

УДК 550.388:551.510

В. П. Бурмака<sup>1</sup>, Л. Ф. Черногор<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут іоносфери Національної академії наук і Міністерства освіти і науки України, Харків

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

## Волновые возмущения в ионосфере в период весеннего равноденствия 2006 г.

Надійшла до редакції 13.12.07

Вимірювання на харківському радарі некогерентного розсіяння виконані в період, близький до весняного рівнодення — з 27 березня до 6 квітня 2006 р. Представлені результати аналізу хвилевих збурень в іоносфері за цей час, включаючи періоди затемнення Сонця 29 березня та магнітної бурі 4—6 квітня.

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно, Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера (ЗАИМ) представляет собой открытую динамическую нелинейную систему [6—10]. Последняя подвержена воздействию энерго- и массопотоков как «снизу», так и «сверху». Возмущения, возникающие в ней, часто имеют волновой характер.

Волновые возмущения (ВВ) изучаются уже не один десяток лет, но исследования еще далеки до завершения. Актуальность проблемы обусловлена тем, что ВВ реагируют на любые возмущения в системе ЗАИМ. ВВ могут быть индикатором космической погоды, высокоэнергетических процессов на поверхности Земли, под ее поверхностью, а также антропогенных воздействий на подсистемы. ВВ заметно влияют на точностные характеристики радиоэлектронных систем различного назначения, на качество функционирования телекоммуникационных систем и т. д. Большой интерес представляет изучение особенностей ВВ, вызванных различными источниками энерговыделения.

Целью работы является изложение результатов исследования ВВ в ионосфере в период весеннего равноденствия 2006 г., во время зат-

мения Солнца 29 марта 2006 г., а также в течение умеренной магнитной бури 4—6 апреля 2006 г.

### СРЕДСТВА И МЕТОДИКИ

Измерения проводились на харьковском радаре некогерентного рассеяния (НР) (49°36' N, 36°18' E) в период с 27 марта по 6 апреля в диапазоне высот 100—1000 км. Радар имеет следующие параметры: рабочая частота — 158 МГц, диаметр крупнейшей в мире параболической антенны — 100 м, ее коэффициент усиления —  $10^4$ , импульсная мощность радиопередающего устройства — 3.6 МВт [5]. Радар работал в режиме излучения двухчастотного составного сигнала с двумя импульсами длительностью 660 и 130 мкс. Результаты, полученные в процессе измерений на радаре НР, записываются на магнитный носитель в виде статистически усредненных массивов данных смеси «НР сигнал + шум» и шума, представляют собой базовые оценки мощностей сигнала  $P_s$  и шума  $P_n$  на интервале времени  $\Delta T_0 = 1$  мин.

Результаты измерений были обработаны по методике [1—3]. Она заключалась в том, что

после удаления тренда  $\bar{P}_s$  во временных рядах мощности сигнала  $P_s$ , вычисляемого на интервале времени 180 мин с шагом скольжения  $\Delta T_0$ , находились временные ряды значений  $\delta P_s = P_s - \bar{P}_s$ . Для возможности сравнения амплитуд ВВ на разных высотах учитывалась зависимость  $P_s \propto z^{-2}$  (или зависимость отношения сигнал/шум  $q \propto z^{-2}$ ). При этом также исключалась и зависимость  $P_s$  от выражения  $(1 + T_e/T_i)$ , где  $T_e$  и  $T_i$  — температуры электронов и ионов.

К рядам  $\delta P_s$  применялось сглаживание на интервале времени 15 мин с шагом скольжения  $\Delta T_0$ . Полученные таким образом сглаженные значения  $\delta \bar{P}_s$  пропорциональны абсолютным значениям вариаций  $\Delta N$  электронной концентрации  $N$  на данной высоте. При этом относительные амплитуды  $\delta \bar{N} = \Delta N/N \approx \delta \bar{P}_s/\bar{P}_s$ . Далее по временным рядам  $\delta \bar{P}_s$  вычислялись ряды  $\delta \bar{q} = (\delta \bar{P}_s/\bar{P}_n)k$ , где  $\bar{P}_n$  — средний уровень шума за сутки,

$$k = \frac{P_{\max} \tau_{\max}}{P \tau} \frac{\Delta f}{\Delta f_{\max}} \frac{T_{\text{сист}}}{T_{\text{сист max}}},$$

где параметры с индексом «max» обозначают максимальные значения из всех измерительных кампаний, без индекса — текущие значения для каждой отдельной измерительной кампании,  $P$  — импульсная мощность радиопередающего устройства,  $P_{\max} = 2.2$  МВт,  $\tau$  — длительность импульса,  $\tau_{\max} = 800$  мкс,  $\Delta f$  — полоса пропускания фильтра радиоприемного устройства,  $\Delta f_{\max} = 9.5$  кГц,  $T_{\text{сист}}$  — эффективная шумовая температура системы, приведенная ко входу радиоприемного устройства,  $T_{\text{сист max}} = 1300 \dots 1800$  К в зависимости от времени суток. Введение коэффициента  $k$  позволит сравнивать  $\delta \bar{q}$ , полученные в разных измерительных кампаниях.

#### СОСТОЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Период времени с 27 марта по 3 апреля можно считать спокойным. Концентрация частиц солнечного ветра (СВ)  $n_{\text{св}} \approx (2.5-7.5) \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$ , температура частиц СВ  $T \approx 1.7 \cdot 10^5$  К. Их скорость  $v_{\text{св}} \leq 450$  км/с изменялась медленно (не более чем на 50 км/с в сутки) (рис. 1). Давление СВ не превышало 2.5 нПа. Плотности

потоков протонов и электронов составляли соответственно  $10^3-10^4$  и  $10^4-10^6 \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}\text{стер}^{-1}$ . Компоненты межпланетного магнитного поля  $B_t$  и  $B_z$  находились в пределах от 4 до 5 нТл и от 2 до 6 нТл соответственно. Рассчитанные значения функции Акасофу не превышали 3 ГДж/с. Компонент  $H_p$  геомагнитного поля варьировал в пределах 50—120 нТл с периодом 24 ч. Индекс авроральной активности не превышал 750 нТл, индекс  $D_{st}$  находился в пределах от -10 до -50 нТл, индекс  $K_p$  редко превышал 2.

С 4 апреля наблюдались заметные вариации параметров состояния космической погоды — началась магнитная буря. Около 06:00 (здесь и далее время UT)  $B_z$ -компонент межпланетного магнитного поля резко повернул к югу и достиг значения -11 нТл и оставался отрицательным до 18:00 5 апреля (рис. 2). С 09:00 до 21:00 скорость СВ увеличилась от 310 до 450 км/с. Примерно за это же время наблюдалось увеличение температуры частиц СВ (от 10000 до 200000 К) и давления СВ (от 1.2 до 4 нПа), значения функции Акасофу достигали 19 ГДж/с. В результате возникла магнитная буря со значениями индексов  $K_p$  и  $D_{st}$ , приближавшимися к 5 и -100 нТл соответственно. Внезапное начало бури наступило 4 апреля около 07:00, основная фаза длилась примерно до 12:00 5 апреля (значения индекса  $K_p$  увеличились от 1 до 5, а значения индекса  $D_{st}$  уменьшались от -10 до -100 нТл). Фаза восстановления длилась до конца измерений (6 апреля).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Волновая активность в период с 30 по 2 апреля, а также 4 и 5 апреля была несколько выше, чем 27—29 марта и 3 апреля. Рассмотрим это подробнее.

Амплитуды ВВ концентрации электронов  $N$  28 марта 2006 г. в ночное время (рис. 3) на всех высотах не превышали 0.1 о. е. (1 о. е. соответствовала изменению  $\Delta N$  на  $1.7 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ ). С восходом Солнца и до 12:00 значения  $\delta q$  увеличивались до 1—1.5 о. е. при  $z \approx 200-350$  км, а на высотах 150—200 км и 350—500 км  $\delta q \leq 0.5$  о. е. Значения квазипериода  $T$  изменялись в пределах 40—180 мин. До захода Солнца

