

УДК 523.9-335.7/77; 523.947

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ СОЛНЦА В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

© 2013 О. А. Голубчина, А. Н. Коржавин

Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН,  
Санкт-Петербург, 196140 Россия

Поступила в редакцию 4 октября 2012 года; принята в печать 17 января 2013 года

Приводятся распределения яркостной температуры полярной области атмосферы Солнца на расстояниях от одного до двух радиусов Солнца в период минимума солнечной активности. Наблюдения максимальной фазы солнечного затмения 29 марта 2006 г. были выполнены одновременно на двух секторах радиотелескопа РАТАН-600 в широком диапазоне сантиметровых длин волн 1–31 см. Работа основана на сравнении построенных моделей и наблюдений, выполненных на северо-восточном секторе РАТАН-600.

Ключевые слова: *Солнце: корона—Солнце: атмосфера—Солнце: радиоизлучение*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является исследование полярной области Солнца в период минимума солнечной активности по наблюдениям максимальной фазы солнечного затмения 29 марта 2006 г. Наблюдения являются уникальными, т.к. РАТАН-600 имеет высокую разрешающую способность и высокую чувствительность по потоку (0.05–0.01 солнечных единиц потока) [1–3]. Такие характеристики недоступны радиотелескопам с малыми зеркалами, которые обычно используются при наблюдениях солнечного затмения. В данной работе приведены результаты наблюдений, полученных на северо-восточном секторе РАТАН-600. Как известно, полярная зона Солнца содержит разнообразные структуры, в том числе и очень слабые. Например, малоконтрастные образования: корональные дыры — источники высокоскоростных частиц солнечного ветра, полярные факелы и т. д. Эти структуры, так же как и распределение яркостной температуры короны в полярной области Солнца на расстояниях больших  $1.2 R_{\odot}$ , трудно выделить и исследовать в регулярных наблюдениях из-за их слабого радиоизлучения на фоне мощного радиоизлучения всего Солнца. Отсутствие этого мешающего фактора во время максимальной фазы (0.998) почти полного солнечного затмения 29 марта 2006 г. в период минимальной солнечной активности позволяет выполнить эти исследования. Одной из задач этих наблюдений на северо-восточном секторе РАТАН-600 было исследование распределения яркостной температуры в по-

лярной области Солнца на расстояниях  $1-2 R_{\odot}$  в широком диапазоне сантиметровых длин волн. Первой удачей было попадание радиотелескопа  $\text{mbox{РАТАН-600}}$  в полосу почти полного солнечного затмения 31 июля 1981 г. [4]. Наблюдение максимальной фазы (0.98) солнечного затмения на радиотелескопе РАТАН-600 было выполнено в режиме “эстафеты” — оригинального метода наблюдений [5]. Этот метод позволяет проводить наблюдения источника радиоизлучения при любом его азимуте и положении над горизонтом. В частности, по данным наблюдений солнечного затмения 31 июля 1981 г. на РАТАН-600 были определены физические характеристики большого числа очень слабых источников радиоизлучения Солнца, находившихся на лимбе открытой части Солнца [4]. Следующая такая уникальная возможность наблюдения максимальной фазы солнечного затмения представилась только 29 марта 2006 г.

### 2. НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдение солнечного затмения 29 марта 2006 г. было выполнено на северо-восточном секторе радиотелескопа РАТАН-600 на нескольких волнах сантиметрового диапазона. Они проведены в режиме “эстафеты” [5] при положении вторичного отражателя в центре круга. Азимут ориентации вторичного отражателя равнялся  $240^{\circ}$ . Максимальная фаза затмения составляла 0.998. В момент максимальной фазы затмения 11:17 UT открытой оставалась северо-западная полоска

Солнца, равная примерно 0.2% от площади поверхности его фотосферы. Цель данной работы состоит в нахождении распределения яркостной температуры в атмосфере Солнца на расстоянии примерно от 1 до  $2 R_{\odot}$  ( $R_{\odot}$  — радиус оптического диска Солнца) на волнах 1.03, 1.38, 2.7, 6.2, 13, 30.7 см. Радиоизлучение на этих волнах в основном выходит из слоёв атмосферы Солнца, близких к верхней хромосфере и нижней короне Солнца.

