

УДК 523.9:520.86

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ СОЛНЦА ПО МИКРОВОЛНОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ПОЛНОГО ЗАТМЕНИЯ 29 МАРТА 2006 г.

© 2007 В. М. Богод¹, О. А. Голубчина¹, Г. Н. Жеканис²,
А. Н. Коржавин¹, В. С. Котельников¹, Н. А. Нижельский², П. Г. Цыбулев²

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

²Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 26 февраля 2007 г.; принята в печать 19 марта 2007 г.

Приводятся результаты уникальных наблюдений солнечного затмения 29 марта 2006 года в широком диапазоне длин радиоволн от 1 см до 50 см. Наблюдения были выполнены на большом стационарном радиотелескопе РАТАН-600 в период максимальной фазы затмения методом прохождения источника через неподвижную диаграмму направленности. Благодаря многофункциональности радиотелескопа наблюдения проводились одновременно как на части Северного сектора РАТАН-600, так и в режиме Южного сектора с перископом с использованием всей имеющейся приемной аппаратуры на соответствующих вторичных зеркалах. В момент максимальной фазы затмения от оптического диска Солнца, закрытого Луной, оставалась видна узкая серповидная полоска с максимальной шириной 1–3 угловых сек. в области северного полюса Солнца. Достигнута высокая чувствительность по потоку радиоизлучения, которая позволила обнаружить существование над северным полюсом Солнца крупного полярного источника и получить подробные данные о его излучении и пространственной структуре. Кроме этого, по яркостной температуре на уровне единиц и десятков градусов Кельвина зарегистрировано оптически тонкое излучение солнечной короны, простирающееся за солнечный лимб до расстояний радиуса Солнца. Уникальность этих данных заключается в том, что они свободны от засветки рассеянным излучением радиодиска Солнца, которое обычно присутствует при внезатменных наблюдениях. Впервые получен подробный спектр излучения высокоширотного протуберанца на многих волнах с 1%-ным частотным разрешением в микроволновом диапазоне, что позволило сделать оценки его магнитного поля на ряде уровней нижней короны.

1. ВВЕДЕНИЕ

Полярные области остаются наименее изученными областями Солнца, несмотря на наличие разнообразных методов исследования в широком диапазоне электромагнитных волн. Вследствие эффекта проекции структуру поверхности и прилегающую атмосферу на северном лимбе наблюдать трудно. Эти области могут быть исследованы детально лишь с помощью космических аппаратов, запущенных на высокие внеэклиптические орбиты, при наблюдениях в рентгеновском, ультрафиолетовом и оптическом диапазонах. В радиодиапазоне эта проблема значительно усложнена из-за высокого фонового радиоизлучения Солнца, которое повышает шумовую температуру приемной системы настолько, что регистрация слабых деталей на уровне долей процента от уровня спокойного Солнца становится невозможной. Наблюдения солнечных затмений широко используются в оптике и радиоастрономии. Однако цели исследований различны. В оптике полные затмения позволяют осла-

бить яркость солнечной фотосферы почти в миллион раз, что дает возможность изучения слабого излучения короны. В радиодиапазоне используются как полные, так и частные затмения, в основном с целью достижения высокого двумерного разрешения (до единиц угловых секунд) при построении радиоизображений ярких активных областей. При этом обычно применяются параболические зеркала небольшого диаметра (2–3 м), которые можно доставить в полосу затмения. Вероятность использования крупных радиотелескопов для наблюдений полного затмения весьма мала. Затмение 29 марта 2006 г. дало редкую возможность применения крупного радиотелескопа РАТАН-600, поскольку он попадал в зону затмения с максимальной фазой покрытия 0.997. При этом Луна, покрывая весь диск Солнца, касалась его северной зоны и оставляла полоску в единицы угл. секунд. Это сильно ослабило влияние фонового излучения на чувствительность системы и четко локализовало наблюдаемый участок.

В 2005 г. на радиотелескопе был внедрен новый спектрально-поляризационный приемный комплекс для солнечных наблюдений, что способствовало постановке новых задач. Наблюдения проходили в период глубокого минимума активности, и лишь незадолго до затмения на восточном лимбе Солнца появились две слабые активные области — АО 10865 и АО 10866.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Наблюдательные задачи полностью определялись обстоятельствами затмения — временем и местом прохождения его тени через площадку радиотелескопа РАТАН-600. Исходя из этих обстоятельств, наблюдения на РАТАН-600 были оптимизированы для изучения полярной зоны Солнца. Время данного затмения пришлось на середину минимума солнечной активности. Известно, что в этот период активность полярной зоны Солнца возрастает [1–3]. Она проявляется в увеличении размеров полярных корональных дыр, наличии полярных факелов и высокоширотных протуберанцев [4]. Полярные корональные дыры являются областями с открытыми магнитными полями, из которых вылетают ускоренные частицы солнечного ветра. Кроме того, дипольная структура магнитного поля Солнца в тот период была четко выражена, что способствовало проведению исследований. Поэтому предполагалось получить данные о слабом радиоизлучении этих структур в широком микроволновом диапазоне волн путем сканирования тонкой полоски северной части Солнца с помощью одномерной диаграммы радиотелескопа РАТАН-600. С целью двумерной локализации источников радиоизлучения использовались две антенные системы радиотелескопа [5]:

1) 2-зеркальная антенная система, которая состояла из Северо-восточной части кругового отражателя РАТАН-600 и вторичного собирающего зеркала №1. При этом регистрация осуществлялась с помощью комплекта аппаратуры в диапазоне от 1 см до 30 см на 8 волнах;

2) 3-зеркальная антенная система, которая состояла из Плоского перископического зеркала, параболического кругового отражателя Южного сектора с вертикально стоящими отражательными элементами и фокусирующего зеркала №3. Для регистрации использовался комплекс приемной аппаратуры, созданный для анализа солнечного излучения в диапазоне 6–16.4 ГГц на 56 каналах с частотным разрешением 100 МГц с регистрацией интенсивности и круговой поляризации.

