

DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.034

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЧАСТНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 11 АВГУСТА 2018 ГОДА НА СЕТИ ТРАСС НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ЕВРОАЗИАТСКОМ РЕГИОНЕ

В.П. Урядов<sup>1</sup>, В.И. Куркин<sup>2</sup>, Ф.И. Выборнов<sup>1,3</sup>, А.В. Першин<sup>1</sup>, О.А. Шейнер<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия;

E-mail: [vybornov@nirfi.unn.ru](mailto:vybornov@nirfi.unn.ru)

<sup>2</sup>ИСЗФ СОРАН, г. Иркутск, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «ВГУВТ», г. Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты наблюдений частного солнечного затмения 11 августа 2018г. на трассах наклонного ЛЧМ-зондирования: Ловозеро – Васильсурск, Норильск – Васильсурск, Иркутск – Нижний Новгород и Хабаровск – Васильсурск при степени покрытия Луной солнечного диска в пределах 12÷53% в зависимости от ориентации и протяженности трассы. Показано, что на всех трассах в интервале затмения наблюдался эффект уменьшения максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ) на 8-10% для  $F$ -слоя ионосферы и увеличение на 15% для  $E_s$ -слоя на трассе Ловозеро – Васильсурск. Во время солнечного затмения на трассах Ловозеро – Васильсурск и Норильск – Васильсурск наблюдались квазипериодические вариации МНЧ  $E_s$  и МНЧ  $1F$  с периодами ~ 30 и 50 минут соответственно.

**Введение.** Во время солнечного затмения на пути движения лунной тени в атмосфере Земли активность фотохимических реакций снижается почти до уровня ночной ионосферы, а затем сравнительно быстро возвращается к условиям дневной ионосферы. Ионосферный отклик на солнечное затмение обычно проявляется в уменьшении общего содержания электронов, в том числе в падении электронной концентрации в окрестности максимума  $F$ -слоя и увеличении эффективных высот отражения, что характерно для условий ночной ионосферы. Кроме того, сверхзвуковое движение лунной тени нарушает тепловой баланс атмосферы и может являться источником акустико-гравитационных волн (АГВ) [1]. Согласно многочисленным исследованиям, АГВ, инициированные солнечным затмением, имеют периоды в интервале от 20 до 60 минут [2-4].

Значительный интерес представляют исследования влияния солнечного затмения на спорадический слой  $E_s$ . Так, в ряде работ сообщается об уменьшении наблюдаемых значений критических частот слоя  $E_s$  во время солнечного затмения [5, 6]. В то же время в некоторых исследованиях было зафиксировано усиление ионизации  $E_s$  во время солнечного затмения [7, 8]. Вследствие довольно редкого сочетания солнечного затмения и  $E_s$  данных о влиянии солнечного затмения на параметры  $E_s$  немного. Поэтому такие исследования, несомненно, являются актуальными.

В докладе представлены предварительные результаты исследования влияния солнечного затмения 11 августа 2018 г. на характеристики КВ-сигналов по данным наклонного зондирования ионосферы на протяженных радиоперекрестках в Евразийском регионе.

**Результаты эксперимента.** Эксперимент проводился 10 – 12 августа 2018 г. Карта покрытия поверхности Земли лунной тенью во время частного солнечного затмения (СЗ) 11 августа 2018 г. доступна в [9]. Контрольные наблюдения проводились нами 10 и 12 августа. На территории России наибольшая фаза покрытия приходилась на северо-восточные районы. Для изучения отклика ионосферы на СЗ осуществлялось наклонное ЛЧМ зондирование на трассах различной протяженности и ориентации. При зондировании использовались ЛЧМ-передатчики, расположенные в следующих пунктах: Ловозеро Мурманской обл. (68°N; 35,02°E), Норильск (69,36°N; 88,36°E), Иркутск (51,8°N; 104°E) и Хабаровск (47,5°N; 13,5°E). Прием ЛЧМ сигналов осуществлялся в Васильсурске Нижегородской обл. (56,1°N; 46,1°E) и Нижнем Новгороде (56,1°N; 44,1°E). Геомагнитная обстановка была спокойной с магнитным индексом  $K_p \sim 2-3$ .

