

УДК 523.98

Микроволновое излучение солнечных корональных дыр: результаты наблюдений на РТ-22 НИИ “КрАО” в 2003–2006 гг.

С.А. Самисько, Л.И. Цветков

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

Поступила в редакцию 30 января 2008 г.

Аннотация. Представлены результаты отождествления солнечных корональных дыр с депрессиями и повышениями радиояркости по наблюдениям на РТ-22 НИИ “КрАО” в диапазоне 2.0–3.5 см в 2004–2006 гг. Изучены неоднородности распределения микроволнового излучения корональных дыр, спокойного Солнца и мелких пятен по наблюдениям на РТ-22 затмений Солнца 31.05.2003 г., 03.10.2005 г. и 29.03.2006 г.

MICROWAVE RADIATION OF SOLAR CORONAL HOLES: RESULTS OF OBSERVATIONS AT RT-22 OF THE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE “CRAO” DURING 2003-2006, *by S.A. Samisko, L.I. Tsvetkov*. Results of identification of solar coronal holes with the depressions and increases of radio brightness by means of observations at RT-22 of the SRI “CrAO” in the range 2.0–3.5 cm during 2004-2006 are presented. Inhomogeneities in the distribution of microwave radiation of coronal holes, quiet Sun and small spots are studied by means of observations at RT-22 of the solar eclipses on May, 2003, October, 2005 and March, 2006.

Ключевые слова: радиоизлучение Солнца, корональные дыры, радиогрануляция, затмения Солнца.

1 Введение

Корональные дыры (КД) являются одним из феноменов физики Солнца. Впервые они обнаружены по внеатмосферным наблюдениям с помощью рентгеновского спектрогелиографа, установленного на орбитальной станции Скайлэб (Гибсон, 1977). Это долгоживущие образования в короне Солнца, которые, как оказалось впоследствии, непосредственно связаны с потоками быстрых частиц солнечного ветра. Механизм их возникновения до конца неясен.

Комплексные исследования, выполненные в НИИ “КрАО” по наблюдениям в HeI 10830 на БСТ-2 в кооперации с измерениями на спутнике КОРОНАС-Ф (ФИАН, ГАИШ МГУ, ИЗМИРАН) и радионаблюдениями на волне 5.2 см на ССРТ (ИСЗФ СО РАН) (Бугаенко и др., 2004; Житник и др., 2005) свидетельствуют, что существуют два класса КД. К первому классу относятся КД, площадь которых не меняется или возрастает с высотой (“открытые” КД), ко второму классу относятся дыры, площадь которых уменьшается с высотой (“замкнутые” КД). Большая часть “открытых” КД связана с высокоскоростными потоками солнечного ветра на орбите Земли.

Результаты радионаблюдений КД частично отражены в обзоре (Боровик, 1997). Из наблюдений на БПР и РАТАН-600 следует, что КД проявляются в виде депрессий радиояркости на волнах

8–32 см. В диапазоне 2–4 см они не обнаруживаются. Однако следует заметить, что методика наблюдений и обработка данных с целью обнаружения уменьшения радиорadiusа Солнца с помощью этих инструментов не дает полной уверенности в достоверности данного вывода.

По наблюдениям в миллиметровом диапазоне КД не выявлены в явном виде как депрессии радиояркости. Полярные радиоисточники, обнаруженные в КраО (Моисеев, Нестеров, 1987), свидетельствуют, что повышенная яркость в полярных областях присуща излучению на миллиметровых и коротких сантиметровых волнах. Она является одним из общих свойств активности Солнца, поскольку присутствует в течение большей части 11-летнего цикла, изменяясь в противофазе с числами Вольфа. Избытки эффективной температуры полярных районов над яркостной температурой спокойного Солнца в диапазоне 0.32–2.25 см достигали нескольких процентов. При интерпретации такой формы активности Солнца проводится аналогия с сосуществованием корональных дыр, полярных факелов и быстроменяющихся полярных магнитных полей.

В работе (Будзиновская, Цветков, 2002) проведено отождествление радиодепрессий с КД и волокнами по наблюдениям на РТ-22 КраО на сантиметровых волнах в период 1990–1998 гг. Показано, что модель Лантоса (1978) соответствует нашим наблюдениям. Также подтверждена связь радиодепрессий с 11-летним циклом солнечной активности. По результатам наших наблюдений уточнен спектр яркостных температур КД и волокон. Яркостная температура КД ниже, чем у волокон примерно на 1 %, глубина депрессии КД максимальна в годы минимума, а для волокон – в годы максимума солнечной активности.

