

С.А. ПАЗЮРА, м. ф. с., Институт ионосферы (г. Харьков)

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ АНОМАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРНОЙ БУРИ 21 МАРТА 2003 ГОДА НА ХАРЬКОВСКОМ РАДАРЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

Представлено результати дослідження варіацій параметрів іоносфери ( $N_e$ ,  $T_e$ ,  $T_i$ ,  $v_z$ ), що супроводжували магнітну бурю з головною фазою 21 березня 2003 р. Дані отримано на Харківському радарі некогерентного розсіяння. За результатами часових варіацій концентрації, швидкості, температури іонів сонячного вітру, індукції ММП, отриманих на ШСЗ "ACE", і  $D_{st}$ ,  $AE$ -,  $K_p$ -індексів відновлені деталі магнітної та іоносферної бур.

The study results of variations of ionosphere parameters ( $N_e$ ,  $T_e$ ,  $T_i$ ,  $v_z$ ), accompanied a magnetic storm with the main phase on March 21, 2003 are presented. Data are obtained with the Kharkov incoherent scatter radar. According to time variations of concentration, velocity, ion temperature of solar wind, induction of IMF measured on artificial satellite "ACE" and  $D_{st}$ ,  $AE$ -,  $K_p$ -indices the details of magnetic and ionosphere storms are restored.

**1. Введение.** Исследование геокосмических бурь является одной из главных проблем солнечно-земной физики. Известно, что они являются результатом сложных взаимодействий вариаций солнечного ветра с земной магнитосферой. Сильные геомагнитные бури могут приводить к сбоям в работе различных средств связи, систем навигации, влиять на здоровье человека и состояние биосферы. Магнитные, ионосферные, атмосферные бури представляют собой проявление единого процесса – геокосмической бури. Каждая геомагнитная буря уникальна и ее изучение, что является целью данной статьи, имеет большую научную и прикладную значимости [1].

**2. Общие сведения.** Магнитной буре 20–21 марта 2003 г. предшествовала серия интенсивных рентгеновских вспышек, связанных с активной областью на Солнце, но геоэффективность этих возмущений была невысокой. Их результатом явилась умеренная магнитная буря с индексами  $A_p=21$  и  $29$ ,  $K_p=5$ ,  $D_{st}=-57$  нТл. Основные параметры геокосмической обстановки иллюстрируют рис. 1. Буря началась внезапно 20 марта около 04.45 UT. Начальной фазе соответствовало увеличение индекса  $D_{st}$ , после чего началась главная фаза бури с понижением  $D_{st}$  до  $-57$  нТл в 20.00. Затем имела место фаза восстановления с постепенным нарастанием  $D_{st}$  до конца цикла измерений. Началу бури предшествовал скачок параметров солнечного ветра (СВ) и межпланетного магнитного поля (ММП), в том числе и рост скорости СВ от  $\sim 600$  км/с до максимальной величины более 800 км/с. Вскоре после начала бури произошла деформация переносимого потоком СВ межпланетного магнитного поля и поворот компоненты  $B_z$  вектора ММП к югу. Максимальное отклонение  $B_z$  составило около  $-6$  нТл после 16.00. С вариациями  $B_z$  коррелировали значения аврорального индекса  $AE$ . Они достигли величины 1500 нТл 20 марта

около 18.00, что свидетельствовало о значительном усилении авроральных электроструй в результате последовательности магнитосферных суббурь.