В таблице 1 приведены параметры затмения для средних точек трасс для высоты 200 км в ионосфере (для трассы Ловозеро – Васильсурск первое значение соответствует высоте 110 км для слоя  $E_s$ ). Для трассы Хабаровск – Васильсурск характеристики даны для средних точек 1-го и 2 скачков. Из таблицы 1 можно

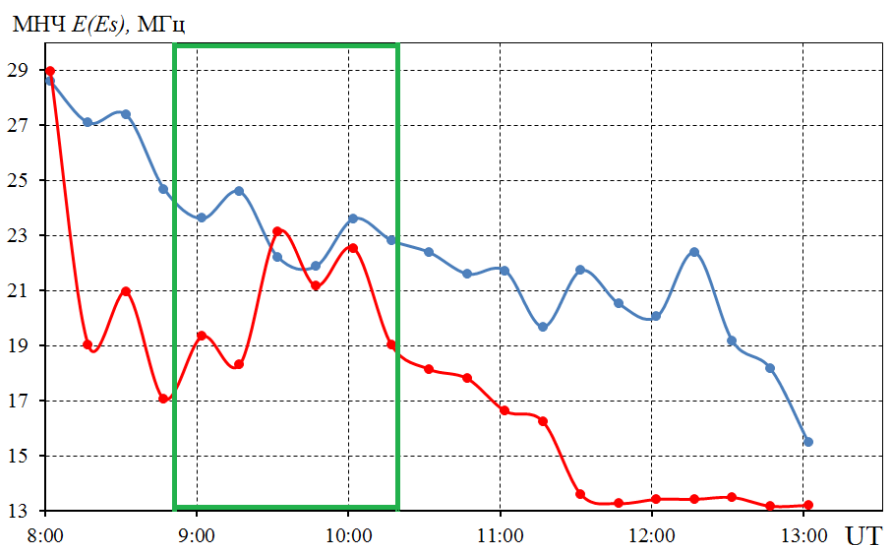
видеть, что во время наблюдения солнечного затмения степень покрытия Луной солнечного диска находилась в пределах  $\sim 12 \div 53\%$  в зависимости от ориентации и протяженности трассы.

Эффект солнечного затмения проявился, в первую очередь, в уменьшении максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ) при отражении от  $F$ -слоя ионосферы на трассах наклонного ЛЧМ зондирования различной протяженности.

Временные зависимости МНЧ для различных трасс и мод распространения в день затмения 11 августа 2018 г. и в контрольные дни 10 и 12 августа 2018 г. показаны на рисунках 1-5 соответственно красным и синим цветами. Интервал затмения для средних точек трасс зондирования для высоты 200 км (на рисунке 1 для высоты 110 км) выделен цветным прямоугольником. На рисунке 4 интервал затмения для средних точек 1-го и 2-го скачков отмечен прямоугольниками зеленого и синего цветов соответственно. Согласно полученным данным на всех трассах в интервале затмения наблюдался довольно четкий эффект уменьшения МНЧ при распространении через  $F$ -слой на 8-10%, а также увеличение МНЧ  $E_s$  на трассе Ловозеро – Васильсурск на 15%.

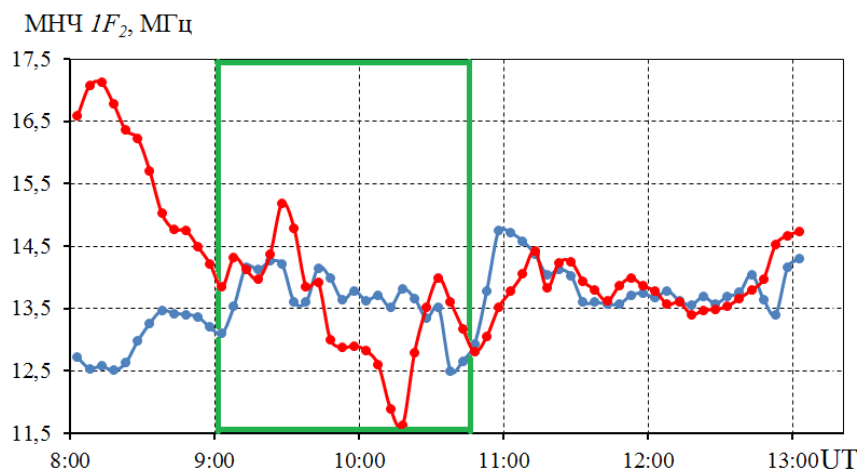
**Таблица 1.** Параметры солнечного затмения для средних точек трасс для высоты 200 км в ионосфере.

Трасса	Длина, км	Координаты средней точки	Время начала UT	Время максим. фазы UT	Время окончания UT	Степень покрытия %
Ловозеро – Васильсурск	1440	62°9'25"N 41°38'36"E	08:53:49 08:51:45	09:36:10 09:35:54	10:18:11 10:19:41	11.8 13.4
Норильск – Васильсурск	2532	64°14'10"N 62°14'58"E	09:01:38	09:53:21	10:43:37	27.9
Иркутск – Нижний Новгород	3709	57°29'44"N 76°41'3"E	09:25:04	10:15:27	11:03:32	26.8
Хабаровск – Васильсурск	5733	1-ый скачок 55°31'38"N 118°12'45"E	09:38:22	10:27:51	11:15:00	53.1
		2-ой скачок 60°41'13"N 69°13'33"E	09:13:28	10:04:29	10:53:35	26.5