3. МЕТОД ЗАТМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Полярная зона Солнца содержит разнообразные структуры малого контраста. В период минимума активности здесь обычно присутствуют: а) длительно существующая полярная корональная дыра, являющаяся источником высокоскоростного солнечного ветра; б) полярные факелы, наиболее контрастно проявляющиеся в период минимума солнечной активности в виде щеточек (plumes); в) высокоширотный пояс протуберанцев, окаймляющий область полярной корональной дыры; г) яркие рентгеновские корональные точки и др. [6]. Трудность внезатменных наблюдений этой части Солнца состоит, с одной стороны, в необходимости применения крупных радиотелескопов с высоким пространственным разрешением, с другой — в том, что мощный фоновый сигнал от Солнца повышает шумовую температуру приемных систем в 10–100 раз, понижая их чувствительность к деталям малого контраста. В связи с этим использование почти полного затмения Солнца, полоса которого проходила через площадку радиотелескопа РАТАН-600, было важным для исследования невозмущенной Северной полярной части Солнца. Обстоятельства затмения способствовали решению поставленной задачи. Луна касалась северной вершины Солнца, при этом оставалась открытой небольшая полоска, анализ которой проводился с предельной чувствительностью. В день затмения наблюдения проводились методом сканирования затменного Солнца в различных азимутах и моментах времени: до, в момент максимальной фазы и после нее. Кроме того, в тех же азимутах и режимах проводились наблюдения Солнца и опорного радиоисточника (Луна) как в предшествующие затмению, так и в последующие дни.

4. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЕТОДА

Известно, что мощный фоновый сигнал спокойного Солнца накладывает ограничения на предел чувствительности — минимальную измеряемую яркостную температуру точечного радиоисточника. В общем случае выражение для чувствительности по яркостной температуре ΔT_B можно записать: $\Delta T_B = \eta \cdot \alpha \cdot T_{\alpha\Sigma} \cdot R$, где $\eta = \frac{\Theta_D}{\Theta_i}$ — соотношение размеров диаграммы и источника, $T_{\alpha\Sigma} = T_{\alpha N} + T_{\alpha Sun}$ — шумовая температура на входе радиометра при наблюдениях Солнца, $R = \frac{1}{\sqrt{\Delta f \cdot \tau}}$ — радиометрический выигрыш и $\alpha \approx 2$. В обычных наблюдениях на РАТАН-600 при сканировании ножевой диаграммой по диску Солнца для точечного источника с размером, равным размеру горизонтальной диаграммы $\Theta_i = \Theta_D$, величины $\eta \approx 60$ и $T_{\alpha\Sigma} \approx 10^4$ К определяют чувствительность по яркостной температуре на уровне $6\Delta T_B \approx 1000$ К. Наблюдение в режиме почти полного

затмения диска позволили снизить $T_{\alpha\Sigma}$ до значений $T_{\alpha\Sigma} \approx 500 - 1000$ К. А смещение центра вертикальной диаграммы на северный лимб Солнца понизило η вдвое — до величины $\eta \approx 30$. Таким образом, общий суммарный выигрыш по чувствительности составил 20–40 раз. Чувствительность по потоку излучения ΔF определяется величиной $\Delta F = \frac{2k \cdot \Delta T_{\alpha\Sigma sun}}{S}$, где k — постоянная Больцмана и S — эффективная поверхность телескопа. В данных наблюдениях она составила 1–2 Ю, что является рекордной величиной при наблюдениях Солнца. Кроме того, покрытие Луной 0.997 части поверхности Солнца позволило устранить влияние других солнечных структур, мешающее регистрировать излучение слабоконтрастных структур в исследуемой северной зоне Солнца.

5. НАБЛЮДЕНИЯ

Максимальная фаза солнечного затмения в районе РАТАН–600 наступила в 11^h16^m UT, что соответствовало 15 ч 16 мин среднего местного времени. Расчеты показали, что азимут наблюдений в режиме Юг+Перископ составлял 28 градусов и выходил за пределы типовых интервалов азимутальных наблюдений на 2 градуса. В связи с этим была оптимально настроена восточная часть этого сектора.

Наблюдения в режиме Южного сектора с Перископом и собирающим зеркалом №3 проводились на солнечном спектрально-поляризационном комплексе, который имел следующие параметры: регистрируемый диапазон — 6.0 ГГц–16.4 ГГц, число каналов — 56, полоса частотного анализа — 100 МГц, интервал между центральными частотами соседних каналов — 200 МГц. Одновременно анализируется интенсивность и круговая поляризация принимаемого излучения. Направление движения вертикальной оси диаграммы направленности проходило вдоль суточной параллели, тогда как позиционный угол Солнца был отклонен к Западу на угол 26.5 град. Наблюдения в другом режиме с использованием северо-восточной части кругового отражателя РАТАН-600 и собирающего зеркала №1 выполнялись с комплектом радиометров высокой чувствительности. Эти радиометры имели полосы частот около 10 – 15% на следующих длинах волн: 1.03 см, 1.39 см, 2.7 см, 3.9 см, 6.2 см, 6.3 см, 13.01 см и 30.72 см. Осуществлялся прием только интенсивности излучения. Вертикальная диаграмма была наклонена к востоку на угол 28°.

