

УДК 550.388.2

Л. Я. Емельянов¹, М. В. Ляшенко¹, Л. Ф. Черногор²

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

² Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

ЭФФЕКТЫ В ГЕОКОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ ВО ВРЕМЯ ЧАСТНОГО ЗАТМЕНИЯ СОЛНЦА 1 АВГУСТА 2008 г. НАД ХАРЬКОВОМ. 1. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Представлено результати спостережень ефектів у геокосмічній плазмі, які супроводжували часткове (фаза близька до 0.42) затемнення Сонця 1 серпня 2008 р. Експериментальні дані отримано за допомогою радара некогерентного розсіяння. Затемнення призвело до зменшення концентрації електронів в максимумі області F2 іоносфери на 32 %, критичної частоти foF2 на 17.5 %, збільшення висоти максимуму на 3 км. На висотах 290–680 км концентрація електронів зменшувалася приблизно на 25 %. Протягом затемнення спостерігалось зменшення температур електронів і іонів на 70–180 і 0–140 К відповідно у діапазоні висот 190–490 км. Поблизу головної фази затемнення вертикальна складова швидкості руху плазми зменшувалася на 10–55 м/с на висотах 200–530 км відповідно. Відносна концентрація іонів водню на висотах 900 і 1200 км зменшилася на 10–20 % у момент головної фази затемнення.

ВВЕДЕНИЕ

В конце XX века было установлено, 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 [14–19, 22, 25]. Известно, что эта система является открытой, динамической и нелинейной системой. Между подсистемами существуют прямые и обратные, положительные и отрицательные связи. Воздействие на систему ЗАИМ источников высокой энергии приводит к перестройке характера взаимодействия подсистем.

Затмение Солнца (ЗС) относится к таким источникам. Затмение приводит, например, к изменению внутренней энергии газа в результате его охлаждения. В термосфере, озоносфере и приземной атмосфере оно достигает порядка 10^{15} , 10^{17} – 10^{18} и 10^{19} – 10^{20} Дж соответственно.

Мощность этого процесса 10^{11} – 10^{12} , 10^{13} – 10^{14} и 10^{15} – 10^{16} Вт соответственно. Важно, что затмение вызывает существенное изменение параметров околоземной среды и взаимодействий между подсистемами.

Изучению воздействия ЗС на среду посвящено большое количество работ [3, 4, 7, 9–11, 14, 20, 21, 23, 24 и др.]. В этих работах использовались различные методы наблюдений, дающие, к сожалению, ограниченный объем информации о сопутствующих ЗС процессах. Как известно, более полную информацию в широком диапазоне высот и с приемлемой погрешностью (не более 5–10 % днем и 10–30 % ночью) получают при помощи метода некогерентного рассеяния (НР) [13]. Этот метод позволяет получить сведения о параметрах плазмы и ее динамике, а значит, открывает возможности изучения взаимодействия подсистем в системе ЗАИМ.

Ранее с использованием одного и того же радара НР выполнен анализ и моделирование вариаций параметров ионосферы во время частных ЗС над Харьковом 11 августа 1999 г., 31 мая 2003 г., 3 октября 2005 г. и 29 марта 2006 г. [1, 2,

5, 6, 8, 12]. Установлено, что эффекты ЗС существенно зависят от фазы в цикле солнечной активности, времени суток, состояния атмосферной и космической погоды, степени покрытия диска Солнца и т.п. Процессы при каждом затмении отличаются сложностью, многообразием, имеют индивидуальные особенности и требуют детального изучения.

Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных эффектам ЗС, в настоящее время есть ряд нерешенных вопросов в понимании механизмов перестройки структуры ионосферы, теплового и динамического режимов в геокосмической плазме во время ЗС, каналов и механизмов взаимодействия подсистем в системе ЗАИМ. Поэтому наблюдение, анализ и моделирование вариаций параметров ионосферной плазмы во время ЗС остается одной из актуальных задач современной физики атмосферы и геокосмоса.

Целью настоящей работы является изложение результатов измерений, анализа и интерпретации эффектов в геокосмической плазме во время частного затмения Солнца 1 августа 2008 г. над Харьковом.

Главная особенность этого ЗС в том, что оно происходило в период минимальной солнечной активности.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАТМЕНИИ СОЛНЦА

Затмение Солнца 1 августа 2008 г. началось в 08:18 (здесь и далее UT) на севере Канады в заливе Куин-Мод. Двигаясь со скоростью примерно 0.9 км/с на север, лунная тень прошла по южной оконечности о. Виктория, северо-западной части о. Кинг-Уильям, п-ова Бутия и южной части о-ва Принца Уэльского. Далее, пройдя примерно в 250 км восточнее северного магнитного полюса, тень Луны пересекла о-ва Сомерсет, Девон и Элсмир и около 08:22 накрыла о. Гренландия. Пройдя по северной части острова, полоса полного ЗС далее продвигалась по водной поверхности Северного Ледовитого океана. В 08:32 лунная тень задела восточную часть норвежского о. Белый и западную часть островов Земли Франца-Иосифа. В 08:55 тень

от лунного диска пересекла Новую Землю, и в 09:04, в районе Байдарацкой губы, лунная тень вступила на евразийский материк. Далее полоса полного ЗС прошла над городами Надым, Нижневартовск, Новосибирск, Барнаул, Бийск, Горно-Алтайск и далее по территории Казахстана, Монголии и Китая, где полное затмение завершилось на заходе Солнца примерно в 11:21.

Максимальная ширина полосы полного ЗС составляла примерно 237 км, длина полосы полного ЗС — примерно 8200 км.

Частные солнечные затмения 1 августа 2008 г. наблюдались в Европе (кроме ее южной части), Азии (кроме ее восточной и юго-восточной частей), на крайнем севере Северной Америки, в Северном Ледовитом и северной части Атлантического океанов, Западной и Центральной Сибири.

Затмение Солнца 1 августа 2008 г. вблизи г. Харькова было частным и наблюдалось с 09:11 до 11:17. Максимальное покрытие диаметра и площади диска Солнца имело место в 10:15 и составило 0.42 и 0.31. Освещенность поверхности Земли во время ЗС уменьшилась примерно в 1.6 раза. Общая продолжительность частного ЗС составила примерно 2 ч 06 мин.

