

УДК 520.86, 550.385.37,
550.388В. П. БУРМАКА¹, И. Ф. ДОМНИН¹, Л. Ф. ЧЕРНОГОР^{1,2}¹ Институт ионосферы НАН и МОНМС Украины,
ул. Краснознаменная, 16, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: viktor_burmaka@ukr.net² Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина
E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ АКУСТИКО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ИОНОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 4 ЯНВАРЯ 2011 Г.

Проанализированы квазипериодические вариации мощности некогерентно рассеянных сигналов в диапазоне высот $\sim 100 \div 500$ км в день частного (фаза около 0.78) солнечного затмения и в контрольный день. Для системного спектрального анализа применялись оконное преобразование Фурье, адаптивное преобразование Фурье и вейвлет-анализ. Продемонстрировано, что спектральные характеристики квазипериодических вариаций сигнала существенно отличались в день затмения и в контрольный день. Затмение сопровождалось генерацией волны с преобладающим периодом $40 \div 60$ мин, относительной амплитудой возмущений концентрации электронов $10 \div 15\%$ и длительностью около $3 \div 4$ ч.

Ключевые слова: солнечное затмение, метод некогерентного рассеяния, волновые возмущения, системный спектральный анализ, акустико-гравитационные волны

1. Введение

Солнечное затмение (СЗ) относится к редким природным явлениям. Оно вызывает значительные возмущения в атмосфере и геокосмосе. Эти возмущения существенно влияют на распространение радиоволн практически всех диапазонов и на функционирование радиолиний различного назначения.

Эффекты СЗ в ионосфере изучаются почти столько же, сколько изучается сама ионосфера (см., например, спецвыпуск [1]). К новым работам в этой области относятся статьи [2–10].

Регулярные эффекты СЗ изучены сравнительно хорошо. Установлено, что СЗ сопровождаются комплексом эффектов во всех подсистемах системы Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера. Этот вывод подтверждают и результаты исследования эффектов СЗ 4 января 2011 г. [11–16].

Существенно хуже изучены возможности генерации затмением волновых процессов.

В работе [17] впервые предсказано, что СЗ, тень которого перемещается со сверхзвуковой скоростью, способно генерировать волновые возмущения (ВВ) в атмосфере в диапазоне внутренних гравитационных волн (ВГВ). После появления работы [17] неоднократно предпринимались попытки обнаружить ВГВ на ионосферных высотах. Одни авторы утверждают, что им удалось обнаружить ВВ, генерируемые СЗ (см., напри-

мер, [18, 19]), другим авторам это не удалось (см., например, [20, 21]). Даже измерения на одном и том же радаре некогерентного рассеяния для разных СЗ дают различные результаты [8].

Таким образом, до настоящего времени нет единого мнения о том, могут ли СЗ генерировать ВГВ в атмосфере и, как результат, ВВ в ионосфере.

Целью настоящей работы является исследование ВВ концентрации электронов N в ионосфере, сопровождавших частное СЗ 4 января 2011 г. вблизи г. Харькова.

2. Общие сведения о солнечном затмении

В месте проведения измерений (вблизи г. Харькова) СЗ началось в 07:30, а закончилось в 10:29, главная фаза имела место в 08:59 (здесь и далее указано всемирное время UT). Максимальное покрытие диаметра диска Солнца составляло около 0.78. При этом функция покрытия диска $A_{\max} \approx 0.71$.

На широте г. Харькова лунная тень двигалась по поверхности Земли с запада на восток со скоростью около 700 м/с.

3. Состояние космической погоды

Опишем кратко состояние космической погоды в период с 1 по 6 января 2011 г., которое удобно представлять в виде значений временных вариаций концентрации, скорости, температуры и давления солнечного ветра, межпланетного магнитного

поля, энергетической функции Акасофу ϵ , а также индексов магнитной активности (K_p и D_{st}). С 1 по 5 января флуктуации плотности n_{sw} , скорости V_{sw} , температуры частиц T_{sw} и давления p_{sw} солнечного ветра не превышали соответственно $1.5 \cdot 10^7 \text{ м}^{-3}$, 420 км/с, $1.3 \cdot 10^5 \text{ К}$ и 4 нПа (рис. 1).

Всплески ϵ достигали 6 ГДж/с. Затмению предшествовало малосущественное магнитное возмущение (индекс K_p изменялся от 0 до 3). Компонента B_z межпланетного магнитного поля хаотически варьировалась в пределах $\pm(5 \div 6)$ нТл. Малосущественными были флуктуации уровня компоненты B_y ,

