

И. М. Мыценко, Д. Д. Халамейда*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины**12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина*E-mail: khalameyda@ire.kharkov.ua**О ВЛИЯНИИ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ
НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В ТРОПОСФЕРЕ**

Энергетика солнечных затмений существенно влияет на вариации всех геофизических полей и приводит к изменению параметров процессов в подсистемах системы Земля, нарушению сложившихся взаимодействий между ними. Наблюдения при каждом солнечном затмении позволяют уточнить сопутствующие физические процессы и их влияние на распространение радиоволн в тропосфере. Эффекты солнечного затмения широко обсуждаются в научном мире, однако описания исследований распространения радиоволн в тропосфере во время солнечного затмения практически отсутствуют. В данной работе приведены результаты наблюдений связи между солнечными затмениями и уровнями радиосигналов ВЧ-СВЧ-диапазонов в различных условиях, включая наземные и морские загоризонтные трассы дальнего тропосферного распространения, а также трассы геостационарный искусственный спутник Земли–Земля и др. Для анализа ситуаций, сопровождающих эти явления, применялся метод наложенных эпох, включающий в себя корреляционный, спектральный и дисперсионный анализ измеренных величин. Показано, что изменения сигналов в метровом и дециметровом диапазонах радиоволн происходят в сторону увеличения в большинстве случаев. Рассмотренные в работе исследования расширяют знания о влиянии Солнца на распространение радиоволн в атмосфере. Ил. 5. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: рефракция, геостационарный спутник, солнечное затмение.

Первые попытки проследить за вариациями параметров атмосферы на ионосферных высотах во время полных или частных солнечных затмений были сделаны еще в 1930–40-х гг. Более позднее изучение процессов, связанных с солнечными затмениями, существенно активизировалось из-за практической значимости этих исследований: появились многочисленные радиотехнические системы различного назначения, которые в период солнечных затмений теряли работоспособность. В настоящее время известно много работ, посвященных эффектам солнечного затмения, например [1, 2]. Наиболее полно эти явления рассмотрены в монографии [3].

В работе [4] представлены результаты наблюдений распространения УКВ (метрового и дециметрового диапазонов) вблизи земной поверхности. Применялись радиолокационные станции, работающие в импульсном режиме. Наблюдения велись с помощью сигналов, отраженных от неровностей местности (холмы и др.) и от различных наземных сооружений (высокие дома, мачты и др.) на расстояниях от нескольких километров до десятков километров. Линии наблюдений были размещены на протяжении многих сотен километров вдоль трассы затмения. В основу было положено наблюдение за отражениями от наиболее удаленных предметов и неровностей местности, где влияние рефракции должно наиболее полно проявиться.

Во время затмения за 1 ч на расстояниях от 20 до 60 км отмечено увеличение амплитуд сигналов на 10–20 % (рис. 1). Эта величина в пределах точности измерений совпадает с величиной обычного суточного хода. Большой процент увеличения амплитуд сигналов во время затмения соответствует распространению УКВ в зоне полу-

тени и тени. На малых расстояниях (2÷10 км) изменения амплитуд отражений обнаружено не было. Большие изменения сигналов соответствуют и большим расстояниям.



Рис. 1. Временная зависимость напряженности поля на трассе $R = 39$ км

В работах [5, 6] приводится описание аппаратуры и результаты измерений на волне 1,44 м. Длина трассы составляла 55 км. Расстояние от передатчика до приемника превышало пределы прямой видимости на 18÷20 км. На рис. 2 представлена временная зависимость напряженности поля и фазы затмения. Как видно, поле достигало максимума к 17 ч 18 мин, что не совпадает во времени с наивысшей фазой затмения. Это объясняется наличием в период нарастания и спада поля интенсивных флуктуаций. Поле начало нарастать с 16 ч 45 мин и после затмения постепенно упало до своей нормальной величины для вечернего времени суток.

Как следует из рис. 2, сезонный ход среднего значения и среднеквадратическое отклонение градиента коэффициента преломления вы-

ражен слабо, что находит подтверждение в результатах исследований, описанных в работе [7], где подобные измерения проводились в аэропорту г. Афины (Греция) с помощью разнесенных по высоте контактных датчиков.

