

УДК 550.388.2

С. В. Панасенко, Л. Ф. Черногор

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

ВАРИАЦИИ РАДИОШУМОВ СЧ-ДИАПАЗОНА НАД ХАРЬКОВОМ В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 Г.

Проаналізовано варіації інтенсивностей радіошумів середньочастотного діапазону, а також параметрів хвилевих збурень у день сонячного затемнення та у фоновий день. У період сонячного затемнення мало місце зменшення до 4 разів інтенсивності радіошумів, що, скоріш за все, викликано стимульованим затемненням глобальним висипанням електронів із магнітосфери. Наведено результати розрахунку параметрів потоків частинок, що висипаються. Показано, що в період сонячного затемнення мало місце підсилення хвилевих збурень з періодами від 8 до 50–55 хв і відносними амплітудами 0.02–0.04.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение эффектов солнечных затмений (СЗ) в атмосфере проводится в течение многих десятилетий с использованием целого ряда методов. К ним, например, относятся методы вертикального зондирования [7, 11–14], некогерентного рассеяния [3, 4, 8, 9, 13, 16–18, 30], доплеровский метод [16, 28], спутниковые методы [5] и др. [1, 2, 18]. Благодаря этим исследованиям установлено, что физические процессы в ионосфере отличаются разнообразием и существенно зависят от состояния космической погоды, фазы затмения, положения в цикле солнечной активности и других факторов. Наименее изучены эффекты в нижней ионосфере или мезосфере (60–90 км). Это связано со сложностью и многообразием процессов, протекающих в этой области, а также с ограниченностью методов, применяемых для ее изучения. Наибольшее число измерений выполнено с использованием радиосигналов очень низкочастотного (ОНЧ) диапазона, распространяющихся в нижней ионосфере [6, 15]. Многократно подтверждено, что параметры верхней стенки волновода Земля — ионосфера существенно изменяются в течение затмения. В работе [29] с использованием ракетных измерений показано, что при полном СЗ

концентрация электронов уменьшается в течение затмения до 10 раз. Для исследования эффектов затмения в D-области ионосферы применялся также метод частичных отражений [7, 11, 21]. В работах [11, 21] обнаружено, что кроме уменьшения концентрации электронов на стадии покрытия диска Солнца концентрация электронов увеличивалась. В работе [21] последнее явление объясняется высыпанием частиц с энергиями 50–100 кэВ из магнитосферы.

В настоящей работе радар среднечастотного (СЧ) диапазона применялся для исследования временных вариаций интенсивностей радиошумов обыкновенной и необыкновенной поляризацій, прошедших через плазму нижней ионосферы.

Целью работы является описание результатов статистического и спектрального анализа временных вариаций радиошумов на частоте 2.4 МГц, сопровождавших СЗ.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ

Технические характеристики радара, расположенного в Радиофизической обсерватории Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина, и режимы его работы подробно описаны в работе [10]. Здесь отметим лишь следующее. Прием шумового радиоизлучения осуществлялся на частоте $f = 2.4$ МГц. В экспери-

менте регистрировались огибающие обыкновенного и необыкновенного компонентов радиошума $A_{o,x}$. Измерения проводились в период СЗ, а также в фоновый день.

Исследовались временные зависимости средних квадратов огибающих обоих компонентов $I_{o,x} = \langle A_{o,x}^2 \rangle$, которые пропорциональны интенсивностям компонентов радиошума. Здесь угловые скобки означают скользящее усреднение на интервале времени 60 мин с шагом 1 мин.

Для определения параметров волновых возмущений (ВВ) использовался пассивный метод дистанционного радиозондирования, описанный в работе [19], а также методы спектрального анализа [24].

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАТМЕНИИ И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКЕ

Затмение в месте расположения Радиофизической обсерватории было частным. Координаты обсерватории следующие: $49^{\circ}38'$ с. ш., $36^{\circ}20'$ в. д. Оно началось в 09:11, закончилось в 11:17 (здесь и далее UT). Максимальная фаза СЗ (0.42) наблюдалась в 10:15. При этом функция покрытия составляла $A_{\max} \approx 0.31$. Общая продолжительность СЗ в окрестности Харькова равнялась примерно 2 ч 06 мин. Освещенность поверхности Земли во время главной фазы СЗ уменьшилась примерно в 1.7 раза.