Наконец, в недавно вышедшей работе (Максимов и др., 2006) анализируются одновременные наблюдения на ССРТ на 5.2 см и радиогелиографе Nobeyama на 1.76 см. Обнаружено, что корональные дыры неоднородны на этих волнах, небольшие депрессии на волне 1.76 см соответствуют повышениям радиояркости на волне 5.2 см. Эмпирическое выражение для отношения яркостных температур на этих волнах в какой-то степени свидетельствует в пользу механизма нагрева этих образований диссипацией альвеновских волн.

Таким образом, очевидна необходимость дальнейшего изучения корональных дыр, особенно для достоверности прогноза солнечной активности. Целью работы является поиск особенностей распределения микроволнового излучения в корональных дырах на масштабах в несколько угловых минут (отождествление с депрессиями радиояркости) и на масштабах в несколько угловых секунд (по наблюдениям затмений Солнца).

В первом разделе проводится сравнение радиокарт Солнца диапазона 2.0–3.5 см с изображениями Солнца по данным SOHO/MDI + EIT 284A за три цикла наблюдений на РТ-22 в 2004–2006 гг. Во втором разделе рассматриваются неоднородности распределения солнечной радиояркости по наблюдениям затмений Солнца в 2003, 2005 и 2006 гг. В заключение представлены выводы.

2 Крупномасштабные образования на Солнце по наблюдениям микроволнового излучения

Наблюдения проводились на РТ-22 НИИ “КраО” на волнах 2.0, 2.3 и 3.5 см в августе 2004 г., на волнах 2.0 и 3.5 см – августе-октябре 2005 г., на волнах 2.0, 2.8 и 3.5 см – июле-августе 2006 г. Регистрировалась полная интенсивность радиоизлучения на указанных волнах с использованием радиометров из комплекта четырехволнового поляриметра (Цветков и др., 1993). Угловое разрешение на волне 2.0 см составляло 3.6 угл. мин. При наблюдениях использовался режим картографирования. Радиокарты получались в результате сканирования диска Солнца по прямому восхождению с шагом по склонению 2 угл. мин. (всего 25 сканов).

Обработка наблюдений включала пересчет данных, полученных в милливольтгах, к антенной температуре спокойного Солнца. Двумерные радиокарты совмещались с изображениями, полученными на SOHO в мягком рентгеновском диапазоне. Для отождествления КД были использованы материалы наблюдений, выставленные в INTERNET на сайтах:

[http:// www.sec.noaa.gov/solar_sites.html](http://www.sec.noaa.gov/solar_sites.html); [http:// www.solar.nro.nao.ac.jp/norh/images/daily/2005/](http://www.solar.nro.nao.ac.jp/norh/images/daily/2005/);
[http:// www.dxl.com/solar/old_reports](http://www.dxl.com/solar/old_reports).

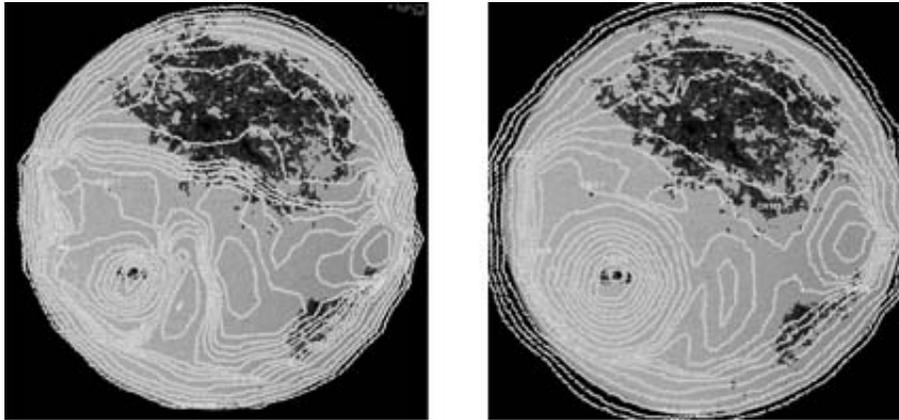


Рис. 1. Двумерные карты радиоизлучения Солнца по данным РТ-22 КраО на волне 2.0 см (слева) и на волне 3.5 см (справа) 10.08.2004 г. 05:44–06:59 UT, совмещенные с изображением Солнца, полученным SOHO/MDI (continuum) и EIT

