

УДК 523.98

## Свойства источника шумовой бури на волне 1 м по наблюдениям солнечного затмения 29 марта 2006 г.

*Ю.Ф. Юровский*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 14 сентября 2006 г.

**Аннотация.** Наблюдения затмения 29 марта 2006 г., проведенные в Лаборатории радиоастрономии НИИ “КрАО”, показали, что радиорadius Солнца в направлении I-го контакта в период минимума солнечной активности между 23-м и 24-м циклами на волне 1 м составлял  $R_d = 1.12 R_\odot$ . Яркостная температура невозмущенных участков диска Солнца была равна  $T_d = (0.6 \pm 0.06)10^6$  К. Над группой пятен NOAA 0865 существовал источник шумовой бури, яркое ядро которого имело размер  $1.3'$  и яркостную температуру  $T_b = 16 \cdot 10^6$  К. Всплески шумовой бури излучались из области яркого ядра над группой NOAA 0865 и отсутствовали в течение его покрытия диском Луны. Над восточной лимбовой группой пятен NOAA 0866 во время затмения наблюдалось тепловое излучение корональной конденсации с яркостной температурой  $(1-2)10^6$  К, выходящее за пределы видимого солнечного диска на  $2.7'$ . Яркое ядро в этом лимбовом источнике появилось через 42 минуты после окончания затмения и продолжало существовать в последующие дни, что, возможно, свидетельствует о моменте его выхода из-за радиогоризонта, образованного регулярной рефракцией радиоволн в короне. Путем сравнения с наблюдениями на более короткой волне 12 см измерено рефракционное смещение, величина которого  $0.96'$  близка к расчетному значению  $0.8'$ .

PROPERTIES OF NOISE STORM SOURCE AT WAVELENGTH 1 m DERIVED FROM OBSERVATIONS OF SOLAR ECLIPSE ON MARCH 29, 2006, *by Yu.F. Yurovsky*. Observations of eclipse on March 29, 2006 carried out at the Laboratory of radio astronomy of CRI CrAO have shown, that the radio radius of the Sun at wavelength 1 m in direction of the first contact was  $R_d = 1.12 R_\odot$  during solar activity minimum between 23d and 24th cycles. Brightness temperature of undisturbed Sun was equal to  $T_d = (0.6 \pm 0.06)10^6$  K. Above the group of spots NOAA 0865 there was a source of noise storm, the bright nucleus of e  $1.3'$  in size and brightness temperature  $T_b = 16 \cdot 10^6$  K. The bursts of noise storm were emitted from area of the bright nucleus above the group NOAA 0865 and were absent during its covering by disk of the Moon. Above the east group of spots NOAA 0866 during the eclipse a thermal radiation of coronal condensation was observed with brightness temperature  $(1-2)10^6$  K, exceeding on  $2.7'$  the border of visible solar disk. The bright nucleus in this source has appeared 42 minutes after the termination of eclipse and continued to exist the next days, that, probably, testifies to the moment of its output from radio horizon formed due to regular refraction of radio waves in the corona. By comparison with observation of eclipse at a shorter wavelength 12 cm the refractive displacement was measured. Its value  $0.96'$  is close to calculated value  $0.8'$ .

