

ОТКЛИК ИОНОСФЕРЫ НА УМЕРЕННУЮ МАГНИТНУЮ БУРЮ 21 ДЕКАБРЯ 2016 г.

¹С.В. Кацко, ²Л.Ф. Черногор

¹Институт ионосферы НАН и МОН Украины, Харьков, Украина

²Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина
sophiaharytonova@gmail.com

IONOSPHERIC RESPONSE TO THE MODERATE MAGNETIC STORM ON 21 DECEMBER 2016

¹S.V. Katsko, ²L.F. Chernogor

¹Institute of Ionosphere of NAS and MES of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraina

Аннотация. Приведены результаты исследования отклика F-области и внешней ионосферы на умеренную магнитную бурю 21 декабря 2016 г. ($K_p \text{ max}=6$, $Dst_{\text{min}}=-40$ нТл). Наблюдения проводились с помощью радара некогерентного рассеяния Института ионосферы и цифрового ионозонда Радиофизической обсерватории ХНУ имени В.Н. Каразина. Магнитная буря вызвала отрицательное ионосферное возмущение в ночь с 21 на 22 декабря с уменьшением концентрации электронов в максимуме слоя F2 в 3 раза. В результате длительного воздействия высокоскоростного потока солнечного ветра наблюдались изменения суточных вариаций параметров ионосферной плазмы до конца измерений 24 декабря.

Ключевые слова: ионосфера, некогерентное рассеяние, магнитная буря, возмущение.

Abstract. The study results of F region and topside ionosphere response to the moderate magnetic storm on 21 December 2016 are presented ($K_p \text{ max}=6$, $Dst_{\text{min}}=-40$ nT). The observations are carried out by the Kharkiv Incoherent Scatter Radar (Institute of Ionosphere) and the digital ionosonde (Radiophysical Observatory of Kharkiv National University). The magnetic storm caused a negative ionosphere disturbance at night time on December 21–22. The F2 layer maximum electron density decreased by a factor of 3. As a result of durational effect of solar wind flowing stream at high speed the variations of daily ionosphere plasma parameters were observed to the end of measurements on December 24.

Keywords: ionosphere, incoherent scatter, magnetic storm, disturbance.

Введение

Исследование состояния космической погоды и ее влияния на процессы в магнитосфере Земли является одной из важных и актуальных задач солнечно-земной физики. Несмотря на то, что данной тематике посвящены многолетние исследования [Данилов, 2013; Черногор, Домнин, 2014], и на сегодняшний день накоплено большое количество экспериментов и теоретических результатов расчетов, вопрос остается все еще не решенным.

Основное внимание многих геофизиков уделяется исследованию сильных магнитных бурь, тогда как умеренные бури возникают значительно чаще, а их эффекты могут быть соизмеримы с эффектами во время сильных бурь [Григоренко и др., 2005].

Цель работы — представление результатов исследования особенностей отклика F-области ионосферы на умеренную магнитную бурю 21 декабря 2016 г.

Геомагнитная обстановка

В результате воздействия высокоскоростного потока солнечного ветра с 20 декабря 2016 г. [<http://spaceweather.com>], истекающего из корональной дыры атмосферы Солнца со скоростью 650–700 км/с, 21 декабря около 12:20 UT (здесь и далее время в UT) началась магнитная буря (по данным магнитной обсерватории «Киев», координаты: 50.72° N, 30.3° E). С 12:00 авроральный индекс AE начал стремительно расти и в 17:00 достиг 1607 нТл. В свою очередь индекс K_p в интервале времени 12:00–15:00 уве-

личился с 3 до 3.3, а его экстремальное значение $K_p \text{ max}=6$ составило с 15:00 до 18:00. При этом значения индекса $Dst=-33$, -38 нТл в 17:00 и 18:00 соответственно. Экстремальное значение $Dst_{\text{min}}=-40$ нТл было зафиксировано в 21:00, что и обозначило завершение главной фазы магнитной бури.

