

УДК 550.388, 520.16+523.31+523.9:520.86

Е. И. Григоренко¹, С. А. Пазюра¹, В. А. Пуляев¹,
В. И. Таран¹, Л. Ф. Черногор²

¹Інститут іоносфери НАНУ і МОНУ, Харків

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків

Динамические процессы в ионосфере
во время геокосмической бури 30 мая
и затмения Солнца 31 мая 2003 года

Надійшла до редакції 15.10.03

Наведено результати дослідження відгуку області F і зовнішньої іоносфери на надпотужну магнітну бурю 29—31 травня 2003 р. (максимальний індекс $K_p = 8$). Спостереження проведено за допомогою радара некогерентного розсіяння в Харкові. Зареєстровано глибоке падіння електронної концентрації, підйом висоти максимуму шару F2, незвичайно сильний нагрів плазми, зменшення відносної концентрації іонів водню в головну фазу бурі, зміна процесів іоносферно-магнітосферної взаємодії. Геокосмічна буря супроводжувалася також генерацією хвильових збурень в іоносфері. Розглянуто особливості реакції іоносфери на часткове (73 %) затмінення Сонця 31 травня 2003 р., що відбувалось після сходу Сонця на фоні відновлюальної фази магнітної бури. Показано, що під час затмінення відбувалася короткочасна (2—3 г) перебудова іоносфери до нічних умов. Досліджені також ефекти магнітного збурення, сонячного спалаху й особливості поведінки іоносфери у період після сходу Сонця, що накладалися на реакцію іоносфери на затмінення Сонця.

ВВЕДЕНИЕ

Расположение харьковского радара некогерентного рассеяния (геомагнитная широта 45.7° , $L = 1.9$) дает возможность исследовать эффекты, связанные с процессами ионосферно-магнитосферного взаимодействия глубоко во внутренней плазмосфере. Эти эффекты становятся значительными во время сильных геокосмических возмущений, которые охватывают не только высокие широты, но проникают также в густонаселенные средние широты, дестабилизируя технологическую деятельность человека и воздействуя на его здоровье. С помощью харьковского радара некогерентного рассеяния (НР) метрового диапазона (158 МГц) на протяжении почти трех циклов солнечной активности проводится изучение ионосферы в зависимости от состояния космической погоды. Исследования отклика слоя F2 и внешней ионосферы на сверхсильную магнитную бурю 29—31 мая 2003 г. (максимальный индекс $K_p = 8$) выполнено на харьковском радаре 30—31

мая в соответствии с международным календарем координированных наблюдений методом НР по программе Low/High Latitude. Анализ результатов показал, что буря вызывала значительные изменения структуры, динамики, теплового режима ионосферной плазмы и процессов ионосферно-магнитосферного взаимодействия. Ниже дано объяснение этих эффектов в терминах термосферных возмущений, изменения ионного состава, усиления джоулева нагрева в высокоширотной атмосфере, проникновения магнитосферных электрических полей, высыпания энергичных частиц и влияния других факторов.

Особенностью проведенного цикла наблюдений явилось еще одно интересное событие — затмение Солнца 31 мая 2003 г., которое происходило на фоне восстановительной фазы рассматриваемой геомагнитной бури. Частное затмение протекало с 02:16 до 04:17 (здесь и далее время UT), с максимальной фазой в 03:14 и максимальным коэффициентом покрытия солнечного диска около 0.73. Из-

Таблица 1. Данные о солнечной активности

Дата, 2003 г.	$F_{10.7}$	Число солнечных пятен	Площадь солнечных пятен (10^{-6})	Рентгеновский фон	Количество рентгеновских вспышек			Количество оптических вспышек				
					C	M	X	S	1	2	3	4
26 мая	125	65	400	B 3.5	4	2	0	1	2	0	0	0
27 мая	129	116	680	B 4.3	3	2	1	4	2	2	0	0
28 мая	130	116	1130	B 5.9	16	0	1	17	1	0	0	0
29 мая	138	98	1150	B 3.0	1	2	1	1	2	1	0	0
30 мая	117	62	940	B 3.3	4	0	0	8	1	0	0	0
31 мая	113	57	670	B 4.5	4	1	0	4	0	1	0	0
01 июня	112	66	720	B 6.8	7	5	0	3	0	0	0	0

вестно, что солнечные затмения предоставляют уникальную возможность исследования особенностей взаимодействия солнечного излучения с верхней атмосферой Земли. Радары некогерентного рассеяния позволяют осуществить достаточно полную диагностику вариаций параметров околосолнечной плазмы, сопутствующих затмению Солнца. Наблюдения с помощью харьковского радара НР показали, что экранировка солнечного излучения привела к изменению баланса ионизации в F2-слое ионосферы, которое сопровождалось направленным вниз потоком ионов из плазмосферы, уменьшением электронной концентрации N в максимуме слоя и температур электронов T_e и ионов T_i , изменением ионного состава внешней ионосферы и процессов ионосферно-плазмосферного взаимодействия. Важной особенностью проведенного наблюдения явилось то, что затмение Солнца протекало на фоне восстановительной фазы магнитной бури и, кроме того, в послевосходный период, примерно через 2 ч после прохождения терминатора на высоте ионосферного слоя F2. К тому же начало затмения Солнца совпало с интенсивной солнечной вспышкой. Эти факторы наложили заметный отпечаток на характер реакции ионосферы на затмение.

Целью работы является экспериментальное исследование динамических процессов в ионосфере в широком диапазоне высот (200—1500 км), сопутствовавших сверхсильной геокосмической буре и частному затмению Солнца.

Результаты работы кратко описаны в работах [3, 4].

ХАРАКТЕРИСТИКА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Сверхсильная (по классификации [12]) магнитная буря наблюдалась 29—31 мая 2003 г. Она была инициирована приходом 29 мая в 11:50 и 18:30 двух наложившихся импульсов плотности солнечной плазмы, которым предшествовали вспышки

Таблица 2. Данные о потоках протонов и электронов с энергиями E_p и E_e

Дата, 2003 г.	Потоки протонов, $10^9 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1} \text{ стер}^{-1}$			Потоки электронов, $10^9 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1} \text{ стер}^{-1}$
	$E_p > 1 \text{ МэВ}$	$> 10 \text{ МэВ}$	$> 100 \text{ МэВ}$	
26 мая	5.9	0.11	0.027	1800
26 мая	4.2	0.11	0.026	510
26 мая	170	2.6	0.060	310
26 мая	2400	29	0.032	480
26 мая	520	2.5	0.018	5.0
26 мая	160	8.0	0.180	36
1 июня	28	0.67	0.022	180

класса X1.3 и X3.6 и выбросы корональной массы 27 и 28 мая. Приход первого облака сопровождался поворотом к югу составляющей B_z межпланетного магнитного поля (ММП), которая достигла значения — 15 нТл. В ночь на 30 мая B_z резко повернула на север. После прихода второго облака скорость солнечного ветра увеличилась почти до 800 км/с. При этом значительно увеличились температура, плотность и динамическое давление солнечного ветра. Буря имела внезапное начало 29 мая около 12:20, главная фаза развивалась медленно, быстрое уменьшение D_{st} до значения — 131 нТл произошло с 23:00 29 мая до 03:00 30 мая, фаза восстановления наблюдалась до конца суток 31 мая. 29, 30 и 31 мая индексы $A_p = 89, 49, 17$, а максимальные значения $K_p = 8, 8, 5$ соответственно. На спутнике GOES-8 (W75) были зарегистрированы два всплеска потока протонов с энергией более 10 МэВ: поток 28—30 мая, усилившийся более чем в 200 раз в результате вспышек класса X, произошедших 27 и 28 мая, и поток 31 мая с 04:40 до 14:40, который усилился почти в 70 раз и был связан со вспышкой класса M9.3, произошедшей в 02:18—03:38. Поток электронов с энергией более 2 МэВ, измеряемый геосинхронным спутником

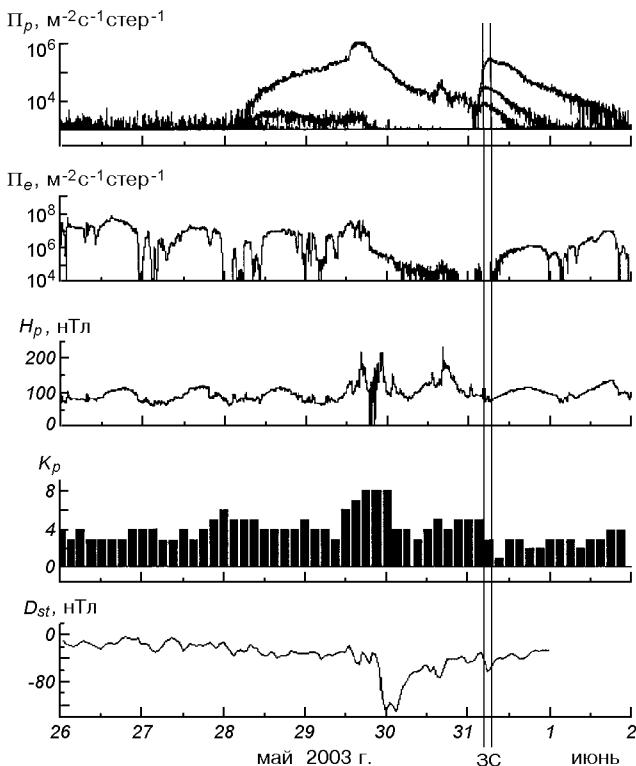


Рис. 1. Временные вариации потоков протонов (ИСЗ GOES-8 (W75)) и электронов (ИСЗ GOES-12), H_p -составляющей геомагнитного поля (ИСЗ GOES-12), K_p - (Air Force Weather Agency) и D_{st} -индексов (WDC-C2 for Geomagnetism, Kyoto University) в период 26 мая — 1 июня 2003 г. [<http://solar.sec.noaa.gov/weekly>]

GOES-12, достиг высоких значений 26, 27 и 29 мая. Основные параметры геокосмической обстановки приведены на рис. 1 и 2. Ежедневные данные об активности Солнца и потоках частиц, полученные из интернета (<http://solar.sec.noaa.gov/weekly>), приведены в табл. 1 и 2.