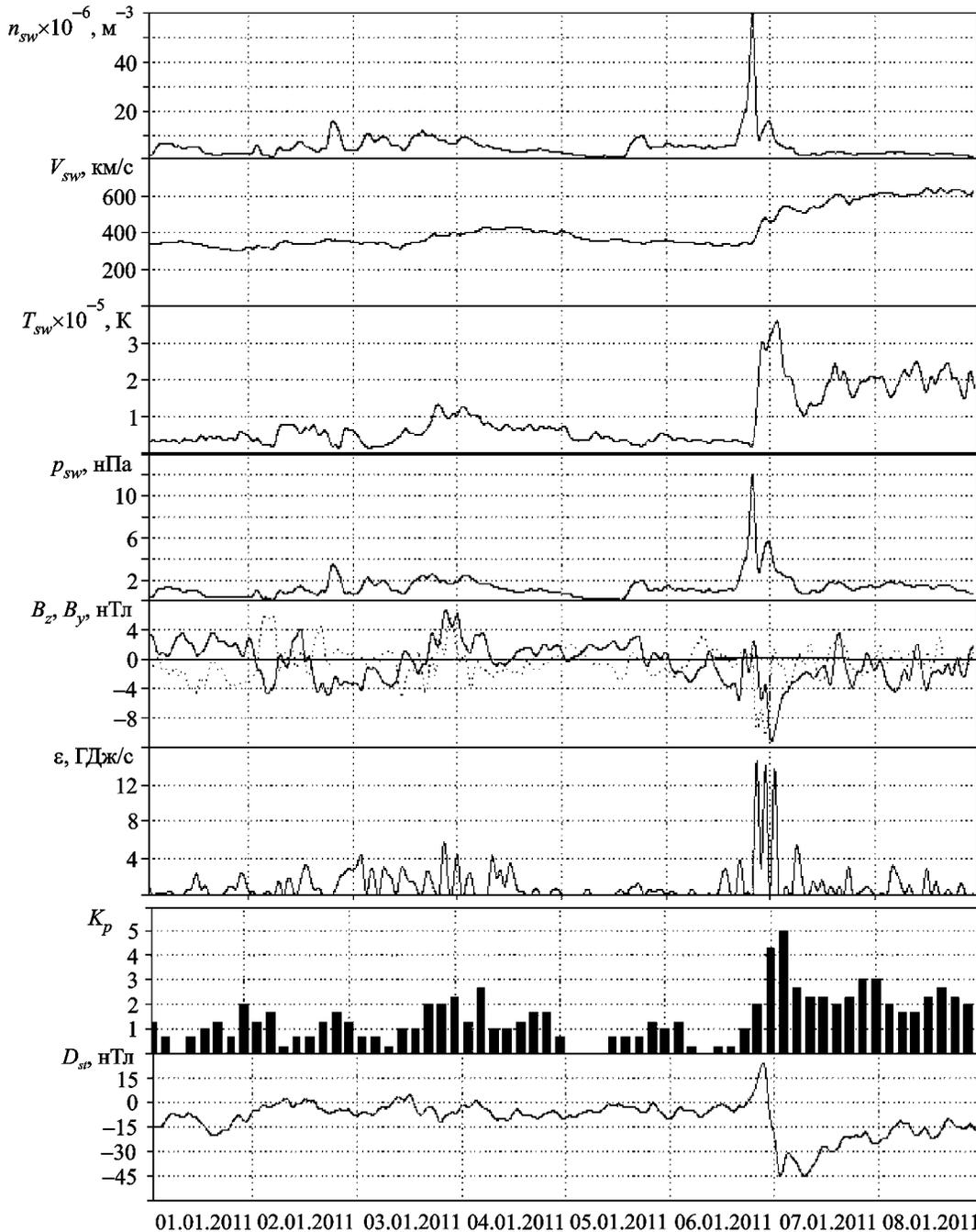


Рис. 1. Временные вариации (панели сверху вниз) концентрации частиц, радиальной скорости солнечного ветра, температуры частиц (ACE Satellite – Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor) и давления солнечного ветра (расчет), компонент B_z (сплошная линия) и B_y межпланетного магнитного поля (космический аппарат ACE Satellite – Magnetometer), энергетической функции Акасофу ϵ , K_p -индекса (US Air Force Weather Agency), D_{st} -индекса (World Data Center for Geomagnetism Kyoto University)

(около $\pm(4 \div 6)$ нТл). Значения индекса D_{st} также хаотически флуктуировали в пределах $\pm(10 \div 15)$ нТл. 6 января в результате резкого увеличения параметров солнечного ветра началась магнитная буря с $K_p = 5$ и $D_{st\min} \approx -45$ нТл. К 8 января эффекты бури практически закончились.

Можно утверждать, что день затмения, 4 января 2011 г., и контрольный день, 5 января 2011 г., были спокойными. Это же можно сказать и о дне 3 января 2011 г. Это обстоятельство существенно облегчало идентификацию ВВ концентрации электронов, вызванных откликом атмосферы и геокосмоса на СЗ.

4. Средства и методы

Радар некогерентного рассеяния. Радар расположен в Ионосферной обсерватории Института ионосферы НАН и МОНМС Украины вблизи г. Харькова ($49^\circ 36'$ с. ш., $36^\circ 18'$ в. д.). Основные параметры радара следующие: частота – 158 МГц, диаметр зенитной параболической антенны – 100 м, эффективная площадь антенны – около 3700 м^2 , коэффициент усиления антенны – около 10^4 , ширина основного лепестка диаграммы направленности антенны – около 1° , 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 $5.5 \div 9.5$ кГц.

Методы анализа сигнала. Для выявления квазипериодических вариаций концентрации электронов N в смеси сигнала и шума применялся статистический анализ, кратко описанный в работе [8].

Для оценки спектрального состава квазипериодических вариаций концентрации электронов использовался системный спектральный анализ на основе оконного преобразования Фурье (ОПФ), адаптивного преобразования Фурье (АПФ) и вейвлет-преобразования (ВП), также кратко изложенный в работе [8] и детально описанный в [22]. Для исключения влияния регулярного уменьшения N в течение СЗ в настоящей работе, в отличие от аналогичных работ [3, 8], тренд вычислялся на интервале времени, равном 60 мин. Добавим, что все три интегральных преобразования дают примерно одинаковую информацию о спектральном составе колебаний $\delta_N(t)$, однако ОПФ имеет лучшее разрешение по времени, АПФ –

по периодам. ВП позволяет лучше проследить за динамикой спектрального состава.

