

УДК 550.385.37:550.388

Д. А. Дзюбанов<sup>1</sup>, Л. Я. Емельянов<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

## ДИНАМИКА ПЛАЗМЫ ИОНОСФЕРЫ НАД ХАРЬКОВОМ В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 г.

---

*Описано результати спостереження за динамічними процесами поблизу максимуму іонізації шару F2 та у зовнішній іоносфері, які були викликані частковим (близько 0.42) сонячним затемненням (СЗ) 1 серпня 2008 р. поблизу м. Харкова. Продемонстровано, що під час СЗ відбувалася характерна (2–3 год) перебудова іоносфери та іоносферно-плазмосферних процесів спочатку до нічних, а потім до денних умов. Оцінено потоки плазми із плазмосфери в іоносферу та у зворотному напрямку. Концентрація електронів у шарі F2 зменшувалася на  $32 \pm 3\%$ . Результати цього експерименту узгоджуються з результатами наших попередніх досліджень.*

---

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время стало понятным, что качественно новое понимание наблюдаемых процессов во всех геосферах, и в околоземной космической среде в частности, а также построение физико-математических моделей этих процессов невозможно без представлений о том, что Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера (ЗАИМ) является единой системой [15–19]. Важно, что эта система — открытая динамическая и нелинейная. Между подсистемами есть прямые и обратные, положительные и отрицательные связи. Воздействие на систему ЗАИМ источников высокой энергии приводит к перестройке характера взаимодействия подсистем.

Солнечное затмение (СЗ) относится к источникам высокой энергии. Оно приводит к существенному изменению параметров околоземной среды и взаимодействий между подсистемами. Изучению воздействия СЗ на среду посвящено значительное количество работ. В работах [1, 7, 8, 14, 20, 23] использовались методы наблюдений, дающие ограниченный объем информации о процессах, сопутствующих СЗ. Более полную

информацию в широком диапазоне высот получают при помощи метода некогерентного рассеяния (НР) [2–6, 8, 9, 13, 24]. Этот метод позволяет получить сведения о параметрах плазмы и ее движениях, а значит, открывает возможности изучения взаимодействия подсистем в системе ЗАИМ, в частности взаимодействия ионосферы и плазмосферы.

Цель работы — изложение результатов наблюдения за переносом плазмы из плазмосферы в ионосферу и в противоположном направлении в период частного СЗ вблизи г. Харькова.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОЛНЕЧНОМ ЗАТМЕНИИ

Солнечное затмение началось 1 августа 2008 г. в 08:04 (здесь и далее мировое время) в северной части Канады, а закончилось в 12:38 в Китае. Центральная линия затененной области пересекла Гренландию, Арктику, Новую Землю, Центральную Россию (города Надым, Нижневартовск, Барнаул и др.), Монголию и Китай. Ширина этой области составляла 237 км, а скорость ее движения — около 900 м/с. Максимальное по продолжительности полное затмение имело место в 10:21 UT.

В месте проведения измерений (вблизи г. Харькова) покрытие диаметра диска Солнца достигало 0.42. При этом максимальная затененная площадь диска составляла около 0.31. СЗ началось в 09:11, а закончилось в 11:17, главная фаза имела место в 10:15.

Вид функции  $A(t) = S(t) / S_0$  покрытия диска Солнца приведен на рис. 1 ( $S$  — площадь покрытой части диска,  $S_0$  — площадь диска). Видно, что в момент главной фазы  $A_{\max} = 0.31$ .

### СОСТОЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Состояние космической погоды удобно описывать в терминах временных вариаций плотностей потоков протонов и электронов, межпланетного магнитного поля,  $H_p$ -компонента геомагнитного поля, а также индексов авроральной и магнитной активностей ( $AE$ ,  $K_p$  и  $D_{st}$ ).

Охарактеризуем кратко состояние космической погоды в период с 29 июля по 4 августа 2008 г. Затмению предшествовало малосущественное магнитное возмущение (индекс  $K_p$  изменялся от 0 до 2). Незначительными были вариации плотности потока протонов. Плотность потока электронов изменялась по квазипериодическому закону с периодом около 1 сут в пределах  $(2-5) \cdot 10^6 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ стер}^{-1}$ . Компонент  $B_z$  хаотически варьировал в пределах  $\pm(2-3)$  нТл. Малосущественными были флуктуации уровня  $B_t$  (около  $\pm 1$  нТл). Достаточно упорядоченными с периодом в 1 сут были вариации  $H_p$ -компонента геомагнитного поля (в пределах 50 нТл). Значения индекса  $D_{st}$  также хаотически флуктуировали в пределах  $\pm(3-5)$  нТл. Вариации индекса  $AE$  были незначительными, но в отдельные временные интервалы достигали 300 нТл.

