

С.В. КАЦКО, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков;
Л.Ф. ЧЕРНОГОР, д-р физ.-мат. наук, проф., ХНУ имени В.Н. Каразина,
Харьков

ОСОБЕННОСТИ ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ ВО ВРЕМЯ СВЕРХСИЛЬНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ 5–6 АВГУСТА 2011 Г. НАД ХАРЬКОВОМ

Приведены результаты исследования отклика области F и внешней ионосферы на сверхсильную геомагнитную бурю 5–6 августа 2011 г. Наблюдения проведены с помощью радара некогерентного рассеяния в Харькове. Рассмотрены основные механизмы, формирующие изменения в ионосферной плазме во время бури.

Ключевые слова: ионосферная плазма, некогерентное рассеяние, магнитная буря, возмущение.

Введение. Многообразие процессов в геокосмосе и сложность их взаимодействия [1, 2] делают индивидуальной каждую магнитную бурю, что, в свою очередь, затрудняет прогнозирование ее развития. Анализ каждой новой бури дает дополнительную информацию для представления полной картины физических процессов, которые ее формируют.

Цель работы – рассмотрение основных механизмов, формировавших изменения в ионосферной плазме во время сверхсильной магнитной бури 5–6 августа 2011 г.

Результаты исследования. Исследования магнитной бури (МБ) 5–6 августа 2011 г. проводились на харьковском радаре некогерентного рассеяния [3], предназначенного для получения параметров ионосферы в различных геофизических условиях на средних широтах центрально-европейского региона в широком диапазоне высот.

МБ началась внезапно 5 августа в 19:03 UT (здесь и далее время в формате UT) [4]. Главная фаза бури имела место с 20:00 5 августа до 04:00 6 августа 2011 г. На рис. 1 представлены временные вариации индексов геомагнитной активности в период с 4 по 9 августа 2011 г.: $AE_{\max} = 1741$ нТл, $K_p \max = 8-$, $D_{st \min} = -113$ нТл. По классификации [5, 6] МБ относится к сверхсильным бурям.

Над Харьковом МБ сопровождалась отрицательной ионосферной бурей (ИБ) с 6 по 7 августа (подробное описание см. [4, 7]). Относительное отклонение критической частоты максимума слоя F2 достигало -45% .

С началом МБ высота максимума слоя F2 $z_m F2$ начала подниматься (см. рис. 2) и около 23:00 5 августа (главная фаза МБ) достигала 510 км, что на 170–190 км больше, чем при невозмущенных условиях. При этом относительное отклонение $\delta z_m F2$ составило около 60% . Рост $z_m F2$

© С.В. Кацко, Л.Ф. Черногор, 2013

наблюдался и 6 августа. Высота $z_m F2$ увеличилась до ~ 320 км (при невозмущенных условиях ~ 250 км).

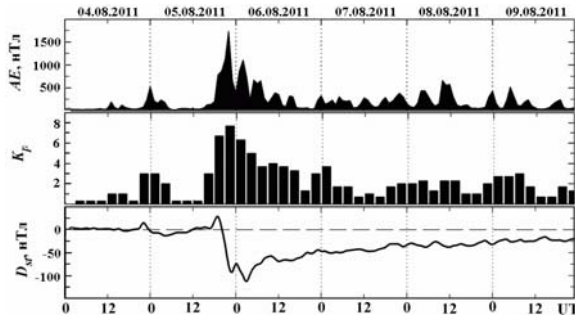


Рис. 1 – Временные вариации индексов геомагнитной активности AE , K_p и D_{st} (WDC, Kyoto University) в течение 4–9 августа 2011 г.

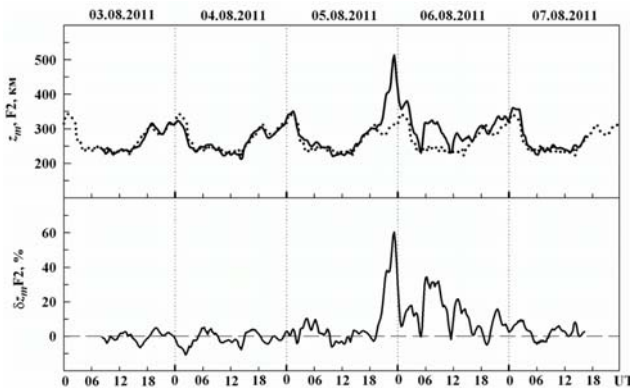


Рис. 2 – Временные вариации высоты максимума $z_m F2$ слоя F2 (сплошная линия) и ее относительного отклонения $\delta z_m F2$ с 3 по 7 августа. Точками показаны значения $z_m F2$ в магнитоспокойный день 4 августа

7 августа уже наблюдается восстановление суточного хода параметра $z_m F2$ к значениям, характерным для магнитоспокойных условий.