5. Временные вариации ВВ концентрации электронов

Вариации абсолютных значений. Временные вариации $\Delta N(t)$ для ряда высот приведены на рис. 2. В дневное время на высотах $140 \div 310$ км значения ΔN заметно больше ночных, а на высотах $310 \div 500$ км они примерно одинаковы. Из рис. 2 видно, что на всех высотах в интервале времени 08:00–12:00 вариации ΔN 4 января являются более упорядоченными, чем в контрольный день 5 января в том же временном интервале. Четче просматривается квазипериодическое колебание ΔN . Кроме того, 4 января амплитуда этого колебания в $1.3 \div 1.5$ раза больше, чем 5 января (по крайней мере, на высотах $140 \div 220$ км).

Высотная зависимость ΔN была следующей. На высоте $z \approx 140$ км $\Delta N \approx 1.5 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$. С ростом высоты амплитуда колебаний электронной концентрации ΔN_a сначала увеличивалась и достигла максимального значения $3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ на высоте $z \approx 200$ км. Выше ΔN_a начала постепенно уменьшаться до значения $0.5 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ на высотах $400 \div 500$ км.

Вариации относительных значений. Временные вариации $\delta_N(t) = \Delta N / \bar{N}$, где $\bar{N}(t)$ – регулярные временные вариации N , приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что ночные значения δ_N были больше дневных на высотах примерно до $180 \div 200$ км, выше значения амплитуд δ_N от времени суток практически не зависели.

На высотах $140 \div 200$ км значения δ_N в интервале времени 08:00–11:00 4 января были заметно больше, чем в таком же интервале времени 5 января. На больших высотах значения δ_N 4 и 5 января в указанном временном интервале были примерно одинаковыми (кроме высот в окрестности 500 км, где значения δ_N в день СЗ превосходили значения δ_N в контрольный день).

Величина δ_N в день СЗ на всех высотах была близка к $0.10 \div 0.15$, и только вблизи 500 км она увеличивалась до $0.20 \div 0.30$.

6. Спектральный состав квазипериодических вариаций $\delta_N(t)$

Системный спектральный анализ проведен для временных вариаций как $\Delta N(t)$, так и $\delta_N(t)$ в диапазоне периодов $T \approx 2 \div 180$ мин.

