

УДК 550.2, 551.510.535

ВОЛНОВЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В ИОНОСФЕРЕ, СОПРОВОЖДАВШИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ НАД ХАРЬКОВОМ В 1999–2011 гг.

В.П. Бурмака, Л.Ф. Черногор

WAVE DISTURBANCES IN THE IONOSPHERE ACCOMPANYING SOLAR ECLIPSE OVER KHARKIV IN 1999–2011

V.P. Burmaka, L.F. Chernogor

Анализируются квазипериодические вариации мощности некогерентно рассеянных сигналов, вызванные волновыми возмущениями в ионосфере, в дни частных солнечных затмений: 11 августа 1999 г. (фаза 0.78), 31 мая 2003 г. (фаза 0.74), 3 октября 2005 г. (фаза 0.24), 29 марта 2006 г. (фаза 0.77), 1 августа 2008 г. (фаза около 0.42) и 4 января 2011 г. (фаза 0.78).

Общим для всех солнечных затмений было возникновение минимума в высотно-временных зависимостях абсолютных $\Delta N(t)$ и относительных $\delta_N(t)$ вариаций концентрации электронов вблизи главной фазы затмения и изменение спектрального состава волновых возмущений N и δ_N . Составляющие с $T \approx 120$ –180 мин отражают факт уменьшения N в течение солнечных затмений, а составляющие с $T \approx 20$ –120 мин – факт генерации внутренних гравитационных волн.

The quasi-periodic variations of incoherent scattered signals power due to wave disturbances in the ionosphere during the partial solar eclipses: August 11, 1999 (phase 0.78), May 31, 2003 (phase 0.74), October 3, 2005 (phase 0.24), March 29, 2006 (phase 0.77), August 1, 2008 (phase 0.42) and January 4, 2011 (phase 0.78) were analyzed.

Common for to all solar eclipses was the emergence of a minimum in the altitude-time dependences of the absolute $\Delta N(t)$ and relative $\delta_N(t)$ variations of electron density near the main phase of the eclipse and the changing of the spectral content of wave disturbances of N and δ_N . Components of the $T \approx 120$ –180 minutes reflect the fact of a decrease in N during the solar eclipse, and the components with $T \approx 20$ –120 minutes – a fact of the generation of internal gravity waves.

Введение

Хорошо известно, что солнечное затмение (СЗ) предоставляет исследователю уникальную возможность изучения целого комплекса физико-химических и радиофизических процессов в атмосфере и геокосмосе в условиях быстрого изменения интенсивности излучения Солнца при почти постоянном его зенитном угле.

В целом регулярные (квазидетерминированные) ионосферные эффекты СЗ изучены более или менее хорошо. Значительно хуже дело обстоит с изучением нерегулярных (флуктуационных) эффектов и волновых возмущений (ВВ) параметров плазмы, которые могут быть вызваны СЗ.

Результаты наблюдений

Измерения выполнены на харьковском радаре некогерентного рассеяния, который расположен в Ионосферной обсерватории Института ионосферы НАН и МОН Украины (49°36' N, 36°18' E).

Основной особенностью солнечного затмения 11 августа 1999 г. было то, что оно наблюдалось в спокойный день вскоре после местного полудня с 09:57 до 12:29 (здесь и далее UT). Вскоре после максимальной фазы СЗ на высотах 125–450 км произошло существенное изменение спектрального состава и амплитуд ВВ. Последние уменьшились в 2–3 раза. Продолжительность этого процесса составляла 5–6 ч [Burmaka et al., 2006a, b].

Солнечное затмение 31 мая 2003 г. наблюдалось вскоре после восхода Солнца с 02:16 до 04:17 на фоне релаксирующей магнитной бури. Затмение вызвало уменьшение N на всех высотах с 03:00 до 04:00. Кроме того, заметно увеличилась амплитуда ВВ и изменился их спектральный состав. На высотах 125–320 км вскоре после СЗ наблюдался волновой пакет длительностью около 3–4 ч и периодом около 60 мин (всего 3–4 колебания) [Burmaka et al., 2006a, b].

Солнечное затмение 3 октября 2005 г. началось в

08:36, а закончилось в 10:42. После главной фазы СЗ произошел «сбой фазы» преобладающего колебания (200–250 км, амплитуда ΔN достигала максимального значения $3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$, на высотах около 500 км $\sim 0.4 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$, $T \approx 2$ ч), его амплитуда уменьшилась в 1.5–2 раза, период стал близок к 30–60 мин. Четко наблюдалось 1.5–2 колебания. После 12:00 характер ВВ снова изменился [Бурмака и др., 2007а].

