

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИЛИМБОВОЙ ЗОНЫ СОЛНЦА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА КРУПНЫХ ПОЛНОПОВОРОТНЫХ РАДИОТЕЛЕСКОПАХ

Топчило Н.А.¹, Нагнибеда В.Г.¹, Петерова Н.Г.², Рахимов И.А.³

¹*Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Санкт-Петербургский филиал САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия*

³*Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия*

EXPERIENCE IN STUDYING THE NEAR-LIMB ZONE OF THE SUN BASED ON OBSERVATIONS ON LARGE FULL-ROTATION RADIO TELESCOPES

Topchilo N.A.¹, Nagnibeda V.G.¹, Peterova N.G.², Rakhimov I.A.³

¹*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²*St. Petersburg Branch of SAO RAS, St. Petersburg, Russia*

³*IAA RAS, St. Petersburg, Russia*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-321-324>

Observations of the near-limb zone are of particular importance for the solar atmosphere study, since they provide information about its altitudinal structure. Unfortunately, the difficulties of studying increase significantly in this zone due to the presence of a strong general height brightness gradient.

For such a case, when using radio telescopes with a beam size of a few arc minutes, another method was proposed to eliminate these errors - circular scanning, when the telescope performs circular scans relative to the center of the Sun disc. This and other developed methods were implemented in the early 80s on the RT-22 radio telescope of the Lebedev Physical Institute, and in the late 80s on the RT-22 CrAO. Similar methods have been used for many years to map the Sun with the RT-7.5 radio telescope of the Bauman Moscow State Technical University on waves 3.4 and 2.5 mm.

To demonstrate the advantages of these methods, we presents the results of observations of solar prominences behind the solar limb and filaments on the disk in near-limb regions at wavelengths of 8 mm and 1.35 cm, carried out in the 1980s and 1990s, their positions, sizes along the limb, and heights, measured magnetic field. Cases of observations of the rise and destruction of prominences, as well as coronal mass ejections (CMEs) have been noted.

Based on our experience and preliminary test observations, we can conclude that the proposed methods can undoubtedly be implemented on radio telescopes included in the Quasar-KVO complex of the IAA RAS.

Атмосфера Солнца представляет собой сложное, нестационарное плазменное образование. Она содержит большое количество 3-х мерных структур разных типов и размеров, с характеристиками, существенно различающимися по высоте и вдоль поверхности Солнца (см. глобус на рис. 1). Для получения в наблюдениях максимального углового разрешения оптимальным для большинства объектов является наблюдение вблизи

центра солнечного диска, когда из-за проекционных эффектов они имеют наибольший угловой размер. Однако при этом вертикальная структура объекта остается неопределенной.

Другим вариантом наблюдений является наблюдение объектов близко к краю диска Солнца, когда они видны практически сбоку, и их яркость в картинной плоскости непосредственно отражает высотное распределение их физических параметров. При этом определение распределения характеристик вдоль поверхности Солнца ограничено. Оба варианта наблюдений взаимно дополняют друг друга, и при их сочетании трехмерная структура объектов измеряется более надежно.

Если для наблюдений в центре диска Солнца оптимальным является растровое сканирование (см. карту в центре рис. 1), то для прилиम्бовых наблюдений наиболее подходит круговое сканирование [1], которое позволяет удалить вклад спокойного Солнца в регистрируемый сигнал (см. правую карту на рис. 1).