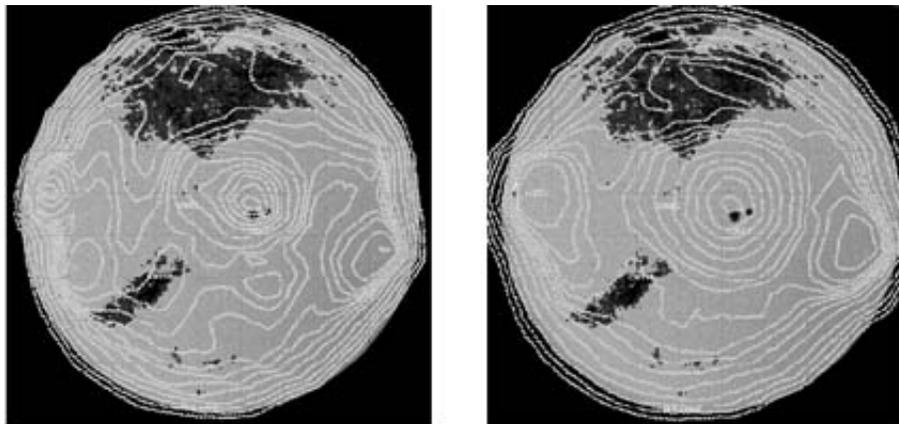


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для 20.08.2004 г. 06:24–07:39 UT

В условиях слабой солнечной активности, когда на диске Солнца отсутствуют мощные группы пятен и большие по площади флоккульные поля, основная задача – это выявление депрессий радиояркости, которые можно было бы отнести к проявлениям КД. Сопоставление изображений для идентификации КД и депрессий радиояркости осуществлялось наложением контуров радиокарт на изображения SOHO/MDI + EIT. Поворот изображений на момент сканирования Солнца осуществлялся по программе, любезно предоставленной Топчило Н.А. (ЛГУ, Россия). При совмещении изображений учитывались положения максимумов излучения локальных источников над группами пятен. Контраст радиоизлучения (депрессия или повышение радиояркости) в области КД определялся относительно близлежащих участков спокойного Солнца.

Результаты. Нами обработано и сопоставлено 28 карт в 2004 г., 52 карты в 2005 г. и 37 карт в 2006 г. Наложение радиоизображений производилось на двух крайних волнах диапазона.

На рис. 1 и 2 представлены совмещенные радиокарты на волнах 2.0 и 3.5 см и изображения SOHO/MDI continuum + EIT 284A за 10.08.2004 г. и 20.08.2004 г. Качество совмещения можно видеть по положению максимума локального источника активной области NOAA 10662 (рис. 2), несколько отклоненного к северу от ведомого пятна группы. Темная область в северной полусфере по данным SOHO не отмечена как КД, однако, она ограничена уровнями 0.95 и 0.99 на картах 2.0 и 3.5 см соответственно. Южная часть корональной дыры CН 110 на волне 2.0 см граничит с уровнем спокойного Солнца (1.0), северная ее часть соответствует замкнутой области уровня 1.03. На волне

3.5 см уровень спокойного Солнца соответствует северной границе этой КД, а на южной границе контраст КД составляет 0.96. При анализе совмещенных карт оценивался некий средний уровень депрессии или повышения радиояркости в областях КД по данным SOHO.

Таблица 1. Список КД и некоторые характеристики их радиоизлучения

Обозначение КД	Положение	Дата пересечения ц.м.	Контраст	Контраст	Примечания
			на волне 2.0 см	на волнах 2.8-3.5 см	
СН 107	северная	06.08.2004	0.99	0.99	Контраст приполярной N СН ~ 0.96
СН 108	южная	07.08.2004	1.02	0.99	
СН 109	северная	10.08.2004	0.97	0.98	
СН 110	южная	21.08.2004	1.03	~ 1.0	
СН 111	северная	28.08.2004	0.97	0.99	
СН 178В	южная	02.08.2005	1.03	1.01	На
СН 178	экватор	04.08.2005	0.99	1.02	N-полюсе
СН 179	северная	05.08.2005	1.01	~ 1.0	иногда
СН 180	экватор	08.08.2005	0.99	~ 1.0	повыш.
СН 181	экватор	13.08.2005	1.03	~ 1.0	радиоярк.
СН 182	южная	17.08.2005	1.03	1.01	Контраст приполярной N СН ~ 0.97
СН 183	южная	22.08.2005	1.03	1.01	
СН 184	южная	29.08.2005	1.03	~ 1.0	
СН 190	северная	02.10.2005	0.99	~ 1.0	
СН 191	экватор	04.10.2005	1.02	1.01	
СН 218	северная	31.03.2006	0.99	-	29.03.06
СН 232	экватор	21.07.2006	0.99	0.99	набл. КД
СН 233	северная	24.07.2006	0.98	0.99	
СН 234	экватор	28.07.2006	1.03	1.01	На N-полюсе
СН 235	экватор	03.08.2006	1.02	1.01	
СН 236	южная	18.08.2006	1.01	1.01	повыш.
СН 237	экватор	25.08.2006	1.02	1.01	радиоярк.

В табл. 1 представлен список КД и некоторые их характеристики. Здесь указаны: общепринятое обозначение КД, положение, дата пересечения центрального меридиана, контрасты радиояркости на волнах 2.0, 2.8 и 3.5 см, примечания. Совместный анализ радионаблюдений и спутниковых измерений позволил отметить следующие особенности микроволнового излучения КД.

