

УДК 550.388.

**НАБЛЮДЕНИЯ УМЕРЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ БУРИ 20–21 ЯНВАРЯ 2010 г.
НА ХАРЬКОВСКОМ РАДАРЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

И.Ф. Домнин, С.В. Харитоновна, Л.Ф. Черногор

**OBSERVATIONS OF THE MODERATE IONOSPHERIC STORM
ON THE KHARKIV INCOHERENT SCATTER RADAR ON JANUARY 20–21, 2010**

I.F. Domnin, S.V. Kharytonova, L.F. Chernogor

Приведены результаты анализа вариаций параметров геокосмической плазмы в период весьма умеренной магнитной бури 20–21 января 2010 г. Магнитная буря сопровождалась ионосферным возмущением с отрицательной фазой. Найдены количественные показатели возмущений.

Analysis results of variations of ionospheric plasma parameters for the moderate magnetic storm on January 20–21, 2010 are presented. The magnetic storm was accompanied by ionospheric storm with negative phase. Numerical indices of perturbations are received.

О воздействии геокосмических бурь (ГБ) на технические, природные и биологические объекты известно давно. В результате ГБ могут возникнуть сбои в работе систем навигации и радиосвязи, средств телекоммуникации, мощных энергосистем и др. По существу, каждая буря является индивидуальной. Классификация бурь проводится по их интенсивности, характеру и величине относительных возмущений параметров среды [Григоренко и др., 2003, 2007а, б; Chernogor et al., 2007].

Умеренные ионосферные бури возникают значительно чаще, чем сильные, но их эффекты остаются малоизученными.

Целью работы является изложение результатов наблюдений вариаций параметров динамических процессов в ионосфере в течение 20–21 января 2010 г.

Наблюдения за поведением основных параметров ионосферной плазмы проводились на харьковском радаре некогерентного рассеяния, расположенном в обсерватории Института ионосферы.

Данная магнитная буря (МБ) интересна тем, что она имела место вскоре после продолжительного минимума солнечной активности. Примерно в 15:00 UT 20 января B_z -компонента межпланетного магнитного поля резко повернула к югу и достигла величины -8.3 нТл. В этот период начали возрастать скорость солнечного ветра (до 500 км/с), температура (до $2.7 \cdot 10^5$ К), концентрация (до $36 \cdot 10^6$ м $^{-3}$) и динамическое давление солнечного ветра (до 10 нПа). Результатом этих событий стало возникновение весьма умеренной МБ [Григоренко и др., 2007б] 20–21 января 2010 г. с экстремальными значениями индексов $AE=680$ нТл, $D_{st}=-38$ нТл и $K_p=4$. Главная фаза наблюдалась с 13:30 до 22:30 UT 20 января, а фаза восстановления – до конца периода измерений.

На рис. 1 изображены временные вариации критической частоты (f_0F2) и электронной концентрации (N_mF2) в максимуме слоя F2 в период МБ. 20 января, когда началась МБ, отмечено уменьшение N_mF2 до 30 %, а во время отрицательной фазы возмущения – до 34 %. Двадцать первого января уже наблюдается восстановление N_mF2 .

Во время ионосферного возмущения (ИВ) в ночь с 20 на 21 января на высотах 200–250 км (где находился в этот период максимум слоя F2) наблюдалось уменьшение концентрации электронов N_e

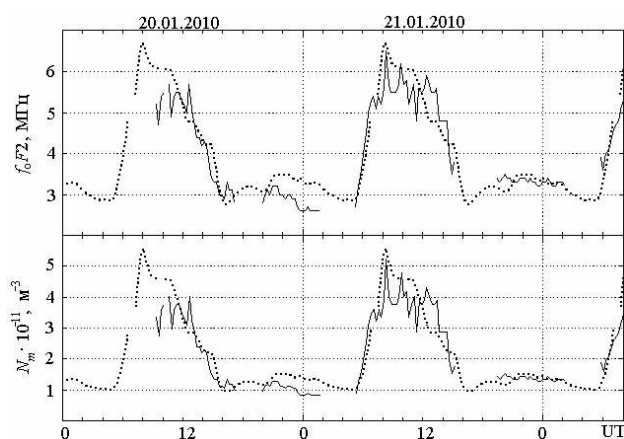


Рис. 1. Вариации f_0F2 и N_mF2 в течение 20–21 января 2010 г. (линия) и в контрольный день (точки), полученные при усреднении данных за 13–14 декабря 2009 г.