Диаграмма направленности антенны (ДНА) является ножевой. Угловые размеры горизонтальной и вертикальной диаграммы направленности для соответствующих длин волн приведены в Таблице 1. Здесь  $\lambda$  — длина волны наблюдения,  $\rho_h$  — размер горизонтальной ДНА,  $\rho_v$  — размер вертикальной ДНА. Центр ДНА был смещён по высоте относительно центра оптического диска Солнца на  $+15'$ . При этом в центральную часть ДНА на момент наблюдения максимальной фазы затмения попадала северная полярная область Солнца, в которой расположена корональная дыра. Для получения распределения яркостных температур  $T_b(r/R_{\odot})$  в атмосфере Солнца на разных длинах волн ( $r$  — расстояние от центра оптического диска Солнца до заданной точки атмосферы Солнца) необходимо было построить такие модели солнечного затмения, которые давали бы распределение антенной температуры, максимально совпадающее с реальными записями радиоизлучения Солнца на перечисленных выше длинах волн в момент наблюдения максимальной фазы солнечного затмения. Методика моделирования подробно описана в работе [3]. Перечислим основные этапы моделирования.

1. Задание модели Солнца и Луны в виде систем концентрических колец с равномерным распределением яркости внутри каждого кольца.
2. Расчёт координат оптических центров Луны и Солнца на каждую секунду времени наблюдения (всего на 300 моментов времени).
3. Расчёт горизонтальных и вертикальных диаграмм направленности антенны.
4. Подбор и расчёт распределения яркостных температур радиоизлучения Солнца и Луны для заданных длин волн наблюдения.
5. Вычисление антенных температур  $T_a(\varphi_0)$  из уравнения антенного сглаживания.
6. Вычисление антенных температур  $T_a(\varphi_0)$  с учётом сглаживания горизонтальной ДНА и переоблучения антенны при наблюдении методом “эстафеты.”

При моделировании мы вводим ряд упрощений. Учёт размеров ДНА мы разделяем на два этапа. На первом этапе моделирования ДНА представляется

Таблица 1

$\lambda$ , см	1.03	1.38	2.7	6.2	13	30.7
$\rho_h$ , arcmin	0.4	0.6	1.2	2.6	5.7	13.4
$\rho_v$ , arcmin	17.3	19.3	19.4	25.0	35.8	84.4

бесконечно узким ножом, т.е. горизонтальный размер ДНА не учитывается. В этом случае уравнение антенного сглаживания представляется в виде одномерного интеграла:

$$T_a(\varphi_0) = \int T_b(\varphi)A(\varphi - \varphi_0)d\varphi. \quad (1)$$

Здесь  $A(\varphi - \varphi_0)$  — нормированная вертикальная диаграмма направленности антенны,  $(\varphi - \varphi_0)$  — угол отклонения вертикальной ДНА,  $T_b(\varphi)$  — распределение яркостной температуры по источнику,  $T_a(\varphi_0)$  — антенная температура наблюдаемого источника.

