

УДК 523.987-77

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОШИРОТНОГО ПРОТУБЕРАНЦА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ САНТИМЕТРОВЫХ ДЛИН ВОЛН

© 2008 О. А. Голубчина¹, В. М. Богод¹, А. Н. Коржавин¹, Н. Н. Бурсов², С. Х. Тохчукова¹

¹Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории, Санкт-Петербург

²Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 9 августа 2007 г.; принята в печать 7 ноября 2007 г.

Обсуждаются результаты наблюдений радиоизлучения высокоширотного протуберанца, расположенного в NE-части лимба Солнца. Наблюдения были проведены на Северо-восточном секторе и Южном секторе с перископом на РАТАН-600 во время максимальной фазы (0.998) солнечного затмения 29 марта 2006 г. Исследование протуберанца выполнено в диапазоне длин волн $1.03 \div 5.0$ см.

Отсутствие фоновой засветки от диска Солнца позволило исследовать параметры радиоизлучения высокоширотного протуберанца ($\phi = 45^\circ$, NE-лимб Солнца). Наблюдение солнечного затмения в момент максимальной фазы позволило впервые зарегистрировать очень малые потоки радиоизлучения протуберанца, составляющие $0.05 \div 0.01$ с.е.п. в диапазоне длин волн от 1.84 см до 5.0 см. Положение максимума его радиоизлучения по данным наблюдений на обоих секторах совпадает с вершиной протуберанца на изображении Солнца в линии He II 304 Å (SOHO, $\phi = 45^\circ$, NE-лимб Солнца).

Степень поляризации составляет $P \approx 7 \div 16\%$ на длинах волн $1.88 \div 5.0$ см соответственно. Поляризованное излучение в рамках рассматриваемого теплового механизма излучения соответствует напряжённости магнитного поля в области протуберанца $H \cong 550 \div 100$ Гс.

1. ВВЕДЕНИЕ

К концу XX века с помощью наблюдений на крупных оптических телескопах в линии H α , на спутниках в УФ и в рентгеновском диапазонах была выявлена тонкая структура волокон, хромосферных волоконных каналов, сложные комплексы корональных аркад над волокнами, а также получены некоторые характеристики магнитной топологии среды, окружающей волокна [1–12]. Отсутствие значительного количества исследований радиоизлучения протуберанцев объясняется тем, в частности, что они являются источниками слабого радиоизлучения, которое почти невозможно наблюдать на фоне открытого Солнца [13–17]. Недостаточное пространственное разрешение радиотелескопов является значительным препятствием для исследования тонкой структуры волокон и протуберанцев в радиодиапазоне. Следует заметить, что как правило наблюдения на радиотелескопах проводятся на 1–3 длинах волн, что сужает возможности изучения физических характеристик исследуемого объекта. Радиотелескоп РАТАН-600 позволяет исследовать такие слабые объекты, как протуберанцы на высотах переходной области хромосфера-корона в широком диапазоне длин волн от 1 см до 30 см как в канале интенсивности, так и в канале поляризации. Наблюдение максимальной фазы солнечного затмения 29

марта 2006 года на радиотелескопе РАТАН-600 в сантиметровом диапазоне длин волн $1.03 \div 30$ см позволило исследовать высокоширотный протуберанец, расположенный на северо-восточном лимбе Солнца, и получить некоторые физические параметры его радиоизлучения. Использовался метод прохождения наблюдаемого источника через неподвижную диаграмму направленности радиотелескопа. Благодаря гибкой многофункциональности РАТАН-600 наблюдения проводились одновременно на Северо-восточном секторе и Южном секторе с перископом с использованием всей имеющейся аппаратуры на соответствующих вторичных облучателях. При этом наблюдение на Северо-восточном секторе оказалось возможным только благодаря использованию специального метода “эстафеты” [18], который позволяет наблюдать космический источник практически в течение всего времени пребывания его над горизонтом (рис. 1). В частности, метод “эстафеты” ранее применялся во время наблюдения максимальной фазы солнечного затмения 31 июля 1981 г. [19]. Особенностью полученных данных является то, что они свободны от засветки, обусловленной рассеянным радиоизлучением диска Солнца, что обычно характерно для внезатменных наблюдений. В результате удалось исследовать чрезвычайно слабый радиосточник

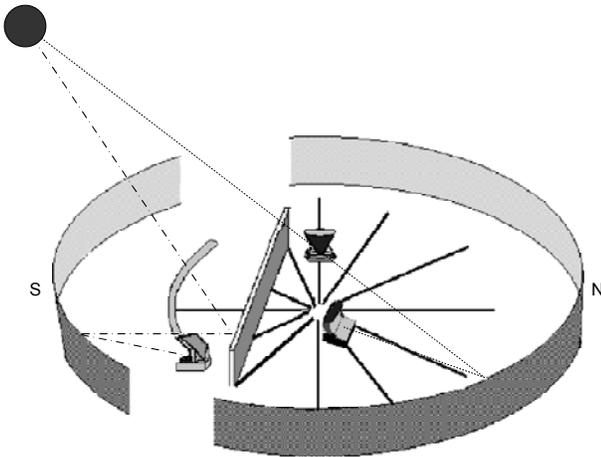


Рис. 1. Схема хода луча Солнца при наблюдении солнечного затмения 29 марта 2006 г. на Южном секторе с перископом (штрих-пунктирная линия) и при наблюдении методом “эстафеты” на Северо-восточном секторе (сплошная линия) РАТАН-600.