СРЕДСТВА НАБЛЮДЕНИЯ

Исследования проведены с помощью единственного в среднеширотной Европе радара НР, расположенного вблизи г. Харькова (геомагнитные координаты: 45.7° , 117.8° географические координаты: 49.6° N, 36.3° E). Рабочая частота радара — 158 МГц, максимальная мощность передатчика достигает 3.6 МВт (средняя мощность — 100 кВт), поляризация — круговая. Коэффициент усиления зенитной 100-м параболической антенны — около 12700 (эффективная площадь близка к 3700 м^2 ,

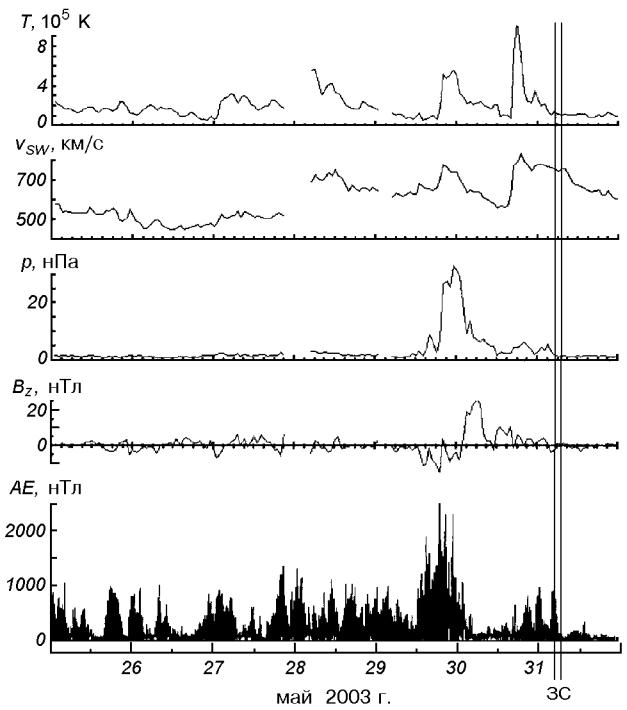


Рис. 2. Временные вариации параметров солнечного ветра: температуры T , радиальной скорости v_{sw} и динамического давления ρ (ACE Satellite — Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor); а также составляющей B_z межпланетного магнитного поля (ACE Satellite — Magnetometer) и AE-индекса 25 — 31 мая 2003 г. (WDC Kyoto)

ширина луча — 1°). Температура системы составляет 570—1320 К, шумовая температура входных цепей радиоприемного устройства достигает 120—240 К. В рассматриваемом цикле наблюдений радар работал в режиме зондирования 800-мкс импульсами, который обеспечивает измерение параметров внешней ионосферы, в том числе ионного состава, до высот 1500 км. Подробнее радар описан в работе [11]. Работа радара НР сопровождалась функционированием ионозонда типа «Базис».

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ РЕАКЦИИ ИОНОСФЕРЫ НА ГЕОКОСМИЧЕСКУЮ БУРЮ

Вариации концентрации электронов N в максимуме слоя F2. Магнитная буря вызвала интенсивную отрицательную ионосферную бурю, время запаздывания которой относительно начала геомагнитной бури составило примерно 8 ч. На рис. 3, а показаны

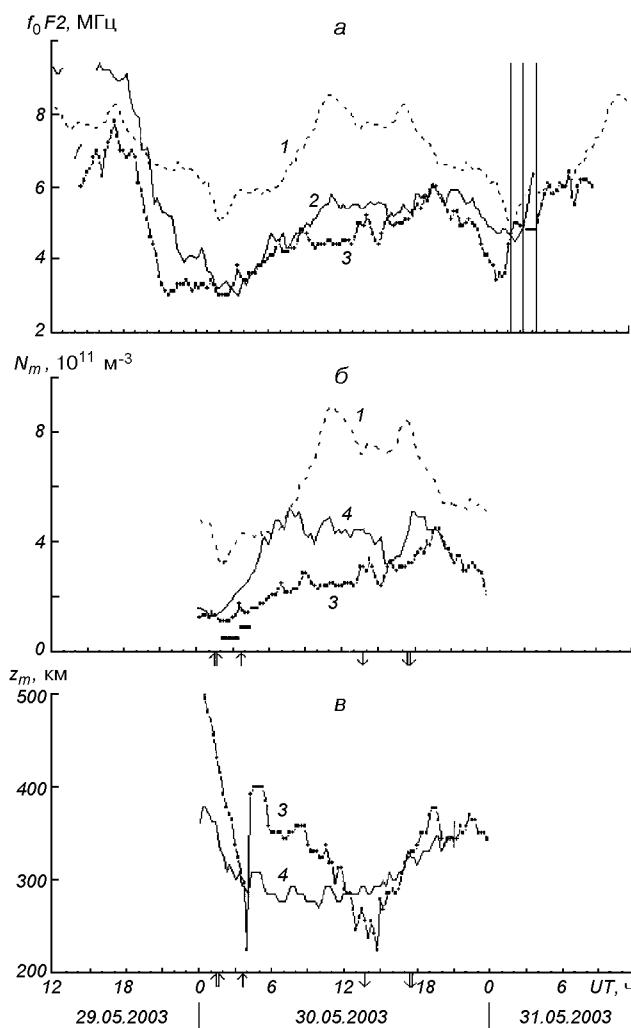


Рис. 3. Вариации значений f_0F2 , N_m и z_mF2 29—31 мая в Харькове (кривая 3), Сан-Вито (2), в контрольный день 19/20 мая, Сан-Вито (1) и в спокойный день 26/27 мая 1998 г. (4). Стрелки обозначают моменты восхода (вверх) и захода (вниз) Солнца на поверхности Земли в Харькове (двойная стрелка) и в магнитосопряженной точке (одинарная), вертикальные линии — моменты начала, максимального покрытия и окончания затмения Солнца

вариации критических частот f_0F2 , полученных из ионограмм станции вертикального зондирования «Базис» в Харькове (кривая 3) и станции в Сан-Вито (кривая 2, географические координаты: 40° N, 17° E). Последние привлечены для выбора контрольных (невозмущенных) суток (19—20 мая, кривая 1) и оценки характера ионосферного возмущения. Вариации N_m в спокойный день (19—20 мая) соответствовали характеру регулярного поведения среднеширотной ионосферы в условиях лета средней солнечной активности. Его отличительной чер-

той было наличие двух максимумов, вблизи полуночи и в заходный период, причем вечерний максимум ($f_0F2 \approx 8.3$ МГц) был сопоставим с дневным ($f_0F2 \approx 8.5$ МГц), что характерно для спада солнечной активности. В возмущенный день 30 мая максимальное отклонение критической частоты δf_0F2 в Харькове достигло около -50% ночью и -45% днем. Значение N_m уменьшилось ночью, в течение главной фазы бури, примерно в четыре раза и днем в три раза (рис. 3, б и 4). Рис. 4 дает наглядную картину глубокой депрессии N в диапазоне высот 230...750 км, а также изменения других параметров ионосферы. Видно, что постепенное восстановление N началось 30 мая после 08:00 и продолжалось до конца измерений.

Для исследования поведения других параметров ионосферы — электронной концентрации в диапазоне высот, высоты максимума слоя F2, температуры электронов и ионов, ионного состава в период возмущения — в качестве контрольных дат были выбраны магнитоспокойные сутки измерений 26—27 мая 1998 г., а для сравнения скорости переноса плазмы — сутки 23—24 июня 1998 г. Эти даты по параметрам гелиогеофизической обстановки аналогичны рассматриваемому периоду (лето, средняя солнечная активность), но находятся на восходящей ветви 23-го солнечного цикла. Их привлечение позволило оценить особенности ионосферной и термосферной бури 29—31 мая 2003 г., а также такого редкого явления, как затмение Солнца 31 мая, эффекты которого наложились на эффекты бури.