Период 29 июля — 4 августа 2008 г. характеризовался спокойной геомагнитной и солнечной активностью. Солнечная активность была низкой. Трехчасовые индексы геомагнитного поля K_p в рассматриваемый период не превышали 3 единиц, в день затмения $K_{p\max} = 2$. Индекс D_{st} -вариаций геомагнитного поля достигал -10 нТл, индекс авроральной активности AE в среднем флуктуировал в пределах 50—60 нТл.

Скорость солнечного ветра изменялась от 450 до 310 км/с. В день СЗ она достигала 380—390 км/с, температура частиц не превышала $0.75 \cdot 10^5$ К, а их концентрация — $6 \cdot 10^6$ м $^{-3}$. Величина давления солнечного ветра в день затмения не превышала значений 1—1.9 нПа. Величины плотностей потоков протонов Π_{pr} и электронов Π_e изменялись в пределах 0—300 м $^{-2}$ с $^{-1}$ стер $^{-1}$ и $(1—5) \cdot 10^6$ м $^{-2}$ с $^{-1}$ стер $^{-1}$ соответственно.

Таким образом, день СЗ 1 августа 2008 г., как и фоновый день 2 августа 2008 г., были спокойными.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Интенсивность радиошума. Временные вариации $I_{o,x}$, нормированных на максимальное значение, в день затмения и в фоновый день приведены на рис. 1. Видно, что величина I_o в день затмения вначале плавно возрастала и достигла максимального значения вблизи 07:28. После этого началось ее уменьшение до минимального значения 0.225, которое наблюдалось вблизи 11:00. Затем началось возрастание интенсивности необыкновенного компонента, которое продолжалось до окончания эксперимента.

В фоновый день значение I_o также уменьшилось с течением времени, однако это уменьшение было не таким существенным, как в день СЗ. В интервале времени 07:00—13:00 интенсивность незначительно отклонялась от значения 0.7, после чего она увеличивалась до конца эксперимента.

Величина I_x в день СЗ сначала слегка увеличивалась, а после 07:30 начала уменьшаться. В 10:47 интенсивность необыкновенного компонента достигла минимального значения 0.32, после чего началось ее увеличение вплоть до окончания эксперимента.

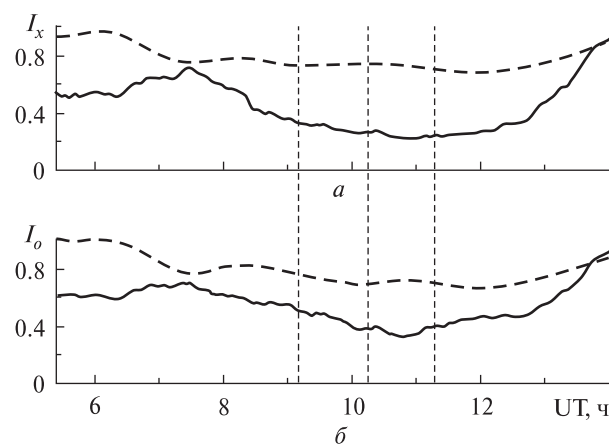


Рис. 1. Временные вариации интенсивностей обыкновенного (а) и необыкновенного (б) компонентов радиошума в день затмения (сплошная линия) и в фоновый день 2 августа 2008 г. (штриховая линия)