Наблюдения 2004 г. СН 107, СН 109 и СН 111 в северной полусфере характеризуются депрессиями радиояркости на волнах 2.0 и 3.5 см. Четкие границы они имеют только на юге. К северо-западу от СН 111 находится замкнутая и более контрастная депрессия радиояркости. Соответствующая этой депрессии КД наблюдалась как экваториальная КД в августе (см. СН 181) и октябре (см. СН 191) 2005 г. Северные части КД СН 108 и СН 110 характеризовались повышенной радиояркостью на волнах 2.0 и 2.3 см. На волне 3.5 см для этих участков контраст КД соответствует уровню спокойного Солнца.

Наблюдения 2005 г. Вблизи N-полюса иногда появляются источники повышенной радиояркости. Темная область в оптическом диапазоне по данным SOHO/MDI + EIT, частью которой является полярная КД, соответствует радиодепрессии и имеет четкие, совпадающие с ней южные границы. СН 179 на волне 2.0 см совпадает с областью повышенной радиояркости, удлиняя контуры распределения радиояркости активной области NOAA 10792. На волне 3.5 см эта КД не отождествлена. Повышенную радиояркость на 2.0 см имеет юго-западная часть СН 180. Причем наблюдаемая в начале октября как небольшая северная СН 190 она соответствует зоне радиодепрессии, с севера и юга граничащей с областями повышенной радиояркости. К западу от этой КД располагается крупная

область пониженной радиояркости. Небольшая экваториальная СН 178 на волне 2.0 см совпадает с областью резкого понижения радиояркости, имеющей четкие западные границы. Экваториальная СН 181, находящаяся на юге, совпадает с областью повышенной радиояркости, удлиняя контуры активной области. NOAA 10797 на севере и юге граничит с крупными радиодепрессиями. Экваториальная СН 191 граничит с NOAA 10597. К юго-западу и северо-западу от этой КД находятся радиодепрессии, более четко выраженные на волне 2.0 см. Северные участки СН 178В, СН 182 и СН 183 совпадают с областями повышенной радиояркости и на волне 2.0 см, для них характерны двухсторонние (с северо-востока и юго-запада) радиодепрессии. Южная корональная дыра СН 183 полностью совпадает с областью повышенной радиояркости, причем максимум на волне 2.0 см соответствует светлым (по оптическим данным) образованиям в южной части КД.

Общее впечатление такое, что депрессии радиояркости характерны только для КД, расположенных в северной полусфере Солнца. И в то же время имеют место радиодепрессии, не связанные с КД или другими оптическими образованиями, например, с волокнами.

Наблюдения 2006 г. Вблизи N-полюса (+12 – 13 угл. мин по меридиану) проявляются локальные повышения радиояркости. Небольшая северная СН 218 совпадает с областью пониженной радиояркости, имеющей четкие границы на юге. Небольшая экваториальная СН 232 находится на уровне спокойного Солнца. Северная СН 233 также соответствует депрессии на обеих волнах в центре диска. Экваториальные СН 234, СН 235 и СН 237 проявляются в виде повышенной радиояркости. К юго-западу от СН 234 находится четкая депрессия радиояркости. На волне 2.0 см имеется депрессия и к северо-востоку от СН 234 и СН 235. Небольшая южная СН 236 полностью совпадает с областью повышенной радиояркости. Результаты 2006 г. также свидетельствуют о северно-южной асимметрии контрастов радиояркости исследуемых нами КД.

Таким образом, наблюдения 2004–2006 гг. на РТ-22 НИИ “КрАО” показывают, что особенностью проявления КД в диапазоне 2.0–3.5 см является то, что депрессиям радиоизлучения соответствуют КД северного полушария. Экваториальные и южные КД располагаются, как правило, над областями спокойного Солнца (на волне 3.5 см) или над областями с повышенной радиояркостью, граничащими с радиодепрессиями (на волне 2.0 см).

3 Неоднородности распределения радиоизлучения невозмущенного Солнца

Характерные размеры грануляционных образований в коротковолновой части сантиметрового диапазона длин волн были определены по наблюдениям на РАТАН-600 (САО, Россия; Богод, Корольков, 1975). Радиоастрономические исследования позволили выявить следующие свойства радиогрануляции: характерные размеры 4''–17'', 40''–80'', 60''–90'', которые увеличиваются с длиной волны; их размеры соответствуют размерам оптических гранул и супергранул. В данной работе оцениваются размеры радиогрануляции на Солнце по затменным наблюдениям микроволнового излучения.