Следует отметить необычное явление, которое наблюдалось 30 мая вблизи восхода Солнца. В спокойный день 26—27 мая 1998 г. (рис. 3, б, кривая 4) с 02:00 до 05:00 утра с началом процесса ионизации в атмосфере критическая частота слоя F2 плавно увеличивалась от $f_0F2 = 3.5$ до 5.6 МГц (на рис. 3, б приведены величины $N_m = 1.24 \cdot 10^{10} \cdot (f_0F2)^2$, где f_0F2 берется в МГц). В рассматриваемый возмущенный день 30 мая 2003 г. (рис. 3, а, б, кривая 3) процесс увеличения f_0F2 от 3.0 до 3.8 МГц наблюдался с 02:00 до 03:15, затем он сменился необычным уменьшением f_0F2 до 3.4 МГц на протяжении часа, после чего увеличение f_0F2 продолжалось. На рис. 3, б эти интервалы времени обозначены горизонтальными линиями). Падение f_0F2 проходило на фоне снижения высоты максимума области F ионосферы, включая резкий скачок z_mF2 вниз и затем вверх (см. ниже).

Variations of height z_mF2 in control day 26—27 June 1998 and during ionospheric storm 30 May 2003 are shown in Fig. 3, в (curve 3). It is known that variation of z_mF2 during a day is characterized by a regular pattern.

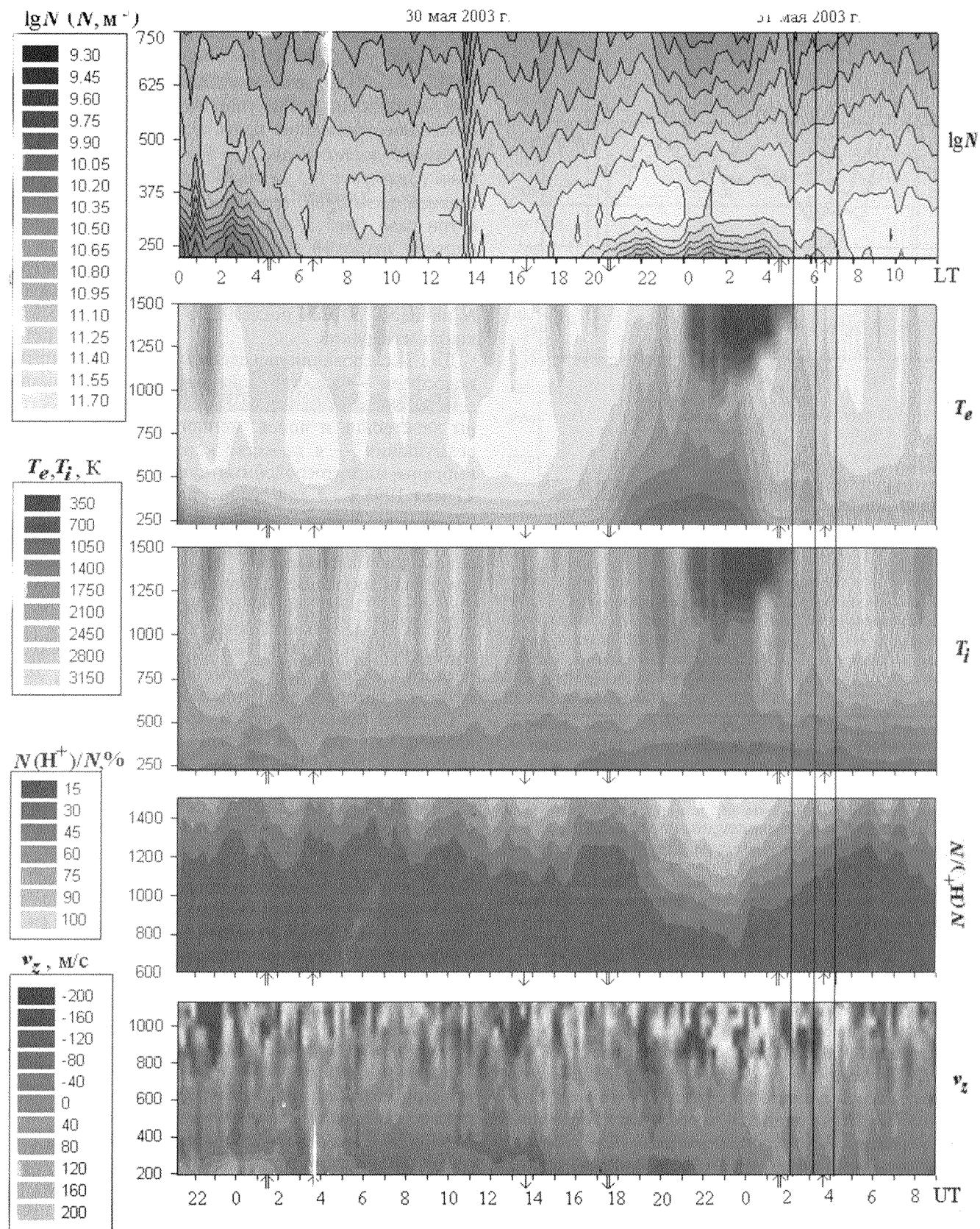


Рис. 4. Вариации параметров ионосферы 30—31 мая 2003 г. по данным харьковского радара НР. Панели сверху вниз: логарифм концентрации электронов ($\lg N$); температуры электронов T_e и ионов T_i ; относительная концентрация ионов водорода $N(\text{H}^+)/N$; вертикальная составляющая скорости переноса плазмы v_z

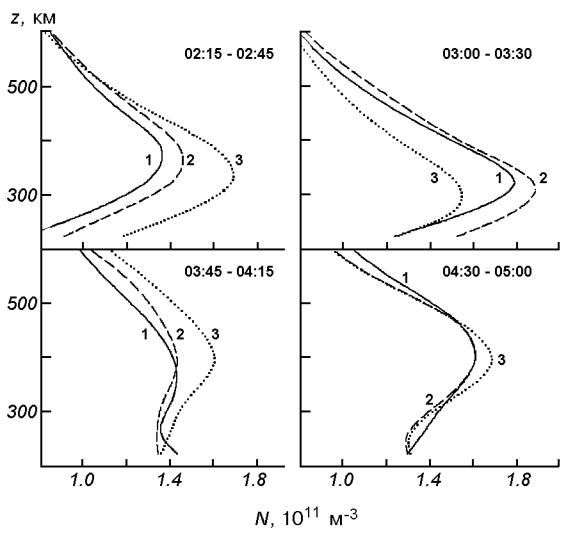


Рис. 5. Высотные профили 1—3 электронной концентрации N в восходный период возмущенного дня 30 мая 2003 г. для последовательных моментов времени (через 15 мин)

связано как с суточными вариациями фотохимических процессов, так и с изменением направления термосферных ветров: меридиональная составляющая ветра ночью направлена к экватору и поднимает слой на более высокие уровни, а днем она обращена к полюсу, что вызывает уменьшение $z_m F2$. Видно, что в спокойный день высота слоя F2 изменялась примерно от 270 км днем до 370 км ночью, а в возмущенный день 30 мая 2003 г. (кривая 3) она была больше $z_m F2$ почти на 160 км около местной полуночи, достигнув примерно 530 км, и на 80 км — вблизи полудня.

Рассмотрим особенности необычного явления, связанного с падением $f_0 F2$ в восходный период (см. выше). Оно сопровождалось значительным снижением $z_m F2$ до примерно 320 км, на фоне которого в 03:45 произошла быстрая деформация высотного распределения N с расслоением профиля на два слоя и преобладанием нижнего слоя на высоте 240 км, что привело к снижению высоты максимума слоя почти на 80 км. В течение следующих 15 мин концентрация N нижнего слоя уменьшилась, и восстановился главный максимум области F2 на высоте 400 км в 04:00. Расслоение и деформация профиля N , увеличение толщины слоя сохранялись по крайней мере до 05:00. Эти эффекты имели признаки внезапного прохождения внутренней гравитационной волны (ВГВ). Высотные профили электронной концентрации в последовательные моменты времени (через 15 мин), демонстрирующие необычное поведение ионосферы в те-