Таким образом, день затмения 1 августа 2008 г. был спокойным. Это обстоятельство существенно облегчало выделение возмущений, связанных с затмением.

### СРЕДСТВА И МЕТОДЫ

**Радар некогерентного рассеяния.** Радар расположен в Ионосферной обсерватории Института ионосферы (49°36' с.ш., 36°18' в.д.). Основные параметры радара следующие: частота 158 МГц,

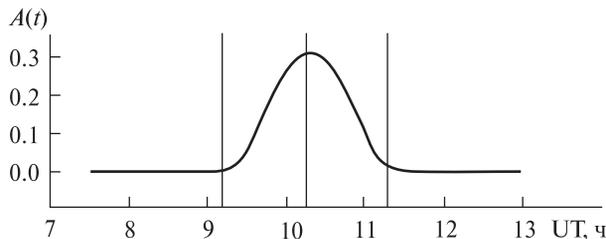


Рис. 1. Временные изменения функции  $A(t)$  покрытия диска Солнца

диаметр зенитной параболической антенны 100 м, эффективная площадь антенны  $3700 \text{ м}^2$ , коэффициент усиления антенны — около  $10^4$ , ширина основного лепестка диаграммы направленности около  $1^\circ$ , импульсная и средняя мощности радиопередающего устройства достигают 3.6 МВт и 100 кВт соответственно, длительность импульса  $\tau_p \leq 800$  мкс, частота следования импульсов  $F = 24.4$  Гц. Полоса пропускания фильтра радиоприемного устройства составляет 5.5...9.5 кГц.

Погрешность получаемых параметров ионосферы обычно не превышает 5—10 % в дневное время и 15—30 % в ночное время.

**Ионозонд.** Ионозонд «Базис» предназначен для общего контроля состояния ионосферы и калибровки мощности НР-сигналов. Ионозонд расположен в Ионосферной обсерватории рядом с радаром НР. Погрешность отсчета частоты на ионограммах не хуже 0.1 МГц, а критической частоты — 0.05 МГц.

**Определение скорости движения плазмы.** Скорость движения плазмы определяется по измеренным квадратурным составляющим комплексной корреляционной функции (КФ)  $\rho_{\text{Im}}(t_j, \tau_k)$  и  $\rho_{\text{Re}}(t_j, \tau_k)$  некогерентно рассеянного сигнала, спектр которого переносится в область низких частот с помощью синхронного детектирования.

Высотный профиль вертикальной составляющей скорости  $V_z(z)$  может вычисляться по измеренным квадратурным составляющим комплексной КФ НР-сигнала на основе следующего соотношения [21]:

$$V_z = -\frac{\lambda}{4\pi} \frac{d\phi}{d\tau}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина радиоволны,

$$\varphi = \arctg \frac{\rho_s(\tau)}{\rho_c(\tau)},$$

$\rho_s(\tau)$  и  $\rho_c(\tau)$  — синусная и косинусная составляющие коэффициента корреляции.

При численном дифференцировании вместо (1) используется соотношение

$$V_z \approx -\frac{\lambda}{4\pi} \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau}, \quad (2)$$

где  $\Delta\tau$  — величина шага дискретизации,  $\Delta\varphi$  — изменение функции  $\varphi(\tau)$  на интервале  $\Delta\tau$ .