Результаты наблюдения

Наблюдения проводились с помощью радара некогерентного рассеяния Ионосферной обсерватории Института ионосферы (г. Харьков) и цифрового ионозонда Радиофизической обсерватории ХНУ имени В.Н. Каразина. Радар работал в режиме излучения двухчастотным составным сигналом с двумя импульсами длительностью 130 и 660 мкс, что обеспечивает высотное разрешение 20 и 100 км в диапазонах высот 100–400 км и 200–1500 км соответственно. Измерения параметров ионосферы методом вертикального зондирования проводились с 13:00 19 декабря до 13:45 24 декабря, а методом некогерентного рассеяния — с 20:00 21 декабря до 24:00 23 декабря.

Для анализа вариаций критической частоты f_oF2 в качестве контрольного дня выбраны усредненные данные за 19–20 декабря 2016 г., когда индекс K_p не превышал 2. Как видно из полученных данных ионозонда (см. рис. 1), в период времени 15:00–21:00, когда трехчасовые значения $K_p=6$ и 4 соответственно, значения f_oF2 были на 10–30 % больше, чем при невозмущенных условиях. По завершению главной фазы магнитной бури в 21:00 21 декабря над Харьковом последовало стремительное уменьше-

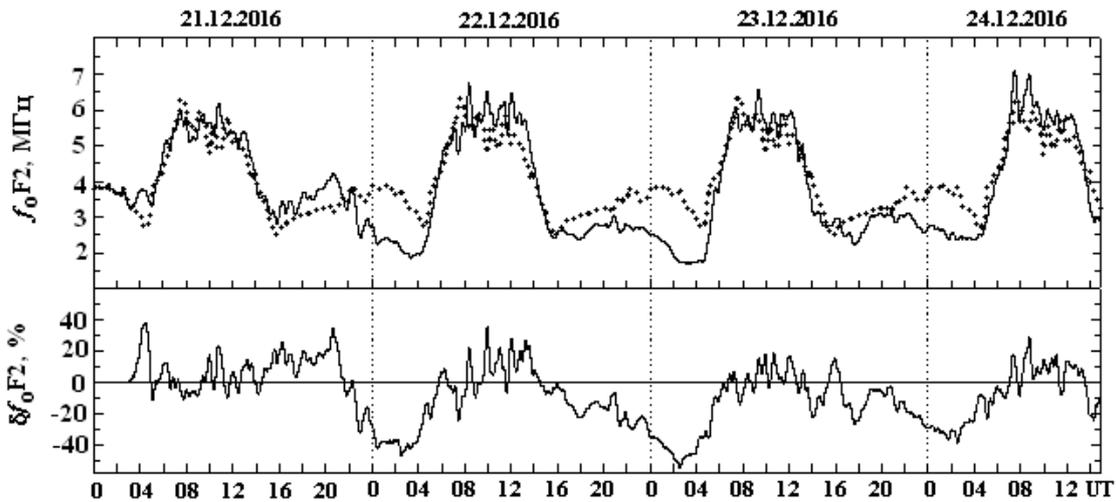


Рис. 1. Временные вариации критической частоты f_0F2 в период измерений с 21 по 24 декабря 2016 г. (линия) и в магнитоспокойных условиях 20 декабря 2016 г. (точки) (вверху), а также относительного отклонения δf_0F2 (внизу)

ние f_0F2 , что и обозначило наступление отрицательного ионосферного возмущения. После полуночи 22 декабря, когда индекс K_p снова увеличился до 4.7, относительное отклонение δf_0F2 превысило -30% и около 02:30 достигло своего экстремального значения -45.8% , т. е. f_0F2 отражают вариации концентрации электронов N_mF2 в максимуме слоя F2, то это соответствовало уменьшению N_mF2 в 3.4 раза (рис. 1). Далее последовало восстановление значений f_0F2 .

Так как до конца измерений скорость солнечного ветра продолжала составлять 650–700 км/с, то, соответственно, наблюдались возмущения магнитного поля Земли. Это и послужило причиной последующего заметного изменения суточного хода критической частоты f_0F2 .

22 декабря в период 12:00–14:00 значения f_0F2 были выше, чем 20 декабря: δf_0F2 составляло 15–20%, концентрация N_mF2 при этом увеличилась в 1.4–1.6 раза. После 21:00, когда $K_p=4$, последовало стремительное уменьшение f_0F2 . Максимальное относительное отклонение $\delta f_0F2 = -54.6\%$ в 02:30 23 декабря, а N_mF2 при этом уменьшилась в 4.9 раза.