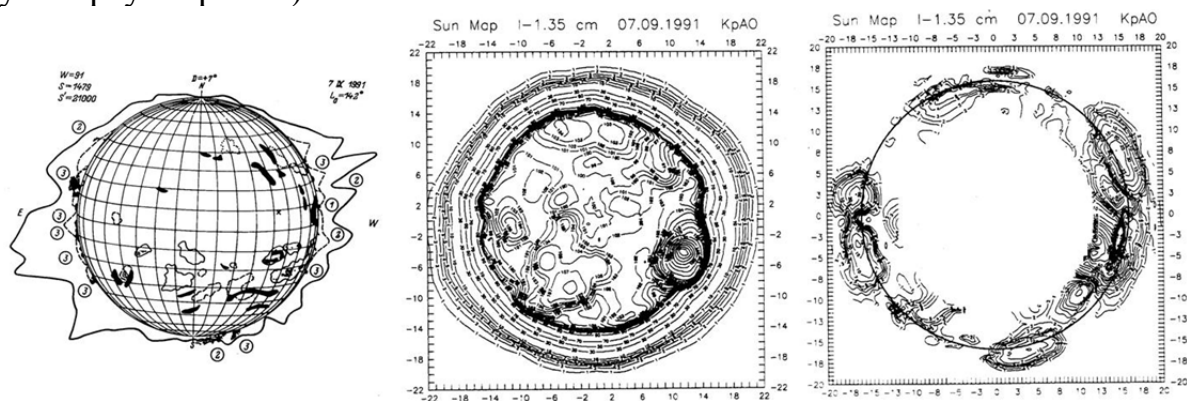


Рис. 1. Пример растровой карты Солнца (в центре) и объектов в прилиम्бовой зоне, полученных путем кругового картографирования (карта справа). Слева – схематическое изображение объектов на диске Солнца и в короне на день радионаблюдения.

Основной проблемой при наблюдениях в прилиम्бовой зоне являлись неточности в установке координат источника (разъюстировка телескопа) и дефекты сопровождения (дрожание) телескопа. При небольших разъюстировках ее компенсация может происходить путем удаления линейного фона у наблюдаемого источника (рис. 2а) с точностью до 1%. А дрожание телескопа – путем усреднения нескольких записей (рис. 2б).

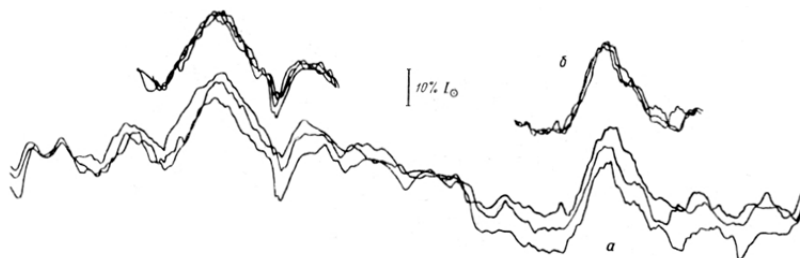


Рис. 2 Усреднение записей источников на круговых сканах. *а* – крупномасштабные искажения сканов; *б* – мелкомасштабные искажения.

То же можно сделать и при сильном изменении фона путем ее аппроксимации полиномами (рис. 3). В результате, по наблюдениям на РТ-22 шумовая дорожка в интенсивности составляла не более $\pm 1\%$, а в поляризации не более $\pm 0.01\%$ от уровня спокойного Солнца (рис. 3).

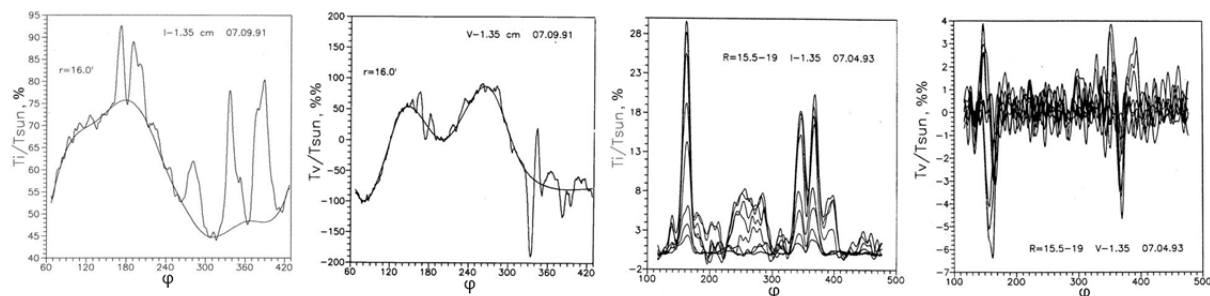


Рис. 3. Два левых графика – пример проведения фона на круговом скане радиусом $16'$, полученном 07.09.1991 на РТ-22 КрАО на волне 1.35 см в интенсивности (T_i) и круговой поляризации (T_v). Два графика справа – пример удаления фона для набора круговых сканов (от 07.04.1993) с радиусом сканирования от $15.5'$ до $19'$ с шагом $0.5'$. Шумовая дорожка в интенсивности составляет не более $\pm 1\%$, а в поляризации не более $\pm 0.01\%$ от уровня спокойного Солнца (T_{sun}). ϕ – полярный угол.

