

ИОНОСФЕРНАЯ БУРЯ 5–6 АВГУСТА 2011 г.: РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ НА ХАРЬКОВСКОМ РАДАРЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

С.В. Кацко

THE IONOSPHERIC STORM ON 5–6 AUGUST 2011: RESULTS OF OBSERVATION WITH KHARKIV INCOHERENT SCATTER RADAR

S.V. Katsko

Приведены результаты исследования отклика области F и внешней ионосферы на сверхсильную магнитную бурю 5–6 августа 2011 г. ($K_{pmax}=8-$). Наблюдения проведены с помощью радара некогерентного рассеяния в Харькове. Обнаружены значительные эффекты отрицательного ионосферного возмущения.

The study results of the F region and topside ionosphere response to the August 5–6, 2011 severe magnetic storm ($K_{pmax}=8-$) are discussed. The observations are carried out with the Kharkiv incoherent scatter radar. It was revealed some considerable effects of well pronounced negative ionosphere disturbance.

Изучению магнитных бурь (МБ) и взаимосвязи солнечно-земных явлений посвящено большое количество работ. Тем не менее все еще остается много неясного в понимании физических процессов, сопутствующих МБ, и особенно в моделировании и прогнозировании космической погоды во всех областях околоземного пространства. Исследование каждой бури дает ценный вклад в решение стоящих перед учеными задач.

Цель данной работы – анализ временных вариаций параметров ионосферной плазмы во время ионосферной бури 5–6 августа 2011 г.

МБ возникла в результате вспышек на Солнце классов M6.0 и M9.3, произошедших 3–4 августа 2011 г., и сопутствовавших им нестационарных процессов. Заметное возмущение наблюдалось после 15:00 (здесь и далее UT) 5 августа 2011 г., когда параметров солнечного ветра начали расти значения [Домнин и др., 2012]. МБ началась в 19:03 этого же дня, а ее главная фаза имела место с 20:00 5 августа до 04:00 6 августа. Максимальные отклонения индексов геомагнитной активности составили: $AE_{max}=1741$ нТл, $K_p\ max=8-$, $D_{st\ min}=-113$ нТл. МБ сопровождалась отрицательной ионосферной бурей над Харьковом [Домнин и др., 2012]. Фаза восстановления наблюдалась до конца периода измерений, т. е. до 16:45 7 августа 2011 г.

Изменения критической частоты отражают вариации концентрации электронов в максимуме слоя F2 N_mF2 . Для исследования вариаций N_mF2 использовались значения критических частот по данным ионозонда Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН, Москва, Россия) [<http://www.izmiran.ru/services>]. На рис. 1 представлены временные вариации N_mF2 с 3 по 7 августа, а в качестве контрольных данных взяты

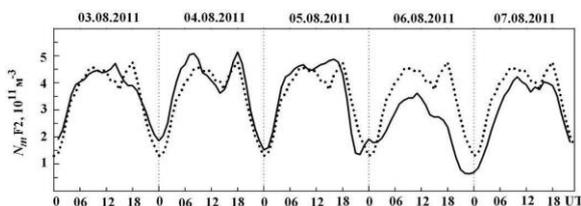


Рис. 1. Временные вариации концентрации электронов в максимуме слоя F2 N_mF2 в период с 3 по 7 августа 2011 г. (линия) и в контрольные дни (точки).

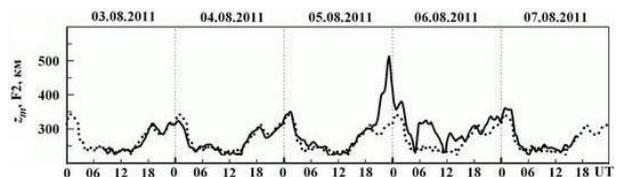


Рис. 2. Временные вариации высоты максимума слоя F2 z_mF2 с 3 по 7 августа (линия) и в контрольный день 4 августа 2011 г. (точки).

усредненные значения N_mF2 в условиях невозмущенной ионосферы в периоды с 30 июля по 3 августа и с 8 по 11 августа 2011 г.

