

**НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЦА
В МИЛЛИМЕТРОВОМ РАДИОДИАПАЗОНЕ
НА ТЕЛЕСКОПЕ РТ-7,5 МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО МИНИМУМА**

Смирнова В.В.¹, Рыжов В.С.², Нагнибеда В.Г.³, Жаркова Н.А.²

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, Россия

³НИИАИ им. В.В. Соболева, Санкт-Петербургского Государственного Университета,
Санкт-Петербург, Россия

**MILLIMETER SOLAR OBSERVATIONS PROVIDED BY RT-7.5
BMSTU RADIO TELESCOPE DURING THE SOLAR MINIMUM**

Smirnova V.V.¹, Ryzhov V.S.², Nagnibeda V.G.³, Zharkova N.A.²

¹Central (Pulkovo) Astronomical Observatory of RAS, Saint Petersburg, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

³Sobolev Astronomical Institute of Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

New results of solar radio observations at the RT-7.5 radio telescope (93 and 140 GHz frequencies) are presented. During the period of the minimum of solar activity, new observations of areas with low magnetic field were presented. New observations of coronal holes at 93 GHz were analyzed in comparison with data at UV lines obtained from SDO/AIA.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-347-350

Нами были проанализированы новые наблюдения областей со слабыми, относительно пятен, магнитными полями, а также, наблюдения корональных дыр, проводимых на радиотелескопе РТ-7,5 МГТУ им. Н.Э. Баумана, на частоте 93 ГГц, в период минимума солнечной активности. Диаграмма направленности радиотелескопа на данной частоте (2,5 угл. мин.) позволяет пространственно разрешать различные образования в солнечной хромосфере, такие как активные области, флоккулы и другие структуры [4]. Однако наблюдения различных структур на Солнце в миллиметровом диапазоне является сложной задачей, выдвигающей высокие требования к чувствительности приемной аппаратуры и качеству обработки данных, особенно в период минимума солнечной активности. В настоящее время, на радиотелескопе РТ-7,5 МГТУ им. Н.Э. Баумана разработаны и апробированы методы, позволяющие наблюдать как активные области с пятнами, так и области, где концентрация магнитного поля не превышает нескольких процентов относительно спокойного фона. Такие структуры, наряду с яркими активными областями, хорошо заметны на картах распределения интенсивности миллиметрового радиоизлучения по диску Солнца (рис. 1).

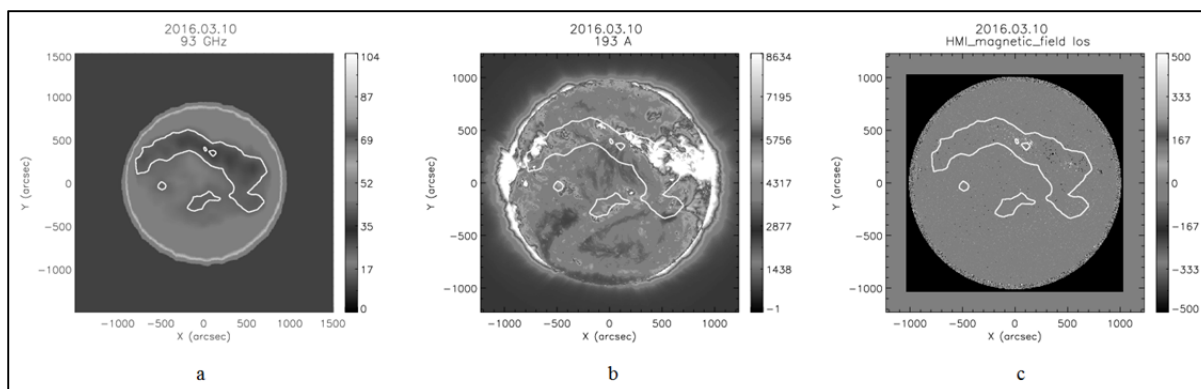


Рис. 1. Карты распределения яркостной температуры (в % от уровня спокойного Солнца) на частоте 93 ГГц (а), интенсивности в линии 193 Å (б) и магнитного поля (с). Дата наблюдений: 10.03.2016. Контуром выделены радиоисточники (60–80% от максимальной яркости).

В период минимума активности, в отсутствии пятен и вспышек, наибольший интерес представляют исследования структур, наблюдающихся в спокойной атмосфере Солнца. Это области с небольшой относительно фона концентрацией магнитного поля, корональные дыры, волокна. На рис. 2 представлен пример таких наблюдений, по данным Solar Dynamics Observatory (а и б) [3], и обсерватории Kanzelhoe в линии H_α (с).

