

УДК 550.388

## **ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ В ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СНЧ–ОНЧ-ДИАПАЗОНА**

**Г.И. Дружин, В.Н. Уваров, А.Ю. Исаев (ИКИР ДВО РАН)**

*Рассматривается влияние лунной тени на уровень сигналов электромагнитного излучения в диапазоне частот от 30 до 11 кГц в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. Получены данные, свидетельствующие о том, что на Камчатке во время затмения наблюдалось в СНЧ–ОНЧ-диапазоне бухтообразное повышение сигнала с последующим его понижением до первоначального уровня. Наиболее четко эффект от лунной тени проявился в диапазоне частот от 30 до 600 Гц. Приводятся возможные причины повышения сигнала во время затмения.*

*Influence of the moon shade on the level of signals of electromagnetic radiation in the range of frequencies from 30 Гц up to 11 kHz is considered in the period of solar eclipse on August 1, 2008. This showed that fey increase of the signal with following its decrease up to the original level was observed during solar eclipse on Kamchatka in the ULF–VLF range. The effect from the moon shade became most clear in the range from 30 Гц up to 600 Hz. Possible reasons of the signal rise during solar eclipse are analyzed in the article.*

### **Введение**

1 августа 2008 г. на территории России можно было визуально наблюдать солнечное затмение. Оно началось в 9:20:57 по всемирному времени, когда тень от Луны коснулась Земли в северных областях Канады, где в это время наступает утро. Затем лунная тень миновала Гренландию, пересекла Северный Ледовитый океан, Западную Сибирь, Алтай, прошла по границе между Монголией и Китаем и покинула земную поверхность в Центральном Китае в 11:21:21 UT,

где в этот момент наблюдался заход Солнца. На рис. 1 представлена карта Северного полушария, на которую нанесена полоса лунной тени [1]. Путь длиной более 10,5 тыс. км тень преодолела за 2 часа, двигаясь со средней скоростью около 1,4 км/с. Наибольшая продолжительность затмения (2 мин 27 с) наблюдалась в середине этой полосы – в районе Надыма при максимальной ширине тени 236,8 км и наибольшей скорости около 0,9 км/с [2].

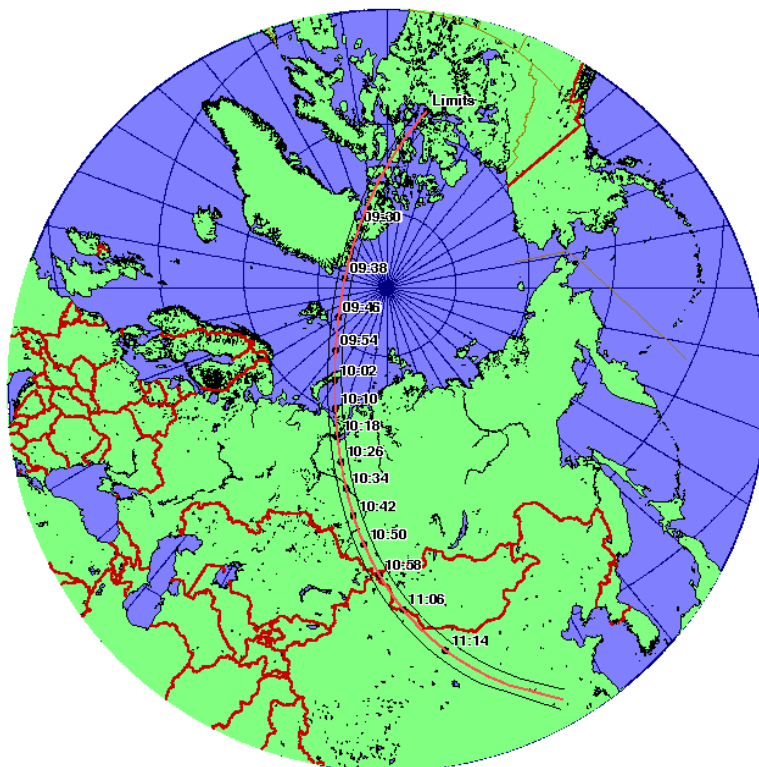


Рис. 1. Полоса лунной тени 1 августа 2008 г. (время UT)