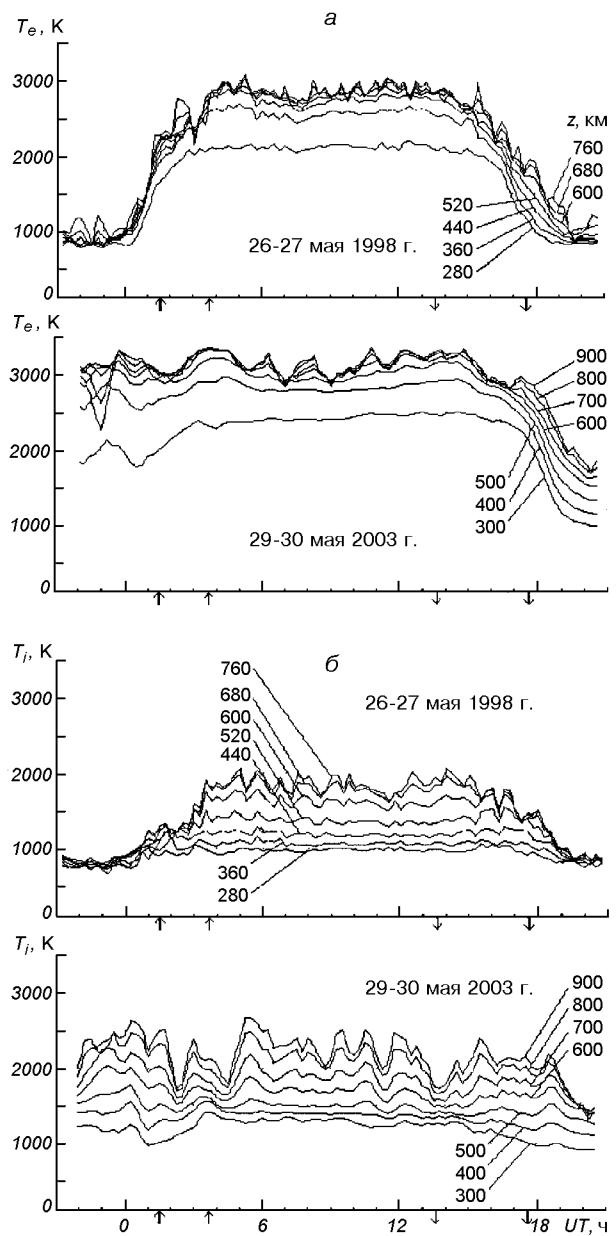


Рис. 6. Температуры T_e и T_i в спокойный день 26/27 мая 1998 г. и возмущенный день 29/30 мая 2003 г. (скользящее усреднение на интервале 45 мин с шагом 15 мин)

чение около 02:00—05:00, приведены на рис. 5. В магнитосфере этим событиям предшествовали поворот составляющей B_z межпланетного магнитного поля к северу и резкое уменьшение динамического давления солнечного ветра.

Вариации температур электронов T_e и ионов T_i в контрольный день 26—27 мая 1998 г. и во время бури 29—30 мая 2003 г. показаны на рис. 6.

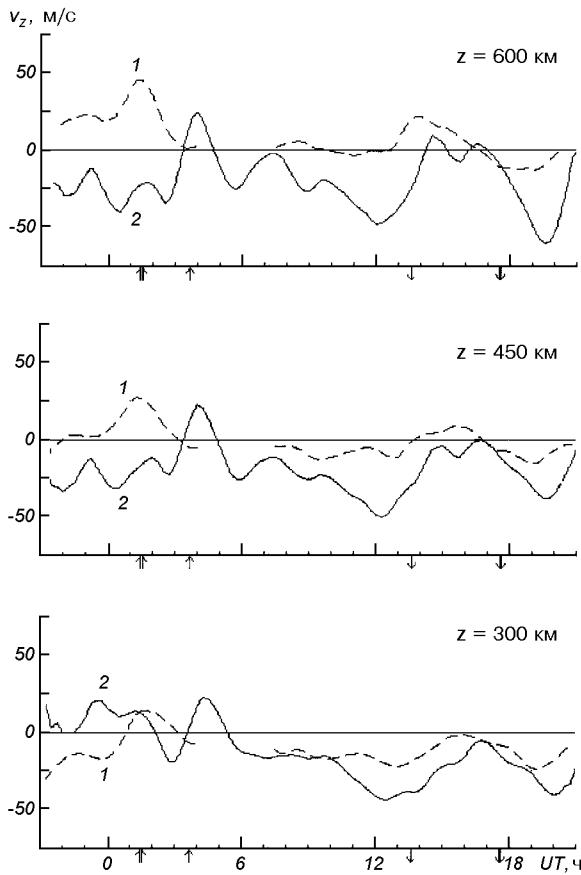


Рис. 7. Вариации скорости v_z на разных высотах: кривая 1 — в спокойный день 23/24 июня 1998 г., кривая 2 — возмущенный день 29/30 мая 2003 г. (скользящее усреднение на интервале 105 мин с шагом 15 мин)

В главную фазу магнитной бури, в ночь 29—30 мая, уменьшение концентрации электронов в четыре раза сопровождалось необычно сильным нагревом плазмы: температура электронов превысила 2000 К на высоте 300 км и 3200 К на высоте 800 км, а ионов — 1200 и 2400 К на тех же высотах (см. рис. 4 и 6). Такое явление в наших широтах наблюдалось крайне редко.

Вариации скорости переноса плазмы v_z в возмущенный и спокойный день 23—24 июня 1998 г. на разных высотах приведены на рис. 7. Видно, что характер суточных вариаций v_z в сравниваемые дни был подобным. Утренний всплеск скорости v_z в спокойный день характеризует регулярные изменения v_z и связан с восходом Солнца, когда процессы фотоионизации начинают преобладать над рекомбинацией ионов O^+ в остывшей за ночь атмосфере, и избыток плазмы уносится вверх. В возмущенный день отмечалось в основном увеличение модуля

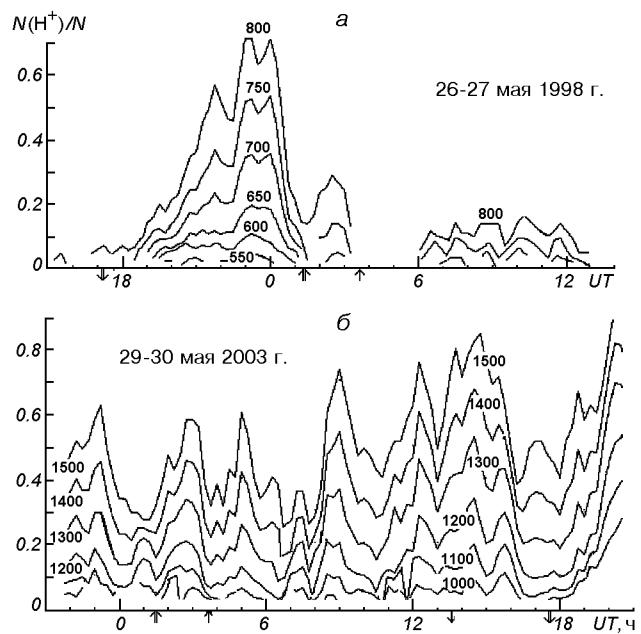


Рис. 8. Вариации относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$: а — в контрольный день 26/27 мая 1998 г., б — в возмущенный день 29/30 мая 2003 г. (скользящее усреднение на интервале 45 мин с шагом 15 мин)

отрицательных значений v_z , а также необычное колебание v_z в восходный период (около 02.00—05.00), которое накладывалось на утреннее поведение скорости v_z и изменяло ее знак. Колебание v_z относится к вышеупомянутому нарушению утреннего увеличения N на фоне резкого уменьшения и увеличения высоты $z_m F2$ (см. рис. 3).

Вариации относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ на фиксированных высотах для спокойного и возмущенного дней показаны на рис. 8. В течение магнитной бури ночью наблюдалось уменьшение $N(H^+)/N$ более чем на порядок величины (см. также рис. 4). Около полудня 30 мая на высотах 1200—1500 км отмечалось необычное увеличение $N(H^+)/N$ до значений 0.2—0.7, что превысило ночные значения примерно в 1.2 раза.

Волновые возмущения. Магнитная буря сопровождалась генерацией волновых возмущений концентрации электронов с относительной амплитудой $\delta_N = \Delta N/N$ в ночное время (18.00—02.00) около 10—20 %, а днем — 3...5 % и преобладающим периодом $T \approx 20$ мин. В ночь с 29 на 30 мая и днем 30 мая волновые возмущения наблюдались в диапазоне высот 140—550 км, а в последующую ночь — лишь на высотах 140—270 км. Очевидно, они имели различную физическую природу.

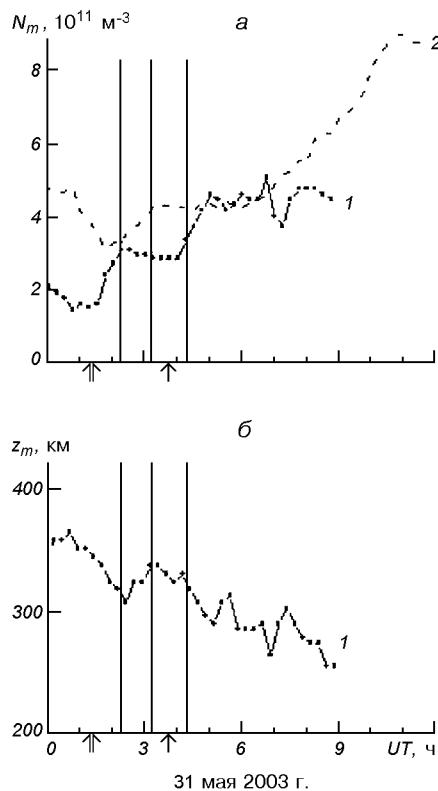


Рис. 9. Вариации: *а* — величины N_m в Харькове (кривая 1) и в контрольный день (кривая 2); *б* — величины $z_m F2$ в Харькове в день затмения Солнца 31 мая 2003 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ОТКЛИКА ИОНОСФЕРЫ НА ЗАТМЕНИЕ СОЛНЦА

