

УДК 621.371.25; 550.388.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ДАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ КВ-РАДИОВОЛН В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ АВГУСТА 1, 2008 г.

В.А. Иванов, Н.В. Рябова, М.И. Рябова

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION INTO EFFECTS OF LONG-RANGE HF RADIO WAVE PROPAGATION DURING THE SOLAR ECLIPSE ON 1AUGUST 2008

V.A. Ivanov, N.V. Ryabova, M.I. Ryabova

Представлены результаты экспериментальных исследований изменений максимально наблюдаемых частот (МНЧ) в период солнечного затмения методом наклонного зондирования ионосферы на восточноевропейской и западносибирской сети радиотрасс. Получены характеристики вариаций электронной концентрации в F-слое ионосферы на основе метода редукции ионограмм.

In this paper, we present results of experimental investigation into the maximum observed frequencies during the solar eclipse. We used method of oblique-incidence ionospheric sounding in the radio path network located in Eastern Europe and Western Siberia. Characteristics of variations in the F-layer electron density were obtained with the method of ionogram reduction.

### Введение

Движение лунной тени через земную атмосферу приводит как к вариациям регулярного содержания электронов в ионосфере, так и возбуждению волновых возмущений [1–3]. Поэтому солнечные затмения представляют уникальные возможности для исследования динамических процессов в ионосфере. С этой целью часто используются методы вертикального и наклонного зондирования ионосферы. В первом случае основной характеристикой является критическая частота ионосферы, а во втором – максимально наблюдаемая частота (МНЧ). Последняя, являясь верхней границей диапазонов прозрачности ионосферных радиолиний, характеризует влияние глобальных изменений электронной концентрации на распространение декаметровых радиоволн.

Цель работы – представить результаты исследований солнечного затмения на обширной территории Восточно-Европейского и Западно-Сибирского регионов методом наклонного зондирования ионосферы.

### Техника эксперимента и условия его проведения

Эксперименты по наклонному зондированию ионосферы проводились в период затмения 1 августа

2008 г. и в контрольные дни 31 июля, 2 августа 2008 г. Геометрия движения лунной тени и фаз затмения, заимствованная из [1], приведена на рис. 1. Для дистанционного зондирования ионосферы над Восточной Европой и Западной Сибирью использовались ионозонды с линейно-частотно-модулированными сигналами. Передатчики ионозондов располагались на о. Кипр и в Иркутске, а приемный пункт – в Йошкар-Оле.

Частота зондирующего сигнала менялась от 4 МГц до 30 МГц или 8 МГц до 30 МГц со скоростью 100 кГц/с. Для синхронной работы пространственно-разнесенных частей ионозондов использовались приемники системы GPS.

В приемнике осуществлялась оптимальная обработка зондирующего сигнала. С этой целью сигнал сжимался в частотной области, а его спектр переносился на полосу разностной частоты  $F \in (0.7 \text{ кГц}; 1.2 \text{ кГц})$ . Далее сжатый аналоговый сигнал преобразовывался в цифровую форму и над элементами длительностью 0.4 с выполнялось быстрое преобразование Фурье. Каждый спектр сигнала разностной частоты представлял собой матрицу-столбец, порядковый номер элементов которой соответствовал задержке принимаемого сигнала, а величина элемента – логарифму его мощности. Отдельные элементы



Рис. 1. Геометрия движения тени, фаз затмения.

