

НАБЛЮДЕНИЕ СИГНАЛОВ НА ЗАГОРИЗОНТНЫХ ТРАССАХ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 29 МАРТА 2006 г.

И. В. Луценко, В. И. Луценко

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: lutsenko@ire.kharkov.ua*

Проведены измерения уровней сигналов на загоризонтных трассах во время солнечного затмения 29.03.06 г. В ходе измерений наблюдалось уменьшение уровня принимаемого сигнала шестого телевизионного канала. В дополнение к комплексу, использующему сигнал УКВ диапазона, излучаемый телевизионным центром, использовался сигнал вещательных станций КВ диапазона ионосферной волны при односкачковом распространении. Во время затмения наблюдались изменения уровня принимаемого сигнала как в УКВ, так и в КВ диапазонах волн. Однако сделать однозначный вывод о влиянии на уровень сигнала затмения Солнца на основании качественного анализа не представляется возможным, поскольку сходные уменьшения сигнала наблюдались как за несколько дней до, так и через несколько дней после затмения. Ил. 6. Табл.1. Библиогр.: 4 назв.

Ключевые слова: загоризонтные трассы, солнечное затмение, уровень сигнала, диагностика условия распространения

При солнечном затмении происходит ослабление потока прямой солнечной радиации [1, 2], которое максимально в полосе полной фазы или районе наибольшей фазы в случае, когда солнечное затмение является частичным. В настоящее время считается, что затмение слабо влияет на атмосферные процессы, что объясняется их большой инертностью, скоротечностью затмения (всего несколько часов), большой вертикальной протяженностью, из-за которой тепловое по своей природе возмущение не успевает распространиться на большую высоту. Ряд факторов, обусловленных атмосферными процессами, могут уничтожить затменные эффекты, и в этом случае даже при уверенной фиксации снижения освещенности, ожидаемого падения температуры воздуха и поверхности зафиксировано не будет. К ним относятся:

- адвекция (поступление) теплого или холодного воздуха в район наблюдения. При этом затменные эффекты даже при большой фазе затмения, могут быть компенсированы.

- время дня определяет стратификацию атмосферы – ее устойчивость; утром – изотермия; днем – конвекция; вечером - развивающаяся инверсия. В утренние часы затменные эффекты менее выражены, чем в послеполуденные часы. Вечерние эффекты, связанные с затмением Солнца, слабее полуденных, что связано с уменьшением его высоты над горизонтом с одной стороны и началом естественного падения температуры воздуха в это время;

- облачность, стабилизирует температуру подстилающей поверхности, уменьшая радиационное излучение.

Главным и определяющим обстоятельством при метеорологических наблюдениях солнечных затмений следует признать максимальную его величину. Именно фаза, а в случае полного затмения ее продолжительность задают величину падения уровня солнечной радиации.

Следствием снижения прямой солнечной радиации на поверхности земли является падение температуры подстилающей поверхности, а от нее и температуры воздуха. Падение температуры воздуха в полосе полной фазы затмения может достигать 10 - 12°C, все прочие затменные эффекты – бриз и уменьшение нижней границы облаков, зависят от этого значения.

Вызванное солнечным затмением понижение температуры воздуха в слое до 200 м ведет к возникновению затменного бриза – явления аналогичного дневному бризу на побережье моря или крупного водоема, когда наблюдается устойчивый ветер направлением на берег. Скорость бриза определяется разностью температур воздуха вне зоны лунной тени и у западного ее края, где воздух наибольшим образом остыл, при этом скорость ветра может достигать 10 м/с, в средних широтах до 7 м/с.

Снижение границы облаков, трудно наблюдаемый затменный эффект и отсутствие свидетельств его наблюдения может быть объяснено тем обстоятельством, что нижняя граница облакообразования не опускалась ниже верхней границы, до которой распространяется возмущение, вызванное солнечным затмением. Динамика облаков нижнего яруса во время солнечного затмения, не исключая частных его фаз, представляется большой и интересной задачей, особенно в условиях исключительного наземного метеорологического их наблюдения.