— протуберанец, поток от которого составил $0.05 \div 0.01$ с.е.п.

2. МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ ОБРАБОТКИ

Как отмечено выше, отличительной особенностью наблюдения солнечного затмения 29 марта 2006 г. на радиотелескопе РАТАН-600 является проведение одновременных наблюдений на двух секторах: Южном с перископом и Северо-восточном — в диапазоне длин волн $1.03 \div 30$ см. Наблюдения выполнены и обработаны двумя различными и независимыми методами, что позволило не только дополнять, но иногда и контролировать полученные результаты.

При наблюдении на Северо-восточном секторе расчетный момент прохождения центра оптического диска Солнца через центр диаграммы направленности антенны близок к моменту максимальной фазы солнечного затмения: UT=11 ч 17 мин 0.25 с. Максимальная фаза солнечного затмения равнялась 0.998, т. е. открытой оставалось примерно 0.2% от площади оптического диска Солнца в районе его северо-восточной части. Высота Солнца в момент наблюдения равнялась $41^\circ 52.2'$, его азимут — $41^\circ 30.6'$. Positional angle of observation $q = 28.5^\circ$.

При наблюдении на Северо-восточном секторе использовались элементы главного отражателя РАТАН-600, расположенные на стыке двух секторов радиотелескопа — Северного и Восточного. Для устранения межсекторных нестыковок поверхности и общего улучшения используемой

части главного отражателя в автоматическом режиме наблюдений [20] предварительно был выполнен комплекс юстировочных работ: геодезическая юстировка используемых в программе элементов антенны и их привязка к радиотехнической юстировке Северного сектора.

При наблюдении на Северо-восточном секторе азимут ориентации облучателя был равен $A_{\text{обл.}} = 210^\circ$ к востоку от меридиана места. Смещение центра ножевой диаграммы направленности антенны составляло по высоте $\Delta h = +15$ угл. мин к северному полюсу Солнца относительно центра оптического диска Солнца. Рабочая часть отражающей поверхности главного зеркала антенны состояла из 33-х отражающих элементов. Пространственное разрешение антенны по уровню половинной мощности равнялось ρ (угл. мин) $= 0.5 \times 8.1$ на волне $\lambda = 1.03$ см и соответственно ρ (угл. мин) $= 15.1 \times 123.9$ на волне $\lambda = 31.2$ см. Наблюдения на Северо-восточном секторе выполнялись в канале интенсивности на восьми длинах волн: 1.03, 1.38, 2.7, 3.9, 6.2, 6.3, 13, 30 см (рис. 1, рис. 2а).

При наблюдении на Южном секторе с перископом (время наблюдения UT=11 ч 16 мин 42.7 с) азимут ориентации вторичного отражателя был равен $A_{\text{обл.}} = 29^\circ$ к востоку от меридиана места (рис. 1). Следует подчеркнуть, что позиционный угол при наблюдении на Южном секторе ($q = -23.5^\circ$) отличался от позиционного угла наблюдений на Северо-восточном секторе. Пространственное разрешение антенны по уровню половинной мощности менялось от ρ (угл. сек.) $= 17.5 \times 13$ на волне $\lambda = 1.84$ см до ρ (угл. сек.) $= 47 \times 34.4$ на $\lambda = 5.02$ см. Центр диаграммы направленности антенны был смещен по высоте относительно центра оптического диска Солнца на $\Delta h = +22$ угл. мин к северному полюсу Солнца. Многочастотные ($16 \div 6$ ГГц, частотное разрешение 1%, 56 каналов) наблюдения были выполнены с помощью панорамного спектр-анализатора в диапазоне длин волн $1.8 \div 5.0$ см (рис. 2 б) и в канале интенсивности, и в канале поляризации.

При совмещении записей на различных волнах учитывались задержки по времени, вызванные выносами волноводов из фокуса антенной системы вдоль фокальной линии (в фокусе был установлен волновод на $\lambda = 1.38$ см). Кроме того, наблюдения на Северо-восточном секторе РАТАН-600 проводятся по звездному времени. Поэтому при обработке наблюдений на этом секторе вносится поправка к расчетному моменту прохождения Солнца или Луны через центр диаграммы направленности антенны, которая вычисляется по формуле:

$$\Delta T^* = \frac{[(\arctan(a/R) \times 3438 \times 60)]}{[15 \cos \delta \cos q \times (1 - V\alpha)]}, \quad (1)$$

