электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
издатель ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

Результаты наблюдений солнечной активности в миллиметровом диапазоне на радиотелескопе РТ-7,5 МГТУ им. Н.Э.Баумана

77-48211/596130

07, июль 2013

Власов И. Б., Жаркова Н. А., Жильцов А. В., Рыжов В. С., Шустиков В. Ю.

УДК 522.59

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
vlasov_bmstu@mail.ru
Zharkova06@mail.ru,
zhiltsov_bmstu@mail.ru
v_ryzhov@mail.ru
rt75shust2@mail.ru

Наблюдения динамики радиоизлучения Солнца в мм диапазоне ведутся на Радиотелескопе МГТУ (РТ МГТУ), начиная с 90 годов прошлого века [1…5]. Основной целью этих наблюдений являлось картографирование радиояркостной температуры солнечного диска. Постоянно пополняемая база данных (РТ МГТУ) в настоящее время содержит более десяти тысяч солнечных карт на длинах волн 2 и 3 мм. Сравнение накопленного материала с данными, полученными на других инструментах, представляет большой интерес для радиоастрономов, занимающихся физикой Солнца.

В настоящее время растет интерес разработчиков радионавигационных, связных и других радиотехнических систем и комплексов к вспышечным явлениям, происходящим на Солнце, так как мощные солнечные вспышки существенно влияют на условия распространения радиоволн в земной атмосфере и способны вызывать осложнения в работе радиосистем [6, 7, 8]. Сравнительный анализ данных, относительно мощности, скорости нарастания и другим параметров вспышек, полученных одновременно на инструментах, в различных частях электромагнитного спектра, дает исследователям материал для оценки и прогнозирования этих явлений, что позволяет своевременно предупреждать пользователей радиосистем о возможных нарушениях в их работе, а также разрабатывать методы защиты таких систем от помех.

Солнечные вспышки неоднократно регистрировались на РТ МГТУ во время сеансов картографирования Солнца, однако специальных наблюдений динамики развития и затухания вспышки практически не проводилось [4] из-за низкой скорости сканирования солнечного диска. Параметры аппаратуры, использовавшейся на РТ МГТУ до 2006 года, позволяли получить солнечную карту примерно за 20 мин. После модернизации программно-аппаратного комплекса наведения РТ [5] и алгоритмов предварительной обработки данных радиометра удалось сократить время картографирования солнечного диска до 8 мин, однако для полноценных наблюдений

за вспышками, как показано [9] этого недостаточно. Выброс энергии при развитии вспышки происходит с высокой скоростью и достигает максимального значения течении всего лишь нескольких минут. Угловой размер активных областей соизмерим или меньше ширины диаграммы направленности антенны РТ-МГТУ в 3-мм диапазоне и составляет порядка угловой минуты. Весь диск Солнца, как известно, имеющий угловой размер 30 мин., содержит порядка 500 таких «элементов». Отсюда следует, что в режиме картографирования не обеспечивается, со 100%-ной вероятностью, даже регистрация самого факта вспышки.

Для уверенной регистрации вспышек необходим специальный режим слежения за активными областями Солнца, в которых вероятно возникновение вспышек. В настоящее время Солнце находится в фазе высокой активности, поэтому число таких областей достаточно велико. Каталоги таких областей и прогнозы их динамики регулярно публикуются, в том числе, в Интернете.

С учетом сказанного, на РТ МГТУ была разработана и реализована методика и соответствующая аппаратура для наблюдения активных областей с целью своевременного обнаружения вспышек и наблюдения динамики их развития.

В основу положен хорошо известный в радиоастрономии метод диаграммного сканирования при слежении за точечными объектами. Этот метод может быть реализован при солнечных наблюдениях. Попеременно регистрируется мощность излучения активной области и соседней с ней области спокойного Солнца, а затем вычисляется разность этих величин. Поскольку флуктуации коэффициента поглощения (шумы) атмосферы, а также шумовой температуры приемника коррелированны во времени, при достаточной частоте сканирования (диаграммной модуляции) они практически компенсируются в результате разностной обработки. Схема расположения элементов радиометра на антенне РТ-7,5 для наблюдения за активными областями Солнца и регистрации вспышек, приведена на рис. 1.

