

*Л.Ф. ЧЕРНОГОР*, д-р физ.-мат. наук, проф., ХНУ имени В.Н. Каразина  
*В.В. БАРАБАШ*, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков

### **ЭФФЕКТЫ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 4 ЯНВАРЯ 2011 г., НАБЛЮДАЕМЫЕ ПРИ ПОМОЩИ ИОНОЗОНДА**

Викладено результати спостереження ефектів в іоносфері, що викликані сонячним затемненням 4 січня 2011 року за допомогою методу вертикального зондування. Показано особливості зміни основних параметрів іоносфери.

Изложены результаты наблюдения эффектов в ионосфере, вызванные затмением 4 января 2011 г. с помощью метода вертикального зондирования. Показаны особенности изменения основных параметров ионосферы.

The results of observing of the effects in the ionosphere caused by solar eclipse January 4, 2011, by the method of vertical sounding are presented. Changes of the basic parameters of the ionosphere are shown.

**Постановка задачи.** Измерительный комплекс харьковского Института ионосферы создавался на рубеже 1960 – 1970-х гг. Основным измерительным инструментом является радар некогерентного рассеяния (НР). В 1967 г. в комплекс была включена автоматическая ионосферная станция (АИС), а в 1985 г. она была заменена на станцию “Базис” [1]. Принцип действия ионосферных станций основан на методе вертикального зондирования. Станция “Базис”, в отличие от АИС, обладает более широким спектром возможностей, такими как наклонное и трансionoсферное зондирование.

Радар НР дает возможность получать полную информацию в диапазоне высот 150 – 1000 км [2, 3, 5 – 7]. Основную же информацию о состоянии ионосферы ниже максимума ионизации получают при помощи ионозондов – станций вертикального зондирования [8].

Научный интерес при исследовании состояния и поведения ионосферы представляют ее отклики на природные и техногенные события. Общеизвестными примерами таких событий являются старты ракет, магнитные бури, солнечные затмения и др. (см., например, [4]).

Важными событиями, которые изменяют состояние ионосферы, являются солнечные затмения (СЗ). Изучение эффектов СЗ актуальны тем, что каждое из них происходит при определённых гелиофизических условиях и отклики ионосферы на затмения могут заметно отличаться.

**Целью статьи** является изложение результатов наблюдения эффектов в ионосфере над Харьковом, вызванных СЗ 4 января 2011, при помощи метода вертикального зондирования (ВЗ).

**Солнечное затмение 4 января 2011 г.** Это затмение существенно отличается от других затмений, наблюдаемых в Харькове, тем, что оно имело место на стадии роста солнечной активности, в утреннее время и

продолжалось около трех часов (другие затмения длились около двух часов). Затмение было частным. Оно наблюдалось в северной Африке, в Европе, на Ближнем Востоке и в Средней Азии. СЗ 4 января 2011 г. началось в 06:40:11 UT, максимальная фаза наступила в 08:50:35 UT над северной Швецией. Окончание частного солнечного затмения имело место в 11:00:52 UT.

На рис. 1 представлены характерные ионограммы, полученные перед началом, в период и после окончания СЗ 4 января 2011 г., а на рис. 2 – ионограммы, полученные в те же моменты времени в контрольный день 5 января 2011 г., когда отсутствовали значительные возмущения в ионосфере. На вертикальной оси, как обычно, обозначены действующие высоты отражения зондирующего сигнала, на горизонтальной – несущая частота радиосигнала.

Отметим, что 4 и 5 января 2011 г. на протяжении практически всех измерений регистрировался слой  $E_s$ , частично экранировавший исследуемую область ионосферы. Тем не менее, полученные ионограммы позволили с достаточной точностью выявить отклики средней ионосферы на СЗ.

До наступления СЗ ионосфера была спокойной. Об этом можно судить из рис. 1а. Для Харькова основная часть СЗ припадает на околополуденные часы (по местному времени). Так, начало затмения было в 07:30, главная фаза наступила в 09:59, а окончание в 10:29.

На высотнo-частотных характеристиках, полученных до начала СЗ, наблюдался незначительный рост критической частоты  $f_oF2$  и несущественные колебания значений высоты слоя  $F2$ , что характерно для утреннего времени.

В течение затмения четко видны изменения ионограмм. С 08:30 до 09:15 высотнo-частотным характеристикам были присущи диффузные отражения практически во всем диапазоне частот и высот.

В течение СЗ в диапазоне высот 100 – 150 км присутствовал мощный прерывистый отражающий слой, подобный слою  $E_s$ . Критическая частота этого слоя достигала 8.4 МГц. Наблюдался след, который можно назвать двукратным для слоя  $E_s$ . Его действующая высота изменялась от 210 до 240 км.

Отражение от слоя  $E$  наблюдалось нечетко. Минимальное значение критической частоты  $f_oE_{\min}$  оказалось близким к 2.2 МГц.

В день СЗ и в контрольный день слой  $F1$  не регистрировался.