В качестве контрольных выбраны сутки 2 августа 2008 г.

ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

На рис. 1 представлены временные вариации параметров, описывающих состояние космической погоды с 29 июля по 4 августа 2008 г.: концентрации частиц n_{sw} солнечного ветра (СВ), температуры T СВ, радиальной скорости V_{sw} СВ (ACE Satellite — Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor) и динамического давления p_{sw} СВ (расчёт); компонентов B_z , B_t (точки) межпланетного магнитного поля (ACE Satellite — Magnetometer); ϵ — функции Акасофу (расчёт); потоков протонов Π_{pr} (GOES-8 (W75)) и электронов Π_e (GOES-12), H_p -компонентов геомагнитного поля (GOES-12); значений K_p -индекса (Air Force Weather Agency), D_{st} -индекса (WDC-C2 for Geomagnetism Kyoto University) и AE -индекса авроральной активности (WDC Kyoto).

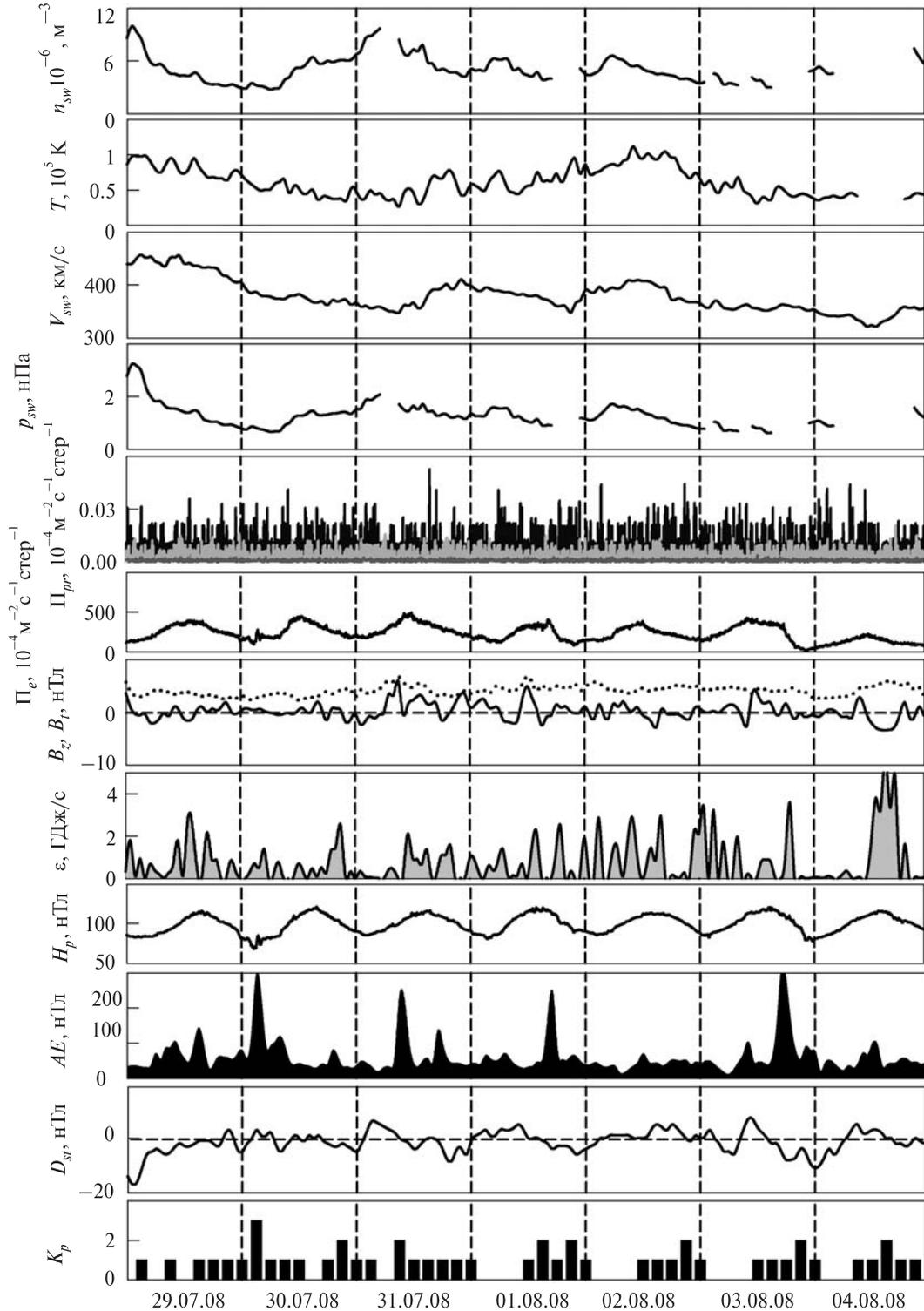


Рис. 1. Вариации параметров, описывающих состояние космической погоды с 29 июля по 4 августа 2008 г.

Период 29 июля — 4 августа 2008 г. характеризовался спокойной геомагнитной и солнечной активностью. Солнечная активность (СА) была низкой. Индекс СА — плотность потока радиозлучения Солнца на длине волны 10.7 см ($F_{10.7}$) — не превышал 66–67 единиц. В день ЗС 1 августа $F_{10.7} = 66$.

Геомагнитный индекс изменялся в диапазоне $3 < A_p < 5$, в день ЗС $A_p = 3$. Трехчасовые индексы геомагнитного поля в рассматриваемый период не превышали $K_p = 3$, в день затмения $K_{pmax} = 2$. Индекс D_{st} -вариаций геомагнитного поля в рассматриваемый период не превышал -10 нТл, индекс авроральной активности AE в среднем изменялся в пределах 50–60 нТл. Следует отметить, что в отдельные сутки имели место локальные всплески в вариациях индекса авроральной активности со значениями AE около 200–300 нТл. Такие аномальные всплески в вариациях AE -индекса на фоне низкой геомагнитной активности связаны с вариациями B_z -компонента межпланетного магнитного поля, а также коррелируют с вариациями D_{st} -индекса.