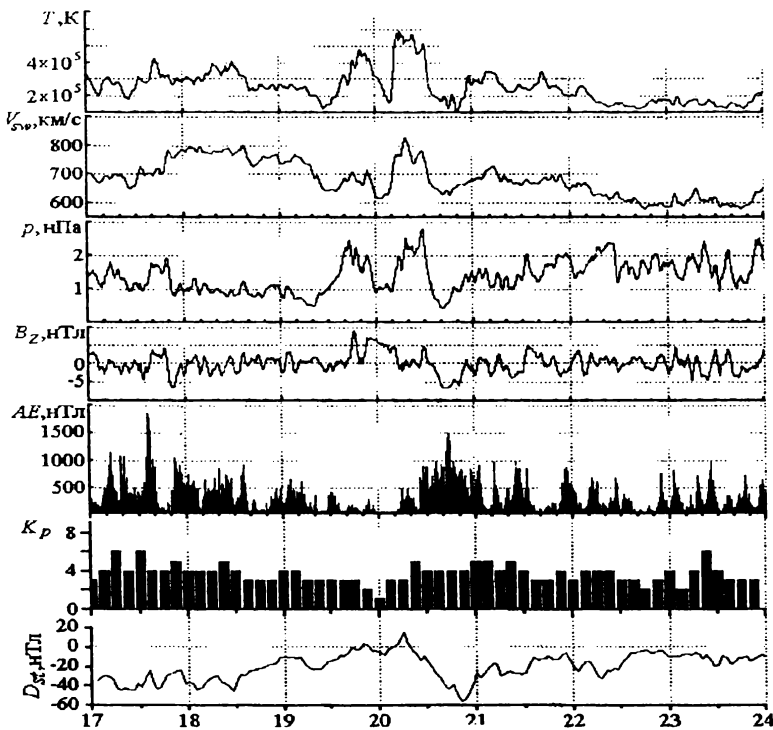


Рис. 1

**3. Результаты измерений.** Измерения выполнены на радаре некогерентного рассеяния, размещенного в Ионосферной обсерватории вблизи г. Харькова (геомагнитные координаты:  $45,7^{\circ}$ ,  $117,8^{\circ}$ ; географические координаты:  $49,6^{\circ}$ ,  $36,3^{\circ}$ ), в течение 19 – 23 марта 2003 г. Подробное описание устройств радара дано в [2]. Наблюдения проводились при импульсной мощности радиопередающего устройства  $P_i=2$  МВт в режиме двухимпульсного зондирования с высотным разрешением  $\sim 20$  км в диапазоне высот  $\sim 100$ – $550$  км. Использовался интервал обработки 1,5–15 мин при отношении сигнал/шум на входе  $q=10$ – $0,2$ . При этом относительная погрешность определения параметров ионосферы (концентрации  $N_e$ , температуры электронов  $T_e$  и ионов  $T_i$ ) не превышала 3–10%. В процессе измерений параллельно с радаром работал ионозонд «БАЗИС» (диапазон рабочих частот 1–40 МГц, мощность в импульсе 15 кВт). С его помощью по ионограммам измерялась критическая частота  $f_oF2$ . Магнитная буря с внезапным началом около 04.45 20 марта вызвала двухфазную ионосферную бурю. Схема развития ионосферной бури выглядела следующим образом. Характеристика бури обычно рассматривает-

ся в терминах отклонения критических частот  $\delta f_oF2$  от медианного значения [3]. Из-за отсутствия последнего мы сравнивали данные с контрольным днем. Рис. 2 иллюстрирует вариации отклонения критической частоты  $\delta f_oF2$  в течение двухфазной ионосферной бури 20–22 марта 2003 г.



Рис. 2

Видно, что на первой стадии ионосферной бури развивалась положительная фаза. Она носила характер длительного возмущения (примерно в течение 6 часов) с наибольшим отклонением  $\delta f_oF2$  около +20%. Смена фаз бури произошла в интервале времени 17.00–18.00. Отрицательная фаза была более интенсивной, максимальное отклонение  $\delta f_oF2$  достигло

–60%, ее запаздывание относительно начала магнитной бури, так называемое “запрещенное время”, составило около 14 часов. При этом электронная концентрация  $N_m$  в максимуме области F в течение отрицательной фазы бури в Харькове уменьшилась примерно в 2–5 раз (рис. 3). Рис. 3 дает наглядную картину поведения основных параметров ионосферы в диапазоне высот 100–550 км во время бури.