**Ключевые слова:** затмение Солнца, локальные источники радиоизлучения, шумовая буря, размеры, яркостная температура

---

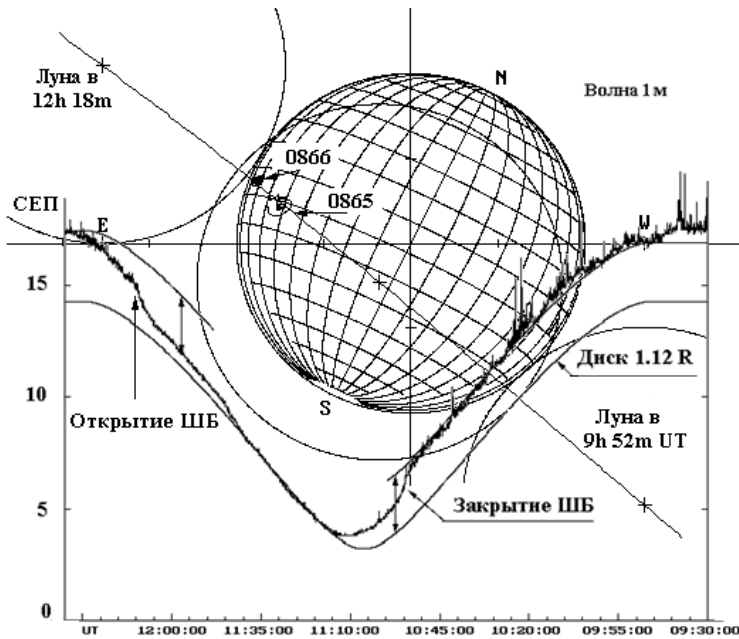


Рис. 1. Обстоятельства затмения в пункте наблюдений Кацивели и изменение потока на волне 1 м в течение затмения

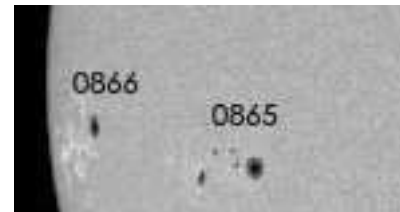


Рис. 2. Группы пятен на диске Солнца 29 марта 2006 г.

## 1 Введение

Наблюдения солнечных затмений в радиодиапазоне позволяют выявить на диске Солнца источники повышенного радиоизлучения и сопоставить их положение с оптически видимыми образованиями. При благоприятных обстоятельствах угловая разрешающая способность затменного метода наблюдений превосходит возможности существующих наземных радиотелескопов. Полоса затмения 29 марта 2006 г. проходила по территории Лаборатории радиоастрономии НИИ «КрАО». Наблюдения на стационарной аппаратуре, предназначенной для ежедневных наблюдений Солнца, позволили получить высококачественную запись затмения на волне 1.0 м. Плотность и структура солнечной короны, откуда выходит радиоизлучение метрового диапазона, изменяется синхронно с 11-летним периодом солнечной активности. Таким образом, данные затмения 29 марта 2006 года характеризуют пространственную структуру и физические свойства атмосферы Солнца, соответствующие минимуму его активности между 23-м и 24-м 11-летними циклами.

## 2 Обстоятельства затмения

В пункте наблюдений в момент максимальной фазы затмения Луна закрывала 0.858 видимой поверхности диска Солнца. Первый контакт происходил при расположении Солнца вблизи местного меридиана. Высота Солнца над горизонтом составляла  $49^\circ$  в начале затмения, а в конце затмения уменьшилась до  $37^\circ$ . По наблюдениям в оптический гид было выяснено, что моменты 1-го и 4-го контактов совпадают с точностью  $\pm 10$  с с эфемеридами (рис. 1), рассчитанными с помощью компьютерной программы, составленной и любезно предоставленной нам Г.Б. Гельфрейхом и А.Н. Коржавиным (ГАО-САО РАН).

По данным Центра космической среды (<http://sec.noaa.gov/Data/>) в день затмения на диске Солнца наблюдались две группы пятен: NOAA 0865 и NOAA 0866 (рис. 2). Группа 0865 с координатами S12E48 была развивающейся, состояла из 10 пятен общей площадью 130 МДП. Другая группа 0866 появилась на восточном лимбе лишь 28 марта, имела координаты S07E72 и

включала одно пятно площадью 70 МДП. В течение затмения излучение над лимбовой группой пятен NOAA 0866 не имело яркого ядра, но излучение связанной с ней корональной конденсации выходило за пределы видимого диска Солнца. Плотность потока в день затмения на волне 1.0 м составляла 18 СЕП (СЕП – солнечные единицы потока,  $1 \text{ СЕП} = 10^{-22} \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{Гц})$ ).