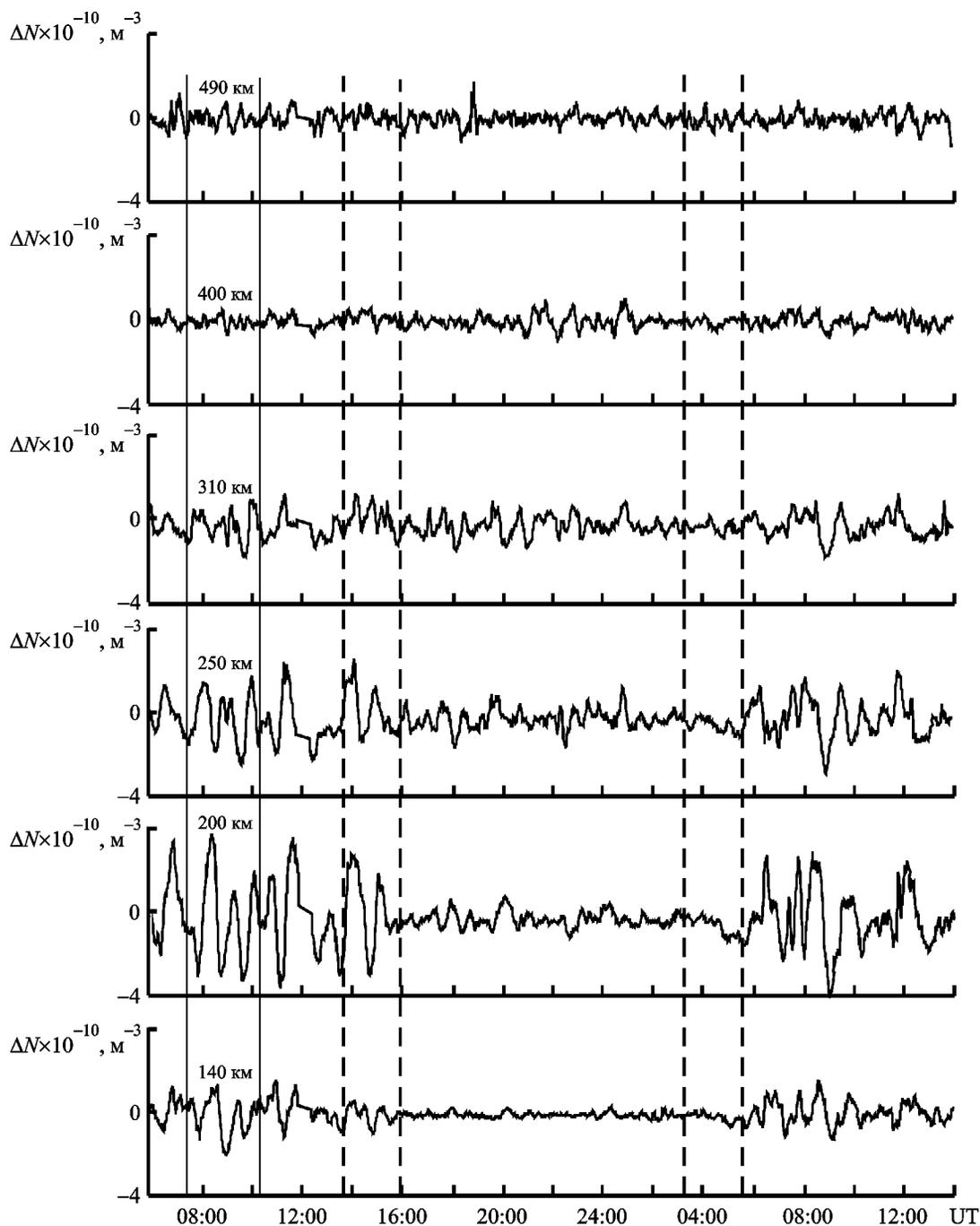


Рис. 2. Временные вариации возмущений ΔN концентрации электронов 4 и 5 января 2011 г. (здесь и далее вертикальными сплошными линиями отмечены моменты начала и конца затмения 4 января, вертикальными пунктирными линиями отмечены моменты захода и восхода солнца на высотах 0 и 450 км)

Примеры результатов спектрального анализа временных вариаций $\delta_N(t)$ для высоты 200 км в поддиапазонах $T \approx 2 \div 10$ мин и $T \approx 10 \div 80$ мин приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно. Результаты аналогичного анализа для высоты 490 км показаны на рис. 6 и рис. 7.

Из рис. 4, а видно, что в интервале времени 08:00–09:00 наблюдалось усиление коле-

баний акустического диапазона с $T \approx 5 \div 10$ мин. Их относительная амплитуда δ_N была ~ 0.001 . На высоте 490 км подобные колебания в указанном интервале времени отсутствовали (см. рис. 6, а).

Как следует из рис. 5, в течение СЗ увеличилась амплитуда колебания с $T \approx 45 \div 65$ мин. Примерно с таким же периодом наблюдалось

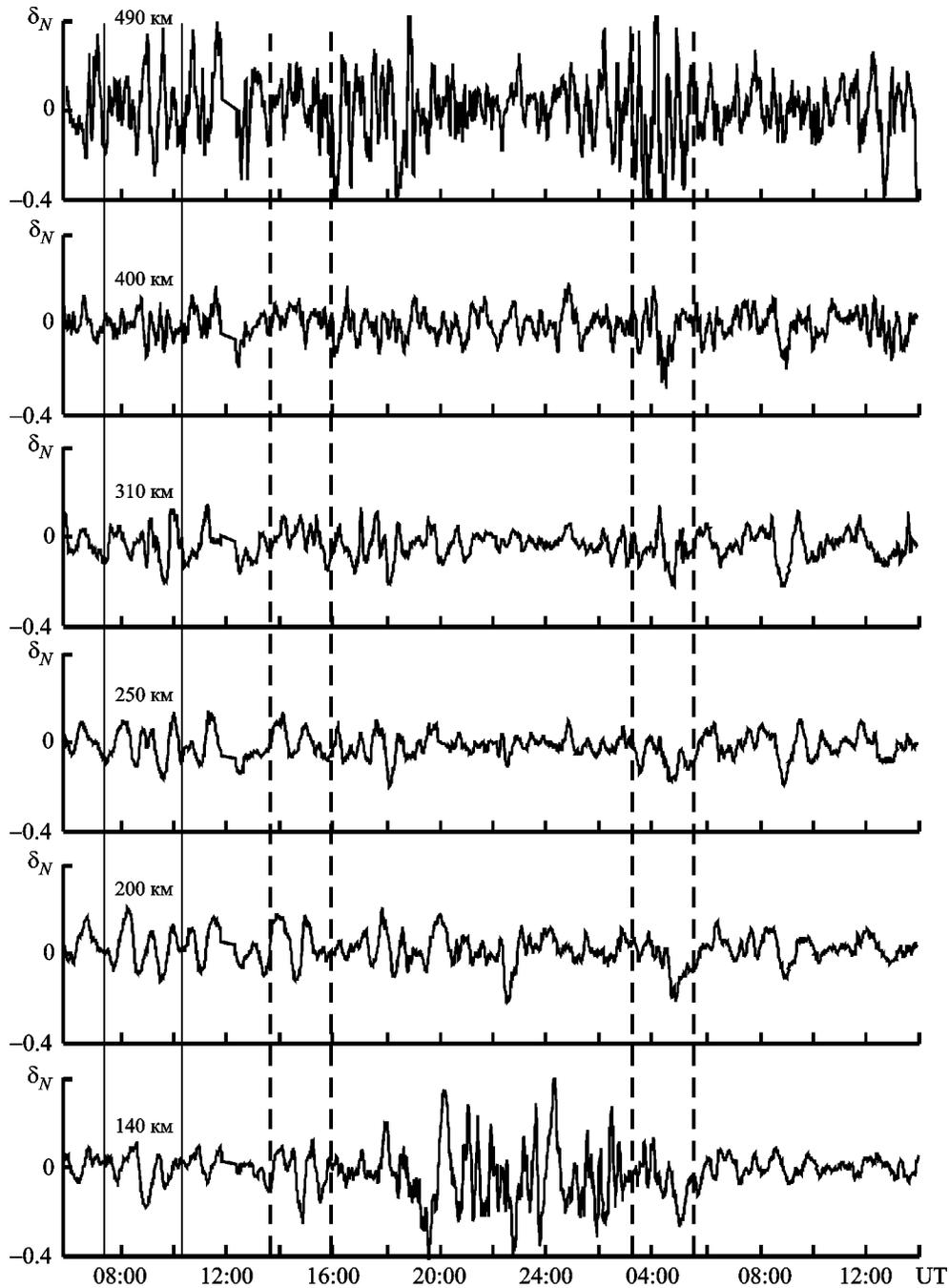


Рис. 3. Временные вариации относительных возмущений δ_N концентрации электронов 4 и 5 января 2011 г.