Скорость СВ в рассматриваемый период изменялась от 450 до 310 км/с. Непосредственно в день ЗС 1 августа значения V_{sw} достигали 380–390 км/с, температура частиц СВ T не превышала $0.75 \cdot 10^5$ К, концентрация частиц СВ — $n_{sw} \approx 6 \cdot 10^6$ м $^{-3}$. Величина давления СВ p_{sw} в день затмения достигала значений 1–1.9 нПа.

Величины плотностей потоков протонов P_p и электронов P_e в рассматриваемый период варьировали в пределах 0–300 м $^{-2}$ с $^{-1}$ стер $^{-1}$ и 10^6 – $5 \cdot 10^6$ м $^{-2}$ с $^{-1}$ стер $^{-1}$ соответственно.

Таким образом, состояние космической погоды 1 августа 2008 г. было устойчивым. Это обстоятельство позволило выделить возмущения в ионосферной плазме, которые сопутствовали ЗС.

СРЕДСТВА НАБЛЮДЕНИЯ

Для исследования эффектов в ионосфере, вызванных ЗС, использовался радар некогерентного рассеяния (НР) Института ионосферы НАН и МОН Украины. Харьковский радар НР является единственным и наиболее информативным источником сведений о параметрах и процессах,

характеризующих поведение геокосмической плазмы в средних широтах центрально-европейского региона.

Географические координаты радара НР: 49.6° с. ш., 36.3° в. д.; геомагнитные: $\Phi = 45.7^\circ$, $\Lambda = 117.8^\circ$; наклонение геомагнитного поля — 66.4°, параметр Мак-Илвейна $L \approx 1.9$. Радар имеет крупнейшую в мире зенитную двухзеркальную параболическую антенну диаметром 100 м и предназначен для исследования ионосферы в интервале высот 100–1500 км. Рабочая частота радара — 158 МГц. Импульсная мощность радиопередающего устройства составляет 2–4 МВт.

Радар НР позволяет измерять с приемлемым разрешением по высоте (10–100 км) и погрешностью в дневное и ночное время не более 5–10 и 20–30 % соответственно) следующие параметры ионосферы: концентрацию электронов N , температуры электронов T_e и ионов T_i , вертикальную составляющую скорости переноса плазмы V_z , относительный ионный состав [13].

Технические характеристики и режимы работы радара НР более подробно описаны в работе [13].

Совместно с радаром НР используется ионозонд «Базис», который служит для измерения критической частоты слоя $F2$ ионосферы f_0F2 и последующей калибровки профиля $N(z)$, полученного на радаре НР. Характеристики ионозонда следующие: диапазон частот 1–40 МГц, эффективная мощность 1–10 кВт, длительность импульса 50–100 мкс, диапазон исследуемых высот 100–400 км. Погрешность получения f_0F2 составляет 0.05 МГц (или 0.5–1 % для $f_0F2 = 10 \dots 5$ МГц соответственно).

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Вариации основных параметров области $F2$ ионосферы. На рис. 2 представлены временные вариации концентрации электронов N_m и высоты z_m максимума области $F2$ ионосферы во время ЗС 1 августа 2008 г. и контрольный день 2 августа 2008 г.

В момент наступления максимальной фазы ЗС наблюдалось уменьшение N_m примерно на

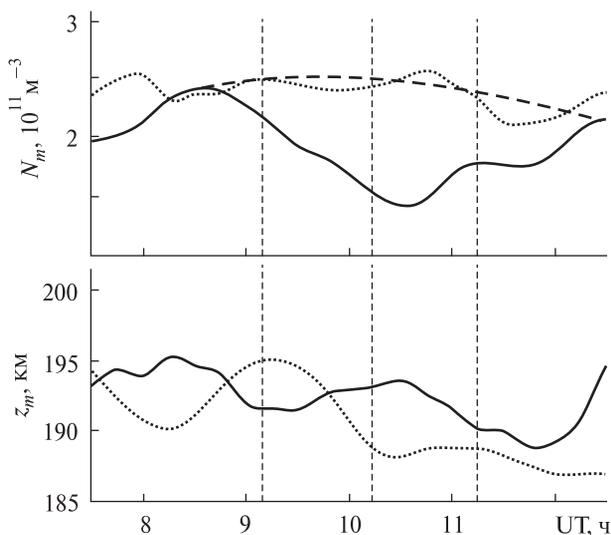


Рис. 2. Временные вариации концентрации электронов N_m и высоты z_m в максимуме области $F2$ ионосферы во время ЗС 1 августа 2008 г. (сплошная линия) и в контрольный день 2 августа 2008 г. (пунктир). Штриховой линией здесь и далее показаны результаты интерполяции, отображающие прогнозируемые вариации параметров ионосферы

32 % по сравнению с контрольным днем. Критическая частота области $F2$ ионосферы f_0F2 при этом уменьшилась примерно на 17.5 %.

Вариации z_m во время затмения заключались в следующем. До начальной фазы затмения наблюдалась тенденция к уменьшению высоты z_m . В момент начала ЗС уменьшение высоты максимума прекратилось, примерно через 30 мин высота z_m начала увеличиваться и достигла величины $z_m \approx 194$ км вблизи максимальной фазы покрытия Солнца (рис. 2). Далее по мере движения диска Луны по диску Солнца высота максимума области $F2$ опять уменьшалась. Таким образом, ЗС привело к увеличению z_m примерно на 3 км по сравнению с прогнозируемым значением (пунктир на рис. 2).

Вариации концентрации электронов ионосфере.

На рис. 3 приведены временные вариации концентрации электронов N в диапазоне высот 190–490 км непосредственно в день ЗС 1 августа и контрольный день 2 августа 2008 г.

ЗС 1 августа 2008 г. привело к заметным эффектам в вариациях концентрации частиц в ши-

роком диапазоне высот. Как видно из рис. 3, на высотах $z = 190...210$ км падение концентрации электронов в главную фазу затмения составило примерно 32 %. С ростом высоты эффект затмения изменялся слабо. В диапазоне высот 290–680 км падение N в фазу максимального покрытия диска Солнца составило примерно 25 %. Такое поведение N было лишь в среднем. Следует отметить, что в день затмения 1 августа и последующие сутки 2 августа в вариациях N имели место заметные волновые возмущения с относительной амплитудой 5–10 %.