Наблюдения проводились на РТ-22 НИИ “КрАО” во время трех затмений Солнца: 31 мая 2003 г. на волнах 8.2 и 13.5 мм, 3 октября 2005 г. на волнах 2.0, 2.3, 2.8 и 3.5 см, 29 марта 2006 г. на волне 2.0 см. Во время наблюдений производились записи радиоизлучения при закрытии и открытии пятенных структур, областей спокойного Солнца и участков расположения КД в пределах телесного угла диаграммы направленности радиотелескопа. В 2003 г. наблюдались участки в северной полусфере диска Солнца, в 2005 г. проведены наблюдения участка невозмущенного Солнца вблизи южного полюса, 29.03.2006 г. наблюдались активные области NOAA 0865, NOAA 0866 и корональная дыра. В последнем случае по данным SOHO/MDI + EIT вблизи центра диска была обширная темная область, однако она не была обозначена как КД.

Методика наблюдений 29.03.2006 г. заключалась в наведении антенны радиотелескопа на: 1) область неба (получалась запись прохождения Луны через диаграмму направленности антенны); 2) область первого контакта; 3) область расположения корональной дыры; 4) группы пятен вблизи восточного лимба.

В других случаях радиотелескоп наводился на области, свободные от каких-либо замеченных в радиоизлучении образований. В процессе обработки проводились отождествления с оптическими

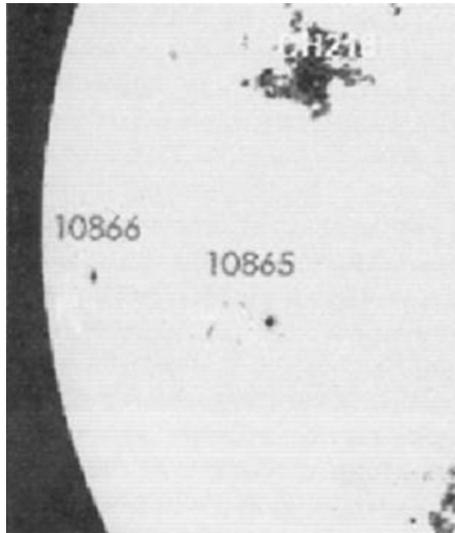


Рис. 3. Изображение части диска Солнца, полученное на SOHO/MDI (continuum) + EIT 29.03.2006 г. в 22:24 UT

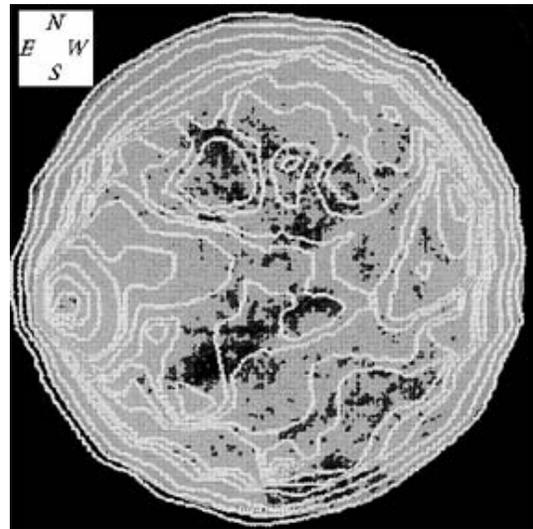


Рис. 4. Двумерная карта радиоизлучения Солнца по данным РТ-22 КраО на волне 2.0 см, совмещенная с изображением Солнца, полученным 29.03.2006 г. на SOHO/MDI (continuum) + EIT

образованиями по данным Интернет в мягком рентгеновском излучении. Угловое разрешение телескопа составляло 2.5 угл. мин на миллиметровых волнах и 3.6–6.0 угл. мин на сантиметровых волнах.

Методика выявления неоднородностей в радиоизлучении на участках Солнца в пределах телесного угла диаграммы направленности (ДН) телескопа РТ-22 осуществлялась следующим образом. График интенсивности излучения данного участка (при закрытии или открытии) сглаживался по 13 точкам. Вычислялась производная dS/dt от записи интенсивности, график которой также сглаживался. Диаграмма направленности антенны (ДН) была измерена ранее по мощному источнику радиоизлучения на краю диска Солнца и использовалась в нормированном варианте. Для нахождения коэффициента нормировки производной её график совмещался с графиком ДН в графическом редакторе Origin 7.5. При этом для выявления радиоисточников ДН определялась как нижняя огибающая, а для выявления депрессий – как верхняя огибающая графика производной. Затем из значений нормированной производной вычитались значения нормированной ДН. Полученная функция разности анализировалась с целью определения угловых размеров неоднородностей. Все программы, использованные для обработки данных, реализованы в среде визуального проектирования Delphi 7.0.

Помимо вычисления производных dS/dt от кривых закрытия-открытия участков спокойного Солнца проводилась нормировка данных распределения радиояркости с последующим вычислением Фурье-спектров и оценкой достоверности гармонических составляющих. Составляющие, проявившиеся в записях края диска Солнца, в записях затенения Луной ДН-антенны радиотелескопа и их спутники исключались из рассмотрения.