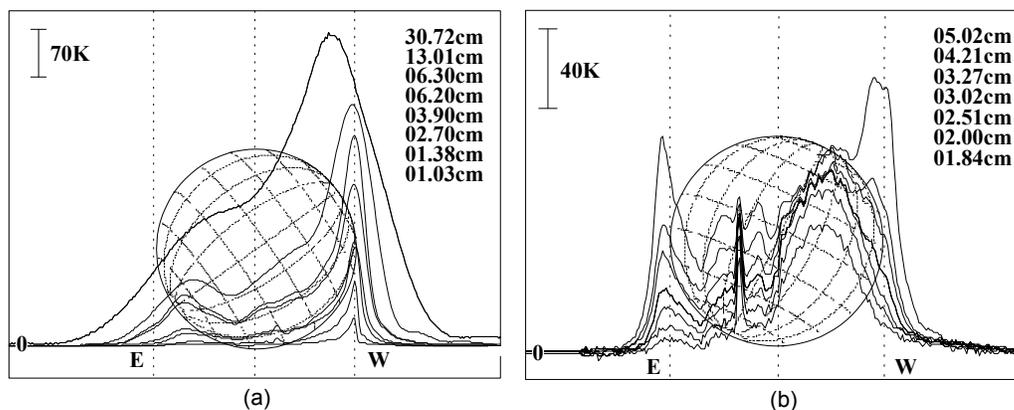


Рис. 2. Копии записей наблюдения солнечного затмения в канале интенсивности после вычета составляющей радиоизлучения Луны и гелиографическая сетка Солнца на момент наблюдения: (а) на Северо-восточном секторе, λ (см) = $1.03 \div 30.72$, (б) на Южном секторе, λ (см) = $1.84 \div 5.02$. (На рисунках указаны длины волн наблюдений. Большая по амплитуде кривая соответствует наблюдению на более длинной волне. Масштаб значений по вертикальной оси — антенная температура в градусах Кельвина — отображен на рисунках вертикальными отрезками).

где a — вынос волновода из фокуса антенной системы (мм), R — расстояние от поверхности главного зеркала до фокуса антенной системы ($R = R_{max} - \Delta R - r_b$), $R_{max} = 288460$ мм — радиус максимальной окружности антенны, $\Delta R = 950$ мм — конструктивно допустимое радиальное перемещение отражающего элемента, r_b — расстояние от центра круга до фокуса антенной системы, δ , q , $V\alpha$ — склонение, позиционный угол, часовое изменение прямого восхождения Солнца или Луны. Соответствующие поправки к расчетному моменту времени составляли от нескольких секунд до десятков секунд. Необходимая подобная процедура была выполнена и при обработке наблюдений, полученных на Южном секторе с перископом.

Для выделения источников солнечного радиоизлучения из записей, полученных во время затмения, использовались наблюдения радиоизлучения Луны, выполненные 28 марта 2006 г. на обоих секторах РАТАН-600. Наблюдения были проведены в условиях, аналогичных условиям наблюдения максимальной фазы затмения Солнца: вторичный облучатель устанавливался в том же азимуте, центр диаграммы направленности антенны имел тот же вынос по высоте (Δh), азимут наблюдения Луны был равен азимуту Солнца в момент наблюдения затмения. А для определения потока от источника протуберанца по данным Северо-восточного сектора в качестве опорного источника использовались наблюдения радиоизлучения Луны 30 марта 2006 г.

3. ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО РАДИОИСТОЧНИКА С ПРОТУБЕРАНЦЕМ НА СОЛНЦЕ

Отождествление источников радиоизлучения на лимбе Солнца проводилось путем сопоставления

рассматриваемой кривой записи радиоизлучения открытой части Солнца во время затмения и изображения Солнца в ультрафиолете по данным SOHO (He II 304 Å — однократно ионизованный гелий; $T=60000-80000$ К). Изображение получено на момент UT=09:15 29 марта 2006 г., наиболее близкий к моменту наших наблюдений солнечного затмения. На этом изображении виден протуберанец, который отождествляется с исследуемым радиоисточником как по данным наблюдений на Северо-восточном секторе (рис. 3), так и по данным наблюдений на Южном секторе РАТАН-600. Определено, что широта источника, отождествленного с протуберанцем на северо-восточном лимбе Солнца, $\varphi = 45^\circ$. В ультрафиолетовом диапазоне 29 марта 2006 г. протуберанец имеет клинообразную форму с небольшим наклоном к восточному лимбу Солнца (рис. 4а). На изображении 30 марта 2006 г. видно, что исследуемый протуберанец соединен аркадами петель с другим протуберанцем, расположенным на лимбе несколько восточнее (рис. 4б).

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА, ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПРОТУБЕРАНЦА И НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В НЕМ

Радиоизлучение открытой части Солнца определялось вычитанием радиоизлучения Луны (28.03.06) из суммарного радиоизлучения Солнца и Луны во время максимальной фазы затмения 29 марта 2006 г. Записи радиоизлучения Луны (28.03.06) вписывались в записи потока во время затмения путем совмещения расчетного момента прохождения центра оптического диска Луны через