Из полученных результатов видно, что 23 декабря после 13:30 значения f_0F2 заметно варьировали, существенное уменьшение f_0F2 последовало после 22:00, когда индекс K_p сменился с 4 на 3.7. Отрицательное ионосферное возмущение в этот период было слабее, чем в предшествующие периоды. Экстремальное значение δf_0F2 составило -37.9% в 02:30 24 декабря, соответственно, концентрация электронов уменьшилась в 2.6 раза.

Для анализа данных радара некогерентного рассеяния в качестве контрольного дня выбран 22 декабря 2010 г., что наиболее близко не только по времени наблюдения за ионосферой, но и по уровню солнечной активности (поток солнечного радиоизлучения на волне 10.7 см 22 декабря 2010 г. $F_{10.7}=78$, 22 декабря 2016 г. $F_{10.7}=75$). Ионосфера находилась в спокойных геомагнитных условиях: значения индекса K_p составляли 0–0.3.

Из рис. 2 видно, что полученные временные вариации высоты максимума слоя F2 h_mF2 во время эксперимента относительно хорошо коррелируют с дан-

ными 2010 г. Заметные отличия наблюдаются только с начала измерений на радаре, по окончании главной фазы магнитной бури 21 декабря, и в ночное время 22 декабря, когда над Харьковом наблюдалось отрицательное ионосферное возмущение. Так, в 21:00 21 декабря высота максимума слоя уменьшилась с 316 км до 264 км. Далее с полуночи до 03:00 22 декабря экспериментальные значения высота h_mF2 были выше значений контрольного дня и увеличилась на 20–28 км.

Сравнивая полученные температуры электронов T_e и ионов T_i с контрольным днем видно (рис. 3), что в целом суточный ход температур был изменен, экстремальные уменьшения концентрации электронов N_mF2 в максимуме слоя F2 сопровождалось заметным увеличением температур электронов на всем диапазоне исследуемых высот 200–400 км. Так 22 декабря в 02:30 T_e увеличилась на высоте 200 км с 671 до 1475 К, на 250 км с 852 до 1574 К, на 300 км с 1041 до 1662 К, на 350 км с 1173 до 1772 К и на 400 км с 1266 до 1906 К. Увеличение температуры T_i было не таким существенным и было равно следующим значениям: на 200 км — 829 К (667 К при магнитоспокойных условиях), на 250 км — 966 К (817 К), на 300 км — 1043 К (954 К), на 350 км — 1087 К (1045 К) и на 400 км — 1158 К (1093 К). Во время увеличения концентрации N_mF2 около полудня значения температур электронов T_e были несколько меньшими, чем значения 2010 г.: меньше на 100–250 К на высотах 200–300 км и на 200–400 К на высотах 350–400 км. Температура ионов T_i слабо изменилась: после 13:00 стала превышать на несколько десятков К значения контрольного дня, а после 13:45 с высоты 300 км и выше увеличение составляло 100–200 К.

23 декабря поведение температур было аналогичным. В 02:30, когда уменьшение N_mF2 в 4.9 раза сопровождалось нагревом плазмы, значения T_e и T_i были приблизительно такими же, как и 22 декабря 2016 г. в 02:30. Околополуденное увеличение N_mF2 также сопровождалось уменьшением T_e и увеличением T_i по сравнению с контрольным днем.