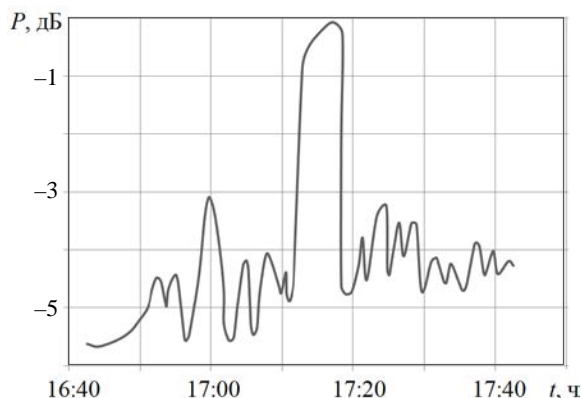


Рис. 2. Временная зависимость напряженности поля на трассе $R = 55$ км

В период проведения Институтом радиопроизики и электроники НАН Украины комплексных радиофизических исследований в Индийском океане (февраль 1980 г.) произошло частное солнечное затмение [8]. На рис. 3 показан путь движения лунной тени, которая скользила по земной поверхности с запада на восток со скоростью около 1 км/с, прочерчивая узкую (диаметр лунной тени 270 км), но длинную (до 15 000 км) полосу. Внутренние касательные к Солнцу и Луне ограничивают конус полутени с радиусом около 35 000 км, откуда видно полное солнечное затмение. Если Солнце закрывается не полностью, продолжительность затмения может достигать до 2 ч (рис. 3).



Рис. 3. Путь движения лунной тени в период солнечного затмения 16.02.1980 г.

В измерениях участвовало два судна, на одном из которых размещалась передающая аппаратура, а на другом – приемная. Определялся множитель ослабления V и его дистанционная зависимость. Сигнал измерялся в четырех диапазонах длин волн: 3, 10, 50 и 200 см. Судна расхо-

дились до расстояний, на которых происходила потеря сигналов в шумах. Солнечное затмение началось в дневное время, когда суда находились на расстоянии около 600 км друг от друга. В стандартных условиях распространения радиоволн аномалий не наблюдалось. При имеющемся энергетическом потенциале приемо-передающей системы сигналы были близки к уровням собственных шумов.

С началом солнечного затмения интенсивность сигналов выросла во всех диапазонах частот (рис. 4): в метровом и дециметровом диапазонах на 15÷20 дБ, а в сантиметровом – на ~5 дБ. Были отмечены изменения характера флуктуаций сигналов появились глубокие низкочастотные.

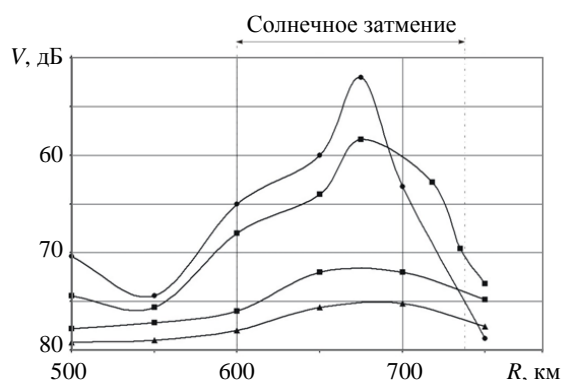


Рис. 4. Дистанционные зависимости множителя ослабления $V(r)$. Индийский океан, зима, 1980 г.

После окончания солнечного затмения с задержкой в ~30 мин сигналы приняли исходные значения и на расстоянии в 750 км были потеряны в шумах приемных устройств.

Данные аэрологического зондирования тропосферы до высоты 5 км, полученные до начала солнечного затмения, показали отсутствие инверсионных слоев и наличия приводных тропосферных волноводов. Таким образом, на расстоянии 600 км до момента солнечного затмения распространение радиоволн могло осуществляться с помощью дальнего тропосферного распространения (ДТР), а множитель ослабления во всех диапазонах частот имел величину 75÷78 дБ, что соответствует данным классических теорий ДТР. В момент солнечного затмения произошли изменения параметров тропосферы в объеме рассеяния, что и привело к увеличению уровня сигнала и появлению глубоких интерференционных замираний. В момент солнечного затмения аэрологическое зондирование не проводилось, что не позволяет выяснить истинные причины этого явления.