Результаты наблюдений затмения 31.05.2003 г. частично опубликованы (Будзиновская и др., 2005). Во время наблюдения солнечного затмения на радиотелескопе РТ-22 НИИ “КраО” на волнах 8.2 и 13.5 мм на диске Солнца был обнаружен компактный радиоисточник, имевший угловые размеры около 3 угл. сек. Яркостная температура области излучения составляла $T_{я} = 3.18 \times 10^6$ К на волне 13.5 мм и $T_{я} = 1.6 \times 10^6$ К на волне 8.2 мм. На волнах миллиметрового диапазона параметры источника измерены впервые. Яркостная температура области излучения значительно превосходила кинетическую температуру короны. Следовательно, источник имел нетепловую природу. В

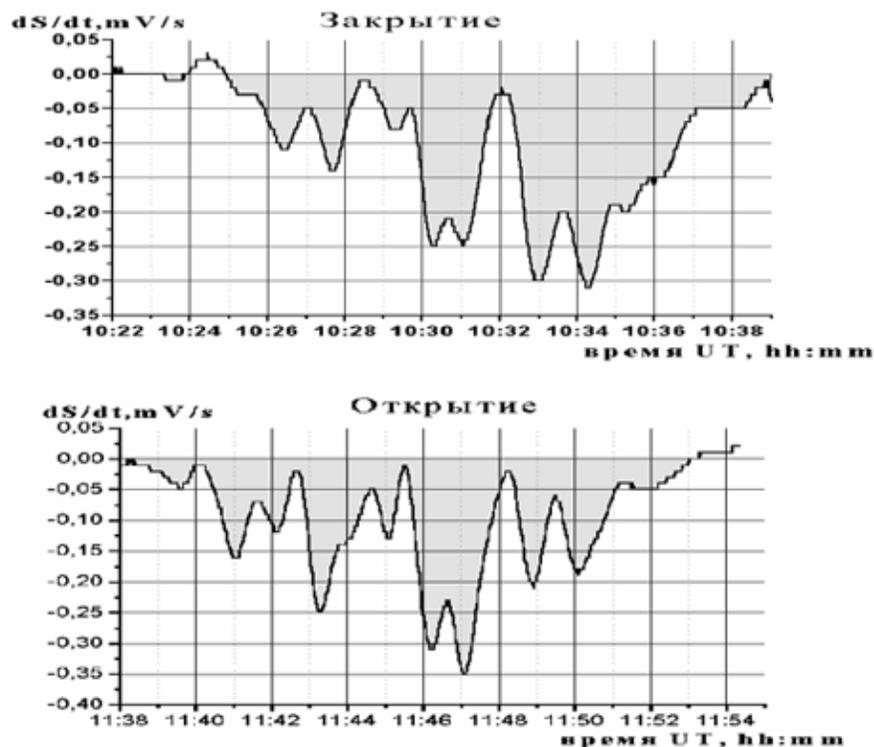


Рис. 5. Производные затменных кривых закрытия-открытия КД за 29.03.2006 г. на волне 2.0 см

данной работе анализируются результаты спектрального анализа вариаций миллиметрового излучения невозмущенного Солнца.

На рис. 4 приведена радиокарта Солнца на волне 2.0 см за период времени 05:43–07:06 UT 29.03.2006 г., совмещенная с изображением Солнца в рентгеновских лучах (Будзиновская и др., 2007б). Основной лепесток ДН радиотелескопа (7.2 угл. мин) покрывал две группы пятен в восточной части диска Солнца, а в другом положении – часть КД к юго-востоку, заключенную между пересечением меридиана и экватора. Направление движения Луны было с запада на восток под углом ~ 15 град. к экватору. Распределение интенсивности радиоизлучения не соответствует ни депрессии, ни поярчанию в области КД, однако над группами пятен явно заметен локальный источник. На рис. 3 представлены оптические образования по данным SOHO/MDI + EIT.

На рис. 5 представлены производные затменных кривых, а фактически – это распределение радиояркости на волне 2.0 см в области расположения КД. График представлен в форме депрессий радиояркости (заштрихованная часть) для моментов открытия и закрытия участка в пределах телесного угла ДН радиотелескопа. По оси ординат отложены значения производной dS/dt , в милливольт-секундах, по горизонтальной оси – время (UT). Характеры распределения радиояркости на рис. 5 существенно отличаются между собой (Будзиновская и др., 2007а). По-видимому, это связано с различием условий покрытия и открытия исследуемого участка диска при движении Луны.