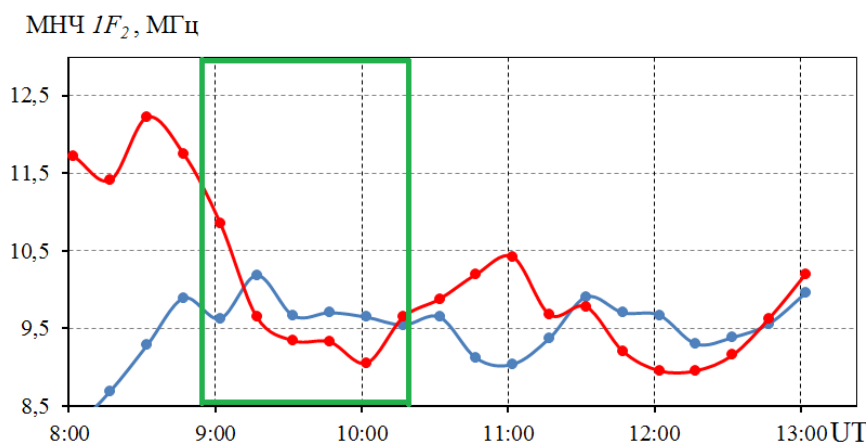


**Рисунок 1.** Зависимость МНЧ  $E/E_s$  для трассы Ловозеро – Васильсурск: 11 августа 2018 г. (красным) и среднее для контрольных дней 10 и 12 августа 2018 г. (синим).

Предложены различные механизмы усиления  $E_s$  во время солнечного затмения. Так, увеличение концентрации электронов, сопровождающее гравитационные волны в слое  $E_s$ , может быть связано с наблюдаемыми гравитационными волнами. Согласно [10] взаимодействие гравитационной волны со слоем  $E_s$  приводит к очень сильному горизонтальному перераспределению плотности ионов, и этот механизм может быть ответственен за повышение плотности ионов. Кроме того, увеличение концентрации слоя  $E_s$  может происходить за счет ветрового сдвига, создаваемого градиентами температуры при прохождении лунной тени в атмосфере Земли [8].



**Рисунок 2.** Зависимость МНЧ  $F_2$  для трассы Норильск – Васильсурск: 11 августа 2018 г. (красным) и среднее для контрольных дней 10 и 12 августа 2018 г. (синим).



**Рисунок 3.** Зависимость МНЧ  $F_2$  для трассы Ловозеро – Васильсурск: 11 августа 2018 г. (красным) и среднее для контрольных дней 10 и 12 августа 2018 г. (синим).

Результаты наклонного зондирования использовались для обнаружения акустико-гравитационных волн (АГВ) и их ионосферного отклика в виде ПИВ, генерируемых на высотах озонового слоя в стратосфере при движении лунной тени в атмосфере Земли во время солнечного затмения. Наиболее яркий эффект проявления АГВ в виде квазипериодических вариаций МНЧ  $E_s$  и МНЧ  $1F$  во время солнечного затмения с периодами ~30 и 50 минут был замечен на трассах Ловозеро – Васильсурск и Норильск – Васильсурск соответственно (см. рисунки 1 и 2).

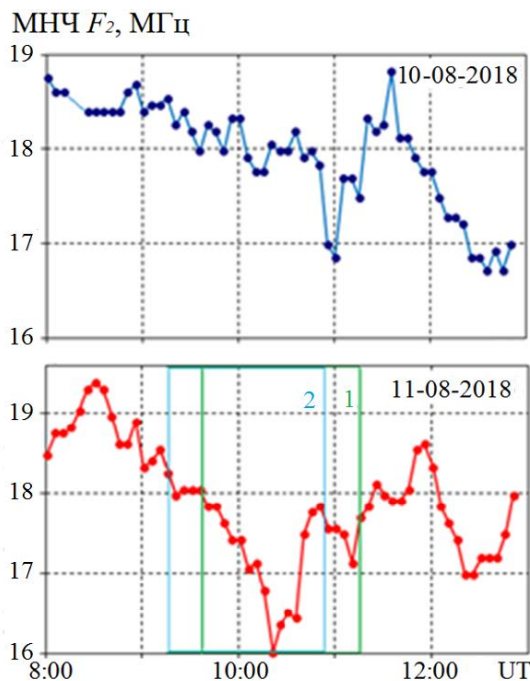
**Выводы.** Представлены результаты исследования влияния частного солнечного затмения 11 августа 2018 г. на характеристики КВ-сигналов на трассах наклонного ЛЧМ-зондирования: Ловозеро – Васильсурск, Норильск – Васильсурск, Иркутск – Нижний Новгород и Хабаровск – Васильсурск при степени покрытия Луной солнечного диска в пределах  $12 \div 53\%$  в зависимости от ориентации и протяженности трассы.