Начало МБ также сопровождалось резким увеличением концентрации электронов N (до 90 %) на высотах выше 400 км (рис. 3). В свою очередь, при $z \approx 200\text{--}400$ км было зарегистрировано уменьшение N до 91–27 % соответственно.

Во время отрицательной ИБ 6 августа в 23:00 концентрация N уменьшилась во всем диапазоне исследуемых высот (200–600 км), а 7 августа последовала фаза восстановления.

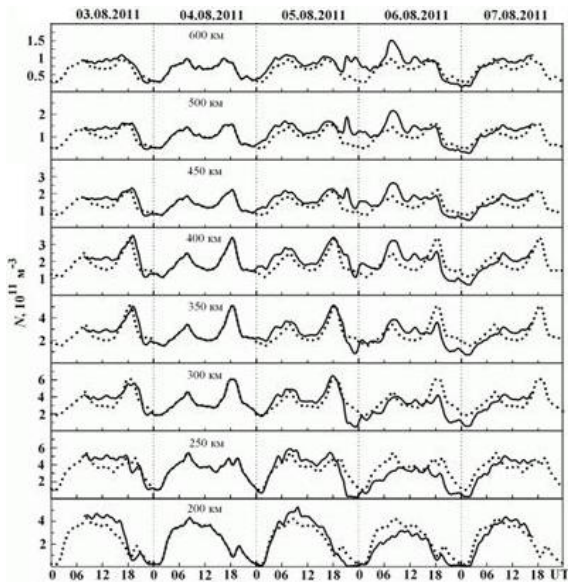


Рис. 3 – Временные вариации концентрации электронов N на фиксированных высотах в период с 3 по 7 августа 2011 г. (линия). Точки – данные N в контрольный день 4 августа 2011 г.

Известно, что в периоды интенсивных МБ в высоких и средних широтах отрицательные возмущения являются наиболее распространенными и, при этом, часто сопровождаются значительным увеличением высоты z_mF2 [8]. Такой быстрый рост z_mF2 во время бури в ночное время и увеличение вблизи полудня, по-видимому, был связан с расширением термосферы и перестройкой глобальной термосферной циркуляции за счет усиления высокоширотного источника нагрева нейтрального газа. Результатом возмущения циркуляции является дополнительный меридиональный ветер, направленный из высоких широт к экватору. Ночью он усиливает основную компоненту атмосферной циркуляции, поднимая слой F2 на более высокие уровни, а днем ослабляет ее и препятствует снижению слоя [8].

Возможной причиной роста z_mF2 также могло послужить смещение к экватору главного ионосферного провала (ГИП). Провалы во время бури могут расширяться в ночное время вплоть до низких широт. При этом за увеличением z_mF2 следует депрессия (провал) концентрации электронов, что мы наблюдаем на рис. 3 для высот 200–350 км.

Рассмотрим поведение температур электронов T_e и ионов T_i . В ночное время с 5 на 6 августа имел место существенный нагрев плазмы (до 40 % по сравнению с магнитоспокойными условиями) (см. рис. 4).

5 августа около 22:30 (главная фаза МБ) в диапазоне высот 200–700 км T_e составляла 800–2500 К, а T_i – 800–1500 К соответственно.

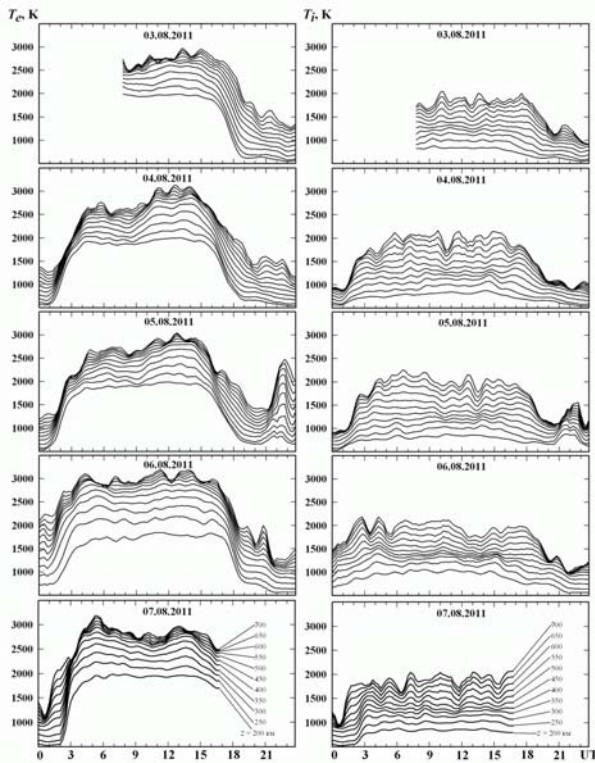


Рис. 4 – Временные вариации температур электронов T_e (слева) и ионов T_i (справа) в период с 3 по 7 августа 2011 г. на фиксированных высотах

Во время ИБ с 6 на 7 августа значения T_e и T_i оставались завышенными, чем при невозмущенных условиях.