**Аппаратура.** Радиотелескоп, работавший на длине волны 1.0 м, состоял из многодипольной 112-ти элементной антенны и модуляционного радиометра с полосой пропускания 4 МГц. Постоянная времени была равна 0.1 с, частота отсчета данных – 10 Гц. Ширина шумовой дорожки на этой длине волны в предыдущие дни составляла около 0.8% уровня спокойного Солнца. Однако в часы затмения наблюдалась солнечная шумовая буря (ШБ), существенно увеличивавшая флуктуации регистрируемого потока. И только в интервале времени, пока источник шумовой бури был закрыт диском Луны, флуктуации на записи соответствовали 0.8% уровня внезатменного Солнца.

Запись радиоизлучения Солнца показана на рис.1. На записи достаточно четко выделяются резкие вариации скорости изменения потока, вызванные закрытием/открытием локального источника радиоизлучения. Часть источника оказалась за пределами лимба Солнца, и ее открытие происходило уже после IV-го оптического контакта. По этой причине кривая несимметрична относительно момента максимальной фазы затмения.

### 3 Яркостная температура невозмущенного Солнца на волне 1.0 м

По изменению потока во время затмения имеется возможность найти эффективную (эквивалентную) температуру абсолютно черного тела, излучающего такую же мощность, как и реальное Солнце. Радиояркостная температура излучающей области определяется по известной формуле (Железняков, 1964):

$$T_b = \frac{dF \cdot \lambda^2}{2k \cdot d\Omega} \text{ K}, \quad (1)$$

где  $dF$  – перепад потока на исследуемом интервале времени в  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{Гц})$ ;

$\lambda$  – длина волны в м;

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/град}$  – постоянная Больцмана;

$d\Omega = 4\pi \sin^2(32 R_d/240) dA/A$  – телесный угол в стер, занимаемый излучающей площадкой;

$R_d$  – радиорadius Солнца в единицах радиуса фотосферы  $R_\odot \approx 700 \cdot 10^3 \text{ км}$ ;

$dA$  – площадь открываемой или закрываемой площадки в произвольных единицах измерения;

$A = 1$  – площадь всего диска Солнца с радиусом  $R_d$  в тех же единицах измерения.

Известно, что протяженность радиосолнца вдоль экватора больше, чем в полярном направлении, т. е. Солнце в радиолучах не круглое. Для сравнения результатов различных наблюдений принято вычислять радиояркостный диск, имеющий некоторый средний радиус. Конвекция в приповерхностном слое Солнца никогда не прекращается и постоянно возмущает вышележащие слои. Поэтому невозмущенными участками солнечной поверхности называют те из них, на которых отсутствуют пятна, флоккулы и другие образования (кроме грануляции), ясно видимые в оптическом диапазоне. Для вычисления яркостной температуры по формуле (1) необходимо знать радиорadius Солнца. Однако собственные вариации потока ШБ, не связанные с эффектами затмения, не позволили определить моменты радиоконтактов, так как в эти интервалы времени источник ШБ не был закрыт диском Луны. Поэтому найдем радиорadius равномерно излучающего диска, поток от открытой части которого в интервале 11:20–11:40 UT был бы равен наблюдавшемуся изменению потока за это время. Судя по характеру записи можно полагать, что в течение этого интервала были закрыты все источники повышенного излучения. Вычисления с помощью эфемерид дают  $R_d = 1.12 R_\odot$ .

Открытие на волне 1.0 м в течение интервала времени 11:20–11:40 UT части диска невозмущенного Солнца радиусом  $R_d = 1.12 R_\odot$  привело к изменению потока на  $dF = 3.7 \pm 0.4 \text{ СЕП}$ , и

при этом закрылось 0.2535 площади диска, телесный угол которой составлял  $d\Omega = 2.22 \cdot 10^{-5}$  стер. Отсюда находим усредненную по этой площади температуру  $T_d = (0.6 \pm 0.06)10^6$  К.

