

УДК 550.388

**ВАРИАЦИИ СПЕКТРА КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ
В СРЕДНЕЙ ИОНОСФЕРЕ, СОПРОВОЖДАВШИХ СОЛНЕЧНОЕ ЗАТМЕНИЕ
4 ЯНВАРЯ 2011 г. НАД ХАРЬКОВОМ**

В.В. Барабаш, Л.Ф. Черногор

**VARIATIONS IN THE SPECTRUM OF QUASIPERIODIC DISTURBANCES IN THE MIDDLE
IONOSPHERE ACCOMPANYING SOLAR ECLIPSE 4 JANUARY, 2011 OVER KHARKIV**

V.V. Barabash, L.F. Chernogor

Проанализированы квазипериодические вариации критической частоты области F2, вызванные волновыми возмущениями в ионосфере, в день частного (фаза около 0.78) солнечного затмения и в фоновые дни. Для системного спектрального анализа использовались оконное преобразование Фурье, адаптивное преобразование Фурье и вейвлет-преобразование. Показано, что в день затмения и в фоновый день спектральные характеристики волновых возмущений заметно отличались. Изменения спектрального состава начинались через 30 мин после наступления затмения и в зависимости от периода продолжались от 2 до 4 ч.

Quasiperiodic variations of critical frequency of F2 layer caused by wave disturbances in the ionosphere at day of partial (a magnitude near 0.78) solar eclipse and at control days are analyzed. Short time Fourier transform, adaptive Fourier transform and wavelet transform were used for the system spectral analysis. Spectral characteristics of disturbances in the ionosphere were shown for day of solar eclipse and control days to differ significantly. Changes in the spectral composition are recorded began 30 minutes after the eclipse beginning, and continued from 2 to 4 hours depending on the period of oscillations.

Введение

Атмосферно-ионосферные эффекты солнечных затмений (СЗ) исследуются уже десятки лет. Особенно активно они изучаются с 1970-х годов (специальные выпуски [Eclipse Supplement. Nature. 1970; Special Eclipse Issue, 1972]). Глубина исследований определялась уровнем развития экспериментальной базы и аэрономических знаний. В определенном смысле новый, качественно иной и более глубокий уровень исследований начался после осознания того факта, что процессы, вызываемые СЗ, необходимо рассматривать с позиций системного подхода. Объектом исследования при таком подходе служит система Солнце – межпланетная среда – магнитосфера – ионосфера – атмосфера – Земля (ее внутренние оболочки [Черногор, 2008; Zalyubovsky et al., 2008]).

Целью настоящей работы является изложение результатов наблюдения квазипериодических процессов в ионосфере, сопутствовавших частному СЗ 4 января 2011 г.

Ионозонд

Стандартный ионозонд предназначен для общего контроля состояния ионосферы. Ионозонд расположен в обсерватории рядом с радаром некогерентного рассеяния. Основные параметры ионозонда следующие: импульсная мощность – 10 кВт, длительность импульсов – 50 мкс, диапазон частот – 1–20 МГц, диапазон исследуемых высот – 100–400 км. Темп получения ионограмм – одна за 5 мин.

Погрешность отсчета частоты на ионограммах не хуже 0.1 МГц, а критической частоты – 0.05 МГц.

Методы спектрального анализа

Для определения параметров квазипериодических процессов применялся системный спектральный анализ. Для этого использовались оконное преобразование Фурье (ОПФ), адаптивное преобразование

Фурье (АПФ) и вейвлет-преобразование (ВП). Формат представления данных спектрального анализа такой же, как в работах [Черногор, 2008; 2010].

Как показано в [Черногор, 2008], ОПФ обладает лучшим разрешением по времени для достаточно больших периодов, а АПФ – по периоду. Результаты ВП наглядно демонстрируют динамику временных изменений спектров анализируемого сигнала.

Результаты спектрального анализа

Спектральные характеристики вариаций критической частоты

Результаты спектрального анализа зависимости $\delta f_0 F2(t)$ приведены на рис. 1. Видно, что до 07:00 (здесь и далее UT) в ионосфере существовал процесс с периодами $T \approx 40\text{--}60$ мин, амплитудой $\delta f_{0a} \approx 0.2$ МГц. При $f_0 F2 \approx 5\text{--}6$ МГц $\delta N \approx 0.06\text{--}0.08$. Примерно в 07:30 на этот процесс наложился другой квазипериодический процесс, начинавшийся с отрицательной полуволны со средним периодом $T \approx 30\text{--}40$ мин амплитудой $\delta f_{0a} \approx 0.20\text{--}0.25$ МГц. При $f_0 F2 \approx 4.5\text{--}5.5$ МГц относительная амплитуда возмущений концентрации электронов δN составляла 0.07–0.09. Примерно после 09:30 наблюдалось постепенное увеличение периода колебаний от 30 до 60 мин, $\delta f_{0a} \approx 0.25$ МГц.

Спектральный состав вариаций δf_{0a} 4 и 5 января заметно отличался (рис. 1).