На рис. 4 представлены высотные профили концентрации электронов для четырех характерных моментов времени: в ночные часы, до ЗС, в главную фазу ЗС и после окончания затмения. Как видно, во время максимальной фазы ЗС имело место уменьшение N в диапазоне высот 190–680 км и смещение всего высотного профиля $N(z)$ ближе к ночному. Такое поведение концентрации электронов соответствует постепенному переходу к ночным условиям. Профили 2 и 4, соответствующие моментам времени до и после ЗС, мало различались между собой и представляли собой типичные высотные профили $N(z)$ в дневных условиях.

Вариации температуры электронов и ионов в ионосфере.

Временные зависимости температуры электронов во время ЗС и контрольный день 2 августа представлены на рис. 5. Следует отметить, что вариации T_e как в день затмения, так и контрольный день имели сложный характер (см. рис. 5). С началом затмения наблюдалось уменьшение температуры электронов, которое продолжилось и после максимального покрытия диска Солнца. Минимум в вариациях T_e запаздывал по отношению к главной фазе ЗС примерно на 95–75 мин на высотах 190–490 км соответственно. По мере движения тени Луны T_e увеличивалась до своих фоновых значений, которые имели место до затмения. На высотах 190 и 490 км ЗС привело к уменьшению T_e примерно на 70–180 К соответственно.

На рис. 6 представлены вариации температуры ионов T_i в ионосфере во время ЗС и контрольные сутки 2 августа 2008 г. В контрольный день 2 августа в рассматриваемое время суток

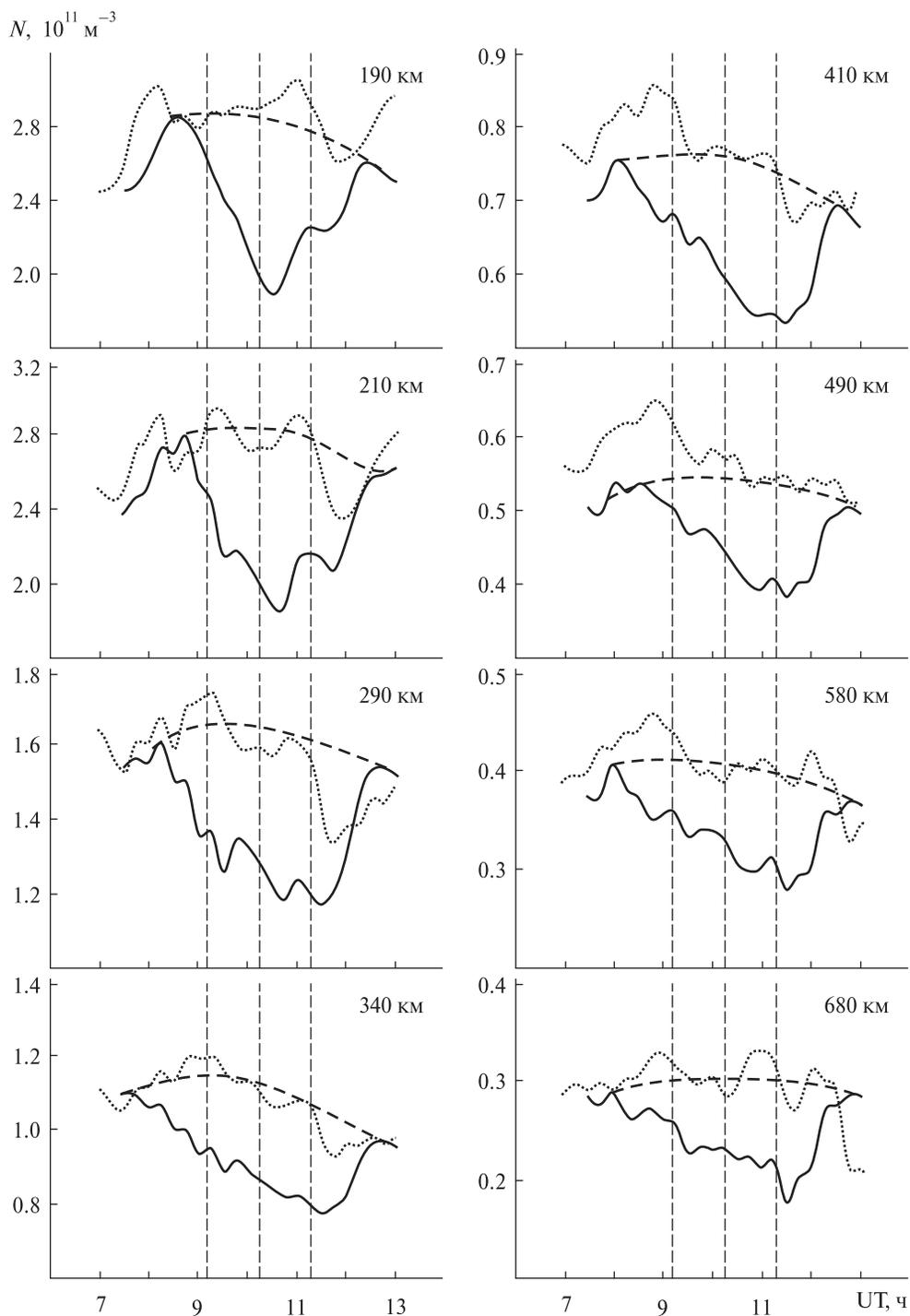


Рис. 3. Временные вариации концентрации электронов N на фиксированных высотах во время ЗС 1 августа (сплошная линия) и в контрольный день 2 августа 2008 г. (пунктир)