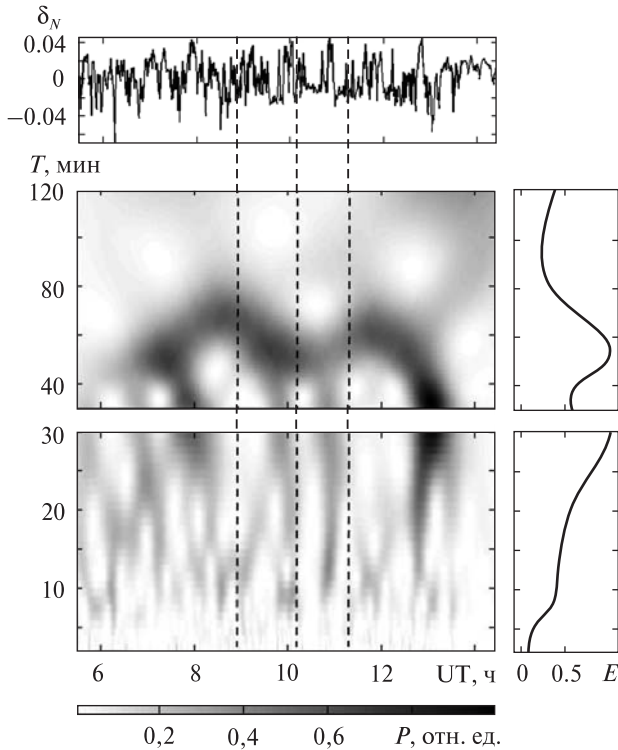


Рис. 2. Временная зависимость относительных вариаций δ_N электронной концентрации, полученная с использованием обычного компонента радишума, в период СЗ 1 августа 2008 г. (первая панель), а также спектрограммы (P , относительные единицы) адаптивного преобразования Фурье анализируемого сигнала для периодов 30–120 мин (вторая панель) и 2–30 мин (третья панель). Справа приведены энергограммы соответствующих преобразований

В фоновый день величина I_x вначале несколько уменьшилась. В период с 08:00 до 13:00 ее значения в основном лежали в пределах 0.65–0.75, а затем имело место ее небольшое увеличение.

В целом вариации интенсивностей обычного и необыкновенного компонентов радиопомехи были подобны.

Волновые возмущения. Результаты исследования ВВ в день затмения по данным спектрального анализа $I_o(t)$ приведены на рис. 2, 3. На протяжении всего дня наблюдались ВВ различной длительности, с разными периодами и относительной амплитудой 0.02–0.04.

После начала СЗ вблизи 09:50 имело место усиление колебания с периодом около 50 мин.

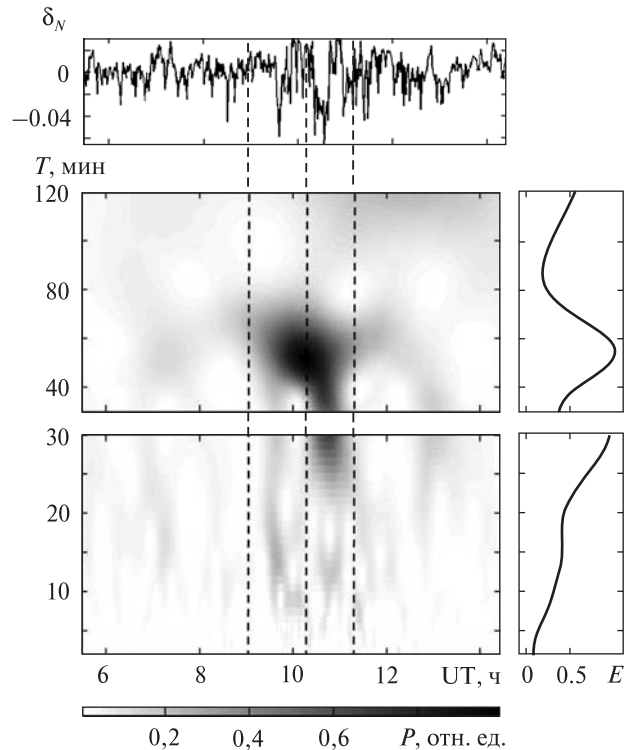


Рис. 3. То же для необыкновенного компонента радишума

Продолжительность этого колебания составляла около двух периодов. Также вблизи 10:00 имело место колебание с периодом 8 мин, продолжавшееся около 25 мин (три периода).

Результаты спектрального анализа $I_x(t)$ демонстрируют наличие мощного квазипериодического процесса с периодом 50–55 мин, возникшего примерно через 30 мин после начала затмения. Его продолжительность составила не более двух периодов. Вблизи 10:00 наблюдалось ВВ с периодом около 8 мин и длительностью 20–30 мин. Кроме того, в интервале времени 10:30–11:00 имело место еще одно ВВ с периодом около 12 мин. Последнее возмущение практически не просматривалось на спектрограммах, полученных в процессе анализа обычного компонента радишума.