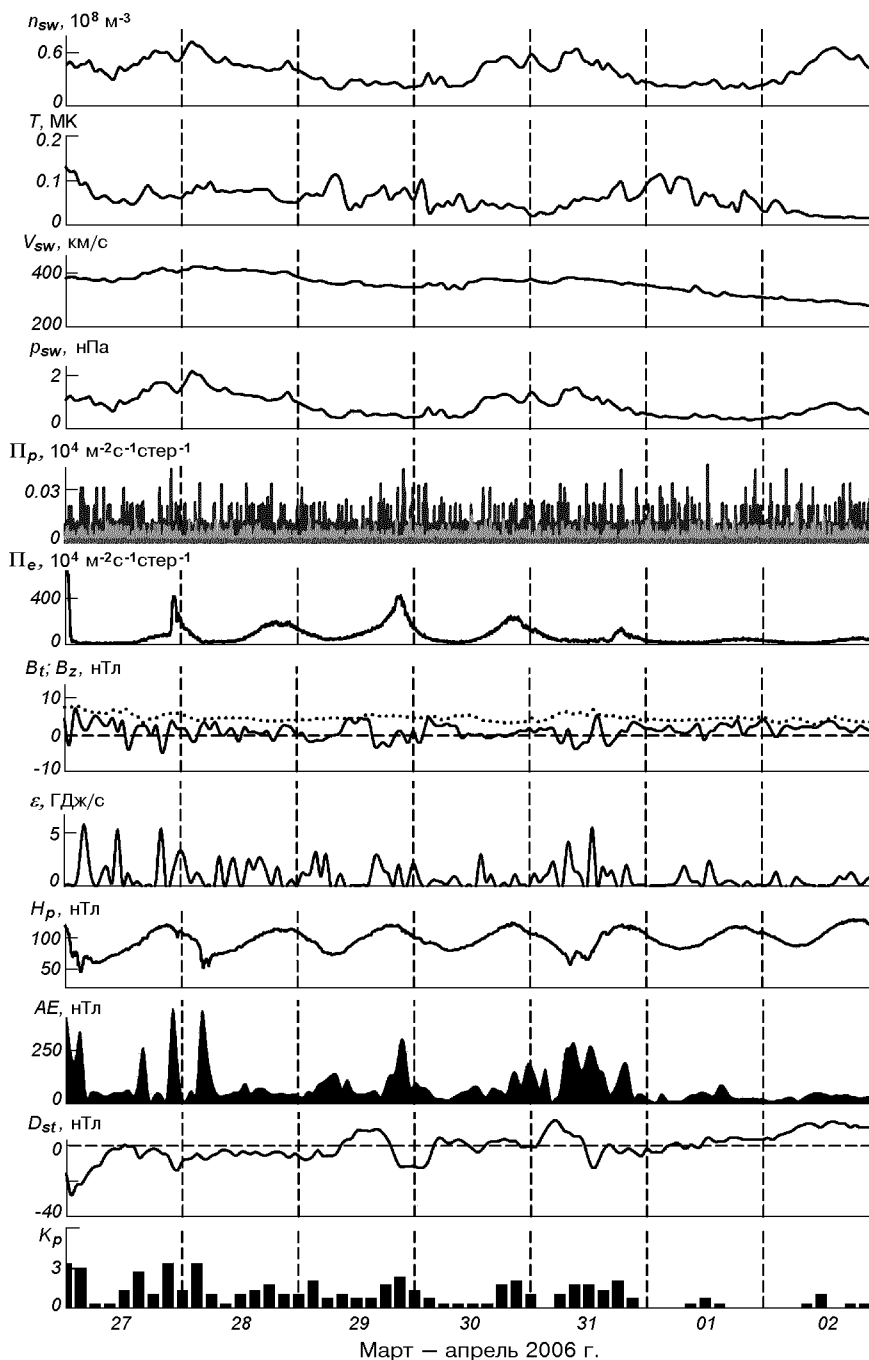


Рис. 1. Временные вариации параметров солнечного ветра в период с 27 марта по 2 апреля 2006 г.: концентрации частиц  $n_{sw}$ , температуры  $T$ , радиальной скорости  $V_{st}$  (ACE Satellite—Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor) и динамического давления  $p_{sw}$  (расчет); потоки протонов  $\Pi_p$  (GOES-8(W75)) и электронов  $\Pi_e$  (GOES-12), компоненты  $B_z$ ,  $B_t$  — межпланетного магнитного поля (ACE Satellite — Magnetometer);  $\epsilon$  — функция Акасофу (расчет);  $H_p$  — компоненты геомагнитного поля (GOES-12);  $AE$ -индекса авроральной активности (WDC Kyoto);  $D_{st}$ —индекса (WDC-C2 for Geomagnetism Kyoto University);  $K_p$ -индекса (Air Force Weather Agency)

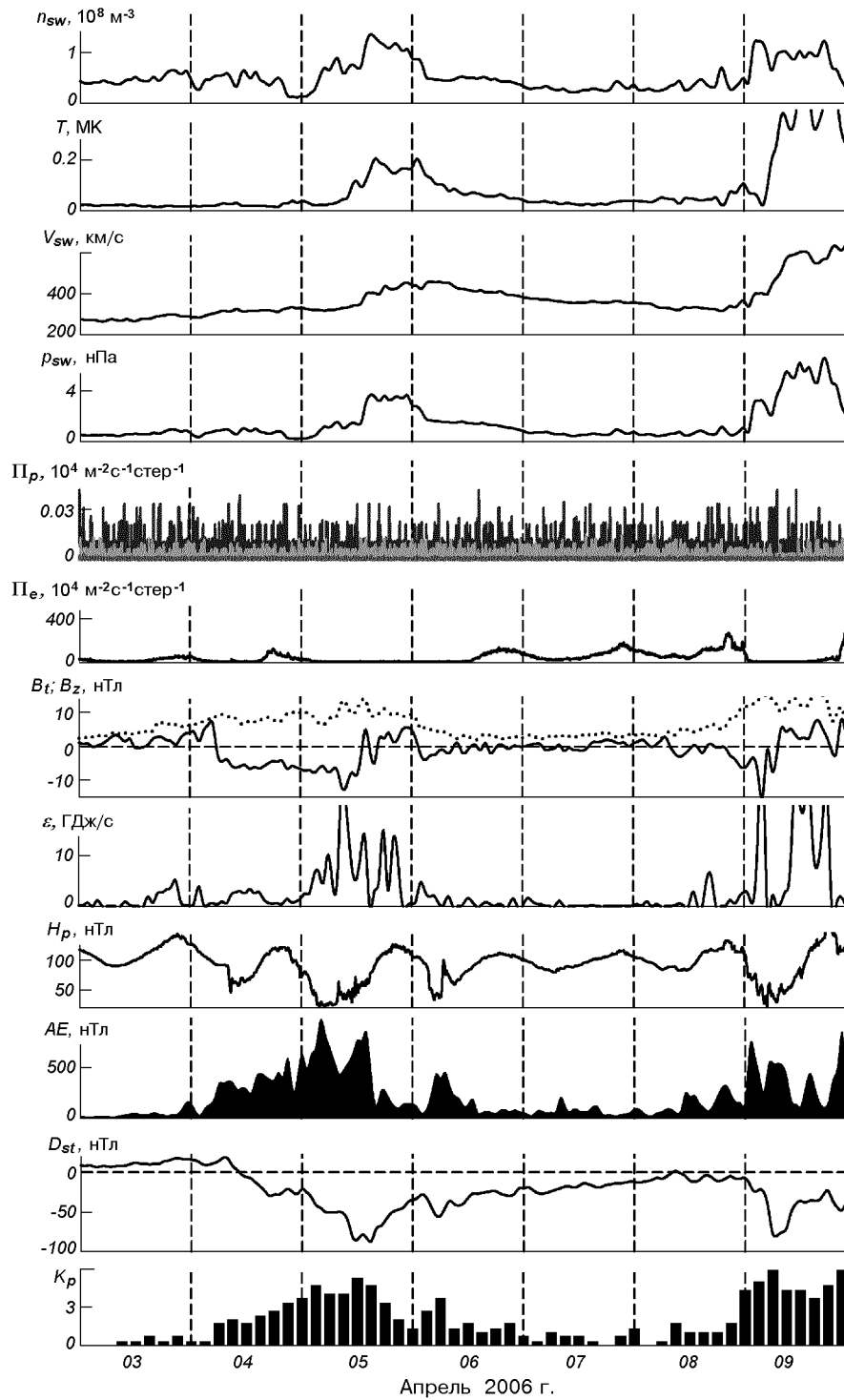


Рис. 2. То же в период с 3 апреля по 9 апреля 2006 г.