На ионограммах, полученных в момент главной фазы СЗ, наблюдались наклонные отражения. Также отмечен рост действующей высоты, который в среднем составил около 70 км. Значение  $f_oF2$  при этом уменьшилось приблизительно на 1.9 МГц.

Кроме основного следа, от области  $F$  ионосферы зафиксирован след, имеющий действующие высоты 275 – 440 км с критической частотой не превышающей 4 МГц. Такой след имел место в интервале времени с 07:35 до 10:00 UT.

По мере открывания солнечного диска отмечалось увеличение критической частоты  $F_2$ . В момент окончания СЗ (10:29) значение  $f_oF_2$  почти достигло значения, наблюдавшегося до начала затмения. Действующая высота после ее увеличения в период затмения уменьшилась, и практически стала равна невозмущенному значению (в 11:00 отличие составляло не более 1 – 3 км).

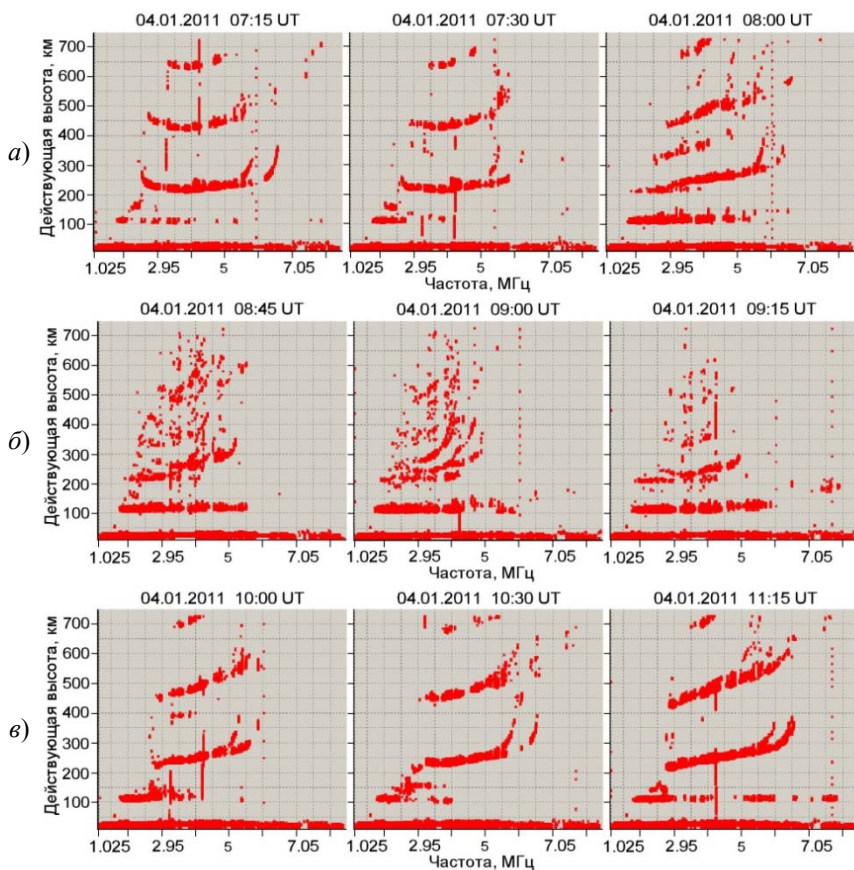


Рис. 1. Ионограммы до начала (а), в период (07:30 – 10:30) (б) и после окончания (в) солнечного затмения 4 января 2011 г.

Ионограмма, полученная в 11:15, свидетельствует о том, что через 45 мин после окончания СЗ вид ионограммы и ее параметры вернулись к состоянию, предшествующему моменту начала затмения.

На рис. 2 представлены ионограммы, полученные в контрольный день 5 января 2011 г. Их можно условно разделить на две группы. Ионограммы в

первой группе имели характерный для околополуденного времени вид. Во второй группе на ионограммах наблюдался след с действующей высотой 300 – 400 км. Отметим, что появление слоя не было таким регулярным как в день СЗ. Достаточно уверенно он фиксировался лишь на отдельных ионограммах (07:15, 07:30, 09:30, 10:30, 10:45).

