

УДК. 550.388.2

## ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ИОНОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ

А.А. Ковалев, С.А. Колесник, А.А. Колмаков, Б.Б. Цыбиков

### ELECTRON DENSITY CHANGE IN THE IONOSPHERE DURING SOLAR ECLIPSES

A.A. Kovalev, S.A. Kolesnik, A.A. Kolmakov, B.B. Tsybikov

В работе проведена оценка влияния солнечных затмений на ионосферную плазму. Показано, что количественные характеристики уменьшения электронной концентрации в ионосферных слоях E, F1 и F2 определяются не только фазой и длительностью затмения, но и временем наступления его максимальной фазы в точке наблюдения.

In work the estimation of influence of solar eclipses on ionosphere plasma is carried out. It is shown, that quantitative characteristics of reduction of electronic concentration in ionosphere layers E, F1 and F2 are determined not only a phase and duration of an eclipse, but also time of approach of its maximal phase in a point of supervision.

Исследования ионосферной плазмы в нашей стране начались в Томске и были связаны с полным солнечным затмением 19 июня 1936 г. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный и теоретический материал (на Земле произошло 158 солнечных затмений, из них 28 наблюдались непосредственно в Томске со значением фазы более 0.1). Однако в течение нескольких последних десятилетий в солнечно-земной физике основной проблемой остается поиск механизмов, посредством которых различные события на Солнце проявляются в околоземном космическом пространстве и биосфере Земли. К настоящему времени в этой проблеме многое стало понятным и даже тривиальным. Достигнут значительный прогресс в понимании механизмов проявления событий на Солнце, имеющих квазипериодический характер. Несколько более скромные достижения имеются в установлении механизмов воздействия на околоземное космическое пространство нестационарных событий на Солнце, которые характеризуются временем жизни от десятков секунд до нескольких часов. Одним из возможных ключей к пониманию таких механизмов является солнечное затмение.

Во время солнечного затмения резко изменяется поток солнечного ультрафиолетового и рентгеновского излучения, попадающего в атмосферу Земли и приводящего к ее ионизации. Как следствие, резко уменьшается электронное содержание в ионосфере на больших пространственных масштабах, сравнимых с радиусом Земли.

На данный момент нет оценок влияния различных солнечных затмений, полученных для одной точки земной поверхности на значительном статистическом материале. В Томске с 1936 г. наблюдалось 10 солнечных затмений с фазой 0.8 и более (рис. 1). Следует отметить, что за рассматриваемый период наибольшее число солнечных затмений для Томска наблюдалось в утренние часы (~9 LT, см. рис. 2). Также наблюдались затмения, попавшие на часы рассвета и заката. В эти часы в структуре ионосферы происходят характерные для нее изменения, достаточно хорошо изученные [1, 2], причем их уровень достаточно велик и, как следствие, определение влияния затмения на параметры ионосферы крайне затруднено.

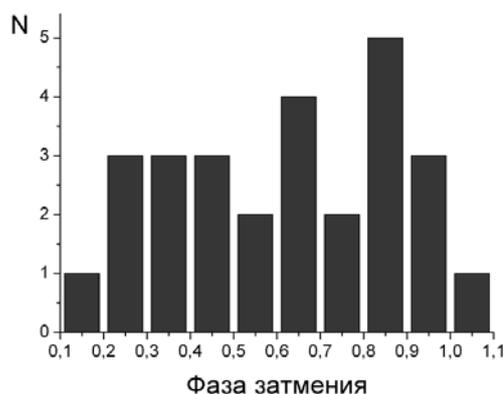


Рис. 1. Распределение солнечных затмений (N) в зависимости от их фазы для г. Томска с 1936 по 2006 г.

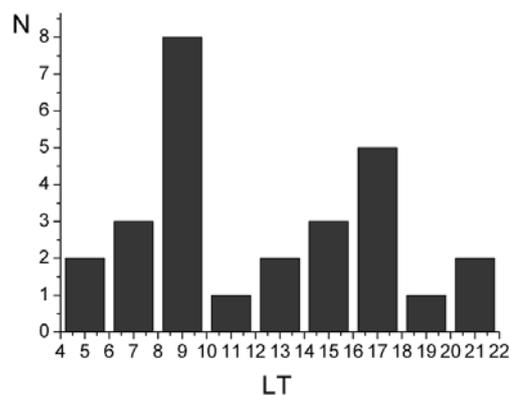


Рис. 2. Распределение числа моментов наступления максимальной фазы (N) солнечных затмений, наблюдаемых в г. Томске с 1936 по 2006 г.

Во время прохождения лунной тени над Томском по данным ионосферной станции вертикального зондирования были определены количественные изменения критических частот основных ионосферных слоев E, F1 и F2. Связь между критической частотой слоя и электронной концентрацией в его максимуме определяется выражением:

$$F_{кр}^2 = 80.8 \cdot N_e,$$

где  $F_{кр}$  – критическая частота слоя (МГц),  $N_e$  – электронная концентрация (количество электронов в  $m^3$ ).

На рис. 3, а, б, в приведены изменения критических частот слоев E, F1, F2 соответственно в день затмения 19 марта 2007 г. и контрольные дни.