В фоновый день амплитуды ВВ не превышали 0.01–0.02. В этот день не обнаружены существенные вариации параметров ВВ в течение времени наблюдения.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

По вариациям интенсивностей обыкновенной и необыкновенной составляющих радишумов можно оценить изменение интегрального коэффициента поглощения K , а затем и изменение концентрации электронов N .

Из рис. 1 видно, что уменьшение $I_{o,x}$ имело место с 08:00 до 13:00. Этот интервал времени практически совпал с интервалом времени наблюдения СЗ на земном шаре (от Канады до Китая). Это наводит на мысль, что уменьшение $I_{o,x}$ связано с определенным процессом глобального характера. Очевидно, оно вызвано увеличением поглощения радишумов. В свою очередь, увеличение K должно вызываться увеличением N .

Поскольку прямое воздействие затмения приводит к уменьшению плотности потока солнечного излучения, а значит и к уменьшению N , то такое воздействие не может объяснить увеличение N и K .

К росту N и K в глобальных масштабах может привести выпадение высокоэнергичных частиц из магнитосферы в результате опосредованного воздействия СЗ на подсистемы в системе Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера [22, 23, 26, 31].

Оценка возмущений концентрации электронов.

Из сравнения $I_{o,x}$ в фоновый день и в день СЗ получим, что $\Delta I_o \approx 0.4...0.5$, $\Delta I_x \approx 0.3...0.4$ (см. рис. 1). При средних значениях $I_{o,x} \approx 0.8$ в фоновый день имеем

$$\mu_o \approx \frac{\Delta I_o}{I_o} \approx 0.5...0.6,$$

$$\mu_x \approx \frac{\Delta I_x}{I_x} \approx 0.4...0.5.$$

С другой стороны,

$$\mu_{o,x} = 1 - e^{-2\Delta K_{o,x}}.$$

Тогда $\Delta K_o \approx 0.35...0.46$, $\Delta K_x \approx 0.25...0.35$. Отсюда следует, что радиоизлучение с обыкновенной поляризацией проникает в ионосферную плазму глубже.

Действительно, при квазивертикальном падении излучения на гиротропную плазму с частотой $\omega = 2\pi f$ условия отражения волн обыкновенной и необыкновенной поляризаций имеют

вид [27]:

$$\omega = \omega_p, \quad (1)$$

$$\omega = \frac{\omega_B}{2} + \sqrt{\left(\frac{\omega_B}{2}\right)^2 + \omega_p^2}, \quad (2)$$

где $\omega_B = 2\pi f_B$, $f_B \approx 1.4$ МГц — гирочастота электронов, $\omega_p = 2\pi f_p$, f_p — плазменная частота на высоте отражения радиоволны. Из выражения (1) следует, что радиоволна обыкновенной поляризации отражается на высоте z_o , где

$$N \approx \frac{\epsilon_0 m \omega^2}{e^2}.$$

Здесь ϵ_0 — электрическая постоянная, m и e — масса и заряд электрона. При $f = 2.4$ МГц имеем $N \approx 7.1 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$.

Вычисляя N из уравнения (2), получим, что на высоте отражения радиоволны необыкновенной поляризации z_x концентрация электронов $N \approx 3.0 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$. Таким значениям N соответствуют $z_o \approx 110-115$ км и $z_x \approx 100-105$ км (см. таблицу).