Оценки свойств солнечной атмосферы (Шкловский, 1962) показывают, что хромосфера совершенно непрозрачна для радиоизлучения метрового и сантиметрового диапазонов (ее оптическая толщина  $\tau \gg 10^2$ ). Поэтому измеряемый поток в общем случае складывается из хромосферного излучения, ослабленного поглощением в короне, и из собственного излучения короны:

$$T_d(\lambda) = T_{chr} 2 \int_0^1 e^{-\tau_{cor}(\rho)} \rho d\rho + T_{cor} \int_0^\infty (1 - e^{-\tau_{cor}(\rho)}) \rho d\rho. \quad (2)$$

Здесь  $T_{chr}$  – температура хромосферы,

$T_{cor}$  – температура короны,

$\rho$  – расстояние от центра диска в долях радиуса фотосферы  $R_\odot$ ,

$\tau_{cor}(\rho)$  – оптическая толщина короны вдоль траектории луча.

Если принять  $T_{chr} = 10^4$  К,  $T_{cor} = 10^6$  К и воспользоваться моделью короны Баумбаха-Аллена, то результаты расчета по этой формуле оказываются достаточно близкими к наблюдаемым значениям  $T_d(\lambda)$ . Функция  $T_d(\lambda)$  в интервале длин волн от 4 см до 1.5 м довольно хорошо аппроксимируется соотношением  $T_d(\lambda) = 5 \cdot 10^3 \lambda$  К, где  $\lambda$  – длина волны в см (Железняков, 1964). Заметим, что при такой аппроксимации не учитывается возможное изменение  $T_d(\lambda)$  в течение цикла солнечной активности и вычисленная температура может служить лишь в качестве ориентировочного значения.

В нашем случае излучение хромосферы на волне 1 м не выходит за пределы Солнца, так как на высотах, меньших  $10^4$  км, показатель преломления солнечной атмосферы мнимый. Поэтому принимаемый поток определяется фактически только излучением короны. Оптическая толщина короны для волны 1.0 м составляет около  $\tau_{cor} \approx 0.58$  (Шкловский, 1962). Если температура короны  $T_{cor} = 10^6$  К, то ожидаемая яркостная температура невозмущенного Солнца получается равной

$$T_d(1\text{м}) \approx T_{cor} \cdot \tau_{cor} = 0.58 \cdot 10^6 \text{ К.}$$

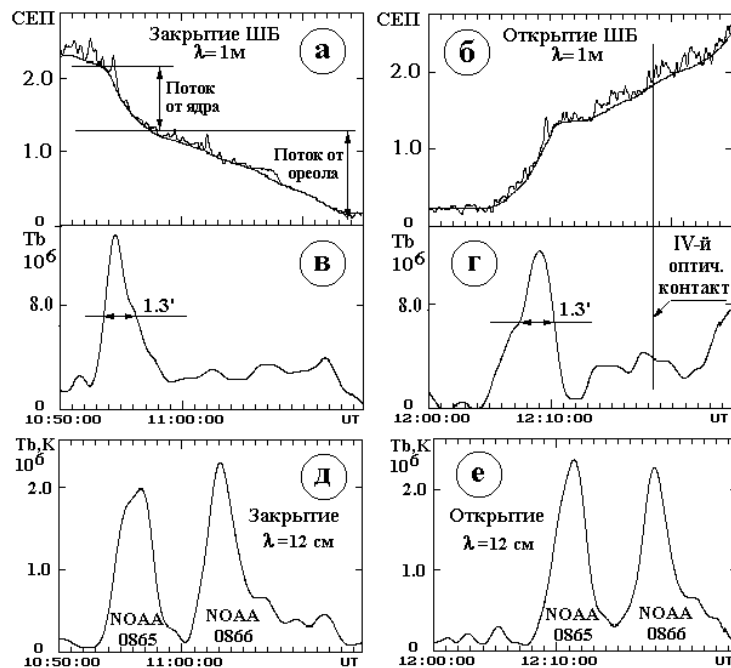
Отметим, что эта оценка довольно близка к значению температуры невозмущенного Солнца, найденному по результатам наблюдения затмения.