Использование метода кругового сканирования позволило в 80-х – 90-х годах проводить регулярные наблюдения протуберанцев, на основании которых строить карты протуберанцев, определять их положения, высоты и размеры, измерять магнитные поля (продольную компоненту) (рис. 4).

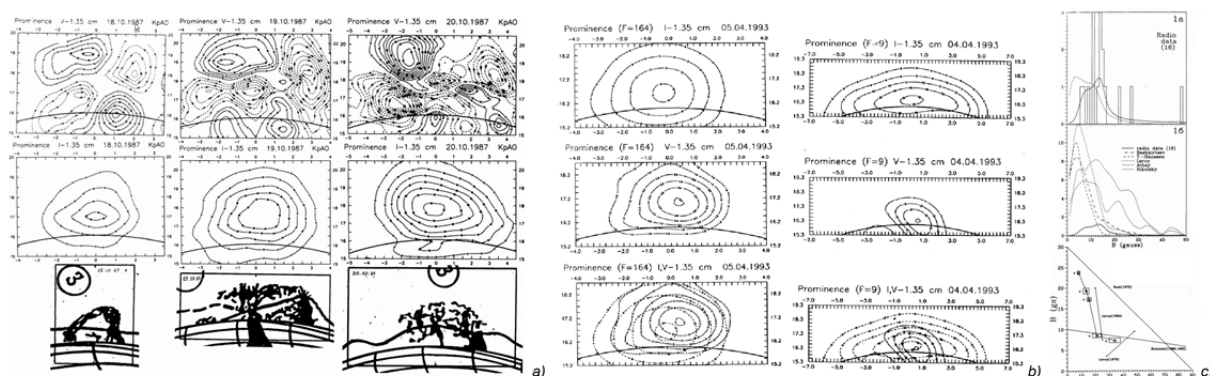


Рис. 4. Результаты наблюдений протуберанцев. *a* – наблюдения с круглым рупором, обладающим большими кросс-поляризационными лепестками. В первом столбце – протуберанец со слабым собственным магнитным полем (МП), второй и третий столбец – с сильными МП. *b* – наблюдения со скалярным рупором, кросс-поляризация отсутствует, видна только собственная поляризация протуберанцев, неоднородная по телу протуберанцев. Карты приведены в прямоугольной системе координат, повернутой относительно солнечной на угол центра протуберанца (F). *c* – результаты измерений МП протуберанцев в КрАО. *1a* – гистограмма распределения величины МП по нашим измерениям, *1b* – сравнение ее с измерениями в оптическом диапазоне. Нижний график – зависимость величины МП от угла между лучом зрения и длинной осью протуберанца.

В основном объектами наблюдения были крупные спокойные протуберанцы, но иногда встречались и случаи их активизации (рис. 5).