Зная $\Delta K_{o,x}$ и $K_{o,x}$, можно оценить средние по высоте значения возмущения N :

$$\delta_N = \frac{\Delta N}{N} \approx \frac{\Delta K_{o,x}}{K_{o,x}}.$$

Точность измерения I_o выше, чем точность измерения I_x . Поэтому оценим δ_N по данным I_o . Для этого необходимо вычислить K_o , задавшись типичной моделью среды для условий, близких к условиям, что имели место в околополуденное время 1 и 2 августа 2008 г. (см. таблицу). Прове-

Параметры среды и радиоизлучения

z , км	N_o , 10^9 м^{-3}	v , 10^6 с^{-1}	κ_o , Мм^{-1}
60	0.03	20	6.7
65	0.04	12	7.1
70	0.05	7	6.4
75	0.1	3.7	7.1
80	0.2	2	7.6
85	0.7	1.2	16
90	2	0.7	27
95	7	0.37	49
100	20	0.2	76
105	40	0.12	91
110	60	0.07	80
115	70	0.037	50

дем расчет K_o для неотклоняющего поглощения и моделей N и частоты соударений ν , представленных в таблице. Учет кинетических эффектов производится при помощи введения эффективной частоты соударений $\nu_{ef} \approx 2.09\nu$ [20].

Выражение для K_o имеет вид

$$K_o(z_o) = \frac{\omega}{c} \int_{z_1}^{z_2} \kappa_o(z) dz,$$

где c — скорость света в вакууме, $z_1 = 60$ км, $z_2 = 115$ км,

$$\kappa_o = \frac{\omega_p^2}{(\omega + \omega_L)^2 + \nu^2} \frac{\nu_{ef}}{2c}$$

— показатель поглощения, $\omega_L = 8.16 \cdot 10^6$ с⁻¹ — продольная составляющая псевдовектора ω_p для координат г. Харькова. Расчеты K_o осуществлялись для вертикальной радиотрассы, что оправдывается узкой (около 30°) шириной диаграммы направленности приемной антенны. В результате расчетов получено значение $K_o \approx 2$, которому соответствуют значения $\delta_N \approx 0.18$ —0.23.

Таким образом, уменьшение I_o 1 августа можно объяснить увеличением N в среднем на 20 %. Если это увеличение вызвано потоками высокоэнергичных частиц, высыпаящихся из радиационного пояса, оценим параметры потоков по методике [21]. Плотность потока высокоэнергичных электронов с энергией ϵ равна

$$\Pi_e = \frac{\Pi}{\epsilon}.$$

Здесь $\Pi = 2\epsilon_i \Delta z \Delta q$ — плотность потока энергии, $\epsilon_i \approx 35$ эВ — энергия, затрачиваемая высыпаящимся электроном на ионизацию одной молекулы воздуха, Δz — толщина слоя, где поглощается поток высокоэнергичных частиц, $\Delta q = q - q_0 = \alpha N^2 - \alpha_0 N^2$, где q и q_0 — скорости образования электронов в возмущенных и невозмущенных условиях (электронные концентрации N и N_0), α и α_0 — коэффициенты рекомбинации в возмущенных и невозмущенных условиях. При $\delta_N \ll 1$ и $\alpha \approx \alpha_0$ имеем

$$\Delta q \approx 2\alpha_0 N_0^2 \delta_N.$$

Расчеты $\kappa_o(z)$ показали, что основное поглощение радиоизлучения обыкновенной поляризации имело место в диапазоне высот 90—110 км

(см. таблицу). Полагая, что на средней высоте $z \approx 100$ км $N_0 \approx 2 \cdot 10^{10}$ м⁻³, $\alpha_0 \approx 3 \cdot 10^{-13}$ м³с⁻¹, получим, что $\Delta q \approx 4.8 \cdot 10^7$ м⁻³с⁻¹. Тогда $\Pi \approx 4.8 \cdot 10^{-6}$ Вт·м⁻². Наиболее эффективную ионизацию на высоте около 100 км должны производить электроны с $\epsilon \sim 10$ кэВ. Для них $\Pi_e \approx 3 \cdot 10^9$ м⁻²с⁻¹.

ОБСУЖДЕНИЕ

Ожидалось, что уменьшение потока солнечной радиации в течение СЗ приведет к уменьшению N , а значит и к уменьшению поглощения радиопомех. Этого, однако, не произошло. Точнее, ожидаемое уменьшение поглощения радиопомех было замаскировано более сильным и продолжительным его увеличением.