колебание с 10:30 до 15:00. Анализ верхних панелей на рис. 5 и рис. 7 показывает, что в день затмения в интервале времени 07:30–15:00 колебания $\delta_N(t)$ были более упорядоченными, а спектр колебаний – более локализованным по периодам.

В окрестности высоты $z \approx 490$ км в течение СЗ и вскоре после него основным было колебание с $T \approx 35 \div 45$ мин (см. рис. 7).

7. Обсуждение

В интервале времени 08:00–12:00 временные вариации ΔN и δ_N 4 и 5 января существенно отличались. Это может свидетельствовать в пользу того, что движение лунной тени генерировало колебание с периодами $40 \div 60$ мин и $\delta_N \approx 0.10 \div 0.15$. Важно, что фаза колебания на высоте около 250 км примерно на 15 мин опережала фазу коле-

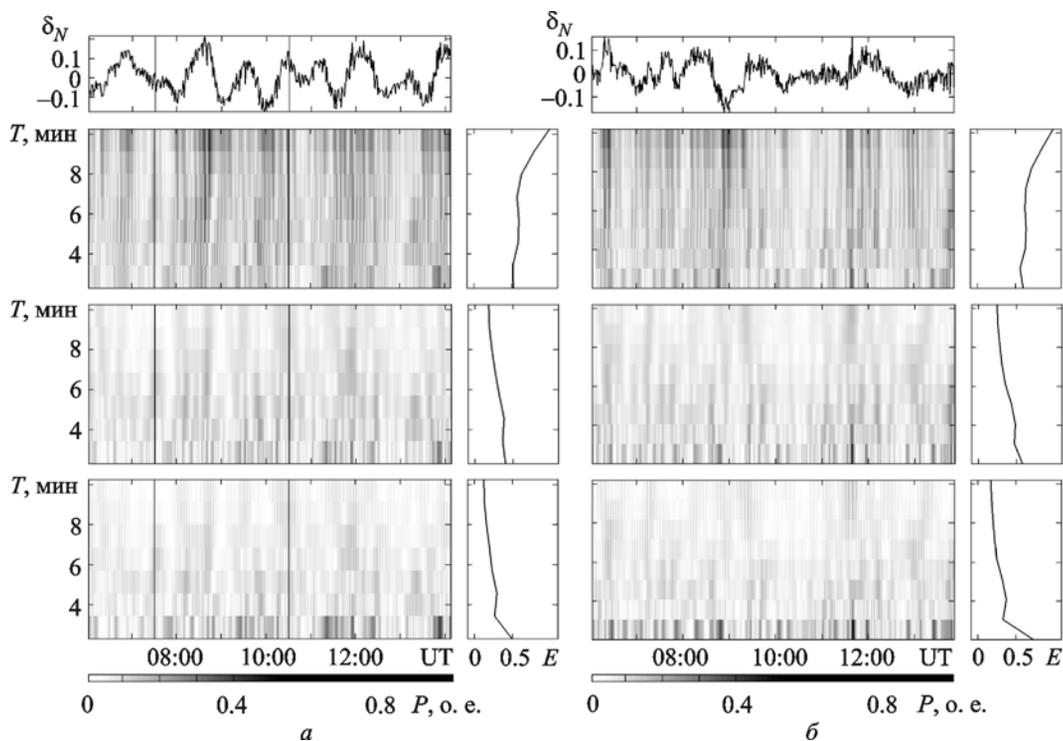


Рис. 4. Результаты спектрального анализа вариаций $\delta_N(t)$ для высоты 200 км: а – 4 января 2011 г.; б – 5 января 2011 г. Панели сверху вниз: исходная зависимость; спектрограммы (в относительных единицах) соответственно ОПФ, АПФ и ВП; справа показаны энергограммы (в относительных единицах) соответственно для ОПФ, АПФ и ВП в диапазоне периодов 2 ÷ 10 мин

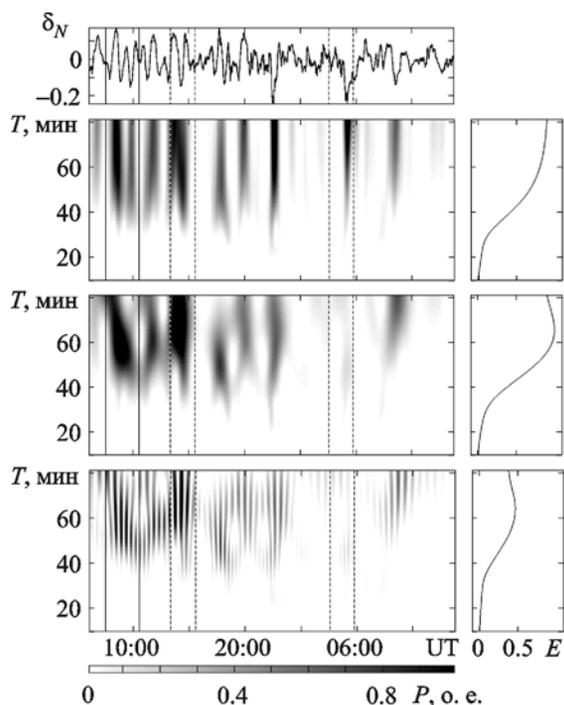


Рис. 5. Результаты спектрального анализа вариаций $\delta_N(t)$ для высоты 200 км 4 – 5 января 2011 г. Панели сверху вниз: исходная зависимость; спектрограммы (в относительных единицах) соответственно ОПФ, АПФ и ВП; справа показаны энергограммы (в относительных единицах) соответственно для ОПФ, АПФ и ВП в диапазоне периодов 10 ÷ 80 мин