Известно, что смещение ГИП также сопровождается увеличением температуры электронов [8], что и подтверждают вариации T_e на рис. 4.

Однозначная интерпретация увеличения $z_m F2$ действием только одного источника возмущения затруднена, поскольку эффекты разных источников сходны. Наряду с перечисленными причинами можно рассматривать также возможность вклада в рост высоты максимума слоя F2 эффекта проникновения магнитосферных электрических полей в средние широты [8]. Только для этого следует проводить оценки компонент электрического поля, а также, для ясности более полной картины физических процессов в

ионосфере, расчет и моделирование не измеренных параметров ионосферной плазмы.

Выводы. Результаты измерений параметров ионосферной плазмы на радаре некогерентного рассеяния в Харькове и их последующий анализ показали, что сверхсильная МБ 5–6 августа 2011 г. сопровождалась сильным ионосферным возмущением. В свою очередь ИБ вызвала ряд существенных изменений в суточном ходе основных параметров ионосферы и повлияла на ее структуру.

Список литературы: 1. Черногор Л.Ф. Земля–атмосфера–ионосфера–магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. 1 / Л.Ф. Черногор // Нелинейный мир. – 2006. – Т. 4. № 12. – С. 655–697. 2. Черногор Л.Ф. Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. 2 / Л.Ф. Черногор // Нелинейный мир. – 2007. – Т. 5, № 4. – С. 198–231. 3. Таран В.И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния / В.И. Таран // Геомагнетизм и аэрономия. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 659–666. 4. Кацко С.В. Результаты наблюдения магнитной бури 5–6 августа 2011 г. по данным харьковского радара некогерентного рассеяния / С.В. Кацко // Материалы научн.-техн. конфер. Студентов, аспирантов и молодых ученых, 24–25 дек. 2012 г. «Актуальные проблемы автоматизации и приборостроения Украины» – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – С. 17–18. 5. Григоренко Е.И. Анализ и классификация ионосферных бурь в средних широтах Европы. 1 / Е.И. Григоренко, В.Н. Лысенко, В.И. Таран, Л.Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. – 2007. – Т. 13, № 5. – С. 58–76. 6. Григоренко Е.И. Анализ и классификация ионосферных бурь в средних широтах Европы. 2 / Е.И. Григоренко, В.Н. Лысенко, В.И. Таран, Л.Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. – 2007. – Т. 13, № 5. – С. 77–96. 7. Домнин И.Ф. Ионосферные процессы, сопровождавшие геокосмическую бурю 5–6 августа 2011 г. / И.Ф. Домнин, Л.Я. Емельянов, М.В. Ляшенко, С.В. Харитонова, Л.Ф. Черногор // Радиофизика и радиоастрономия. – 2012. – Т. 17, № 4. – С. 320–332. 8. Брюнелли Б.Е. Физика ионосферы / Б.Е. Брюнелли, А.А. Намгаладзе. – М.: Наука, 1988. – 528 с.

Поступила в редколлегию 19.11.2013

УДК 550.388, 520.16 + 523.31 + 523.9 : 520.86

Особенности ионосферных эффектов во время сверхсильной геомагнитной бури 5–6 августа 2011 г. над Харьковом / С.В. Кацко, Л.Ф. Черногор // Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Радиофізика та іоносфера. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2013. – № 33 (1066). – С. 29–33. Бібліогр.: 8 назв.

Наведено результати дослідження відгуку шару F та зовнішньої іоносфери на надсильну геомагнітну бурю 5–6 серпня 2011 р. Спостереження проведені за допомогою радара некогерентного розсіяння в Харкові. Розглянуто головні механізми формування змін в іоносферній плазмі під час бурі.

Ключові слова: іоносферна плазма, некогерентне розсіяння, магнітна буря, збурення.

The study results of the F region and topside ionosphere response to the severe magnetic storm on 5–6 August 2011 are presented in this paper. The observations are carried out by the Kharkiv incoherent scatter radar. The basic mechanisms forming ionospheric plasma changes during the storm are considered

Keywords: ionospheric plasma, incoherent scatter, magnetic storm, disturbance.