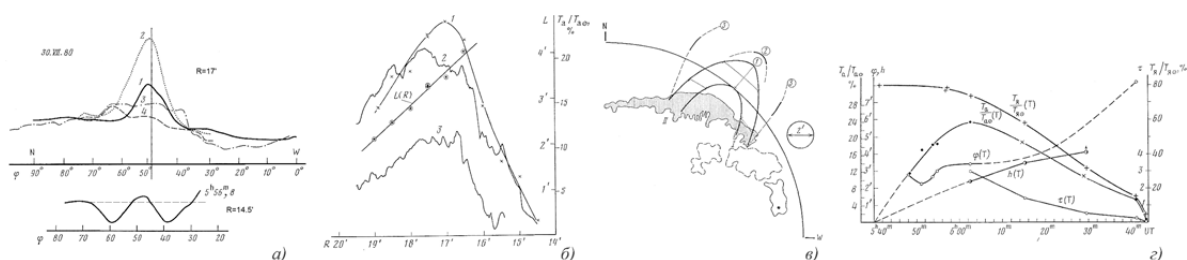


Рис. 5. Пример наблюдения с использованием кругового и радиального сканирования подъема и разрушения волокна. На диске Солнца волокно наблюдалось в поглощении, а за лимбом в излучении. *а)* сверху – круговые сканы через протуберанец для: 1 – начала процесса, 2 – максимума сигнала, 3 и 4 – завершения разрушения, внизу – волокно в начале процесса. *б)* – распределение по высоте нормированной антенной температуры протуберанца (T_a) для трех моментов времени (1,2,3) и размер протуберанца вдоль лимба (L) на разных высотах (прямая линия), *в)* – сопоставление оптического и радио-изображения волокна в виде поднимающейся арки для трех моментов времени. *г)* – изменение во времени нормированной антенной (T_a) и яркостной (T_y) температуры протуберанца, его размеров (ϕ), высоты (h) и оптической толщины (τ).

Подобные методы также много лет использовались для картографирования Солнца на радиотелескопе РТ-7.5 МГТУ им. Баумана на волнах 3.4 и 2.5 мм. В настоящее время планируется их реализация на радиотелескопах ИПА РАН (рис. 6), что позволит расширить частотный диапазон исследований прилиимбовой зоны Солнца.

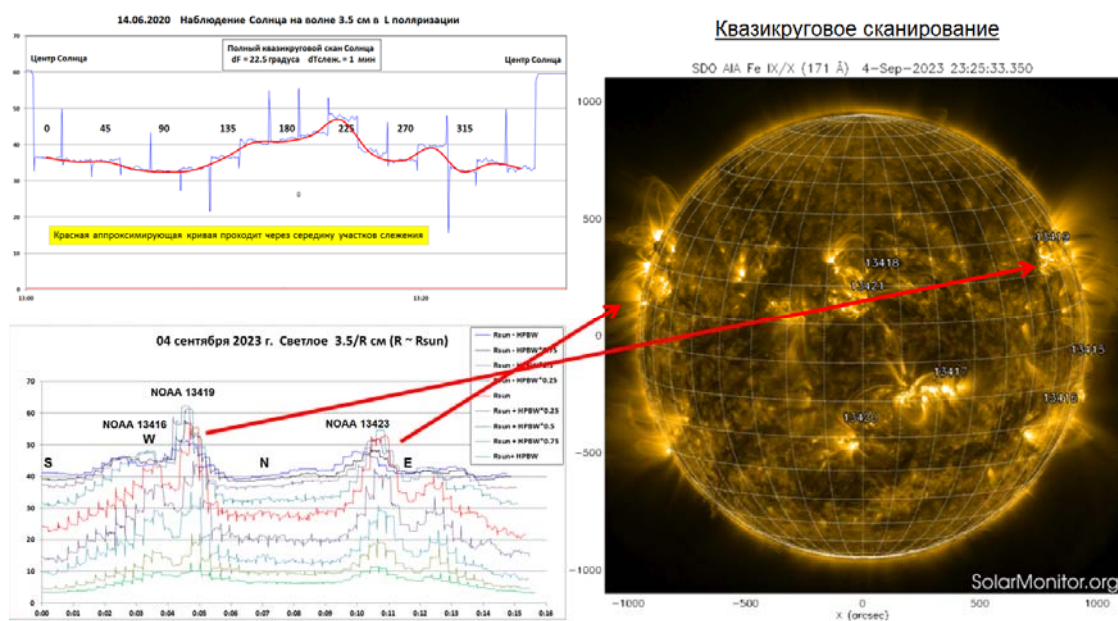


Рис. 6. Два примера квазикругового сканирования на телескопе РТ-32 ИПА РАН на волне 3.5 см с шагом 22.5° (слева – сверху) и 7° (слева – внизу). Справа: изображение Солнца в линии $193\text{\AA}$ (по SDO/AIA). Стрелками указаны положения источников, видимых на квазикруговых сканах (радиусы сканирования – $R_{\text{sun}} \pm 0$ (красная кривая), 0.25, 0.5, 0.75, 1) * ширину ДН радиотелескопа).

Литература

1. Топчило Н.А. // Вестник ЛГУ. 1983. № 1. С. 99-110.