

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор САО РАН

Член-корр.РАН \_\_\_\_\_ Ю.Ю.Балега

“17” декабря 2013г.

**Отчет за 2013 год**

по Программе фундаментальных исследований № 22

Отделения физических наук РАН

**«Фундаментальные проблемы исследований и освоения  
Солнечной системы»**

**ИСПОЛНИТЕЛЬ**

Учреждение Российской академии наук  
Специальная астрофизическая обсерватория РАН;  
Санкт-Петербургский Филиал

Ответственный исполнитель:

д.ф.м.н. зав.отд.

В.М.Богод

П.Нижний Архыз Карачаево-Черкессия  
Санкт-Петербург

2013г.

## Раздел: «СОЛНЦЕ и ГЕЛИОСФЕРА»

**Тема 2.21. : "Формирование предвспышечного состояния АО по данным спектрально-поляризационных радионаблюдений"**

**Проект 2.20. Формирование предвспышечного состояния активных областей по данным спектрально-поляризационных радионаблюдений.**

Руководитель: дфмн Богод В.М., СПб САО РАН

Результат №1

**Развернутое изложение результата:** При наблюдении солнечных пятен в микроволновом диапазоне длин волн (2-10 см) обычно регистрируется источник излучения, яркость которого намного (1-2 порядка) превышает яркость спокойных участков Солнца. Однако если использовать наблюдения, анализируя характер поляризации излучения, то на коротких волнах в обыкновенной моде выявляется источник, яркость которого на (2-4) КК даже ниже температуры спокойного Солнца. Благодаря высокому спектральному разрешению наблюдений на РАТАН-600 установлено, что это явление наблюдается в ограниченном диапазоне (1.7 – 3) см, соответствующем области сильного магнитного поля солнечного пятна, напряженностью  $\sim$  (2-3) КГс. Как показали модельные расчеты, помимо пониженной температуры эта область, названная нами как «DR – область» (depletion region), характеризуется еще пониженным значением плотности корональной плазмы.

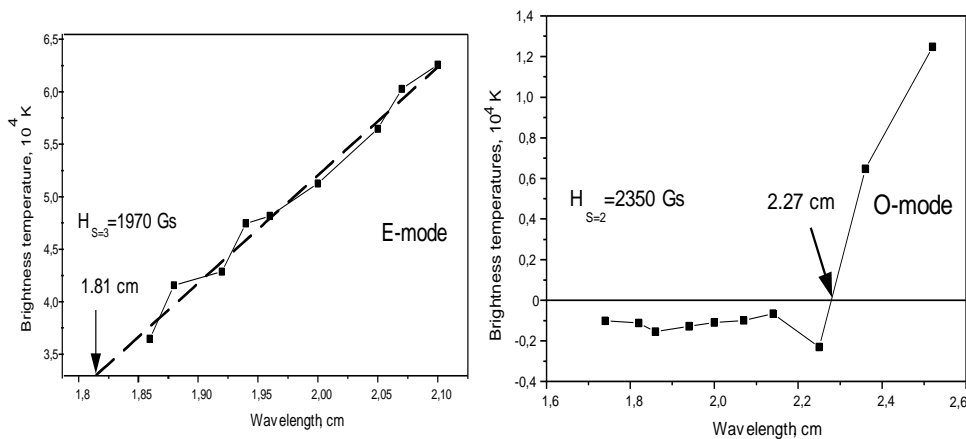


Рис.1 Спектры поляризованного излучения NOAA 11289 в о- и е- модах. Слева- спектр яркостных температур для е-моды и оценка магнитного поля по 3-й гармонике гирочастоты. Справа- спектр яркостных температур для о-моды и оценка магнитного поля по 2-й гармонике гирочастоты. Видна пониженная яркость на волнах короче 2.27 см.

