

to select Dst-part, which is the most approached the field created by the ring current DR, using the 1-min ground magnetometer H-component measurement data. The substorm contribution is excepted following the difference of the latitude depending on the Dst-variation and the substorm amplitude. It is found that the Dst-variation has more amplitude on the daily earth side, not on the nightly one as it was supposed before. For some storms the positive Dst-variation

in the northern Europe are observed. The storm field division on the external and internal parts is achieved by means of the sphere harmonic analysis. In Africa, the internal field part equals about a half of the external part, while in the Australian-Far Eastern region these fields are equal, which points to a high mantle conductivity in the region.

УДК 550.388, 621.371

© В. Н. Лысенко, Ю. В. Черняк

Інститут іоносфери Національної академії наук України і Міністерства освіти і науки України, Харків

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ВО ВРЕМЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИОНОСФЕРЕ

Під час сильної магнітної бурі 30 травня 2003 р. на радарі некогерентного розсіяння (НР) Інституту іоносфери протягом 1.5 год в діапазоні висот 700—1200 км спостерігалася аномальна зміна спектру розсіяних іоносферною плазмою сигналів. Такий ефект на харківському радарі НР зареєстровано вперше. Наведено результати спостережень і методика вимірювань параметрів збуреної іоносфери.

ВВЕДЕНИЕ

Диагностика и прогнозирование состояния возмущенной ионосферы во время геомагнитной бури являются актуальными направлениями физики ионосферы. Ее исследование в спокойном и возмущенном состоянии методом некогерентного рассеяния (НР) радиоволн позволяет определить экспериментально основные параметры ионосферной плазмы, такие как электронная концентрация N_e , ионная T_i и электронная T_e температуры, скорость дрейфа V_d ионосферной плазмы, ионный состав по измеренным корреляционным либо спектральным функциям НР-сигнала. Методики обработки НР-сигнала обычно не отличаются для спокойной и возмущенной ионосфер, так как связь между ними и спектром тепловых флуктуаций электронной плотности не изменяется в условиях естественных возмущений. Целью работы является изложение методики измерения параметров возмущенной ионосферы и аномальных результатов наблюдений, полученных на Харьковском радаре впервые.

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ СИГНАЛА

Радар НР Института ионосферы [3] находится в точке с географическими координатами 49.6° N;

36.3° E, геомагнитными координатами 45.7° N, 117.8° E. Во время ионосферной бури его параметры составляли: рабочая частота $f_0 = 158$ МГц, импульсная мощность 2.4 МВт, длительность зондирующего импульса (ЗИ) $T_{SI} = 790$ мкс, внутриимпульсная модуляция не применялась. Ширина диаграммы направленности зенитной двухзеркальной антенны Кассегрена диаметром 100 м равна 1°, уровень боковых лепестков в области $\pm 30^\circ$ не превышает -25 дБ. Во время измерений радар работал в режиме круговой поляризации. Радиоприемный тракт обеспечивал выделение синфазной (I) и квадратурной (Q) составляющих сигнала на выходах синхронных детекторов. Полоса пропускания приемного тракта $2\Delta f = 19$ кГц. Применялись три системы обработки — двухканальные программируемые корреляторы. Период квантования сигнала по времени и задержки составлял 30 мкс.

Оценки действительной $R_{Re}(t, \tau)$ и мнимой $R_{Im}(t, \tau)$ составляющих комплексной корреляционной функции (КФ) НР-сигнала, позволяющих компенсировать рост дисперсии с увеличением τ_k , нормированной КФ $r(t, \tau)$ и спектральной функции следующие:

$$R_{IS}^*{}_{Re,Im}(t_j, \tau_k) = \frac{1}{P_N} \frac{1}{b-a} \int_a^b [R_{Re,Im}(x, \tau_k)]^* dx,$$

$$r^*(t_j, \tau_k) = R_{IS}^*(t_j, \tau_k) / q^*(t_j) K(t_j, \tau_k),$$

$$S(t_j, f_i) = 1 + 2 \sum_{k=1}^{K_{\max}} [r_{\text{Re}}(t_j, \tau_k) \cos 2\pi f_i \tau_k - r_{\text{Im}}(t_j, \tau_k) \sin 2\pi f_i \tau_k].$$

