

**ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРЫ И ФИЗИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ КОРОНАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ СОЛНЦА
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ
НА РАДИОТЕЛЕСКОПАХ ИПА РАН ЗА ПЕРИОД 1999–2022 гг.**

**Иванов Д.В.¹, Рахимов И.А.¹, Дьяков А.А.¹, Ильин Г.Н.¹,
Петерова Н.Г.², Топчило Н.А.³, Ипатов А.В.¹, Андреева Т.С.¹,
Хвостов Е.Ю.¹, Быков В.Ю.¹**

¹Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский Филиал САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург, Россия

**RESULTS OF STUDIES OF THE STRUCTURE AND PHYSICAL
PARAMETERS OF THE SUN'S CORONAL PLASMA
ACCORDING TO SOLAR ECLIPSE OBSERVATIONS ON THE RADIO
TELESCOPES OF IAA RAS FOR THE PERIOD 1999–2022**

**Ivanov D.V.¹, Rakhimov I.A.¹, Dyakov A.A.¹, Ilin G.N.¹,
Peterova N.G.², Topchilo N.A.³, Ipatov A.V.¹, Andreeva T.S.¹,
Khvostov E.Yu.¹, Bykov V.Yu.¹**

¹IAA RAS, St. Petersburg, Russia

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

³St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-135-138>

A description is given of the method for studying the microwave radiation of the Sun, implemented using radio telescopes of the IAA RAS, performing observations during solar eclipses. The method is considered the best in terms of accuracy of coordinate measurements, allowing to achieve the maximum resolving power value of ~3 arcsec. The main observational results for the period of two 11-year cycles of solar activity - the 24th and 25th (1999–2022) are presented. The most significant is the distribution of the radio brightness of the microwave radiation source above the sunspot obtained during the observation of the 2011 eclipse, demonstrating a characteristic (double-humped) appearance of the image, confirming the correctness of ideas about the nature of the phenomenon of polarization sign reversal. An important result is the assessment of the average brightness temperature of the quiet Sun, which showed that during the period of minimum solar activity (2020–2022) its value was at the lower limit of the known spectrum of this value. A conclusion is made about the advisability of combining applied tasks with fundamental research tasks.

Наблюдение солнечных затмений является одним из самых достоверных и дешевых способов получения высокого пространственного разрешения в радиодиапазоне. Несмотря на эпизодичность таких наблюдений, полученные результаты внесли заметный вклад в физику Солнца и до сих пор представляют значительный интерес. К их числу относятся наблюдения, выполняемые на радиотелескопах ИПА РАН, в состав которых входят

РТ-32 и РТ-13, работающие на волнах (0.89, 1.06, 3.6 , 6.2 и 13) см, и РВП-4 – на частотах (20.7 и 31.4) ГГц.

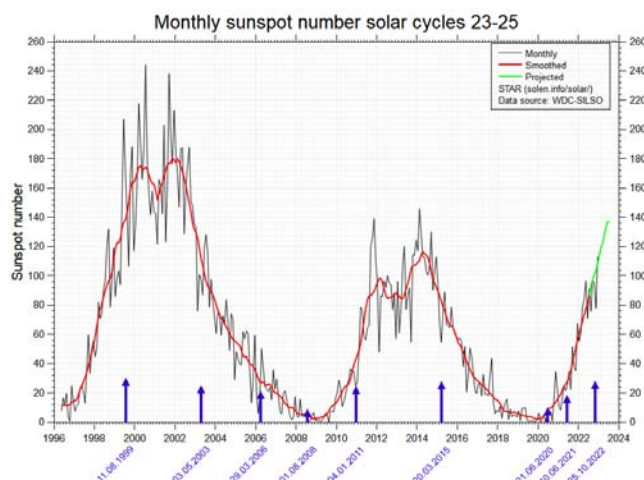


Рис. 1. Полный список наблюдений затмений Солнца в ИПА РАН и уровень активности Солнца в дни затмений.

Среди многих интересных результатов выполненных наблюдений [1] следует отметить:

1. Квазидвумерное распределение радиояркости по пятну (рис. 2).

Асимметрия источника излучения над солнечными пятнами и характерный (двугорбый) вид степени поляризации подтверждает правильность представлений о природе их зависимости от угла зрения как источников циклотронного микроволнового излучения (ИЦМИ). Это же свидетельствует, что физические параметры атмосферы (плотность и температура) соответствуют определенным среднестатистическим значениям. Подобные эффекты фиксируются и в наблюдениях РАТАН-600, но на значительно более коротких волнах, где его ДН позволяет частично разрешить тонкую структуру достаточно крупных пятен.