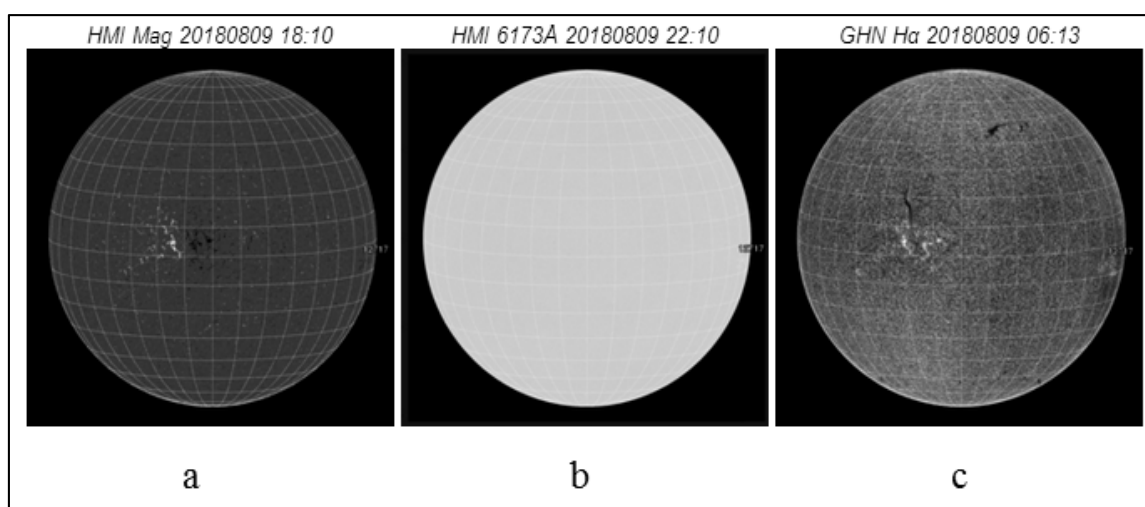


Рис. 2. Пример наблюдения области со слабой относительно пятен концентрацией магнитного поля, по данным Solar Dynamics Observatory (а – магнитограмма, б – интенсивность в континууме) и обсерватории Kanzelhoe, в линии H_α. Дата наблюдений: 2018.08.09.

Данная область находилась вблизи центра диска ($x, y = [-150, 10]$ угл. сек.). Видно, что структура представляла собой область с небольшой относительно фона концентрацией магнитного поля. В континууме она не являлась, но наблюдалась в линии H_α.

Положение радиоисточника, связанного с данной областью и наблюдавшегося на частоте 93 ГГц, показано на рис. 3а. Видно, что источник хо-

рошо выделяется, превышая яркость спокойного фона на 8%. Яркостная температура анализируемого источника составила порядка 7200 К [2]. На рис. 3b и c также представлена карта распределения интенсивности в линии 193 Å и магнитограмма по лучу зрения, соответственно. Видно, что контуры радиоисточника (80 и 90% от максимальной яркости) совпадают с положением яркой области в ультрафиолете и с областью «распределенного» магнитного поля на магнитограмме.

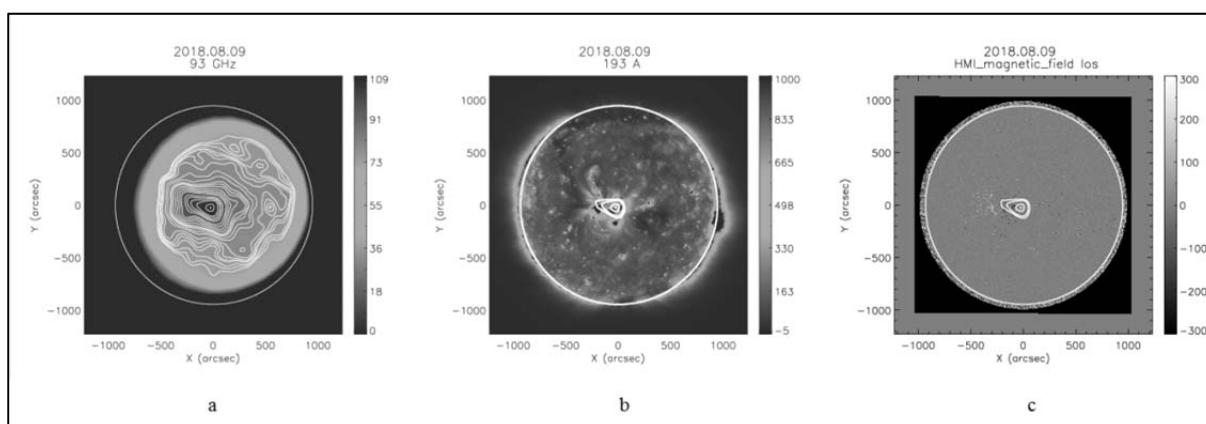


Рис. 3. Карта распределения яркостной температуры Солнца на частоте 93 ГГц по данным РТ-7,5 (а). Контурами выделен яркий источник и близлежащие области (60–90% от максимальной яркости). Карты распределения интенсивности излучения в линии 193 Å (b), и магнитограмма по лучу зрения с контурами радиоисточника (c) (80–90% от максимальной яркости). Дата наблюдений: 2018.08.09.

