

**ОБРАБОТКА ДАННЫХ РАДИОТЕЛЕСКОПА
РТ-7,5 МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В МОДЕЛИРОВАНИИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ХРОМОСФЕРЫ**

**Смирнова В.В.¹, Лукичева М.А.², Тлатова К.А.³,
Рыжов В.С.⁴, Живанович И.¹, Нагнибеда В.Г.²**

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

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

³Кисловодская Горная астрономическая станция, Кисловодск

⁴Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, Москва

**DATA PROCESSING OF RT-7.5 RADIOTELESCOPE FOR
THE MODELLING OF MILLIMETER EMISSION
OF ACTIVE REGIONS IN SOLAR CHROMOSPHERE**

**Smirnova V.V.¹, Loukitcheva M. A.², Tlatova K.A.³,
Ryzhov V.S.⁴, Zhivanovich I.¹, Nagnibeda V.G.²**

¹Central (Pulkovo) Astronomical Observatory Russian Academy of Sciences

²Saint-Petersburg State University

³Kislovodsk Station

⁴Bauman Moscow State Technical University

An improved method of initial data processing of solar maps observed with the radio telescope RT-7.5 BMSTU at 93 and 140 GHz frequencies is presented. New software was developed to automatically save data in the FITS format. Observational data were used in the task of 3-D modeling of the solar chromosphere.

В настоящее время активно ведутся наблюдения солнечной хромосферы на радиотелескопе РТ-7,5 МГТУ им. Н.Э. Баумана, на частотах 93 и 140 ГГц в режиме картографирования. Пространственное разрешение 2,5' и 1,5' на указанных частотах, соответственно, позволяет идентифицировать на диске Солнца яркие активные области (АО).

В данной работе был предложен метод первичной обработки солнечных карт и приведен пример анализа этих карт для сравнения с новыми результатами моделирования миллиметрового радиоизлучения АО.

Картографирование Солнца на радиотелескопе РТ-7,5 происходит в растровом режиме одновременно на двух частотах. Размер кадра: 1500×1500 угл. сек. С помощью программного пакета Helios Map Viewer, созданного для первичной обработки и визуализации солнечных карт, в 2017 году стало возможно автоматически создавать файл формата FITS, исходя из параметров, получаемых при сканировании. При записи FITS-файла, в сопроводительную шапку (Header) добавляются все необходимые параметры для построения изображения Солнца и его дальнейшего анализа.

На рис. 1 представлен пример карт распределения интенсивности радиоизлучения, полученных на частотах 93 и 140 ГГц. Яркостная температура указана в процентах от уровня спокойного Солнца (принято за 100%). Контурами отмечены активные области, в которых наблюдается максимальное превышение над уровнем спокойного Солнца.

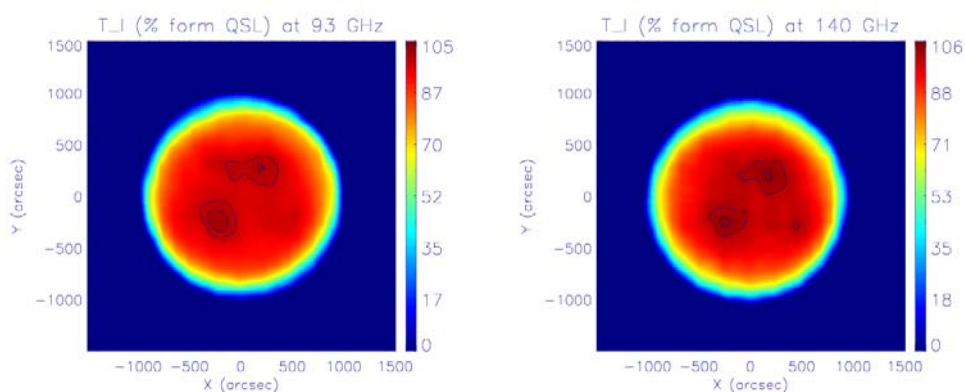


Рис. 1. Карты распределения яркостной температуры Солнца (в % от уровня спокойного Солнца) на частотах 93 ГГц (слева) и 140 ГГц (справа).