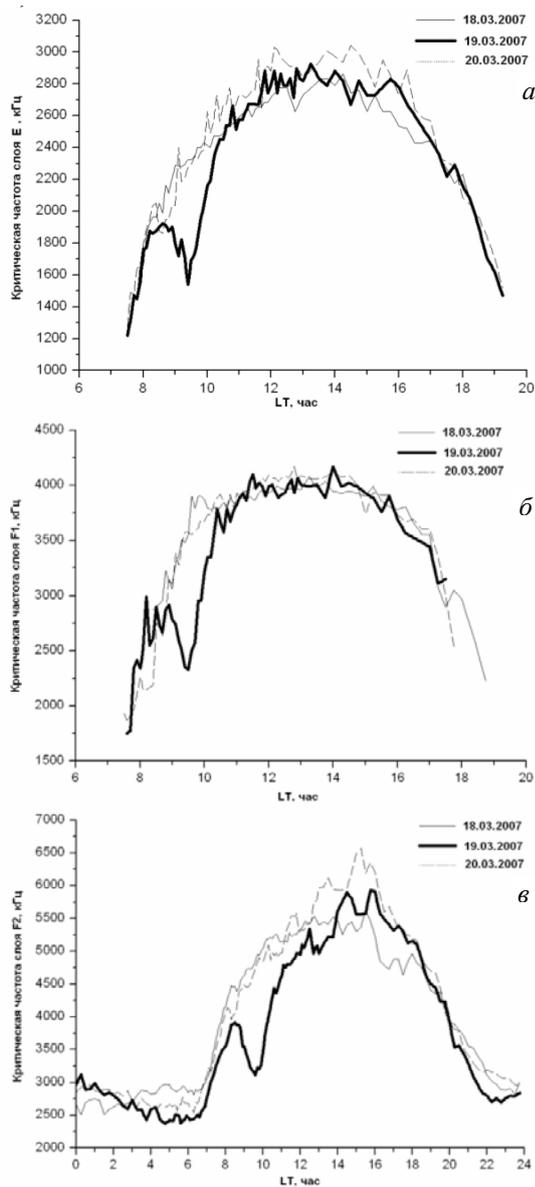


Рис. 3. Изменение критических частот ионосферных слоев: а – E, б – F1, в – F2 в день затмения 19 марта 2007 г. и контрольные дни (18.03.2007 и 20.03.2007).

Ниже представлены данные об относительном отклонении электронной концентрации в максимумах ионосферных слоев E, F1 и F2 для затмений 29.03.2006 и 19.03.2007 (рис. 4, а, б).

Во всех слоях ионосферы происходит резкое уменьшение электронной концентрации, которое достигает в максимальной фазе солнечного затмения 2007 г. ~60 % относительно контрольных дней. Все суточные вариации электронной концентрации находятся в пределах 30 %, что является типичным для умеренных гелиогеофизических условий. Значения градиентов изменения электронной концентрации на всех высотах ионосферы при наплыве тени Луны соответствуют заходным часам, а при уходе лунной тени – восходным часам. Таким образом, солнечное затмение воспроизводит закат и восход Солнца.

Несмотря на то, что фаза затмения 2006 г. была больше, чем в 2007 г., относительные изменения электронной концентрации в максимумах слоев оказались

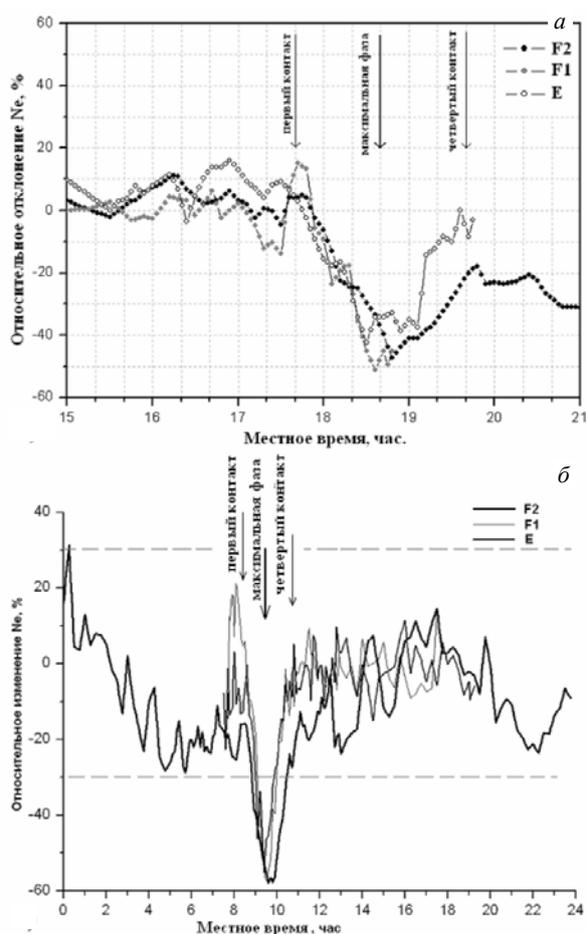


Рис. 4. Электронные концентрации в максимумах ионосферных слоев во время солнечных затмений: а – 29.03.2006, б – 19.03.2007.

ниже. Причиной тому является время затмения (вечерние часы, когда началось уменьшение электронной концентрации) – ко времени максимальной фазы электронная концентрация в слое E успела приблизиться к своим ночным значениям, и, как следствие, ее относительные изменения не столь значительны. Тем не менее, общим для рассмотренных затмений является факт, что модуль скорости изменения электронной концентрации в среднем одинаков и составил ~30 электронов/см<sup>3</sup>.

Таким образом, полученные результаты вертикального радиозондирования ионосферы подтверждают, что во время солнечного затмения происходит резкое уменьшение электронной концентрации в ионосферных слоях на больших пространственных масштабах. Количественные характеристики уменьшения электронной концентрации определяются не только фазой и длительностью затмения, но и временем наступления его максимальной фазы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 528 с.
2. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М.: Мир, 1973. 502 с.

Томский государственный университет, Томск