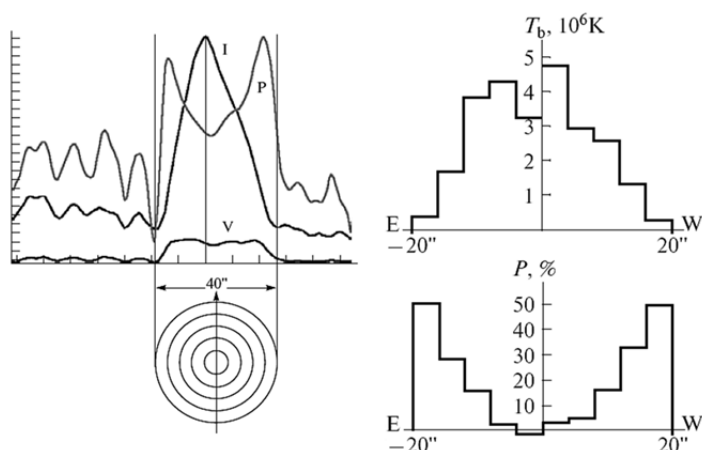


Рис. 2. Распределение радиояркости и степени круговой поляризации ИЦМИ на волне 6.2 см над пятном в NOAA 11140 (затмение 2011 г.). Слева – наблюдаемое распределение, справа – восстановленное в предположении о круговой симметрии E-W половинок изображения.

2. Оценка высоты над уровнем фотосферы пятенных источников микроволнового излучения (рис. 3).

Важным параметром для модели пятенного ИЦМИ является ее высота над уровнем фотосферы. По наблюдениям затмения 2011 г. показано, что

для пятна вблизи лимба Солнца центр тяжести радиоизлучения в см диапазоне был смещен к лимбу на $\sim 10''$ относительно изображения в белом свете, т.е. высота ИЦМИ была очень небольшой < 5 тыс. км. С учетом особенностей направленности циклотронного излучения истинное значение высоты может быть значительно меньше.

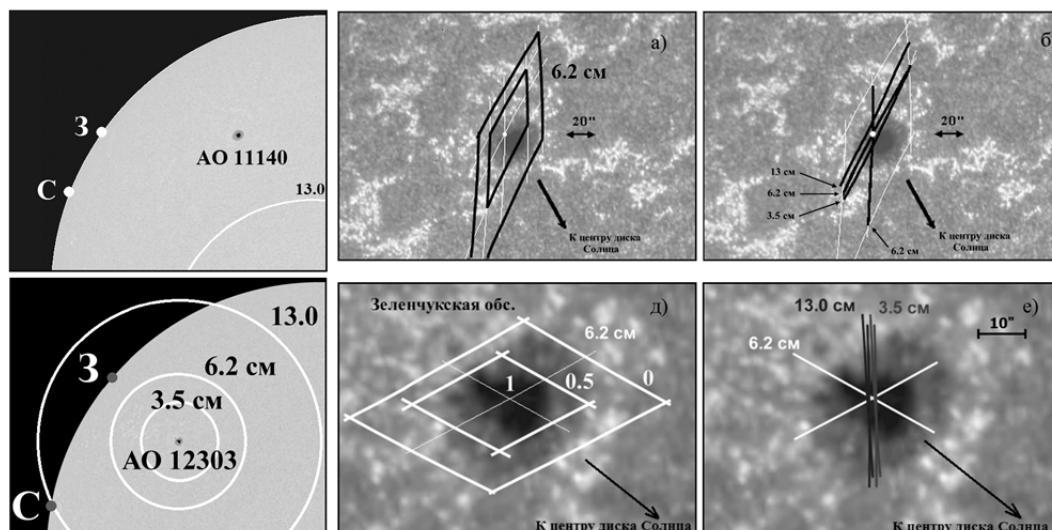


Рис. 3. К определению высоты пятенного ИЦМИ над уровнем фотосферы. Показаны изображение пятен в белом свете и УФ-линии, на которое наложено положение лунного лимба (ромбы и его отрезки) для максимума и размеров источника. Размеры диаграммы направленности РТ-32 по уровню 0.5 показаны на левых рисунках.

3. Измерение радиорадиуса Солнца (рис. 4).

Значения простых характеристик распределения радиояркости в прилимовой зоне – радиорадиуса и величины уярчения к краю продолжают, оставаться очень важными для теории и моделирования солнечной атмосферы. Они определяются высотным распределением физических параметров в атмосфере Солнца, и могут эффективно изучаться при наблюдениях затмений в период I и IV контактов.