бания на высоте 160 км. Это позволяет оценить вертикальную составляющую скорости ВВ v_z . Она оказалась близкой к 100 м/с. Для ВГВ с периодом 40 ÷ 45 мин горизонтальная составляющая скорости (см., например, [23])

$$v_x \approx v_z \frac{T}{T_B},$$

где T_B – период Брента–Вяйсяля. Для высот 160 ÷ 250 км средние значения $T_B \approx 12$ мин. Тогда для $T = 50$ мин имеем $v_x \approx 417$ м/с, а модуль скорости $v \approx 429$ м/с. Такие параметры свойственны ВГВ на высотах F-области ионосферы. Известно, что фазовая скорость ВГВ направлена сверху вниз, а групповая – снизу вверх. Это означает, что источник ВГВ во время затмения находился ниже высоты 160 км. Действительно, источником ВГВ являются охлажденные области атмосферы, расположенные в термосфере, стратосфере, а также вблизи поверхности планеты.

Время запаздывания реакции на СЗ можно определить по положению первого максимума в колебании δ_N . Он наблюдался на разных высотах примерно через 50 ÷ 60 мин после начала СЗ на уровне поверхности земли.

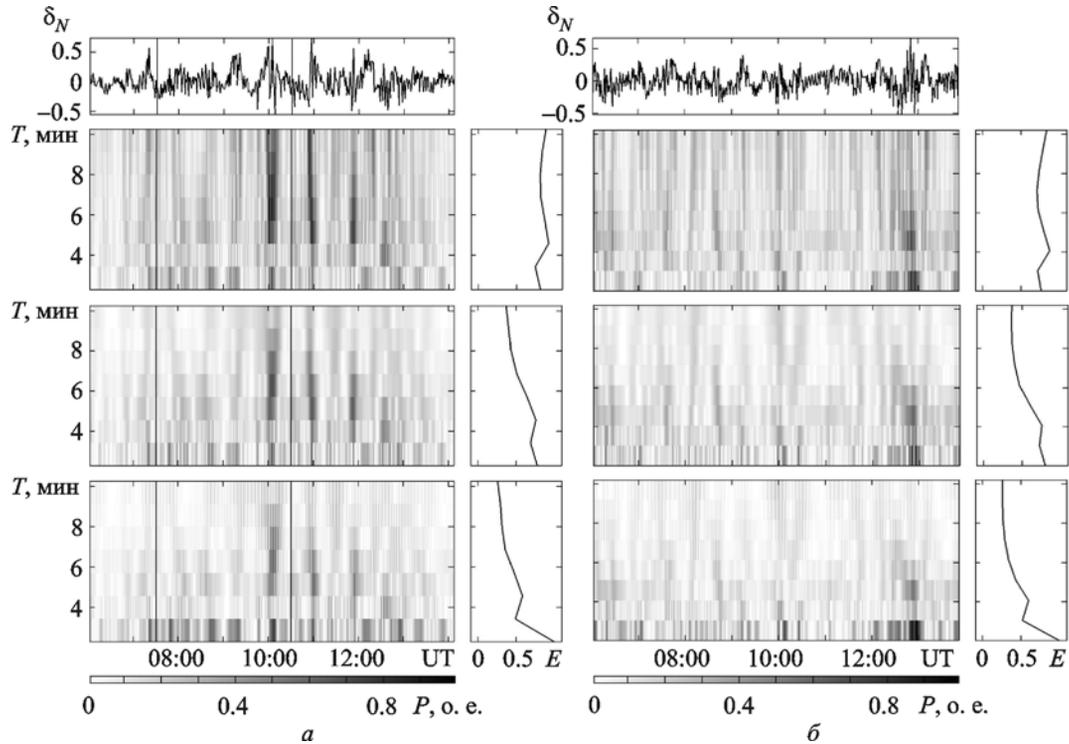


Рис. 6. То же, что и на рис. 4, для высоты 490 км

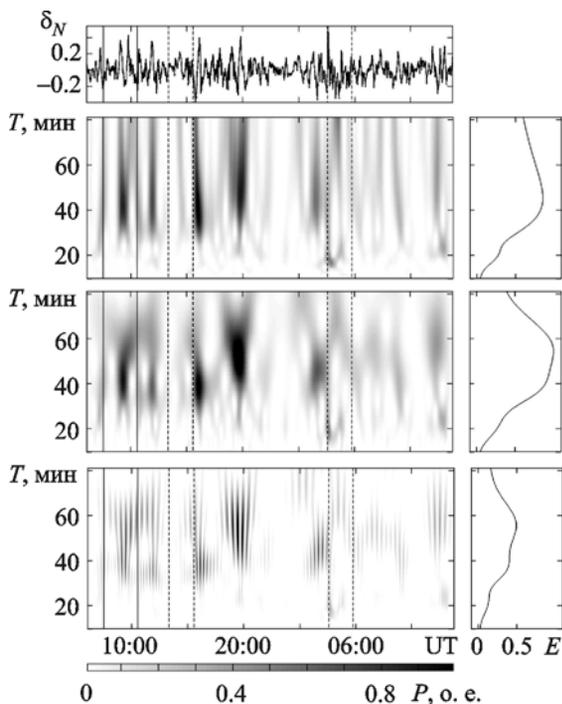


Рис. 7. То же, что и на рис. 5, для высоты 490 км

Продолжительность ВВ была не менее 3 ч.