Совмещение реальной записи затмения с кривой закрытия такого равномерно излучающего диска показано на рис. 1. При закрытии диска с момента начала затмения до 10:51 UT источник ШБ был открыт и флуктуации потока были слишком велики для проведения численных оценок, но усредненный ход изменений потока удовлетворительно совпадает с кривой закрытия равномерно яркого диска. Минимум потока наблюдался на 5 мин позже момента максимальной фазы оптического затмения, наступившей в 11:06 UT. Это свидетельствует о том, что над восточным лимбом Солнца находилась область повышенной яркости, которая закрывалась уже после максимальной фазы.

## 4 Источник шумовой бури

На записи хода затмения на рис. 1 однозначно выделяются участки более быстрого изменения потока, соответствующие закрытию и открытию области повышенной радиояркости. При закрытии области одновременно с уменьшением потока перестали наблюдаться всплески шумовой бури. После открытия этой части диска всплесковая активность стала вновь регистрироваться. Это свидетельствует о том, что в течение затмения происходило закрытие источника ШБ.

Для подробного изучения источника был выделен интервал его закрытия 10:50-11:15 UT и интервал открытия 12:00-12:25 UT. Затем в пределах этих интервалов из кривых затмения было вычтено излучение невозмущенного диска Солнца радиусом  $R_d = 1.12 R_\odot$  и температурой  $T_d = 0.6 \cdot 10^6$  К. Полученный результат показан на рис. 3, панели *a* и *б*. Характер кривых свидетельствует о том, что источник состоял из компактного яркого ядра, закрывавшегося в течение 5 мин 30 с с 10:53:00 по 10:58:30 UT, и протяженной области излучения с более низкой яркостной



**Рис. 3.** Изменение потока на волне 1 м при закрытии (панель *a*) и при открытии ШБ (панель *б*). Панели *в* и *г* – яркостная температура области излучения ШБ. Локальные радиоисточники на волне 12 см, затмевавшиеся в те же интервалы времени (панели *д* и *е*).

температурой (ореола). Открытие ядра происходило в интервале времени с 12:04:30 по 12:10:00 UT, после чего поток продолжал возрастать еще в течение 20 мин из-за открытия ореола.

Для оценки распределения радиояркости по источнику была вычислена яркость его участков, открывавшихся каждые 10 с. Ширина участков вдоль лимба Луны принималась равной найденному выше размеру источника вдоль траектории центра Луны. Полученное распределение показано на рис. 3, панели *в* и *г*. Угловой размер ядра источника на уровне половинной яркости составил около 1.3'. Его яркостная температура  $T_b = 16 \cdot 10^6$  К значительно превосходила кинетическую температуру короны, в среднем равную  $(1-2)10^6$  К. Это свидетельствует о когерентном механизме генерации, типичном для излучения ШБ. В проекции на диск Солнца ядро располагалось вблизи группы пятен NOAA 0865. Так как всплески ШБ исчезли на время закрытия этой группы, то на этом основании можно полагать, что ШБ была связана именно с ней.

Как видно на рис. 3 (панель *a*), после закрытия ядра поток продолжал заметно уменьшаться еще в течение приблизительно 10 мин. При открытии источника (рис. 3, панель *б*) нарастание потока также происходило еще в течение 10 мин после открытия ядра. Яркостная температура этой протяженной части источника была около  $(1-2) 10^6$  К. Указать точнее величину этой яркостной температуры затруднительно, так как размеры источника излучения в поперечном направлении неизвестны из-за одномерности сканов, полученных в течение данного затмения.