Спектральные характеристики вариаций δh_p

Спектральные характеристики вариаций высоты модельного параболического слоя h_p показаны на рис. 2. Из рис. 2 видно, что 4 января до 07:30 вариации δh_p были хаотическими. В интервале времени 07:30–12:00 они стали квазипериодическими. Значение основного квазипериода $T \approx 60$ мин. Амплитуда колебаний h_p составляла 15–20 км, а относительная амплитуда была около 0.06–0.09. Частичный сбой колебания с $T \approx 60$ мин произошел в 10:30, т. е. в момент окончания СЗ.

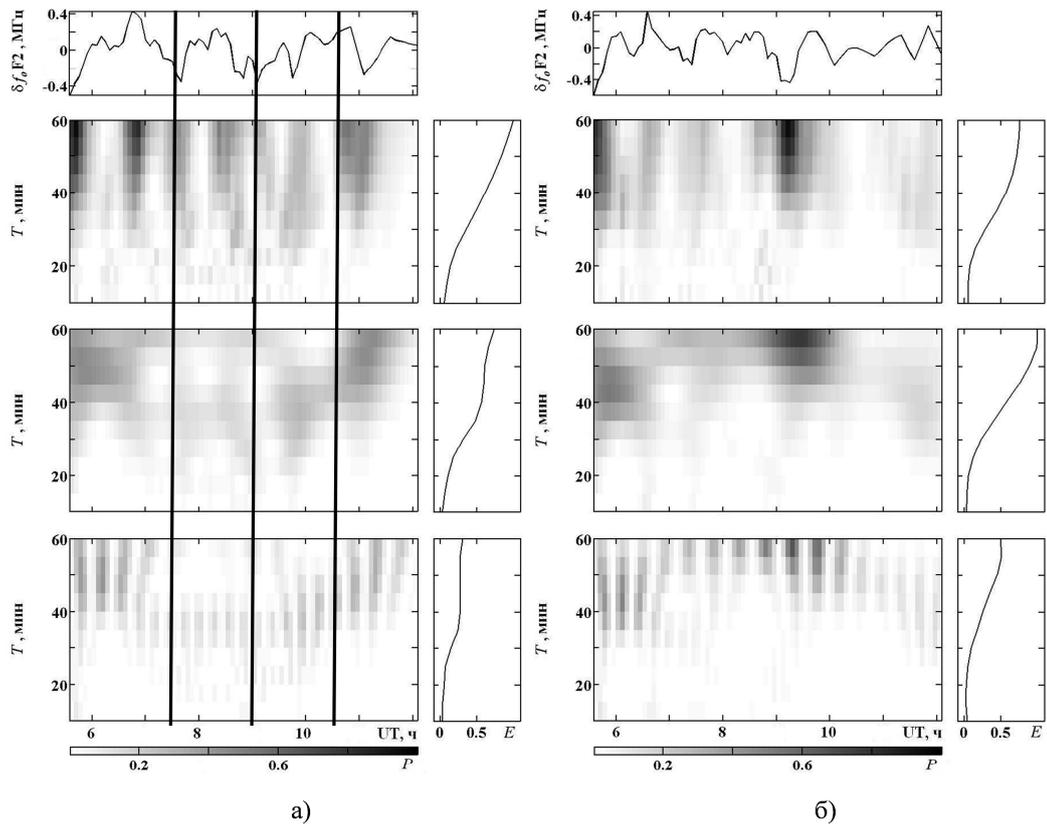


Рис. 1. Результаты спектрального анализа временных вариаций критической частоты 4 (а) и 5 (б) января 2011 г. Панели сверху вниз: вариации критической частоты; спектрограммы (в отн. ед.) соответственно ОПФ, АПФ и ВП на основе вейвлета Морле. Справа от спектрограмм – энергограммы (в отн. ед.) соответственно для ОПФ, АПФ и ВП. Тренд вычислялся на интервале времени 60 мин.