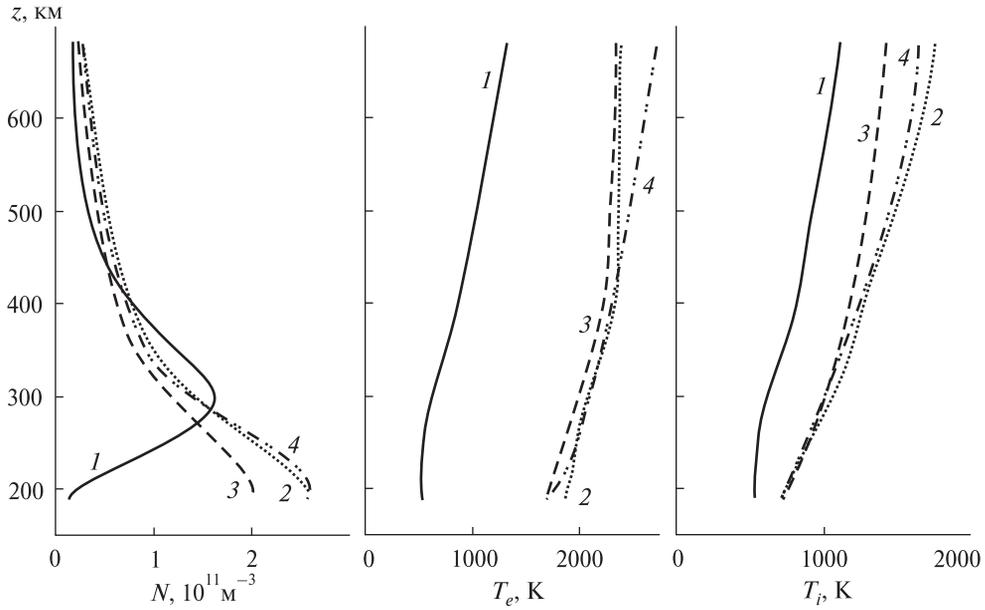


Рис. 4. Высотные профили концентрации электронов N , температуры электронов T_e и ионов T_i для характерных моментов времени в период ЗС 1 августа 2008 г.: 1 – в ночные часы (19:15–19:30), 2 – непосредственно перед началом ЗС (07:45–08:00), 3 – в момент максимального покрытия диска Солнца (10:00–10:15), 4 – после окончания ЗС (12:30–12:45)

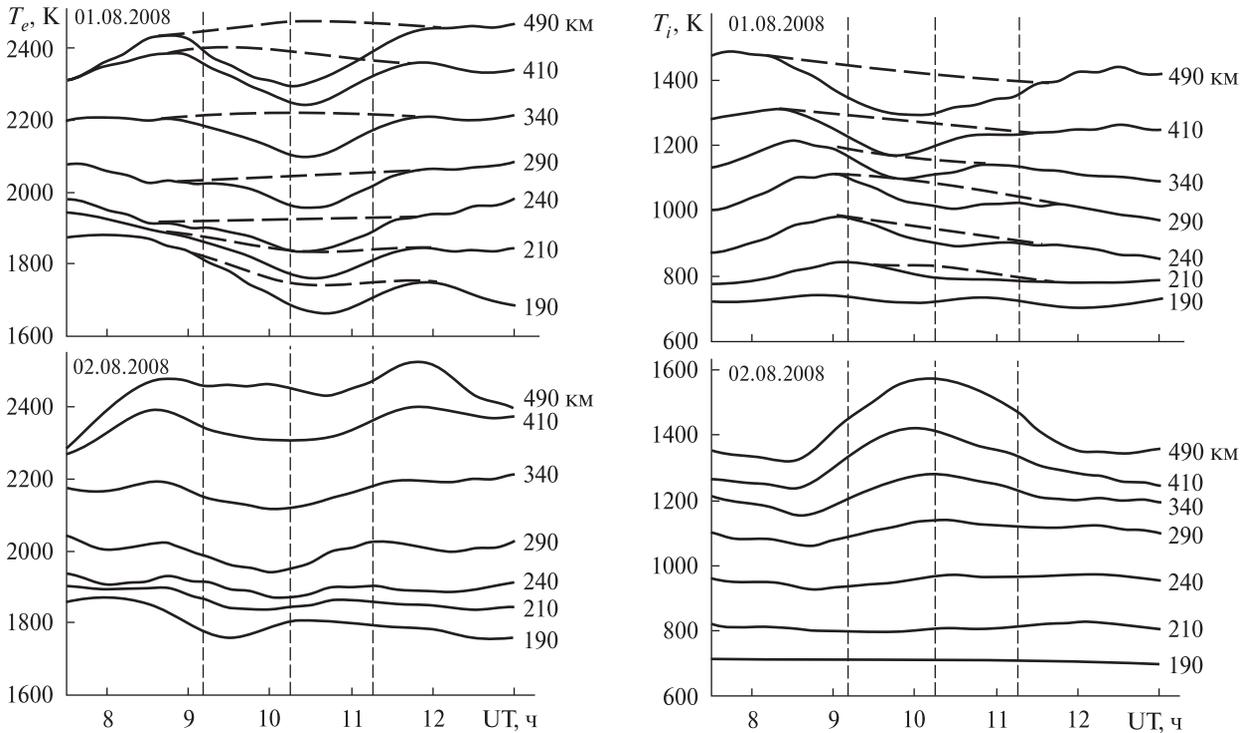


Рис. 5. Временные вариации температуры электронов T_e на фиксированных высотах во время ЗС 1 августа 2008 г. (сплошная линия) и в контрольный день 2 августа 2008 г. (пунктир)

Рис. 6. Временные вариации температуры электронов T_i на фиксированных высотах во время ЗС 1 августа 2008 г. (сплошная линия) и в контрольный день 2 августа 2008 г. (пунктир)