Во время главной фазы МБ 5 августа около 21:00 величина N_mF2 уменьшилась в два раза до значения $1.4 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$ (в спокойный день $N_mF2 \approx 2.7 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$). Максимальное уменьшение N_mF2 в 3.5 раза имело место 6 августа в 21:00, $N_mF2 \approx 0.8 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$ (в магнитоспокойный день $N_mF2 \approx 2.7 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$). Постепенное восстановление N_mF2 началось 7 августа после 12:00.

Поведение высоты максимума концентрации электронов в слое F2 ионосферы z_mF2 в течение суток определяется как суточными вариациями фотохимических процессов, так и изменением направления термосферных ветров. Временные вариации z_mF2 представлены на рис. 2. В качестве контрольного дня выбрано 4 августа 2011 г.

С началом МБ наблюдался рост z_mF2 . Во время главной фазы бури в 23:00 высота максимума достигла 510 км (в спокойных условиях $z_mF2 \approx 320-340$ км). Шестого августа z_mF2 увеличилась до 320 км, тогда как в невозмущенных условиях z_mF2 составляет около 250 км. Временные вариации z_mF2 сопровождалась также деформацией высотного профиля концентрации электронов N на главной фазе МБ: уменьшением N_mF2 и увеличением толщины слоя. Это свидетельствует о существенной перестройке глобальной термосферной циркуляции при увеличении скорости нейтрального ветра за счет усиления высокоширотного источника нагрева [Григоренко и др., 2007].

На рис. 3 представлены временные вариации N 3–7 августа 2011 г. в диапазоне высот 250–600 км. Вариации N 4 августа выбраны в качестве контрольных.

Видно, что начало МБ сопровождалось резким увеличением N на высотах $z \geq 450$ км. По сравнению

