ПРОЯВЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ Черняков С.М.

Мурманский государственный технический университет, Мурманск sergeich@hotmail.com

Абстракт. Рассмотрена реакция ионосферы на солнечные затмения 29 марта 2006 г. и 1 августа 2008 г. Показано, что поведение ионосферы согласуется с результатами, полученными при рассмотрении других солнечных затмений. Отмечено наличие волнообразных структур, имеющих общие черты для обоих затмений, которые могут быть связаны с образующимися при солнечном затмении атмосферными гравитационными волнами, вызванными сверхзвуковым движением лунной тени по земле и охлаждением атмосферы в лунной тени.

Ключевые слова: солнечное затмение, лунная тень, атмосферные гравитационные волны, минимальная частота отражений

Введение

Воздействие солнечных затмений на атмосферу изучается достаточно давно. Полученные результаты указывают на то, что солнечное затмение оказывает влияние на ионосферу, иногда достаточно значительное. Основной вывод заключается в том, что в период затмения критические частоты ионосферы уменьшаются. Одновременно происходит рост действующих высот отражений, при этом максимальный эффект в области F отстает от максимальной фазы затмения до получаса [3, 5, 13, 14]. Поведение ионосферы в основном рассматривается с точки зрения уменьшения ионизирующей радиации во время затмения, т.е. наступления искусственной ночи. В начале 70-х годов Чимонас и Хайнс [7, 8] предположили, что во время солнечного затмения должны наблюдаться атмосферные гравитационные волны, вызванные сверхзвуковым прохождением лунной тени по поверхности земли и охлаждением атмосферы из-за уменьшения солнечного излучения в области тени. В последующие годы исследователи старались получить подтверждение существования подобного эффекта [6, 9-12, 15]. Однако нужно отметить, что задача определения появления атмосферных гравитационных волн, вызванных солнечным затмением, не является тривиальной, поскольку в ионосфере практически всегда существуют волновые процессы, вызванные различными источниками, что может затруднить надежное определение появления атмосферных гравитационных волн.

Изучение ионосферных эффектов солнечных затмений дает полезную информацию для уточнения физических процессов в атмосфере и способствует построению более точных ионосферных моделей. В работе рассмотрено поведение ионосферы на различных высотах по результатам наблюдений солнечных затмений 29 марта 2006 г. и 1 августа 2008 г. методом вертикального зондирования, полученные в обсерватории Лопарская.

Солнечное затмение 29 марта 2006 г., результаты наблюдений

Частное солнечное затмение 29 марта 2006 г. в Мурманске по данным астрономического ежегодника [1] имело максимальную фазу $\varphi = 0.346$ и времена начала $t_1 = 10:23$ UT, максимума $t_2 = 11:11$ UT и окончания $t_3 - 11:58$ UT. Наблюдения проведены методом вертикального зондирования на ионосферной станции в обсерватории Лопарская, которая расположена в 30 км южнее Мурманска. Зондирование *E*- и *F*-областей полярной ионосферы осуществлялось с помощью цифрового ионосферного комплекса "Базис", основные характеристики которого и методика обработки данных представлены в работе [4].

На рис. 1 приведены кривые изменения критических частот различных областей ионосферы и минимальной частоты отражения *fmin*, полученные по ионограммам, снятым

через пять мин в период с 09:30 до 13:15 UT 29 марта 2006 г., т.е. в день затмения. Период затмения отмечен тремя вертикальными штриховыми линиями на оси времени (н – начало, м – максимум, к - конец) Горизонтальными штриховыми кривыми показано поведение критических частот и *fmin* для предыдущего спокойного дня 28 марта 2006 г. Из рис. 1 видно, что во время затмения критические частоты всех областей ионосферы уменьшаются. При этом относительное понижение критической частоты (электронной концентрации) в ионосфере с ростом высоты уменьшается.