до 32–37 %. А 21 января уже началось постепенное восстановление, которое продолжалось до конца измерений.

Уменьшение N_e сопровождалось незначительным нагревом плазмы (рис. 2). Ночью с 20 на 21 января на высоте 200 км увеличение T_e находилось в пределах погрешности, а максимальное увеличение составило 200 К на высоте 750 км. Видно, что отрицательное ИВ отразилось и на поведении T_i , но ее изменение находилось в пределах погрешности.

Результаты расчетов энергии Q/N_e , подводимой к электрону в единицу времени, и составляющих потерь энергии электронного газа в процессе теплообмена с ионами L_{ei}/N_e и нейтралами L_c/N_e представлены на рис. 3. При расчетах использовались значения T_e и T_i , N_e , полученные методом НР. Температура нейтралов T_n и концентрация атомов кислорода $N(O)$ взяты из модели NRLMSIS-00 [28].

Вклад составляющих L_{ei}/N_e и L_c/N_e в процесс охлаждения электронного газа различался для разных суток (см. рис. 3). Двадцать первого января, когда уже закончилась главная фаза МБ и началась фаза восстановления, вблизи местного полудня наблюдалось небольшое уменьшение L_c/N_e (до 1.2 раз). В результате этого Q/N_e тоже немного уменьшилась на всех высотах. Тогда же в дневное время на высоте $h=250$ км превышение составляющей L_c/N_e над L_{ei}/N_e уменьшилось по сравнению с предыдущим и

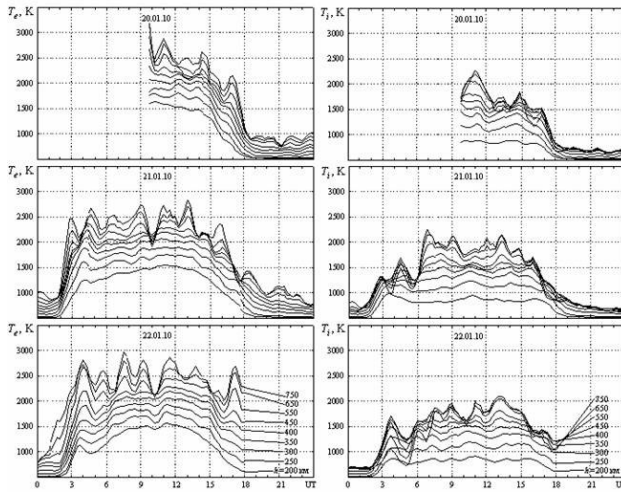


Рис. 2. Сравнение поведения T_e (слева) и T_i (справа).

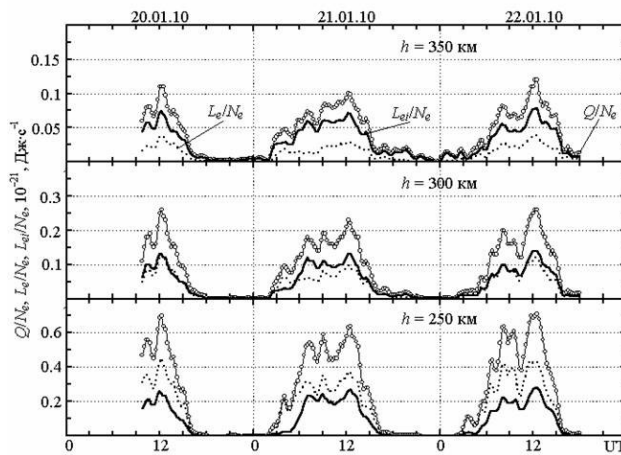


Рис. 3. Временные вариации Q/N_e , L_{ci}/N_e и L_c/N_e .

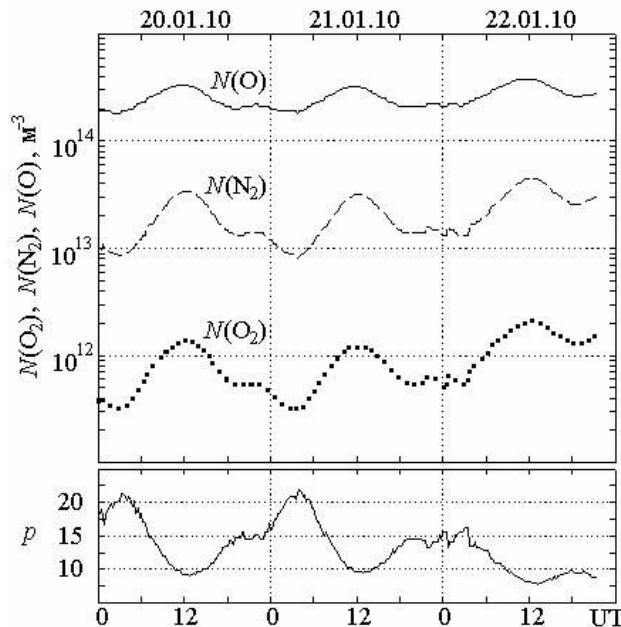


Рис. 4. Временные вариации концентрации N_2 , O_2 , O и параметра p ($h=300$ км).

