

17-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»
10-14 сентября 2007г., Севастополь, Украина

КрыМиКо 2007 CriMiCo

September 10-14, 2007, Sevastopol, Ukraine
17th International Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology»

ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В СРЕДНЕШИРОТНОЙ D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ В ПЕРИОД МАГНИТНОЙ БУРИ В ДЕКАБРЕ 2006 г.

Гоков А. М., Тырнов О. Ф.

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
г. Харьков, пл. Свободы 4, Украина, 61077
тел.: 8057-7051251, e-mail: Alexander.M.Gokov@univer.kharkov.ua

Аннотация – Экспериментально с использованием метода частичных отражений исследованы вариации концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы в декабре 2006 г в период магнитной бури. Проведено сравнение с результатами, полученными в декабре до и после магнитной бури в невозмущенных условиях. Обнаружен квазипериодический рост более, чем на 50 – 100 % концентрации электронов в D-области в течение десятков минут с периодами $T \geq 30 - 60$ мин. На основе гипотезы о высыпании высокоэнергичных электронов и протонов выполнены оценки энергетических характеристик потоков заряженных частиц, сделаны изменения скорости ионизации.

I. Введение

Реакция среднеширотной D-области (ниже 100 км) ионосферы на магнитные бури (МБ) носит сложный и неоднозначный характер и изучена недостаточно (см., например, [1–10]). Обусловлено это, в первую очередь, сложными физико-химическими процессами, протекающими в этой области ионосферы, а также эпизодичностью прямых измерений с помощью ракетных методов и сложностями при использовании косвенных дистанционных методов.

В настоящей работе в продолжение исследований [2, 3, 8] приведено изложение результатов экспериментальных исследований методом частичных отражений (ЧО) вариаций концентрации электронов $N(z)$ в среднеширотной D-области во время сильной магнитной бури в декабре 2006 г. и сравнение их с результатами, полученными до и после МБ в невозмущенных условиях.

II. Основная часть

Экспериментальные исследования выполнены вблизи г. Харькова (географические координаты: широта $49^\circ 38'N$, долгота $36^\circ 20' E$, магнитное наклонение $66^\circ 36,8'$, магнитное склонение $6^\circ 19,6'$, возвышение над уровнем моря 156 м) на аппаратуре [11] с использованием метода ЧО. Измерения амплитуд ЧО сигналов и радишумов выполнены в декабре 2006 г. в течение 13 дней циклами до, в период и после МБ. По этим данным получены высотно-временные зависимости $N(z, t)$. Важно также, что эксперименты проводились и в периоды прохождения утреннего и вечернего солнечного терминаторов (УСТ и ВСТ соответственно).

Сильной МБ 14–15 декабря (максимальное значение индекса геомагнитной активности 15 декабря составляло $A_p = 104$) предшествовали процессы в области видимой части Солнца 930 (S05, L = 010). Основные особенности высотно-временных вариаций $N(z, t)$ в рассматриваемый период заключаются в следующем:

1. Почти во всех экспериментах в невозмущенных условиях в светлое время суток сохранялась отчетливая зависимость концентрации электронов от зенитного угла Солнца $N(z, \chi)$.

2. Во время геомагнитных возмущений днем также прослеживалась зависимость $N(z, \chi)$. Значения $N(z)$ при этом превышали соответствующие значения концентрации электронов в невозмущенные дни.

3. Характерные существенные вариации ЧО сигналов, шумов и $N(z, t)$ в период прохождения ВСТ, начинались за десятки минут до момента ВСТ и продолжались в течение десятков–сотен минут после; периоды вариаций были, как правило, $T \approx 30-50$ мин; величина возмущений $N(z, t)$ – порядка и более 100%. В период МБ вариации были более выраженными, чем в невозмущенные дни.

4. В темное время суток в период МБ и в течение нескольких дней после нее эпизодически наблюдался рост $N(z, t)$ на 50–150% длительностью в десятки – сотни минут.

5. В возмущенные дни после прохождения УСТ характерный рост значений концентрации электронов начинался примерно на 10–50 мин раньше, чем в невозмущенные дни.

6. Наличие квазипериодических вариаций $N(z, t)$ с периодом $T \approx 60$ мин и амплитудой более 100% в светлое время суток.