Добавим, что параметры ВВ 4 января 2011 г. были близки к соответствующим параметрам ВВ,

которые наблюдались во время СЗ 1 августа 2008 г. [8] Это также свидетельствует в пользу того, что оба затмения генерировали ВВ в диапазоне периодов ВГВ.

Отдельно обсудим возможность генерации колебаний акустического диапазона, впервые обнаруженных во время СЗ 29 марта 2006 г. и 1 августа 2008 г. методом доплеровского радиозондирования [15]. При помощи этого метода на высотах 120÷160 км обнаружены цуги колебаний с периодами 2÷3, 5÷7 и 8÷12 мин. Метод некогерентного рассеяния также позволяет выявить цуги колебаний с $T \approx 5 \div 10$ мин на высотах 150÷300 км. И хотя подобные цуги наблюдались и после СЗ, а также в контрольный день в другом временном интервале, есть определенные основания считать, что ВВ с $T \approx 5 \div 10$ мин и $\delta_N \sim 0.001$, отмеченные 4 января с 08:00 до 09:00, связаны с СЗ. Конечно, для полной уверенности в том, что колебания вызваны СЗ, нужны новые наблюдения независимыми радиофизическими методами. Добавим, что инфразвуковые колебания не отмечались на высотах $z \geq 400$ км. Здесь инфразвук распространяться не может, так как длина свободного пробега нейтралов становится сравнимой с длиной акустической волны,

т. е. нарушается необходимая для распространения волны сплошность среды (см., например, [24]).

Сравнение результатов исследования ВВ, сопровождавших шесть затмений Солнца, пять из которых описаны в [8], показало, что эффективность генерации ВВ существенно зависит от состояния космической погоды и геокосмической среды.

8. Выводы

1. Установлено, что СЗ 4 января 2011 г. привело к существенному изменению временных вариаций как ΔN , так и δ_N в диапазоне высот 140 ÷ 490 км. Заметно отличался спектральный состав этих вариаций в день затмения и в контрольный день.

2. Период преобладающего колебания, генерируемого СЗ, был около 40 ÷ 60 мин, амплитуда $\Delta N \approx (1.5 \div 0.5) \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ на высотах 140 ÷ 490 км. Значения δ_N при этом изменялись от 0.15 до 0.10 на высотах 140 ÷ 400 км. Вблизи высоты $z \approx 500$ км величина $\delta_N \approx 0.02 \div 0.30$.

3. Значения вертикальной и горизонтальной составляющих скорости ВВ равнялись 100 и 417 м/с соответственно.

4. Полученные данные позволяют утверждать, что СЗ 4 января 2011 г. сопровождалось генерацией ВГВ.

5. СЗ, скорее всего, сопутствовали также цуги колебаний акустического типа. Для них $T \approx 5 \div 10$ мин, $\delta_N \sim 0.001$ и $\Delta N \sim 10^8 \text{ м}^{-3}$.

6. Для подтверждения описанных эффектов СЗ нужны новые наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Special Eclipse Issue (The Eclipse of 7 March 1970) // *J. Atmos. Terr. Phys.* – 1972. – Vol. 34. – P. 559–739.
2. 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. – Т. 48, № 3. – С. 350–364.
3. 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. – Т. 13, № 6. – С. 74–86.
4. 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. – Т. 14, № 1. – С. 57–64.
5. Емельянов Л. Я., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Эффекты в геокосмической плазме во время частного затмения Солнца 1 августа 2008 г. над Харьковом. 1. Результаты наблюдений // *Космічна наука і технологія.* – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 70–81.
6. Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Эффекты в геокосмической плазме во время частного затмения Солнца 1 августа 2008 г. над Харьковом. 2. Результаты расчетов и обсуждение // *Космічна наука і технологія.* – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 3–11.
7. Емельянов Л. Я., Скляр И. Б., Черногор Л. Ф. Отклик ионосферы на солнечное затмение 1 августа 2008 г.: результаты вертикального зондирования // *Космічна наука і технологія.* – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 12–21.
8. Бурмака В. П., Черногор Л. Ф. Радиофизические наблюдения волновых возмущений в ионосфере в период частного солнечного затмения 1 августа 2008 г. // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2009. – Т. 14, № 4. – С. 390–402.
9. Черногор Л. Ф. Волновой отклик ионосферы на частное солнечное затмение 1 августа 2008 г. // *Геомагнетизм и аэронаука.* – 2010. – Т. 50, № 3. – С. 361–376.
10. Кащеев С. Б., Зализовский А. В., Колосков А. В., Галушко В. Г., Пикулих И. И., Ямпольский Ю. М., Куркин В. И., Литовкин Г. И., Орлов А. Н. Вариации частоты КВ сигналов на протяженных трассах во время солнечного затмения // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2009. – Т. 14, № 4. – С. 353–366.
11. Гармаш К. П., Леус С. Г., Черногор Л. Ф. Радиофизические эффекты солнечного затмения 4 января 2011 г. на наклонных радиотрассах // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 164–176.
12. Черногор Л. Ф., Барабаш В. В. Отклик средней ионосферы на солнечное затмение 4 января 2011 г. в Харькове: результаты вертикального зондирования // *Космічна наука і технологія.* – 2011. – Т. 17, № 4. – С. 41–52.
13. Chernogor L. F., Grigorenko Ye. I., and Lyashenko M. V. Effects in geospace during partial solar eclipses over Kharkiv // *Int. J. Remote Sens.* – 2011. – Vol. 32, No. 11. – P. 3219–3229.
14. Черногор Л. Ф. Эффекты солнечных затмений в ионосфере: результаты доплеровского зондирования. 1. Экспериментальные данные // *Геомагнетизм и аэронаука.* – 2012. – Т. 52, № 5. – С. 801–817.
15. Черногор Л. Ф. Эффекты солнечных затмений в ионосфере: результаты доплеровского зондирования. 2. Спектральный анализ // *Геомагнетизм и аэронаука.* – 2012. – Т. 52, № 5. – С. 818–831.
16. Домнин И. Ф., Емельянов Л. Я., Черногор Л. Ф. Динамика ионосферной плазмы над Харьковом во время солнечного затмения 4 января 2011 г. // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2012. – Т. 17, № 2. – С. 132–145.
17. Chimonas G. and Hines C. O. Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse // *J. Geophys. Res.* – 1970. – Vol. 75, No. 4. – P. 875–876.
18. Butcher E. C., Downing A. M., and Kole K. D. Wavelike variations in the F-region in the path of totality of the eclipse of 23 October 1976 // *J. Atmos. Terr. Phys.* – 1979. – Vol. 41, No. 5. – P. 439–444.
19. Jones T. B., Wright D. M., Milner J., Yeoman T. K., Reid T., Senior A., and Martinez P. The detection of atmospheric waves produced by the total solar eclipse 11 August 1999 // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* – 2004. – Vol. 66, No. 5. – P. 363–374.