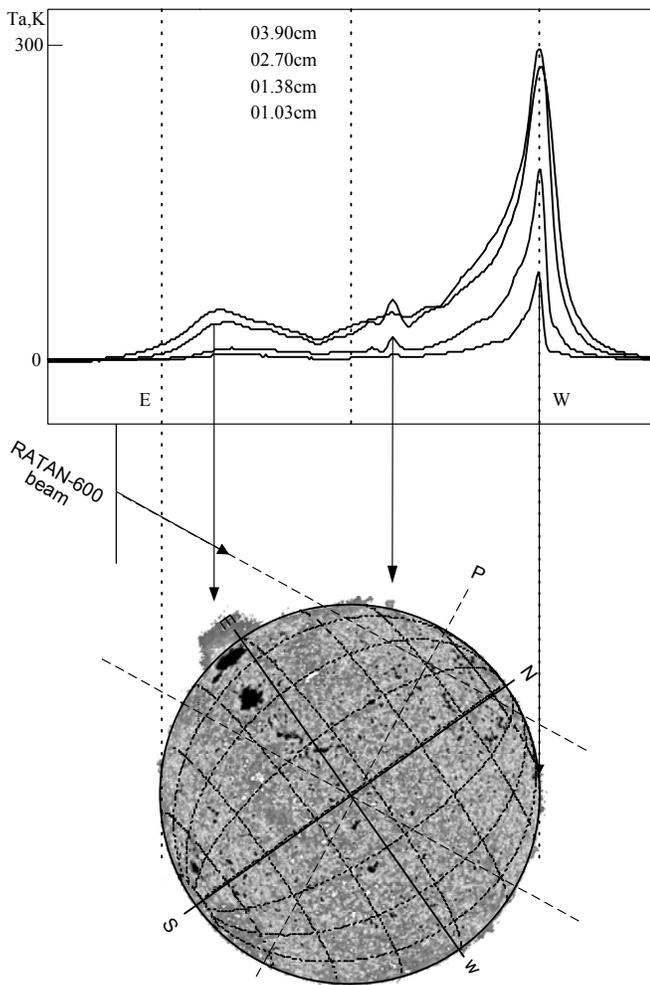


Рис. 3. Записи кривых солнечного затмения в канале интенсивности на ряде волн при наблюдении на Северо-восточном секторе и изображение Солнца (He II 304 Å, SOHO) с совмещенной гелиографической сеткой. Средняя стрелка указывает положение исследуемого протуберанца.

центр диаграммы направленности антенны с расчетным моментом наблюдения максимальной фазы затмения (рис. 5). Полученная разность представляет собой запись радиоизлучения открытой части Солнца в момент максимальной фазы затмения (рис. 3).

Для выделения источников радиоизлучения на открытой части Солнца при обработке наблюдений солнечного затмения на Южном секторе с перископом использовалась штатная программа “WorkScan” [21]. Для определения абсолютных величин значений потоков от протуберанца по данным наблюдений на Северо-восточном секторе в качестве опорного источника использовалось радиоизлучение Луны. Наблюдение полного потока Луны выполнено 30 марта 2006 г. в условиях, аналогичных условиям наблюдения затмения, но без смещения центра диаграммы направленности

Таблица. Потоки радиоизлучения Луны с учетом вертикального размера диаграммы направленности антенны (потоки F приведены в солнечных единицах потока, с.е.п.)

λ (см)	1.03	1.38	2.7	3.9
F (с.е.п.)	10.0	7.54	3.82	2.1

антенны относительно центра оптического диска Луны. В качестве калибровки принимаемого космического сигнала на Южном секторе использовался сигнал от генератора шума (ГШ).

Полагая яркостную температуру Луны $T_b = 215$ К [22], мы вычислили по закону Релея-Джинса плотности потоков радиоизлучения Луны для каждой длины волны наблюдения. В таблице представлены значения потоков радиоизлучения Луны на разных длинах волн. Эти потоки вычислены с учетом вертикальной диаграммы направленности радиотелескопа при наблюдении на Северо-восточном секторе. Таким образом, зная рассчитанные величины потоков Луны и учитывая вертикальный размер диаграммы направленности антенны, мы получили зависимость площади под кривой записи радиоизлучения Луны от принимаемого потока. Эта зависимость была использована для определения потоков радиоизлучения протуберанца по данным наблюдений солнечного затмения на Северо-восточном секторе РАТАН-600:

$$F_p = (S_p \cdot F_m) / S_m, \quad (2)$$

здесь F_p — поток радиоизлучения протуберанца, S_p — площадь под кривой записи радиоизлучения протуберанца, F_m — поток радиоизлучения Луны, S_m — площадь под кривой радиоизлучения Луны. Спектр потока радиоизлучения протуберанца по результатам наблюдений на Южном и Северо-восточном секторах приведен на рис. 6а. Вид спектра указывает на тепловой механизм излучения.

По данным наблюдений на Южном секторе с перископом были определены угловые размеры протуберанца, которые оказались равными ~ 30 угл. сек. в диапазоне длин волн $1.84 \div 4.52$ см. Угловой размер протуберанца по наблюдениям на Северо-восточном секторе определить не удалось из-за более широкой диаграммы направленности телескопа.

Зная величины потоков и угловые размеры, мы вычислили яркостные температуры протуберанца для вышеуказанного интервала длин волн, $T_b = 4500 \div 9500$ К. Спектр яркостной температуры по данным наблюдений на Южном секторе с перископом приведён на рис. 6б.