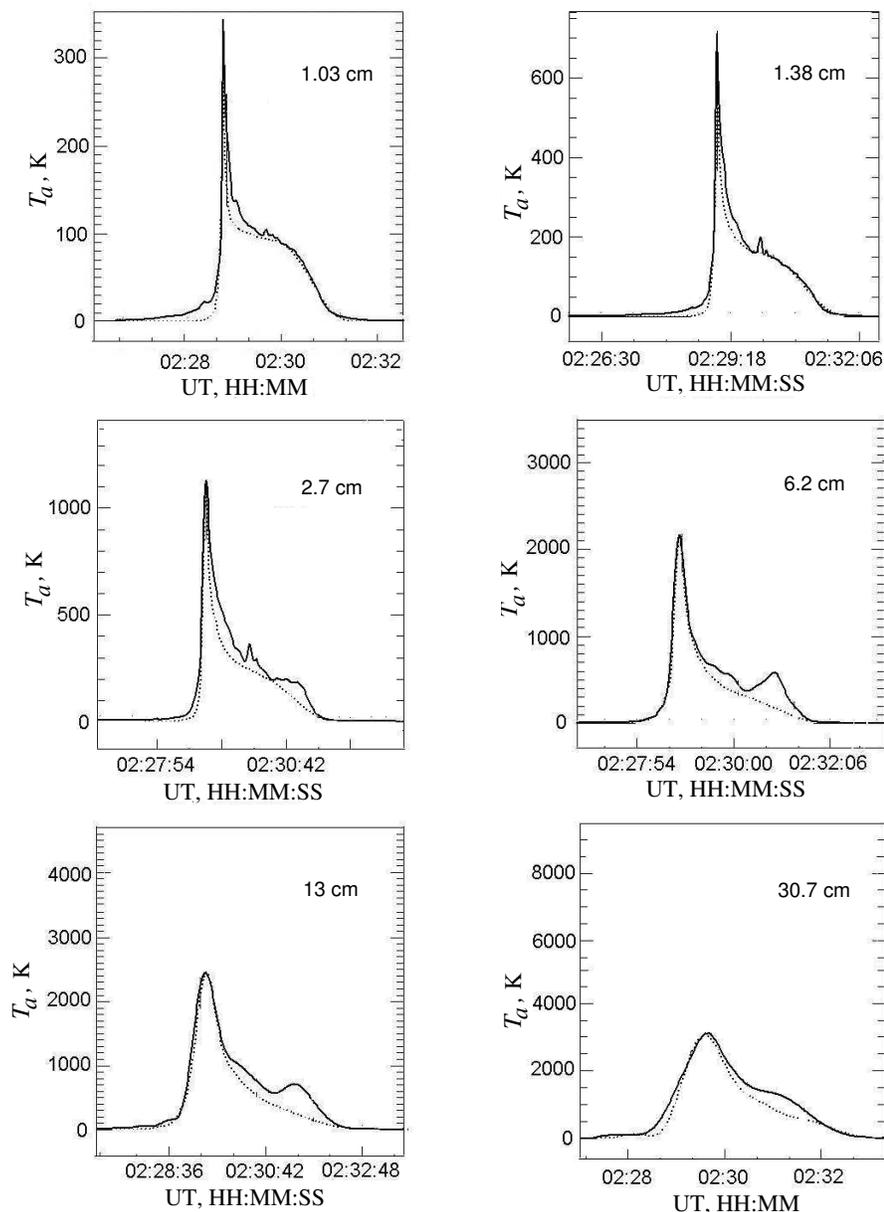
Яркостные температуры  $T_b$  атмосферы Солнца определяются для каждой заданной точки в картинной плоскости. До расстояний примерно  $1.5 R_{\odot}$  яркостные температуры  $T_b$  подбираются, а далее рассчитываются путем решения уравнения переноса с использованием уравнения Баумбаха—Аллена для определения электронной концентрации.

Как было отмечено в работе [3], математическая модель Солнца (Луны) считалась сферически симметричной. Яркостные температуры колец моделей Солнца и Луны можно задавать либо согласно литературным данным, либо подбором, либо расчётным методом, или комбинируя все перечисленные методы. Для Луны использованы данные, приведенные в [6], но на коротких волнах: 1.03 см и 1.38 см. Было задано несколько колец с подобранными яркостными температурами:

$$\begin{aligned} \lambda = 1.03 \text{ см}, \quad R_M &= (0.3, 0.9, 1.0), \\ T_b &= (100, 90, 30) \text{ К}; \\ \lambda = 1.38 \text{ см}, \quad R_M &= (0.2, 0.5, 0.9, 1.0), \\ T_b &= (220, 160, 150, 110) \text{ К}; \\ \lambda = (2.7-30.7) \text{ см}, \quad R_M(1) &= (0-0.9), \\ T_b(1) &= 220 \text{ К}; \\ R_M(2) &= 1.0, \\ T_b(2) &= 110 \text{ К}. \end{aligned}$$

Здесь  $R_M$  и  $T_b$  — радиус и яркостная температура Луны соответственно.

Для модели Солнца, как правило, яркостные температуры колец, расположенных до расстояний



**Рис. 1.** Модельная (пунктирная линия) и реальная (сплошная линия) затменные кривые радиоизлучения Солнца и Луны на волнах: 1.03, 1.38, 2.7, 6.2, 13, 30.7 см.