последующим днями (такое преобладание характерно для условий невысокой солнечной активности, когда разность $(T_e - T_i)$ большая и при малых значениях N_e). В это же время на высоте $h=300$ км со-

ставляющие L_{ci}/N_e стали преобладать над L_c/N_e , хотя 20 и 22 января вклад этих двух механизмов был практически равен за счет падения с высотой $N(O)$ и увеличения L_{ci}/N_e . На высоте $h=350$ км составляющая L_{ci}/N_e явно преобладала над составляющей L_c/N_e , только 21 января все параметры были немного меньшими, чем в остальные дни.

Нейтральная атмосфера оказывает влияние на поведение ионосферной плазмы как в спокойных, так и в возмущенных условиях. На рис. 4 приведены вариации концентрации основных компонентов нейтральной атмосферы $N(N_2)$, $N(O)$, $N(O_2)$ – молекулярного азота, атомарного и молекулярного кислорода соответственно на высоте 300 км в течение 20–22 января 2010 г. Здесь также приведены временные вариации параметра $p=N(O)/(N(N_2)+N(O_2))$, характеризующего соотношение процессов образования и потерь ионов O^+ и пропорционального N_e в F-области.

Во время отрицательного ИВ отмечалось падение $N(N_2)$ и $N(O_2)$ на 13 % и 11 % соответственно. Результатом этих процессов стало увеличение параметра p на 7 % в это же время. На протяжении этого периода $N(O)$ изменилась очень слабо.

Результаты расчета T_n показали, что как во время отрицательной фазы возмущения, так и после нее значения T_n оставались практически неизменными.

Выводы

1. Обнаружено, что 20–21 января 2010 г. над Харьковом наблюдалось слабое отрицательное ИВ с максимальным отклонением критической частоты до 17 %.

2. Выявлено уменьшение N_{mF2} до 34 % в период отрицательного возмущения, в начале МБ – до 30 %, а 22 января уже началась фаза восстановления.

3. Изменения T_e , T_i и T_n находились в пределах погрешности. Максимальное увеличение T_e на 200 К отмечалось на высоте 750 км.

4. Концентрации N_2 и O_2 во время слабого отрицательного возмущения уменьшились примерно на 13 % и 11 % соответственно, а параметр p увеличился приблизительно на 7 %.

5. Расчеты теплового режима ионосферы показали преобладание L_{ci}/N_e над L_c/N_e днем 21 января на высоте $h=300$ км. Вклад двух механизмов охлаждения электронов сравнялся 22 января. Двадцать первого января скорости Q/N_e и теплообмена электронов с ионами и атомами кислорода уменьшились.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Григоренко Е.И., Лысенко В.Н., Таран В.И., Черногор Л.Ф. Результаты радиофизических исследований процессов в ионосфере, сопровождавших сильнейшую геомагнитную бурю 25 сентября 1998 г. // Успехи совр. радиоэл. 2003. № 9. С. 57–94.

Григоренко Е.И., Лысенко В.Н., Таран В.И., Черногор Л.Ф. Анализ и классификация ионосферных бурь в средних широтах Европы. 1 // Космічна наука і технологія. 2007а. Т. 13, № 5. С. 58–76.

Григоренко Е.И., Лысенко В.Н., Таран В.И., Черногор Л.Ф. Анализ и классификация ионосферных бурь в

средних широтах Европы. 2 // Космічна наука і технологія. 2007б. Т. 13, № 5. С. 77–96.

Chernogor L.F., Grigorenko Ye.I., Lysenko V.N., Taran V.I. Dynamic processes in the ionosphere during magnetic storms from the Kharkov incoherent scatter radar observations // Int. J. Geomagn. Aeron. 2007. V. 7. GI3001. doi:10.1029/2005GI000125.

Институт ионосферы НАН и МОН Украины, Харьков