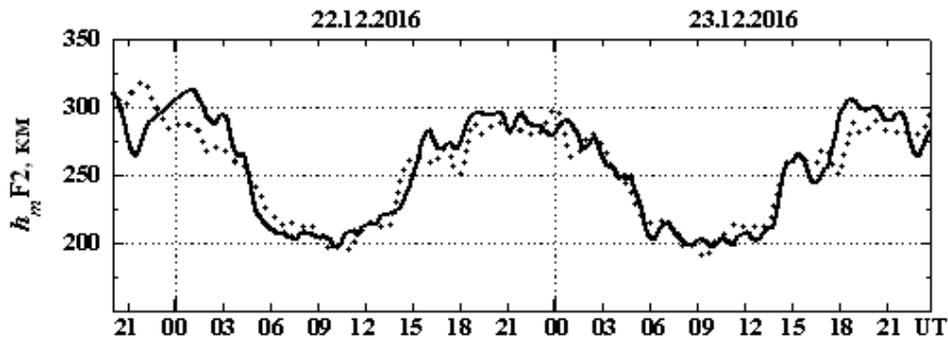


Рис. 2. Временные вариации высоты максимума слоя F2 h_mF_2 с 21 по 23 декабря 2016 г. (линия) и в контрольный день 22 декабря 2010 г. (точки)

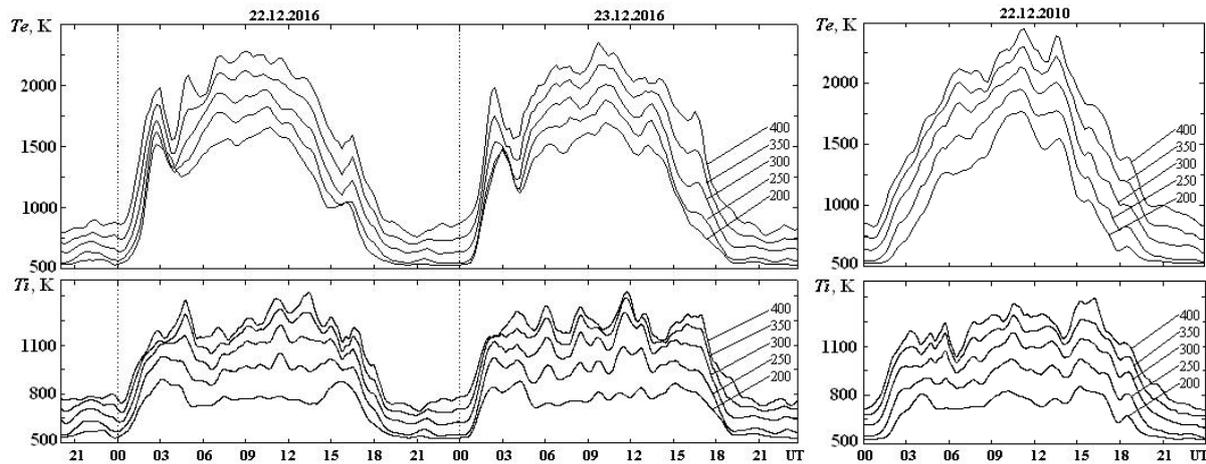


Рис. 3. Временные вариации температур электронов T_e и ионов T_i с 21 по 23 декабря 2016 и 22 декабря 2010 г. на фиксированных высотах

Выводы

Анализируя полученные результаты наблюдения, можно сказать, что умеренная магнитная буря 21 декабря 2016 г. повлияла на суточные вариации параметров ионосферной плазмы, особенно по завершению главной фазы бури и в последующие ночные часы измерений. Существенные изменения проявились в суточных вариаций критических частот (соответственно концентрации электронов максимуме слоя F2) и в температурах плазмы. Ночной нагрев плазмы в средних широтах наблюдается довольно редко и характерен преимущественно во время сильных магнитных бурь [Григоренко и др., 2007]. Причиной увеличения T_e мог послужить джоулевый нагрев за счет проникновения магнитосферных электрических полей в средние широты, выпадение энергичных частиц и, соответственно, усиление ионосферных динамо-токов, уменьшение охлаждения электронов при низких значениях N . Этими же процессами можно объяснить и рост T_i .

Список литературы

- Данилов А.Д. Реакция области F на геомагнитные возмущения (обзор) // Гелиогеофизические иссл. 2013. № 5. С. 1–33.
- Черногор Л.Ф., Домнин И.Ф. Физика геокосмических бурь. Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2014. 407 с.
- Григоренко Е.И., Таран В.И., Черногор Л.Ф. и др. Аномальная ионосферная буря 21 марта 2003 г.: результаты наблюдений на Харьковском радаре некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 4. С. 4–20.
- 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.