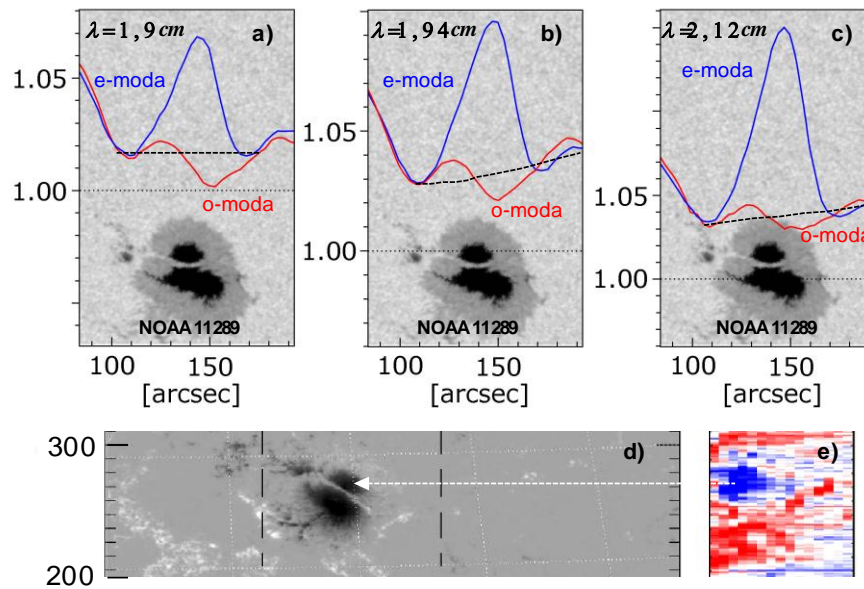


Рис.2 а), b), c)- сопоставление 1-D сканов на волнах 1.9 см, 1.94 см и 2.12 см с SDO магнитограммой NOAA 11289, d) и e) сопоставление с картой доплеровской скорости в линии Fe XII (195 Å,  $T_m = 1,4 \times 10^6$  K) от -13,8 км/с (синий цвет – восходящие потоки) до 12 км/с (красный цвет – нисходящие).

По своим параметрам DR-область (низкая температура и плотность) напоминает корональную дыру. В пользу такой аналогии свидетельствуют и снимки групп пятен в линии He I 10830E, указывающие на повышенное поглощение в этой линии, наблюдаемое в непосредственной близости к пятнам. Все это позволяет предполагать, что DR-область образуется в результате истечения плазмы и может участвовать в формировании потоков солнечного ветра. Приведены результаты радионаблюдений конкретных пятен и сопоставление с наблюдениями в других диапазонах электромагнитного излучения, а также результаты моделирования DR-области..

**Авторы** Петерова Н.Г., Богод В.М., СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, Топчило Н.А. СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, Рябов Б.И. Вентспилская обсерватория, Латвия

Публикации: Готовятся статьи в Adv. Space Rev и Solar Physics.

## Результат №2

**Краткая формулировка:** Прямые измерения высотной структуры магнитного поля в активных областях по наблюдениям в сантиметровом диапазоне волн.

**Развернутое изложение результата:** Для непосредственного измерения высот магнитного поля используются одновременные многоволновые наблюдения активных областей Солнца на больших позиционных углах. При этом находящиеся на лимбе активные области регистрируются на одномерном скане вдали от его края, значительно уменьшая краевые лимбовые эффекты. Метод эффективно работает в периоды весеннего и осеннего равноденствий, когда позиционные углы максимальны.

Проведенные измерения дают возможность определять наклон магнитной структуры и ее высотный градиент. На примере многих наблюдений показано, что высотные структуры

отличаются большим разнообразием от монотонных с градиентами около 0.1 Гс/км для спокойных областей до 1.6 Гс/км в случае вспыхечно-активных областей.