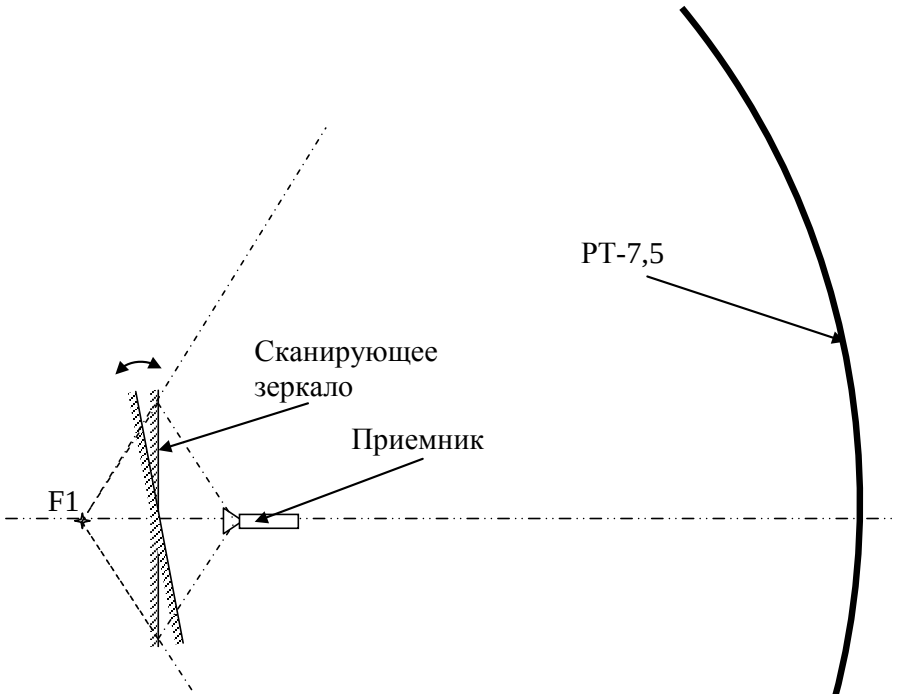

Рисунок 1

Радиометр состоит из приемника 3,2 мм (94 ГГц) с шумовой температурой около 2000 К, размещенного около первичного фокуса антенны, и плоского зеркала (контррефлектора), качание которого в азимутальной плоскости с помощью шагового двигателя обеспечивает линейное диаграммное сканирование. Период сканирования составляет 1 с, максимальный угол отклонения ДН антенны - 8 угл. мин., что вполне достаточно для регистрации опорной области спокойного Солнца. На рис. 2 представлена фотография радиометра, установленного на антенне РТ.

Рисунок 2

Сигнал радиометра оцифровывается с тактовой частотой 8 Гц, затем поток чисел на выходе АЦП разделяется на два массива («канала»), в один из которых записываются результаты наблюдения активной области, в другой – области спокойного солнца. Для разделения на каналы используется опорный сигнал, формируемый с учетом информация о положении ротора шагового двигателя, а также показания датчиков ССП РТ. Поскольку число отсчетов, попадающих в каждый из каналов, может различаться (например - из-за погрешностей в работе ССП), выборки в каждом из каналов усредняются с учетом истинной длительности их записи. Разность средних значений дополнительно сглаживается; полученная постоянная составляющая, пропорциональна разности средних мощностей излучения («радиоконтрасту») активной и спокойной областей. Очевидно, что описанная последовательность операций полностью эквивалентна синхронному детектированию выборки на выходе АЦП с использованием вышеописанного опорного сигнала. Отметим, что при

обработке удалялись отсчеты, которым соответствовала аномальные ошибки наведения антенной системы.

Ниже на рисунке 3 приводятся результаты обработки данных программой MahtCad, полученных 17 мая 2013г. при наблюдении вспышки на Солнце радиотелескопом РТ-7,5 МГТУ на длине волны 3,2 мм. Точки соответствуют зарегистрированным данным, кривая 1 – усреднение по десяти точкам, кривая 2 – сглаживание с помощью встроенной функции «*ksmooth*».