Проведение наблюдений этого затмения на двух независимых секторах радиотелескопа при разных углах диаграмм направленности позволило в дальнейшем провести двумерную локализацию всех зарегистрированных радиоисточников. На рис. 1

представлены изображения Солнца в различных диапазонах по данным станции SOHO/LASCO, EIT. Эти изображения указывают на ослабленное свечение короны над Северным полюсом Солнца. На рис. 2 представлен пример наблюдений тонкой светящейся северной зоны Солнца на двух длинах волн, 1.84 см и 5.02 см. Радиосканы этой части Солнца получаются при прохождении одномерной диаграммы направленности радиотелескопа по этой полоске. Заметно существенное различие формы сканов.

На рис. 3 представлены сканы северной полусферы Солнца, полученные на Южном секторе с перископом. Хотя наблюдения были выполнены на 56 длинах волн, здесь представлены для наглядности данные для крайних волн нашего диапазона (5.02 см и 1.84 см) и средней волны (2.72 см). На скане, полученном на длинной волне 5.02 см, можно выделить ряд источников. Здесь К — радиоисточники, связанные с излучением короны на обоих лимбах. Это излучение исчезает с уменьшением длины волны. Общее понижение уровня излучения между корональными радиоисточниками К(Е) и К(W) обязано существованию корональной дыры, на короткой волне 1.84 см оно отсутствует. С другой стороны, на этой короткой волне становится доминирующим излучение полярного источника (ПИ) над северным полюсом.

На рис. 4 приведены спектры потоков радиоизлучения для полярного радиоисточника и протуберанца. Шкала амплитуд — в солнечных единицах потока, с.е.п. = $10^{-22} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{Гц}}$. Поток полярного источника растет с уменьшением длины волны, что указывает на его тепловую природу. Подобное поведение спектра отмечено и у высокоширотного протуберанца. Благодаря наблюдению солнечного затмения в момент максимальной фазы впервые были зарегистрированы очень малые потоки радиоизлучения протуберанца, от 0.05 с.е.п. до 0.01 с.е.п., в диапазоне длин волн от 1.84 см до 5.0 см. Степень поляризации, вычисленная для максимума интенсивности радиоизлучения протуберанца, составляет $P \approx (9 \div 18.5)\%$ на длинах волн 1.88 ÷ 5.0 см соответственно. В рамках теплового механизма излучения были сделаны оценки величины магнитного поля в протуберанце, которые составили $H \cong (550 \div 150)$ Гс.

Детальное рассмотрение ПИ указывает на наличие в нем крупномасштабной фоновой структуры и мелкомасштабной пространственной структуры. Для выделения последней было проведено вычитание фоновой структуры на нескольких длинах волн высокочастотного края диапазона спектрографа (см. рис. 6(a, b)) и проведено сопоставление сканов между собой. Поскольку сигнал от источников мелкомасштабной структуры довольно

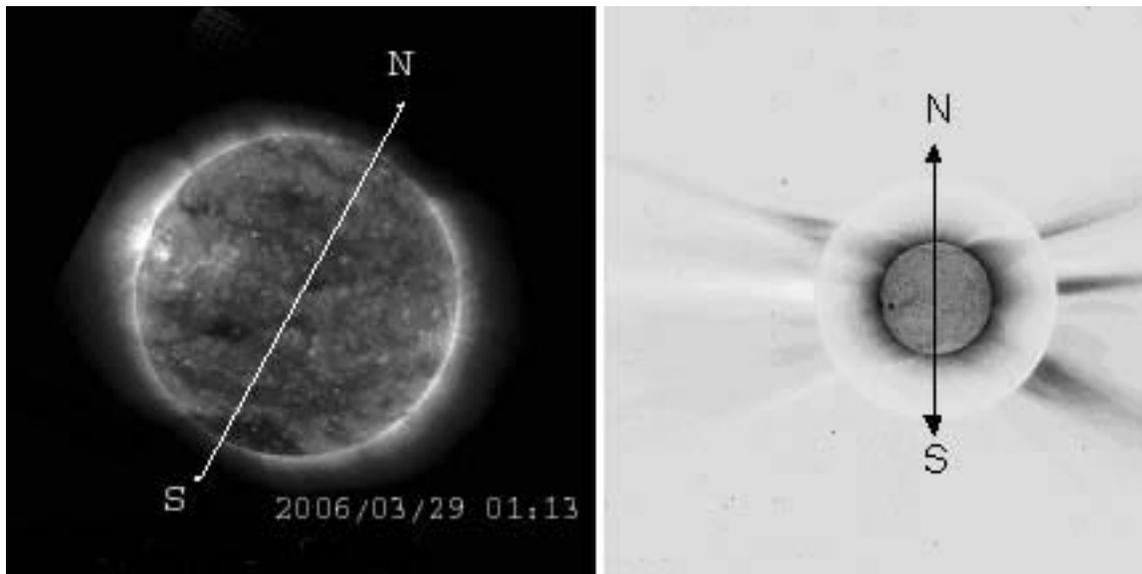


Рис. 1. Наблюдения Солнца в момент полной фазы затмения в различных диапазонах по данным спутника SOHO. Слева — изображение короны в линии SOHO/EIT. Справа — негативное изображение с коронографа LASCO, на котором видно направление стримерных лучей. На обоих полюсах присутствуют полярные корональные дыры. Наиболее четко выделяется корональная дыра на Южном полюсе. Видна небольшая активность на восточном лимбе в приэкваториальной зоне.