Всплесковый компонент ШБ перестал наблюдаться в 10:55 UT в момент закрытия яркого ядра источника и вновь появился после его открытия в 12:09 UT. Это дает основание утверждать, что всплески ШБ излучались именно компактным ядром, а не протяженным ореолом, хотя поток от него в данном случае превосходил поток от ядра (см. рис. 3, панель *a*).

Происхождение ореола становится более понятным при сравнении источника ШБ с излучением локальных источников на более короткой волне 12 см. Наблюдения затмения на этой длине волны проводились нами на другом радиотелескопе и полученное распределение яркостной температуры



**Рис. 4.** В течение затмения на диске Солнца существовал только один яркий локальный источник.



**Рис. 5.** Первое появление из-за радиогоризонта ядра лимбового источника NOAA 0866.

показано на рис. 3, панели *d* и *e*. На сантиметровых волнах локальные источники наблюдались над обеими группами пятен. Интенсивность и размеры пятенного компонента этих источников были почти одинаковы как при их закрытии диском Луны, так и через 1 час при открытии.

Сравнение распределений яркостной температуры в двух диапазонах волн показывает, что закрытие ШБ на волне 1 м приблизительно совпадает с закрытием локального источника NOAA 0865 на волне 12 см. В течение интервала времени, соответствующего закрытию/открытию на волне 12 см другого (лимбового) источника над NOAA 0866, на волне 1 м наблюдалось лишь изменение потока от затмения протяженной области излучения. Таким образом, из двух отдельных ядер локальных источников на волне 12 см на более длинной волне 1 м в течение затмения наблюдалось закрытие/открытие только одного из них (рис. 4). Однако после окончания затмения в 12:59:25 UT в лимбовом источнике также появилось ядро (рис. 5 по данным гелиографа Нансэ: <http://mesola.obspm.fr/>). Появление ядра могло быть связано с выходом источника из-за радиогоризонта.

В сферической короне с градиентом электронной плотности радиоволны из-за регулярной рефракции распространяются в пределах некоторого конуса (рис. 6). Боковая поверхность конуса является каустической поверхностью, за которую радиоволны не выходят, и образует “радиогоризонт” для источника излучения. Угол раскрытия конуса  $2\theta$  зависит от длины волны, градиента электронной концентрации и высоты  $h$  расположения источника над слоем полного отражения, в котором коэффициент преломления  $n = 0$ . В зависимости от этих параметров величина угла определяется выражением (Железняков, 1964):

$$\theta = \operatorname{arcsec} \left( \frac{f}{f_L} \right), \quad (3)$$

где  $f$  – наблюдаемая частота (в нашем случае  $3 \cdot 10^8$  Гц),  $f_L = 9\sqrt{N_e}$  – ленгмюровская частота колебаний плазмы на высоте расположения источника, Гц;  $N_e$  – электронная концентрация,  $\text{м}^{-3}$ .

Малые углы  $\theta$  формируются при расположении источника вблизи отражающего слоя. Большие углы  $\theta$  соответствуют расположению источника на большой высоте, ближе к свободному пространству. Источник виден, если направление на наблюдателя находится в пределах конуса, иначе источник оказывается “за горизонтом” и не наблюдается. Если предположить, что источник располагался над группой пятен NOAA 0866 с координатами S07E72 и появился из-за радиогоризонта в 12:59:25 UT, то угол раскрытия конуса видимости получается равным  $2\theta = 144^\circ$ . Подставляя это значение в (3) находим, что в точке расположения