Для повышения точности оценки скорости целесообразно применять усреднение  $V_z$  по  $n$  значениям, т. е. вместо (2) вычисления проводить по формуле

$$V_z = -\frac{\lambda}{4\pi n} \sum_{k=1}^n \frac{\Delta\varphi_k}{\Delta\tau}. \quad (3)$$

Однако и после усреднения при  $n = 9$  оценка (3) остается неустойчивой. Поэтому здесь мы использовали методику, описанную в работах [10, 11]. В этом случае

$$V_z(z_j) = -\frac{1}{n} \frac{\lambda}{4\pi} \sum_{k=k_{\min}}^{k_{\min}+n-1} (\varphi_{jk} - \varphi_{j0}) / \tau_k, \quad (4)$$

или

$$V_z(z_j) = -\frac{\lambda}{4\pi} \frac{\sum_{k=k_{\min}}^{k_{\min}+n-1} (\varphi_{jk} - \varphi_{j0}) \rho^2(t_j, \tau_k) \tau_k}{\sum_{k=k_{\min}}^{k_{\min}+n-1} \rho^2(t_j, \tau_k) \tau_k^2}, \quad (5)$$

$$\varphi_{jk} = \arctg r_{jk}, \quad \varphi_{j0} = \arctg r_{j0},$$

$$r_{jk} = \rho_{\text{Im}}(t_j, \tau_k) / \rho_{\text{Re}}(t_j, \tau_k),$$

$$r_{j0} = \rho_{\text{Im}}(t_j, 0) / \rho_{\text{Re}}(t_j, 0),$$

$$\rho^2(t_j, \tau_k) = \rho_{\text{Im}}^2(t_j, \tau_k) + \rho_{\text{Re}}^2(t_j, \tau_k),$$

где  $\tau_k = k\Delta\tau$ , при используемом в данной работе режиме зондирования ионосферы длинным импульсом  $\Delta\tau = 61$  мкс,  $k = 1..9$  (чаще всего  $k_{\min} = 1$ ).

Преимущество варианта (5) по сравнению с (4) состоит в уменьшении статистической по-

решности измерения  $V_z$  за счет учета веса каждой ординаты КФ сигнала. Отметим, что в выражениях (4), (5) в качестве  $\rho(t_j, \tau_k)$  фигурируют оценки коэффициентов корреляции, получаемые в результате обработки случайных сигналов.

Ненормированные КФ и мощности сигнала НР, используемые для определения коэффициентов корреляции, вычисляются в виде разности оценок статистических параметров выходных сигналов приемника (мощности и корреляционной функции аддитивной смеси сигнала и шума) для каждой выборки  $j$  и соответствующих параметров шума, усредненных по множеству замеров в конце развертки дальности, где уровень НР-сигнала пренебрежимо мал.

Обработка данных включает в себя определение значений мощности и корреляционной функции НР-сигнала для каждого дискретного времени запаздывания  $t_j$ , соответствующего высоте  $z_j = ct_j/2$ , при фиксированных задержках  $\tau_k$  в виде разности оценок статистического параметра смеси сигнал+шум и соответствующего параметра шума, коррекцию результатов обработки и нормирование КФ.

В результате первичной обработки в реальном времени для каждой высоты  $z_j = ct_j/2$  определяются базовые оценки статистических характеристик НР-сигнала при временном накоплении, равном 1 мин.

Вторичная обработка включает в себя отбраковку данных, подверженных искажениям, усреднение статистических характеристик НР-сигнала по высоте (с учетом трапециoidalного усреднения КФ НР-сигнала, описанного в работе [22]) и, при необходимости, по времени, вычисление скорости  $V_z$  согласно выражениям (4) или (5). Отметим, что отбраковка данных осуществляется преимущественно при наличии помех, вызванных отражением зондирующего сигнала от летающих объектов (космические аппараты, космический мусор, метеороиды и т. п.). Интервал усреднения по времени для определения  $V_z$  устанавливается в зависимости от условий измерений и обычно равен 15 мин.

**Погрешность оценки скорости движения плазмы.** Эта погрешность зависит от отношения сигнал/шум  $q$ , количества  $n$  дискретных интер-

валов времени, количества  $n_1$  значений, по которым производится усреднение.

При ряде упрощающих предположений нами получена оценка сверху относительной погрешности определения  $V_z$ :

$$\tilde{\sigma}_V = \frac{\sigma_V}{\bar{V}_z} = 2 \sqrt{\frac{2(2+\sqrt{2})}{nn_1q}},$$

где  $\sigma_V^2$  — дисперсия оценки  $V_z$ ,  $\bar{V}_z \neq 0$  — среднее значение скорости.

При  $n = 9$ ,  $n_1 = 45$  (интервал усреднения 45 мин) имеем

$$\tilde{\sigma}_V \approx \frac{0.25}{\sqrt{q}}.$$

Значения оценок  $\tilde{\sigma}_V$  приведены в табл. 1. Видно, что получение  $V_z$  с приемлемой относительной погрешностью (меньше 50 %) возможно лишь на тех высотах, где  $q \geq 0.25$ . В данных измерениях такие значения  $q$  имеют место при  $z \leq 470$  км.