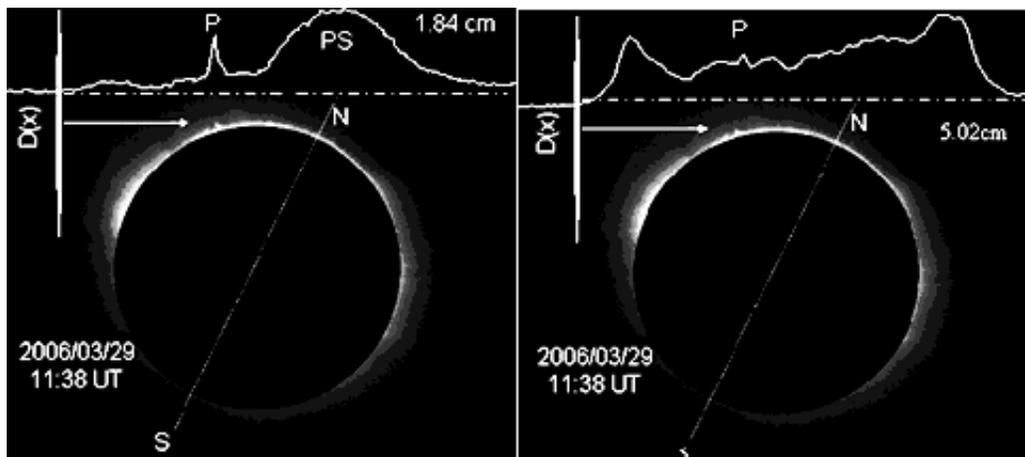


Рис. 2. Максимальная фаза солнечного затмения 29 марта 2006 г. при наблюдении на площадке РАТАН-600. Изображение диска Луны совмещено с изображением Солнца в линии SOHO/EIT. Незакрытая тонкая полоска видна на севере диска Солнца. Одномерные радиосканы Солнца на волнах 1.84 см и 5.02 см приведены в верхней части рисунка. Движение ножа вертикальной диаграммы $D(x)$ направлено горизонтально. На обеих волнах протуберанец P хорошо отождествляется с его оптическим изображением. Полярный источник PS виден только на короткой волне 1.84 см.

мал и составляет сотую часть процента от общего сигнала, то для повышения уровня достоверности была измерена их корреляции на разных волнах в разных частях диска Солнца (см. рис. 6(b, c)). Размеры источников мелкомасштабной структуры в среднем составили 40–70 угл.сек., а их яркостные температуры находятся в интервале 3000–6000 К.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ НОВИЗНА

Наблюдение солнечного затмения 29 марта 2006 г. в фазе 0.997 на крупном радиотелескопе РАТАН-600 позволило реализовать рекордную чувствительность по потоку и по яркостной температуре. Впервые на таком уровне удалось исследовать полярную зону Солнца, что привело к регистрации новых и уточнению параметров уже известных объектов. Обнаружение на коротких сантиметровых волнах крупного радиоисточника,

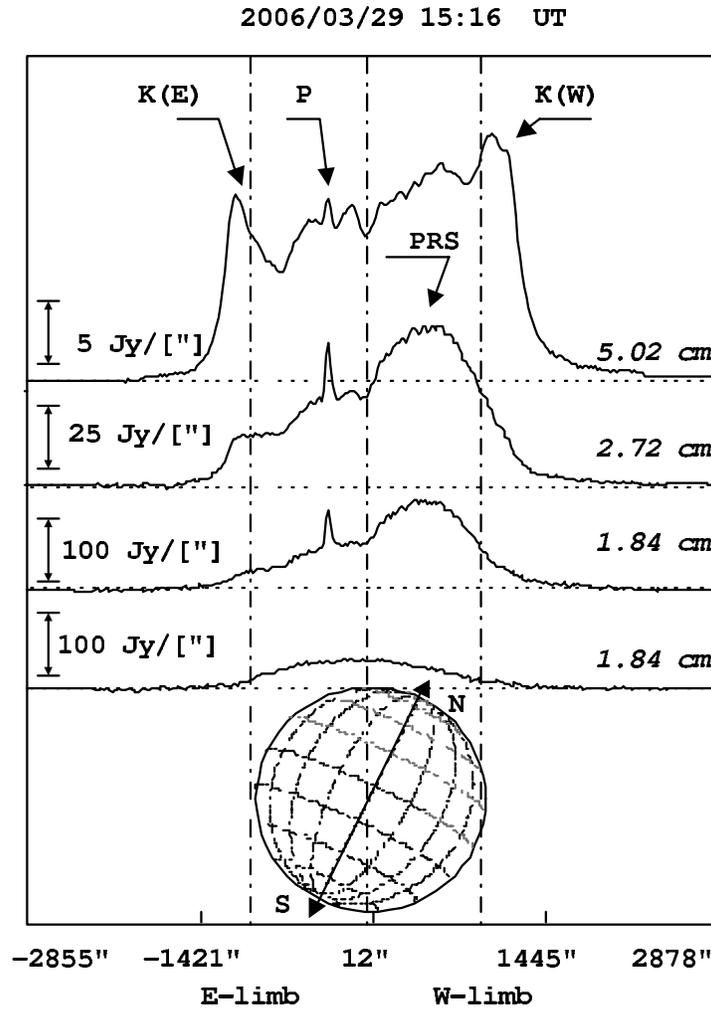


Рис. 3. Сканы потока радиоизлучения северной полосы Солнца на волнах 5.02 см, 2.72 см и 1.84 см, сделанные на РАТАН-600 во время максимальной фазы затмения. Нижней кривой представлен скан радиоизлучения Луны на волне 1.84 см. Для наблюдений на всех волнах проведено вычитание потока Луны. Вертикальные отрезки слева — масштабы, приведенные в единицах $\text{Jy}/[']$. Видно значительное различие формы сканов в разных диапазонах. На длинной волне 5.02 см заметно выделяется излучение короны вне оптического диска, которое практически исчезает на короткой волне 1.84 см. Широкомасштабное понижение излучения на волне 5.02 см в центре диска связано с полярной корональной дырой. Узкий радиосточник (П), зарегистрированный на всех трех волнах, связан с высокоширотным протуберанцем. В западной части диска выделяется полярный радиосточник (ПИ), контраст которого растет с уменьшением длины волн. Учет позиционного угла Солнца показывает, что этот источник расположен над Северным полюсом Солнца.