на уровне поверхности Земли (16:00) на всех высотах значения амплитуд находилось в пределах 0.1—0.3 о. е. Во время захода Солнца на высотах 200—350 км наблюдался процесс, состоящий из примерно 1.5 колебаний с амплитудой 1.8—1.9 о. е. и периодом около 120 мин. С увеличением высоты его структура изменялась, а длительность уменьшалась, и уже на высоте 270 км возмущение представляло собой полуволну длительностью около 120 мин и амплитудой около 1.7 о. е. (см. рис. 3).

Периоды относительных амплитуд ВВ концентрации электронов  $\delta_N$  имели похожую структуру. Значения  $\delta_N$  в этот день на всех высотах днем и ночью не превышали 20 %. В переходное время суток заметно изменялся характер сигнала: варьировали амплитуды и периоды колебаний.

29 марта 2006 г. восходу Солнца сопутствовали изменения характера сигнала на всех высотах (рис. 4). После восхода в течение 6 часов на высотах около 250 км наблюдался волновой процесс с  $T \approx 120$  мин. С 10:02 до 12:21 имело место частное (77.4 %) затмение Солнца. Максимальное покрытие диска Солнца имело место в 11:12. Затмение сопровождалось генерацией квазипериодического процесса с  $T \approx 180$  мин и амплитудой до 2 о. е. на высотах 200—270 км. После прохождения вечернего терминатора этот процесс разрушился, но появился другой с периодом около 60 мин и амплитудой 0.3 о. е.

Вариации относительных амплитуд ВВ во время утреннего терминатора были похожими на вариации  $\delta q$ . С 4:00 до 10:00 при  $z < 500$  км значения относительных амплитуд  $\delta_N = 5$ —15 %.

Вскоре после затмения Солнца на высотах 200—270 км наблюдался квазипериодический процесс с относительной амплитудой, достигавшей 30 %. После прохождения вечернего терминатора появился другой волновой процесс с  $\delta_N \approx 10$  %. После 21:00 относительная амплитуда приближалась к 30 %.

Большие значения  $\delta_N$  на высотах ниже 150 км в ночное время в этот и другие дни обусловлены уменьшением  $N$  и ослаблением роли рекомбинационных процессов.

Практически с начала суток 30 марта на высоте около 200 км наблюдался волновой процесс с периодом около 100 мин. После восхода

Солнца имело место увеличение амплитуды ВВ от 0.5 до 1.3 о. е., потом установилась амплитуда  $\delta q \approx 0.5$  о. е. (см. рис. 3). В 7:00 амплитуда резко увеличилась до 3 о. е. Далее она уменьшилась до 1 о. е., а период уменьшился до 60 мин. До 14:00 амплитуда увеличилась до 1.4 о. е., а период увеличился до 120 мин. После 14:00 в течение трех часов характер сигнала изменялся незначительно. Заход Солнца на высотах около 200 км сопровождался внезапным всплеском  $\delta q$ , достигавшим 1.8 о. е. и длившимся 4 ч. Возмущение представляло собой волновой процесс с двумя полными периодами длительностью около 140 мин. Далее до конца суток вариации  $\Delta N$  были незначительными. С увеличением высоты амплитуды описанных вариаций уменьшались, и на высоте  $z \geq 400$  км они были на уровне фоновых. Ниже 200 км днем наблюдались такие же процессы со значительно меньшими ( $\delta q \leq 1$  о. е.) амплитудами.

Относительные амплитуды ВВ электронной концентрации во время восхода Солнца достигали 20—25 % на всех высотах. В высотном диапазоне 200—350 км в 7:00 отмечался сильный всплеск  $\delta_N$ , достигавший 35 %, после последовал процесс с постепенно увеличивающимися от 60 до 120 мин периодом и амплитудой от 5 до 10 %. Далее с 14:00 и до захода Солнца вариации  $\delta_N$  были незначительными. С 16:00 до 20:00 относительные амплитуды достигали 15 %. На высотах около 200 км возмущение имело волновой характер с периодом около 140. После 20:00 квазипериодический процесс продолжался, но с амплитудой, в два раза меньшей. На других высотах  $\delta_N$  изменялась незначительно.

В последующие три дня (31 марта, 1 и 2 апреля 2006 г.) вариации  $\delta q$  и  $\delta_N$  во многом были похожими (рис. 3, 4). Восход Солнца сопровождался одиночным колебанием с периодом, достигающим 5 ч, амплитудами  $\delta q \approx 0.5$ —1.5 о. е. и  $\delta_N \approx 10$ —30 %, причем выше 220 км первая полуволна была положительной, а ниже 220 км — отрицательной. Максимальные амплитуды наблюдались на высоте 320 км и составляли 1.5 о. е. и 20 % соответственно. С 6:00 до 11:00 (31 марта до 12:00), а 1 апреля с 8:00 до 11:00 в высотном диапазоне 150—400 км (2 апреля — 150—300 км) наблюдалось заметное увеличение значений  $\delta q$ . Максимальные значения были на высотах 200—250 км и достигали 2.5 о. е., с