Здесь $a = t_j - m\Delta\tau - \tau_k, b = t_j + m\Delta\tau, m = 0, 1, 2, \dots, t_j$ — время запаздывания ($t_j = 2h/c, c$ — скорость света), τ_k — задержка КФ, $[R(t_j, \tau_k)]^*$ — оценка авто или взаимной КФ парной выборки, $K_{\max} = 19, q(t_j) = R_{\text{ISRe}}(t_j, 0)/R_{\text{N}}(0)$ — отношение сигнал/шум, $K(t_j, \tau_k)$ — коэффициент коррекции, который учитывает длительность и форму ЗИ и изменение рассеянной мощности в импульсном объеме [2], P_{N} — мощность шума, равная $0.5[R_{\text{NI}}(0) + R_{\text{NQ}}(0)]$ для действительной составляющей или $[R_{\text{NI}}(0) + R_{\text{NQ}}(0)]^{1/2}$ для мнимой. При вычислении огибающей коэффициента корреляции ее знак обычно определяется знаком действительной составляющей, так как отношение $r_{\text{Im}}(t_j, \tau)/r_{\text{Re}}(t_j, \tau) \ll 1$. Скорость дрейфа ионосферной плазмы V_d определяется по частоте Доплера

$$V_d^*(t_j) = \frac{\lambda}{2\pi K_{\max}} \sum_{k=1}^{K_{\max}} \Omega_k, \quad \Omega_k = \Delta\varphi_1(t_j, \tau_k)/\tau_k, \quad (1)$$

(где $\Delta\varphi_1(t_j, \tau_k)$ — приращение фазы при $\tau = \tau_k$ относительно фазы при $\tau = 0$) или

$$\Omega_k = \Delta\varphi_2(t_j, \tau_k)/\Delta\tau_k. \quad (2)$$

Здесь $\Delta\varphi_2(t_j, \tau_k)$ — приращение фазы при $\tau = \tau_{k+1}$ относительно фазы при $\tau = \tau_k, \text{tg}\varphi = r_{\text{Im}}(t_j, \tau)/r_{\text{Re}}(t_j, \tau)$. Для НР-сигнала применение выражения (1) дает меньшую статистическую погрешность и применяется для $V_d < 250$ м/с.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

На рис. 1 приведены оценки спектров тепловых флуктуаций электронной плотности, полученных по измеренным КФ НР-сигнала во время сильной магнитной бури 29—31 мая 2003 г., которой предшествовали рентгеновские вспышки на Солнце и выбросы коронарной массы. Обычно наблюдаемый спектр рассеивающей среды имеет два одинаковых по величине симметричных максимума, соответствующих ионно-акустическим волнам, бегущим по направлению к наблюдателю и от него. Начиная с 1 ч 12 мин, на дальностях 900—1300 км, где до этого отношение сигнал/шум не превышало 0.03—0.05, появился более мощный, неустойчивый сигнал с узкополосным спектром. С 1 ч 30 мин до 2 ч 15 мин наблюдался устойчивый (неисчезающий) квазикогерентный сигнал, по своим корреляционным, спектральным и временным характеристикам отличный как от НР-сигнала, так и от сигналов, отраженных от летательных аппаратов. При этом максимальное значение мнимой составляющей КФ сигнала (на рис. 1 не показана) увеличилось в 5—10 и более раз, что свидетельствовало о большой радиальной скорости. Обработка такого сигнала по обычно применяемой методике оказалось некорректной, так как для интервала дальностей 800—1300 км нельзя применять увеличивающейся с высотой сглаживание высотных зависимостей значений КФ, выражение (1) дает в два раза меньшее значение скорости V_d , знак огибающей КФ нельзя считать соответствующим знаку действительной составляющей, так как абсолютные значения обеих составляющих соизмеримы. Обычно применяемая методика отбраковки данных, пораженных когерентными отражениями, может скрыть такие эффекты.