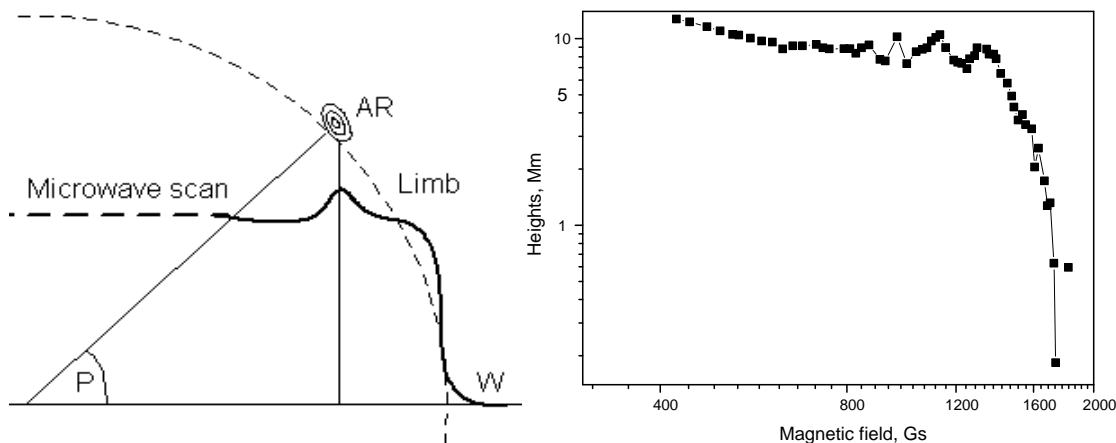


Рис.1. К методике измерения положения центра радиоисточника в активной области, который измеряется одновременно на многих длинах волн сантиметрового диапазона на радиотелескопе РАТАН-600. Угловое расстояние источника на разных длинах волн переводится в расстояние на диске Солнца, затем это расстояние с учетом позиционного угла  $P$  переводится в разность высот источника. Угол  $P$  есть угол направления на лимбовый источник из центра Солнца в азимутальной системе координат. Справа, измеренная вертикальная структура магнитного поля для активной области NOAA 11289.

**Авторы** Богод В.М., СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,

Яснов Л.В. СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия,

**Публикация.** Астрофизический бюллетень, т.68, №3, 2013, стр.366-370

Результат №3

**Краткая формулировка:** Создана автоматическая веб-система прогноза крупных вспышек на основе данных спектральных наблюдений АО в микроволновом диапазоне.

**Развернутое изложение результата:** Впервые создана реально работающая в автоматическом режиме система заблаговременного (1-3 дня) прогноза солнечных вспышек по спектральным наблюдениям в радиодиапазоне. Прогноз основан на многолетних исследованиях особенностей спектров микроволнового излучения активных областей, производящих мощные геоэффективные вспышки. В 2013 г на РАТАН-600 в максимуме 11-летнего цикла активности проведена рекордно длительная серия спектрально-поляризационных наблюдений Солнца с 8-минутным временным интервалом, в диапазоне 0.75-18.2 ГГц, со спектральным разрешением  $\sim 1\%$ , с пространственным разрешением, которая показала высокую эффективность метода.

