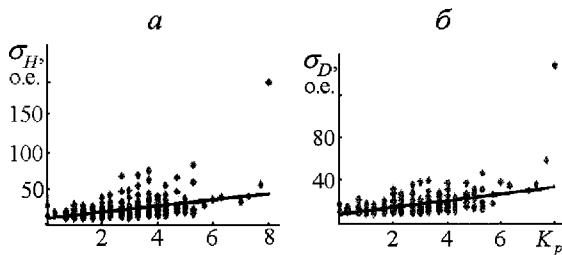


Рис. 5. Корреляционное поле и линии регрессии $K_p - \sigma_H$ и $K_p - \sigma_D$

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 σ_H и σ_D амплитуд флуктуаций горизонтальных составляющих геомагнитного поля. Они (особенно σ_H) весьма чувствительны к процессам в геокосмосе и вариациям космической погоды:

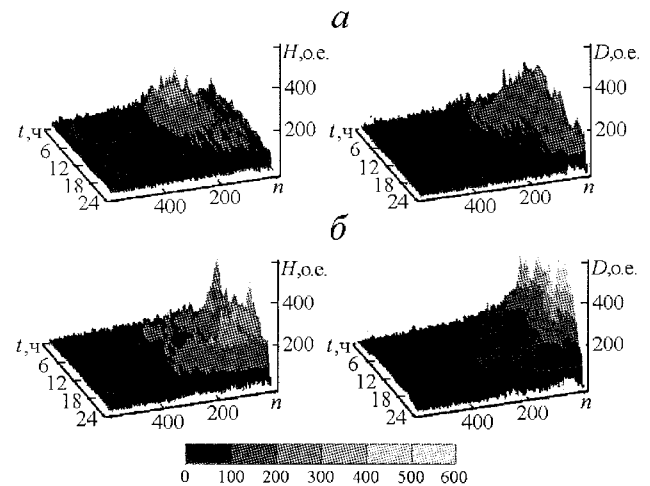


Рис. 6. Динамические спектры $H(t)$ и $D(t)$: a — 13 апреля 1999 г., b — 7 ноября 1999 г. (n — номер гармоники)

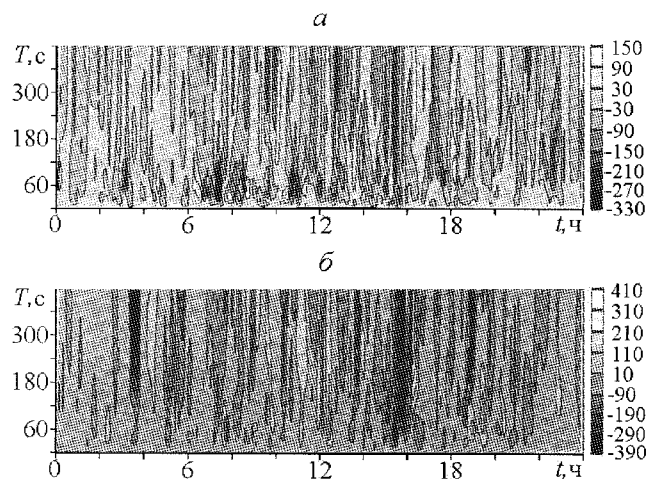


Рис. 7. Результаты вейвлетного преобразования: a — 13 апреля 1999 г., b — 7 ноября 1999 г.

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

— с увеличением геомагнитной активности величины σ_H и σ_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.

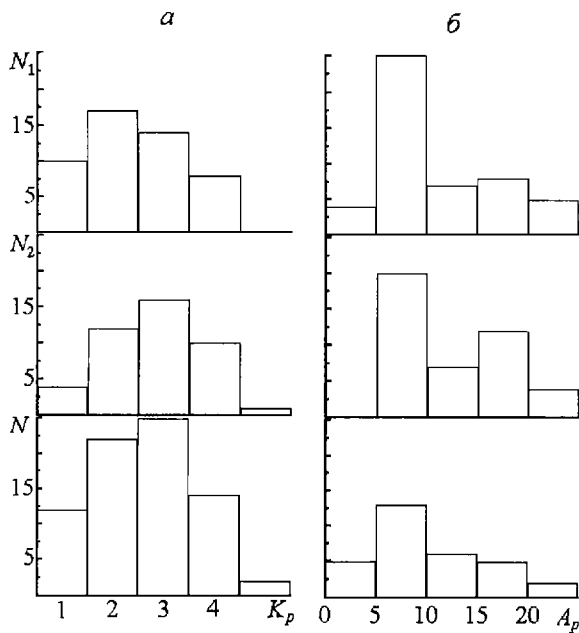


Рис. 8. Распределения появляемости N_1 преобладающих колебаний с периодами в поддиапазонах 20—60 с (верхняя панель) и 61—1000 с (N_2 , средняя панель) в зависимости от индексов K_p (а) и A_p (б). Построены по результатам спектрального анализа. На нижней панели показаны распределения индексов K_p и A_p

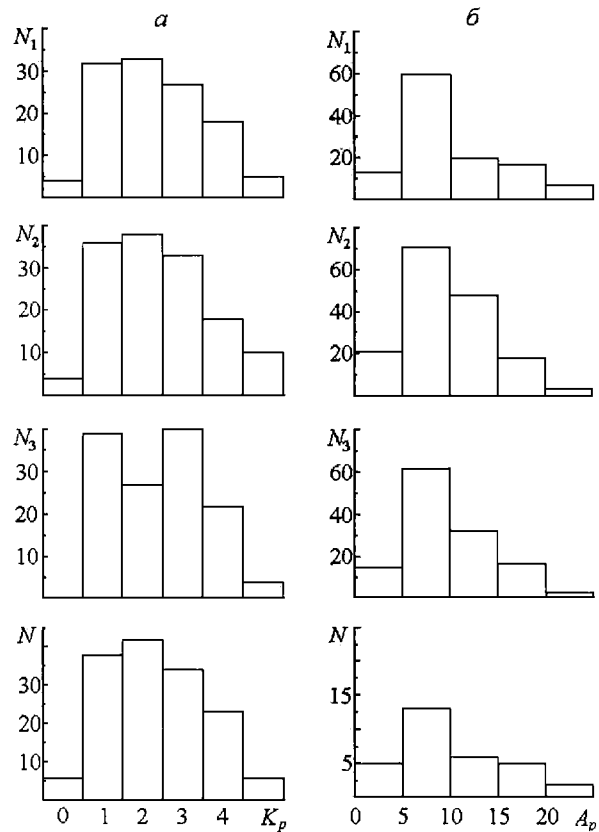


Рис. 9. Распределения появляемости N_1 преобладающих колебаний с периодами в поддиапазонах 1—60 с (верхняя панель), 61—240 с (N_2 , вторая панель) и 241—420 с (N_3 , третья панель) в зависимости от индексов K_p (а) и A_p (б). Построены по результатам вейвлет-анализа. На нижней панели показаны распределения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