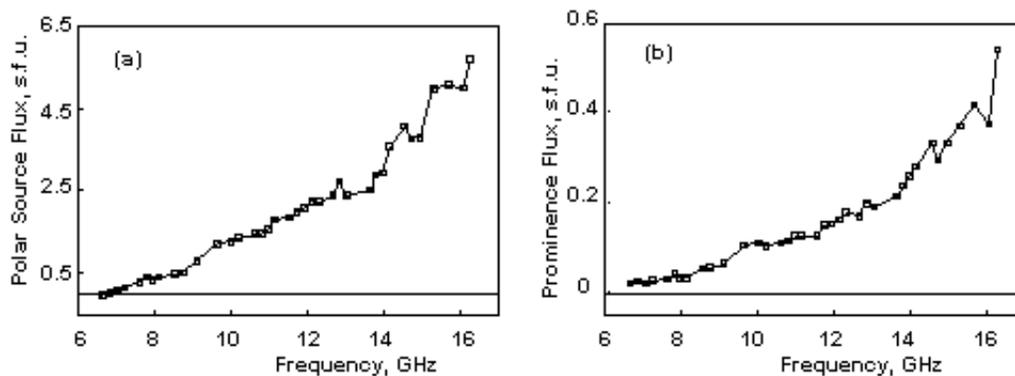


Рис. 4. Спектры потоков полярного радиосточника (слева) и протуберанца (справа).

2006/03/29 15:16:42 UT

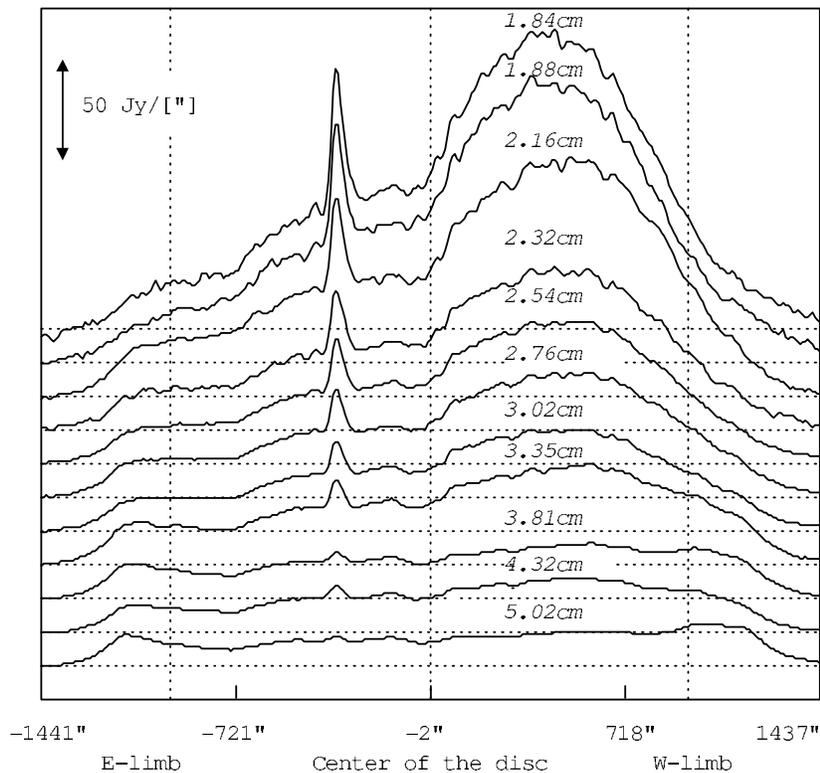


Рис. 5. Сканы потока солнечного радиоизлучения на различных волнах в диапазоне 1.84 см – 5.02 см.

расположенного над Северным полюсом Солнца (см. рис. 3, 5, 6) представляет особый интерес. Следует отметить, что наиболее интенсивно полярные зоны Солнца исследовались в миллиметровом диапазоне длин волн. Впервые исследования структуры радиоизлучения в полярных зонах Солнца на волнах 1.35 см и 8 мм были начаты в КРАО на РТ-22 в 1970 г. [7]. В ряде работ сообщается о наблюдениях в диапазоне от 15 ГГц до 87 ГГц [8–14]. Все эти наблюдения были проведены в годы минимума солнечной активности с использованием 45-м радиотелескопа в Нобеяма, РТ-15 в Метсахови (Финляндия), и на радиогелиографе OVRO (США). Результаты этих работ сводились к тому, что излучение полярной корональной дыры в миллиметровом диапазоне ярче, чем в сантиметровом. Природа этого явления остается до сих пор не ясной. Авторы работы [15] предполагают, что в минимуме солнечной активности увеличивается доля поверхности, занятой однополярными магнитными полями, в результате чего поверхность корональной полярной дыры увеличена. Результаты, близкие к нашим, были приведены в работе [16], посвященной изучению структуры полярной зоны на инструментах в Нобеяма на 17 ГГц и на 87 ГГц. Также было обнаружено уярчение над полюсом, которое состоит из двух