1.5–1.6  $R_{\odot}$  от центра оптического диска Солнца, подбирались, а далее рассчитывались, используя формулу Баумбаха–Аллена для определения электронной концентрации на заданных расстояниях в короне Солнца [7]:

$$n_e(r) = 10^8 \times (1.55 (r/R_{\odot})^{-6} + 2.99 (r/R_{\odot})^{-16}). \quad (2)$$

Здесь  $R_{\odot}$  — радиус оптического диска Солнца,  $r$  — расстояние от центра оптического диска Солнца до заданной точки. Далее делалось некоторое упрощение, согласно которому при условии малой оптической толщины яркостные температуры для

текущих точек по лучу зрения равны:

$$T_b(r1) = T_e \mu(r1) \Delta L. \quad (3)$$

Здесь  $T_e$  — электронная температура короны Солнца,  $\mu(r1)$  — коэффициент поглощения,  $\Delta L$  — элемент оптического пути по лучу зрения,  $r1$  — расстояние от центра Солнца до текущей точки по лучу зрения.

Расстояние по лучу зрения задавалось равным  $\pm 5 R_{\odot}$ . На волнах 1.03–6.2 см элемент оптического пути по лучу зрения составляет  $\Delta L = 2 \times 10^9$  см, а на волнах 13–30.7 см

$\Delta L = 7 \times 10^{10}$  см. Электронная температура короны принималась равной  $T_e = 1.4 \times 10^6$  К. В первом приближении яркостная температура  $T_b(r)$  для точки центра вертикальной ДНА приравнивалась сумме яркостных температур для текущих точек по лучу зрения:

$$T_b(r) = \sum T_b(r_1) \quad (4)$$

При необходимости, для улучшения модели эта температура может корректироваться подбором.

Таким образом рассчитывались яркостные температуры  $T_b(r)$  на расстояниях от  $1.5-1.6 R_\odot$  до  $2 R_\odot$  с шагом  $\Delta r = 2 \times 10^9$  см по радиусу Солнца в картинной плоскости.

На каждый текущий момент времени наблюдения, соответствующий заданному шагу  $\Delta r$ , рассчитывается яркостная температура для точки, совпадающей с центром вертикальной ДНА. Таким образом, для каждой волны наблюдения была сформирована система яркостных температур  $T_b$  и расстояний от 1 до  $2 R_\odot$ . Соответствующие этим яркостным температурам антенные температуры вычисляются путем выполнения процедуры антенного сглаживания вертикальной ДНА согласно уравнению (1). Эта процедура подробно описана в работе [3].

На втором этапе моделирования выполняется процедура сглаживания полученных антенных температур  $T_a(r/R_s)$  с помощью рассчитанной горизонтальной ДНА. Для завершения моделирования необходимо учесть переоблучение антенны при наблюдении методом “эстафеты” [3, 8, 9]. В результате моделирования были получены распределения яркостных температур полярной области Солнца с расстоянием от 1 до  $2 R_\odot$  от центра оптического диска Солнца на перечисленных выше длинах волн.

На Рис. 1 приведены модельные и реальные кривые записи радиоизлучения Луны и Солнца во время максимальной фазы солнечного затмения. Повышение яркости справа на реальных кривых записей затмения на более длинных волнах связано с радиоизлучением восходящей группы солнечных пятен в восточной части Солнца.

Как было сказано выше, для оценки корректности моделей необходимо сравнить вычисленные антенные температуры модели с антенными температурами, полученными из наблюдений. Сравнение реальных и модельных “затменных” кривых, приведенных на Рис. 1, демонстрирует хорошее согласие моделей с наблюдениями.

Значения яркостных температур для различных длин волн даны в Таблице 2. Распределение яркостных температур с расстоянием от центра оптического диска Солнца для длин волн наблюдений приведены на Рис. 2.

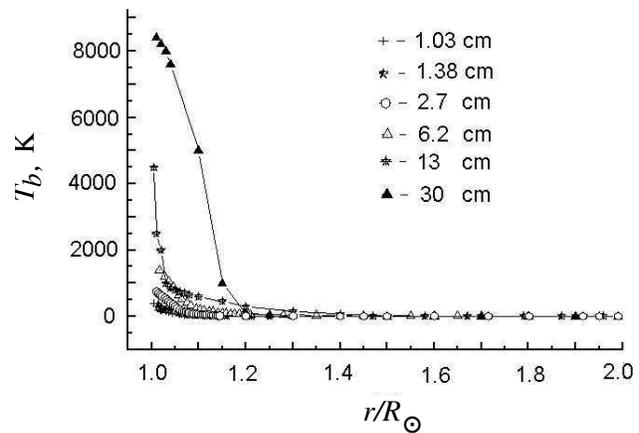


Рис. 2. Распределение яркостной температуры  $T_b$  с расстоянием от центра оптического диска Солнца ( $r/R_\odot$ ) в полярной корональной области Солнца на волнах: 1.03 см, 1.38 см, 2.7 см, 6 см, 13 см, 30.7 см.