Камчатка не находилась в области лунной тени, следовательно, визуально затмение наблюдать было нельзя. Более того, в период прохождения лунной тени на Камчатке наступила ночь. Тем не менее с помощью аппаратуры, регистрирующей электромагнитные сигналы в диапазонах СНЧ (сверхнизкие частоты – 30...300 Гц), ИНЧ (инфранизкие частоты – 300...3000 Гц) и ОНЧ (очень низкие частоты – 3...30 кГц), эффект от солнечного затмения проявился.

Ранее, в периоды солнечных затмений, на северо-востоке России наблюдения за электромагнитными излучениями проводились в Якутске (9 марта 1997 г. и 29 марта 2006 г.). Во время солнечного затмения 9 марта 1997 г. область полной лунной тени обогнула пункт приема с запада на восток. Поэтому имелась возможность наблюдать эффект затмения в сигналах радиостанций, расположенных в восточном, южном и западном направлениях. При этом рассматривались эффекты в сигналах от радиостанций системы «Омега» и в интенсивности ОНЧ-шумов. В период прохождения лунной тени было отмечено отклонение фазы сигнала радиостанций на 30–35° и возрастание амплитуды на 15–30% от суточного хода. Эффект солнечного затмения в ОНЧ-шумах, принимаемых с западного и юго-западного направлений, проявился в виде усиления интенсивности во всем принимаемом частотном диапазоне от 0,47 до 8,7 кГц. Наиболее высокие значения возрастания интенсивности шума (в среднем в 3–4 раза) наблюдались на частотах от 4 до 9 кГц [3].

Во время затмения 29 марта 2006 г. область лунной тени последовательно затемняла дневную часть трассы распространения радиосигналов от западного побережья Африки до Алтая. Если в период затмения 9 марта 1997 г. основные источники ОНЧ-шумов находились в ночных условиях, а пункт наблюдения – в дневных, то 29 марта 2006 г. основные источники находились в дневных условиях, а пункт наблюдения – в ночных. Эффекты, наблюдавшиеся в период солнечного затмения 1997 г., с некоторыми отличиями повторились и в 2006 г. В результате наблюдений за фазой и амплитудой сигналов радиостанций во время солнечного затмения 29 марта 2006 г. на всех регистрируемых частотах (11,905; 12,649; 14,880 кГц) радионавигационных станций наблюдалось изменение значений фазы на трассе Краснодар – Якутск на 30–40°, на трассе Новоси-

бирск – Якутск на  $15^\circ$ , а также увеличение амплитуды сигнала примерно в 1,2 раза. Кроме того, во время затмения наблюдалось увеличение в 1,4 раза количества атмосфериков, принятых с западного (от Якутска) направления [4].

### Результаты наблюдений

Наблюдения на Камчатке проводились в экспедиционном пункте «Карымшина» ИКИР ДВО РАН, расположенном в 20 км от поселка Паратунка. Запись сигналов осуществлялась с помощью ОНЧ-регистратора, позволяющего проводить непрерывную запись естественного электромагнитного излучения на фиксированных частотах двух горизонтальных компонент магнитного поля и одной вертикальной компоненты электрического поля. Более подробно описание аппаратуры приведено в работе [5].

На рис. 2 представлена запись сигналов в период солнечного затмения с применением магнитной антенны, ориентированной своей плоскостью в направлении восток – запад. Согласно данному рисунку эффект от солнечного затмения проявился в виде бухтообразного повышения уровня сигнала. В области нижних частот (в полосах 30–60, 70–200 и 200–600 Гц) увеличение амплитуды началось после 10 ч UT, максимум наблюдался в 10 ч 15 мин, затем имело место плавное снижение амплитуды сигнала. В полосе 30–60 Гц амплитуда сигнала возросла более чем в два раза, в полосе 70–200 Гц – менее двух раз, в полосе 200–600 Гц – в 1,3 раза. В полосах 2,5–6,5 и 7–11 кГц на фоне хорошо выраженного суточного хода наблюдалось около 11 ч UT 20%-ное увеличение амплитуды.