Из результатов (рис. 1) специальной обработки измеренных комплексных КФ (ограничено сглажи-

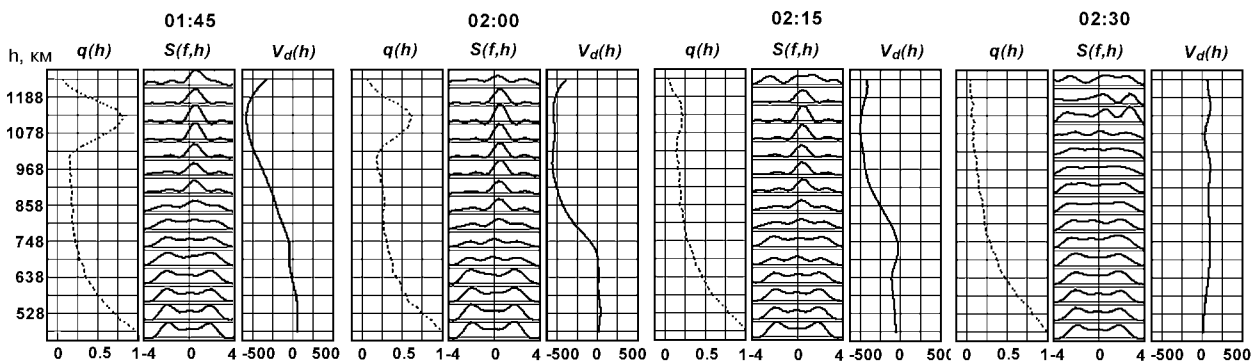


Рис. 1. Измеренные характеристики (отношение сигнал/шум $q(h)$, спектральная плотность мощности $S(f, h)$, скорость дрейфа плазмы $V_d(h)$) в период с 1:45 по 2:30 местного времени 30.05.2004 г.

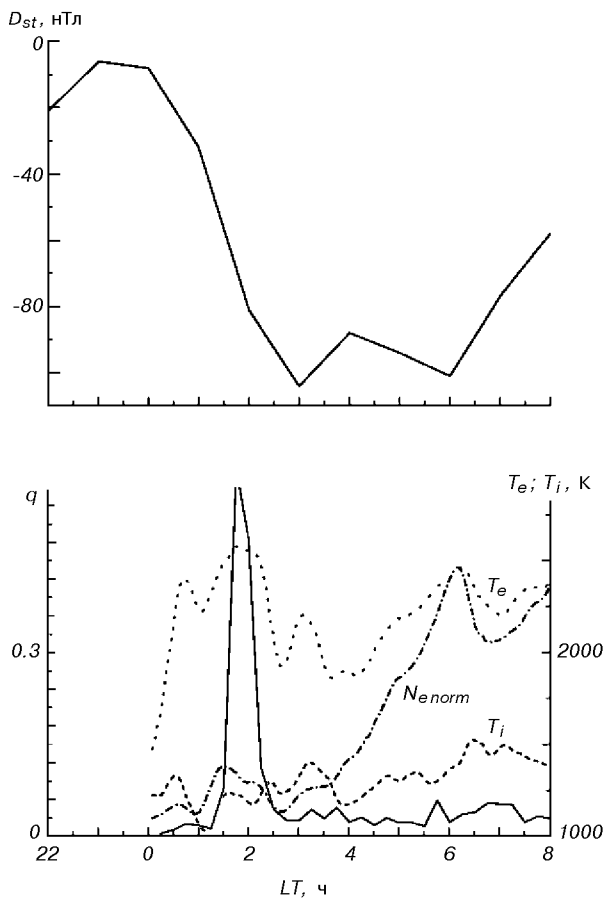


Рис. 2. Временные вариации D_{st} индекса и отношения q сигнал/шум на высоте 1100 км, а также измеренных параметров ионосферной плазмы ($N_{e\text{norm}}$, T_e , T_i) на высоте 308 км 30.05.2003 г. Время местное