Рис. 1 - Изменение критических частот f_0E , f_0F1 , f_0F2 и минимальной частоты отражения *fmin* во время неполного солнечного затмения 29 марта 2006 г. в обсерватории Лопарская

При вертикальном зондировании эффекты затмения Солнца в нижней ионосфере можно также оценить по временному ходу поглощения радиоволн, который определяется поведением минимальной частоты отражения *fmin*. В нашем случае величина изменения поглощения радиоволн в нижней ионосфере во время солнечного затмения составила около 40 %, что говорит о существенном воздействии затмения на нижнюю ионосферу.

Солнечное затмение 1 августа 2008 г. и некоторые результаты наблюдений

В продолжение этих исследований 1 августа были проведены наблюдения полного солнечного затмения, проходившего на территории России. В Лопарской оно имело вид частного солнечного затмения с максимальной фазой 0.81. В Мурманске начало затмения было в $t_1 = 08:46$ UT, максимальная фаза была в $t_2 = 09:51$ UT. Закончилось затмение в $t_3 = 10:56$ UT [2].

На рис. 2 показаны изменения минимальной частоты отражений *fmin*. Данные были получены из ионограмм, которые снимались каждые 5 минут ионосферной станцией вертикального зондирования в обсерватории Лопарская. Время начала, максимума и конца затмения отмечены черными кружками с буквами н – начало, м – максимум, к - конец.



Рис. 2 - Изменение минимальной частоты отражения fmin во время солнечного затмения

В качестве контрольного дня было выбрано 31 июля 2008 г. Этот день, как и несколько предыдущих, был спокойным и поведение *fmin* в этот день может служить примером типичного поведения *fmin* в невозмущенный день. Сам день солнечного затмения был также невозмущенным. Сравнение поведения *fmin* в контрольный день и в день солнечного затмения показывает существенное их отличие. Из рисунка видно, что минимальная частота отражений перед началом затмения в Лопарской увеличивается в 1.5 раза, а затем, через 90 минут уменьшается до минимального значения. Это минимальное значение сохраняется около 1.5 часов, а затем опять видны резкие изменения минимальной частоты отражения. Это говорит о том, что во время затмения происходят процессы, оказывающие заметное влияние на ионосферу.

На рисунке 3 приведены минимальные частоты отражения *fmin* во время солнечных затмений 29 марта 2006 г. и 1 августа 2008 г. Штриховой линией с точкой показано поведение *fmin* для 29 марта 2006 г., а сплошной – 1 августа 2008 г. Маркеры показывают время начала, максимума и конца затмений: кружок с точкой - для 29 марта 2006 г., звездочка – для 1 августа 2008 г. Особенностью рисунка является совмещение максимумов затмений (они в центре). Для этого график поведения *fmin* для 29 марта 2006 г. был сдвинут в сторону уменьшения по времени на 1 час 20 мин. Это сделано для того, чтобы было нагляднее видно похожее поведение *fmin* во время затмений. Для обоих график типично наличие перед началом затмения максимума *fmin*, затем значение *fmin* уменьшается до минимального, при этом видны волнообразные изменения *fmin* с амплитудой около 0.1 МГц. На рисунке видно, что перед окончанием затмения формируется отчетливый максимум *fmin*, а перед ним небольшой максимум.



Рис. 3 - Поведение минимальной частоты отражения *fmin* во время солнечных затмений 29 марта 2006 г. и 1 августа 2008 г.

Возмущения такого типа могут быть объяснены распространением атмосферных гравитационных волн в ионосфере, вызванных движением лунной тени по поверхности Земли со сверхзвуковой скоростью и охлаждением атмосферы в лунной тени.

Выводы

Поведение основных ионосферных параметров качественно согласуется с ранее проведенным исследованиям. В то же время обнаружены волнообразные изменения электронной концентрации, а также появление максимумов *fmin* и их подобие в начале и конце солнечных затмений. Поведение *fmin* во время обоих затмений имеет подобный вид, что может быть объяснено общим механизмом образования этих структур, а именно, распространением атмосферных гравитационных волн в полярной ионосфере, вызванных прохождением со сверхзвуковой скоростью лунной тени по поверхности земли и охлаждением атмосферы в лунной тени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Астрономический ежегодник на 2006 год. – СПб.: Наука, 2005. – 707 с.