Результаты оценок Фурье-спектров затменных кривых приведены в табл. 2. Здесь указаны длины волн, на которых проводились наблюдения, достоверные значения размеров неоднородностей распределения радиояркости в угл. сек и соответствующие им размеры оптических образований в км. Значения размеров неоднородностей вычислялись с учетом скорости движения Луны, которая предполагалась неизменной в пределах покрытия или открытия участков, ограниченных диаграм-

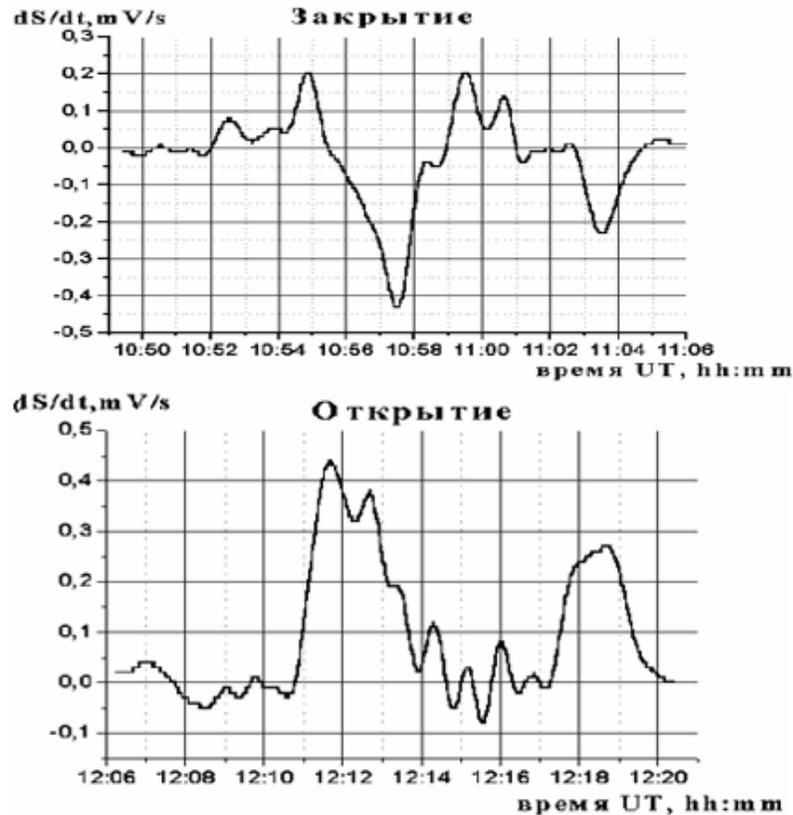


Рис. 6. Производные затменных кривых закрытия-открытия NOAA 0865 и NOAA 0866 на волне 2.0 см за 29.03.2006 г.

мами направленности радиотелескопа (5.0–12.0 угл. мин).

Данные, представленные в табл. 2, отражают эффекты радиогрануляции, которые ранее были отождествлены с гранулами и супергранулами на фотосферном уровне (Богод, Корольков, 1975). Максимальные размеры радиогрануляции на миллиметровых волнах близки к размерам хромосферной сетки (Гибсон, 1977). Из табл. 2 видно, что размеры радиогрануляции по диапазону на невозмущенных участках Солнца подтверждают результаты (Богод, Корольков, 1975), т. е. размеры увеличиваются с длиной волны. По наблюдениям затмения 29.03.2006 г. можно сделать вывод об особенностях радиогрануляционной структуры в сантиметровом диапазоне, которая в области КД (Coronal Holes (CH)) была больше по размерам, чем на участках диска с пятнами Local Sources (LS).

С целью сопоставления размеров неоднородностей распределения радиояркости невозмущенного Солнца с распределением радиоизлучения пятнистых структур в период невысокой солнечной активности далее приводятся данные радиоизлучения локальных источников по наблюдениям затмения 29.03.2006 г. Методика оценки параметров локальных источников по затменным наблюдениям изложена в работе (Будзиновская и др., 2000).

На рис. 6 представлены производные затменных кривых закрытия-открытия групп пятен dS/dt , характеризующие распределения радиояркости по локальным источникам во время затме-

Таблица 2. Результаты спектральной обработки затменных кривых радиоизлучения Солнца

		8.2 мм		13.5 мм	Затмение
Max	38"	28000	39.6"	28700	31.05.2003 г.
Min	8.7"	6300	8.7"	6300	
	3.5 см	2.8 см	2.3 см	2.0 см	Затмение
Max	33"	33"	29.2"	30.5"	03.10.2005 г.
	24000	24000	21200	22400	
Min	7.2"	6.4"	4.7"	4.5"	
	5100	4700	3500	3200	
		2.0 см (LS)		2.0 см (CH)	Затмение
Max	18"	13500	36.5"	27400	29.03.2006 г.
Min	8.5"	6400	10.5"	8300	