1. Радиофизические эффекты, ожидаемые в ходе наблюдения солнечного затмения. Изменения потока солнечной радиации и связанные с этим изменения температуры воздушных слоев и влажности, а также их смещения вследствие появления бриза, могут приводить к изменению рефракционных свойств тропосферы. Ранее нами было показано [3], что, принимая сигналы на загоризонтных трассах, можно по их уровням

судить о состоянии пограничного слоя тропосферы, его рефракционных свойствах. Таким образом, прежде всего, при затмениях можно ожидать изменения уровней сигналов, которые будут обусловлены изменением рефракционных свойств тропосферы, примерно таких же, какие наблюдаются при восходах и заходах Солнца. Изменения радиационного потока Солнца при затмениях может приводить к возмущению ионосферы, проявляющихся в изменении концентрации электронов и высотного ее распределения. Это может проявляться в изменениях уровней сигналов, распространяющихся ионосферной волной, связанных с интерференционными замираниями. Кроме того, могут происходить так же, как и при смене дня и ночи, изменения максимально применимых частот (МПЧ).

2. Наблюдения в оптическом и радиодиапазоне солнечного затмения. Рассмотрим путь лунной тени этого затмения по поверхности Земли. Полное затмение 29 марта 2006 г. началось в 08 ч. 36 мин. по всемирному времени (UTC) в Бразилии у восточной оконечности Южной Америки. Середина затмения наступила на африканском континенте на границе Ливии и Чада в 10 ч. 11 мин. (максимальная длительность $t_{max} = 4$ мин. 11 с.). Закончилось полное затмение в 11 ч. 46 мин. на территории Монголии близ границы с Россией. Свое движение по территории стран СНГ лунная тень начала на территории Грузии с пункта Гудаута (рис. 1.). Покинув территорию Грузии, тень Луны вступила на территорию России. В Москве максимальная фаза составила 0,65.



Рис. 1. Схема прохождения тени Луны по территории СНГ

После максимальной фазы Луна начала сходить с солнечного диска. Частные фазы затмения были видны на всей Европейской части России, Казахстана, республики Тува.

В Харькове солнечное затмение можно было наблюдать в оптическом диапазоне с 13 ч. до 15 ч. (по местному времени, которое смещено относительно UTC на 3 ч.). В 14 ч. 15 мин. Луна максимально (на 85 %) закрыла Солнце.

3. Аппаратура и методика наблюдения солнечного затмения и сигналов на загоризонтных трассах. Для регистрации уровня сиг-

нала во время затмения использовался аппаратный комплекс, предназначенный для диагностики условий распространения с использованием сигналов, излучаемых телевизионными центрами [3]. Сигнал передающего телевизионного центра г. Белгород находился в зоне ближней геометрической тени относительно приемного пункта в г. Харьков, высота расположения антенн которого составляла 30,7 м относительно поверхности Земли, а относительно уровня моря - 207,2 м. Характеристики трассы и измерительных комплексов приведены в таблице. Необходимо отметить, что используемая для исследования трасса располагалась примерно параллельно линии движения терминатора.

Основные характеристики комплексов г. Белгород, Харьков

Характеристика	Величина
Протяженность трассы, км	71
Частота, МГц	175
Мощность передатчика, кВт	5,0
Высота установки передающей антенны, м	175
Коэффициент усиления передающей антенны, дБ	10
Радиус I зоны Френеля, м	348
Коэффициент усиления приемной антенны, дБ	+0,8

В период солнечного затмения производились измерения уровней сигналов в течение нескольких суток (рис. 2).