Абсолютная средняя квадратичная погрешность измерения  $V_z$  на высотах области  $F$  при 15-мин накоплении составляет 5–20 м/с при  $q > 0.2$ . В районе максимума ионизации она может быть снижена до 2 м/с за счет оптимизации работы аппаратуры радара и методов обработки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

**Вариации концентрации электронов.** Измерения временной зависимости критической частоты  $f_0F2$  на ионограммах, получаемых при помощи ионозонда «Базис», позволило проследить за временными вариациями концентрации электронов  $N$ . Зависимость  $f_0F2(t)$  приведена на рис. 2. Видно, что до затмения  $f_0F2$  изменялась от 4.5 до 4.85 МГц. Уменьшение критической частоты началось примерно за 45 мин до первого контакта небесных тел.

По мере покрытия диска Солнца значения  $f_0F2$  уменьшались от  $4.85 \pm 0.05$  до  $4.00 \pm 0.05$  МГц.

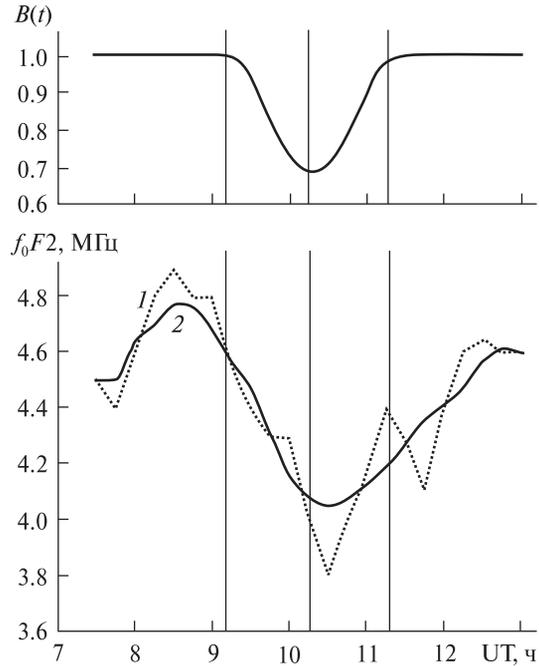


Рис. 2. Временные вариации функции  $B(t) = 1 - A(t)$  и критической частоты  $f_0F2$  для обыкновенной составляющей следа на ионограммах: 1 — значения, полученные с 15-минутной дискретизацией, 2 — сглаженные при помощи скользящего среднего на интервале 75 мин

Им соответствовало уменьшение концентрации электронов от  $N = 2.84 \cdot 10^{11}$  до  $N_{\min} = 2.00 \times 10^{11} \text{ м}^{-3}$ . Максимальное значение  $\delta f_0F2 \approx 0.8$  МГц. При этом уменьшение концентрации электронов  $\Delta N = 8.4 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ ,  $N_{\min} / N = 0.68 \pm 0.03$  и  $\delta_N = \Delta N / N \approx 32.0$  %. С учетом погрешности измерения  $f_0F2$  имеем  $\delta_N = 32 \pm 3$  %.

Примерно после главной фазы СЗ значения  $f_0F2$  изменялись по квазипериодическому закону. Величина квазипериода  $T \approx 70$  мин, а амплитуда  $\delta f_0F2 = 0.2$  МГц. При этом  $\delta_N = 10$  %. Продолжительность этого процесса была не менее 2 ч.

**Временные вариации скорости движения плазмы.** На рис. 3 показаны временные вариации вертикальной составляющей скорости движе-

Таблица 1. Зависимость относительной погрешности оценки скорости движения плазмы от отношения сигнал/шум (интервал усреднения — 45 мин)

$q$	0.1	0.25	0.5	0.75	1.0	2.5	5	7.5	10	15	20
$\tilde{\sigma}_V$	0.79	0.50	0.35	0.29	0.25	0.16	0.11	0.09	0.08	0.06	0.056