### 3. ДИСКУССИЯ

Наблюдения выполнены во время максимальной фазы солнечного затмения 26 марта 2006 г. в период минимальной солнечной активности на нескольких волнах сантиметрового диапазона: 1.03, 1.38, 2.7, 6, 13, 30.7 см. Широкий диапазон длин волн и высокая чувствительность радиотелескопа РАТАН-600 позволили впервые определить в микроволновом диапазоне распределение яркостных температур в полярной области Солнца на расстояниях примерно от  $1.005 R_\odot$  до  $2 R_\odot$ .

В настоящей работе выполнено моделирование солнечного затмения с учетом необходимых уточняющих поправок в расчетах. В работе [3] предполагалось, что на волне 13 см в момент максимальной фазы затмения радиотелескоп регистрирует излучение Солнца и Луны на расстоянии  $1 R_\odot$  от центра оптического диска Солнца. Уточненное моделирование на волне 13 см показало, что взаимное положение ДНА и Солнца (Луны) таково, что антенна не принимает радиоизлучение Солнца на волне 13 см на расстоянии  $1 R_\odot$  от центра его оптического диска. На волне 13 см радиотелескоп регистрирует радиоизлучение Солнца, начиная с расстояния  $1.005 R_\odot$ . Также были уточнены размеры ДНА. Изменения размеров ДНА незначительны, поэтому они не влияют на результаты моделирования.

Хотя по сравнению с данными работы [3] максимальное значение яркостной температуры увеличилось с 30 000 К до 45 000 К, характер распределения  $T_b$  с расстоянием от центра Солнца сохранился. На интервале расстояний  $1.005-1.03 R_\odot$  наблюдается резкое падение яркостной температуры (Рис. 2), что согласуется с результатами [10]. Например, для Солнца,

на  $\lambda = 13$  см:  $T_b = 45 \times 10^3$  К на расстоянии  $r/R_\odot = 1.005$ , и  $T_b = 10^4$  К при  $r/R_\odot = 1.03$ . На  $\lambda = 30.7$  см:  $T_b = 84 \times 10^3$  К на расстоянии  $r/R_\odot = 1.01$ ,  $T_b = 50 \times 10^3$  К при  $r/R_\odot = 1.1$ , и  $T_b = 10^4$  К при  $r/R_\odot = 1.15$ . Такое резкое уменьшение яркостной температуры объясняется тем, что центр ДНА был наведён на область полярной корональной дыры.

На коротких длинах волн 1–2.7 см резкого уменьшения яркостной температуры на расстояниях от  $1.01 R_\odot$  до  $1.03 R_\odot$  не выявлено. Радиоизлучение на коротких волнах в основном возникает в верхней хромосфере и нижней короне, т.е. в областях, близких к лимбу Солнца. Отсутствие резкого уменьшения яркостной температуры на коротких волнах, вероятно, связано с влиянием хромосферы и близких к лимбу корональных петель. Моделирование затмения показало, что яркостные температуры, вычисленные для расстояний меньших  $1.5 R_\odot$  с использованием формулы Баумбаха–Аллена при определении электронной концентрации, слишком высоки для получения удовлетворительной модели. Вероятной причиной может быть то, что эта формула получена для усреднённой короны Солнца, по многочисленным наблюдениям, выполненным разными авторами в оптическом диапазоне длин волн. В нашем случае мы имеем дело с одновременными одноразовыми наблюдениями на нескольких длинах радиоволн при вполне определённой ситуации на Солнце в период минимума солнечной активности. При этом центр диаграммы направленности в момент максимальной фазы затмения был расположен в области полярной корональной дыры. Как показали расчёты, начиная с расстояний равных и больших примерно  $1.5 R_\odot$ , использование формулы Баумбаха–Аллена для вычисления электронной концентрации позволяет определить яркостные температуры, которые вполне удовлетворяют реальным наблюдениям на всех длинах волн. Начиная с расстояний

$1.6 R_\odot$ , антенные температуры, полученные как при моделировании, так и в наблюдениях, настолько малы, что радиоизлучение находится на уровне шумов. Более детальные сравнения распределений яркостных температур, полученных нами из модельных расчётов, с соответствующими данными, приведенными в литературе, предполагается сделать в отдельной работе.