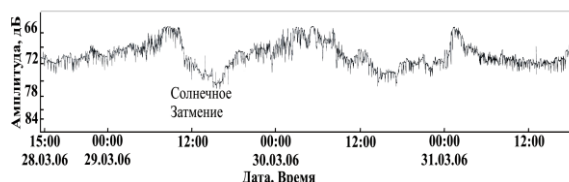


Рис. 2. Изменение уровня сигнала УКВ (175 МГц) на трассе Харьков - Белгород

Как видно из рисунка, во время солнечного затмения наблюдалось уменьшение уровня сигнала. Однако уменьшение уровня сигнала происходило и в день, предшествующий и последующий дню затмения. На рис. 3 показана автокорреляционная функция, полученная по суточным изменениям интенсивности принимаемого сигнала.

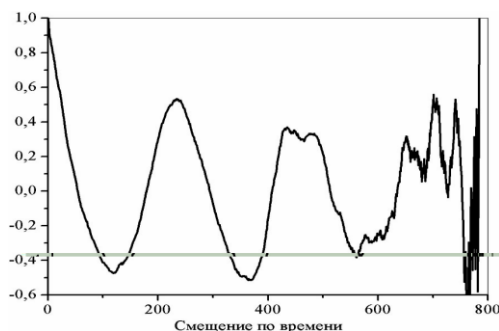


Рис. 3. Автокорреляционная функция всей реализации (сутки = 245 единиц)

Наблюдаются осцилляции с периодом в сутки. Значение коэффициента корреляции при смещении на сутки составляет примерно 0,5-0,55, плавно убывая при увеличении временного разнеса.

Для выявления индивидуальных особенностей, присущих изменению сигнала в течение суток, исходная реализация была разбита на суточные сегменты, и были оценены их авто- и взаимно корреляционные функции (рис. 4).

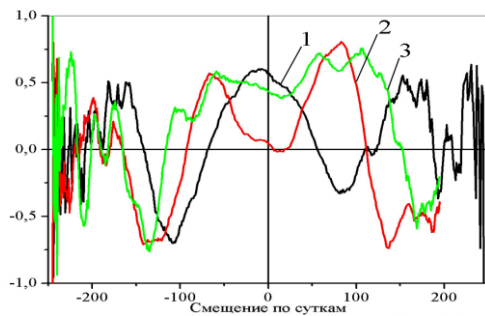


Рис. 4. Взаимно корреляционные функции сигналов, принятых в течение трех суток включая день затмения: 1-29.03.06 и 30.03.06; 2- 29.03.06 и 31.03.06; 3- 30.03.06 и 31.03.06

Следует отметить, что для корреляционной функции сигнала в день затмения характерен более узкий основной пик по сравнению с корреляционными функциями, полученными в те дни, когда затмения не было.

Для дней, когда затмение отсутствовало, характерен более широкий пьедестал взаимно корреляционной функции (рис. 4) с величиной коэффициента корреляции 0,5-0,75. Корреляционные функции сигналов при затмении и его отсутствии имеют максимум корреляции при временной задержке отличной от нуля. Для 29.03.06 и 30.03.06 она соответствует примерно 1 ч., в то время, как суточное смещение продолжительности светового дня соответствует 4 мин. В то же время направление временного сдвига соответствует суточному поведению запаздывания восхода и более быстрого захода Солнца. В спектрах принятого сигнала максимумы спектральной плотности соответствуют суточному ходу принимаемого сигнала, обусловленному суточным поведением рефракции тропосферы.

Помимо этого осуществлялось измерение КВ сигнала непосредственно во время затмения (рис. 5). Принимался сигнал вещательной станции (радио "Свобода") на частоте 9,54470 МГц с использованием профессионального приемника типа "Канал-Р" на спиральную проволочную антенну диаметром 20 мм и количеством витков 303 (общая длина около 18,5 м). Регистрация выходного сигнала когерентного детектора осуществлялась на персональный компьютер (ПК).

На рис. 5 показано изменение текущей интенсивности принимаемого сигнала, а также полученное при сглаживании в скользящем окне.