В Харьковской области 15.01.2010 г. наблюдалось солнечное затмение. Для исследования влияния солнечного затмения использовался

сигнал геостационарного искусственного спутника Земли (ИСЗ), который работал на средней частоте 12 ГГц и имел угол места $\sim 30^\circ$. Приемник сигналов состоял из антенны, конвертора спутникового телевидения, к входу которого был подключен широкополосный усилитель и амплитудный детектор. Выходной сигнал измерялся с помощью вольтметра и записывался самописцем. На рис. 5 показана временная зависимость выходного напряжения детектора в момент солнечного затмения и после него. Как видно из рис. 5, в момент солнечного затмения не отмечены изменения уровня сигнала, который имел обычную величину в пределах 405–408 мВ. После окончания солнечного затмения (11:18) уровень сигнала также оставался неизменным до 12:50. Затем уровень сигнала начал возрастать и достиг максимальной величины в пределах 430–440 мВ ($\sim 13:30$). В 14:00 сигнал упал до прежней величины 405–408 мВ. Кроме этого, к выходу амплитудного детектора был подключен спектроанализатор. Анализ полученных спектров не показал каких-либо отличий от обычных спектров, соответствующих данным метеорологическим условиям.



Рис. 5. Временная зависимость выходного напряжения детектора приемного устройства сигналов геостационарного ИСЗ

Анализ причин увеличения уровня сигналов через 2 ч после окончания солнечного затмения вызвал затруднения, так как трасса распространения ($\sim 40\,000$ км) проходит через все слои атмосферы, включая ионосферу и тропосферу. Наблюдения временной зависимости уровня сигналов в последующие дни показало, что в период от 13 до 14 ч уровень сигнала увеличивался на 5–20 мВ. Это увеличение сигнала связано с тем, что в это время Солнце попадает в диаграмму направленности приемной антенны. Как известно [9], Солнце является самым мощным источником естественного радиоизлучения в пределах нашей планетарной системы. Радиоизлучение Солнца состоит из двух компонентов, первый из которых постоянен во времени, а второй связан с нестационарными процессами на

Солнце. Кажущаяся температура спокойного Солнца в исследуемом диапазоне (3 см) колеблется в пределах 6 000–60 000 К. Так как соотношение сигнал/шум при приеме сигналов геостационарного ИСЗ равнялось всего 6 дБ, то мощное радиоизлучение Солнца вносило свой существенный вклад в принимаемый сигнал (рис. 5). В день солнечного затмения это влияние было больше (уровень сигнала изменился на 30–40 мВ).

Выводы. Анализ существующих работ и результатов проведенных экспериментов позволяют сделать следующие выводы. Результаты наблюдений влияния солнечных затмений на распространение радиоволн в тропосфере на трассах, длиной незначительно превышающей радиогоризонт, показали, что изменения сигналов в метровом и дециметровом диапазонах в большинстве случаев происходят в сторону увеличения.

С увеличением расстояния, изменения сигналов и тропосферной рефракции тоже возрастают. При расстояниях, в несколько раз превышающих радиогоризонт, увеличение сигналов метрового и дециметрового диапазонов достигало ~ 20 дБ. В сантиметровых диапазонах (3 и 10 см) наблюдалось незначительное увеличение сигналов ~ 5 дБ.

На трассе геостационарный ИСЗ–Земля изменений уровня и спектра амплитудных флуктуаций сигнала не наблюдалось. При этом уровень радиоизлучения Солнца, который зарегистрирован приемником, через 2 ч 30 мин после солнечного затмения был выше на 10 % в сравнении с предыдущими и последующими днями.

