

*Петерова Н.Г., Коржавин А.Н., Борисевич Т.П.,
Ильин Г.Н., Потапович А.В., Топчило Н.А.*

**БОЛЬШОЙ ПУЛКОВСКИЙ РАДИОТЕЛЕСКОП –
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА**
(к 50-летию инструмента)

Большой Пулковский радиотелескоп (БПР) относится к инструментам, получившим название «Антенны Переменного Профиля» (АПП), в число которых входит и РАТАН–600. Радиотелескопы этого типа обладают оригинальной конструкцией – отражающая поверхность рефлектора состоит из отдельных элементов (щитов), установленных на земле (рис.1 – фото БПР). Такой принцип построения отражающей поверхности позволяет достичь высокую одномерную разрешающую способность в направлении Запад – Восток. Основным достоинством АПП является возможность проводить одновременные наблюдения в широком диапазоне длин волн (0.8–30 см), что выгодно отличает эти инструменты от интерферометров.



Рис. 1.

БПР был введен в эксплуатацию в декабре 1956 г. [1], и в то время имел рекордную разрешающую способность ~ 1 угл. мин. на волне 3 см. Солнечная тематика с самого начала составляла важную часть исследований, проводимых на БПР. Благодаря сочетанию высокого пространственного разрешения с возможностью проводить спектрально–поляризационные наблюдения были получены новые результаты [2], которые оказали большое влияние на развитие представлений о природе солнечного радиоизлучения. Эти результаты до сих пор являются той базой, на которую опирались и опираются дальнейшие исследования, уточняющие наши знания о структуре и динамике солнечной короны.

Наблюдения Солнца на БПР приобрели характер регулярной (ежедневной) Службы радиоизлучения Солнца с высоким разрешением, начиная с 1963 г. А в 1974 г. БПР превратился в специализированный инструмент для наблюдений и исследований Солнца, которые продолжаются и в настоящее время. Таким образом, накоплен большой наблюдательный материал, охватывающий почти 4 солнечных цикла, который позволяет проводить статистические исследования на основе однородного ряда данных, полученных и обработанных по единой методике. Продолжая вести регулярные наблюдения, БПР имеет возможность изучать периодические процессы на Солнце различной длительности – от 11 лет до ежесуточных изменений.

Согласно современной классификации, БПР относится к инструментам, обладающим умеренным одномерным (E–W) пространственным разрешением – его вели-

чина сравнима с размерами типичной активной области (АО) на Солнце 2–4 угл. мин. Это позволяет измерять интегральные (усредненные по всем деталям структуры) характеристики радиоизлучения короны над АО. Спектральное и временное разрешение БПР достаточно для постановки таких задач как исследование общего характера спектра локальных источников S–компоненты радиоизлучения Солнца (л. и.) в диапазоне 2.7–20 см по наблюдениям в 5–ти фиксированных точках этого диапазона и медленных изменений спектра день ото дня.

Статистические исследования (число случаев > 100), выполненные по наблюдениям на БПР, позволили выявить ряд закономерностей и установить значение средне-статистических параметров радиоизлучения л. и. Это дает возможность путем сопоставления с результатами статистики судить с достаточной точностью об особенностях той или иной АО, в частности, степени нагрева корональной плазмы в атмосфере Солнца над АО. Такая оценка не утратила своего значения и в настоящее время, поскольку статистика л. и. на основе наблюдений с большим разрешением (к примеру, на РАТАН–600 и ССРТ) с учетом тонкой структуры источника радиоизлучения над АО пока практически отсутствует. Кроме того, обработка наблюдений на БПР менее трудоемка, и это немаловажное преимущество, если необходима оперативная информация. Все это объясняет, почему наблюдения и исследования Солнца с помощью БПР продолжают до сих пор.

Своим долголетием БПР обязан постоянному обновлению и модернизации, которую все эти годы удавалось проводить, не прерывая наблюдений. В последние 30 лет, после ввода в эксплуатацию РАТАН–600, основной задачей для БПР является исследование солнечно-земных связей и разработка методов прогнозирования мощных солнечных вспышек.

Приемная аппаратура

Спектрально-поляризационный комплекс приемной аппаратуры БПР представляет 10-канальную систему, состоящую из 5-ти поляриметров, работающих на фиксированных частотах в диапазоне 2–20 см. Каждый поляриметр регистрирует 2 параметра Стокса – I и V. Значения фиксированных частот по диапазону отличаются в ~ 1.5 раза, что исторически было продиктовано требованиями циклотронного механизма излучения, долгое время считавшегося главенствующим при интерпретации результатов наблюдений источников S-компоненты микроволнового излучения Солнца. Эти соображения учитывались при модернизации приемной аппаратуры, чтобы сохранить однородность рядов наблюдений, составляющих солнечный архив БПР. Таблица 1 показывает, как изменились со временем фиксированные значения частот, на которых наблюдается Солнце на БПР.