На высотах 60—85 км в дневное время справедлив линейный закон рекомбинации [7]. Тогда

$$\frac{N}{N_0} = \frac{q}{q_0}.$$

При максимальном значении функции покрытия $A_{\max} \approx 0.31$ имеем

$$\frac{N_{\min}}{N_0} = 1 - A_{\max} \approx 0.69.$$

На высотах 85—120 км должен иметь место квадратичный закон рекомбинации. Здесь

$$\frac{N_{\min}}{N_0} = \sqrt{1 - A_{\max}} \approx 0.83.$$

При таком уменьшении N вблизи главной фазы СЗ интенсивность I_o должна бы увеличиться в

$$e^{2\Delta K_{o\max}} = e^{2K_o \delta_N} \approx 2 \text{ раза.}$$

Здесь учтено, что $\delta_{N\max} = 1 - N_{\min} / N_0 \approx 0.17$. Реально произошло уменьшение I_o примерно в четыре раза.

Для объяснения наблюдаемого эффекта привлечена гипотеза о высыпании высокоэнергичных частиц из магнитосферы, точнее из радиационного пояса. Насколько она оправдана в условиях среднеширотной ионосферы? Возможность высыпания электронов в средних широтах в течение СЗ впервые была рассмотрена в работе [21]. Основные процессы взаимодействия подсистем в системе Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера, стимулированные затмением, следующие.

Охлаждение нейтралов в нижней части термосферы и уменьшение N на этих же высотах приводят к возмущению тензора проводимости $\hat{\sigma}$ ионосферной плазмы в районе динамо-области (высоты 90—150 км). Это обеспечивает генерацию ионосферного электрического поля. Незначительно ослабляясь и проникая в магнитосферу, это поле способно уменьшить «поперечную» энергию электронов $\epsilon_{e\perp}$, и тем самым перевести их в конус потерь. Возникающее высыпание электронов приводит к ионизации нейтральных частиц в широком диапазоне высот. Последний определяется энергией высыпавшихся частиц.

Оценить генерируемое электрическое поле можно по следующей формуле [21]:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_0} E_0,$$

где σ_0 — компоненты тензора $\hat{\sigma}$, $\Delta\sigma$ — их возмущения, E_0 — электрическое поле в динамо-области. В дневное время $E_0 \approx 3$ мВ/м. Полагая $\Delta\sigma/\sigma \approx 0.2$, получим, что $E \approx 0.6$ мВ/м. При поперечном размере области с возмущенным электрическим полем L_{\perp} имеем

$$\epsilon_{e\perp} = eEL_{\perp}.$$

При затмении $L_{\perp} \approx 4$ тыс. км. Тогда $\epsilon_{e\perp} \approx 2.4$ кэВ. С учетом ослабления электрического поля на магнитосферных высотах $E \approx 0.2$ мВ/м, а $\epsilon_{e\perp} \approx 1$ кэВ. Таких значений $\epsilon_{e\perp}$ часто оказывается достаточно для стимуляции высыпания электронов из магнитосферы и активизации взаимодействия подсистем ионосфера — магнитосфера — атмосфера — ионосфера.

Наблюдались ли высыпания частиц, вызванные СЗ, другими исследователями? Скорее всего, да. В работе [7] обнаружено, что вскоре после начала частного затмения 29 марта 2006 г. на высоте 91 км значения N стали в 2—3 раза больше, чем в то же время в фоновый день. Заметное увеличение (в 1.5—2 раза) имело место и в конце СЗ, а также в течение некоторого времени после него. На высоте 77 км отношение N/N_0 в те же интервалы времени не превышало 1.5. Заметим, что в фоновые дни относительный разброс значений N составлял $\sigma_N/N_0 \approx 0.2$, где σ_N^2 —

дисперсия вариаций концентрации электронов на фиксированной высоте. Так что увеличение N в 1.5—3 раза может быть вызвано лишь дополнительным источником ионизации. Оценим его основные параметры. При $N_0 = 2 \cdot 10^9$ м⁻³, $N = 6 \cdot 10^9$ м⁻³ и $\alpha \approx 3 \cdot 10^{-13}$ м³с⁻¹ имеем $\Delta q \approx 10^7$ м⁻³с⁻¹, $\Pi \approx 10^{-6}$ Вт·м⁻² и $\Pi_e \approx 2 \cdot 10^8$ — $7 \cdot 10^8$ м⁻²с⁻¹ для $\epsilon = 30 \dots 10$ кэВ соответственно.