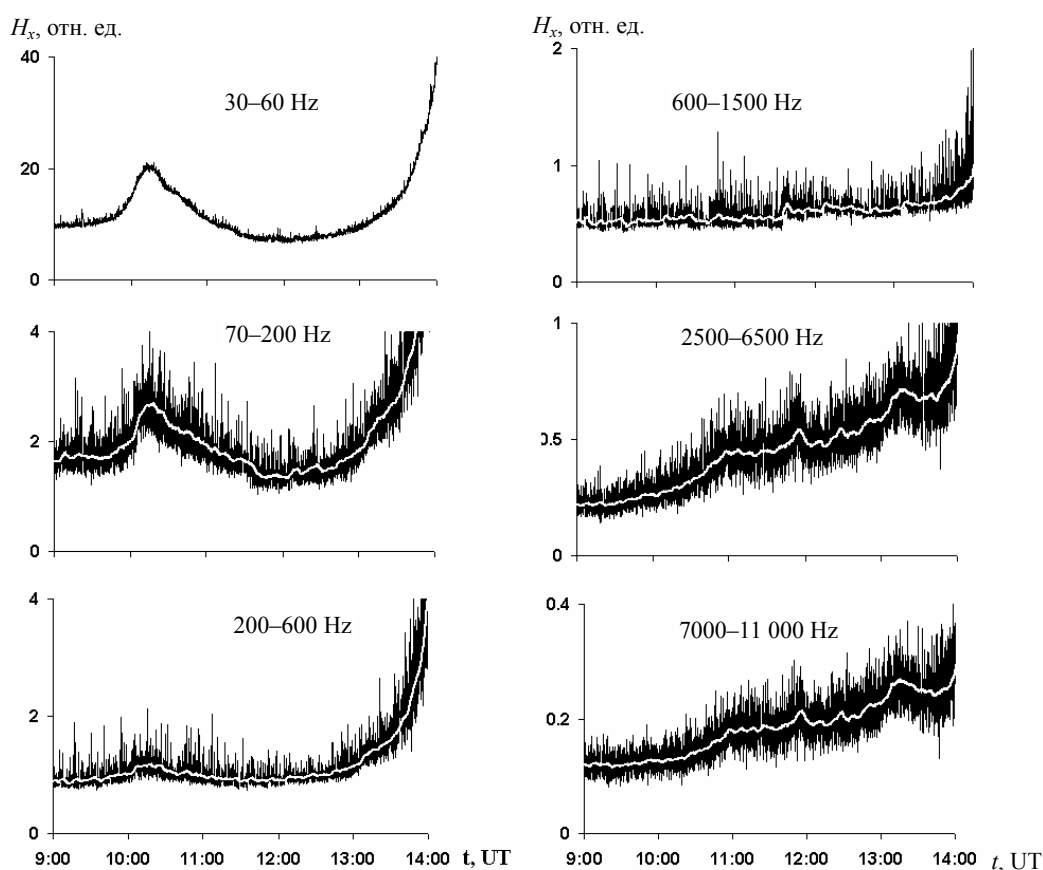


Рис. 2. Фрагмент записи сигнала на Камчатке в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. в различных частотных полосах (внизу горизонтальной линией показан временной отрезок, в течение которого лунная тень находилась на поверхности Земли)

Поскольку сигналы записывались с трех антенн, у нас имелась возможность сравнить временные зависимости вертикальной электрической  $E_z$ , горизонтальных магнитных компонент  $H_x$  (плоскость рамки восток – запад) и  $H_y$  (плоскость север – юг) составляющих электромагнитного поля в период солнечного затмения в различных частотных диапазонах. На рис. 3 представлен фрагмент записи сигнала различных компонент поля в двух частотных полосах.