компонент: диффузной, с яркостной температурой 1500 К, и компоненты с клочковатой структурой, имеющей яркостную температуру около 3500 К. В работе высказано предположение, что это излучение приходит от слоев атмосферы на высоте, где генерируется излучение с яркостной температурой ниже 80000 К. Аналогичный вывод сделан в работе [13], в которой проведено сравнение наблюдений в диапазоне 87 ГГц с данными в линии He II 304 Å, формируемой при температуре 80000 К. В работе [17], посвященной наблюдению данного затмения, приведены четкие изображения структуры короны в белом свете. Отмечена характерная для этого времени активность полярной зоны в виде существования крупных полярных корональных дыр на обоих полюсах и увеличения интенсивности полярных факелов (plumes). Они представляют собой униполярные структуры высокой плотности, простирающиеся до высот около 10 солнечных радиусов, по данным прибора LASCO на спутнике SOHO. По-видимому, факелы являются основным источником солнечного ветра. Подробные исследования полярных факелов описаны в работах [18, 19]. Спектральные наблюдения полярной зоны Солнца с предельно высокой чувствительностью, проведенные нами на РАТАН-600 в ходе максимальной фазы солнечного затмения

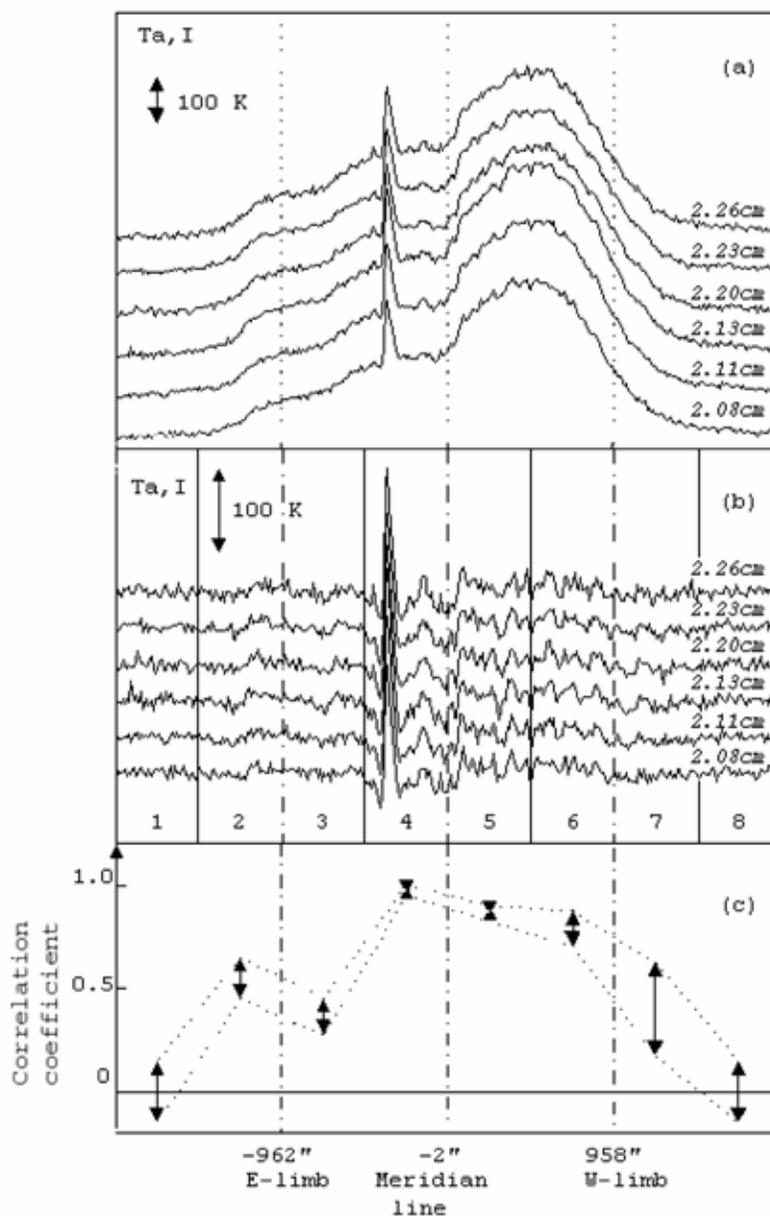


Рис. 6. Демонстрация существования мелкомасштабных пространственных осцилляций температуры в полярном источнике. (а) — сканы приполярной области Солнца на волнах в диапазоне 2.08 см — 2.26 см. (в) — то же, но с вычетом постоянной составляющей и разбиением всего скана на 8 участков протяженностью по $0.5 R_{\odot}$. (с) — определение коэффициента корреляции осцилляций на разных волнах для каждого из 8-ми участков скана. Рисунок демонстрирует высокую корреляцию (около 0.95) мелкомасштабных пространственных осцилляций в полярном источнике на соседних волнах. Высокая корреляция мелкомасштабной структуры на уровне от 0.7 до 0.95 прослеживается во всем частотном диапазоне радиоспектрографа, от 1.84 см до 5.02 см.