Полученные оценки, относящиеся к высоте $z \approx 90$ км, в целом близки к оценкам, приведенным выше для высоты $z \approx 100$ км. Это подкрепляет, как и результаты работы [21], уверенность в том, что СЗ могло стимулировать высыпание частиц из магнитосферы.

Таким образом, с определенной долей уверенности можно утверждать, что обнаруженное нами уменьшение до четырех раз интенсивностей радиошума СЧ-диапазона могло быть вызвано стимулированным СЗ глобальным высыпанием электронов из магнитосферы.

Кратко остановимся на результатах спектрального анализа. В течение СЗ эпизодически усиливались спектральные составляющие с периодами 8, 12, 20—30 и 50—55 мин и относительными амплитудами 0.02—0.04. Такие периоды и относительные амплитуды свойственны внутренним гравитационным волнам на высотах мезосферы [12, 14]. Эти волны в течение затмений наблюдались и в других работах [9, 28], но, как правило, в E- и F-областях ионосферы.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что в течение СЗ 1 августа 2008 г. имело место уменьшение до четырех раз интенсивности радиошума СЧ-диапазона (частота 2.4 МГц).

2. Уменьшение интенсивности, скорее всего, вызвано стимуляцией затмением глобального высыпания электронов из магнитосферы.

3. Описан механизм нарушения затмением сложившегося взаимодействия подсистем в системе Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера.

4. Оценены основные параметры потоков высокоэнергичных частиц из магнитосферы: $\Pi \sim 10^{-6}$ Вт·м⁻², $\Pi_e \sim 10^9$ м⁻²с⁻¹.

5. Продемонстрировано, что в течение СЗ имело место усиление волновых возмущений с периодами от 8 до 50—55 мин, свойственных внутренним гравитационным волнам. Их относительная амплитуда составляла 0.02—0.04.

1. Адушкин В. В., Гаврилов Б. Г., Горелый К. И. и др. Геофизические эффекты солнечного затмения 29 марта 2006 г. // ДАН. — 2007. — **417**, № 4. — С. 535—540.
2. 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.
3. Акимов Л. А., Боговский В. К., Григоренко Е. И. и др. Атмосферно-ионосферные эффекты солнечного затмения 31 мая 2003 года в Харькове // Геомагнетизм и аэронаука. — 2005. — **45**, № 4. — С. 526—551.
4. 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 // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. — 2002. — № 2. — С. 25—63.
5. Афраймович Э. Л., Косоголов Е. А., Лесюта О. С. Ионосферный отклик полного солнечного затмения 11 августа 1999 г. по данным глобальной сети GPS // Геомагнетизм и аэронаука. — 2001. — **41**, № 4. — С. 495—502.
6. Безродный В. Г., Блюх П. В., Шубова Р. С., Ямпольский Ю. М. Флуктуации сверхдлинных радиоволн в волноводе Земля — ионосфера. — М.: Наука, 1984.
7. Беликович В. В., Вяхирев В. Д., Калинина Е. Е. и др. Отклик ионосферы на частное солнечное затмение 29 марта 2006 г. по наблюдениям в Нижнем Новгороде и Мурманске // Геомагнетизм и аэронаука. — 2007. — **48**, № 1. — С. 103—108.
8. 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.
9. Бурмака В. П., Черногор Л. Ф. Волновые возмущения в ионосфере в период весеннего равноденствия 2006 г. // Космічна наука і технологія. — 2008. — **14**, № 4. — С. 82—91.
10. Гармаш К. П., Розуменко В. Т., Тырнов О. Ф. и др. Радиофизические исследования процессов в околоземной плазме, возмущенной высокоэнергичными источниками. Часть 1 // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. — 1999. — № 7. — С. 3—15.
11. Гокос 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.
12. Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. — М., Мир, 1978.
13. Григоренко Е. И., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Эффекты в ионосфере и атмосфере, вызванные солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэронаука. — 2008. — **48**, № 3. — С. 350—364.
14. Григорьев Г. И. Акустико-гравитационные волны в атмосфере Земли (обзор) // Изв. вузов. Радиофизика. — 1999. — **42**, № 1. — С. 3—25.
15. Каримов Р. Р., Козлов В. И., Муллаяров В. А. Особенности вариаций характеристик ОНЧ-сигналов при прохождении лунной тени по трассе в период солнечного затмения 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэронаука. — 2008. — **48**, № 2. — С. 250—254.
16. 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.
17. 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.
18. Мусатенко С. И., Максименко О. И., Мусатенко Ю. С. и др. Возмущения в ионосфере и атмосфере, вызванные солнечным затмением 11 августа 1999 г. // Геомагнетизм и аэронаука. — 2006. — **46**, № 1. — С. 78—87.
19. Панасенко С. В., Черногор Л. Ф. Выявление волновых возмущений в мезосфере с помощью СЧ-ВЧ-радаров // Геомагнетизм и аэронаука. — 2006. — **46**, № 4. — С. 525—535.
20. Черногор Л. Ф. Эффект самовоздействия мощных радиоимпульсов в нижней ионосфере // Геофиз. журнал. — 1984. — **6**, № 3. — С. 37—45.
21. Черногор Л. Ф. Высыпание электронов из магнитосферы, стимулированное затмением Солнца // Радиофизика и радиоастрономия. — 2000. — **5**, № 4. — С. 371—375.
22. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 1) // Нелинейный мир. — 2006. — **4**, № 12. — С. 655—697.
23. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 2) // Нелинейный мир. — 2007. — **5**, № 4. — С. 198—231.
24. Черногор Л. Ф. Современные методы спектрального анализа квазипериодических и волновых процессов в ионосфере: особенности и результаты эксперимен-