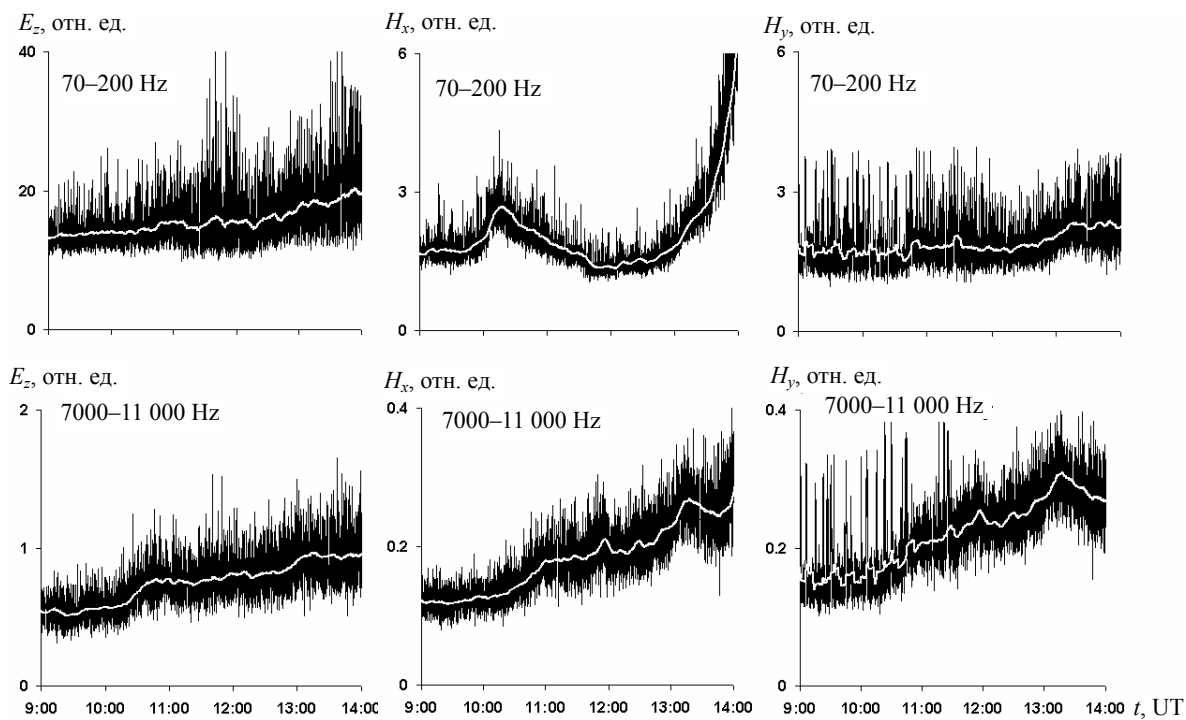


Рис. 3. Вариации различных компонент электромагнитного поля на Камчатке в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. (горизонтальными линиями обозначено время лунной тени)

Из рис. 3 следует, что на нижних частотах (70–200 Гц) эффект от затмения в виде бухтообразного повышения амплитуды сигнала наблюдался только по магнитной компоненте  $H_x$ . На верхних частотах (7–11 кГц) влияние затмения проявилось в виде небольшого повышения уровня сигнала в компонентах  $E_z$  и  $H_x$  при отсутствии эффекта в компоненте  $H_y$ .

### Обсуждение результатов

Наличие в записи (рис. 2) значительного подъема шумового сигнала в 10 ч 15 мин UT на нижних частотах и его отсутствие в это время на верхних частотах можно объяснить следующим. Допустим, что бухтообразное повышение сигнала в пунктах приема происходит за счет эффектов распространения сигнала от грозовых разрядов, возникающих на больших расстояниях от пунктов наблюдения (тысячи км) при их прохождении через область лунной тени. Тогда в диапазоне частот от десятков Гц до  $\sim 2$  кГц напряженность поля  $E$  в пункте приема уменьшается с повышением частоты  $f$  ( $E \sim 1/f$ ), поскольку на нижних частотах затухание мало, а на верхних велико [6]. На частотах выше 2 кГц напряженность поля растет, но затухание сигнала на этих частотах может быть больше затухания на низких частотах. Следовательно, из-за большого затухания на верхних частотах эффект не проявляется.