7. В период МБ в течение десятков–сотен минут на высотах $z < 72$ км наблюдались интенсивные ЧО сигналы. Ионизация в этот период времени, по видимому, в значительной мере контролировалась потоками высыпавшихся протонов. Оценки на основе экспериментальных данных показали, что плотность потоков составляла $p \sim 10^7 - 10^8 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

8. В периоды МБ и в ряде экспериментов после МБ в темное время суток почти во всей D-области ионосферы наблюдались эпизодические и квазипериодические вариации $N(z, t)$ порядка 100% и более в течение десятков – сотен минут с $T \approx 40-50$ мин. Вероятно, такие возмущения $N(z, t)$ вызваны потоками высыпавшихся заряженных частиц. Оценки показали, что плотность потоков была $p \sim 10^8 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Наблюдаемое в рассматриваемых экспериментах в период магнитной бури и после нее увеличение N может быть вызвано ионизацией ионосферной плазмы в D-области средних широт потоками высыпавшихся из магнитосферы энергичных заряженных частиц. В пользу гипотезы о высыпании заряженных частиц в среднеширотную ионосферу говорит и тот факт, что ранее (см., например, [2, 8]) мы неоднократно визуальнo наблюдали (в основном в ночные часы) во время МБ характерное, – типа «полярного» сияния, – свечение атмосферы (имеются фотоснимки таких явлений) длительностью 20 – 60 мин.

Для рассматриваемых экспериментов как в утренние, так и в вечерние часы прохождения терминаторов сопровождалась квазипериодическими вариациями $N(z, t)$ почти всегда. Величина отклонений концентрации от фоновых значений составляла 10–100% (в возмущенных условиях величина таких от-

клонений, как правило, в 1,2–2,5 раза больше, чем в невозмущенных).

Характерно также, что значения отношения скоростей ионизации в возмущенных и невозмущенных условиях q/q_0 достаточно большие, они составляют для рассмотренных экспериментов $q/q_0 = 5–46$. Причина таких изменений $N(z,t)$ пока неясна. Естественно, что они связаны с изменением термодинамического режима. Но при этом недостаточно изучена роль волновых процессов и высыпаний высокоэнергичных частиц.

III. Заключение

Приведенные результаты экспериментальных исследований методом частичных отражений вариаций концентрации электронов во все времена суток, включая переходные периоды, в среднеширотной D-области ионосферы во время магнитных бурь в декабре 2006 г. и сравнение их с результатами, полученными до и после магнитных бурь в невозмущенных условиях, позволили установить новые особенности и подтвердить возможность и роль высыпаний высокоэнергичных электронов и протонов. Сведения о вызванном бурей сильным возмущении плотности электронов в среднеширотной нижней ионосфере представляют большой интерес ввиду малочисленности подобных исследований.

Авторы благодарят Гритчина А.И. за помощь в проведении экспериментальных исследований.

IV. Список литературы

- [1] Беликович В.В., Бенедиктов Е.А., Вяхирев В.Д., Гришкевич Л.В. Ночная ионизация D-области ионосферы умеренных широт в период магнитной бури. Геомагнетизм и аэронавтика, 1980, **20**, с. 547.
- [2] Гокон А.М., Тирнов О.Ф. Вариации концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы в период магнитной бури 7–11 ноября 2004 г., обусловленные утренним солнечным терминатором. Космічна наука і технологія, 2006, **12**, с. 69.
- [3] Гокон А.М., Черногор Л.Ф. Вариации электронной концентрации в среднеширотной D-области ионосферы во время магнитных бурь. Космічна наука і технологія, 2005, **11**, с. 12.
- [4] Кнут Р., Вюрцберг И. Ионосферные возмущения на средних широтах, вызванные частицами высоких энергий. Геомагнетизм и аэронавтика, 1976, **16**, с. 666.
- [5] Кнут Р., Федорова Н.И. Международные координированные измерения геофизических эффектов солнечной активности в верхней ионосфере. 4. Высыпание энергичных частиц во время бухтообразного возмущения среднеширотной D-области ионосферы. Геомагнетизм и аэронавтика, 1977, **17**, с. 854.
- [6] Лаштовичка Я., Федорова Н.И. Международные координированные измерения геофизических эффектов солнечной активности в верхней ионосфере. 3. Необычное среднеширотное ионосферное возмущение корпускулярного происхождения. Геомагнетизм и аэронавтика, 1976, **16**, с. 1018.
- [7] Belrose J.S., Thomas L. Ionization changes in the middle latitude D region associated with geomagnetic storms. J. Atmos. Terr. Phys., 1968, **30**, p. 1397.
- [8] Gokov A.M., Tyrnov O.F. The Ionospheric D-Region over Kharkiv during the 14–24 April 2002 Magnetic Storm. Telecommunications and Radio Engineering, 2005, **63**, p. 63.
- [9] Potemra T.A., Zmuda A.J. Precipitating Energetic Electrons as an Ionization Source in the Midlatitude Nighttime D Region. J. Geophys. Res., 1970, **75**, p. 7161.
- [10] Peter W.B., Chevalier M.W., Inan U.S. Perturbations of midlatitude subionospheric VLF signals associated with lower ionospheric disturbances during major geomagnetic storms. J. Geophys. Res., 2006, **111**, A03301, doi: 1029/2005JA011346, p. 1.