Запись была начата в момент максимальной фазы солнечного затмения.

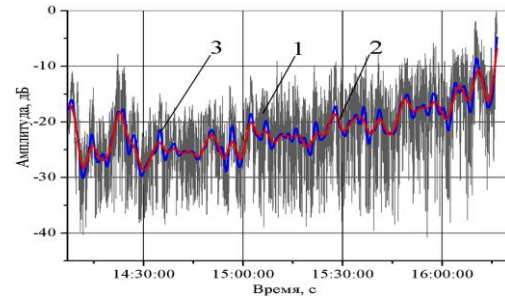


Рис. 5. Запись КВ сигнала: 1- запись КВ сигнала в период солнечного затмения; 2- по 200 точкам, 3- скользящее среднее по 100 точкам

Из рис. 5 видно, что в течение двух часов, начиная с фазы максимального затмения, происходит возрастание среднего уровня принимаемого сигнала примерно на 10 дБ.

Для объяснения эффектов, наблюдавшихся при распространении сигналов на загоризонтных трассах во время затмения, был проведен анализ метеорологических параметров тропосферы. Использованы данные измерений температуры, давления, влажности, проведенные с периодичностью в 3 ч. Харьковским метеоцентром.

В радиометеорологии для получения оценок индекса коэффициента преломления N наиболее часто используют соотношение [4]

$$N = \frac{77,6}{T} P + 3,73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}, \quad (1)$$

где $T = t + 273$ – абсолютная температура; e – парциальное давление водяного пара; P – давление.

Определение давления водяных паров e можно осуществить по относительной влажности η при помощи эмпирического соотношения

$$e = \frac{\eta \% E}{100}; E = 6,1 \cdot 10^{24,2/t} \cdot \frac{7,63t}{100}. \quad (2)$$

Используя (1), (2) и данные Харьковского метеоцентра по зависимостям температуры T , парциального давления водяного пара e , давления P от времени, были получены оценки индекса коэффициента преломления N (рис. 6).

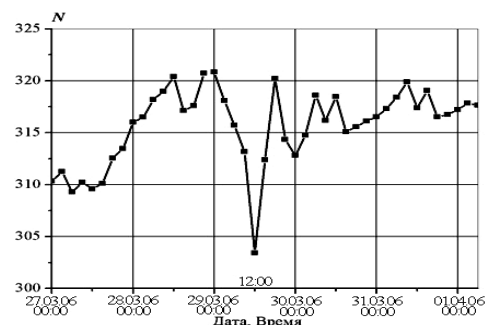


Рис. 6. Зависимость коэффициента преломления N

Из графика видно, что на период затмения наблюдался резкий спад ($\sim 15 N$ ед.) с последующим возрастанием коэффициента преломления N (рис. 6).

Похожие спады, хотя менее глубокие, наблюдались в дни до и после затмения. Также отмечен спад и резкое возрастание парциального давления водяного пара. Вместо предполагаемого снижения температуры во время затмения наблюдалось ее возрастание. Известно [3], что существует сильная корреляция (0,7-0,85) между градиентом индекса рефракции g_N и значениями индекса коэффициента преломления N . С другой стороны, ранее нами было показано, что возрастание (убывание) градиента коэффициента преломления атмосферы приводит к увеличению (снижению) уровня сигнала, принятого на загоризонтной трассе [3]. Таким образом, наблюдавшееся по метеоданным, во время затмения уменьшение приземного значения коэффициента преломления, а значит и его градиента, должно было привести к снижению уровня принимаемого на загоризонтной трассе Харьков – Белгород сигнала УКВ, что и наблюдалось в ходе эксперимента.