Вариации N в максимуме слоя $F2$ и высоты максимума. Магнитная буря, начавшаяся 29 мая, вызвала отрицательную ионосферную бурю, которая еще продолжалась 31 мая. Сравнение с контрольной датой 19–20 мая (по данным станции вертикального зондирования в Сан-Вито) показало, что 31 мая, в восстановительной фазе магнитной бури, ионосферная буря стала ослабевать, и отклонение критической частоты $\delta f_0 F2$ в Харькове, которое 30 мая достигало -50% , уменьшилось до -35% (см. рис. 3, *а*). При этом уменьшение электронной концентрации N_m в максимуме слоя $F2$, которое 30 мая составило четыре раза ночью и три раза днем, уменьшилось соответственно до 2.5 и 1.5 раз (см. рис. 9, *а* и 4). Во время затмения на фоне возмущения и связанного с ним общего низкого уровня электронной концентрации отмечалось отклонение от утреннего нарастания N , которому соответствовало уменьшение $f_0 F2$ на 0.2–0.4 МГц,

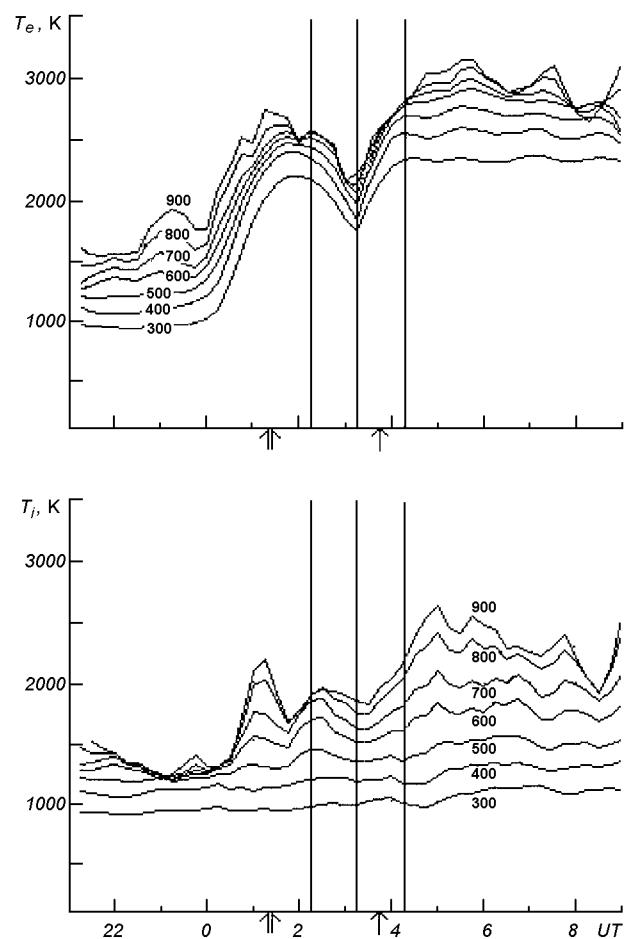


Рис. 10. Вариации T_e и T_i в день затмения Солнца на высотах $z = 300 \dots 900$ км (скользящее усреднение на интервале 45 мин с шагом 15 мин)

т. е. на 4–8 %, и уменьшение N_m на 9–17 % (рис. 9, *а* и 4). Уменьшение N сопровождалось увеличением высоты $z_m F2$ примерно на 30 км, почти центрированным относительно максимальной фазы затмения (рис. 9, *б* и 4).

Вариации температур электронов T_e и ионов T_i . Во время затмения Солнца наблюдалось малоинерционное (характерное время становления не более 100 с [1]) уменьшение T_e примерно на 500 К (рис. 4 и 10). Поведение $T_e(t)$ практически повторяло изменения во времени потока солнечного излучения. В течение затмения уменьшение T_i на высотах 300–400 км было малым, но с увеличением высоты величина эффекта возрастала. При $z = 800$ км уменьшение T_i достигло 300 К. Важно, что этот эффект был инерционным. Время его запаздывания составляло примерно 30–15 мин для $z \approx 400 \dots 800$ км.

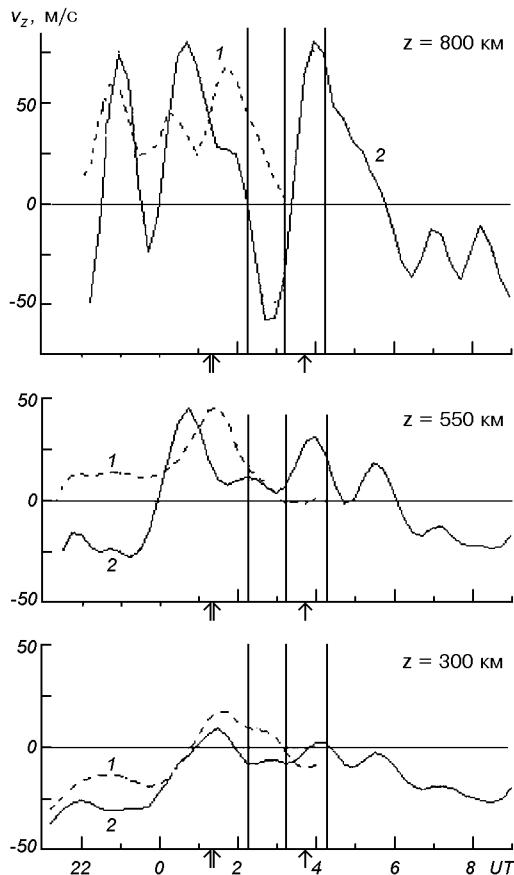


Рис. 11. Вариации скорости v_z на высотах 300, 550 и 800 км: 1 — в контрольный день, 2 — в день затмения Солнца (скользящее усреднение на интервале 75 мин с шагом 15 мин)

Вариации скорости переноса плазмы. Временные зависимости вертикальной составляющей скорости движения плазмы v_z для 31 мая 2003 г. и контрольного дня (выбраны спокойные сутки 23–24 июня 1998 г.) приведены на рис. 11 (данные получены с помощью скользящего усреднения на интервале 75 мин с шагом 15 мин). Видно, что характер суточных вариаций v_z в разные дни был подобным. Отличие наблюдалось во время затмения Солнца. Оно привело к тому, что на основное утреннее увеличение v_z наложилось малоинерционное уменьшение скорости v_z (см. рис. 4 и 11), почти центрированное относительно максимальной фазы затмения. Уменьшение v_z по сравнению с контрольным днем наблюдалось в диапазоне высот 250–850 км примерно с 01:00 до 03:00 (рис. 11). Высотные профили v_z (в виде исходных сеансов с 15 мин усреднением сигнала) в характерные моменты времени до затмения, в максимальной его фазе, после затмения, а также ночью приведены на рис. 12.

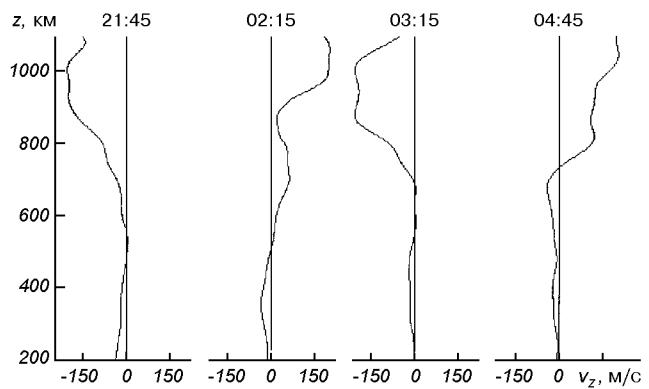


Рис. 12. Высотные профили скорости v_z в ночь 30/31 мая 2003 г. (21:45), до затмения Солнца 31 мая 2003 г. (02:15), в максимальной его фазе (03:15) и после затмения (04:45)

Видно, что перед началом затмения (02:15) процессы вертикального переноса плазмы уже перестроились к дневным условиям: $v_z \leq 0$ при $z \leq 500$ км, а выше $v_z > 0$, т. е. высотный профиль v_z имел вид, характерный для стандартной дневной ионосферы [20]. На стадии максимальной фазы затмения (03:15) скорость v_z стала нисходящей, достигла значений $-100\ldots-200$ м/с, а профиль v_z изменил характер и стал аналогичным ночному профилю (21:45) и теоретическому профилю, рассчитанному для ночного слоя F [20]. Примерно после 03:30 восстановился дневной характер профиля $v_z(z)$ (см. рис. 12, профиль для 04:45). Из рис. 12 следует, что во время затмения процессы переноса и обмена плазмой между ионосферой и протоионосферой изменяют характер и становятся аналогичными ночным условиям, т. е. затмение подобно наступлению кратковременной ночи.

Вариации концентрации ионов H^+ . Временные зависимости относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ на фиксированных высотах для спокойного дня (выбраны сутки 26–27 мая 1998 г.) и дня с затмением приведены на рис. 13. Видно, что затмение Солнца вызывало нарастающее с высотой увеличение относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ во внешней ионосфере, которое составило около 10 и 20 % на высотах 1100 и 1500 км (см. также рис. 4).