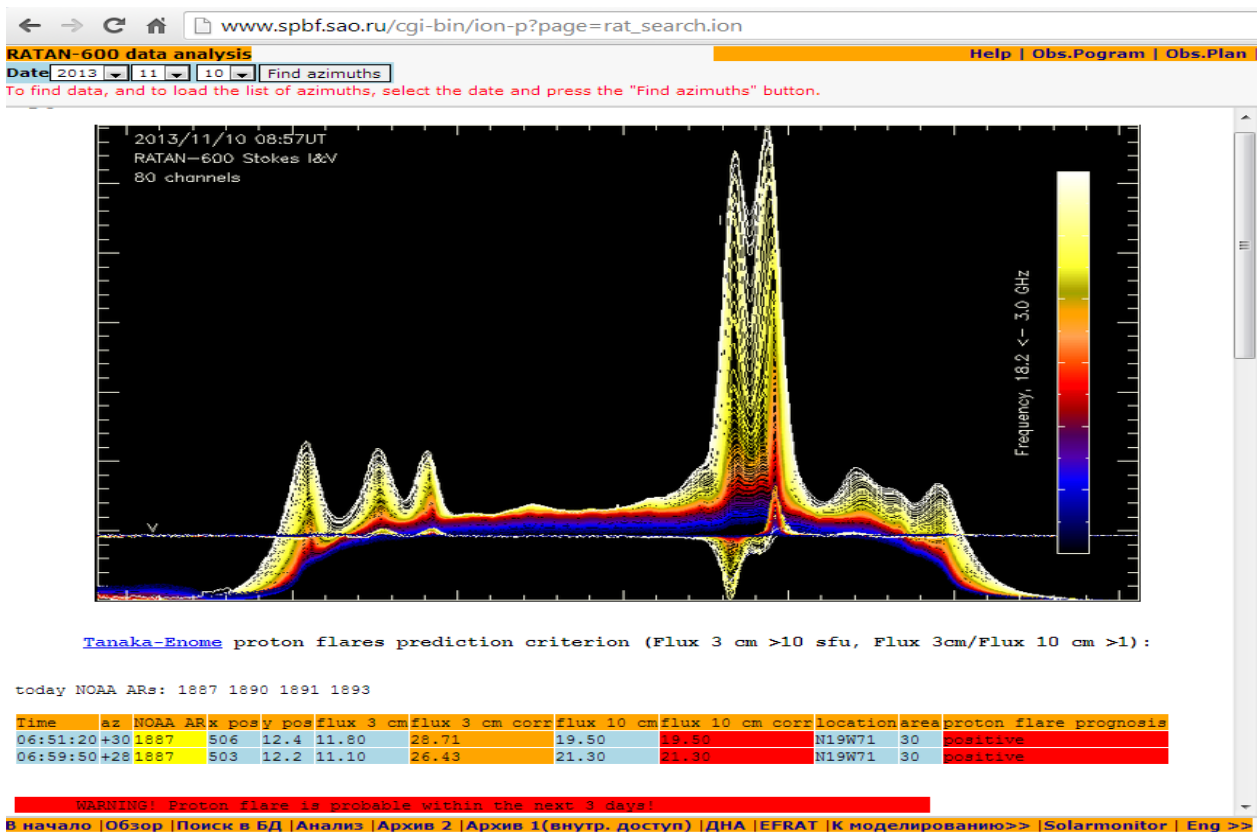


Рис. 1. Общий вид веб-страницы прогноза солнечных протонных вспышек и пример прогноза для 10 ноября 2013г. ([http://www.spbf.sao.ru/cgi-bin/ion-p?page=rat\\_search.ion](http://www.spbf.sao.ru/cgi-bin/ion-p?page=rat_search.ion)).

**Авторы.** Тохчукова С.Х., Богод В.М., Петерова Н.Г., Шендрик Е.В., Курочкин Е.А

**Публикация.** Автоматическая система прогноза геоэффективных вспышек на основе анализа спектральных характеристик радиоизлучения активных областей.

Статья подготовлена в журнал “Геомагнетизм и аэрономия”

Результат №4

**Краткая формулировка:** Измерения магнитного поля мелкомасштабной структуры спокойного Солнца по поляризованному радиоизлучению

**Развернутое изложение результата:** Достигнута предельная чувствительность измерения поляризованного сигнала при многоволновых наблюдениях Солнца в микроволновом диапазоне. С этой целью на радиотелескопе РАТАН-600 были применены входные полосковые первичные облучатели в которых совмещены фазовые центры по правой и левой круговым поляризациям в широком диапазоне радиоволн 3-18.2 ГГц. Благодаря высокой точности совмещения удалось свести уровень инструментального сигнала ниже уровня собственных шумов системы. При наблюдениях мелкомасштабной структуры спокойного Солнца были зарегистрированы поляризованные сигналы, по которым сделаны оценки

величины магнитного поля отдельных гранул в пределах 50-230 Гс в рамках механизма тормозного излучения

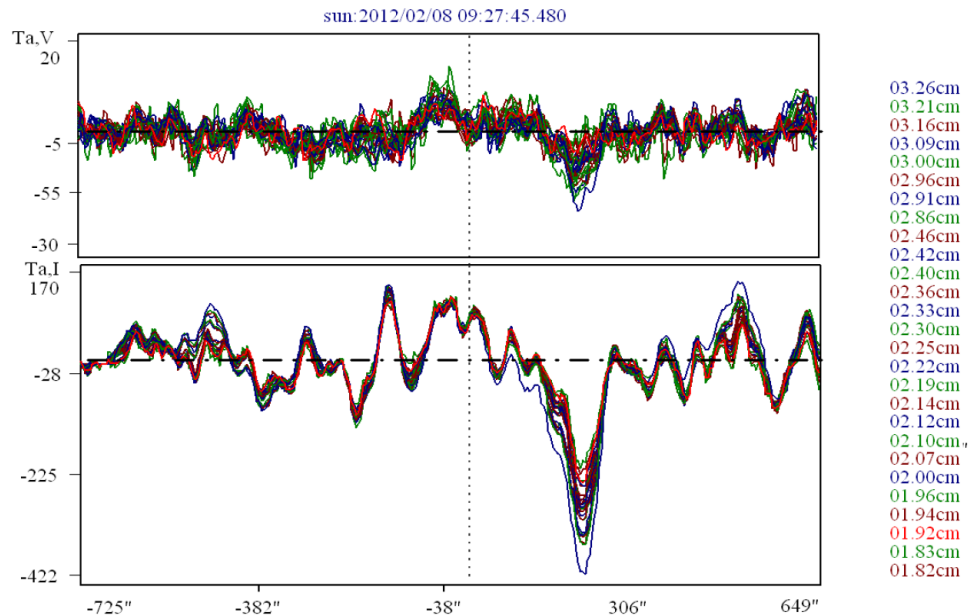


Рис. 1. Сканы параметра Стокса V (вверху) и I (внизу) для 8 февраля 2012 года в диапазоне длин волн от 1,82 до 3,26 см при 27 частот. Шкала антенной температуры антенны для V увеличена в 10 раз. Поляризованное излучение регистрируется выше фонового шума. Оценка величины степени поляризации равна примерно 4-5%.. Справа приведен перечень длин волн использованных в измерениях.