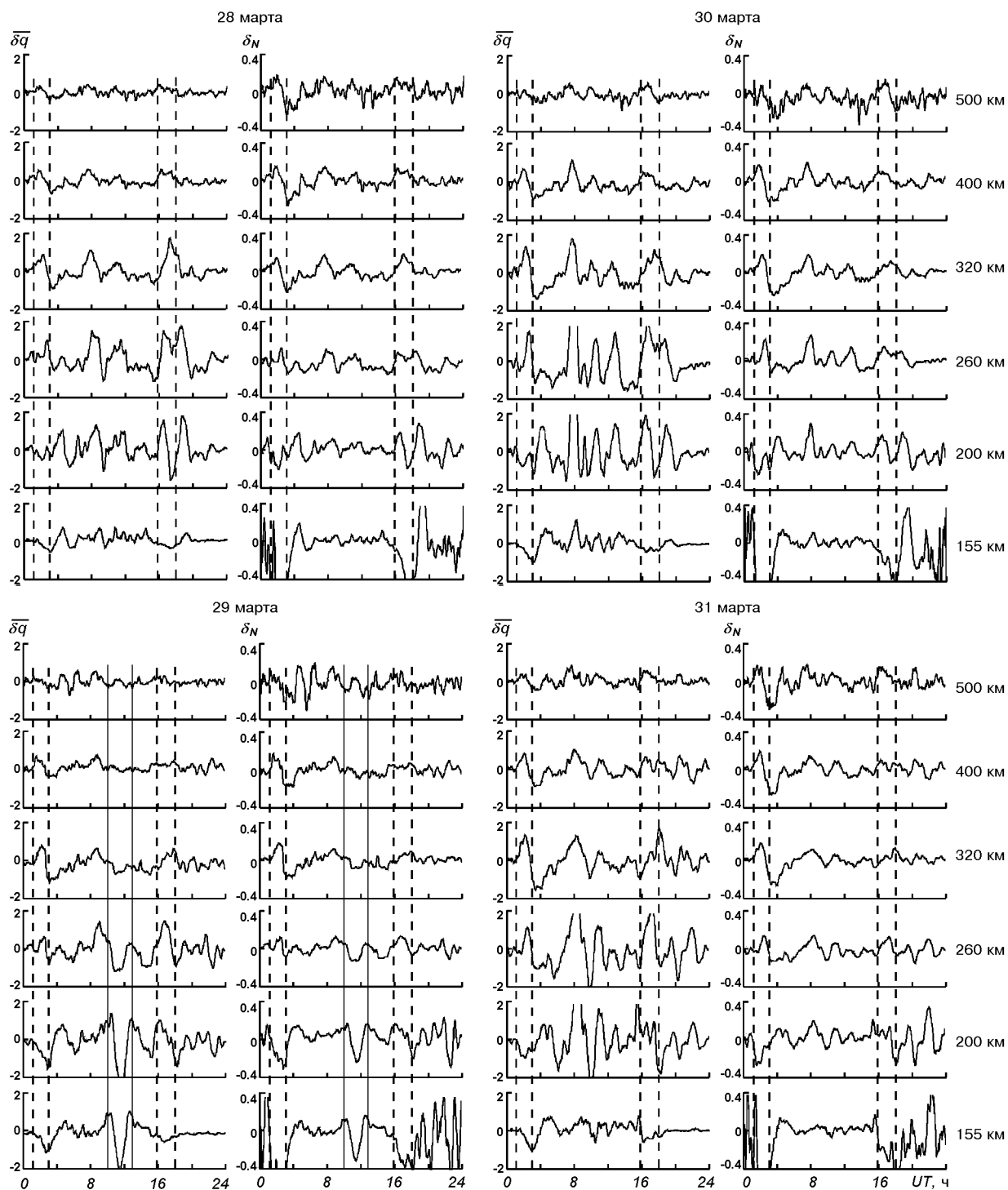


Рис. 3. Временные вариации амплитуд  $\overline{\delta q}$  и относительных амплитуд  $\delta_N$  ВВ электронной концентрации в период близкий к весеннему равноденствию 28—31 марта 2006 г. Вертикальными пунктирными линиями отмечены моменты восхода и захода Солнца на высоте 450 км и на уровне Земли. Вертикальными сплошными линиями отмечены временные интервалы затмения Солнца 29 марта (здесь и далее в обсерватории вблизи г. Харьков)