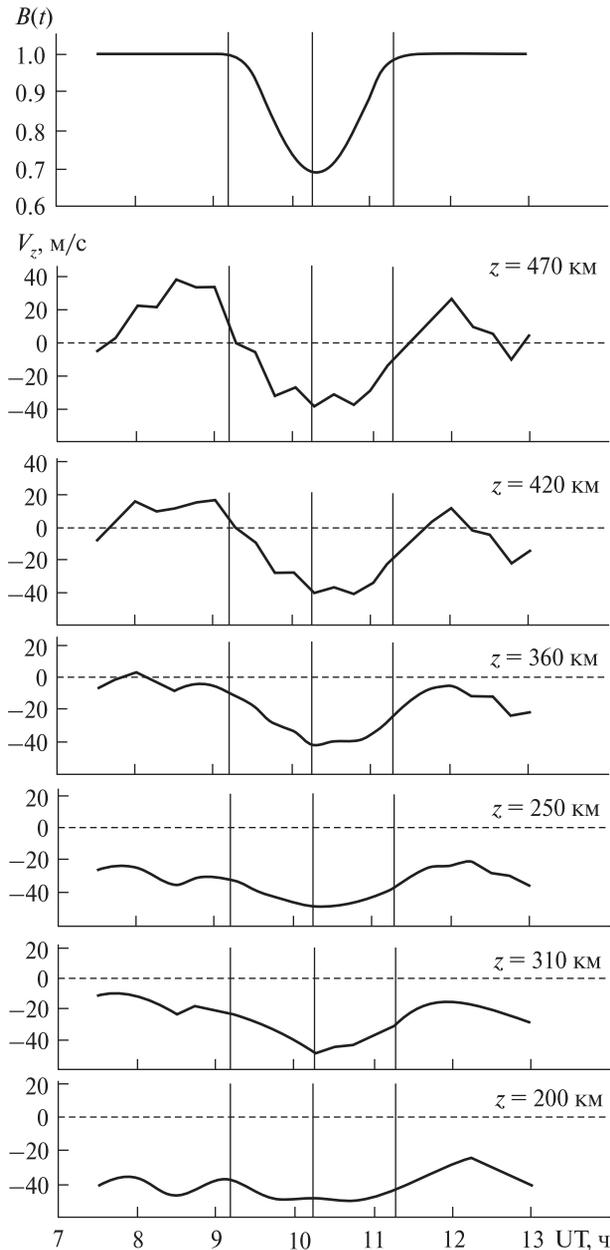


Рис. 3. Временные вариации функции  $B(t)$  (верхняя панель) и вертикальной составляющей  $V_z$  скорости движения плазмы на различных высотах (результаты скользящего усреднения по 45 мин)

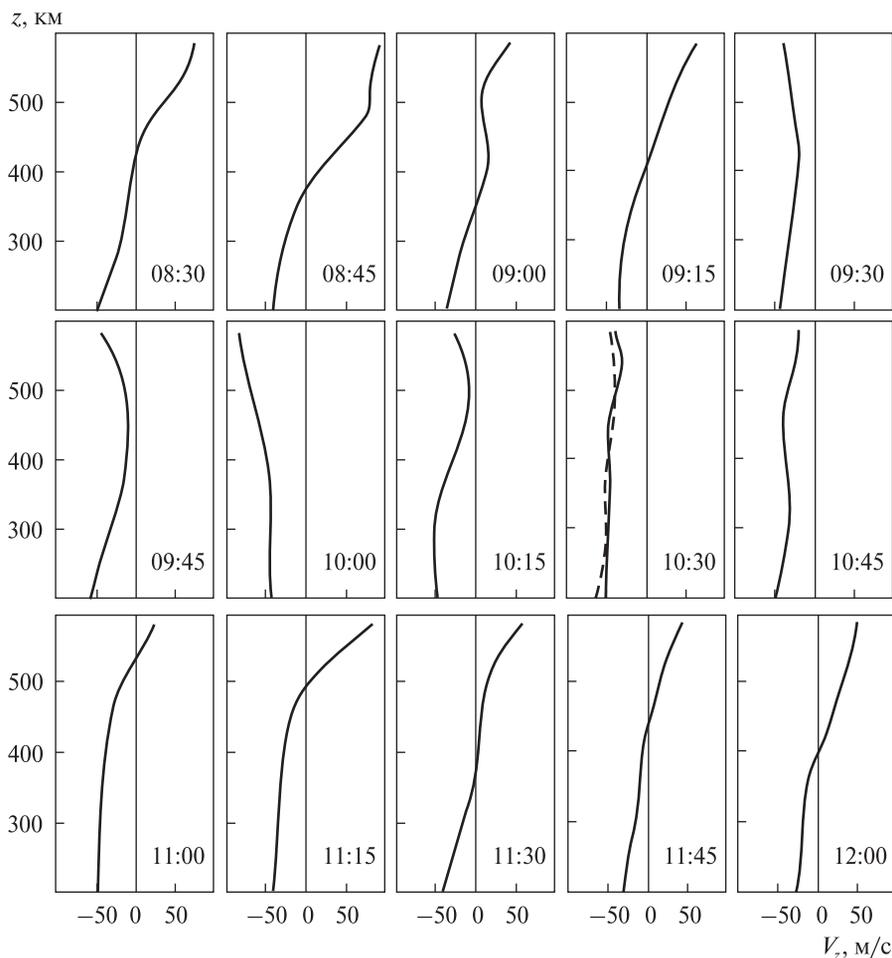
ния плазмы  $V_z$  для ряда высот ионосферы в диапазоне 200—470 км (отношение мощности некогерентно рассеянного сигнала на этих высотах к мощности шума  $q > 0.2$ ). Видно, что временной ход  $V_z(t)$  на всех высотах практически

