

Методические результаты наблюдений Солнца в режиме сопровождения (сканирования) на радиотелескопе РАТАН-600

© В. Б. Хайкин, М. К. Лебедев, Н. Н. Бурсов,
А. А. Стороженко, Н. Е. Овчинникова, В. М. Богод

СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассмотрены способы сопровождения (сканирования) Солнца с неподвижным главным зеркалом в форме параболического и кругового цилиндров на антенной системе «Юг+Плоский» (АС «Ю+П») с сокращенной апертурой. Приведены методические результаты наблюдений в данных режимах. Показано, что сокращение апертуры позволяет построить длиннофокусную АС с существенно более широким полем зрения. Как показывают моделирование и эксперимент, при сокращении апертуры в 2.5–2 раза (до 100–150 м) сопровождение (сканирование) Солнца возможно в диапазоне углов до $\pm 3^\circ$ от оптической оси АС, сформированной в меридиане или азимутах. Возможное время сопровождения или сканирования Солнца в режиме с сокращенной апертурой и неподвижным главным зеркалом вблизи азимута, в котором сформирована АС, составляет 12–24 мин, а полное время сопровождения (сканирования) Солнца — более 3 ч в день в диапазоне азимуты $\pm 30^\circ$ и длин волн 2–30 см.

Ключевые слова: РАТАН-600, наблюдения Солнца, сопровождение.
<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.47.53-57>

Введение

В последние годы значительно возрос интерес к изучению быстропротекающих явлений на Солнце, таких как квазипериодические колебания плазменных структур [1], микровсплески радиоизлучения в дециметровом диапазоне, возникающие в верхней части корональных петель [2], и др.

Солнечный комплекс радиотелескопа РАТАН-600 обладает уникальным сочетанием характеристик. Он работает в непрерывном спектральном диапазоне от 3 до 18 ГГц со спектральным разрешением порядка 1 %, при этом обеспечивается точное измерение поляризации. Большая эффективная площадь отражающей поверхности (400–1000 м² в зависимости от длины волны) обуславливает высокую чувствительность по потоку радиоизлучения. При этом инструмент имеет умеренное пространственное разрешение. Наблюдения ведутся на протяжении 4 ч в течение суток с высокой регулярностью (до 80 % дней наблюдений в году). Радиотелескоп работает в режиме пассажного инструмента. Ежедневно проводится пять наблюдений Солнца в азимутах от $+24^\circ$ до -24° с интервалом 12° . При изменении программы возможны наблюдения в азимутах от $+30^\circ$ до -30° через 2° , однако этого недостаточно для получения полной информации о динамике быстропротекающих процессов на Солнце.

Целью настоящей работы является отладка режимов сопровождения и быстрого сканирования, которые позволят получать временную информацию о развитии процессов в атмосфере Солнца с использованием всех преимуществ инструмента.

Антенная система «Юг+Плоский». Режим сокращенной апертуры

Наблюдения Солнца на РАТАН-600 проводятся при помощи АС «Ю+П» [3]. Возможность наблюдений в режимах сканирования и сопровождения источника без непрерывной перестройки главного зеркала (ГЗ) и изменения наклона плоского отражателя обусловлена тем, что при выносе первичного облучателя (приемного рупора) из точного фокуса АС максимум диаграммы направленности (ДН) антенны смещается в противоположном направлении. Конструкция АС «Ю+П» позволяет осуществить такой вынос перемещением кабины облучателя (КО) по круговому рельсовому пути, перемещением каретки облучателя, на которой установлен первичный облучатель, при неподвижной КО или за счет комбинации этих перемещений.

АС «Ю+П» подвержена абберации комы, которая уменьшается с увеличением величины F/D . В штатном режиме горизонтальный размер апертуры D составляет приблизительно 275 м, а $F/D \approx 0.4$. На рис. 1, а приведены ДН на длине волны 7 см, рассчитанные для данного случая. Для расчета использованы апертурный метод и метод МЛРО [4]. Видно, что ДН в штатном режиме в значительной мере деградирует уже при смещении КО, соответствующем изменению азимута источника $\delta A = 0.1^\circ$. Для реализации длительного сопровождения можно уменьшить размер апертуры. На рис. 1, б представлен вид расчетных ДН в режиме работы с сокращенной апертурой $D = 100$ м. По сравнению с ДН в штатном режиме для $\delta A = 0^\circ$ ширина ДН увеличивается, повышается уровень боковых лепестков, но при этом вид ДН и ее значение в максимуме мало изменяются по крайней мере до $\delta A = 0.5$.