На рис. 14 приведены высотные профили $N(H^+)$ для четырех характерных моментов времени: непосредственно перед началом затмения, вблизи максимального покрытия, вскоре после затмения Солнца и в середине ночи. Видно, что вблизи максимума затмения (03:00) концентрация H^+ увеличилась за счет притока ионов из плазмосферы.

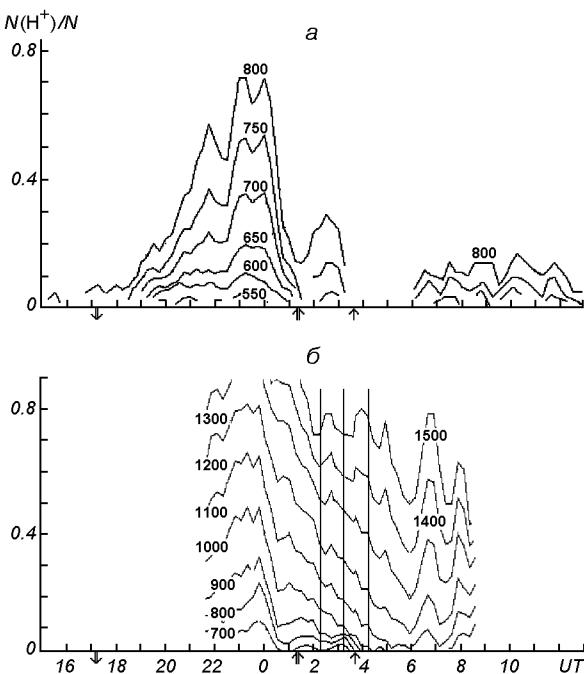


Рис. 13. Вариации относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$: *а* — в контрольный день 26/27 мая 1998 г., *б* — в день затмения Солнца 31 мая 2003 г. (скользящее усреднение на интервале 45 мин с шагом 15 мин)

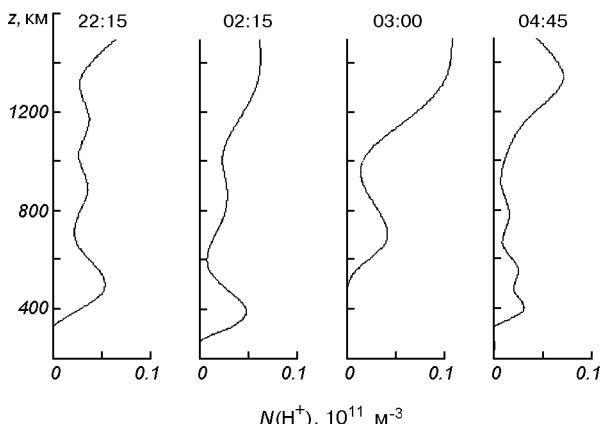


Рис. 14. Высотные профили концентрации ионов водорода $N(H^+)$ для характерных моментов времени: в середине ночи 30/31 мая 2003 г. (22:15), непосредственно перед началом затмения 31 мая (02:15), вблизи максимального покрытия (03:00) и вскоре после затмения (04:45)

Форма профиля соответствовала нисходящему потоку плазмы и стала аналогичной ночным условиям (профилю для 22:15). До затмения (02:15) и после него (04:45) форма профиля H^+ больше соответствовала дневным условиям и восходящему потоку плазмы [20].

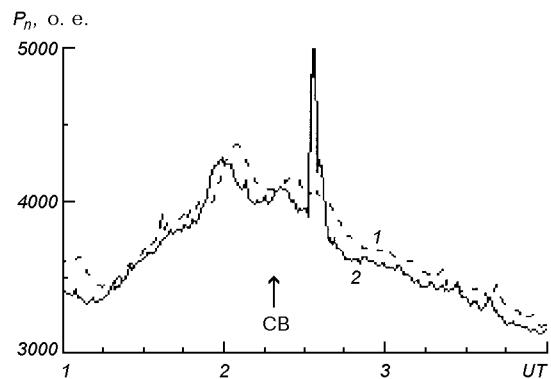


Рис. 15. Вариации мощности шумового радиоизлучения на частоте 158 МГц: 1 — 30 мая, 2 — во время солнечной вспышки (СВ) 31 мая 2003 г.

Эффекты затихающей бури в поведении ионов H^+ проявились в том, что относительная концентрация $N(H^+)/N$ ночью 31 мая составляла около 0.2 на высоте 800 км и превышала значение в главную фазу бури примерно в 4—6 раз. Вблизи местного полудня значения $N(H^+)/N \approx 0.2—0.6$ на высотах 1200...1500 км, т. е. уменьшились по сравнению с ночных значениями примерно в четыре раза.

Эффекты солнечной вспышки класса M 9.3. Около 03:30 был зафиксирован всплеск на 35—40 % мощности шумового радиоизлучения околоземной плазмы на частоте 158 МГц в полосе частот 260 кГц (рис. 15). Он обусловлен, скорее всего, перестройкой ионосферно-магнитосферного взаимодействия, вызванной вспышкой, и излучением высывающихся из радиационного пояса частиц [16].

ФИЗИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, СОПРОВОЖДАВШИХ ИОНОСФЕРНУЮ БУРИЮ

Variации N_m и $z_m F2$. Уменьшение N_m во время бури, ночью до четырех раз и днем до трех раз, по-видимому, в какой-то мере объясняется изменением нейтрального состава с уменьшением отношения $N(O)/(N(N_2) + N(O_2))$, которое связано с высокоширотным нагревом термосферы (за счет высыпания энергичных частиц и усиления авроральных электроструй) и перестройкой глобальной термосферной циркуляции [6, 8, 10]. Следует предположить также значительный вклад колебательного возбуждения молекул N_2 в увеличение скорости рекомбинации ионов O^+ [15, 21, 22, 25, 26, 28], который резко увеличивается при значени-

ях $T_e \geq 1500$ К [6, 7, 26, 30]. В нашем случае $T_e = 2000\ldots3200$ К, в том числе в ночное время. После полуночи причиной падения N могло быть смещение к экватору главного ионосферного провала, как и во время бури 25 сентября 1998 г. [17]. Оно было обнаружено при анализе глобальных карт полного электронного содержания (TEC), построенных по данным навигационной системы GPS [2].

В качестве одной из причин увеличения $z_m F2$ во время бури примерно на 160 км ночью и на 80 км вблизи полудня, наряду с усилением меридионального ветра к экватору [15, 28], рассматривается эффект проникновения магнитосферных электрических полей в средние широты [6, 15, 19, 28] за счет продолжительного (более суток) высapsulation протонов и электронов с потоком около $10^8 \text{ м}^{-2}\text{s}^{-1}\text{стер}^{-1}$. Результатом последнего является повышение проводимости нижележащей ионосферы, закорачивающей экранирующее поле поляризации (вторую систему продольных токов) [6]. Когда преобладает второй механизм, оценка сверху E_y по величине изменения $z_m F2$ дает максимальные значения поля 25 мВ/м ночью и 20 мВ/м днем.

Вариации T_e и T_i . В качестве возможной причины очень сильного нагрева плазмы в главную фазу магнитной бури рассматривается смещение горячей зоны вместе с плазмопаузой [6] на меньшие L -оболочки (для Харькова $L = 1.9$) в условиях высокой геомагнитной активности (три 3-часовых интервала с $K_p = 8$ в ночь 29—30 мая).

Вариации v_z . Необычное нарушение утреннего нарастания N на фоне резкого перепада $z_m F2$ вниз-вверх и деформации слоя, которые сопровождались волновым возмущением скорости v_z , могло быть вызвано проникновением в средние широты электрического поля с зональной составляющей $E_y \approx -20$ мВ/м, направленной на запад [19], и приходом ВГВ [6, 23, 24]. В магнитосфере этим событиям предшествовали резкий спад динамического давления солнечного ветра и поворот составляющей B_z межпланетного магнитного поля с юга на север.

Вариации относительной концентрации ионов H^+ . Уменьшение относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ более чем на порядок величины, которое наблюдалось ночью, в главную фазу бури, можно объяснить опустошением магнитной силовой трубы [6, 9, 13, 27]. Необычное увеличение $N(H^+)/N$ до значений 0.2—0.7, которое отмечалось днем 30 мая на высотах 1200…1500 км, по-видимому, связано с уменьшением давления плазмы в области F2 из-за высокой скорости рекомбинации ионов O^+ и депрессии N слоя F2 в результате бури, что ведет к увеличению потока плазмы

из протоносферы, к увеличению $N(H^+)$ и свидетельствует о начавшейся стадии наполнения геомагнитной силовой трубы после главной фазы бури [6, 13, 18].

ФИЗИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ИОНОСФЕРЕ, СОПУТСТВОВАВШИХ ЗАТМЕНИЮ СОЛНЦА

Вариации N_m и $z_m F2$. По мере покрытия солнечного диска уменьшение потока солнечного излучения вызвало нарушение сложившегося баланса между процессами ионообразования, потеря и переноса плазмы, возник направленный вниз поток плазмы из протоносферы [1, 5, 14, 29, 31], который противодействовал основному восходящему утреннему потоку. Их взаимодействие, по-видимому, не могло компенсировать сложившееся в процессе затмения Солнца преобладание потерь в слое, что привело к уменьшению N_m на 9—17 % и отклонению от утреннего увеличения N_m , которое наблюдалось в спокойный день. Преобладанием потерь в слое F2 можно объяснить также и увеличение примерно на 30 км высоты $z_m F2$, которое было почти центрировано относительно максимальной фазы затмения.