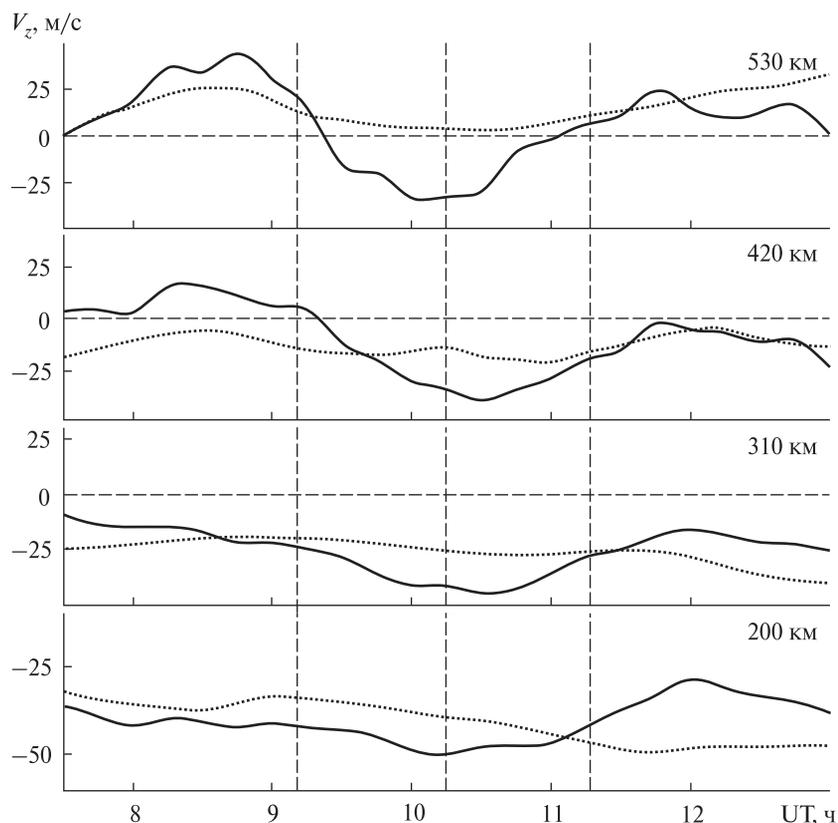


Рис. 7. Временные вариации вертикальной составляющей скорости переноса плазмы V_z на фиксированных высотах во время ЗС 1 августа 2008 г. (сплошная линия) и в контрольный день 2 августа 2008 г. (пунктир)

наблюдался заметный рост T_i . В день затмения 1 августа зафиксировано уменьшение T_i с началом ЗС в месте наблюдения. На высотах 190–210 км эффекты ЗС проявлялись слабо. Здесь уменьшение T_i составило 10–30 К. На этих высотах значения T_i в день затмения практически мало отличаются от значений температуры ионов в контрольный день 2 августа. На высотах 240, 290, 340, 410 и 490 км во время ЗС T_i уменьшилась примерно на 60, 60, 70, 100 и 140 К соответственно. Максимальное уменьшение во временных вариациях T_i наблюдалось через 80–35 мин после начала ЗС на высотах 210–490 км соответственно.

На рис. 4 представлены высотные профили T_e и T_i для четырех характерных моментов времени. Видно, что в момент максимального покрытия диска Солнца (кривая 3) наблюдалось уменьшение температуры электронов и ионов в рассматриваемом высотном диапазоне, причем этот эффект постепенно увеличивался с увели-

чением высоты. В главную фазу ЗС высотные профили T_e и T_i качественно подобны профилям $T_e(z)$ и $T_i(z)$ в ночное время. Разумеется, значения T_e и T_i в этот момент времени и ночью существенно различаются, так как ЗС было частным.

Вариации вертикальной составляющей скорости переноса плазмы. Временные вариации вертикальной составляющей скорости переноса плазмы V_z на фиксированных высотах представлены на рис. 7. Видно, что вблизи главной фазы затмения имело место уменьшение V_z на 10, 15, 25 и 55 м/с соответственно на высотах 200, 310, 420 и 530 км. Возврат значений V_z к невозмущенным условиям происходил примерно через 30–40 мин после окончания ЗС.

На рис. 8 приведены высотные профили скорости V_z в характерные моменты времени: до ЗС, вблизи главной фазы затмения, после ЗС и в ночные часы. Как видно, высотные профили V_z до (07:45 UT) и после (11:30 UT) ЗС соответ-

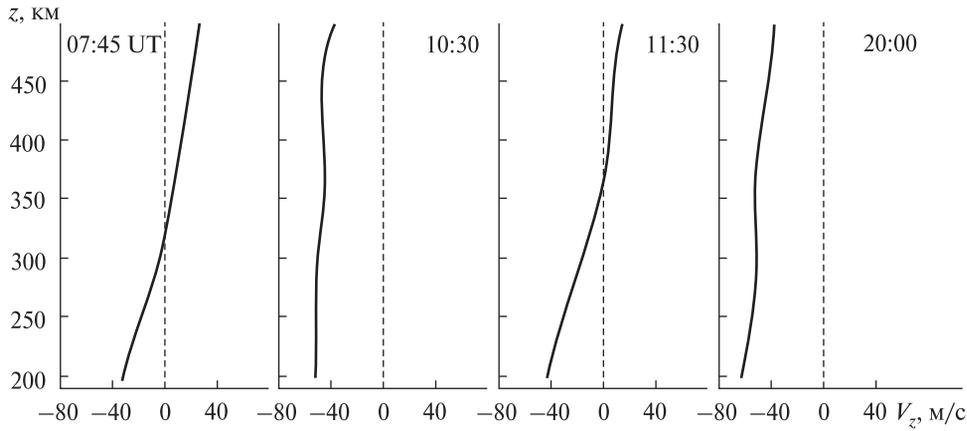


Рис. 8. Высотные профили вертикальной составляющей скорости переноса плазмы для четырех характерных моментов времени (до начала, в максимальной фазе, после ЗС и в ночные часы)