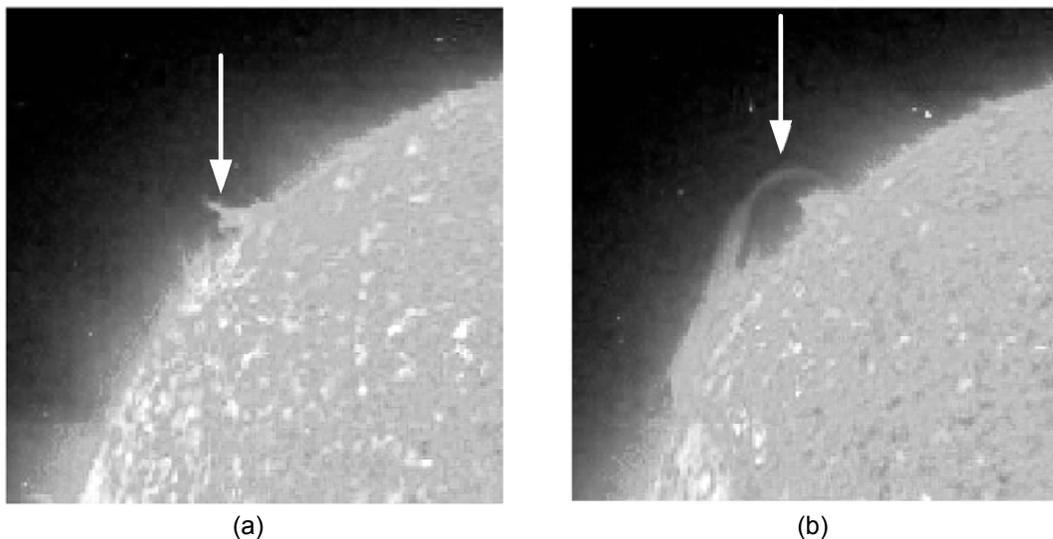


Рис. 4. (а) Изображение Солнца в ультрафиолете 29.03.06 (SOHO, UV, He II 304); (б) изображение Солнца в ультрафиолете 30.03.06 (SOHO, UV, He II 304). Стрелкой указано положение исследуемого протуберанца.

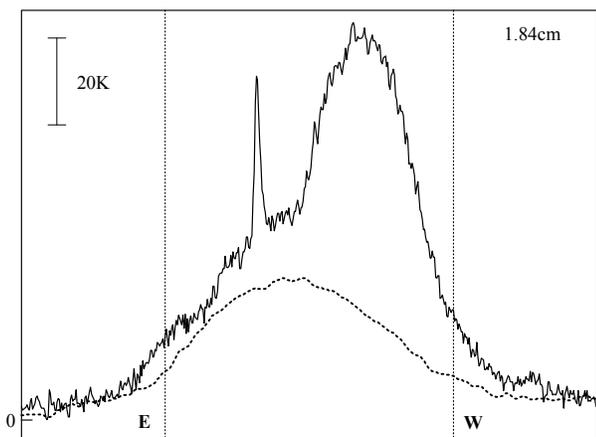


Рис. 5. Копия записи кривой затмения Солнца и вписанной кривой радиоизлучения Луны на $\lambda = 1.84$ см (Южный сектор РАТАН-600). Масштаб вертикальной оси — антенной температуры в градусах Кельвина — обозначен вертикальным отрезком.

При наблюдении на Южном секторе с перископом кроме интенсивности радиоизлучения регистрировалось поляризованное по кругу радиоизлучение (рис. 7). Степень круговой поляризации рассчитана по формуле:

$$P\% = [(I_L - I_R)/(I_L + I_R)] \times 10^2 \quad (3)$$

и для данных наблюдений на $\lambda = 1.8 \div 5.02$ см оказалась равной $P = 7 \div 16\%$ соответственно. (I_R, I_L) — право- и левополяризованная компоненты радиоизлучения [21].

В рамках теплового механизма излучения напряженность магнитного поля определяется по

формуле [23]:

$$H = 107 \times P/(n \times \lambda), \quad (4)$$

где n — спектральный индекс. В данном случае $n \cong 1$, $\lambda = 2 \div 5$ см, $P = 7 \div 16\%$ (рис. 8а). Соответствующая величина напряженности магнитного поля равна $H \cong 550 \div 100$ Гс для $\lambda = 1.8 \div 5.02$ см (рис. 8б).

5. ДИСКУССИЯ

Найденное из наблюдений изменение потока радиоизлучения протуберанца с длиной волны представлено на рис. 8а. Потоки, полученные на близких длинах волн на Северо-восточном и Южном секторах РАТАН-600, согласуются с точностью до сотых долей солнечной единицы потока. Величины измеренных потоков радиоизлучения протуберанца на волнах $1.38 \div 5.0$ см равны соответственно $F(\lambda) = 0.05 \div 0.01$ с.е.п. Регистрация столь малых потоков источников радиоизлучения на лимбе Солнца стала возможной только благодаря покрытию Луной 99.8% поверхности диска Солнца в момент максимальной фазы солнечного затмения. Полученный спектр протуберанца $F(\lambda)$ демонстрирует уменьшение потока с длиной волны (рис. 8а), что указывает на тепловой механизм излучения. Средний спектральный индекс $n \cong 1$. Начиная примерно с $\lambda = 4.5$ см, яркостная температура источника радиоизлучения $T_b \cong \text{const}$, что характерно для оптически толстого слоя ($\tau \gg 1$). Учитывая это и зная полученную из наблюдений яркостную температуру радиоизлучения протуберанца на $\lambda = 4.5$ см, равную $T_b = 9500$ К, находим кинетическую температуру $T_e = T_b = 9500$ К.