Таблица 1.

Год	Длина волны, см					Кол-во наблюдений за год
1976	2.3	3.2	4.5	6.6	9.0	310
2004	2.7	3.2	4.5	6.2	20.0	360

Модернизация приемной аппаратуры для наблюдений Солнца на БПР проводилась в несколько этапов. В 1979 г. ламповые супергетеродинные приемники были заменены на более современные твердотельные супергетеродинные приемники. К 1990 г. на всех волнах были введены в эксплуатацию транзисторные приемные устройства (ПУ) прямого усиления. ПУ содержат один или несколько транзисторных усилителей (ТРУ) с вентильными элементами развязки, полосно-пропускающий фильтр, формирующий полосу принимаемых сигналов, квадратичный детектор и предварительный

усилитель низкой частоты – ПУНЧ. Шумовая температура ПУ определяется типом входного транзисторного усилителя и омическими потерями во входном тракте и находится в пределах 400К-600К, что вполне достаточно для приема излучения такого мощного источника радиоизлучения, каким является Солнце.

Серьезную проблему наблюдений на БПР представляет большая длина кабельных линий, соединяющих приемные устройства, расположенные в термостатируемом контейнере под вторичным зеркалом антенны БПР, с помещением аппаратной БПР, находящейся в здании на расстоянии порядка 150 м. В настоящее время введена новая система передачи выходных сигналов ПУ на основе линий, использующих витые пары проводов вместо коаксиальных кабелей. Это позволило реализовать передачу слабых (порядка 50 мВ) сигналов на указанное расстояние и практически избавиться от синфазной (50 Гц) наводки, что в значительной мере увеличило стабильность наблюдений.

Наиболее насущной задачей дальнейшей модернизации приемной аппаратуры БПР является восстановление утраченных в свое время наблюдений Солнца в диапазоне ~ 10 см. Это потребует конструирования и изготовления соответствующего ПУ, а также первичного облучателя. Работы уже начались.

Система сбора данных

Модернизация этой системы долгое время не находила своего решения. До 1999 г. регистрация сигналов велась с помощью самописцев на бумажной ленте, затем была переведена на персональный компьютер, и только в 2004 г. началась разработка принципиально новой системы, которая кроме основной задачи – сбора данных – позволила решить проблему автоматизации наблюдений. Новая система регистрации основана на цифровом синхронном детектировании сигнала в компьютере, что заменяет громоздкую, устаревшую и требующую больших затрат по эксплуатации аналоговую низкочастотную часть аппаратуры.

При разработке новой системы сбора для БПР были успешно решены несколько задач: полная синхронизация процесса управления аппаратурой, сбор данных и проведение наблюдений. Основой системы сбора является совместное использование персонального компьютера и многофункциональной платы аналогового и цифрового ввода-вывода, что обеспечило простоту программного обеспечения и аппаратной реализации системы, а также возможность быстрого увеличения производительности за счет замены компонент системы на более производительные аналоги. Программа наблюдений, являющаяся ядром системы сбора данных и управления аппаратурой, работает в операционной системе DOS для обеспечения максимальной синхронности протекания всех процессов в системе. Программа написана на языке Паскаль и может работать как в полностью автоматическом режиме без какого-либо вмешательства наблюдателя (по заранее составленному расписанию), так и в режиме активного управления со стороны наблюдателя (используется для контрольных и отладочных работ).

Для перехода на полностью автоматический режим наблюдений в настоящее время реконструируется также механическое устройство, закрывающее (открывающее) первичные облучатели на вторичном зеркале. После ввода этого устройства в эксплуатацию работа наблюдателя будет сведена к периодическому (раз в неделю или месяц) съему данных и занесения их в архив.

Программа обработки наблюдений

Процесс обработки наблюдений Солнца на БПР можно разделить на два этапа: в результате первичной обработки получается материал, пригодный для публикации данных БПР в информационных бюллетенях, через INTERNET и различного рода Каталогах. Второй этап – это получение характеристик радиоизлучения (поток, размер источника излучения, яркостная температура, знак и степень поляризации), необходимых