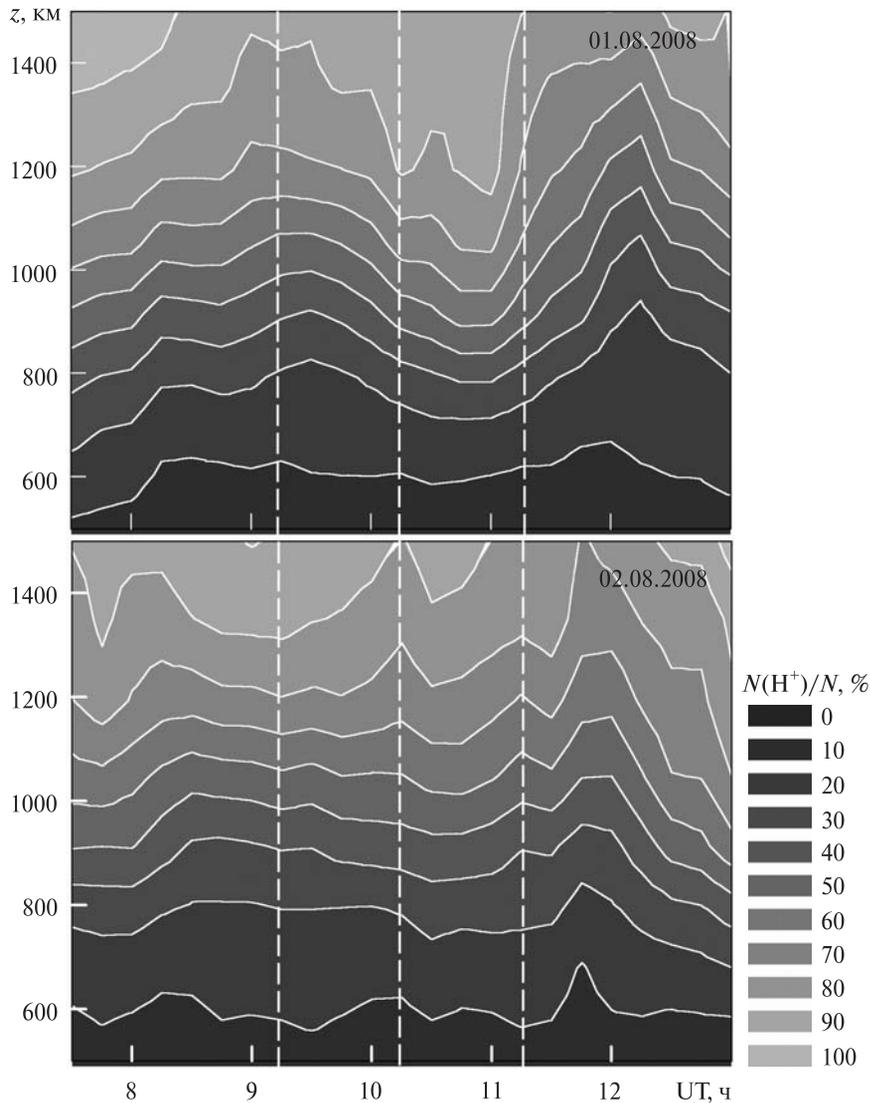


Рис. 9. Высотно-временное распределение относительной концентрации ионов водорода $N(H^+)/N$ во время ЗС 1 августа 2008 г. и в контрольный день 2 августа 2008 г.

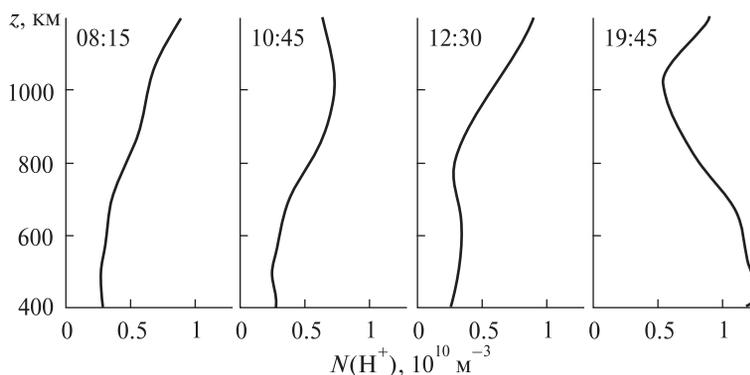


Рис. 10. Высотные профили концентрации ионов водорода $N(\text{H}^+)$ в период ЗС 1 августа 2008 г. для характерных моментов времени: в ночные часы (19:30–19:45); непосредственно перед началом ЗС (08:00–08:15); в момент, близкий к главной фазе ЗС (10:30–10:45); после окончания ЗС (12:15–12:30)

ствовали профилям V_z в спокойных дневных условиях. В дневных условиях в период минимума СА высота, на которой происходит смена знака скорости V_z , варьирует в диапазоне 325–375 км. В фазу максимального покрытия диска Солнца наблюдался нисходящий поток заряженных частиц со скоростями $V_z \approx -(35...50)$ м/с. В рассматриваемом диапазоне высот (200 — 580 км) для этого момента времени $V_z < 0$ (см. рис. 8). Высотный профиль V_z стал подобен ночному профилю в 20:00, что согласуется с теоретическими представлениями о суточных вариациях V_z в области F2 ионосферы.

Вариации концентрации ионов водорода. На рис. 9 представлены временные вариации относительной концентрации ионов водорода $N(\text{H}^+)/N$ в диапазоне высот 500–1500 км непосредственно в день ЗС и в контрольный день 2 августа 2008 г.

Эффекты ЗС достаточно заметно проявились в вариациях концентрации ионов водорода. С началом ЗС 1 августа наблюдалась тенденция к увеличению относительной концентрации $N(\text{H}^+)/N$ в достаточно широком диапазоне высот. На высотах 900 и 1200 км ЗС привело к увеличению $N(\text{H}^+)/N$ примерно на 10–20 % по сравнению с контрольным днем 2 августа. Максимальное увеличение концентрации ионов H^+ имело место после фазы максимального покрытия диска Солнца с запаздыванием примерно 15 мин.

Высотные профили концентрации ионов водорода $N(\text{H}^+)$ для четырех характерных моментов времени приведены на рис. 10. В момент

максимального покрытия диска Солнца (10:45 UT) высотный профиль $N(\text{H}^+)$ напоминал переходный к ночи профиль. В главную фазу ЗС наблюдалось увеличение концентрации ионов водорода примерно на 15–20 % в диапазоне высот 800–1000 км. Высотные зависимости $N(\text{H}^+)$ до ЗС (08:15) и после него (12:30) соответствовали высотным зависимостям $N(\text{H}^+)$, характерным для дневных условий.

ВЫВОДЫ

Эффекты частного ЗС в ионосферной плазме достаточно явно проявились в вариациях параметров геокосмоса в широком диапазоне высот (190–1200 км).

Процессы в геокосмической плазме во время ЗС качественно подобны процессам, протекающим в ионосфере в вечерние и утренние часы. К эффектам ЗС можно отнести следующее.

1. Затмение Солнца 1 августа 2008 г. вызвало заметную перестройку среды, подобную той, что имеет место во время захода и восхода Солнца.