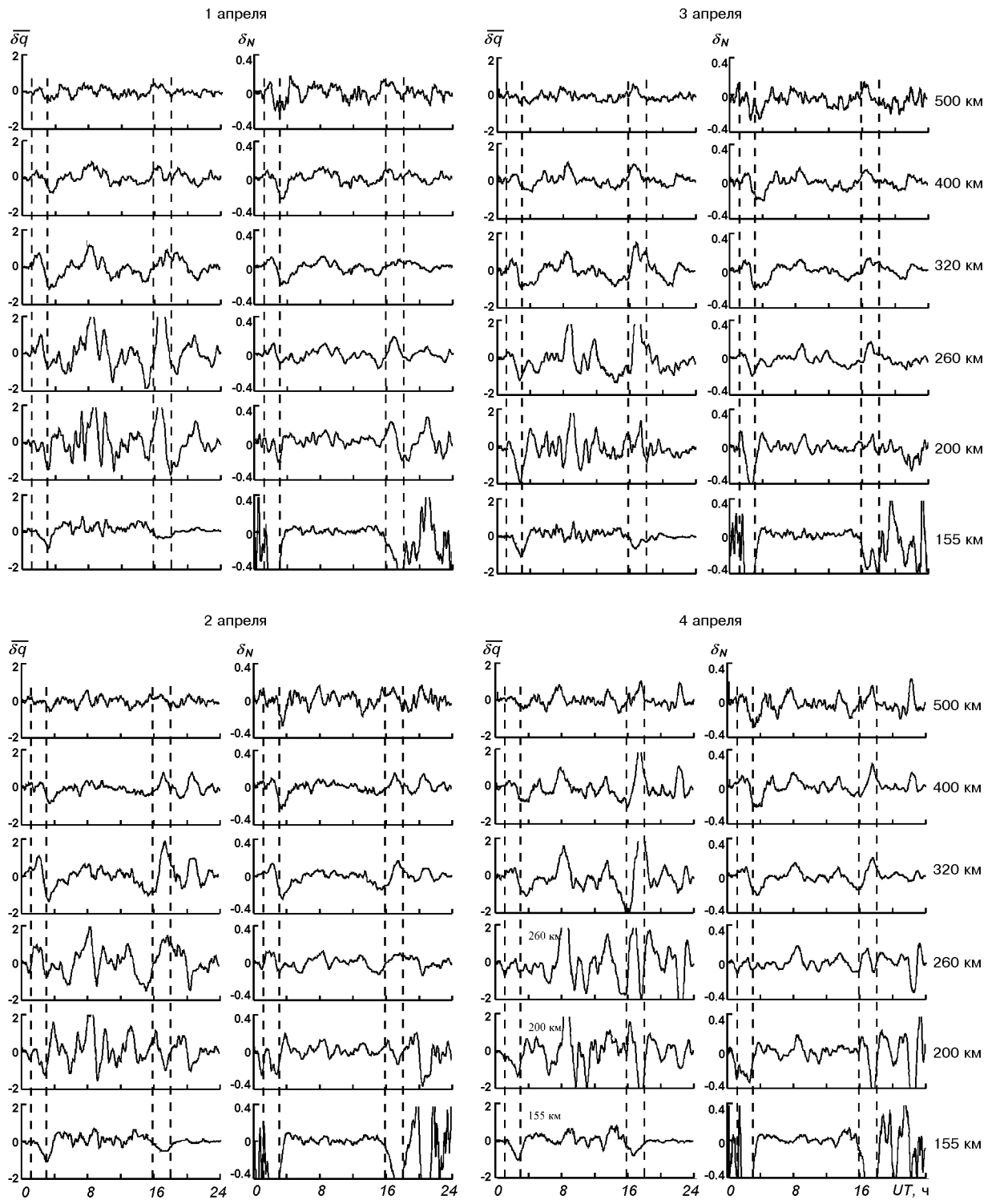


Рис. 4. То же, что на рис. 3, для 1—4 апреля 2006 г.

увеличением высоты амплитуда уменьшалась. В этом временном интервале укладывалось примерно по 1.5 колебания с периодами 3.5, 2 и 1.5 ч соответственно 31 марта, 1 и 2 апреля. Изменения относительных амплитуд электронной концентрации были менее значительными. Обычно  $\delta_N$  превышала 10—15 %. Заход Солнца сопровождался сильным увеличением амплитуды колебаний, которые были наиболее четко выражены на высоте около 250 км. При этом  $\overline{\delta q} \approx 2$  о. е. и  $\delta_N \approx 20$  %. Ночные амплитуды в высотном диапазоне 200—400 км были сравнительно большими: 1—1.5 о. е. и 20—30 %. Ночью 31 марта они имели волновой характер с квазипериодом 120—160 мин.

3 апреля 2006 г. прохождение утреннего терминатора сопровождалось отрицательной полуволной с максимумом амплитуд на высоте 200 км. Последние составляли 2 о. е. и 40 %, с высотой амплитуда колебаний уменьшалась (рис. 4). До 8:00 на высотах около 200 км наблюдался слабый волновой процесс с периодом около 60 мин и амплитудами 0.5 о. е. и 5 %. В 8:00 произошло сильное увеличение амплитуды на высотах 150—450 км, после чего до 13:00 в диапазоне высот 200—300 км наблюдался волновой процесс с периодом 80 мин и амплитудой 1 о. е. и  $\delta_N \approx 5$  %. До 16:00 значения  $\overline{\delta q}$  и  $\delta_N$  изменялись незначительно. В 16:00 начался заход Солнца на уровне Земли, который сопровождался существенным увеличением значений  $\overline{\delta q}$  (при  $z = 260$  км  $\overline{\delta q}$  достигали 2.5 о. е.) и менее заметным увеличением  $\delta_N$  (не более 20 %). После 20:00 вариации  $\overline{\delta q}$  и  $\delta_N$  были незначительными.

Амплитуды ВВ 4 апреля 2006 г. были похожими на амплитуды ВВ днем раньше, но 4 апреля они были значительно больше и продолжались до конца суток (рис. 4). Сильное увеличение  $\overline{\delta q}$ , начавшееся в 8:00, наблюдалось на всех высотах вплоть до 500 км, а его величина и длительность были больше, чем 3 апреля: 2.5 о. е. и 130 мин соответственно. Амплитуда волнового процесса, следовавшего за ним, была больше в два раза. Заход Солнца сопровождался увеличением амплитуд до 2 о. е. На высотах около 250 км наблюдался квазипериодический процесс с периодом около 130 мин и амплитудой 2 о. е. Ночные значения  $\overline{\delta q}$  на высотах 200—400 км достигали 2 о. е.