Во время солнечного затмения 29 марта 2006 г. выше 300 км волновые эффекты были практически незаметны. Ниже 160 км наблюдалась только отрицательная полуволна. Ее существование, скорее всего, связано с особенностями методики обработки и вызвано уменьшением концентрации электронов во время затмения. В диапазоне высот 160–300 км после окончания затмения в течение 7 ч наблюдался волновой процесс с периодом около 180 мин и амплитудами $5 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$ и 20 % для ΔN и δ_N соответственно. Этот процесс закончился после захода Солнца в ионосфере. Скорее всего, он был связан с затмением [Бурмака и др., 2007б].

Солнечное затмение 1 августа 2008 г. (09:11–11:17) произошло в спокойных геофизических условиях, что облегчало обнаружение возмущений, связанных с ним. Из рис. 1 видно, что в день СЗ в интервале времени 10:00–11:00 наблюдался глубокий минимум в зависимости $\delta_q(t)$. Этот минимум имел место на всех высотах (от 125 до 510 км). После минимума наблюдалось колебание с квазипериодом около 70 мин. Его амплитуда δ_{qm} была наибольшей в диапазоне высот 125–160 км. По мере увеличения высоты δ_{qm} постепенно уменьшалась: на высоте 125 км $\delta_{qm} \approx 0.4$ о.е., а на высоте около 500 км $\delta_{qm} \approx 0.02$ о.е. ($1 \text{ о.е.} \approx 10^{11} \text{ м}^{-3}$). На рис. 2 представлены результаты системного спектрального анализа, которые иллюстрируют заметные усиления с колебаний с периодами 50–65 и 150–180 мин. Важно, что поведение спектральных компонент с такими же периодами в фоновый день было другим [Бурмака, Черногор, 2009].

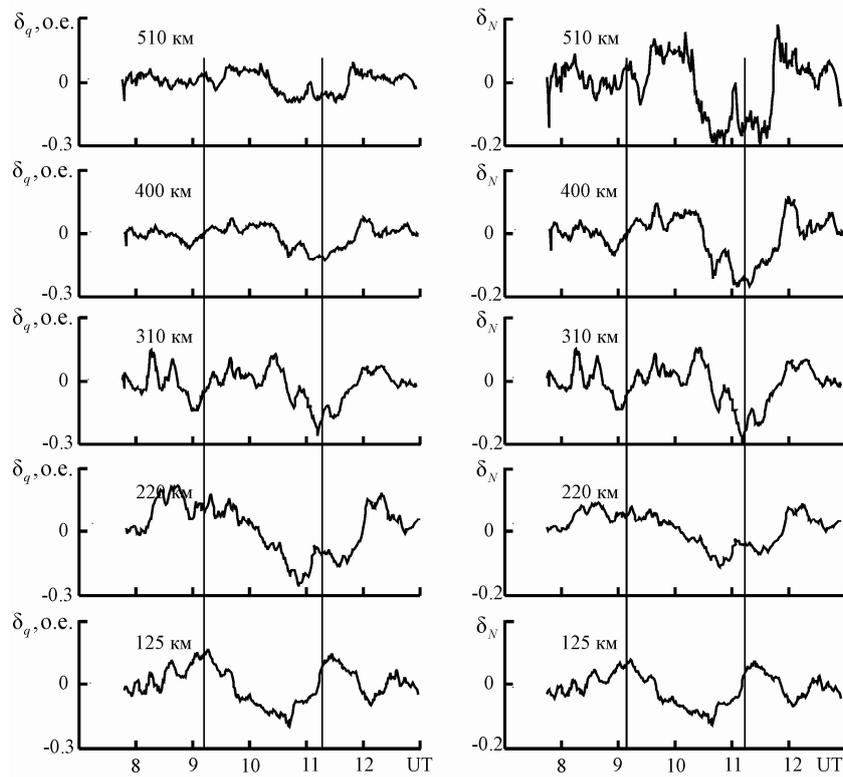


Рис. 1. Временные вариации возмущений δ_q и относительных возмущений δ_N концентрации электронов во время СЗ 1 августа 2008 г. (вертикальными линиями отмечены моменты начала и конца затмения).