повторяет ход функции  $B(t) = 1 - A(t)$ , где  $A(t)$  — функция покрытия. На высотах  $z \approx 250...360$  км модуль скорости (здесь  $V_z < 0$ , плазма движется вниз) увеличился от 10—25 до 50 м/с, а на высотах, близких к  $z \approx 200$  км, он изменился незначительно: от 38 до 50 м/с. В то же время в диапазоне высот 360—470 км модуль скорости увеличился на 35—40 м/с. До СЗ на высотах 400—470 км  $V_z = 10...50$  м/с, а вблизи главной фазы затмения  $V_z \approx -35...-40$  м/с. Это означает, что в верхней части изучаемой области ионосферы затмение соответствует переходу от дневных условий к ночным. На этих высотах в ночное время поток плазмы направлен из плазмосферы в ионосферу. Плазмосфера «подпитывает» ночную ионосферу плазмой. Подобные процессы наблюдались вблизи главной фазы СЗ. После окончания затмения в диапазоне высот 400—580 км скорость снова стала положительной и достигла значений 25—55 м/с на высотах 470 и 580 км соответственно. Поток плазмы, как и до СЗ, здесь направлен вверх: ионосфера «подпитывает» плазмосферу.

Переход к дневной ионосфере завершился к 12:15, т. е. через 1 ч после окончания затмения.

**Высотные вариации скорости движения плазмы.** Высотные профили  $V_z(z)$  для различных моментов времени показаны на рис. 4. Видно, что до СЗ переход от отрицательных значений скорости к положительным осуществляется на высоте  $z \approx 390...420$  км. Примерно через 20 мин после наступления затмения на всех высотах  $V_z < 0$ . Это продолжалось около 90 мин. После 10:50 на высоте  $z \approx 530$  км и выше скорость стала положительной. Постепенно высота, где  $V_z = 0$ , опускалась вниз. В 12:00 она составила около 400 км, а в 12:15 — 360 км. К этому времени эффекты СЗ практически закончились.

Отметим, что высотный профиль скорости  $V_z$ , полученный вблизи главной фазы СЗ в 10:15, несколько отличается от ожидаемого на высотах 400—530 км из-за уменьшения модуля  $V_z$  на 20—50 м/с в этом диапазоне высот, тем не менее знак скорости не изменяется. Этот эффект подлежит более тщательному анализу. Добавим, что на графике высотного профиля  $V_z(z)$ , полученного в 10:30, штриховой линией показан про-



**Рис. 4.** Высотные зависимости вертикальной составляющей  $V_z$  скорости движения плазмы для различных временных интервалов (усреднение по 15 мин). Штриховой линией показана высотная зависимость  $V_z$  для вечернего времени (20:00) 18 августа 2008 г.