#### 4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана методика построения модели радиоизлучения Солнца и Луны при наблюдении максимальной фазы ( $F = 0.998$ ) солнечного затмения 29 марта 2006 г. на северо-восточном секторе РАТАН-600 для широкого диапазона сантиметровых длин волн: 1.03, 1.38, 2.7, 6, 13, 30.7 см.

2. В рамках выбранной нами сферически симметричной математической модели Солнца и Луны в виде концентрических колец с равномерным распределением яркости внутри кольца достигается хорошее совпадение модели с реальной записью наблюдений солнечного затмения в широком диапазоне сантиметровых длин волн.

3. Определены яркостные температуры полярной области солнечной атмосферы на расстояниях  $r/R_\odot = 1.005$ –2.0 от центра оптического диска Солнца.

4. Выявлено резкое падение яркостной температуры на волнах 13 и 30.7 см по сравнению с ожидаемым в рамках принятой модели, что свидетельствует об особых физических параметрах полярной корональной дыры.

5. Формула Баумбаха–Аллена может быть использована в приведенной модели при определении яркостных температур радиоизлучения Солнца на волнах 1.03, 1.38, 2.7, 6, 13, 30.7 см, начиная с расстояний  $1.5$ – $1.6 R_\odot$  от центра оптического диска Солнца.

**Таблица 2.** Значения яркостных температур для различных длин волн

$\lambda = 1.03$ см, $R_M = (0.3, 0.9, 1.0)$ , $(T_b)_M = (100, 90, 30)$ К											
$r/R_\odot$	1.005	1.01	1.015	1.019	1.02	1.03	1.037	1.045	1.058	1.065	1.075
$T_b \times 10^4$ , К	0.4	0.3	0.21	0.16	0.15	0.12	0.1	0.08	0.05	0.04	0.03
$r/R_\odot$	1.086	1.094	1.103	1.112	1.122	1.131	1.14	1.15	1.16	1.21	1.25
$T_b \times 10^4$ , К	0.026	0.021	0.016	0.012	0.011	0.008	0.007	0.005	0.003	0.0029	0.0015
$r/R_\odot$	1.3	1.4	1.47	1.58	1.67	1.79	1.87	1.959			
$T_b \times 10^4$ , К	0.0008	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001			

Таблица 2. (Продолжение)

