

УДК 621.371.25;550.388.2

**ВАРИАЦИИ ИОНИЗИРОВАННОЙ КОМПОНЕНТЫ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ  
В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 29 МАРТА 2006 г. В ЗАПАДНОСИБИРСКОМ  
И ВОСТОЧНОЕВРОПЕЙСКОМ РЕГИОНАХ ЗЕМЛИ**

**Д.В. Иванов, А.Р. Лащевский, М.П. Лаптев, М.И. Рябова, Н.Е. Тиманов**

**VARIATIONS OF THE TOP ATMOSPHERE IONIZED COMPONENTS DURING THE SOLAR  
ECLIPSE ON MARCH, 29, 2006 IN THE WESTERN SIBERIAN  
AND EAST EUROPE REGIONS OF THE EARTH**

**D.V. Ivanov, A.R. Lashchevsky, M.P. Laptev, M.I. Ryabova, N.E. Timanov**

Экранировка солнечного излучения Луной приводит к изменениям космической погоды в околоземном пространстве. Представлены результаты экспериментальных исследований возмущений электронной концентрации верхней атмосферы Земли в период солнечного затмения 29.03.2006 г. с использованием метода наклонного зондирования ионосферы линейно-частотно-модулированными сигналами на восточноевропейской и западносибирской сети радиолиний. Получены характеристики вариаций ионизированной компоненты ионосферы на основе редукции ионограмм.

Shielding of a sunlight by the Moon results in changes of space weather in circumterrestrial space. Experimental researches results of indignations of electronic concentration of the top atmosphere of the Earth during a solar eclipse 29.03.2006 by use of a method of inclined sounding of ionosphere by LFM signals on the East Europe and western - Siberian networks of radiolines are presented. Characteristics of variations of the ionosphere ionized components using ionograms reduction algorithm are calculated.

**Введение**

Солнечные затмения – довольно редкие события, представляющие уникальную возможность для исследования динамических процессов в ионосфере. Движение лунной тени через земную атмосферу приводит как к вариациям среднего содержания электронов, так и к возбуждению волновых возмущений. Первые приводят к изменению диапазонов прозрачности ионосферных линий связи.

**Цель работы:** представить предварительные результаты исследований воздействия солнечного затмения на ионосферу Земли, обуславливающего изменения электронной концентрации и верхней границы диапазона прохождения декаметровых радиоволн (максимально наблюдаемая частота, МНЧ) на восточноевропейской и западносибирской сети радиолиний.

**Экспериментальные результаты**

Солнечное затмение происходило 29 марта 2006 г. Геометрия движения тени и фаз затмения представлена на рис. 1, заимствованном из [1].

Наклонное зондирование ионосферы проводилось в период затмения 29 марта и в контрольные дни 28 и 30 марта на радиолиниях Кипр–Йошкар-Ола, Инскип (Великобритания) – Йошкар-Ола, Иркутск–Йошкар-Ола. Геометрия трасс приведена также на рис. 1. Радиолинии расположены в диапазоне широт от 35 до 56.6° N и диапазоне по долготе от 3° W до 104.3° E. В средних точках радиолиний наблюдались следующие значения: на трассе Кипр–Йошкар-Ола максимальная фаза 0.89 наблюдалась в 15:15 ч; на радиолинии Инскип–Йошкар-Ола фаза 0.49 наблюдалась в 15:03 ч; на радиолинии Иркутск–Йошкар-Ола фаза 0.91 была в 15:39 ч.

Использование для зондирования радиолиний ЛЧМ-ионозондов позволило получить ионограммы наклонного зондирования ионосферы с высокой разрешающей способностью по задержке и частоте. Процесс получения, накопления и обработки данных в приемном комплексе наклонного ЛЧМ-ионозонда, разработанном в МарГТУ, показан на рис. 2.

После применения процедуры сжатия зондирующего ЛЧМ-сигнала в частотной области разностный сигнал с выхода радиоприемного устройства поступал на вход АЦП цифрового сигнального процессора (ЦСП), где преобразовывался в последовательность временных отсчетов. Для повышения устойчивости спектральной оценки применялась процедура сглаживания спектров. Полученные последовательности временных отсчетов вместе с набором параметров зондирования записывались в виде файлов на накопителях информации. Сглаженные спектры и параметры зондирования передавались на вход программы формирования ионограмм.