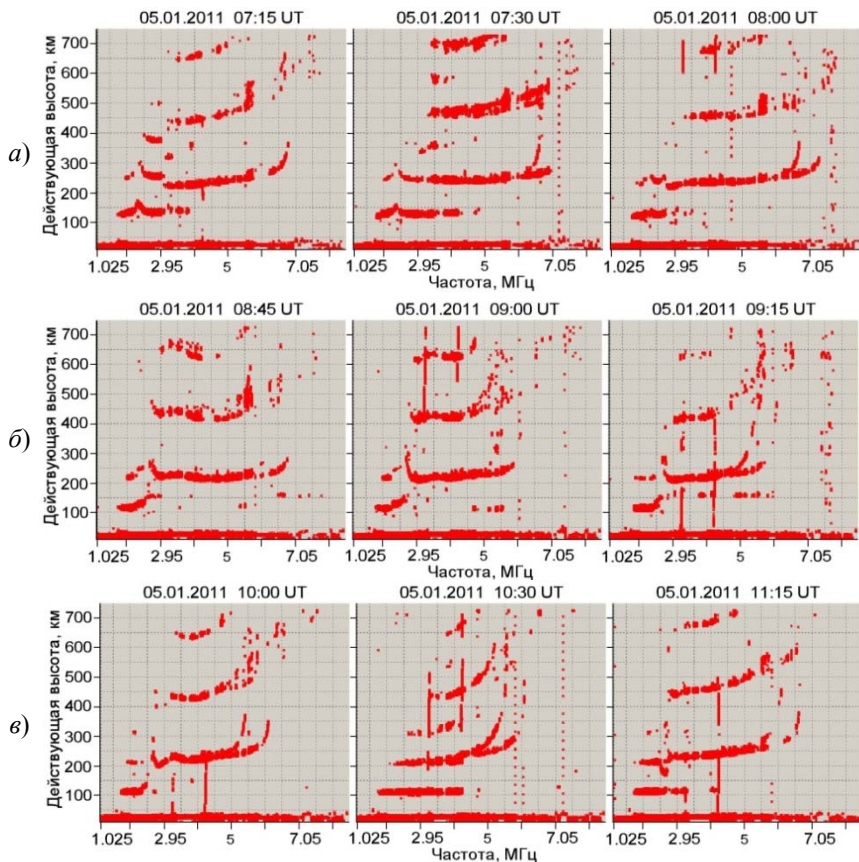


Рис. 2. Ионограммы полученные в контрольный день 5 января 2011 г. в интервалах времени 07:15 – 08:00 (а), 9:30 – 12:30 (б) 10:00 – 11:15 (в).

Слой  $E_s$ , как и 4 января 2011 г., был прерывистый, его критическая частота достигала 7.9 МГц. Высота слоя изменялась от 90 до 150 км. На некоторых ионограммах наблюдался двукратный и трехкратный следы для слоя  $E_s$ , для которых действующие высоты были от 195 до 220 км и от 300 до 320 км соответственно.

В отличие от дня СЗ, отражения от слоя *E* наблюдались более четко. Значение его критической частоты не превышало 2.7 МГц.

Видно, что в течение всего периода измерений ионограммы незначительно отличались как между собой, так и от ионограмм, полученных 4 января до начала и после окончания СЗ. Их поведение является типичным для невозмущенной ионосферы в утреннее и околополуденное время.

**Выводы.** В течение затмения критические частоты слоев *F2* и *E* вблизи главной фазы уменьшились на 1.9 МГц и 0.4 МГц, или на 31 % и 16 % соответственно, а увеличение действующей высоты отражения в максимуме слоя *F2* составило 70 км.

Таким образом, качественный анализ высотно-частотных характеристик показал, что СЗ вызвало существенные изменения параметров ионограмм, а значит и средней ионосферы. Приведенные результаты исследования хорошо согласуются с результатами наших более ранних наблюдений [2, 3, 5 – 8].

**Список литературы:** 1. Емельянов Л.Я., Живолуп Т.Г. Институт ионосферы НАН и МОН Украины. Краткий исторический обзор // Дистанционное радиозондирование ионосферы. Сборник тезисов. – 2011. – С. 10. 2. Акимов Л.А., Боговский В.К., Григоренко Е.И., Таран В.И., Черногор Л.Ф. Атмосферно-ионосферные эффекты солнечного затмения 31 мая 2003 года в Харькове // Геомагнетизм и аэрономия. – 2005. – Т. 45, № 4. – С. 526 – 551. 3. Акимов Л.А., Григоренко Е.И., Таран В.И., Тырнов О.Ф., Черногор Л.Ф. Комплексные радиофизические и оптические исследования динамических процессов в атмосфере и геокосмосе, вызванных солнечным затмением 11 августа 1999 года // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2002. – № 2. – С. 25 – 63. 4. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. – М.: Наука, 1988. – 527 с. 5. Бурмака В.П., Григоренко Е.И., Емельянов Л.Я., Лысенко В.Н., Ляшенко М.В., Черногор Л.Ф. Радарные наблюдения эффектов в геокосмосе, вызванных частным солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Успехи современной радиоэлектроники. – 2007. – № 3. – С. 38 – 53. 6. Бурмака В.П., Лысенко В.Н., Ляшенко М.В., Черногор Л.Ф. Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове. 1. Результаты наблюдений // Космічна наука і технологія. – 2007. – Т. 13, № 6. – С. 74 – 86. 7. Григоренко Е.И., Ляшенко М.В., Черногор Л.Ф. Эффекты в ионосфере и атмосфере, вызванные солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэрономия. – 2008. – Т. 48, № 3. – С. 350 – 364. 8. Емельянов Л.Я., Складаров И.Б., Черногор Л.Ф. Отклик ионосферы на солнечное затмение 1 августа 2008 г.: результаты вертикального зондирования // Космічна наука і технологія. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 12 – 21.

*Поступила в редколлегию 29.06.2011*