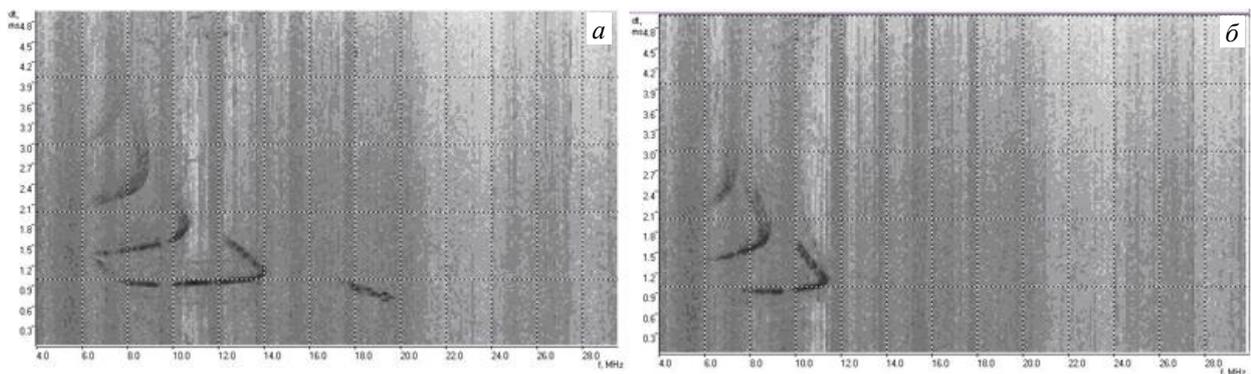


Рис. 2. Ионограммы наклонного зондирования: для контрольного дня (а); для максимума затмения на трассе Иркутск–Йошкар-Ола (б).

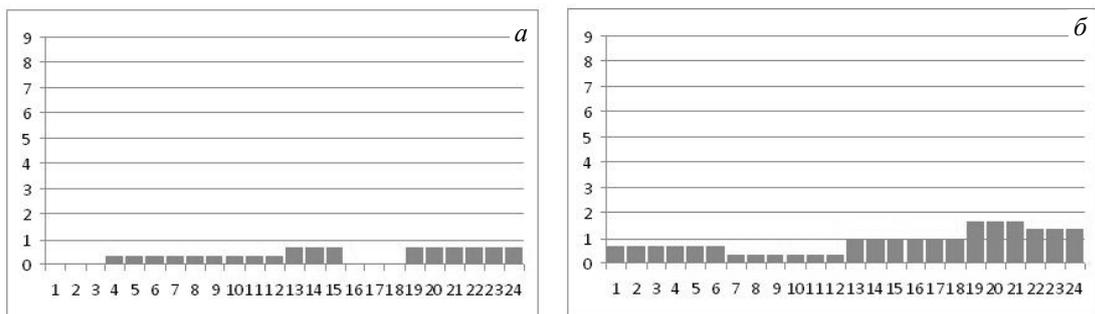


Рис. 3. Суточный ход  $K_p$ -индекса: контрольный день (а); день затмения (б).

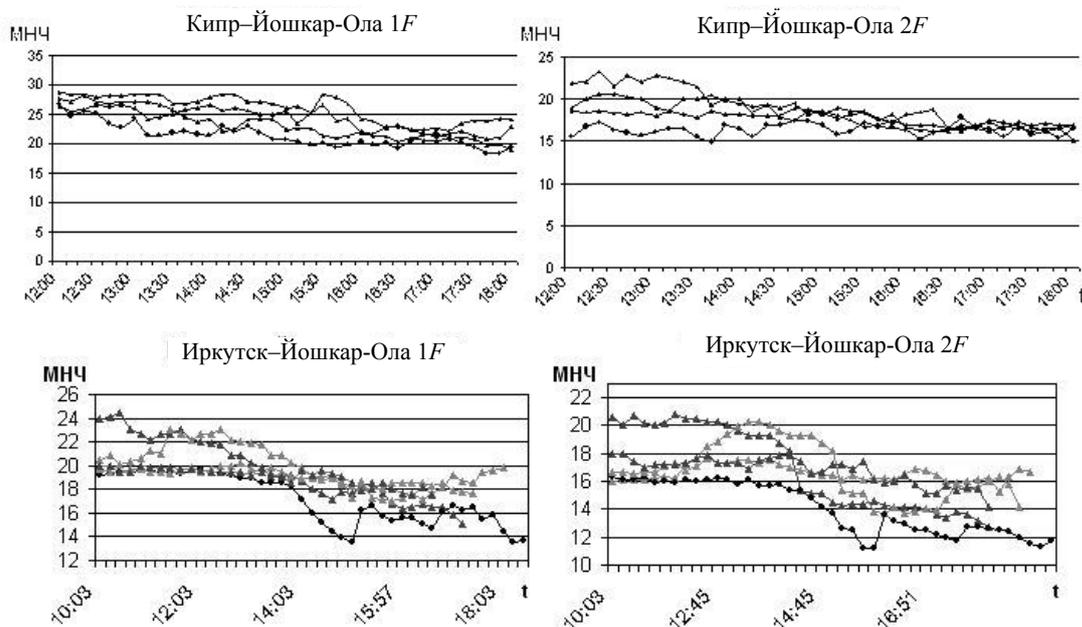


Рис. 4. Суточные вариации МНЧ модов 1F2 и 2F2 исследуемых радиотрасс.