Частотный сдвиг времени наступления эффекта может быть связан и с тем, что с уменьшением частоты увеличивается радиус зон Френеля. Для получения грубой оценки этого радиуса для частот 100 Гц, 1 и 10 кГц примем, что расстояние от Камчатки до грозового очага  $A = 10\,000$  км, расстояние от лунной тени до Камчатки  $B = 5000$  км. Тогда

$$R_{\text{я}} = \sqrt{\frac{(A-B)B}{A}} \lambda.$$

Результат расчета представлен в таблице, где даны размеры области на поверхности Земли, которые могут существенно влиять на условия распространения радиоволн.

Зависимость радиусов первой зоны Френеля от частоты

$f$ , кГц	0,1	1	10
$R$ , км	2740	866	274

Рассмотрим также возможную причину появления бухтообразного повышения сигнала на нижних частотах только по магнитной компоненте  $H_x$ , а также отсутствие повышения по магнитной  $H_y$  и электрической  $E_z$  компонентам. Из рис. 3 следует, что в диапазоне частот 70–200 Гц медианные значения шумовой составляющей компонент  $H_x$  и  $H_y$  приблизительно одинаковы и бухтообразное повышение сигнала во время затмения наблюдается только по компоненте  $H_x$ . Это означает, что излучение приходит в пункт приема практически только с направления восток – запад. На рис. 3 видно также, что амплитуда сигнала по компоненте  $E_z$  значительно выше компонент  $H_x$  и  $H_y$ . Это может быть в том случае, если имеется дополнительный источник излучения, который расположен в ближней зоне, вносит существенные изменения в амплитуду компоненты поля  $E_z$  и «маскирует» сигнал, пришедший с дальней зоны приема.

При распространении сигналов лунная тень может оказывать фокусирующее воздействие за счет увеличения высоты ионосферы в области лунной тени. Вместе с тем не исключено, что кроме гроз определенный вклад в излучение могут вносить также ионосферно-магнитосферные источники. Какой из этих механизмов превалирует, покажут дальнейшие исследования.

### Заключение

Таким образом, в период солнечного затмения 1 августа 2008 г., когда центр лунной тени находился на расстоянии около 5000 км от пункта наблюдения (расположенного на Камчатке), наблюдалось влияние лунной тени на уровень сигналов естественного электромагнитного излучения в диапазоне частот от 30 Гц до 11 кГц. Полученные данные подтвердили, что при приеме излучений в СНЧ–ОНЧ-диапазоне во время солнечного затмения имелось бухтообразное повышение сигнала с последующим его понижением до первоначального уровня. Наиболее четко эффект от лунной тени проявился в диапазоне частот от 30 до 600 Гц.

### Литература

1. <http://www.hermit.org/Eclipse/2008-08-01>
2. <http://www.eclipse-2008.ru/eclipse.php>
3. Муллаяров В.А., Козлов В.И., Вальков С.П. Наблюдения ОНЧ-шумов и сигналов радиостанций в период солнечного затмения 9 марта 1997 г. // Геомагнетизм и аэрономия. – 1999. – Т. 39. – № 1. – С. 110–114.
4. Каримов Р.Р., Козлов В.И., Муллаяров В.А. Особенности вариаций характеристик ОНЧ-сигналов при прохождении лунной тени по трассе в период солнечного затмения 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэрономия. – 2008. – Т. 48. – № 2. – С. 250–254.
5. Дружин Г.И., Чернева Н.В., Мельников Л.Н. Пеленгация грозových источников на Камчатке // Вестник КамчатГТУ. – 2008. – Вып. 7. – С. 14–17.
6. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн в ионосфере. – М.: Наука, 1972. – 564 с.