29 марта 2006 г., позволили зарегистрировать яркое излучение в микроволновом диапазоне точно над Северным полюсом Солнца. Это излучение приходит от крупного полярного источника фонового излучения размером около 700 угл.секунд и мелкомасштабной структуры с характерными размерами 40–70 угл.секунд. На рис. 7 приве-

дено сопоставление микроволновых и оптических наблюдений полярной зоны Солнца в момент максимальной фазы затмения. В оптике высокое качество достигнуто М. Druckmüller & Р. Aniol в работе [17] применением специального метода для выделения деталей на краю диска Солнца. В радионаблюдениях (см. рис. 7) мы исполь-

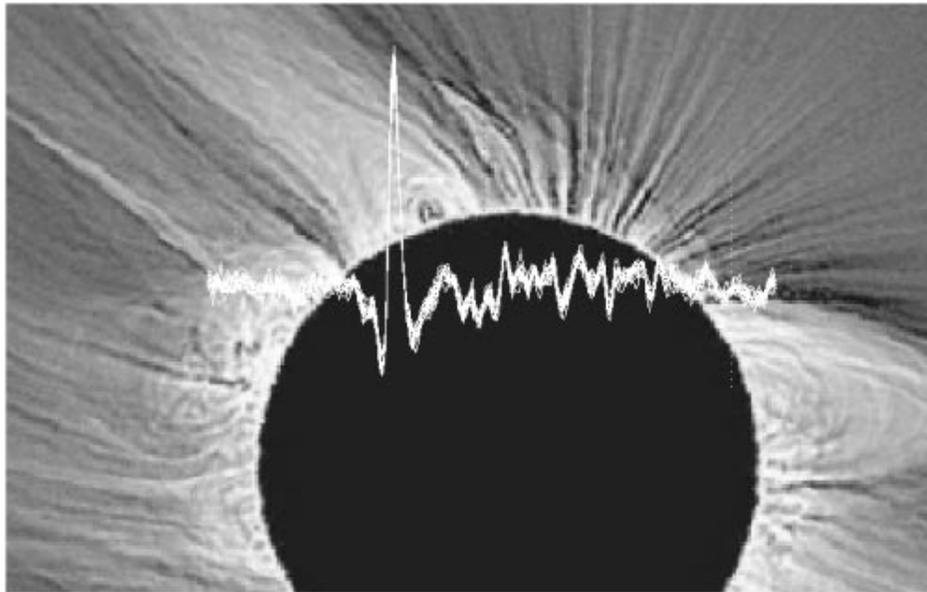


Рис. 7. Сопоставление многоволновых радионаблюдений на ПАТАН-600 в микроволновом диапазоне в $11^{\text{h}} 16^{\text{m}}$ с изображением короны, полученным Druckmüller&Aniol [17] и объединенным с изображением LASCO C2 в момент времени $10^{\text{h}} 46^{\text{m}}$. Радиосканы Солнца на ряде длин волн (1.84 см, 1.86 см, 1.88 см, 1.91 см, 1.93 см, 1.98 см, 2.00 см, 2.02 см, 2.05 см, 2.08 см, 2.11 см, 2.13 см, 2.18 см) наложены друг на друга. Крупномасштабные детали и спокойное Солнце удалены методом пространственной фильтрации. Данные радио и оптических наблюдений указывают на наличие в приполярной зоне Солнца неоднородностей короны с подобными характерными размерами.

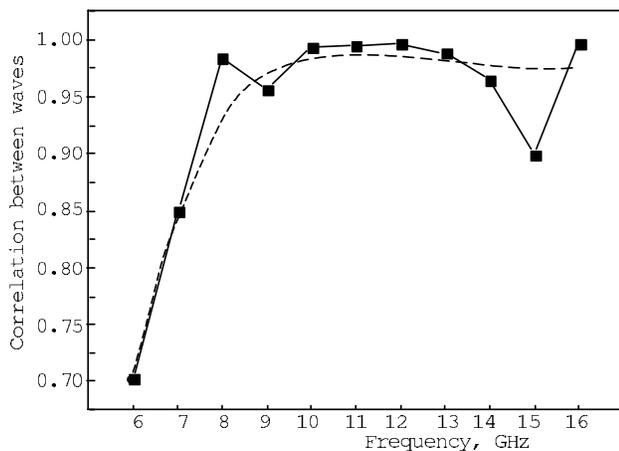


Рис. 8. Измерение коэффициента корреляции для мелкомасштабной компоненты полярного радиоисточника по спектру в диапазоне длин волн от 1.84 см до 5.02 см. На длинных волнах отмечается уменьшение величины корреляции до 70%.

зовали для увеличения контраста метод пространственной фильтрации, устраняющий крупные пространственные детали и спокойное Солнце из кривых наблюдений. Этот метод использовался при обработке радионаблюдений на нескольких длинах волн. Полученные сканы в дальнейшем сопоставлялись друг с другом и с оптическими изображениями. Это сопоставление показывает

подобие характерных размеров радио и оптической структур для мелкомасштабной компоненты, полярный же источник в оптике не регистрируется. Регистрация мелкомасштабной компоненты в широкой полосе частот (см. рис. 8) указывает на тепловую природу ее излучения, которое генерируется в узкой переходной зоне хромосфера—корона. Оценки яркостных температур для ярких деталей этой структуры составляют 3000–6000 К, если принять круговую симметрию отдельных радиоисточников. В предположении, что в микроволновом диапазоне зарегистрированы яркие факелы (plumes), окруженные темными межфакельными полями, приведенные выше оценки яркостных температур указывают на увеличенную вдвое плотность плазмы в факелах по сравнению с плотностью окружающей их плазмы. На рис. 4 приведен спектр потока полярного источника, который также указывает на тепловой характер его излучения. По-видимому, над полюсами Солнца на низких высотах существуют весьма тонкие и многочисленные плумы, интегральное излучение которых является тепловым. Сканирование этой области широкой диаграммой радиотелескопа (15–30 угл. секунд) приводит к тому, что отдельные мелкомасштабные плумы не разрешаются, а их совокупное излучение приводит к появлению над полюсом полярного источника. Более толстые и мощные плумы из-за контраста плотности плазмы в ярких и темных деталях регистрируются в мик-

роволновом радиодиапазоне как мелкомасштабная структура.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируем основные результаты, полученные по наблюдениям полного солнечного затмения на РАТАН-600.