По полученным ионограммам производилось определение вторичных данных в автоматическом режиме путем выбора алгоритма обработки ионограмм. Найденный таким образом массив вторичных данных являлся исходным для расчета характеристик распространения декаметровых радиоволн и параметров ионосферы.

Измеренные в автоматическом режиме характеристики позволили провести исследования суточных вариаций МНЧ модов распространения ЛЧМ-сигнала 1F2 и 2F2 в период затмения (точки) и в контрольные дни (треугольники) для различных пунктов излучения (см. рис. 3).

Абсолютные и относительные значения изменений МНЧ для исследуемых радиолиний приведены в таблице.

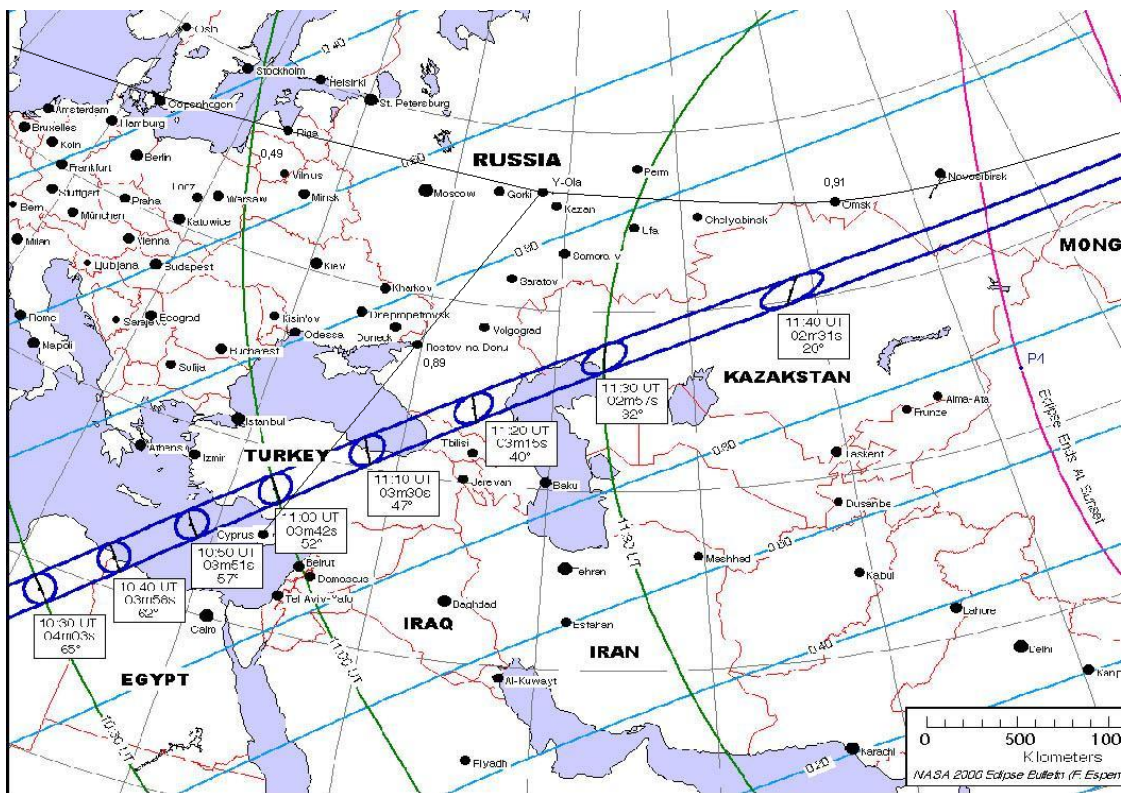


Рис. 1. Геометрия движения тени и фаз затмения сети радиолиний.

Таблица

Радиолиния	Начало затмения	Максимум затмения	Окончание затмения	Координаты средней точки (φ; λ), град	Фаза затмения
Иркутск–Йошкар-Ола	-1.3 (-6.9 %)	2.1 (12.3 %)	1.4 (7.2 %)	55.3; 22.5	0.49
Кипр–Йошкар-Ола	0.8 (3.75 %)	3.9 (20.5 %)	1.5 (7.5 %)	45.8; 41	0.89
Иркутск–Йошкар-Ола	-0.4 (-2.15 %)	3.5 (19.5 %)	2.3 (13.7 %)	54.2; 71.2	0.91



Рис. 2. Последовательность операций получения, накопления и обработки данных в приемном комплексе ЛЧМ-ионозонда.