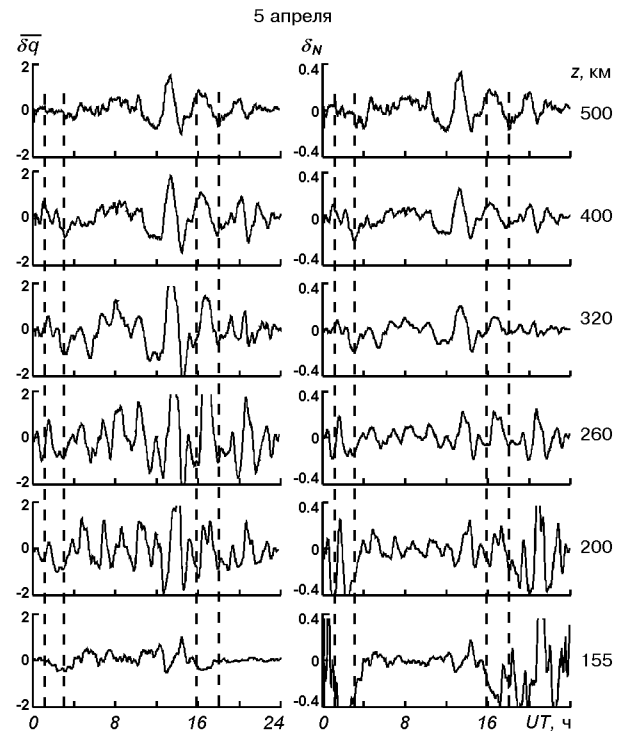


Рис. 5. То же, что на рис. 3, для 5 апреля 2006 г.

Относительные амплитуды ВВ 4 апреля отличались тем, что ночные значения  $\delta_N$  заметно увеличились и достигали 40 % на высотах около 200 км.

5 апреля 2006 г. (рис. 5) на протяжении всего дня (с 4:00 до 18:00) наблюдался квазипериодический процесс с периодом около 100 мин и амплитудой 1 о. е. С увеличением высоты он становился менее выразительным и выше 300 км стал практически незаметным. С 13:00 до 15:00 имело место значительное усиление нескольких колебаний, наблюдавшееся до высоты 500 км. После захода Солнца на высоте 450 км амплитуда вариаций  $\overline{\delta q}$  на высотах около 250 км оставалась не меньше дневных значений.

Во время восхода Солнца на высоте  $z \approx 200$  км амплитуды  $\delta_N$  достигали 40 %. В светлое время суток наблюдалось колебание с амплитудой около 10 %. Значительное усиление колебаний произошло в период с 13:00 до 15:00. С высотой амплитуда увеличивалась, достигая значений 40 % при  $z = 500$  км. После захода Солнца на высоте 450 км наблюдался сильный



квазипериодический процесс в диапазоне высот 200—250 км, его период был около 90 мин.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

**Спокойные условия.** Рассмотрим период с 30 марта 2006 г. по 3 апреля 2006 г. Характерным для этого периода в зависимостях  $\delta q$  и  $\delta_N$  является наличие максимальных значений амплитуд вблизи местного полудня. После полудня в диапазоне высот 200—300 км наблюдалось несколько колебаний общей продолжительностью 4—6 ч.

**Солнечное затмение 29 марта 2006 г.** Особенностью затмения было то, что на высотах выше 300 км эффекты были практически незаметны. Ниже 160 км наблюдалась только отрицательная полуволна. Ее наличие, скорее всего, связано с особенностями методики обработки и вызвано уменьшением концентрации электронов во время затмения. В диапазоне высот 160—300 км после окончания затмения в течение 7 ч наблюдался волновой процесс с периодом около 180 мин и амплитудами 1 о. е. и 20 % для  $\delta q$  и  $\delta_N$  соответственно. Этот процесс закончился после захода Солнца в ионосфере. Скорее всего, он был связан с затмением.

Во время двух других затмений [1—3] также наблюдалась отрицательная полуволна и квазипериодический процесс, последовавший за ней. Для ЗС, описанных в [1—3], ВВ имели место в большем высотном диапазоне, чем при затмении 2006 г.

Добавим, что в фоновые дни (30 марта — 3 апреля) параметры ВВ существенно отличались от параметров ВВ в день ЗС: максимальные значения амплитуд наблюдались вблизи местного полудня, а заход Солнца во все дни измерений сопровождался или усилением уже существовавшего процесса или возникновением новых колебаний.

**Магнитная буря 4—6 апреля 2006 г.** Как уже отмечалось, внезапное начало магнитной бури имело место в 7:00 4 апреля 2006 г. Уже через 1 ч 30 мин на высотах  $z = 200$ —250 км наблюдалось значительное увеличение околополуденных значений амплитуд вариаций  $\delta q$  и  $\delta_N$  ( $\delta q \geq 2.5$ ,  $\delta_N \geq 20\%$ ). Важно, что на больших высотах этот процесс начался раньше (в 7:30).

Так, на высотах 200 и 500 км разница между началами составляла один час. После начала МБ в дневное и ночное время суток при  $z = 160$ —400 км амплитуды ВВ были примерно в два раза больше, чем в фоновые дни.

В зависимостях  $\delta_N$  начало магнитной бури было выражено менее ярко. Величина  $\delta_N$  в околополуденное время незначительно превышала значения в фоновые дни. Появление наибольшей положительной полуволны было зарегистрировано раньше на больших высотах (при  $z \approx 200$  км в 8:30, а при  $z \approx 500$  км — в 7:30). Относительные амплитуды ВВ ночью достигали 40 %.

Во время основной фазы бури — 5 апреля 2006 г. — ВВ наблюдались в течение всего дня на высотах 200—300 км. Их амплитуда днем и ночью была примерно одинаковой (около 1—1.5 о. е.), причем максимум амплитуд  $\delta q$  приходился на время, близкое к 14:00, и проявлялся до высот 700 км. Значения относительных амплитуд ВВ отличались от фоновых значений только тем, что околополуденный максимум амплитуд  $\delta_N$  приходился на 14:00, а его величина увеличивалась с увеличением высоты до  $z = 550$  км, где  $\delta_N \approx 25\%$ . Ночью на высотах около 200 км значения  $\delta_N$  достигали 40 %.