для астрофизических исследований. Первый вариант первичной обработки был реализован в виде программы CORPOL (автор А.Н. Коржавин). Позднее (с 1987 года) с использованием методики CORPOL была разработана система программной подготовки наблюдений для публикации в бюллетене «Солнечные данные» (автор В.Е. Абрамов-Максимов), которая успешно применялась до 1996 года. Существенный прогресс в обработке сканов Солнца, получаемых на инструментах типа АПП, был достигнут, когда для обработки наблюдений, проводимых на радиотелескопе РАТАН-600, была разработана программа WorkScan [3]. На БПР для преобразования первичных данных, регистрируемых системой сбора, в модифицированный Fit-формат программы Work Scan были разработаны в 2000 году программа SunW (автор Е.Н. Курочкина), а с 2002 года – FConvertor (автор Н.А. Топчило). С помощью этих программ, кроме преобразования форматов данных, выполняются также калибровки регистрируемых сигналов. В настоящее время программа поддерживает все типы использовавшихся первичных данных БПР, в том числе и получаемых с новой системы сбора данных. Кроме того программа предназначена для выполнения некоторых корректирующих операций, специфичных для БПР: приведение к единому фокусу, исправление за эффект паразитной диаграммной поляризации, расширение динамического диапазона записей. На рисунке 2 представлено, как выглядит скан Солнца, полученный на БПР 6 июля 2005 года на волне 4.5 см, и его совмещение с изображением Солнца со спутника SOHO на этот же день (<http://sohowww.nascom.nasa.gov>).

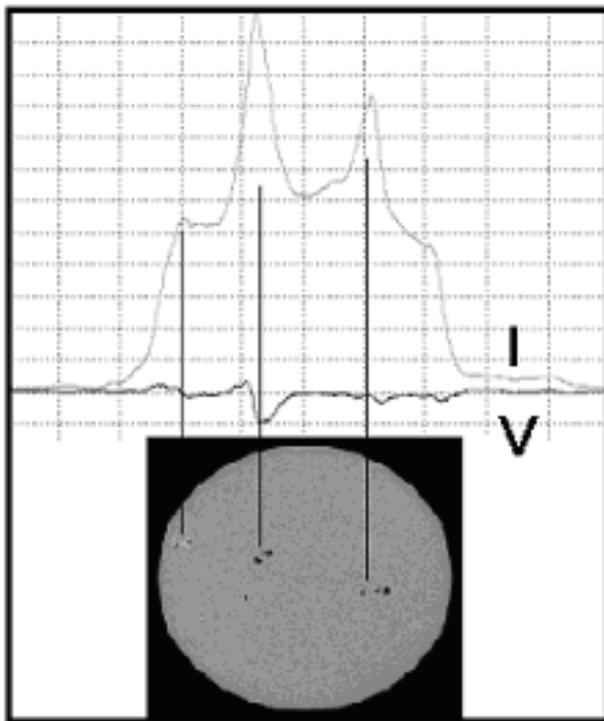


Рис. 2.

Исследование солнечно–земных связей

Влияние солнечной активности (СА) на земную жизнь столь велико, что современный человек должен знать о ее состоянии ежедневно, наравне с прогнозом погоды. Развитие СМИ позволяет в наше время оперативно довести эти сведения до широкой аудитории. Необходимо только, чтобы эта информация была доступна для понимания населением, не имеющим астрономического образования. В этих целях по наблюдениям Солнца на БПР была разработана относительная 10-балльная шкала для оценки

уровня СА [4], которая бы легко воспринималась по аналогии, скажем со шкалой Рихтера для землетрясений. Предлагаемая методика достаточна, чтобы отмечать прохождение по диску Солнца наиболее крупных активных АО (площадь пятен $S_p \sim 500 \cdot 10^{-6}$ долей площади полусферы Солнца), когда возрастает вспышечная активность Солнца, а, следовательно, и геоэффективность СА. В отличие от общеизвестных, новый индекс СА фиксирует не количество АО или интенсивность их интегрального радиоизлучения, а характеризует мощность отдельных АО, присутствующих на диске Солнца в данный момент. Использование этой методики в реальном времени было опробовано на телевидении в программе ГНТ "Солнечный прогноз" в апреле-декабре 2001 г. и не получило развития только из-за трудностей с финансированием.

Существование гелиообусловленных изменений земной погоды не вызывает сомнения, тому есть подтверждение в многочисленных исследованиях солнечно-погодных связей. Однако характер этих связей зависит от места и времени наблюдений. Это свидетельствует о том, что атмосферные процессы определяются в основном земными условиями, а солнечное воздействие выражается в некоторой модуляции этих процессов.

По наблюдениям Солнца на БПР в течение последних 10 лет ведется исследование гелиообусловленных изменений земной погоды на Северо-Западе России. Были обнаружены эффекты, связанные с прохождением по диску Солнца отдельных АО [5]. Оказалось, что эти эффекты знакопеременны и зависят от асимметрии распределения СА на диске Солнца, причем характер зависимости различен для холодного и теплого сезона года. Глубина модуляции температуры воздуха зимой может достигать 10°C .

В согласии с результатами исследования эффектов, связанных с прохождением по диску Солнца отдельных АО, находятся и исследования температурного ряда за длительный период ~ 60 лет. Обнаружена положительная корреляция среднегодовой температуры воздуха ($\Delta t^\circ\text{C}$) с числом Вольфа (W) со сдвигом в ~ 2 года, которая резко нарушается в 20-м цикле СА, который по многим параметрам был аномальным.