ния 29.03.2006 г. На фоне шумов отчетливо видны два локальных источника, располагавшиеся над группами пятен. Обстоятельства затмения были таковы, что в начальные моменты времени закрывалась и открывалась область NOAA 0865, а затем область NOAA 0866. Параметры локальных источников, а именно угловые размеры (L), яркостные температуры (Тя), высоты генерации радиоизлучения (H), следующие: NOAA 0865: L = 33" (60"), Тя = $0,18 \times 10^5$, H = 39000 км; NOAA 0866: L = 29" (52"), Тя = $0,65 \times 10^5$, H = 24000 км. В скобках указаны угловые размеры по кривым открытия локальных источников. Расстояние между максимумами локальных источников в среднем составляло 175". Согласно оптическим данным (рис. 3) угловые размеры наибольших пятен в группах составляли 10"–15". Радиоразмеры превышают оптические, что свидетельствует о наличии межпятенной составляющей радиоизлучения, что обусловило сложное распределение радиояркости над группой пятен NOAA 0865. Остальные параметры локальных источников (яркостная температура, высота генерации радиоизлучения, угловые размеры компонентов) в пределах ошибок измерений соответствуют ранее полученным нами результатам по наблюдениям затмений на РТ-22 в сантиметровом диапазоне длин волн (Ерюшев, Цветков, 1972; Будзиновская и др., 2000).

4 Заключение

Наблюдения крупномасштабных и мелкомасштабных структур в миллиметровом и сантиметровом радиоизлучении Солнца позволили выявить следующие свойства радиоизлучения корональных дыр:

1. Результаты наблюдений 2004–2006 гг. на РТ-22 НИИ “КраО” демонстрируют особенности проявления КД в диапазоне 2.0–3.5 см, которые проявляются в том, что депрессиям радиоизлучения соответствуют КД северного полушария. Экваториальные и южные КД располагаются, как правило, над областями спокойного Солнца или над областями повышенной радиояркости, граничащими с радиодепрессиями.

2. Результаты наблюдений затмений Солнца в 2003, 2005 и 2006 гг. позволили сопоставить размеры радиогрануляции в областях невозмущенного Солнца, в областях расположения КД и в области расположения групп пятен. Выявлены два интервала характерных размеров неоднородностей распределения радиояркости (4.5"–10.5") и (29"–40") в участках невозмущенного Солнца и КД. Радиоразмеры мелких пятен и пор располагаются в интервалах (8"–18"), что согласуется с нашими измерениями по наблюдениям затмения 11.08.1999 г. (Будзиновская и др., 2000). Отличительная особенность неоднородностей распределения радиояркости в области КД 29.03.2006 г. заключается в том, что размеры неоднородностей радиоизлучения групп мелких пятен в два раза меньше радиогрануляционных структур в области КД и в радиоизлучении спокойного Солнца.

Авторы выражают благодарность И.А. Будзиновской за помощь в наблюдениях и обработке наблюдательного материала.

Литература

- Боровик В.Н. // Докт. диссерт. Нижний Архыз. 1997.
- Богод В.М., Корольков Д.В. // Письма в Астрон. журн. 1975. Т. 1. №. 10. С. 25.
- Бугаенко О.И., Житник И.А., Игнатъев А.П. и др. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2004. Т. 100. С. 123.
- Будзиновская И.А., Цветков Л.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2002. Т. 98. С. 78.
- Будзиновская И.А., Миронов М.А., Цветков Л.И. // Кинемат. и физ. небесн. тел. 2000. Т. 16. №. 5. С. 418.
- Будзиновская И.А., Цветков Л.И., Юровский Ю.Ф. // Кинемат. и физ. небесн. тел. 2005. Т. 21. №. 1. С. 21.
- Будзиновская И.А., Самисько С.А., Цветков Л.И. // Матер. 17-й Междунар. Крымск. конф. "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". Севастополь. 2007а. Т. 2. С. 820.
- Будзиновская И.А., Самисько С.А., Цветков Л.И. // Матер. 17-й Междунар. Крымск. конф. "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". Севастополь. 2007б. Т. 2. С. 822.
- Гибсон Э. // Спокойное Солнце. М.: Мир. 1977.
- Ерюшев Н.Н., Цветков Л.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1972. Т. 44. С. 112.
- Житник И.А., Жигалкин Р.К., Игнатъев А.П. и др. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2005. Т. 101. С. 128.
- Лантос (Lantos P.) // Astron. Astrophys. 1978. V. 62. P. 69.
- Максимов и др. (Maksimov V.P., Prosovetsky D.V., Grechnev V.V., et al.) // Publ. Astron. Soc. Japan. V. 58. №. 1. 2006. P. 1.
- Моисеев И.Г., Нестеров Н.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1987. Т. 77. С. 83.
- Цветков Л.И., Миронов М.А., Поздняков М.М. и др. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1993. Т. 88. С. 146.