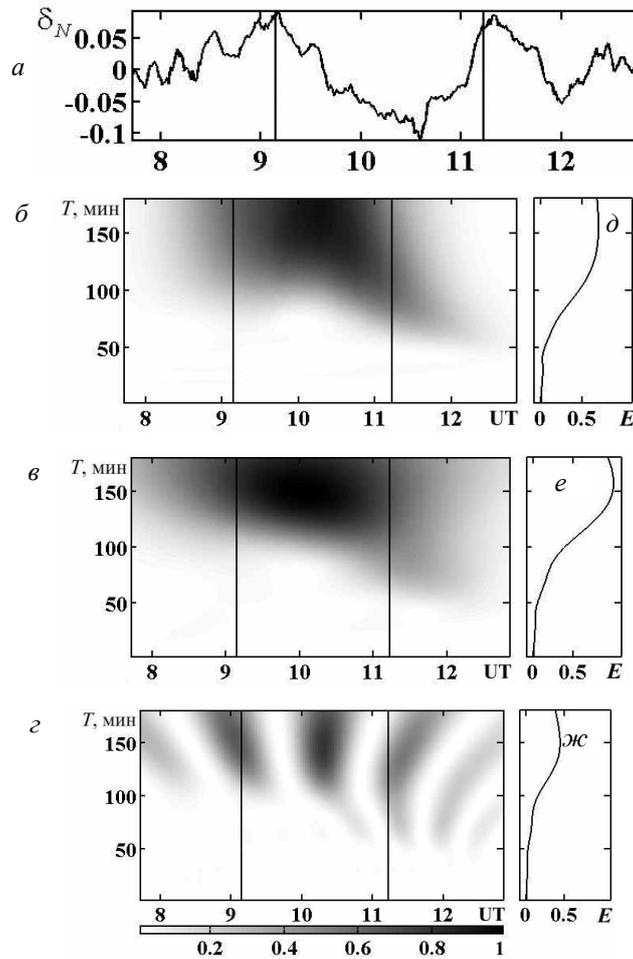


Рис. 2. Результаты спектрального анализа временных вариаций $\delta_N(t)$ 1 августа 2008 г. для высоты $z=125$ км: a – сигнал; b – z – спектрограммы (в отн. ед.) соответственно для ОПФ, АПФ и ВП сигнала; d – $ж$ –энергограммы (в отн. ед.) соответственно для ОПФ, АПФ и ВП сигнала.

Продолжительность СЗ 4 января 2011 г. была больше, чем других (с 7:30 до 10:29 UT). СЗ сопровождалось генерацией (усилением) ВВ в ионосфере в диапазоне высот 120–400 км. В спектре ВВ преобладало колебание с периодом $T \approx 60$ мин. Максимальная амплитуда ΔN имела место при $z \approx 180$ – 220 км, где она достигала $(6 \div 7) \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$. При этом $\delta_N \approx 0.15$. Генерируемое затмением ВВ началось примерно через 30 мин после начала затмения и продолжалось не менее 7 ч [Бурмака, Черногор, 2011].

Выводы

Общим для всех шести СЗ было возникновение глубокого минимума в зависимостях $\Delta N(t)$ и $\delta_N(t)$ вблизи главной фазы затмения и существенное изменение спектрального состава квазипериодических вариаций N и ее относительных значений δ_N . Составляющие с $T \approx 120$ – 180 мин, скорее всего, отражают факт уменьшения N в течение СЗ, а составляющие с $T \approx 20$ – 120 мин – факт генерации внутренних гравитационных волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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*. 2007а. Т. 13, № 6. С. 74–86.

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*. 2007б. № 3. С. 38–53.

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.

Бурмака В.П., Черногор Л.Ф. Волновые возмущения в ионосфере в течение солнечного затмения 4 января 2011 г. в Харькове // *Дистанционное зондирование ионосферы*. Сборник тезисов. Харьков. 2011. 54 с.

Burmaka V.P., Taran V.I., Chernogor L.F. Wave-Like Processes in the Ionosphere under Quiet and Disturbed Conditions. 1. Kharkov Incoherent Scatter Radar Observations // *Geomag. Aeron.* 2006а. V. 46, N 2. P. 183–198.

Burmaka V.P., Taran V.I., Chernogor L.F. Wave-Like Processes in the Ionosphere under Quiet and Disturbed Conditions. 2. Analysis of Observations and Simulation // *Geomag. Aeron.* 2006б. V. 46, N 2. P. 199–208.

Институт ионосферы НАН Украины, Харьков