Сопоставление астрономических и метеоданных показало, что усиление СА приводит к изменению характера циркуляции земной атмосферы, а именно, к усилению ее зональной составляющей. Этим можно объяснить наблюдаемые гелиообусловленные вариации погоды на Северо-Западе России, ибо данный регион находится под влиянием теплой Атлантики. В рамках такого подхода открывается возможность согласовать между собой разноречивые результаты исследований. Действительно, один и тот же процесс, к примеру, усиление зональной циркуляции, может сопровождаться совершенно разными эффектами в географически удаленных регионах земного шара. Практическая значимость этих работ – увеличение оправдываемости метеопрогнозов – очевидна.

Разработка методов прогнозирования мощных вспышек

Исследование СА и развитие методов ее прогнозирования продолжает оставаться в числе приоритетных задач физики Солнца. БПР является идеальным инструментом для прогнозирования мощных вспышек на Солнце, используя известный критерий Такаки-Эноме [6]. Это одна из немногих методик, развитых по наблюдениям в радиодиапазоне. Она позволяет предсказывать мощные вспышки по спектрально-поляризационным характеристикам радиоизлучения АО в квазиспокойном состоянии.

БПР – единственный инструмент, на котором можно собрать всю необходимую для критерия информацию, не обращаясь к другим инструментам. По сравнению с РАТАН-600 у него имеется то преимущество, что он «лучше видит» высокоширотные АО. Критерий в свое время был опробован по наблюдениям на БПР [7], методика показала хорошую оправдываемость, что в очередной раз было подтверждено на примере активности в октябре-ноябре 2003 г. [8]. Результаты работы [8] свидетельствуют также

о том, что возрастное старение поверхности главного отражателя БПР пока еще не столь велико и позволяет вести наблюдения на коротких волнах ~ 3 см с достаточной точностью $\sim 20\%$.

Исследование солнечно–земных связей и разработка методов прогнозирования вспышечной активности Солнца, безусловно, направлены на решение задач, имеющих практическое значение. Однако эффективность развития этой тематики определяется фундаментальными исследованиями в области физики солнечной плазмы, главным образом, проблемы ее нагрева, которые велись и продолжаются на основе наблюдений Солнца на БПР. Одним из достижений последних лет является разработка метода, с помощью которого можно оценить содержание горячей (~ 7 МК) и холодной (~ 2 МК) плазмы в короне над АО [9]. При этом удалось согласовать между собой результаты наблюдений в радио и рентгеновском диапазонах, что долгое время являлось одной из нерешенных задач физики солнечной плазмы. Результаты работы [9] показывают, что наблюдения в радиодиапазоне не дублируют рентгеновские, а дают новые, важные сведения об активной короне Солнца, которые можно извлечь сравнительно просто (по сравнению, к примеру, с РАТАН–600 или ССРТ), используя наблюдения с умеренным пространственным разрешением, в частности, на БПР.

Литература

1. *Хайкин С.Э., Кайдановский Н.Л., Есепкина Н.А., Шиврис О.Н.*, 1960, Изв. ГАО, т.164, с. 3.
2. *Гельфрейх Г.Б., Ахмедов Ш.Б., Боровик В.Н., Гольнев В.Я., Коржавин А.Н., Нагнибеда В.Г., Петерова Н.Г.*, 1970, Изв. ГАО, т.185, с.165.
3. *Гараимов В.И.*, 1997, Препринт САО РАН, 127Т, Н.Архыз.
4. *Peterova N.G., Bogod V.M., Borisevich T.P., Shpital'naja A.A., Pin G.N., Abramov-Maksimov V.E., Garaimov V.I.*, 2002, Bull. Spec. Astrophys. Obs., v. 54, p. 127.
5. *Петерова Н.Г., Головина Е.Г., Шпитальная А.А., Борисевич Т.П., Ильин Г.Н.*, 2003, в сб. докладов на конференции «Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности», Н.Новгород, с. 430.
6. *Tanaka H., Epome S.*, 1975, Solar Phys., v. 40, p. 123.
7. *Коробчук О.В., Петерова Н.Г.*, 1980, в сб. “Радиоизлучение Солнца”, изд. ЛГУ, вып.5, с. 102.
8. *Борисевич Т.П., Ильин Г.Н., Коржавин А.Н., Петерова Н.Г., Топчило Н.А., Шпитальная А.А.*, 2004, Космич. исслед., т. 42, № 6, с. 585.
9. *Коржавин А.Н., Борисевич Т.П., Петерова Н.Г.*, Астрономический вестник, 2006, принято к печати.