Видно, что фаза затмения на радиолинии Иркутск–Йошкар-Ола выше, чем на радиолинии Кипр–Йошкар-Ола, изменения МНЧ меньше. Это объясняется тем, что в период затмения на радиолинии Иркутск–Йошкар-Ола наблюдался только верхний луч, что привело к изменению результата определения МНЧ.

С использованием созданного программного обеспечения, позволяющего синтезировать ионограммы и траектории наклонного распространения ДКМ волн, была решена задача восстановления  $N(h)$  профилей для средних точек радиолиний.

Последняя была сведена к математической задаче решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \Delta f(N_{\max}, h_{\max}) = 0, \\ \Delta \tau(N_{\max}, h_{\max}) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Delta f$  – функция, значением которой является разница между частотами экспериментальных и теоретических ионограмм при фиксированных задержках;  $\Delta \tau$  – функция, значением которой является разница между задержками экспериментальных и теоретических ионограмм на фиксированных частотах;  $N_{\max}$  – искомая переменная, значение которой равно электронной концентрации в максимуме слоя,  $h_{\max}$  – искомая переменная, значение которой равно высоте

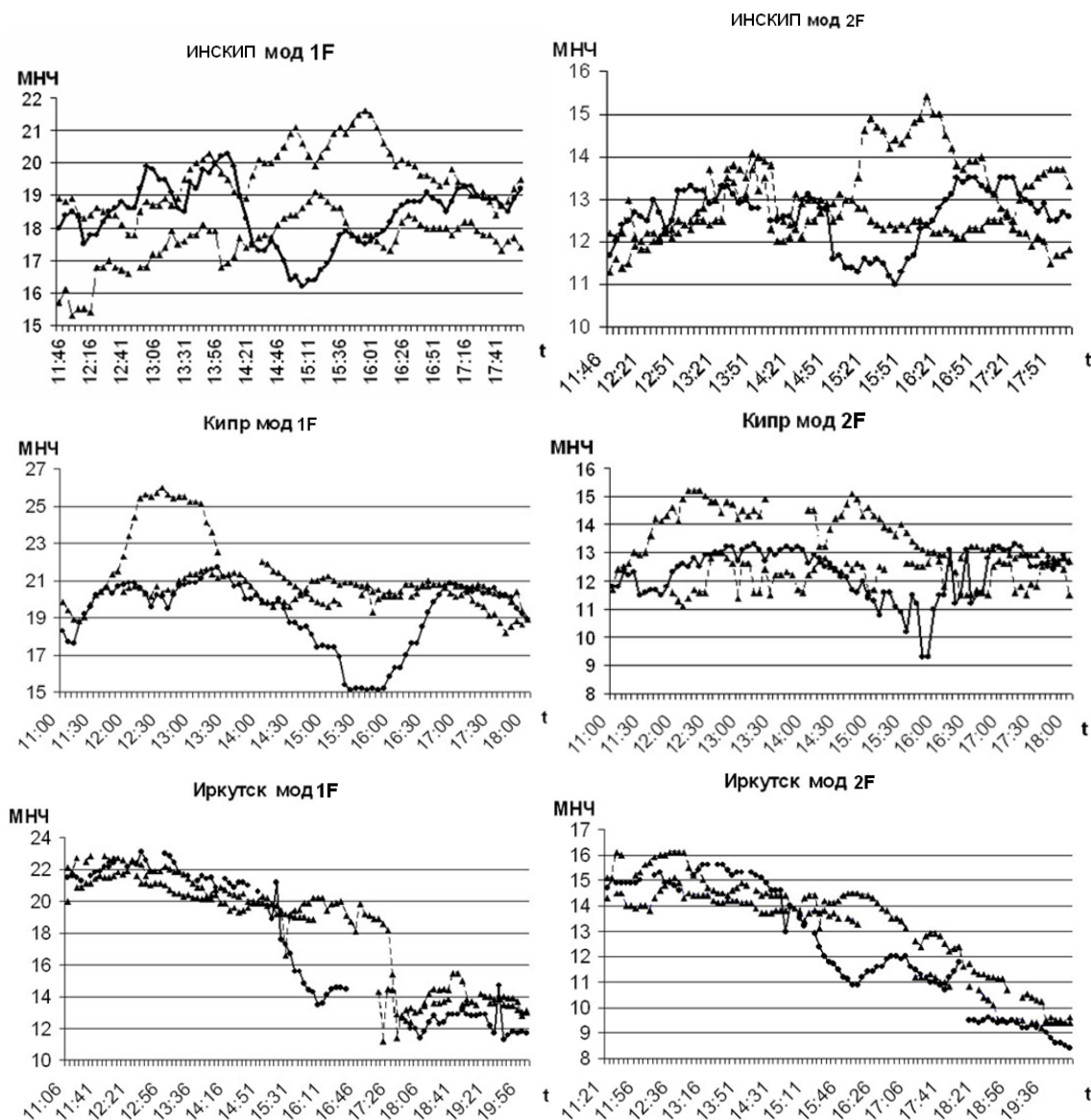


Рис.3. Суточные вариации МНЧ модов 1F и 2F исследуемых радиолиний.

максимума электронной концентрации слоя.

Система (1) решалась методом Ньютона, в результате чего находились значения переменных  $N_{\max}$ ,  $h_{\max}$  для слоя F. Далее полученные значения подставлялись в формулы для профиля электронной концентрации, который задавался параболической моделью для слоя F.

$$N(h) = N_{0F} \left( 1 - \frac{(h - h_{0F})^2}{y_{mF}^2} \right), \quad (2)$$