$\lambda = 1.38 \text{ см}, R_M = (0.2, 0.5, 0.9, 1.0), (T_b)_M = (200, 160, 150.0, 110.0) \text{ К}$											
$r/R_\odot$	1.015	1.019	1.02	1.03	1.037	1.045	1.058	1.065	1.075	1.086	1.094
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.36	0.264	0.25	0.214	0.179	0.143	0.093	0.071	0.057	0.05	0.043
$r/R_\odot$	1.103	1.112	1.122	1.131	1.14	1.15	1.18	1.2	1.25	1.3	1.4
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.036	0.028	0.021	0.019	0.014	0.012	0.008	0.006	0.004	0.0025	0.0015
$r/R_\odot$	1.47	1.58	1.67	1.79	1.87	1.959					
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.0006	0.0002	0.0001	0.00007	0.00004	0.00002					
$\lambda = 2.7 \text{ см}, R_M = (0.9, 1.0), (T_b)_M = (220.0, 110.0) \text{ К}$											
$r/R_\odot$	1.011	1.014	1.019	1.023	1.028	1.032	1.037	1.04	1.046	1.05	1.055
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.75	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
$r/R_\odot$	1.06	1.065	1.07	1.073	1.077	1.08	1.086	1.09	1.095	1.099	1.104
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.2	0.16	0.14	0.12	0.11	0.1	0.089	0.075	0.066	0.06	0.055
$r/R_\odot$	1.109	1.113	1.118	1.122	1.127	1.131	1.136	1.14	1.145	1.2	1.3
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.05	0.045	0.04	0.035	0.03	0.025	0.022	0.02	0.018	0.008	0.004
$r/R_\odot$	1.4	1.45	1.5	1.6	1.7	1.8	1.92	1.95	1.99		
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.003	0.0015	0.001	0.0005	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001		
$\lambda = 6.2 \text{ см}, R_M = (0.9, 1.0), (T_b)_M = (220.0, 110.0) \text{ К}$											
$r/R_\odot$	1.017	1.029	1.038	1.046	1.057	1.065	1.076	1.084	1.095	1.103	1.111
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	1.4	1.2	1.05	0.893	0.633	0.507	0.4	0.32	0.253	0.213	0.187
$r/R_\odot$	1.122	1.13	1.141	1.151	1.158	1.168	1.177	1.187	1.195	1.21	1.28
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.163	0.14	0.11	0.10	0.09	0.08	0.075	0.07	0.065	0.055	0.045
$r/R_\odot$	1.3	1.35	1.4	1.45	1.55	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.99
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.04	0.03	0.02	0.015	0.01	0.008	0.007	0.003	0.0012	0.0007	0.0004
$\lambda = 13 \text{ см}, R_M = (0.9, 1.0), (T_b)_M = (220.0, 110.0) \text{ К}$											
$r/R_\odot$	1.005	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.1	1.15
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	4.5	2.5	2.0	1.0	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65	0.59	0.45
$r/R_\odot$	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.99		
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.30	0.15	0.07	0.02	0.007	0.0025	0.0020	0.0015	0.001		
$\lambda = 30.7 \text{ см}, R_M = (0.9, 1.0), (T_b)_M = (220.0, 110.0) \text{ К}$											
$r/R_\odot$	1.01	1.02	1.03	1.04	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	8.4	8.2	8.0	7.6	5.0	1.0	0.005	0.004	0.001	0.005	0.002
$r/R_\odot$	1.6	1.7	1.8	1.9	1.99						
$T_b \times 10^4, \text{ К}$	0.002	0.001	0.0005	0.0002	0.00005						

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Г. Жеканису, Н. Нижельскому, Н. Бурсову, П. Цыбулёву, С. Тохчуковой за помощь в проведении и обработке наблюдений. Наблюдения на RATAN-600 проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракт 14.518.11.7054).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. M. Bogod, O. A. Golubchina, G. N. Zhekanis, et al., *Astrophysical Bulletin* **62**, 360 (2007).
2. O. A. Golubchina, V. M. Bogod, A. N. Korzhavin, et al., *Astrophysical Bulletin* **63**, 34 (2008).
3. O. A. Golubchina, A. N. Korzhavin, and S. Kh. Tokhchukova, *Astrophysical Bulletin* **66**, 488 (2011).
4. O. A. Голубчина и др., Исследования по геомагнетизму, аэронамии и физике Солнца **62**, 190, (1982).
5. O. A. Голубчина, Г. С. Голубчин, *Астрофизические Исследования (Известия САО)* **14**, 125 (1981).
6. В. В. Железняков, *Радиоизлучение Солнца и планет* (Наука, Москва, 1964).
7. В. В. Соболев, *Курс теоретической астрофизики* (Наука, Москва, 1967).
8. O. A. Голубчина, *Астрофизические исследования (Известия САО)* **21**, 75 (1986).
9. O. A. Голубчина, *Астрофизические исследования (Известия САО)* **21**, 85 (1986).
10. V. N. Borovik, M. S. Kurbanov, M. A. Livshits, and B. I. Ryabov, *Sov. Astron.*, **34**, 522 (1990).

**Distribution of Centimeter-Wave Brightness Temperature of Solar Polar Region**

**O. A. Golubchina, A. N. Korzhavin**

The brightness temperature distributions of the solar atmosphere in the polar region at the distances from one to two solar radii during the solar activity minimum are reported. Observations of the maximum phase of the solar eclipse of March 29, 2006 were carried out simultaneously on two sectors of the RATAN-600 radio telescope over a wide range of centimeter waves, 1–31 cm. This study is based on a comparison of models and observations carried out on the northeastern sector of RATAN-600.

Keywords: *Sun: corona—Sun: atmosphere—Sun: radio radiation*