**Авторы:** V. M. Bogod<sup>1</sup> С. E. Alissandrakis<sup>2</sup> T.I. Kaltman<sup>1</sup> S. Kh. Tokhchukova<sup>1</sup> RATAN-600 Observations of Small Scale Structures with high spectral resolution,

1) СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, 2) Университет в Иоанино, Греция

The paper is prepared to Sol.Phys.

## Результат №5

**Краткая формулировка** Обнаружение микроволнового предвестника крупной солнечной вспышки

**Развернутое изложение результата:** Проведено исследование процессов выделения и распространения энергии в солнечной двухленточной вспышке класса M3.2 (SOL2013-05-17T08:43), произошедшей 17 мая 2013. Одновременные наблюдения на РАТАН-600 и спектрополяриметрах ИСЗФ (2-24 ГГц и 4-8 ГГц) позволили исследовать временную, пространственную и спектральную эволюцию микроволновых источников. Анализ показал существование предвестника в виде широкополосного уярчения источника вспышки в хвостовой части пятна, смещавшегося на предвспышечной фазе по направлению к головному пятну с сильным магнитным полем. При этом вспышечный источник, видимый на РАТАН-600, показывал сложную структуру, хорошо совпадающую со вспышечной аркадой, видимой в УФ линии 94А.

- 1) Впервые обнаружено существование прекурсора вспышки или предвспышечного источника в широком диапазоне микроволнового спектра возникшего за 20 минут до начала вспышки.
- 2). Отмечено ужесточение спектрального индекса источника микроволнового излучения, который начал уярчаться на фоне пятенных источников начиная с предвспышечной фазы.

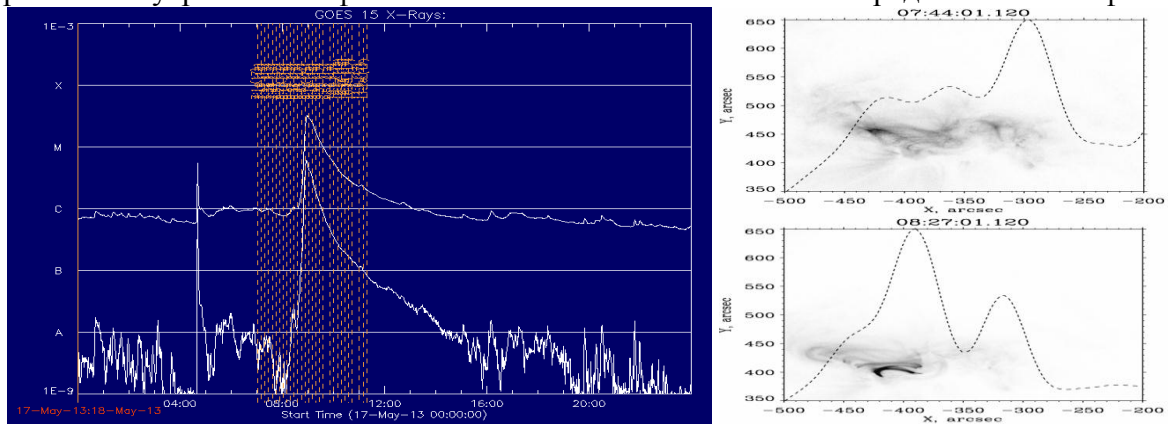


Рис 1. Слева-моменты наблюдений Солнца на РАТАН-600,нанесенные вертикальными линиями на профиль рентгеновского излучения по данным спутника GOES. Справа-одномерный профиль микроволнового излучения на волне 5.7 ГГц по данным РАТАН-600, нанесен на изображение вспышечной аркады в УФ (SDO AIA 94A), на два разных момента наблюдения на ранней предвспышечной фазе.