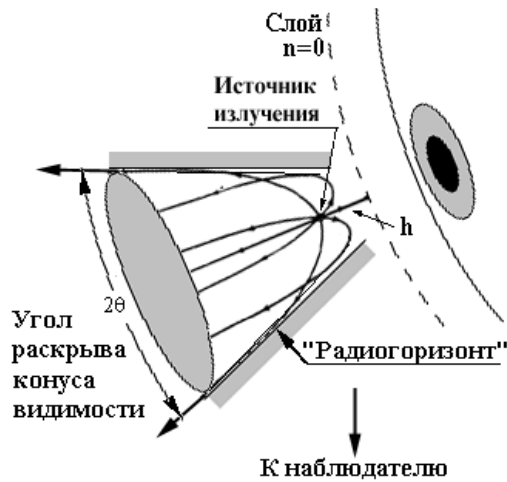


Рис. 6. Образование радиогоризонта.

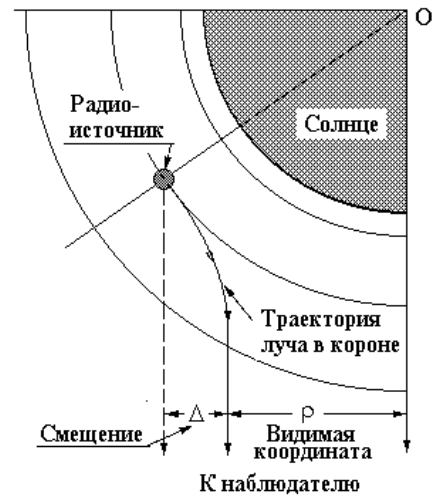


Рис. 7. Смещение видимого источника к центру диска за счет регулярной рефракции в короне.

источника ( $f/f_L \approx 0.31$ ) и, соответственно, ленгмюровская частота равна  $f_L \approx 93 \cdot 10^6$  Гц, а электронная концентрация –  $N_e \approx 10^{14} \text{ м}^{-3}$  ( $10^8 \text{ см}^{-3}$ ). Распределение электронной концентрации в короне известно по многочисленным измерениям в других диапазонах электромагнитного излучения (К. де Ягер, 1962). Согласно этим результатам, найденное значение  $N_e$  наблюдается в минимальной короне на высоте  $1.08R_\odot$  от фотосферы. Следовательно, ядро радиоисточника, связанного с группой пятен NOAA 0866, могло располагаться на расстоянии  $h_s \approx 56 \cdot 10^3$  км от фотосферы.

В последующие дни этот радиоисточник продолжал наблюдаться уже на диске Солнца, но его интенсивность была переменной, и иногда он просто исчезал. Такая переменность источника оставляет другую возможную причину его отсутствия во время затмения, так как можно предположить, что в связи с эволюцией активной области нетепловое излучение источника в течение затмения просто не генерировалось. Для сравнения заметим, что в связи с меньшей величиной рефракции на более короткой волне 12 см лимбовый источник над группой NOAA 0866 к началу затмения уже появился из-за радиогоризонта и наблюдался в течение всего затмения не проявляя признаков существенной переменности.

После открытия компактного ядра на волне 1 м регистрировалось открытие протяженной области излучения с яркостной температурой  $(1-2)10^6$  К, характерной для короны. По-видимому, над группами пятен находились корональные конденсации. Геометрические обстоятельства затмения были таковы, что излучение конденсации над группой пятен NOAA 0865 могло частично проектироваться на излучение расположенной за ней другой конденсации над группой NOAA 0866. В результате излучение этих двух конденсаций наблюдалось как один протяженный источник теплового (тормозного) происхождения. Размеры области излучения выходят за пределы солнечного диска на  $2.7'$ . На волне 12 см также заметно, что над лимбовой группой пятен существовала протяженная корональная конденсация (рис. 3, *d*, *e*), но из-за меньшей оптической толщины ее яркостная температура была существенно меньше, около  $0.3 \cdot 10^6$  К.