Для моделирования радиоизлучения хромосферы был использован пакет GX Simulator [1, 2], изначально разработанный для моделирования вспышечных процессов в короне, но в результате последних изменений позволяющий реалистично описывать и хромосферную часть трехмерной модели. Заполнение модельной хромосферы основано на фрагментации солнечного диска на яркостные компоненты, создании масок компонент, и последующего заполнения хромосферного объема выбранными 1-D моделями, например, из работ [3–5], описывающих основные структуры, наблюдаемые на диске Солнца, включая элементы как спокойного, так и активного Солнца. Входными данными для создания трехмерной модели АО и дальнейшего моделирования исходящего миллиметрового излучения служат фотогелиограммы и магнитограммы, получаемые на инструменте Helioseismic and Magnetic Imager (HMI, [6]), установленном на космической обсерватории Solar Dynamics Observatory (SDO). Элементы спокойного Солнца и активной области (тень и полутень пятна, факелы, флоккулы) разделяются на основе значений магнитограммы, затем, фрагментация производится на основе значений отсечки для разных яркостных компонент на гистограмме интенсивности в белом свете [2]. При расчете миллиметровых радио яркостей учитывалось тормозное и гирорезонансное излучение. Моделирование радиоизлучения проводилось для частот 17, 37, 93 и 140 ГГц с использованием данных SDO/HMI, для задания начальных условий моделирования и для определения набора яркостных компонент в модели тепловой структуры хромосферы (рис. 2а). На рис. 2б представлен результат моделирования, и сравнение с наблюдениями на тех же частотах.

Наблюдательные данные были получены на радиогелиографе Nobeyama (17 ГГц), радиотелескопах РТ-14 Metsahovi (37 ГГц) и РТ-7,5 МГТУ (93 и 140 ГГц). На верхней панели (рис. 2б) показано распределение яркостной