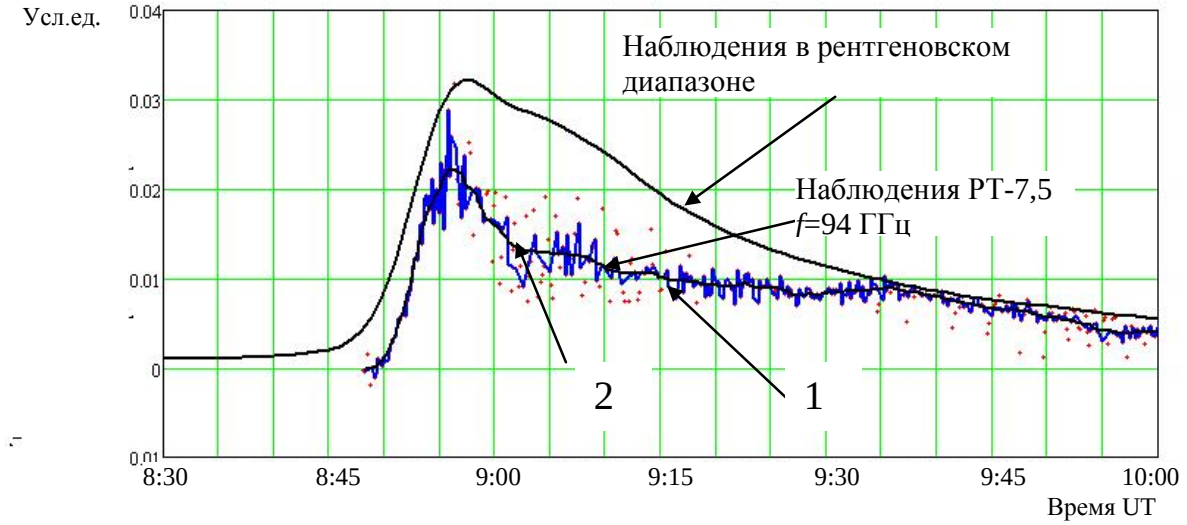

Рисунок 3

Вспышка произошла в активной области 11748 (N12E23 - координаты вспышки на диске). Мощность вспышки по классификации GOES M3.2, что соответствует вспышке средней мощности и поэтому она уверенно наблюдалась в миллиметровом диапазоне..

Для сравнения на этом же рисунке представлены данные, полученные в рентгеновском диапазоне (1…8 А) аппаратурой спутника GOES 15. На рисунке 4 показаны результаты наблюдений выполненных в это же время на радиотелескопе Метсахови (Metsahovi Radio Observatory) в диапазоне 11 ГГц.