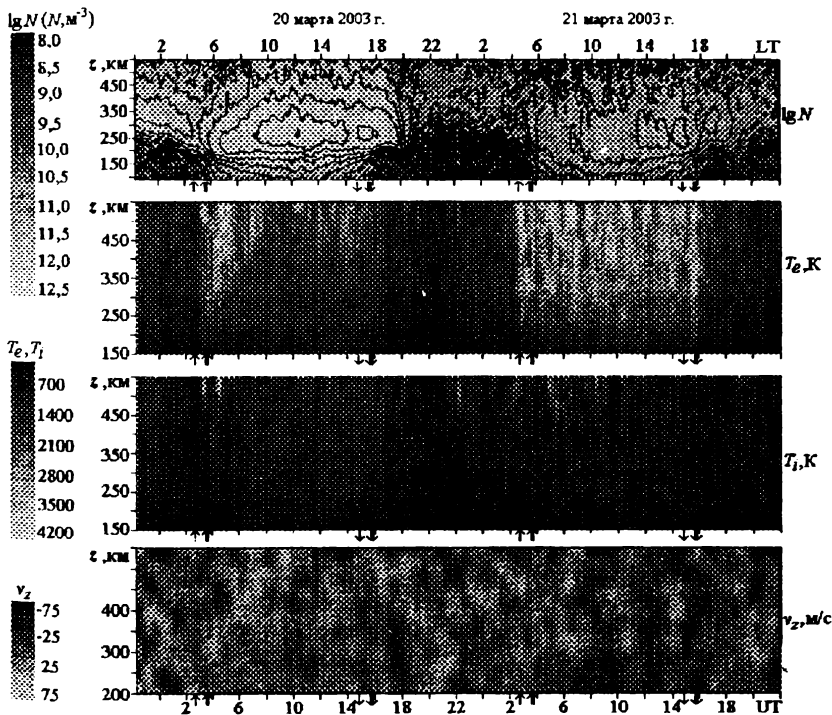


Рис. 3

Суточные изменения температуры электронов  $T_e$  в спокойной ионосфере при средней СА характеризуются быстрым ростом во время восхода Солнца, уменьшением  $T_e$  вблизи полудня за счет возрастания теплопередачи от электронов к ионам, которая пропорциональна  $N^2$ , и снижением  $T_e$  после захода Солнца [4]. Так, в положительную фазу бури 20 марта, когда вблизи полудня критическая частота  $f_oF2$  превышала 11 МГц, температура электронов на высоте 300 км в 14.00 составляла  $T_e \approx 1300$  К. В отрицательную фазу бури 21 марта, когда максимальное значение  $f_oF2$  составляло менее 6 МГц,  $T_e \approx 2400$  К. Небольшое повышение значения  $T_i$  наблюдалось как в положительную, так и в отрицательную фазы бури.

4. Основные результаты. Зафиксированы максимальные значения критической частоты  $f_oF2$ , достигшие 11.3 МГц 20 марта и 5.8 МГц 21 марта. Это соответствовало росту концентрации  $N_m$  примерно в 1.5 раза в положительную фазу бури и падению  $N_m$  до 5 раз – в отрицательную фазу по сравнению с контрольным днем. Зарегистрировано необычное в заходный период 20 марта снижение высоты  $z_mF2$  на 50 км в течение 17.00 – 18.00, за которым последовал быстрый подъем  $z_mF2$  примерно на 200 км на протяжении следующего часа. Установлено, что необычное поведение высоты максимума слоя F2 сопровождало переход от положительной к отрицательной фазе бури. Возможной причиной резкого перепада высоты  $z_mF2$  и смены фаз бури мог быть импульс электрического поля над Харьковом, по-видимому, связанного с проникновением магнитосферного электрического поля в средние широты во время интенсивной суббури. Уменьшение электронной концентрации  $N_m$  за счет снижения высоты  $z_mF2$  и увеличения нисходящей скорости переноса плазмы  $v_z$  при смене фаз могло положить начало аномальной отрицательной ионосферной бури. Обнаружено большое отличие дневных температур электронов  $T_e$  в положительную и отрицательную фазы бури. Отмечен рост температуры ионов  $T_i$  в дневное время на высотах 250 – 300 км.

Автор благодарит проф. Черногора Л.Ф., Григоренко Е.И. за ценные советы и замечания в ходе выполнения работы, а также Емельянова Л.Я., Черняева С.В., Пауна М.Н., Склирова И.Б., Черняка Ю.В., Кононенко А.Ф. за проведение экспериментов.

Список литературы: 1. Черногор Л.Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы. – Радиофизика и радиоастрономия, 2003, т. 8, № 1, С. 59 – 106. 2. Таран В.И. Измерительный комплекс некогерентного рассеяния Харьковского политехнического института // Радиотехника и электроника. 1976, Вып. 21, №1, С. 1 – 4. 3. Григоренко Е.И., Лысенко В.Н. и др. Результаты радиофизических исследований процессов в ионосфере, сопровождавших сильнейшую геомагнитную бурю 25 сентября 1998 г. // Успехи современной радиоэлектроники. 2003, № 9, С. 57 – 94. 4. Таран В.И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэронавигация. 2001, т. 41, № 5. С. 659 – 666.

Поступила в редколлегию 05.04.04