филь  $V_z(z)$ , измеренный 18 августа 2008 г. в 20:00. Видно сходство высотных вариаций скорости движения плазмы в вечернее время и днем вблизи главной фазы СЗ.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика ионосферной плазмы при помощи харьковского радара НР изучалась нами в течение СЗ 11 августа 1999 г. (функция покрытия около 73 %), 31 мая 2003 г. (64 %), 3 октября 2005 г. (13 %), 29 марта 2006 г. (70 %) и 1 августа 2008 г. (31 %) [2—9, 11—14, 24]. Для всех затмений качественная картина была сходной. После покрытия диска Солнца на высотах, больших 400—500 км, скорость плазмы постепенно уменьшалась и становилась отрицательной. Минимальные (т. е. наибольшие по модулю) значения  $V_z$  достигались вблизи главной фазы

СЗ. После этого скорость постепенно увеличивалась (изменялась в сторону положительных значений) и достигала своего дневного значения, равного 30—50 м/с. Иначе говоря, затмение сначала вызвало переходные процессы, подобные тем, которые имеют место в вечернее время, а затем процессы, свойственные утреннему времени. Отличие состояло лишь в том,

**Таблица 2.** Плотность потока частиц плазмы для характерных моментов времени (высота — 470 км)

Время, UT	$V_z$ , м/с	$N$ , $10^{10} \text{ м}^{-3}$	$\Pi$ , $10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$
08:45	33	5.7	1.9
09:15	1	5.4	0.05
10:30	-31	4.6	-1.4
11:15	-10	4.4	-0.4
12:15	10	5.2	0.5

что такие переходы от «светлого» времени к «темному» и наоборот длились около 1 ч. В вечернее и утреннее время аналогичные процессы имеют длительность по несколько часов.

Изменение знака скорости свидетельствует об изменении направления движения плазмы. Результаты расчета плотности потока частиц плазмы  $\Pi = V_z N$  для  $z = 470$  км приведены в табл. 2. Видно, что до затмения величина  $\Pi$  составляла около  $1.9 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , вскоре после начала СЗ плотность потока уменьшалась до нуля, далее она становилась отрицательной. Максимальное значение ее модуля составляло около  $1.4 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$  и примерно приходилось на главную фазу затмения. Затем значение этого модуля уменьшалось. После окончания эффектов СЗ плотность потока стала положительной и достигла почти таких же значений, которые были накануне затмения.

Примерно такие же параметры динамических процессов, описывающих ионосферно-плазмосферное взаимодействие, получены и для СЗ 1999, 2003, 2005 и 2006 гг.

## ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что в период СЗ в диапазоне высот 200—470 км скорость движения плазмы направлена вниз, в то время как до затмения она была направлена вниз лишь на высотах  $z \leq 360$  км.

2. Установлено, что затмение привело к изменению скорости движения плазмы на 10—45 м/с на высотах 200—470 км соответственно.

3. Получено, что продолжительность вызванных СЗ вариаций скорости составляла около 3 ч.

4. Продемонстрировано, что направленный вверх до затмения поток частиц в течение СЗ стал направленным вниз, а после его окончания — снова вверх.

5. Показано, что плотность потока частиц в период затмения изменялась от  $1.9 \cdot 10^{12}$  до  $-1.4 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , и далее до  $0.5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$ .

6. Обнаружено, что СЗ привело к уменьшению критической частоты области F2 на 0.85 МГц, или на 17.5 %, и концентрации электронов на  $8.4 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ , или на 32 %.

Авторы благодарны И. Б. Склярову, С. В. Черняеву и А. Ф. Кононенко за организацию и проведение измерений на радаре НР.