20. *Deshpande M. R., Chandra H., Sethia G., Vats H. O., Vyas G. D., Iyer K. N., and Janve A. V.* Effects of the total solar eclipse of 16 February 1980 on TEC at low latitudes // *Proc. Indian. Nat. Acad. Sci.* – 1982. – Vol. A48, No. 3. – P. 427–433.
21. *Rama Rao P. V. S., Rao B. V. P. S., Nru D., and Niranjana K.* TEC observations at Waltair during the total solar eclipse of 16 February 1980 // *Proc. Indian Nat. Acad. Sci.* – 1982. – Vol. 48, No. 3. – P. 434–438.
22. *Черногор Л. Ф.* Современные методы спектрального анализа квазипериодических и волновых процессов в ионосфере: особенности и результаты экспериментов // *Геомагнетизм и аэрономия.* – 2008. – Т. 48, № 5. – С. 681–702.
23. *Гершман Б. Н.* Динамика ионосферной плазмы. – М.: Наука, 1974. – 248 с.
24. *Черногор Л. Ф.* Механизм генерации колебаний инфразвукового диапазона в верхней атмосфере под действием мощного периодического радиоизлучения // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2012. – Т. 17, № 3. – С. 240–252.

В. П. Бурмака¹, І. Ф. Домнін¹, Л. Ф. Черногор^{1,2}

¹ Інститут іоносфери НАН і МОНМС України, вул. Червонопрапорна, 16, м. Харків, 61002, Україна

² Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

РАДІОФІЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ АКУСТИЧНО-ГРАВІТАЦІЙНИХ ХВИЛЬ В ІОНОСФЕРІ ПІД ЧАС СОНЯЧНОГО ЗАТЕМНЕННЯ 4 СІЧНЯ 2011 Р.

Проаналізовано квазіперіодичні варіації потужності некогерентно розсіяних сигналів у діапазоні висот $\sim 100 \div 500$ км у день часткового (фаза близько 0.78) сонячного затемнення

та в контрольний день. Для системного спектрального аналізу застосовувались виконне перетворення Фур'є, адаптивне перетворення Фур'є та вейвлет-аналіз. Продемонстровано, що спектральні характеристики квазіперіодичних варіацій сигналу істотно відрізнялись у день затемнення та в контрольний день. Затемнення супроводжувалось генерацією хвилі з переважачим періодом $40 \div 60$ хв, відносною амплітудою збурень концентрації електронів $10 \div 15\%$ і тривалістю близько $3 \div 4$ год.

V. P. Burmaka¹, I. F. Dominin¹, and L. F. Chernogor^{1,2}

¹ Institute of Ionosphere, National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine,

16, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

² V. Kazarin National University of Kharkiv, 4, Svoboda Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

RADIOPHYSICAL OBSERVATIONS OF ACOUSTIC-GRAVITY WAVES IN THE IONOSPHERE DURING SOLAR ECLIPSE OF JANUARY 4, 2011

Quasiperiodic power variations of incoherent scattered signals in the altitude range of $\sim 100 - 500$ km were analyzed for the partial solar eclipse day (magnitude about 0.78) and the control day. The windowed Fourier transform, adaptive Fourier and wavelet analysis for the system spectral analysis were used. The spectral characteristics of signal quasi-periodic variations were demonstrated to be significantly different in the eclipse and control days. The eclipse was accompanied by wave generation with the predominant period of $40 - 60$ min, relative amplitude of electron density disturbance of $10 - 15\%$ and duration of about $3 - 4$ hours.

Статья поступила в редакцию 04.09.2012