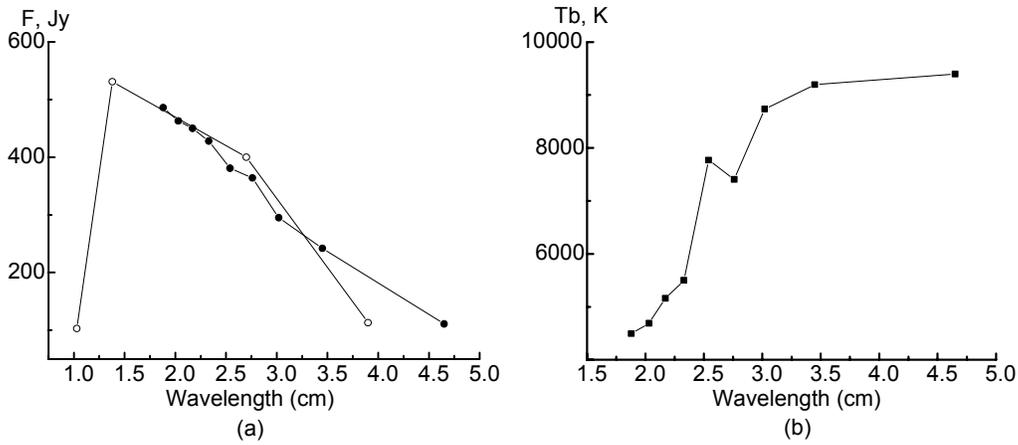


Рис. 6. (а) Спектры потоков F (Jy) радиоизлучения протуберанца по данным наблюдений на Южном (●) и Северо-восточном секторах (○) РАТАН-600; (б) спектр яркостных температур T_b по данным наблюдений на Южном секторе. (Каждая точка графика соответствует значению, полученному после осреднения данных по восьми соседним каналам радиометра).

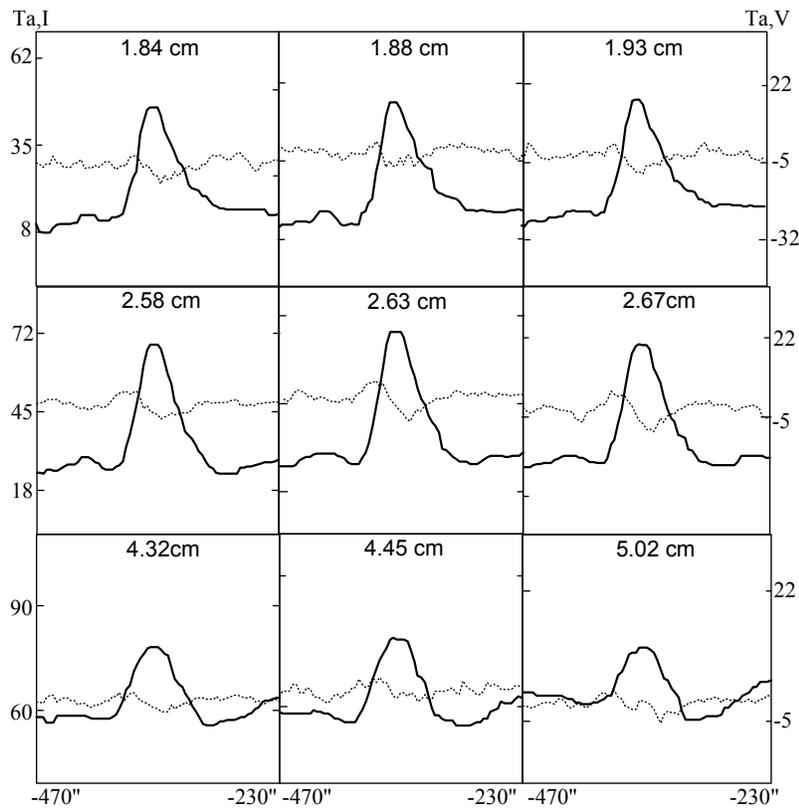


Рис. 7. Фрагменты записей интенсивности (I, сплошные линии) и поляризации (V, пунктирные линии) радиоизлучения протуберанца на ряде волн. По оси ординат на каждом рисунке отложены значения антенной температуры в градусах Кельвина, слева I, справа V.

Полученная из наблюдений на волне 1.88 см яркостная температура равна 4500 К. Как следует из графика (рис. 6а), на этой волне протуберанец полупрозрачен, поэтому $T_b = T_e \times (1 - e^{-\tau})$, оптическая глубина излучающей среды протуберанца на волне 1.88 см равна $\tau=0.64$. Известно, что

коэффициент поглощения $\mu = \tau \times L^{-1}$. Здесь L — толщина излучающего слоя. С другой стороны,