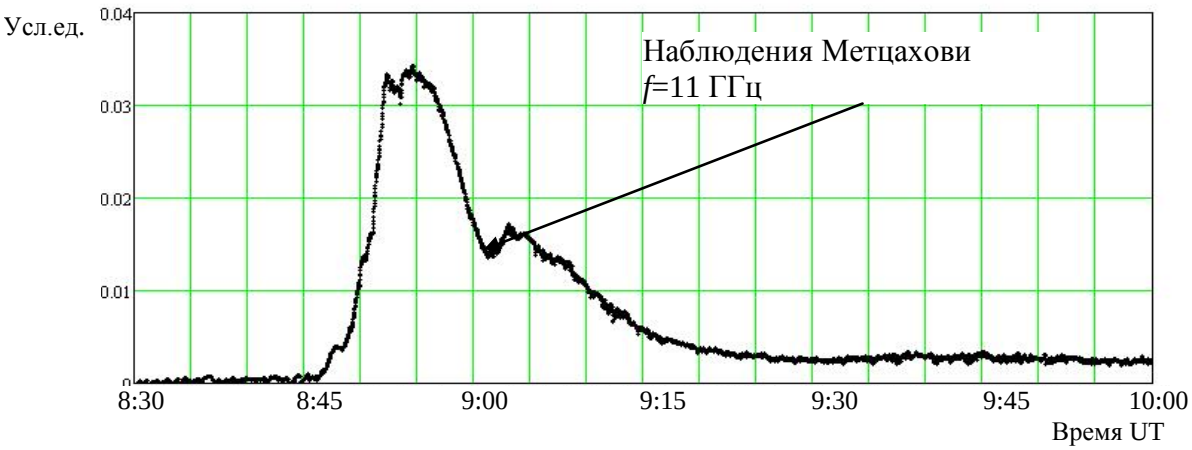

Рисунок 4

Данные для сравнения были взяты из интернета, где представлены в свободном доступе. Видно хорошее совпадение даже в некоторых деталях.

Список литературы

1. Solar Observations with Radiotelescope MVTU / G.N.Solovyov, B.A.Rozanov, V.N.Ivanov, V.G. Nagnibeda, V.V.Piotrovich. // In: Fedorov(Ed.): Topics in Radioelectronic and Laser System Design, CRC Press, Inc., Boca Raton, 1992, pp.167-176

2. Наблюдения радиоизлучения Солнца в коротковолновой части миллиметрового диапазона волн./Б.А. Розанов, Г.Н. Соловьев, Т.С. Лебедюк, Н.А. Жаркова, В.Г. Нагнибеда, В.В. Пиотрович, Ю.А. Федорова.// "Вестник МГТУ", сер. “Приборостроение” - 1994., -N4, С 4-15.

3. B.A.Rozanov, N.A.Zharkova, G.N. Solovjov, G.A. Profatilova, T.S. Lebedjuk, A.S.Pavlov, V.G. Nagnibeda, M.A. Lukicheva. Instruments, techniques and some results of solar observations at the BMSTU Radio telescope at short millimeter waves. Pulkovj, Saint Petersburg, 28 June-3July, -1999.-P.148-151 (Доклад на VIII Российско-Финляндском симпозиуме. Июнь 1999 года, г. С-Петербурге

4. Розанов Б.А., Жаркова Н.А., Лебедюк Т.С., Соловьев Г.Н. Наблюдения солнечной активности в марте-апреле 2001 г. на радиотелескопе РТ-7,5 МГТУ им. Н.Э. Баумана в коротковолновой части миллиметрового диапазоне волн. Тезисы докладов. Международная конференция. "Солнце в эпоху смены знака магнитного поля". ГАО РАН, Пулково, Санкт-Петербург 28 мая - 1 июня 2001 г., Санк-Петербург, -2001, С92.

5. Жаркова Н.А., Парков А.А., Борисов А.А. Новое поколение приемной аппаратуры радиотелескопа РТ-7,5. // Вестник МГТУ. Серия Приборостроение. Специальный выпуск «Радиолокация, спутниковая навигация и связь, радиоастрономия». – 2009, - С.207-210.

6. Афрамович Э. Л., Жеребцов Г.А., Смольков Г.Я. Тотальный сбой спутниковой навигационной системы GPS во время солнечной вспышки 6 декабря 2006 г. – ДАН, 2007, т. 416, №6, С.817-822

7. Демьянов В.В. Срыв сопровождения сигналов навигационных спутников под воздействием солнечных вспышек радиоизлучения. Научно-технические серии. Выпуск 1. Спутниковые радионавигационные системы. Коллективная монография / Под ред. М.С. Ярлыкова. – М.: Радиотехника, 2013. – С. 140-149.

8. Захаров В.И., Зиенко А.С., Куницын В.Е. Распространение радиосигналов GPS при различной солнечной активности. Научно-технические серии. Выпуск 1. Спутниковые радионавигационные системы. Коллективная монография / Под ред. М.С. Ярлыкова. – М.: Радиотехника, 2013. – С. 180-186.

9. В.Ю. Шустиков, А.В. Шумов, В.С. Рыжов, А.В. Жильцов. Результаты наблюдений миллиметрового радиоизлучения солнечных вспышек на

радиотелескопе Рт-7,5 МГТУ им. Н.Э. Баумана. // Вестник МГТУ. Серия «Приборостроения». Специальный выпуск №7. «Радиооптические технологии в приборостроении». – 2012, - С277-288.