вание высотных зависимостей $R_{IS}(h, \tau_r)$; учтено, что значения действительной и мнимой составных соизмеримы по модулю; для вычисления скорости дрейфа применялось выражение (2) видно, что выше 800 км сигнал состоит из двух составляющих — некогерентной и квазикогерентной. Время накопления для одного интегрального сеанса измерений составляет 15 мин (получено при суммировании 15 измеренных 1-мин сеансов), указанное время соответствует концу сеанса. Измеренная корреляционным методом скорость достигает значения -500 м/с, что соответствует рассчитанным по КФ спектрам. На спектрах с высот 1133 и 1188 км, полученных в интервале времени 2 ч 15 мин — 2 ч 30 мин, когда квазикогерентный сигнал значительно уменьшился, видно, что в спектре НР-сигнала максимумы отличаются по величине. Отме-

тим, что корректные температуры заряженных частиц без разделения наблюдаемых эффектов получить затруднительно, так как полученные КФ сильно отличаются от применяемых теоретических КФ.

Представленные результаты получены во время главной фазы магнитной бури. Индекс $Kp = 8$.

На рис. 2 приведены временные вариации D_{st} -индекса, отношения q сигнал/шум на высоте 1100 км 30 мая 2003 г., ионная и электронная температуры на высоте 308 км. Время киевское. Видно, что необычное эхо наблюдалось во время резкого уменьшения D_{st} -индекса примерно от -40 до -130 нТл. Отношение сигнал/шум на высоте около 1100 км зарегистрировано на порядок выше, чем для обычного НР-сигнала. С 1 ч до 1 ч 30 мин ночи наблюдалось увеличение электронной температуры до 2500 К. Наблюдался также рост ионной температуры и электронной концентрации. Обычно в это время температура ионов равна температуре электронов. При такой космической погоде возможно смещение к экватору главного ионосферного провала, южная граница аврорального овала может расширяться до геомагнитных широт $51^\circ-45^\circ$ [1]. 29 мая спутником GOES-8 (W75) зарегистрированы потоки протонов и электронов с высокими энергиями. В работе [4] показано, что во время сильной магнитной бури создаются условия для образования неоднородностей электронной концентрации, вытянутых вдоль геомагнитного поля и расположенных в области E на высоте около 110 км. В этом случае прием возможен боковыми лепестками зенитной антенны. Измеренный нами низкочастотный спектр наиболее соответствует области нижней ионосферы. Наблюдаемые неодинаковые максимумы спектральной функции НР-сигнала может быть вызван дрейфом между ионами и электронами, т. е. сильными токами в внешней ионосфере. Подобное когерентное эхо дважды регистрировались на среднеширотном Иркутском радаре в 1998 и 2000 гг.

Выводы

Во время сильной геомагнитной бури получены аномальные квазикогерентные сигналы с наклонных дальностей 800—1300 км. Для обработки таких сигналов обычная методика мало пригодна. Температуры заряженных частиц, электронная концентрация, скорость ионного дрейфа существенно искажаются. В то же время полученные результаты могут дать дополнительную информацию о процессах в ионосфере во время магнитных бурь.

1. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Пуляев В. А. та ін. Динамические процессы в ионосфере во время геокосмиче-

- ской бури 30 мая и затмения Солнца 31 мая 2003 г. // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 1.—С. 12—25.
- Лысенко В. Н. Изменение вертикальной составляющей скорости дрейфа плазмы и кинетических температур в ионосфере // Геомагнетизм и аэрномия.—2001.—41, № 3.—С. 365—368.
 - Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэрномия.—2001.—41, № 5.—С. 659—666.
 - Shynnev B. G., Medvedev A. V., Nosov V. E. Ionospheric observation during July 15—16 2000 major geomagnetic storm // Abstracts of 8 joint internat. simp. «Atmospheric and ocean optics. Atmospheric Physics». — Irkutsk, 2001.—Р. 211.