Вариации T_e и T_i . Во время затмения Солнца уменьшение T_e примерно на 500 К, почти синхронное на всех высотах, объясняется высокой теплопроводностью электронного газа. Степень уменьшения T_i увеличивалась с высотой за счет уменьшения концентрации нейтральных компонентов и теплообмена ионов с нейтральным газом. На высотах 300…400 км уменьшение T_i было незначительным, на высоте 800 км оно составило 300 К. Ниже 300 км T_i достигла, по-видимому, значения температуры нейтралов T_n и оставалась постоянной. Изменения T_i , в отличие от T_e , запаздывали относительно начала затмения на 30—15 мин за счет высокой теплоемкости и низкой теплопроводности ионного газа [1, 5, 14, 29].

Вариации v_z . В период, почти симметричный относительно максимальной фазы затмения, на высотах 250—850 км на утренний всплеск восходящей скорости плазмы наложилась направленная вниз скорость, которая увеличивалась после начала затмения. Такое поведение v_z объясняется уменьшением интенсивности ионизирующего излучения Солнца, которое привело к преобладанию потерь ионов O^+ и дополнительному потоку плазмы из внешней ионосферы, препятствующему выводу слоя F2 из состояния диффузационного равновесия [1, 5, 31].

Вариации относительной концентрации ионов H^+ . Наблюдения 31 мая интересны тем, что в них отражены эффекты двух высокоэнергичных геофизических событий: затмения Солнца и геокосмической бури. Рассмотрим эти эффекты. Увеличение относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ во время затмения Солнца, которое составило 10 и 20 % на высотах 1100 и 1500 км, связано с уменьшением интенсивности ионизирующего излучения Солнца. Результатом этого стал нисходящий поток плазмы из протоионосферы, который привел к увеличению $N(H^+)$ [1]. Эффекты затихающей бури проявились в том, что относительная концентрация $N(H^+)/N$ ночью 31 мая превышала значение в главную фазу бури примерно в 4—6 раз. Вблизи местного полудня на высотах 1200—1500 км отмечались значения $N(H^+)/N \approx 0.2\ldots 0.6$. Это свидетельствовало о процессе наполнения геомагнитной силовой трубы после главной фазы бури и постепенном увеличении концентрации ионов H^+ [6, 13, 18].

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ИОНОСФЕРЫ НАД ХАРЬКОВОМ НА ЗАТМЕНИЯ СОЛНЦА 31 МАЯ 2003 Г. И 11 АВГУСТА 1999 Г.

Затмение Солнца 11 августа 1999 г. [1] по своим пространственным характеристикам было аналогично рассматриваемому затмению 31 мая 2003 г., т. е. оно было частным с близким максимальным значением функции покрытия Солнца около 0.73. Его отличие состояло в том, что оно протекало вблизи полудня, т. е. в квазистационарной дневной ионосфере, и в магнитоспокойных условиях. Отсюда на фоне общих сопутствующих эффектов, подобных наступлению кратковременной ночи в ионосфере, наблюдались и определенные особенности реакции ионосферы, зависящие от геофизической обстановки. Рассмотрим их кратко.

К числу подобных ионосферных эффектов двух рассматриваемых затмений относятся: практически одинаковое уменьшение N , которое в максимуме области F составило 15 и 9—17 % в 1999 и 2003 гг. соответственно; одинаковое увеличение высоты $z_m F2$ на 30 км; близкие значения уменьшения температуры электронов на высотах 200—700 км (на 400—600 и 500 К) и несколько большее падение температуры ионов в 1999 г. (до 600 К), чем в 2003 г. (до 300 К); увеличение концентрации ионов водорода, которое составило на высоте 1100 км 30 % в 1999 г. и 10 % в 2003 г. (различие в абсолютных значениях вариации параметров ионосферы можно объяснить разным временем затмения).

К числу отличий в реакции ионосферы относятся: эффекты сложения нисходящей скорости плазмы, обусловленной затмением Солнца, с регулярным восходящим утренним всплеском скорости, результатом которого явилась неполная компенсация потока плазмы из протоионосферы и процессов потерь в области F2 и уменьшение N в течение всего времени затмения в 2003 г.; некоторая асимметрия вариации параметров ионосферы (температуры электронов и ионов, вертикальной скорости плазмы и др.), обусловленная значительным изменением зенитного угла Солнца в моменты первого и последнего контактов затмения; эффекты магнитного возмущения в 2003 г., которые проявлялись в том, что затмение протекало на фоне стадии наполнения геомагнитной силовой трубы после главной фазы бури и увеличения относительной концентрации ионов водорода.

ВЫВОДЫ

1. Сверхсильная магнитная буря 29—31 мая 2003 г. ($A_p = 89, 49, 17$) вызвала сильнейшую отрицательную ионосферную бурю. Обнаружены редкие для средних широт эффекты геокосмической бури.

2. К числу необычных эффектов бури относятся значительное (до четырех раз) уменьшение электронной концентрации N в области F2 ионосферы и сильный нагрев плазмы (ионов и электронов) до 2500—3200 К ночью, в течение главной фазы бури ($K_p = 8$). Причиной таких изменений могла быть деформация магнитосферы во время сверхсильной магнитной бури, сопровождаемая, по-видимому, смещением главного ионосферного провала, а также горячей зоны вместе с плазмопаузой на меньшие L -оболочки (для Харькова $L = 1.9$). Результатом необычного нагрева плазмы могло быть увеличение вклада колебательного возбуждения молекул N_2 в увеличении скорости потерь ионов O^+ и в наблюдаемое уменьшение N в слое F2.

3. Зарегистрировано увеличение высоты z_m максимума слоя F2, которое в течение главной фазы бури достигло 160 км. Увеличение $z_m F2$ могло быть обусловлено проникновением магнитосферных электрических полей в средние широты за счет продолжительного (более суток) высыпания протонов и электронов с потоками около $10^8 \text{ м}^{-2}\text{s}^{-1}\text{стэр}^{-1}$, которое привело к повышению проводимости нижней ионосферы, закорачивающей экранирующее поле поляризации. Оценка сверху E_y по величине изменения $z_m F2$ дала максимальные значения поля 25 мВ/м ночью и 20 мВ/м днем.

4. Обнаружено уменьшение относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ более чем на порядок величины в течение главной фазы бури и увеличение $N(H^+)/N$ до значений 0.2—0.7 на высотах 1200—1500 км в дневное время. Эти эффекты вероятно вызваны истощением магнитной силовой трубы и последующим ее наполнением. Они свидетельствуют о перестройке процессов ионосферно-магнитосферного взаимодействия.

5. Зарегистрировано необычное волновое возмущение скорости v_z в восходный период на фоне нарушения утреннего увеличения N , резкого перепада $z_m F2$ вниз-вверх и деформации слоя. Эффект, по-видимому, был вызван проникновением в средние широты импульса электрического поля с составляющей $E_y \approx -20$ мВ/м, направленной на запад. Его источником в магнитосфере мог быть резкий поворот составляющей B_z межпланетного магнитного поля с юга на север и изменение динамического давления солнечного ветра.

6. Затмение Солнца 31 мая 2003 г. вызвало целый комплекс процессов на всех высотах, напоминающий кратковременную (около 2—3 ч) перестройку околоземной среды к ночных условиям.

7. На стадии максимальной фазы затмения Солнца скорость переноса плазмы v_z изменила направление, достигла $-100\ldots-200$ м/с, и профиль $v_z(z)$ стал подобен ночному. Это свидетельствует о нарушении баланса ионизации в слое F2 во время затмения, результатом которого стал нисходящий поток плазмы, диффундирующей из плазмосферы в область сложившегося в результате затмения преобладания потерь.

8. Затмение Солнца вызвало отклонение от утреннего увеличения N , которое сопровождалось уменьшением $f_0 F2$ на 4—8 %, уменьшением N_m на 9—17 % и увеличением высоты $z_m F2$ на 30 км.

9. Затмение Солнца привело к малоинерционному уменьшению температуры электронов T_e примерно на 500 К и уменьшению температуры ионов T_i , нарастающему с высотой до 300 К на высоте 800 км, с запаздыванием 30—15 мин.

10. Результатом затмения Солнца явилось нарастающее с высотой увеличение относительной концентрации ионов водорода во внешней ионосфере, которое составило 10—20 % на высотах 1100—1500 км.

11. Исследована реакция ионосферы на солнечную вспышку 31 мая класса M 9.3, которая почти совпала с началом затмения. Зафиксирован всплеск на 35—40 % мощности шумового радиоизлучения околоземной плазмы на частоте 158 МГц примерно через 17 мин после начала солнечной вспышки.