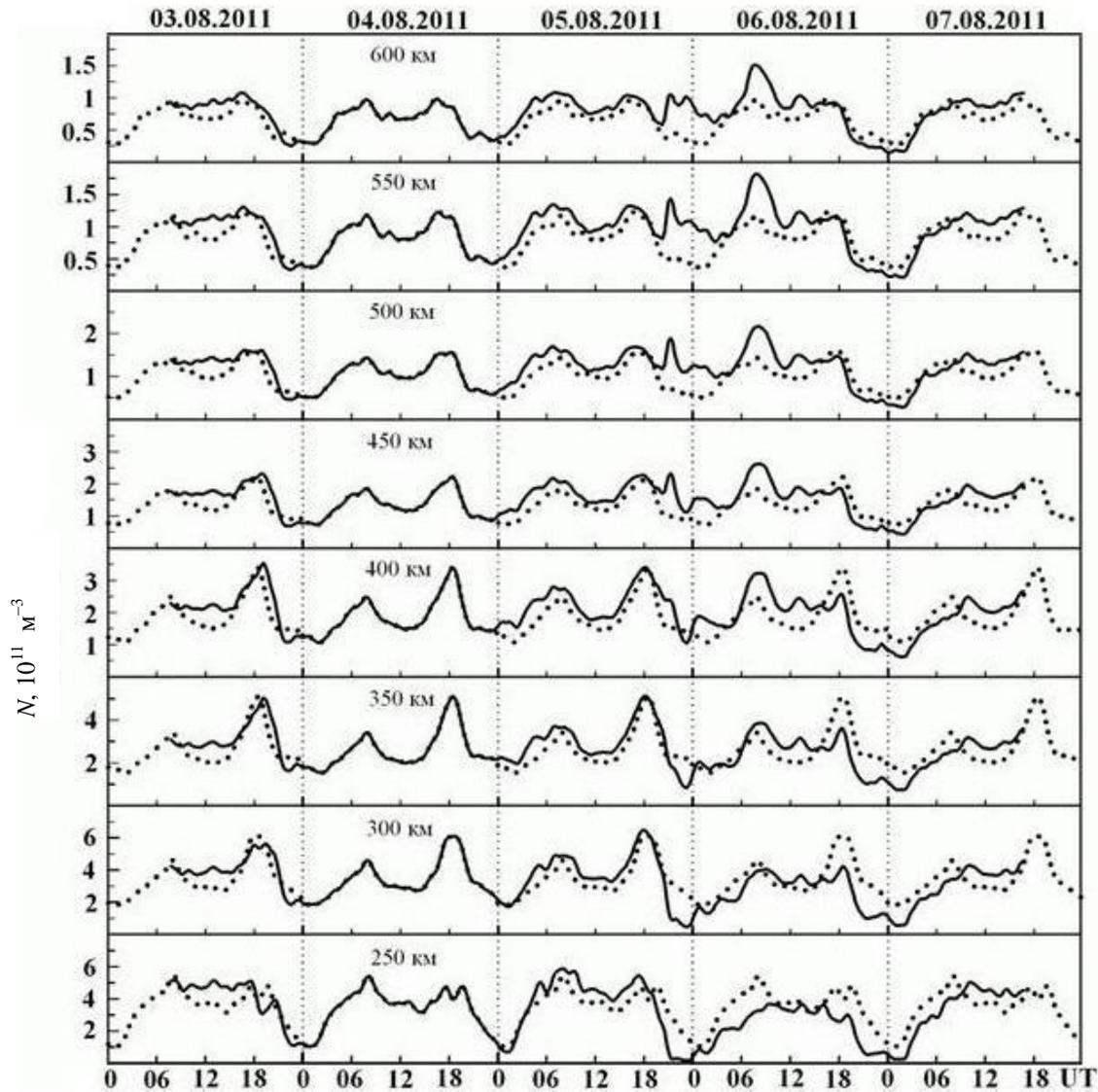


Рис. 3. Временные вариации концентрации электронов N на фиксированных высотах в период с 3 по 7 августа 2011 г. (линия) и в контрольный день 4 августа 2011 г. (точки).

с контрольным днем зарегистрировано уменьшение N на 91–27 % на высотах 250–400 км соответственно. Во время отрицательного ионосферного возмущения 6 августа в 23:00 N уменьшалась во всем диапазоне исследуемых высот. В частности, при $z \approx 250$ –350 км N уменьшилась более чем в два раза. Выше 450 км изменения в вариациях N выражены слабее из-за увеличения влияния процесса диффузии на этих высотах [Данилов, Морозова, 1985].

Вариации температур электронов T_e и ионов T_i приведены на рис. 4. В ночь с 4 на 5 августа в условиях невозмущенной ионосферы $T_e = 650$ –1100 К, а $T_i = 650$ –950 К в диапазоне высот 200–700 км соответственно. С 5 по 7 августа имел место нагрев плазмы. Значительное увеличение температур (до 40 %) наблюдалось 5 августа около 22:30: T_e составляла 800–2500 К, а T_i – 800–1500 К на всем диапазоне высот. В ночь с 5 на 6 августа T_e и T_i оставались более высокими, чем обычно. Значения температур оставались повышенными по сравнению с невозмущенными днями и в следующую ночь с 6 на 7 августа, наблюдались также их отдельные всплески. От-

метим, что ночной нагрев заряженных частиц в средних широтах наблюдается довольно редко – преимущественно во время сильных геокосмических бурь [Григоренко и др., 2005, 2007].

Причинами увеличения T_e могли быть джоулев нагрев, связанный с проникновением магнитосферных электрических полей в средние широты, выпадение энергичных частиц, которое приводит к усилению ионосферных динамо-токов, уменьшение охлаждения электронов при низких значениях N . Этими же процессами можно объяснить и рост T_i . Дополнительный вклад в рост T_i может вносить еще фрикционный нагрев за счет трения быстро движущихся ионов о нейтральный газ под действием электрических полей.

Выводы

1. Начало и главная фаза МБ сопровождались уменьшением значений концентрации электронов $N_m F_2$ в два раза. С 6 по 7 августа имело место отрицательное ионосферное возмущение, при котором $N_m F_2$ уменьшилась в 3.5 раза.