Данный результат показывает, что на радиотелескопе РТ-7,5, на частоте 93 ГГц, имеется возможность исследовать источники на Солнце с распределенным магнитным полем, когда концентрация поля много меньше, чем в пятнах. Постоянные наблюдения таких источников в миллиметровом диапазоне, в период минимума солнечной активности, в сравнении с другими спектральными диапазонами, даст возможность уточнить существующие модели спокойной хромосферы Солнца.

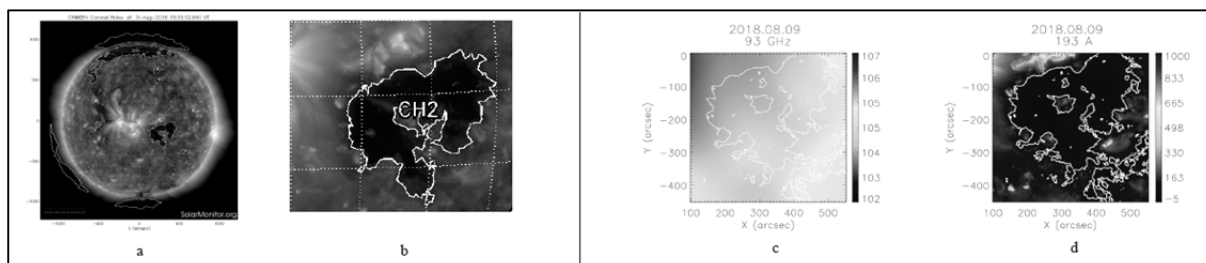


Рис. 4. Пример наблюдения корональных дыр, по данным SDO (a, b). Дата наблюдений: 2018.08.09. Карты распределения интенсивности радиоизлучения на частоте 93 ГГц (% от уровня «спокойного» Солнца) (c) и излучения в линии 193 Å (d). Контурами выделено положение корональной дыры CH2 с координатами $xu = [319, -201]$ угл. сек. (см. панель a). $B = 5.4$ Гс.

Корональные дыры — это открытые конфигурации магнитного поля, наблюдаемые, в основном, в солнечной короне. Они хорошо заметны в ультрафиолетовых линиях, как темные области, располагающиеся как около центра солнечного диска, так и на полюсах (рис. 4а). Их отождествление в миллиметровом радиодиапазоне требует высокой чувствительности приемной аппаратуры и разработки дополнительных методов первичного анализа данных. На рис. 4 представлен пример наблюдений корональной дыры, по данным SDO/AIA, располагавшейся вблизи центра солнечного диска (панели а и b). Карта интенсивности радиоизлучения, области корональной дыры ch2 (см. рис. 4а) показана на панели с. Контурами обозначено положение корональной дыры, хорошо заметной в линии 193 Å (панель d). Положение корональной дыры частично совпадает с областями пониженной яркости радиоизлучения на частоте 93 ГГц. Однако однозначно отождествить положение и границы корональной дыры на данной частоте не удастся. Для детального исследования корональных дыр необходимо улучшать методы первичной обработки радиоизображений для получения более высокого разрешения [1].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-12-10448.

Часть работы по анализу наблюдательных данных выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-02-00749 и программы ПРАН П-28.

Литература

1. Рыжов В.С., Димиев Д.К., Жаркова Н.А. Влияние погрешности сопровождения привода радиотелескопа РТ-7,5 на точность наблюдений Солнца // Радиостроение, 2016; (6):14-23.
2. Смирнова В.В., Цап Ю.Т., Шумов А.В. и др. Наблюдения Солнца на радиотелескопе РТ-7.5 МГТУ им. Н.Э. Баумана и моделирование миллиметрового излучения солнечной вспышки 2 апреля 2017 года // Радиостроение, 2017; (6):14-26.
3. Scherrer, P.H., Schou, J., Bush, R.I., et al. // Sol. Phys., 2012, 275, 207.
4. Tsap Yu.T. et al. // ASR, 2016, V. 56, N 7, p. 1449.