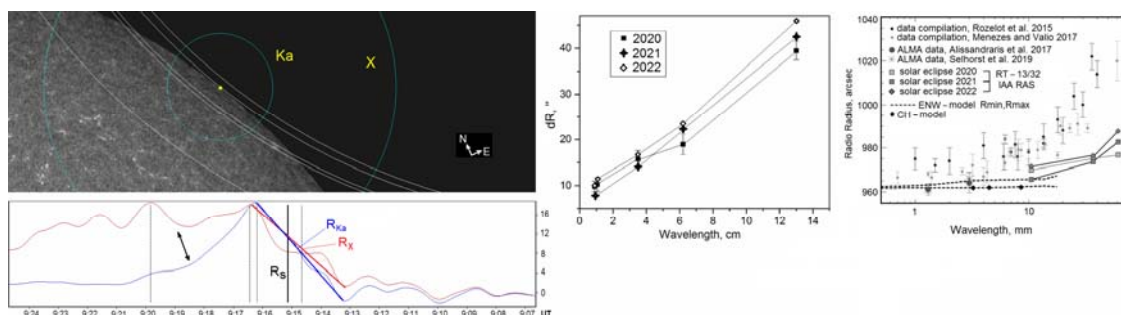


Рис. 4. Методика и результаты измерения радиорадиуса Солнца по наблюдениям затмений на радиотелескопах ИПА РАН [1].

Измеренные нами в эпоху низкой солнечной активности (2020–2022 гг.) величины радиорадиуса оказались значительно меньше встреча-

ющихся в литературе и близки к значениям, полученным по современным 3D расчетам атмосферы Солнца. Причины отмеченного расхождения пока не установлены.

4. Оценка средней яркостной температуры спокойного Солнца (рис. 5).

Исследования яркостной температуры спокойного Солнца на волнах ~ 1 см показали, что в период минимума солнечной активности (2020–2022 гг.) ее значение находилось у нижней границы известного спектра этой величины. Поэтому говорить об уникальности текущего цикла преждевременно.

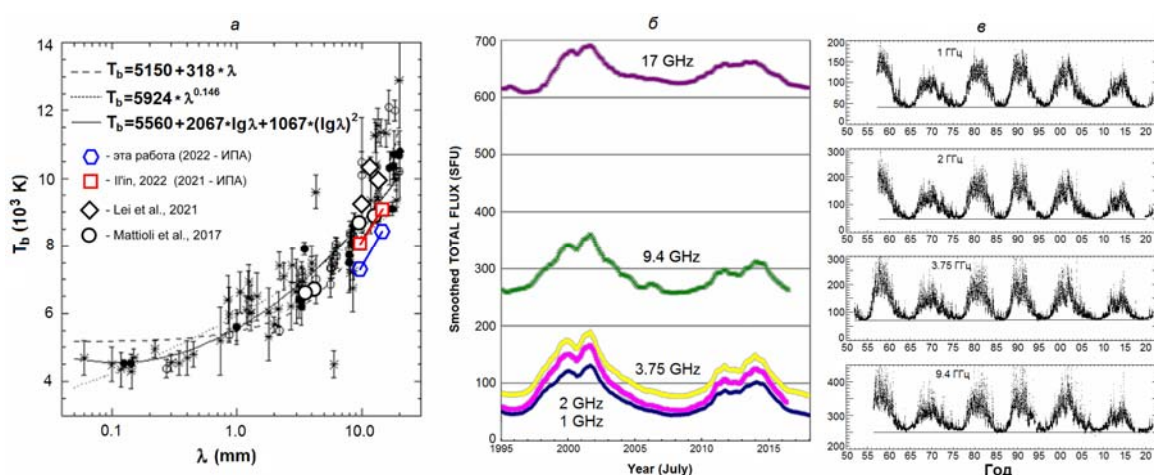


Рис. 5. Спектр яркостной температуры спокойного Солнца, дополненный нашими наблюдениями 2021–2022 гг. в период солнечного минимума.

Наш 23-х летний опыт использования радиотелескопов комплекса «Квазар-КВО» ИПА РАН для наблюдения солнечных затмений показывает, что они, как поодиночке, так и в составе единого комплекса разнородных инструментов, могут эффективно использоваться для наблюдения различных солнечных образований на диске и в прилиम्бовой зоне Солнца и являются важным дополнением существующих радиогелиографов.

Работа Петеровой Н.Г. выполнена в рамках государственного задания САО РАН, утвержденного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Литература

1. Иванов Д.В., Рахимов И.А., Дьяков А.А., и др. Итоги исследований Солнца по наблюдениям солнечных затмений на радиотелескопах ИПА РАН за период 1999–2022 гг. // Труды ИПА. 2023. Вып. 65. С. 7–22.