где  $y_{mF}$  – полутолщина слоя F.

Для параболической модели значения полутолщины слоев выбирались на основе данных модели ионосферы IRI.

Полученные профили электронной концентрации приведены на рис. 4.

Видно, что в средних точках обеих трасс при фазе затмения 0.9 величина электронной концентрации в максимуме F-слоя уменьшилась на 44 % на трассе Иркутск–Йошкар-Ола и на трассе Кипр–Йошкар-Ола.

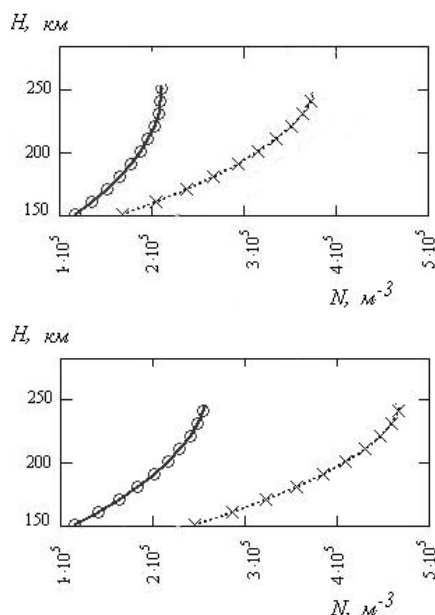


Рис. 4.  $N(h)$  – профили слоя F на трассе Иркутск–Йошкар-Ола, Кипр–Йошкар-Ола.

### **Выводы**

1. Установлено, что в период солнечного затмения наблюдалось уменьшение МНЧ по сравнению с контрольным днем на трассе Кипр–Йошкар-Ола на 20.5 % (1F) и 20 % (2F), на трассе Инскип–Йошкар-Ола – 12.3 % (1F) и 8.6 % (2F), Иркутск–Йошкар-Ола – 19.5 % (1F) и 15.7 % (2F).

2. Установлено, что в период затмения с фазой 0.9 электронная концентрация в F-области уменьшается на 44 %.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 04-05-65120; 05-07-93113; 06-02-16089) и ФЦНТП (госконтракты № 02.442.11.7318; 02.442.11.7506).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. [www.astrogalaxy.ru](http://www.astrogalaxy.ru).
2. Афраймович Э.Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. М.: Наука, 1982.
3. Егшин А.Б., Иванов Д.В., Иванов В.А., Рябова Н.В. Информационно-аналитическая система для исследования ионосферы и каналов декаметровый радиосвязи / Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 320 с.
4. Кей С.М., Марпл С.Л., мл. Современные методы спектрального анализа // ТИИЭР. 1981. Т. 69, № 11. С. 95–96.

*Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, vai@marstu.mari.ru*