Другие магнитные бури также сопровождались увеличением амплитуд ВВ, но обладали своими особенностями [1—3].

**Эффекты солнечного терминатора.** Восход Солнца во все дни измерительной кампании с 27 марта по 6 апреля сопровождался отрицательной полуволной с амплитудами, достигавшими 1 о. е. и 20 %, длительностью до 2 ч на высотах ниже 250 км и положительной полуволной выше 250 км. Заходу Солнца сопутствовала генерация положительной полуволны с амплитудами до 2 о. е. и 20 % или волны с несколькими периодами общей длительностью 2—4 ч.

Во время других измерительных кампаний, описанных в [1—3], большинство вечерних терминаторов сопровождалось возникновением положительной полуволны. В целом эффекты утренних терминаторов отличались большим разнообразием.

Данные наблюдений эффектов терминатора хорошо согласуются с результатами наших работ [1—3] и результатами других исследователей [4].

## ВЫВОДЫ

1. Подтверждено, что характерным для весеннего периода 2006 г. являлось наличие в суточном ходе максимума амплитуд вариаций  $\delta q$  и  $\delta_N$ . В магнитоспокойные дни он имел место в околополуденное время.

Днем с 04:00 до 16:00 амплитуды  $\overline{\delta q}$  увеличивались с высотой до 250 км, при  $z > 250$  км они уменьшались с высотой.

Ночью обычно  $\overline{\delta q} \approx 0.1$ . На высоте около 250 км  $\overline{\delta q}$  достигали максимальных значений 1—2 о. е.

2. Восходы и заходы Солнца сопровождались заметным изменением характера сигнала: восход — отрицательной полуволной с амплитудой 1 о. е. и  $\delta_N \approx 20\%$ , длительностью около 2 ч при  $z < 250$  км и положительной полуволной при  $z > 250$  км. Заходу Солнца сопутствовала генерация положительной полуволны, амплитуда которой иногда превышала 2 о. е. и 20%, или генерация волны с несколькими периодами общей длительностью 2—4 ч.

3. Установлено, что затмение Солнца 29 марта 2006 г. сопровождалось волновым процессом в диапазоне высот 160—300 км длительностью не менее семи часов с периодом около 180 мин и амплитудами 1 о. е. и 20% для  $\overline{\delta q}$  и  $\delta_N$  соответственно.

4. Выявлено, что магнитная буря 4—6 апреля 2006 г. привела к увеличению амплитуд вариаций  $\delta q$  в два раза в диапазоне высот 160—400 км. В начале МБ (4 апреля) на высотах 200—300 км относительные амплитуды увеличились по сравнению с фоновым днем в 1.5 раза днем и в два раза ночью. В период основной фазы МБ, 5 апреля, амплитуды вариаций  $\delta q$  и  $\delta_N$  увеличились примерно в два раза; в 14:00 были зарегистрированы их максимальные значения. Они оставались большими ( $\overline{\delta q_{\max}} \approx 2$  о. е. и  $\delta_{N\max} \approx 0.3—0.4$ ) до высоты 700 км. В фоновые дни  $\overline{\delta q_{\max}}$  и  $\delta_{N\max}$  обычно наблюдались в 8:00.

Авторы благодарны Л. Я. Емельянову, В. Н. Лысенко, И. Б. Складову и Ю. В. Черняку за организацию и проведения измерений на радаре НР.

1. Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Результаты исследования волновых возмущений в ионосфере методом некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники.—2005. № 3.—С. 4—35.
2. Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Волновые процессы в ионосфере в спокойных и возмущенных условиях. 1. Результаты наблюдений на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэронавигация.—2006.—46, № 2.—С. 193—208.
3. Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Волновые процессы в ионосфере в спокойных и возмущенных условиях. 2. Анализ результатов наблюдений и моделирование // Геомагнетизм и аэронавигация.—2006.—46, № 2.—С. 209—218.
4. Иванов В. П., Карвецкий В. Л., Коренькова Н. А. Структура и динамика перемещающихся волнообразных возмущений по данным доплеровского зондирования ионосферы // Геомагнетизм и аэронавигация.—1994.—34, № 1.—С. 109—114.
5. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэронавигация.—2001.—41, № 5.—С. 659—666.
6. Черногор Л. Ф. Земля—атмосфера—геокосмос как открытая динамическая нелинейная система // Космічна наука і технологія.—2003.—9, № 5/6.—С. 96—105.
7. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 1.—С. 59—106.
8. Черногор Л. Ф. Тропический циклон как элемент системы Земля—атмосфера—ионосфера—магнитосфера // Космічна наука і технологія.—2006.—12, № 2/3.—С. 16—36.
9. Черногор Л. Ф. «Земля—атмосфера—ионосфера—магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 1) // Нелинейный мир.—2006.—4, № 12.—С. 655—697.
10. Черногор Л. Ф. «Земля—атмосфера—ионосфера—магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 2) // Нелинейный мир.—2007.—5, № 4.—С. 198—231.

---

 THE WAVE-LIKE DISTURBANCES IN THE IONOSPHERE DURING VERNAL EQUINOX IN 2006

V. P. Burmaka, L. F. Chernogor

Measurements at a period close to the vernal equinox, from 27 March to 6 April 2006, were carried out with the Kharkiv incoherent scatter radar. We present the results of the analysis of wave-like disturbances in the ionosphere during this period which spans the solar eclipse of 29 March and the magnetic storm of 4 to 6 April.