элементы содержали смесь сигнала и шума, а другие только шум. Получаемый спектр имел разрешение 2.5 Гц, что соответствует разрешению по задержке сигнала 25 мкс. Элементы сигнала брались с перекрытием 0.5, и для устойчивости спектральной оценки осуществлялось усреднение четырех последовательных спектров. Поэтому разрешение ионозонда по зондирующей частоте составляло 100 кГц. Последовательность вектор-столбцов представляла собой матрицу-ионограмму наклонного зондирования ионосферы. Порядковый номер столбцов в ней

соответствует номиналу зондирующей частоты. Таким образом, матрица-ионограмма содержит информацию о задержке сигнала, его мощности и рабочей частоте. Для снижения влияния помех на результаты измерений был разработан комплексный алгоритм «очистки» ионограмм.

На рис. 2 приведены ионограммы, полученные на рассматриваемых радиотрассах, для момента максимума затмения и для того же времени в контрольный день.

Поскольку на состояние ионосферы кроме затме-

Абсолютные и относительные вариации МНЧ мода 1F1

Радиотрасса	Начало затмения	Максимум затмения	Окончание затмения	Фаза затмения
Кипр–Йошкар-Ола	0.8 (3.75 %)	2.1 (20 %)	1.5 (4.5 %)	0.57
Иркутск–Йошкар-Ола	2.4 (14.1 %)	5.7 (30 %)	2.3 (13.7 %)	0.99

ния оказывает влияние уровень геомагнитной активности, то на рис. 3 представлен суточный ход  $K_p$ -индекса в контрольный день и в период затмения.

#### Экспериментальные результаты

На основе полученных первичных данных (ионограмм) в автоматическом режиме производилось определение вторичных данных путем выбора алгоритма их обработки, который служил основой для расчета характеристик распространения декаметровых радиоволн и параметров ионосферы. В частности, были получены (рис. 4) суточные ходы МНЧ модов 1F2 и 2F2 в период затмения и контрольные дни для различных радиотрасс.

Абсолютные и относительные значения вариаций МНЧ мода 1F2 для исследуемых радиотрасс приведены в таблице.

Установлено, что в период полного солнечного затмения наблюдалось уменьшение МНЧ по сравнению с контрольным днем на трассах Кипр–Йошкар-Ола на 20 % (1F) и 12 % (2F), Иркутск–Йошкар-Ола – 30 % (1F) и 25 % (2F).

Авторы выражают благодарность д.ф.м.н. В.И. Куркину за организацию работы передающего пункта в Иркутске.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sears R.B. Ionospheric HF Doppler dispersion during the eclipse of 7 March 1970 and TID analysis // J. Atmos. Terr. Phys. 1972. V. 34. P. 727–732.
2. Lerbald G.M., Jurgens R.B., Vesecky F.J., Washburn T.W. Traveling ionospheric disturbances observed near time of the solar eclipse of 7 March 1970 and TID analysis // J. Atmos. Terr. Phys. 1972. V. 34. P. 733–742.
3. www.astrogalaxy.ru.
4. Афраймович Э.Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. М.: Наука, 1982. 198 с.
5. Иванов В.А., Иванов Д.В., Колчев А.А. Исследование особенностей дисперсионных характеристик радиоканалов с помощью ЛЧМ-ионозонда // Изв. вузов. Радиофизика. 2001. Т. XLIV, № 3. С. 241–253.
6. Кей С.М., Марпл-мл. С.Л. Современные методы спектрального анализа // ТИИЭР. 1981. Т. 69, № 11. С. 5–96.

Марийский государственный технический университет,  
Йошкар-Ола