Библиографический список

1. Черногор Л. Ф. Параметры турбулентных процессов в атмосфере, сопровождаемых затмением Солнца / А. Л. Акимов, Л. А. Акимов, Л. Ф. Черногор // Радиофизика и радиоастрономия. – 2007. – 12, № 2. – С. 117–134.
2. Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове. 1. Результаты наблюдений / В. П. Бурмака, В. Н. Лысенко, М. В. Ляшко, Л. Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. – 2007. – 13, № 6. – С. 74–86.
3. Черногор Л. Ф. Физические эффекты солнечных затмений в атмосфере и геокосмосе: монография / Л. Ф. Черногор. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2013. – 480 с.
4. Папалекси Н. Д. Радионаблюдения во время полного солнечного затмения 9 июля 1945 г. / Н. Д. Папалекси // Изв. АН СССР. Сер. физическая. – 1946. – 10, № 3. – С. 237–242.
5. Кабанов Н. И. Наблюдения над распространением УКВ во время солнечного затмения 9 июля 1945 г. / Н. И. Кабанов // Там же. – 1946. – 10, № 3. – С. 273–278.
6. Осипов Н. В. Наблюдения за изменчивостью напряженности поля УКВ во время солнечного затмения 9 июля 1945 г. / Н. В. Осипов // Там же. – 1946. – 10, № 3. – С. 281–284.
7. Мустель Э. Р. О реальности воздействия солнечных корпускулярных потоков на нижние слои земной атмосферы / Э. Р. Мустель // Междисциплинарная комиссия по солнечно-земной физике. Научная сессия исследовательской группы по солнечной активности и нижней атмосфере. – Л., 1970. – С. 3–15.

8. Мыценко И. М. Исследование распространения радиоволн УКВ диапазона над океанской поверхностью в период солнечного затмения / И. М. Мыценко // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. им. А. Я. Усикова НАН Украины. – Х., 2007. – 12, № 1. – С. 192–195.
9. Николаев А. Г. Радиотеплокация / А. Г. Николаев, С. В. Перцов. – М.: Сов. радио, 1964. – 335 с.

Рукопись поступила 12.01.2015.

I. M. Mytsenko, D. D. Khalameyda

EFFECT OF SOLAR ECLIPSES ON RADIOWAVE PROPAGATION IN THE TROPOSPHERE

Energy of solar eclipses significantly influences the variation of geophysical fields and leads to a change of processes in the subsystems of the Earth and to disturbance of the existing interactions between them. Observations of each solar eclipse allow to specify related physical processes and their impact on the radio waves propagation in the troposphere. The effects of the solar eclipse are widely discussed in the scientific world, but the studies of radio wave propagation in the troposphere during a solar eclipse are absent. The results of observations of the interaction between solar eclipses and levels of microwave radio signals in a variety of conditions, including land and sea transhorizon radio communication, as well as a geostationary satellite – Earth radio path and others are presented. In order to analyze conditions that accompany these phenomena, the method of superposed epochs comprising correlation, spectral and dispersion analysis of measured values is used. It is shown that the signal level change occur in the direction of increasing in most cases. The study extends the

knowledge about the influence of the Sun on the propagation of radio waves in the atmosphere.

Key words: refraction, geostationary sputnik, sun eclipse.

I. M. Миценко, Д. Д. Халамейда

ПРО ВПЛИВ СОНЯЧНИХ ЗАТЕМНЕНЬ НА ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ У ТРОПОСФЕРІ

Енергетика сонячних затемнень суттєво впливає на варіації всіх геофізичних полів і призводить до зміни параметрів процесів в підсистемах системи Земля та порушенню взаємодій, що склалися, між ними. Спостереження при кожному сонячному затемненні дозволяють уточнити супутні фізичні процеси та їх вплив на поширення радіохвиль у тропосфері. Ефекти сонячного затемнення широко обговорюються в науковому світі, проте опису досліджень поширення радіохвиль у тропосфері під час сонячного затемнення практично відсутні. У даній роботі наведено результати спостережень зв'язку між сонячними затемненнями й рівнями радіосигналів ВЧ-НВЧ-діапазонів за різних умов, у тому числі наземні й морські загоризонтні траси далекого тропосферного поширення, а також траси геостационарний штучний супутник Землі-Земля й ін. Для аналізу ситуацій, які супроводжують ці явища, застосовувався метод накладених епох, що включає кореляційний, спектральний і дисперсійний аналіз вимірних величин. Показано, що сигнали у метровому й дециметровому діапазонах радіохвиль в основному збільшуються. Розглянуті в роботі дослідження розширюють знання про вплив Сонця на поширення радіохвиль в атмосфері.

Ключові слова: рефракція, геостационарний супутник, сонячне затемнення.