Еще больше увеличить длительность сопровождения можно, используя установку ГЗ в виде кругового цилиндра. В этом случае вследствие того, что расстояние между ГЗ и КО мало изменяется с ростом δA , также мало изменяются и условия фазировки. Расчеты показывают, что радиус ГЗ должен быть несколько большим, чем радиус кривизны при вершине параболического зеркала, работающего в штатном режиме, который равен $2F$. Возникающая в данном случае сферическая абберация приводит к дополнительному росту боковых лепестков, но изменения ДН невелики вплоть до $\delta A = 1.5^\circ$ (рис. 1, в).

На рис. 1, г приведены абберационные кривые для вышеупомянутых систем, т. е. графики зависимости максимума ДН от смещения приемника δA .

Моделирование радиоизображений Солнца на АС «Ю+П» показало что сопровождение с горизонтальным размером апертуры 100–150 м возможно в диапазоне углов до $\pm 3^\circ$ от оптической оси АС, сформированной в меридиане или в азимутах с шагом ± 4 – 8° . Возможное время сопровождения или сканирования Солнца с неподвижным ГЗ вблизи азимута, в котором сформирована АС, составляет 12–24 мин, а полное время сопровождения (сканирования) Солнца — более 3 ч в день в диапазоне азимутов $\pm 30^\circ$ и длин волн 2–30 см.

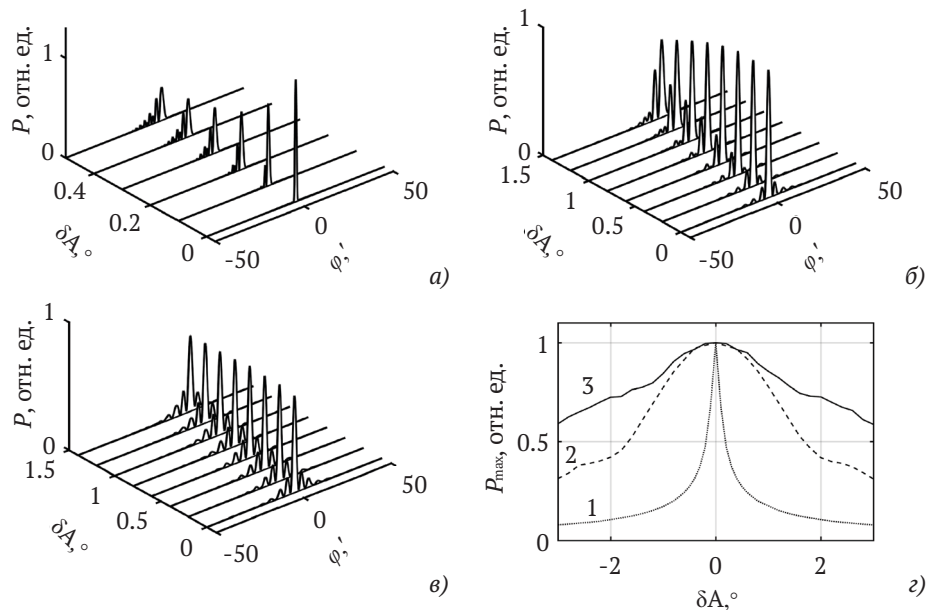


Рис. 1. Диаграмма направленности антенной системы «Ю+П»: *а* — с полной апертурой; *б* — с сокращенной апертурой 100 м и параболическим главным зеркалом; *в* — с сокращенной апертурой 100 м и круговым главным зеркалом; *г* — абберационные кривые (1, 2, 3 — для случаев *а*, *б*, *в* соответственно)

Результаты тестирования режимов сканирования и сопровождения

На рис. 2 приведена частичная запись сканирования Солнца перемещением КО в частотном диапазоне от 3 до 18 ГГц в режиме с сокращенной апертурой ($D = 100$ м). Более широкие сканы соответствуют попутному движению изображения Солнца и КО, более узкие — встречному. Длительность скана не превышает 20 с, периодичность сканирования — 40–60 с. В процессе пробных наблюдений в каждом из азимутов, следующих друг за другом через 6° , записывалось от 20 до 25 сканов Солнца.

На рис. 3 показана запись результата тестирования сопровождения Солнца перемещением КО в режиме с сокращенной апертурой ($D = 100$ м). Начало записи представляет собой обычный скан Солнца в режиме пассажного инструмента при неподвижной КО. Далее следуют фазы обгона Солнца КО и наведения на точку на склоне пика, соответствующего активной области. Затем происходит сопровождение Солнца КО в течение 7 мин и движение КО в обратном направлении.