- тов // Геоматнезизм и аэрономия. — 2008. — **48**, № 5. — С. 681—702.
25. Черногор Л. Ф. Эффекуты солнечных затмений в приземной атмосфере // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. — 2008. — **44**, № 4. — С. 467—482.
26. Chernogor L. F., Rozumenko V. T. Earth — atmosphere — geospace as an open nonlinear dynamical system // Radio Physics and Radio Astronomy. — 2008. — **13**, № 2. — P. 120—137.
27. Davies K. Ionospheric radio. — London, Peter Peregrinus Ltd., 1990.
28. Ishinose T., Ogawa T. Internal gravity waves deduced from HF Doppler data during the April 19, 1958, solar eclipse // J. Geophys. Res. — 1976. — **8**, N 13. — P. 2401—2404.
29. Kane J. A. D-region electron density measurements during the solar eclipse of May 20, 1966 // Planet. Space Sci. — 1969. — **17**, № 4. — P. 609—616.
30. MacPherson B., Gonzalez S. A., Silzer M. P., et al. Measurements of the topside ionosphere over Arecibo during the total solar eclipse of February 26, 1998 // J. Geophys. Res. — 1998. — **105**, N A10. — P. 23.055—23.068.
31. Zalyubovsky I., Chernogor L., Rozumenko V. The Earth — atmosphere — geospace system: Main properties, processes and phenomena // Space Research in Ukraine. 2006—2008. The Report Prepared by the Space Research Institute of NASU-NSAU. — Kyiv, 2008. — P. 19—29.

Надійшла до редакції 10.10.09

S. V. Panasenko, L. F. Chernogor

VARIATIONS OF MF RADIO NOISE OVER KHARKIV REGION DURING THE SOLAR ECLIPSE ON 1 AUGUST 2008

We analyzed some variations in MF radio noise intensities as well as in the parameters of wave disturbances during the period when the solar eclipse (SE) occurred and during daytime periods without a SE. A factor of up to four decrease in the radio noise intensity observed during the SE was probably caused by global-scale magnetospheric electron precipitation induced by the SE. Our estimates of precipitating particle flux parameters are presented. The amplification of wave disturbances with periods from 8 to 50—55 minutes and relative amplitudes from 0.02 to 0.04 is shown to take place during the SE.