2. Астрономический ежегодник на 2008 год. – СПб.: Наука, 2007. – 687 с.

3. Беликович, В. В. Отклик ионосферы на частное солнечное затмение 29 марта 2006 г. по наблюдениям в Н. Новгороде и Мурманске / В. В. Беликович [и др.] // Геомагнетизм и аэрономия. – 2008. - Т. 48, № 1. – 2008. - С. 103-108.

4. Евстафьев, О. В. Модернизация цифрового ионосферного комплекса «Базис» / О. В. Евстафьев, В. А. Сазанов, С. М. Черняков // Техника и методика геофизического эксперимента. - Мурманск: ООО "МИП-999", 1997. - С. 35.

5. Данилкин, Н. П. Состояние ионосферы над Ростовом-на-Дону в период солнечного затмения 15 февраля 1961 г. / Н. П. Данилкин [и др.] // Геомагнетизм и аэрономия. – 1961. - Т. 1, № 4. - С. 612-615.

6. Arendt, P. R. Ionosphere-gravity wave interactions during the March 7, 1970, solar eclipse // J. Geophys. Res. – 1971. - V.76, N 19. - P.4695-4697.

7. Chimonas, G. Internal gravity-wave motion induced in the Earth's atmosphere by a solar eclipse // J. Geophys. Res. – 1970. - V.75, N 28. – P.5545-5551.

8. Chimonas, G. Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse / G. Chimonas, C. O. Hines // J. Geophys. Res. – 1970. - V. 75, N 4. – P.875.

9. Chimonas, G. Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse / G. Chimonas, C. O. Hines // J. Geophys. Res. – 1971. - V. 76, N 28. – P.7003-7005.

10. Davis, M. J. Possible detection of atmospheric gravity waves generated by the solar eclipse / M. J. Davis, V. da Rosa // Nature. -1970. - V.226. - P.1123.

11. Hanuise, C. HF Doppler observations of gravity waves during the 16 February 1980 solar eclipse / C. Hanuise, P. Broche, G. Ogubazghi // J. Atmos. Terr. Phys. – 1982. - V. 44, N 11. - P. 609-616.

12. Ichinose, T. Internal gravity waves deduced from the HF Doppler data during the April 19, 1958, solar eclipse / T. Ichinose, T. Ogawa // J. Geophys. Res. – 1976. - V. 81, N 13. – P.2401-2404.

13. MacPherson, B. Measurements of the topside ionosphere over Aresibo during the total solar eclipse of February 26, 1998 / B. MacPherson [et al.] // J. Geophys. Res. – 1998. - V. 105, N A10. – P. 23.055-23.068.

14. Salan, J. F. Observations of the May 30, 1984, annular solar eclipse at Millstone Hill / J. F. Salan [et al.] // J. Geophys. Res. - 1986. – V. 91, NA2. - P. 1651-1660.

15. Sauli, P. Acoustic-gravity waves during solar eclipses: detection, characterization and modeling using wavelet transforms / P. Sauli [et al.] // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. – 2007. - V.69, N (17-18). - P.2465-2484.

MANIFISTATION OF ATMOSPHERIC GRAVITY WAVES IN THE HIGHLATITUDE IONOSPHERE DURING SOLAR ECLIPSES

Cherniakov S.M.

Murmansk State Technical University, Murmansk

Reaction of the ionosphere to solar eclipses on March, 29, 2006 and on August, 1, 2008 is considered. It is shown, that the behaviour of the ionosphere is coordinated to the results received by consideration of other solar eclipses. Presence of the wave-like structures having the common features for both eclipses which can be connected to the atmospheric gravity waves formed at a solar eclipse caused by supersonic movement of a lunar shadow by the ground and cooling of the atmosphere in the lunar shadow is marked.

Keywords: solar eclipse, moon shadow, atmospheric gravity waves, minimum reflection frequency