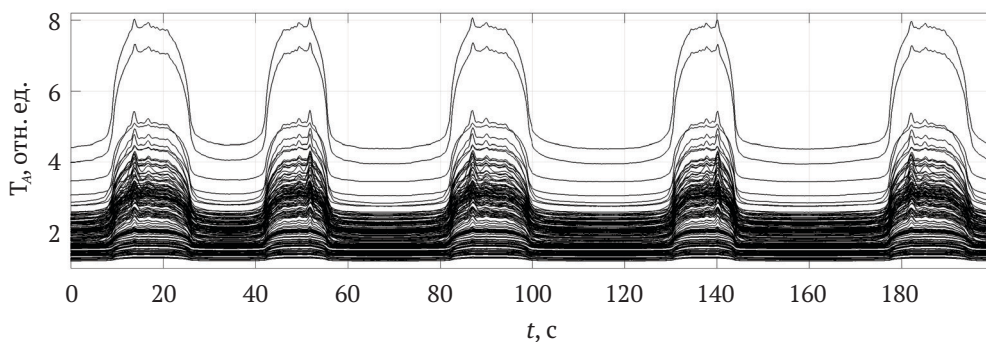


Рис. 2. Запись в режиме быстрого сканирования Солнца перемещением КО

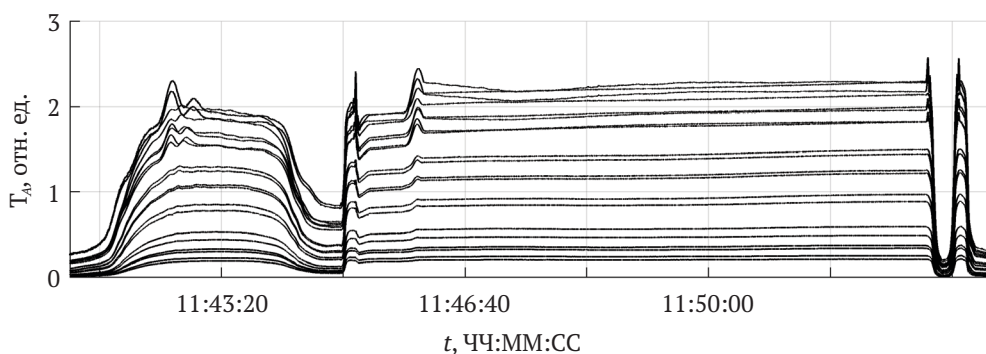


Рис. 3. Запись в режиме сопровождения Солнца перемещением КО

Заключение

Методические результаты наблюдений Солнца в режиме сопровождения (сканирования) показали перспективность нового режима работы АС «Ю+П» для задач исследования быстропеременной солнечной активности.

Работа выполнена в рамках Государственного задания: №АААА-А17-117011810013-4, при частичной поддержке Программы ПРАН №28 «Космос: исследования фундаментальных процессов и их взаимосвязей», проект 1Д.

Литература

1. Nakariakov V. M., Melnikov V. F. Quasi-Periodic Pulsations in Solar Flares // Space Science Rev. — 2009. — Vol. 149. — P. 119–151.
2. Яснов Л. В., Богод В. М., Гофман А. А., Ступишина О. М. О спектре и физических условиях в областях генерации микровсплесков в дециметровом диапазоне длин волн // Астрофизический бюллетень. — 2017. — Т. 72, № 1. — С. 63–72.
3. Шиврис О. Н. Работа радиотелескопа РАТАН-600 с плоским отражателем // Изв. САО. — 1980. — Т. 12. — С. 134–140.
4. Letrou Ch., Lebedev M., Khaikin V., Boag A. Analysis of RATAN-600 radiation patterns

Methodical Results of the Sun Observations on RATAN-600 Radio Telescope in Tracking (Scanning) Mode

**V. B. Khaikin, M. K. Lebedev, N. N. Bursov, A. A. Storozhenko,
N. E. Ovchinnikova, V. M. Bogod**

We report the methods of the tracking and scanning modes realization on the “South sector + Periscope Mirror” antenna system of the RATAN-600 radio telescope with the main mirror shaped as a parabolic or circular cylinder, and the methodical results of the solar observations in these modes. Reducing the aperture of the system, one get a long focus antenna system with a much wider field of view than the full aperture system would have. The numerical simulations and the experiment show that the aperture reduced down to 100-150 m makes it possible to track the Sun over the angular range up to $\pm 3^\circ$ from the optical axis of the system set in the meridian or some azimuth. The possible time of tracking or scanning the Sun with a reduced aperture and fixed main mirror is 12–24 minutes, and the total time of tracking the Sun is more than 3 hours a day in the azimuth range $\pm 30^\circ$ for the wavelengths from 2 to 30 cm.

Keywords: RATAN-600, solar observations, tracking mode.