- [11] Tyrnov, O.F., K.P. Garmash, A.M Gokov, et al. The radio-physical observatory for remote sounding of the ionosphere. Turkish J. of Physics, 1994, **18**, p. 1260.

THE FEATURES OF THE ELECTRON DENSITY VARIATIONS IN THE IONOSPHERIC D-REGION NEAR KHARKIV DURING THE MAGNETIC STORM IN DECEMBER, 2006

Gokov A. M., Tyrnov O. F.

V. Karazin Kharkiv National University
Svoboda Sq. 4, Kharkiv, 61077, Ukraine

Ph.: 8057-7051251,

e-mail: Alexander.M.Gokov@univer.kharkov.ua

Abstract – The changes of the electron density in the middle latitude ionospheric D-region during the magnetic storms in December, 2006 are investigated by the partial reflection technique. The quasi-periodic (with periods of $T \geq 30–60$ minutes) 50–100% increase of electron density during tens of minutes was found. The estimations of the ionization rate of change were made. On the basis of the experimental data of electron density changes over the electron and proton precipitation periods, corresponding fluxes were estimated, being $p \sim 10^8 \text{ m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$.

I. Introduction

The results of experimental investigations by the partial reflection technique (PR) of the electron density variations, $N(z)$, in the middle latitude D-region before the magnetic storm (MS) in December, 2006, during the MS and after the MS are considered.

II. Main Part

Experimental investigations are made near Kharkiv (geographical coordinates: latitude - 49° 38'N, longitude - 36° 20' E) by the partial reflection technique. The measurements of the partial reflection amplitudes and radio noises are made in December, 2006 during 13 days. The height-temporal dependences of $N(z,t)$ are resulted from these data. The morning and evening sun terminator (MST and EST) were passing over the site of the PR facilities. The processes within the area of visible part of the Sun, 930 (S)%, L=010), preceded the strong magnetic storm on December, 14–15.

The increase of N in the period of MS and during several days after the MS was registered. This increase may be caused by ionization of ionospheric plasma in the middle latitude D-region by the energetic charged particles fluxes precipitating from the magnetosphere.

It is worth pointing out that both MST and EST passages were accompanied by quasi-periodic N variations in the most of experiments. The above mentioned N increase is more than ~10–100% of N -magnitude; at the disturbed conditions this increase, as a rule, is much more larger than that at the undisturbed conditions.

The ratio of the rates of ionization change in the disturbed and undisturbed periods, q/q_0 , is large enough: for the considered experiments $q/q_0 = 5–46$. So far the nature of such $N(z,t)$ changes is not clear.

III. Conclusion

The obtained results of experimental investigations by the partial reflection technique of the electron density variations in the middle latitude ionospheric D-region during magnetic storms in December, 2006 and the comparison with the similar results obtained before and after magnetic storms in the undisturbed periods, allowed to set new important features and to confirm the possibility and the role of high-energetic electrons and protons precipitation. The data about the electron density strong perturbations in the middle latitude lower ionosphere caused by the magnetic storm may be of interest because of lack of such investigations.