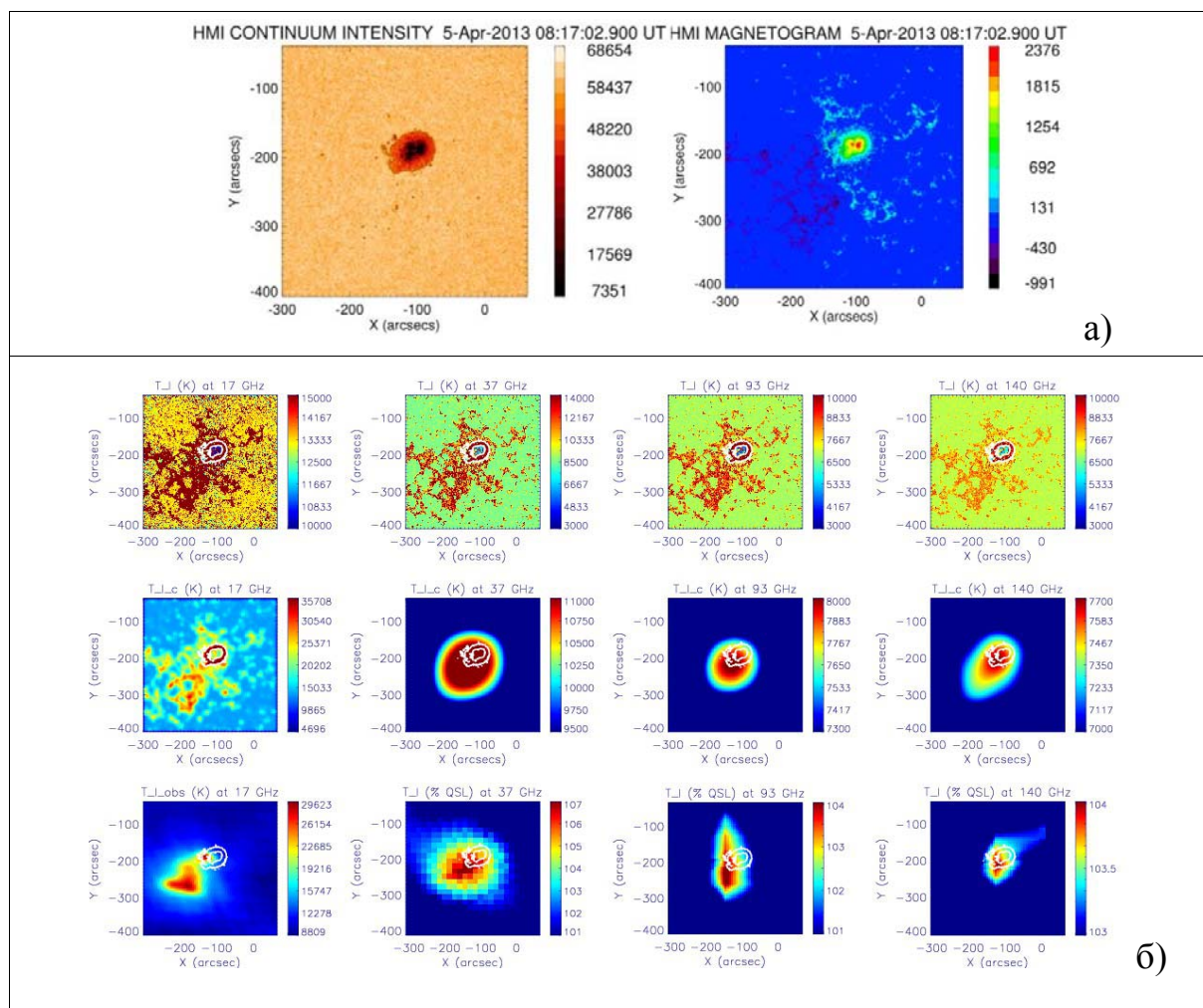


Рис. 2. а). Данные SDO/HMI, используемые для определения набора яркостных компонент, используемых при построении тепловой структуры хромосферы. **б).** Результаты моделирования излучения хромосферы на частотах 17, 37, 93 и 140 ГГц с оригинальным разрешением (верхняя панель), свернутые с ДН инструментов (средняя панель) и результаты, полученные из наблюдений (нижняя панель).

температуры для активной области 11711 на указанных частотах для модельного значения пространственного разрешения (1,2"), без учета диаграмм направленности (ДН) инструментов (10" для 17 ГГц, 2.4' для 37 ГГц, 2.5' и 1.5' для 93 и 140 ГГц соответственно). Белыми контурами обозначены тень и полутень пятна, наблюдавшегося в данной АО. На средней панели представлен результат свертки модельных распределений яркостных температур АО с ДН инструментов. На нижней панели показаны карты АО 11711, полученные из наблюдений. Для карт на частотах 37, 93 и 140 ГГц интенсивность радиоизлучения указана в процентах от уровня спокойного Солнца, яркостная температура которого на указанных частотах составляет

7800 К, 6600 К и 6400 К, соответственно. Видно, что как модельные, так и наблюдаемые источники сдвинуты относительно контуров тени и полутени пятна. Модельные и наблюдаемые источники близки по положению, но могут отличаться по форме. Однако невысокое пространственное разрешение инструментов замыкает тонкую структуру и не позволяет выполнить детальное сравнение источников. Максимум излучения на 17 ГГц приходится на флоккульное поле противоположной пятну полярности. Максимум яркостной температуры источника на 37 ГГц также сдвинут относительно пятна и лежит на границе раздела полярностей, как и максимум излучения на 93 ГГц. Наиболее близко к пятну лежит источник на 140 ГГц. На основании полученных результатов сделан вывод, что двуволновые радиокарты, получаемые на РТ-7.5 МГТУ им. Н.Э. Баумана, могут быть использованы для тестирования результатов трехмерного моделирования солнечной хромосферы, а также для исследования крупномасштабных изменений в строении АО на хромосферных высотах.

Работа поддержана грантами: РФФИ 16-02-00749; РФФИ 16-12-10448.

Литература

1. Nita, G., Fleishman, G., Kuznetsov, A., Kontar, E., Gary, D. 2015, ApJ, 799, 236N.
2. Nita, G., Viall N., Klimchuk, J., Loukitcheva, M., Gary, D., Kuznetsov, A., Fleishman, G. 2017, ApJ, submitted.
3. Fontenla, J.M., Avrett, E., Thuillier, G., & Harder, J. 2006, ApJ, 639, 441.
4. Fontenla, J.M., Curdt, W., Haberreiter, M., Harder, J., & Tian, H. 2009, ApJ, 707, 482.
5. Fontenla, J.M., Harder, J., Livingston, W., Snow, M., & Woods, T. 2011, Journal of Geophysical Research (Atmospheres), 116, D20108.
6. Scherrer, P.H., Schou, J., Bush, R.I., et al. 2012, Sol. Phys., 275, 207.