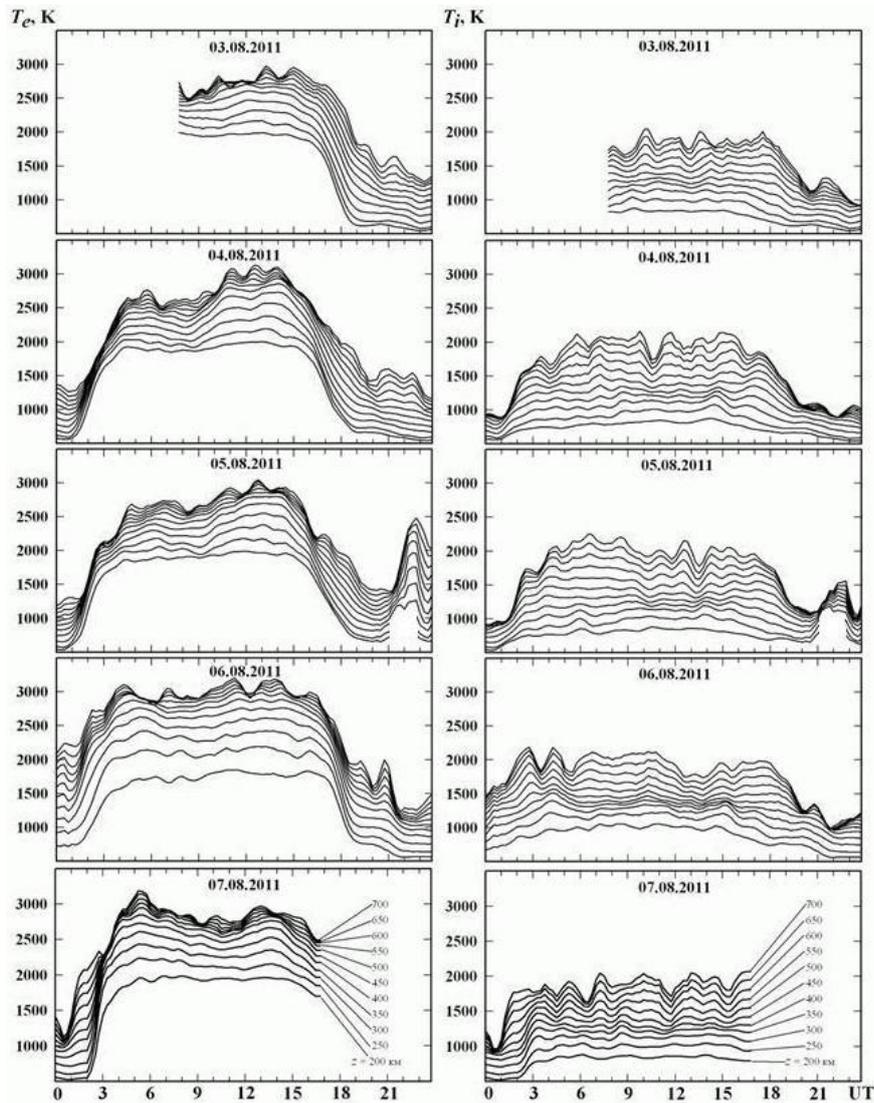


Рис. 4. Временные вариации температур электронов T_e (слева) и ионов T_i (справа) в период с 3 по 7 августа 2011 г. на фиксированных высотах.

2. В течение главной фазы МБ высота слоя F2 увеличилась на 60 %.

3. Значительные (десятки процентов) возмущения N на высотах 250–600 км наблюдались с 20:00 5 августа до конца суток 6 августа.

4. Уменьшение N во время главной фазы МБ сопровождалось существенным нагревом плазмы. На высотах 200–700 км T_e увеличилась до 800–2500 К, T_i – до 800–1500 К.

5. Подтверждено, что ионосферная буря привела к значительным возмущениям параметров ионосферного канала распространения радиоволн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Данилов А.Д., Морозова Л.Д. Ионосферные бури в области F2. Морфология и физика (обзор) // Геомагнетизм и аэронавигация. 1985. Т. 25, № 5. С. 705–721.

Домнин И.Ф., Емельянов Л.Я., Ляшенко М.В. и др. Ионосферные процессы, сопровождавшие геокосмическую бурю 5–6 августа 2011 г. // Радиопизика и радиоастрономия. 2012. Т. 17, № 4. С. 320–332.

Григоренко Е.И., Емельянов Л.Я., Пазюра С.А. и др. Возмущения ионосферной плазмы во время сверхсильной магнитной бури 29–31 мая 2003 года: результаты наблюдений на радаре некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 4. С. 21–39.

Григоренко Е.И., Лысенко В.Н., Пазюра С.А. и др. Ионосферные возмущения в течение сильнейшей магнитной бури 7–10 ноября 2004 г. // Геомагнетизм и аэронавигация. 2007. Т. 47, № 6. С. 761–779.

Институт ионосферы НАН и МОН Украины, Харьков, Украина