**Авторы.** L.K. Kashapova , S.K.Tokhchukova , P. Kotrč and Yu. A.Kupryakov "Energy release processes during M3.2 solar flare on 17 May 2013"  
Статья готовится к публикации

#### Результат №6

Определено местоположение источника субсекундных импульсов микроволнового излучения во вспышке C2.4 10 августа 2011г

Разработана методика определения местоположения источника тонкой структуры микроволнового вспышечного излучения, основанная на использовании одновременных наблюдений на РАТАН-600, ССРТ, и спектрополяриметре 4-8ГГц ИСЗФ. Комбинация этих данных позволяет с точностью до нескольких секунд дуги определить местоположение источника импульсов на Солнце (гелиографическую широту и долготу). Горизонтальная координата (расстояние источника импульсов от центра Солнца на скане) может быть определена по одним РАТАНовским наблюдениям при условии наличия смещения диаграмм в левой и правой круговой поляризации, и прописывании импульсов в обеих поляризациях

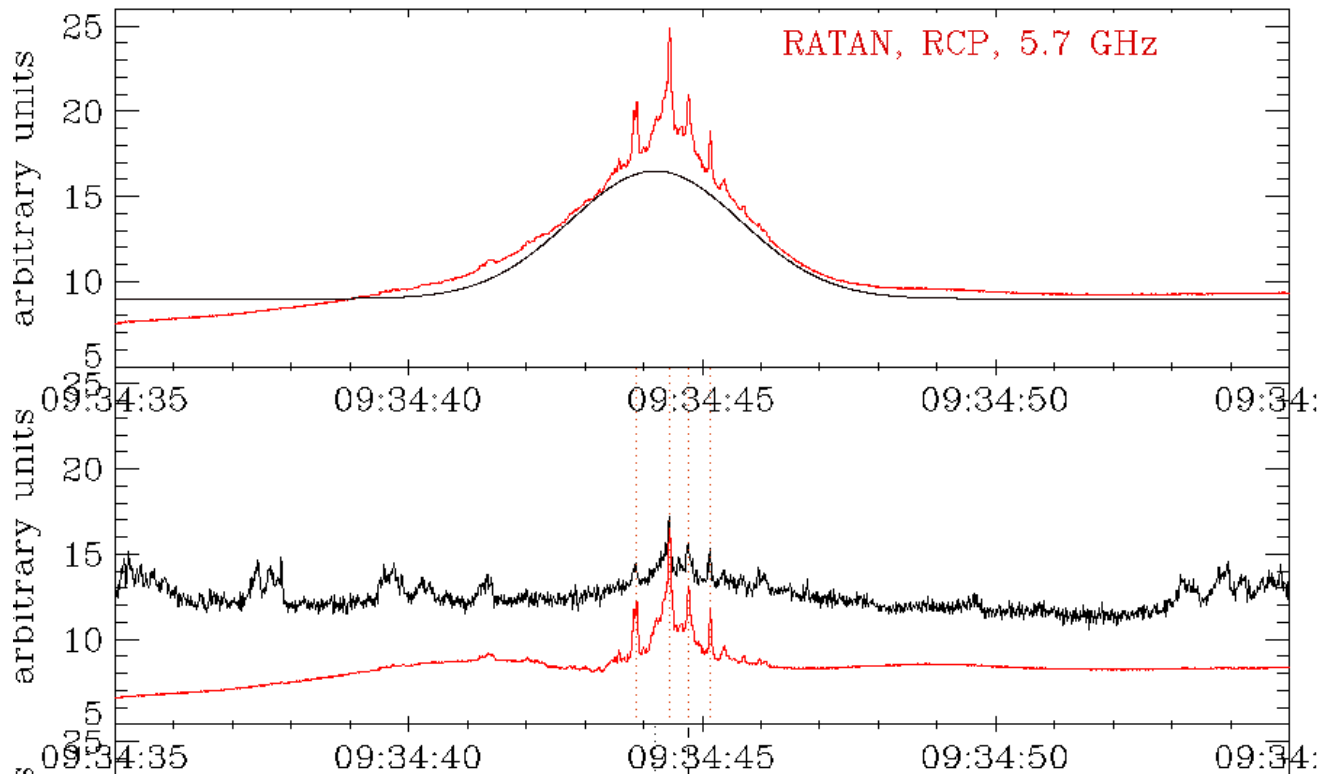


Рис. 1. Высокоточное сопоставление наблюдения субсекундных импульсов на РАТАН-600 и спектрополяриметров ИСЗФ.