1. Акимов А. Л., Акимов Л. А., Черногор Л. Ф. Параметры турбулентных процессов в атмосфере, сопровождавших затмения Солнца // Радиофизика и радиоастрономия. — 2007. — **12**, № 2. — С. 117—134.
2. Акимов А. Л., Боговский В. К., Григоренко Е. И. и др. Атмосферно-ионосферные эффекты солнечного затмения 31 мая 2003 года в Харькове // Геомагнетизм и аэрономия. — 2005. — **45**, № 4. — С. 526—551.
3. 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 // Зарубеж. радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. — 2002. — № 2. — С. 25—63.
4. Акимов Л. А., Григоренко Е. И., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Особенности атмосферно-ионосферных эффектов солнечного затмения 31 мая 2003 года: результаты оптических и радиофизических наблюдений в Харькове // Успехи современной радиоэлектроники. — 2005. — № 3. — С. 55—70.
5. Бурмака В. П., Григоренко Е. И., Емельянов Л. Я. и др. Радарные наблюдения эффектов в геокосмосе, вызванных частным солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Успехи современной радиоэлектроники. — 2007. — № 3. — С. 38—53.
6. Бурмака В. П., Лысенко В. Н., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове. 1. Результаты наблюдений // Космічна наука і технологія. — 2007. — **13**, № 6. — С. 74—86.
7. Гоков А. М., Черногор Л. Ф. Результаты наблюдений процессов в нижней ионосфере, сопутствующих затмению Солнца 11 августа 1999 г. // Радиофизика и радиоастрономия. — 2000. — **5**, № 4. — С. 348—360.
8. Григоренко Е. И., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Эффекты в ионосфере и атмосфере, вызванные солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэрономия. — 2008. — **48**, № 3. — С. 350—364.
9. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Пуляев В. А. и др. Динамические процессы в ионосфере во время геокосмической бури 30 мая и затмения Солнца 31 мая 2003 года // Космічна наука і технологія. — 2004. — **10**, № 1. — С. 12—25.
10. Емельянов Л. Я., Григоренко Е. И., Скляров И. Б. Радиофизические наблюдения вертикального дрейфа плазмы в области F ионосферы на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. — 2004. — Вып. 136. — С. 102—108.

11. Емельянов Л. Я., Дзюбанов Д. А. Особенности определения скорости переноса плазмы среднеширотной ионосферы // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. — 2006. — Вып. 145. — С. 5—13.
12. Костров Л. С., Черногор Л. Ф. Результаты наблюдения процессов в средней ионосфере, сопутствующих затмению Солнца 11 августа 1999 г. // Радиофизика и радиоастрономия. — 2000. — 5, № 4. — С. 361—370.
13. Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове. 2. Результаты расчетов и обсуждение // Космічна наука і технологія. — 2008. — 14, № 1. — С. 57—64.
14. Черногор Л. Ф. Высыпание электронов из магнитосферы, стимулированное затмением Солнца // Радиофизика и радиоастрономия. — 2000. — 5, № 4. — С. 371—375.
15. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия. — 2003. — 8, № 1. — С. 59—106.
16. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — геокосмос как открытая динамическая нелинейная система // Космічна наука і технологія. — 2003. — 9, № 5/6. — С. 96—105.
17. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 1) // Нелинейный мир. — 2006. — 4, № 12. — С. 655—697.
18. Черногор Л. Ф. Тропический циклон как элемент системы Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера // Космічна наука і технологія. — 2006. — 12, № 2/3. — С. 16—36.
19. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 2) // Нелинейный мир. — 2007. — 5, № 4. — С. 198—231.
20. Черногор Л. Ф. Эффекты солнечных затмений в приземной атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2008. — 44, № 4. — С. 467—482.
21. Evans J. V. Ionospheric movements measured by incoherent scatter: A review // J. Atmos. Terr. Phys. — 1972. — 34. — P. 175—209.
22. Holt J. M., Rhoda D. A., Tetenbaum D., van Eyken A. P. Optimal analysis of incoherent scatter radar data // Radio Sci. 1992. — 27, N 3. — P. 435—447.
23. Jones T. B., Wright D. M., Milner J., et al. The detection of atmospheric waves produced by the total solar eclipse 11 August 1999 // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. — 2004. — 66, N 5. — P. 363—374.
24. Taran V. I., Bogovsky V. K., Lysenko V. N., et al. Investigation of circumterrestrial space by means of incoherent scatter radar // Космічна наука і технологія. Додаток (Space Plasma Physics). — 2001. — 7, № 2. — С. 36—41.

Надійшла до редакції 18.03.09

D. A. Dzyubanov, L. Ya. Emelyanov, L. F. Chernogor

#### PLASMA DYNAMICS OF THE IONOSPHERE ABOVE KHARKIV DURING THE SOLAR ECLIPSE OF 1 AUGUST 2008

We present the results of observations of dynamic processes nearby the  $F_2$ -layer maximum and in the topside ionosphere, which were caused by the partial (about 0.42) solar eclipse on 1 August 2008 near Kharkiv. It is shown that during the solar eclipse there was characteristic (from two to three hours) reconstruction of ionosphere and ionosphere-plasmasphere processes at first to nightly, and then to daily conditions. The plasma fluxes from plasmasphere to ionosphere and in return direction are estimated. The electron density decreased by  $32 \pm 3\%$  in the  $F_2$ -layer. The results of this experiment agree with the results of our previous researches.