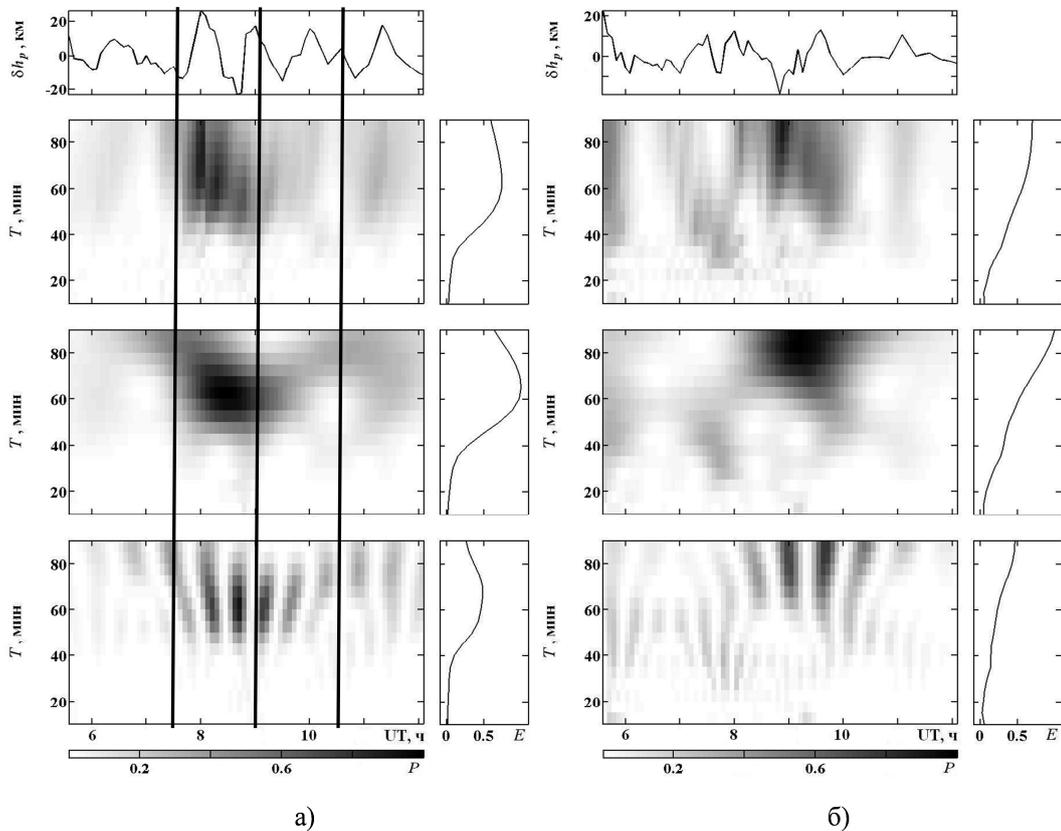


Рис. 2. То же, что на рис. 1. Тренд вычислялся на интервале времени 90 мин.

В фоновый день 5 января в интервале 06:00–12:00 флуктуации δh_p были скорее хаотическими. Наибольшие значения отклонений h_p не превышали 10 км.

Волновой отклик ионосферы

Метод вертикального зондирования (ВЗ) показал наличие ВВ в ионосфере в день СЗ. Волновые процессы заметно усилились примерно через 30 мин после первого контакта небесных тел. Вблизи этого же момента времени производная от освещенности атмосферы достигала максимального значения. Это обстоятельство позволяет предположить, что упомянутые квазипериодические процессы генерировались в месте наблюдения.

Регистрация ионограмм производилась один раз в 5 мин. Поэтому минимальный период, который мог наблюдаться в данных измерениях, составлял 10 мин. Наибольшую амплитуду ($\delta N_a \approx 0.16$) имело колебание с $T \approx 60$ мин.

Судя по периодам и амплитудам ВВ, нами наблюдались ионосферные проявления ВГВ [Госсард, Хук, 1978; Григорьев, 1999], которые генерировались в термосфере в результате перемещения охлажденной в пределах лунной тени области термосферы [Chimonas, Hines, 1970]. Наши результаты при исследовании ВВ согласуются с результатами других авторов [Bertin et al, 1977; Jones et al., 2004].

Выводы

1. Обнаружено, что частное (с фазой около 0.78) СЗ привело к уменьшению критической частоты области F2 на 1.9 МГц, а концентрации электронов в максимуме ионизации – на 52 %. Время запаздывания минимального значения концентрации электронов по отношению к моменту наступления главной фазы затмения составляло 16.0 ± 1.4 мин.

2. Установлено, что затмение сопровождалось усилением (по сравнению с фоновыми днями) колебаний f_oF2 с амплитудой около 0.2 и 0.4 МГц и периодами около 30 и 60 мин соответственно (возникли примерно через 30 мин после начала СЗ). Им соответствовали квазипериодические колебания концентрации электронов с относительной амплитудой около 8 и 16 % и продолжительностью около 3 и 5–6 ч соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Госсард Э.Э., Хук У.Х. Волны в атмосфере. М.: Мир, 1978. 532 с.
- Григорьев Г.И. АГВ в атмосфере Земли (обзор) // Изв. вузов. Радиофизика. 1999. Т. 42, № 1. С. 3–10.
- Черногор Л.Ф. Современные методы спектрального анализа квазипериодических и волновых процессов в ионосфере: особенности и результаты экспериментов // Геомагнетизм и аэрномия. 2008. Т. 48, № 5. С. 681–702.
- Черногор Л.Ф. Вариации амплитуды и фазы ОНЧ радиоволн в ионосфере в период солнечного затмения 1 августа 2009 г. // Геомагнетизм и аэрномия. 2010. Т. 50, № 1. С. 96–106.
- Bertin F., Hughes K.A., Kersley L. Atmospheric waves induced by the solar eclipse of 30 June 1973 // J. Atmos. Terr. Phys. 1977. V. 39. P. 457–461.
- Chimonas G., Hines C.O. Atmospheric gravity waves induced by a solar-eclipse // J. Geophys. Res. 1970. V. 75. P. 875–876.
- Eclipse Supplement. Nature. 1970. V. 226. P. 1097–1155.
- 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. V. 66, N 5. P. 363–374.
- Special Eclipse Issue (The Eclipse of 7 March 1970). J. Atmos. Terr. Phys. 1972. V. 34. P. 559–739.
- 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.

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,
Харьков