Показано, что на всех трассах в интервале затмения наблюдался эффект уменьшения МНЧ при распространении через  $F$ -слой на 8-10% и увеличение МНЧ  $E_s$  на трассе Ловозеро – Васильсурск на 15%.

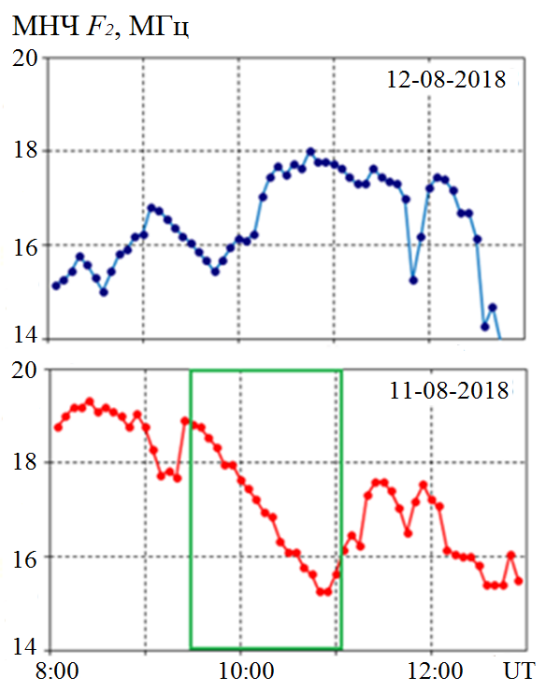
Во время солнечного затмения на трассах Ловозеро – Васильсурск и Норильск – Васильсурск наблюдались квазипериодические вариации МНЧ  $E_s$  и МНЧ  $1F$  с периодами ~30 и 50 минут, соответственно,

обусловленные генерацией АГВ и их ионосферного отклика в виде ПИВ при движении лунной тени в атмосфере Земли.

В заключение заметим, что для более полного изучения влияния солнечного затмения на спорадический слой Es в условиях контролируемого воздействия движущейся лунной тени на атмосферу Земли необходимо продолжение исследований с использованием различных средств и методов наблюдений.



**Рисунок 4.** Зависимость МНЧ  $F_2$  для трассы Хабаровск – Васильсурск: 11.08.2018 г. (нижний) и 10.08.2018 г. (верхний) – контрольный день.



**Рисунок 5.** Зависимость МНЧ  $F_2$  для трассы Иркутск – Нижний Новгород: 11.08.2018 г. (нижний) и 12.08.2018 г. (верхний) – контрольный день.

**Благодарности.** Работа Ф.И. Выборнова и А.В. Першина выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-02-00343. Работа О.А. Шейнер выполнена в рамках базовой части Государственного задания, проект 0729-2020-0057.

### Список литературы

1. Chimonas G., Hines C.O. Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse // J. Geophys. Res., 1970, Vol. 75(4), 875, doi:10.1029/JA075i004p00875
2. Fritts D.C., Luo Z. Gravity wave forcing in the middle atmosphere due to reduced ozone heating during a solar eclipse // J. Geophys. Res., 1993, Vol. 98(D2), pp. 3011–3021, doi:10.1029/92JD02391
3. Chen G., Wu C., Huang X. et al. Plasma flux and gravity waves in the midlatitude ionosphere during the solar eclipse of 20 May 2012 // J. Geophys. Res.: Space Physics, 2015, Vol. 120, pp. 3009–3020, doi:10.1002/2014JA020849
4. Урядов В.П., Колчев А.А., Выборнов Ф.И. и др. Ионосферные эффекты солнечного затмения 20 марта 2015г. на трассах наклонного зондирования в евроазиатском долготном секторе // Изв. Вузов. Радиофизика, 2016, т. 59, №6, с. 477-488.
5. Minnis C. M. Ionospheric behaviour at Khartoum during the eclipse of 25th February 1952 // J. Atmos. Terr. Phys., 1955, Vol. 6, pp. 91–112.
6. Stoffregen W. Variation of  $fEs$  during solar eclipses // Nature, 1955, Vol. 176, p. 610.
7. Datta R. Solar eclipse effect on sporadic E ionization, 2 // J. Geophys. Res., 1973, Vol. 78(1), pp. 320–322, doi:10.1029/JA078i001p00320
8. Chen G., Zhao Z., Yang G. et al. Enhancement and HF Doppler observations of sporadic-E during the solar eclipse of 22 July 2009 // J. Geophys. Res., 2010, Vol. 115, A09325, doi:10.1029/2010JA015530
9. <http://eclipse.gsfc.nasa.gov>
10. Chimonas G. Enhancement of sporadic E by horizontal transport within the layer // J. Geophys. Res., 1971, Vol. 76(19), pp. 4578–4586, doi:10.1029/JA076i019p04578