Необходимо отметить, что во время и после затмения была сравнительно тихая (по данным Харьковского метеоцентра) погода. Ветер не превышал 6 м/с. Непосредственно в о время затмения (около 12 ч. по UTC) скорость ветра уменьшилась до 2 м/с (перед этим была 6 м/с, а после 4 м/с). В то же время направление ветра было около 175° - 190° , т. е. ветер дул с южного направления. Возможно, с этим обстоятельством и связано наблюдавшееся в это время повышение температуры.

Выводы. Проведены измерения уровней сигналов на загоризонтных трассах во время солнечного затмения 29.03.06 г. В УКВ диапазоне во время затмения наблюдалось уменьшение уровня принимаемого сигнала. Это было связано со снижением значения коэффициента преломления в приземном слое тропосферы. В КВ диапазоне после затмения также происходило увеличение уровня принимаемого сигнал. Однако однозначного вывода о влиянии на уровень сигнала затмения Солнца на основании качественного анализа не представляется возможным, поскольку сходные уменьшения сигнала наблюдались как за несколько дней до так и через несколько дней после затмения.

1. Полное солнечное затмение 29 марта 2006 года // 19.02.2006 13:34 А. Козловский / <http://astrogalaxy.ru>.

2. Описание метеорологических эффектов. / "Звездочет" №1 - 2000 / <http://images.astronet.ru/pubd>.
3. Белов Е. Н., Луценко И. В., Луценко В. И., Хоменко С. И. Оценка тропосферной рефракции по множителю ослабления радиоволн при распространении на приземных загоризонтных трассах // Радиофизика и электроника. - Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. - 2004. - 9, № 1. - С.248-258.
4. Бин Б. Р., Даттон Е. Дж. Радиометеорология. - Л.: Гидромет. изд., 1971. - 361 с.

SIGNALS OBSERVATION ON (OVER HORIZON) ROUTS DURING ECLIPSE AT MARCH 29 2006

I. V. Lutsenko, V. I. Lutsenko,

The measurements of signal levels were carried out on (over horizon) routes during eclipse which was observed at 29.03.06. The hardware complex designed for diagnostics of propagation conditions utilizing TV center signals was used. The signal of transmitting TV center in Belgorod town was in near geometric shadow relatively to receiving point in Kharkov. While measuring the decrease of level of received signal of 6 TV channel analogous to changes of signal level during sunrise and sunset was observed. In addition to complex utilizing VHF band signal transmitted by TV center the ionosphere wave at (mono bounce) propagation SW band signal from radio broadcasting stations was used. The received VHF band signal level changes observed during eclipse were not marked in SW band. However, it is impossible to make unambiguous conclusion about influence of eclipse on signal level on the base of qualitative analysis because similar decreases of signal level were observed some days before the eclipse as well as some days after one.

Key words: (over horizon) routes, eclipse, signal level, diagnostics of propagation condition.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ СИГНАЛІВ НА ЗАОБРІЙНИХ ТРАСАХ ПІД ЧАС СОНЯЧНОГО ЗАТЕМНЕННЯ 29 БЕРЕЗНЯ 2006 р.

І. В. Луценко, В. І. Луценко

Проведено виміри рівнів сигналів на заобрійних трасах під час сонячного затемнення, що проходило 29.03.06 р. У ході вимірів спостерігалось зменшення рівня прийнятого сигналу шостого телевізійного каналу. На додаток до комплексу, що використовує сигнал НКХ діапазону, що випромінюється телевізійним центром, використовувався сигнал станцій? Що віщають, КХ діапазону іоносферної хвилі при однострибковому поширенні. Під час затемнення спостерігалась зміна рівня прийнятого сигналу як в УКХ, так й у КХ діапазонах хвиль. Однак зробити однозначного висновку про вплив на рівень сигналу затемнення Сонця на підставі якісного аналізу не можливо, оскільки подібні зменшення сигналу спостерігалась як за кілька днів до, так і через кілька днів після затьмарення.

Ключові слова: заобрійні траси, сонячне затемнення, рівень сигналу, діагностика умов поширення.

Рукопись поступила 9 января 2007 г.