2. В время ЗС концентрация электронов в максимуме области F2 ионосферы N_m уменьшилась примерно на 32 %, критическая частота f_0F2 — на 17.5 %, высота максимума области F2 ионосферы z_m увеличилась на 3 км.

3. Уменьшение концентрации электронов в момент максимального покрытия диска Солнца на высотах 190–210 км составило примерно 32 %. В диапазоне высот 290–680 км падение N в главную фазу ЗС составило примерно 25 %. Высотный профиль N вблизи фазы максималь-

ного покрытия диска Солнца качественно подобен профилю $N(z)$ во время перехода ото дня к ночи.

4. Эффекты ЗС также проявились в вариациях температуры электронов T_e и ионов T_i . На высотах 190–490 км ЗС привело к уменьшению T_e примерно на 70–180 К соответственно. Время запаздывания эффекта на этих высотах составило 95–75 мин по отношению к началу затмения.

5. Температура ионов во время затмения уменьшилась примерно на 60, 60, 70, 100 и 140 К на высотах 240, 290, 340, 410 и 490 км соответственно. Время запаздывания эффекта затмения на этих высотах близко к 80–35 мин соответственно.

6. Вблизи главной фазы ЗС имело место уменьшение V_z на 10, 15, 25 и 55 м/с на высотах 200, 310, 420 и 530 км соответственно. Восстановление значений V_z к невозмущенным условиям наблюдалось примерно через 30–40 мин после окончания ЗС. Высотный профиль V_z в главной фазе затмения качественно подобен профилю $V_z(z)$ в вечерних условиях.

7. ЗС привело к увеличению концентрации ионов водорода $N(H^+)$ примерно на 15–20 % в диапазоне высот 800–1200 км. Максимальное увеличение $N(H^+)$ имело место после фазы максимального покрытия диска Солнца с запаздыванием примерно 15 мин.

Авторы благодарны А. Ф. Кононенко, И. Б. Склярору, С. В. Черняеву за организацию и проведение измерений на радаре НР, а также Д. А. Дзюбанову за интерес к работе.

1. Акимов Л. А., 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.
2. Акимов Л. А., Григоренко Е. И., Таран В. 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.
3. Афраймович Э. Л., Воейков С. В., Перевалова Н. П. и др. Ионосферные эффекты солнечного затмения 29 марта 2006 г. над Казахстаном // Геомагнетизм и аэрономия. — 2007. — 47, № 4. — С. 491–500.
4. Белинская А. Ю., Хомутов С. Ю., Григорьева С. А. Ионосферный отклик на солнечное затмение 29.03. 2006 г. // Изв. высш. учеб. заведений. Физика. — 2006. — № 9. — С. 68–72.
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. Гокос А. М., Черногор Л. Ф. Результаты наблюдения 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, вызванные солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэрономия. — 2008. — 48, № 3. — С. 350–364.
9. 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 аэрономия. — 2008. — 48, № 2. — С. 250–254.
10. Колоколов Л. Е., Легенька А. Д., Пулинец С. А. Ионосферные эффекты, связанные с солнечным затмением 18 марта 1988 г. // Геомагнетизм и аэрономия. — 1993. — 33, № 1. — С. 49–57.
11. 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.
12. Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове. 2. Моделирование и обсуждение результатов // Космічна наука і технологія. — 2008. — 14, № 1. — С. 57–64.
13. Таран В. И. Исследования ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состоянии методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэрономия. — 2001. — 41, № 5. — С. 659–666.
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. 56–104.

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. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 2) // Нелинейный мир. — 2007. — 5, № 4. — С. 198–231.
19. Черногор Л. Ф. Физика и экология системы Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера // Науки про Землю та космос — суспільству. Праці Першої наукової конференції (Київ, 25–27 червня 2007 р.). — К.: НАНУ-НЦАДЗ ІГН, ГАО. — 2007. — С. 86–93.
20. Aframovich E. L., Kosogorov E. A., Lesyuta O. S. Effects of the August 11, 1999 total solar eclipse as deduced from total electron content measurements at the GPS network // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. — 2002. — 64, N 18. — P. 1933–1941.
21. Boitman O. N., Kalikhman A. D., Tashchilin A. V. The midlatitude ionosphere during the total solar eclipse of March 9, 1997 // J. Geophys. Res. — 1999. — 104A, N 12. — P. 28 197–28 206.
22. Chernogor L. F., Rozumenko V. T. Earth — Atmosphere — Geospace as an Open Nonlinear Dynamical System // Radio Phys. and Radio Astron. — 2008. — 13, N 2. — P. 120–137.
23. Le H., Liu L., Yue X., Wan W. The ionospheric responses to the 11 August 1999 solar eclipse: observations and modeling // Ann. geophys. — 2008. — 26. — P. 107–116.
24. Le H., Liu L., Yue X., Wan W. The ionospheric behavior in conjugate hemispheres during the 3 October 2005 solar eclipse // Ann. geophys. — 2009. — 27. — P. 179–184.
25. 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 : Space Research Institute of NASU-NSAU, 2008. — P. 19–29.

Надійшла до редакції 23.03.09

L. Ya. Emelyanov, M. V. Lyashenko, L. F. Chernogor

SOME EFFECTS IN THE GEOSPACE
PLASMA DURING PARTIAL SOLAR ECLIPSE
OF 1 AUGUST 2008 ABOVE KHARKIV.
1. THE OBSERVATION RESULTS

Our observation results of some effects in the geospace plasma during the partial (phase about 0.42) solar eclipse (SE) on 1 August 2008 are presented. The experimental data were obtained using the incoherent scatter radar of the Institute of Ionosphere (near Kharkiv city). The SE caused a decrease of density in the $F2$ layer maximum by 32 %, a decrease in the critical frequency f_0F2 by 17.5 %, and an increase in the maximum $F2$ layer height by 3 km. At heights from 290 to 680 km the electron density decreased by about 25 %. During SE a decrease in the electron and ion temperatures by 70–180 and 0–140 K, respectively, within the height range from 190 to 490 km was observed. Plasma transport velocity vertical component near the main SE phase decreased by 10–55 m/s in the height range 200–530 km. The relative density of the hydrogen ions at heights of 900 and 1200 km decreased by 10–20 % in the moment of the main SE phase.