1. Получены данные о структуре радиоизлучения короны на расстояниях около одного радиуса Солнца над оптическим диском. Эта информация полезна для коррекции моделей солнечной атмосферы.

2. Обнаружено излучение полярного источника с размером $0.7R_{\odot}$, поток излучения которого растет с уменьшением длины волны.

3. Внутри полярного радиоисточника обнаружена мелкомасштабная структура с характерными размерами источников излучения в среднем около 40–70 угл.сек.

4. Впервые зарегистрирована на многих волнах в спектре интенсивности и круговой поляризации структура полярной корональной дыры, которая резко меняется в диапазоне длин волн 2–5 см. Корональная дыра зарегистрирована как область пониженной яркости в окружении оптически тонкой яркой плазмы, поток от которой резко падает с уменьшением длины волны.

5. Получен подробный спектр интенсивности и поляризации высокоширотного протуберанца.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа поддерживалась грантами РФФИ 05-02-16228, 06-02-31011к, 06-02-17357 и Программой “Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце–Земля”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. I. Makarov, A. G. Tlatov, D. K. Callebaut and V. N. Obridko, *Solar Phys.* **206**, 383, (2002).
2. V. I. Makarov, A. G. Tlatov and K. R. Sivaraman, *Solar Phys.* **214**, 41, (2003).

3. V. I. Makarov, A. G. Tlatov and D. K. Callebaut, in: IAU Symposium No 223, Saint-Petersburg, Russia 2004, Ed. by A.V.Stepanov, E.E.Benevolenskaya and A.G.Kosovichev (Cambridge Univ.press), p.49.
4. A. Riehoainen, S. Urpo, E. Valtaoja, et al., *Astron. Astrophys.* **366**, 676, (2001).
5. D. V. Korol'kov and Yu. N. Parijskij, *Sky Telesc.* **57**, 4, (1979).
6. B. P. Filippov, Yu. V. Platov, A. Ajabshirizadeh and D. V. Klepikov, *Solar Phys.* **224**, 277, (2004).
7. A. F. Bachurin, N. N. Eriushev and L. I. Tsvetkov, *Izvestia KrAO* **52**, 180 (1974).
8. T. Kosugi, M. Ishiguro and K. Shibasaki, *Astronom. Soc. of Japan Publ.* **38**, 1, (1986).
9. E. Hiei, *Astronom. Soc. of Japan Publ.* **39**, 937, (1987).
10. K. Shibasaki, *ASP Conf. Ser.* **140**, 373, (1998).
11. D. E. Gary, S. Enome, K. Shibasaki, et al., American Astronomical Society, SPD meeting 28, 08.01, (Bull. Amer. Astronom. Soc.) **29**, 912, (1999).
12. A. Riehoainen, S. Urpo and E. Valtaoja, *Astron. Astrophys.* **333**, 741, (1998).
13. S. Pohjolainen, *Astron. Astrophys.* **361**, 349, (2000).
14. S. Pohjolainen, F. Portier-Fozzani, D. Raguaine and J. Heikkila, *Metsaehovi Publications on Radio Science, HUT-MET* **27**, 59, (1998).
15. D. K. Callebaut, A. G. Tlatov and V. I. Makarov, in: IAU Symposium No 223, Saint-Petersburg, Russia 2004, Ed. by A.V.Stepanov, E.E.Benevolenskaya and A.G.Kosovichev (Cambridge Univ.press), p.247.
16. A. Nindos, M. R. Kundu, S. M. White, et al., *Astrophys. J.* **527**, 527, 415, (1999).
17. Y.-M. Wang, J. B. Biersteker, N. R. Sheeley, et al., *Astrophys. J.* **660**, 882, (2007).
18. C. E. DeForest, P. L. Lamy and A. Llebaria, *Astrophys. J.* **560**, 490, (1990).
19. C. E. DeForest, J. T. Hoeksema, J. B. Gurman, et al., *Solar Phys.* **175**, 393, (1997).

A STUDY OF THE NORTHERN POLAR REGION OF THE SUN USING THE MICROWAVE OBSERVATIONS OF THE TOTAL ECLIPSE OF MARCH 29, 2006

V. M. Bogod, O. A. Golubchina, G. N. Zhekanis, A. N. Korzhavin, V. S. Kotel'nikov,
N. A. Nizhel'skij, P. G. Tsybulev

We report the results of unique observations of the solar eclipse of March 29, 2006 over a wide radio-wavelength range from 1 to 50 cm made with the large RATAN-600 stationary radio telescope during the maximum eclipse phase performed using the method of the source transit across the fixed beam pattern.

The multifunctional opportunities of the radio telescope allowed observations to be performed simultaneously in a part of the Northern sector of RATAN-600 and in the Southern-sector plus periscope mode using all the available receiving equipment at the corresponding secondary mirrors. At the time of maximum eclipse phase a narrow 1–3-arcsec wide crescent-shaped band near the North Solar Pole remained visible out of the entire solar disk covered by the Moon. We achieved high flux sensitivity, which allowed us to discover a large polar radio source located above the North Solar Pole and obtain detailed data on its radiation and spatial structure. Moreover, we detected optically thin radiation of the solar corona at the brightness-temperature level of several K or several tens of K. We find this radiation to extend beyond the solar limb out to the heliocentric distances of one solar radius. These data are unique in that they are not contaminated by scattered radiation of the solar radio disk, which usually shows up in ordinary observations. We are the first to obtain a detailed spectrum of the radiation of a high-latitude prominence at many wavelengths with a 1% frequency resolution in the microwave range, which allowed us to estimate its magnetic field at a number of levels in the lower corona.