SOME PECULIARITIES OF THE PROCEDURE FOR DETERMINATION OF IONOSPHERIC PLASMA PARAMETERS DURING NATURAL DISTURBANCES IN THE IONOSPHERE

V. N. Lysenko, Yu. V. Cherniak

An anomalous change of the spectrum of signals scattered by the ionospheric plasma was observed with the incoherent scatter radar of the Institute of Ionosphere during the strong geomagnetic storm on 30 May 2003. The change was observed for 1.5 h at heights from 700 to 1200 km. Such phenomenon was detected with the use of Kharkiv incoherent scatter radar for the first time. The results of the observations are presented and a procedure for determination of the disturbed ionosphere is described.

УДК 550.388+520.16+523.31+523.9:520.86

© В. П. Бурмака¹, В. И. Таран¹, Л. Ф. Черногор²

¹Інститут іоносфери Національної академії наук України і Міністерства освіти і науки України, Харків

²Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна

РАДАРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ИОНОСФЕРЕ, СОПУТСТВОВАВШИХ ПОЛЕТАМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Вивчено хвильові збурення, які супроводжували три старту ракет важкого класу з космодрому Байконур. Вплив стартів призводить до зміни характеру хвильових збурень, варіацій їхнього спектрального складу та амплітуд.

ВВЕДЕНИЕ

Эффекты, вызванные стартами ракет (СР) и полетами ракетно-космической техники, изучаются более 40 лет. Как правило, эти эффекты развиваются вдоль траектории полета аппарата. Значительно меньшее число работ посвящено исследованию возможных процессов на большом удалении от траектории. В этом случае проблематичным является само существование эффектов. Здесь с помощью метода некогерентного рассеяния (НР) предпринята попытка частично восполнить пробел в исследованиях волновых возмущений (ВВ) на удалениях около 2 тыс. км от космодромов. Радар НР расположен вблизи г. Харьков (49° 36' с. ш., 36° 18' в. д.) [6]. Основные параметры радара следующие: частота — 158 МГц, диаметр параболической антенны — 100 м, эффективная площадь антенны — около 3700 м², коэффициент усиления антенны — около 10 000, ширина основного лепестка диаграммы направленности на уровне половинной мощности около 1°, импульсная и средняя мощности радиопередающего устройства — до 3.6 МВт и 100 кВт

соответственно.

Для выявления ВВ использовалась методика, описанная нами в работе [3]. В качестве исходных выбирались высотно-временные зависимости НР-мощности $P_s(z, t)$. После удаления тренда $\langle P_s \rangle$, вычисляемого на интервале времени 60 мин, создавались массивы $\delta P_s(z, t) = P_s - \langle P_s \rangle$. Они подвергались дальнейшему анализу. Для относительных амплитуд ВВ справедливо соотношение: $\delta_N = \Delta N / N \approx \delta P_s / \langle P_s \rangle$.

Старт ракеты «Союз» 18 октября 2003 г. Целью наблюдений был поиск ВВ в утреннее время при старте сравнительно мощной ракеты на относительно небольшом удалении от места регистрации. Параметры радара обеспечивали значения отношения сигнал/шум $q = 0.1...5$ в ночное и дневное время соответственно. При этом $\delta_{Nmin} \approx 1...8\%$.

Сведения о ракете. Российская ракета «Союз» относится к тяжелым ракетам. Ее полная масса составляет 305 т, начальная тяга 4.14 МН, высота 46.1 м, низкоорбитальная полезная нагрузка 6855 кг на высоте 200 км. Параметры нулевой ступени