$$\mu = 0.19n_e^2 T_e^{-3/2} \nu^{-2}, \quad (5)$$

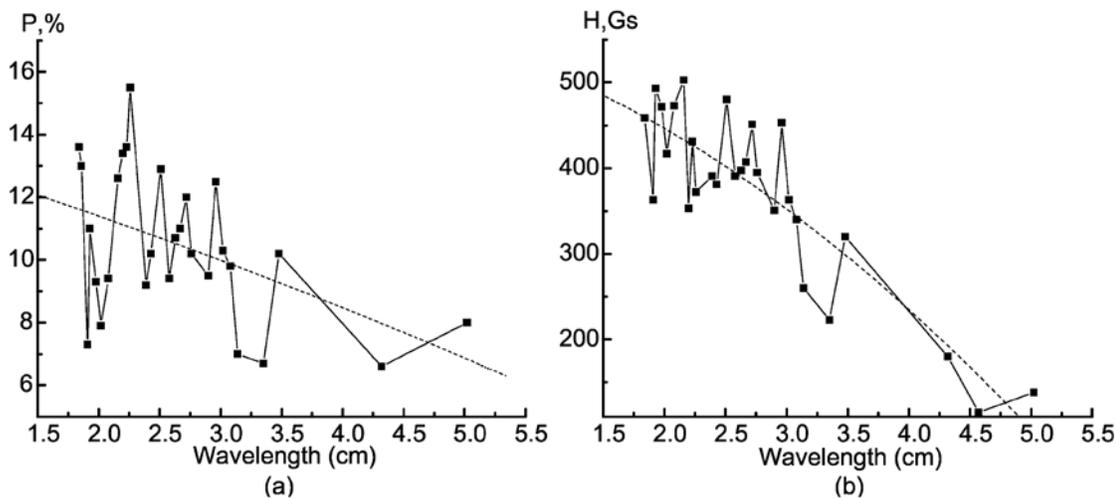


Рис. 8. (а) Изменение степени поляризации радиоизлучения протуберанца с длиной волны. (б) Изменение напряженности магнитного поля радиоизлучения протуберанца с длиной волны. Интерполяция проведена методом наименьших квадратов с использованием полинома второй степени)

где n_e — электронная плотность, T_e — кинетическая температура, ν — частота радиоизлучения. Предполагая, что протуберанец имеет симметричную форму, можно оценить его видимый размер ($26.7''$), что дает $L \cong 2 \times 10^4$ км. Приравнивая оба выражения для μ , находим электронную плотность наблюдаемого протуберанца $n_e \approx 0.6 \times 10^9$ см $^{-3}$. Полученные физические характеристики согласуются с условиями в холодном волокне, находящемся в короне.

Обращает на себя внимание значительное уменьшение потока протуберанца на волне 1.03 см (рис. 6а). Подобная ситуация сложилась из-за выноса волновода $\lambda=1.03$ см из фокуса на 386.5 мм к западу. Вследствие этого прохождение источника через центр диаграммы направленности антенны произошло на 21.5 сек раньше момента максимальной фазы затмения, в момент наблюдения большая часть протуберанца была закрыта Луной. Что касается величин яркостных температур $T_b=4500 \div 9500$ К, то они хорошо согласуются с ранее опубликованными данными других авторов [9, 13, 15]. Получены высокая степень круговой поляризации $P\%=7 \div 16$ и напряженность магнитного поля, равная нескольким сотням гауссов на $\lambda = 1.8 \div 5.02$ см. Наблюдения указывают на то, что спектральный индекс в области длинных волн меньше единицы, однако точность наших наблюдений не позволяет нам определить его более точно. Поэтому, полагая $p=1$, мы занижаем оценки магнитного поля на этих волнах (рис. 8б). На рис. 7 на ряде длин волн видна некоторая биполярность

поляризованного радиоизлучения протуберанца. Мы не можем полностью исключить присутствие паразитного сигнала. Согласно нашим расчетам, степень круговой поляризации паразитного сигнала может составить не более 1–3 процентов. Однако поскольку степень поляризации определялась как отношение площади под кривой записи сигнала поляризованного излучения к площади под кривой сигнала неполяризованного излучения, а не отношение сигналов в отдельных точках соответствующих кривых, то это существенно уменьшит влияние паразитной поляризации. При этом мы несколько занижаем степень поляризации, а следовательно, и занижаем оценку величины напряженности магнитного поля. Мы не исследуем структуру магнитного поля, а поэтому и не обсуждаем видимую биполярность магнитного поля на некоторых длинах волн. Напряженность магнитного поля, по данным авторов [2, 3, 6, 13], равна $H \cong (5 \div 40)$ Гс. Однако, согласно работам [4, 10, 11], она значительно больше. Так, в работе [10] указано, что для некоторых локализованных мест в протуберанце $H \cong 70$ Гс, а в работе [11] приводится величина напряженности магнитного поля, которая в отдельных местах протуберанца достигает $H \cong 400$ Гс. В связи с этим вопрос о величине напряженности магнитного поля в области протуберанца в радиодиапазоне требует дальнейшего исследования.

6. ВЫВОДЫ

По данным наблюдений солнечного затмения 29 марта 2006 г. на Северо-восточном и Южном сек-

торах РАТАН-600 в диапазоне длин волн $1.03 \div 5.0$ см удалось исследовать радиоизлучение протуберанца, расположенного в северо-восточной части лимба Солнца ($\varphi=45^\circ$).

Получены следующие результаты:

1. Исследуемый радиоисточник уверенно отождествлён с высокоширотным протуберанцем ($\varphi=45^\circ$, NE-лима Солнца) в ультрафиолетовом излучении Солнца (He II 304 Å, SOHO).
2. Зарегистрировано поляризованное радиоизлучение протуберанца. Вычислена степень круговой поляризации радиоизлучения протуберанца на длинах волн $1.88 \div 5.0$ см, $P \approx 7 \div 16\%$. Соответствующая величина напряженности магнитного поля в протуберанце составляет $H \approx 550 \div 100$ Гс.
3. Найденные угловые размеры протуберанца в диапазоне длин волн $1.88 \div 4.32$ см равны ≈ 30 угл. сек., а его яркостные температуры $T_b = (4500 \div 9500)$ К.
4. Зарегистрированные потоки радиоизлучения протуберанца равны: $F(\lambda) = 0.05 \div 0.01$ с.е.п. в диапазоне длин волн $1.38 \div 5.0$ см. Согласно полученной зависимости потока от длины волны $F(\lambda)$, механизм радиоизлучения протуберанца — тепловой.
5. Полученная из наблюдений на см-радиоволнах электронная плотность в протуберанце $n_e \approx 0.6 \times 10^9$ см $^{-3}$.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят коллектив сотрудников радиотелескопа РАТАН-600, возглавляемый академиком Парийским Ю. Н. и Мингалиевым М. Г., за помощь в проведении наблюдения солнечного затмения; Жеканиса Г. В. — за обеспечение бесперебойной работы антенны в автоматическом режиме, Нижельского Н. А. и Цыбулёва П. Г. — за предоставленную возможность наблюдений на высокочувствительной аппаратуре и участие в наблюдениях солнечного затмения, группу геодезистов РАТАН-600, подготовившую радиотелескоп к наблюдениям во внештатных режимах, а также сотрудников группы Радиоизлучения Солнца. Авторы благодарят инструментальные группы проектов SOHO/EIT, чьи данные использованы в нашей работе. Работа поддержана грантами РФФИ №№05-02-16228, 06-02-17357.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Jing, V. Yurchishyn, G. Yang, et.al., *Astrophys. J.* **614**, L1054-L1062 (2004).
2. O. Engvold, *Sol. Phys.* **49**, 283 (1976).
3. I. Kim, *Lectures Notes* **363**, 49 (1990).
4. V. A. Kotov, *Izv. Krymsk. Astrofiz. Obz.* **39**, 276 (1969).
5. J. Kijpers, *Astrophys. J.* **489**, L201 (1997).
6. L. Leroy, V. Bommier, and S. Sahal-Brechot, *Sol. Phys.* **83**, 135 (1982).
7. Y. Lin, O. Engvold', L. Voort, et al., *Sol. Phys.* **226**, 239 (2005).
8. S. F. Martin, *Sol. Phys.* **182**, 107 (1998).
9. B. Rompolt, "Dynamics of Prominences" in *IAU Colloquium No.117, Hvar, Yugoslavia, 25-29 September 1989* (1989).
10. R. Casini, A. Lopez Ariste, S. Tomczyk, and B. W. Lites, *Astrophys. J.* **598**, L67 (2003).
11. Г. Я. Смольков, Б. Ромпoldt, В.С. Башкирцев, Г. Н. Зубкова, *Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца* **20**, 242 (1971).
12. J. Chae, Y. Moon, and Y. Park, *Astrophys. J.* **626**, 574 (2005).
13. Г. П. Апушкинский, Н. С. Нестеров, Н. А. Топчило, А. Н. Цыганов, *Астрон. журн.* **67**, 1053 (1990).
14. V. M. Bogod, A. S. Grebinski, and V. I. Garaimov, *Sol. Phys.* **182**, 139 (1998).
15. M. R. Kundu, S. M. White, V. I. Garaimov, et al., *Astrophys. J.* **607**, 530 (2004).
16. C. Marque, *Astrophys. J.* **602**, L1037 (2004).
17. A. M. Uralov, S. V. Lesovoi, V. G. Zandanov, and V. V. Grechnev, *Sol. Phys.* **208**, 69 (2002).
18. О. А. Голубчина, Г. С. Голубчин, *Астрофиз. исслед. (Изв.САО)* **14**, 125 (1981).
19. О. А. Голубчина, В. М. Богод, Г. С. Голубчин и др., *Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца* **62**, 190 (1982).
20. G. V. Zhekanis, V. K. Kononov, M. G. Mingaliev, and P. G. Tsybulev, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **55**, 133 (2003).
21. В. И. Гараймов, *Препринт No.127 (Нижний Архыз, САО РАН, 1997)*.
22. В. С. Троицкий, Т. В. Тихонова, *Радиофизика (Изв. ВУЗ)* **13** (9), 1274 (1970).
23. G. B. Gelfreikh and K. Shibasaki, "Magnetic Fields and Solar Processes", in *Proceeding 9th European Meeting on Solar Physics, Florence, Italy, 12-18 September 1999* (ESA SP-448, December 1999), p. 1339.

CENTIMETER-WAVE RADIO EMISSION OF A HIGH-LATITUDE PROMINENCE**O. A. Golubchina, V. M. Bogod, A. N. Korzhavin, N. N. Bursov, S. H. Tokhchukova**

The results of observations of the radio emission of a high-latitude prominence located in the NE part of the solar limb are discussed. Observations were performed on the Northeastern and Southern sectors with the periscope of RATAN-600 radio telescope during the maximum phase (0.998) of the solar eclipse of March 29, 2006. The prominence was studied in the wavelength interval $1.03 \div 5.0$ cm.

The absence of the background illumination from the solar disk allowed us to study the parameters of the radio emission of the high-latitude prominence ($\phi = 45^\circ$, NE limb of the Sun). Observations of the solar limb at the time of the maximum phase made it possible to record very small radio fluxes from the prominence, which amounted to $0.05 \div 0.01$ s.f.u. in the wavelength interval from 1.84 to 5.0 cm. The position of the maximum of the radio emission of the prominence coincides, according to the results of observations performed on both sectors, with the summit of the prominence as seen on the solar image taken in the He II 304Å line (SOHO, $\phi=45^\circ$, NE limb of the Sun).

The degree of polarization is equal to $P \approx 7 \div 16\%$ at $1.88 \div 5.0$ cm. If interpreted in terms of the thermal mechanism considered here, polarized emission corresponds to a magnetic-field strength of $H \cong (550 \div 100)$ G in the prominence region.