Всплеск обусловлен, скорее всего, вызванной вспышкой перестройкой ионосферно-магнитосферного взаимодействия и излучением высывающихся из радиационного пояса частиц.

12. Установлено, что на эффекты затмения Солнца 31 мая 2003 г. в ионосфере накладывались утренний всплеск восходящей скорости плазмы, характерный для периода восхода Солнца, дополнительное увеличение $N(H^+)/N$, связанное с ионосферным возмущением, а также эффекты солнечной вспышки класса M 9.3, вызвавшей, по-видимому, перестройку ионосферно-магнитосферного взаимодействия. Эти факторы определили описываемые отличия от поведения ионосферы во время затмения Солнца 11 августа 1999 г., которое протекало в дневной квазистационарной ионосфере в магнитоспокойных условиях.

1. Акимов Л. А., Григоренко Е. И., Таран В. И. и др. Комплексные радиофизические и оптические исследования динамических процессов в атмосфере и геокосмосе, вызванных солнечным затмением 11 августа 1999 года // Заруб. радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники.—2002.—№ 2.—С. 25—63.
2. Афраймович Э. Л., Косогоров Е. А., Леонович Л. А., Пирог О. М. Глобальная картина крупномасштабных ионосферных возмущений во время магнитной бури 25 сентября 1998 г. // Геомагнетизм и астрономия.—2002.—42, № 4.—С. 491—498.
3. Ботовский В. К., Григоренко Е. И., Емельянов Л. Я. и др. Особенности вариаций параметров ионосферы во время геокосмической бури 30 мая 2003 года // Третья Украинская конференция по перспективным космическим исследованиям: Сб. тез. — Кацивели, Крым, 2003.—С. 142.
4. Ботовский В. К., Григоренко Е. И., Пазора С. А. и др. Эффекты солнечного затмения 31 мая 2003 года, развивающиеся на фоне восстановительной фазы магнитной бури // Третья Украинская конференция по перспективным космическим исследованиям: Сб. тез. — Кацивели, Крым, 2003.—С. 143.
5. Бойтман О. Н., Калихман А. Д., Таццилин А. В. Среднеширотная ионосфера в период полного солнечного затмения 9 марта 1997 г. 1. Моделирование эффектов затмения // Геомагнетизм и астрономия.—1999.—39, № 6.—С. 45—51.
6. Брюнелли Б. Е., Намгаладзе А. А. Физика ионосферы. — М.: Наука, 1987.—528 с.
7. Бэнкс П. М. Тепловая структура ионосферы // ТИИЭР.—1969.—57, № 3.—С. 6—30.
8. Данилов А. Д., Морозова Л. Д. Ионосферные бури в области F2. Морфология и физика (обзор) // Геомагнетизм и астрономия.—1985.—25, № 5.—С. 705—721.
9. Кринберг И. А., Таццилин А. В. Ионосфера и плазмосфера. — М.: Наука, 1984.—189 с.
10. Серебряков Б. Е. Исследование процессов в термосфере во время магнитных возмущений // Геомагнетизм и астрономия.—1982.—22, № 5.—С. 776—781.
11. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и астрономия.—2001.—41, № 5.—С. 659—666.
12. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастро-

- номия.—2003.—8, № 1.—С. 59—106.
13. Bailey G. J., Moffett R. J., Murphy J. A. Calculated daily variations of O⁺ and H⁺ at mid-latitudes. II. Sunspot maximum results // *J. Atmos. and Terr. Phys.*—1979.—41.—P. 471—482.
 14. Baron M. J., Hunsucker R. D. Incoherent scatter radar observations of the auroral zone ionosphere during the total solar eclipse of July 10, 1972 // *J. Geophys. Res.*—1973.—78, N 31.—P. 7451—7460.
 15. Buonsanto M. J. Millstone Hill Incoherent Scatter F Region Observations During the Disturbances of June 1991 // *J. Geophys. Res.*—1995.—100, N A4.—P. 5743—5755.
 16. Chernogor L. F., Grigorenko Ye. I., Taran V. I., Tyrnov O. F. Ionospheric wave-like disturbances (WLD) following the September 23, 1998 solar flare from Kharkiv incoherent scatter radar observations // XXVII General Assembly of the International Union of Radio Science, Programme, Poster Presentations Maastricht Exhibition and Congress Centre (MECC), Maastricht the Netherlands. 17—24 august 2002a. P. 2278.
 17. Chernogor L. F., Grigorenko Ye. I., Taran V. I., Tyrnov O. F. Dynamic processes in the near-Earth plasma during the September 25, 1998 magnetic storm from Kharkiv incoherent scatter radar data // XXVII General Assembly of the International Union of Radio Science, Programme, Poster Presentations Maastricht Exhibition and Congress Centre (MECC), Maastricht the Netherlands. 17—24 august 2002b. P. 2280.
 18. Evans J. V., Holt J. M. Nighttime proton fluxes at Millstone Hill // *Planet. Space Sci.*—1978.—26, N 8.—P. 727—744.
 19. Foster J. C., Rich F. J. Prompt midlatitude electric field effects during severe geomagnetic storms // *J. Geophys. Res.*—1998.—103.—P. 26367—26372.
 20. Geisler J. E., Bowhill S. A. An investigation of ionosphere-protonosphere coupling // *J. Atmos. and Terr. Phys.*—1965.—27, N 457.—P. 1119.
 21. Mikhailov A. V., Foster J. C. Daytime thermosphere above Millstone Hill during severe geomagnetic storms // *J. Geophys. Res.*—1997.—102.—P. 17275—17282.
 22. Mikhailov A. V., Fürstner M. Some F2-layer effects during the January 06—11, 1997 CEDAR storm period as observed with the Millstone Hill incoherent scatter facility // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*—1999.—61.—P. 249—261.
 23. Mishin E., Foster, J. C., Potekhin A. P., et al. Ionospheric perturbations caused by quasi-periodic magnetic disturbances during the September 25, 1998 storm, in *EOS Trans. AGU*, 81 N 48, Fall Meeting, F 947, San Francisco, USA, 2000.
 24. Mishin E., Foster J. C., Rich F. J., Taran V. Prompt ionospheric response to short period solar wind variations during the magnetic cloud event Sep 25, 1998, in *EOS Trans. AGU*, 82 N. 20. Spring Meeting, S 291, San Francisco, USA, May 15, 2001.
 25. Pavlov A. V. The role of vibrationally excited oxygen and nitrogen in the ionosphere during the undisturbed and geomagnetic Storm Period of 6—12 April 1990 // *Ann. Geophys.*—1998.—16.—P. 589—601.
 26. Pavlov A. V., Buonsanto M. J., Schlesier A. C., et al. Comparison of models and data at Millstone Hill during the 5—11 June 1991 Storm // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*—1999.—61.—P. 263—279.
 27. Richards P. G., Torr D. D. Seasonal, diurnal and solar cyclical variations of the limiting H⁺ flux in the Earth's topside ionosphere // *J. Geophys. Res.*—1985.—90, N A6.—P. 5261—5268.
 28. Richards P. G., Torr D. G., Buonsanto M. J., et al. Ionospheric effects of the March 1990 magnetic storm: Comparison of theory and measurement // *J. Geophys. Res.*—1994.—99, N A12.—P. 23359—23365.
 29. Salah J. E., Oliver W. L., Foster J. C., et al. Observations of the May 30, 1984, Annular solar eclipse at Millstone Hill // *J. Geophys. Res.*—1986.—91, N A.—P. 1651—1660.
 30. Shunk R. W., Nagy A. F. Electron temperature in the F region of the ionosphere: theory and observations // *Rev. Geophys. Space Phys.*—1978.—16, N 3.—P. 355—399.
 31. Sterling D. L., Hanson W. B., Woodman R. F. Synthesis of data obtained at Jicamarca, Peru, during the September 11, 1969, eclipse // *Radio Sci.*—1972.—7, N 2.—P. 279—289.

DYNAMIC PROCESSES IN THE IONOSPHERE DURING THE GEOSPACE STORM ON 30 MAY AND SOLAR ECLIPSE ON 31 MAY 2003

Ye. I. Grigorenko, S. A. Paziura, V. A. Puliaiev,
V. I. Taran, L. F. Chernogor

Some results of the F region and topside ionosphere response to the 29—31 May 2003 severe geomagnetic storm (maximum index $K_p = 8$) are presented. The observations are carried out with the Kharkov incoherent scatter radar. Considerable storm effects in the ionosphere were revealed. Among them were deep electron density N depletion, uplifting in the peak height z_m F2, unusual heating of plasma, decrease of relative concentration of hydrogen ions in the main phase of the storm, infringement of processes of the ionosphere-magnetosphere interaction. The geospace storm was also accompanied by generation of wave-like ionosphere disturbances. Some features of the ionosphere response to the 73 % solar eclipse on 31 May 2003 occurred after sunrise during the recovery phase of the geomagnetic storm are considered. It is shown that, during the eclipse, short-time (2—3 h) reforming the ionosphere to night conditions takes place. The effects of magnetic disturbance, solar flare and the peculiarities of ionosphere behaviour during sunrise period, that were being imposed on the ionosphere response to the solar eclipse, are also discussed.