Еще одна особенность этого затмения заключается в том, что максимум радиояркости источника ШБ был смещен к центральному меридиану Солнца на  $0.96'$  (на  $42 \cdot 10^3$  км в картинной плоскости) относительно максимума радиояркости источника NOAA 0865 на более короткой волне 12 см. Если предполагать, что более длинноволновый источник находился выше коротковолнового, то смещение из-за эффекта проекции должно было произойти в сторону лимба Солнца, а не к центральному

меридиану. По-видимому, в данном случае смещение вызвано регулярной рефракцией радиоволн в короне. Из-за искривления траектории луча видимое положение источника оказывается смещенным к центру диска (рис. 7). Величина рефракционного смещения вычислялась многими авторами (см., например, (Шкловский, 1962)) и описывается выражением:

$$\Delta = \int_{r_0}^{\infty} \sin \varphi(s) ds,$$

где  $s$  – путь вдоль траектории луча в короне,

$\varphi(s)$  – угол между направлением луча в текущей точке и направлением на наблюдателя,

$r_0$  определяется условием  $r_0 \times n(r_0) = \rho$ .

Воспользовавшись расчетом, приведенным в (Шкловский, 1962), находим, что для наших условий смещение равно приблизительно  $\Delta = 0.8'$ . Расхождение с измеренным значением на 20% можно объяснить использованием при расчетах усредненной модели короны, параметры которой могли отличаться от реальных параметров, существовавших во время затмения. Следует учесть также, что нами измерялось смещение относительно положения источника на короткой волне 12 см, а не расчетное смещение относительно неизвестного истинного положения длинноволнового источника. Даже если полагать, следуя оценкам (Шкловский, 1962), что смещение на волне 12 см пренебрежимо мало из-за прозрачности короны для этой длины волны, то остается неучтенная погрешность за счет отличия высоты источников на разных длинах волн и связанного с этим различия в величине смещения за счет эффекта проекции.

## 5 Заключение

Наблюдения затмения 29 марта 2006 г. в Лаборатории радиоастрономии КраО на стационарной аппаратуре позволили получить высококачественный наблюдательный материал. Обработка этих данных привела к следующим выводам.

1. Радиорadius Солнца в направлении I-го контакта в период минимума солнечной активности между 23-м и 24-м циклами на волне 1 м составлял  $R_d = 1.12 R_{\odot}$ .

2. Яркостная температура невозмущенных участков Солнца была равна  $T_d = (0.6 \pm 0.06) 10^6$  К.

3. Над группой пятен NOAA 0865 существовал источник шумовой бури, яркое ядро которого имело размер  $1.3'$  и яркостную температуру  $T_b = 16 \cdot 10^6$  К.

4. Всплески шумовой бури излучались из области яркого ядра над группой NOAA 0865 и отсутствовали в течение его покрытия диском Луны.

5. Над восточной лимбовой группой пятен NOAA 0866 во время затмения наблюдалось тепловое излучение корональной конденсации с яркостной температурой  $(1-2) 10^6$  К, выходящее за пределы видимого солнечного диска на  $2.7'$ .

6. Яркое ядро в этом лимбовом источнике появилось через 42 минуты после окончания затмения, что, возможно, свидетельствует о его выходе из-за радиогоризонта. В таком случае источник должен был располагаться на высоте  $h_s \approx 56 \cdot 10^3$  км, где электронная концентрация была равна  $N_e \approx 10^{14} \text{ м}^{-3}$ .

7. Путем сравнения с наблюдениями на более короткой волне 12 см измерено рефракционное смещение, величина которого  $0.96'$  близка к расчетному значению  $0.8'$ , что подтверждает справедливость теории теплового радиоизлучения короны.

## Литература

- Железняков В.В.// Радиоизлучение Солнца и планет. М.:“Наука”. 1964. С. 560.  
 Шкловский И.С.// Физика солнечной короны. М.: ГИФМЛ. 1962. С. 516.  
 К. де Ягер.// Структура и динамика атмосферы Солнца. М.: ИЛ. 1962. С. 376.