Микроволновая тонкая структура связана с процессами первичного энерговыделения и наблюдается в импульсной фазе вспышки. Для более точного определения местоположения, а также при наблюдениях в едином фазовом центре для R и L, используется временной профиль импульсных всплесков со спектрополяриметров. Использование наблюдений ССРТ позволяет определить вторую координату.

Готовится к публикации:

Жданов Д.А., Тохчукова С.Х., Лесовой С.В., Кашапова Л.К. Определение местоположение источников субсекундных импульсов микроволнового излучения по одновременным наблюдениям на РАТАН-600, ССРТ, и спектрополяриметрах ИСЗФ.

Результат №7

### **Полярная корональная дыра по наблюдениям солнечного затмения 29 марта 2006 года на радиотелескопе РАТАН-600.**

Данные о радиоизлучении Солнца над северной полярной областью в широком сантиметровом диапазоне длин волн (1.03, 1.38, 2.7, 6.2, 13, 30.7 см) получены впервые по наблюдениям солнечного затмения 29.03.2006 г. на Северо-восточном секторе РАТАН-600. Во время максимальной фазы затмения открытым оставался серп Солнца в северной полярной области (0.2% от общей поверхности Солнца). Затмение Солнца Луной устранило фоновое излучение диска Солнца, мешающее исследовать его слабое корональное излучение на расстояниях от 1.005 Rs до 2 Rs. Специально разработанная методика обработки и моделирования полученных наблюдений позволила получить следующие выводы:



1. Впервые получены распределения яркостных температур в полярной области Солнца на расстояниях от лимба до  $2 R_s$ :
2. Выявлено резкое падение яркостной температуры на интервале расстояний  $(1.005 - 1.03) R_s$  на волне 13 см (рис.1), что, возможно, свидетельствует о нижней границе области формирования солнечного ветра в корональной дыре.
3. На коротких волнах  $(1.03 - 2.7)$  см такого уменьшения яркостной температуры не выявлено (рис.1).
4. Отмечено хорошее совпадение яркостных температур полярной области вблизи лимба Солнца, и средних температурных характеристик корональных дыр, наблюдавшихся ранее на РАТАН-600 вне полярной области, что указывает на их идентичную природу.
5. На волнах 1.03 см и 1.38 см получено распределение электронной концентрации на расстоянии от лимба Солнца до  $2R_s$ , которое оказалось близким к получаемым в белом свете для полярной области Солнца в период минимальной солнечной активности.

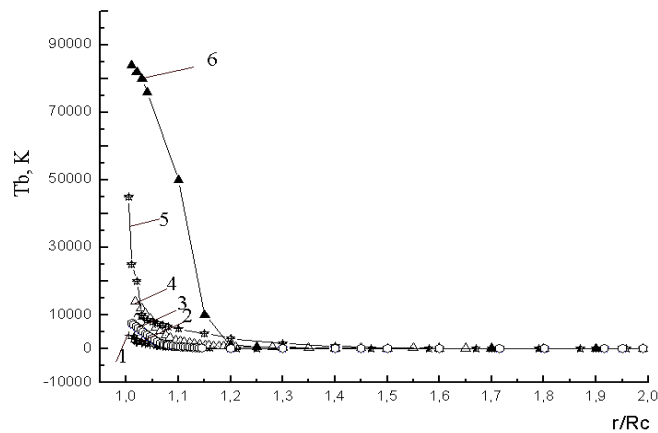


Рис.1. Распределение яркостной температуры ( $T_b$ ) с расстоянием от центра оптического диска Солнца ( $r/R_c$ ) в полярной корональной области Солнца на волнах: 1 - 1.03 см; 2 - 1.38 см, 3 - 2.7 см, 4 - 6 см, 5 - 13 см, 6 - 30.7 см.

Голубчина О.А., Коржавин А.Н., «Распределение яркостной температуры радиоизлучения полярной области Солнца в сантиметровом диапазоне длин волн», *Астрофизический бюллетень*, 2013, т.68, № 2, стр.232-239.

O.A. Golubchina, A.N. Korzhavin, Comparative Analysis of the Distribution of Brightness Temperatures in the Solar Polar Region Based On Observational Data Obtained with RATAN-600 in the Microwave Range during the Solar Eclipse of March 29, 2006. *Geomagnetism and Aeronomy*, 2013, vol.53, No.8, (в печати)