

# Научные и прикладные задачи радиогелиографа 4 – 8 ГГц

Алтынцев А.Т., Лесовой С.В.

24 8 2008

# Проекты микроволновых гелиографов

		Диапазон, ГГц	База, км	Кол-во антенн	Текущий статус
Бразилия, INPE	Brasilian Decimeter Array (BDA)	1.2 – 5.6	2.5 x 1.25	38	Макет, 5 антенн
Китай, NAOC	Chinese Spectral Radioheliograph (CSRH)	0.4 – 15	3.0	100	Макет, 2 антенны
США, NIJT	Frequency Agile Solar Radiotelescope (FASR)	0.1 – 24	6.0	200	Макет, 3 антенны
Россия, ИСЗФ	Radioheliograph Badary (RHB)	2 – 24	3.0	> 500	Макет, 10 антенн

# Механизмы излучения

Одной из первых задач спектральных измерений является определение механизма излучения:

## **Магнитотормозное излучение**

Циклотронное тепловое излучение на 1 – 4 гармониках ларморовской частоты в плазме с температурой  $T > 2 \cdot 10^6$  К. В диапазоне частот 4 – 8 ГГц возможны измерения магнитного поля в структурах активных областей с  $B > 350$  Гс. Во время вспышек возможны измерения меньших магнитных полей, поскольку нетепловые электроны (с энергией более 100 кэВ) эффективно генерируют гиротронное излучение на более высоких гармониках (10 – 100).

## **Тормозное излучение**

Интенсивность зависит от температуры и плотности плазмы в источнике. Если источник можно считать оптически тонким, то по степени поляризации можно определить величину компоненты вектора магнитного поля, направленной по лучу зрения.

## **Плазменное излучение**

Когерентное излучение турбулентной плазмы, генерируемое электронами с неравновесной функцией распределения (по углу или энергии) и проявляющееся как тонкие структуры на динамических спектрах. Характерные частоты излучения находятся вблизи ленгмюровской или двойной ленгмюровской частоты, и излучаются в диапазоне 4 – 8 ГГц при плотности плазмы более  $5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ .

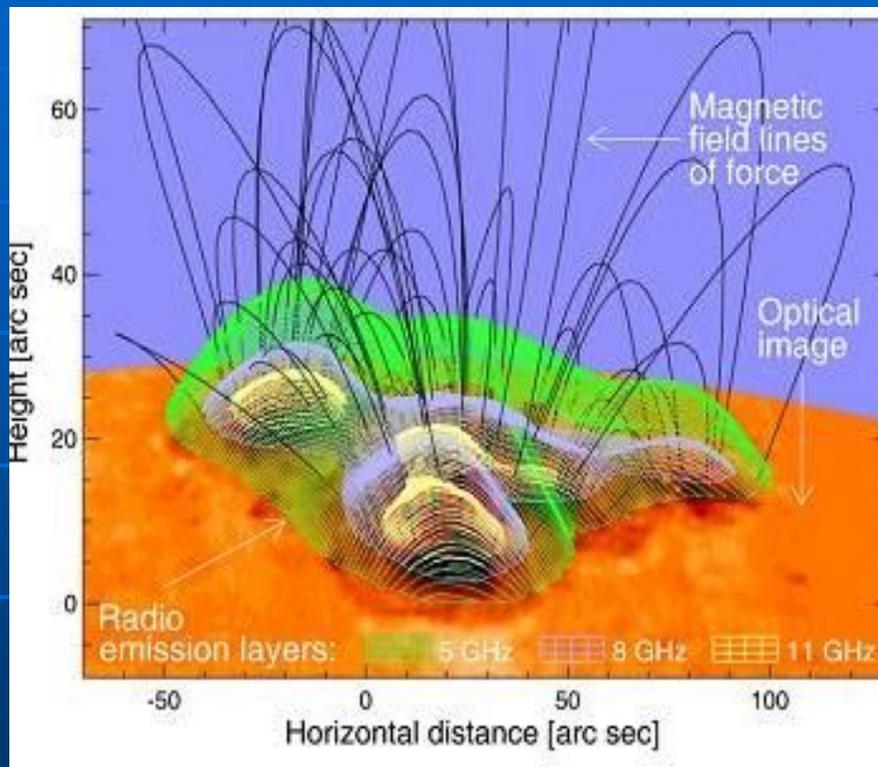
## **Резонансное переходное излучение**

При плотностях вспышечной плазмы более  $2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$  возможна регистрация излучения, генерируемого ускоренными электронами при их движении в плазме с мелкомасштабными (турбулентными) неоднородностями плотности.

# Области использования данных наблюдений

- Измерение корональных магнитных полей
- Физика эруптивных явлений (вспышки и выбросы корональной массы)
- Исследование корональных структур спокойного Солнца (корональные дыры, яркие точки и т.д.)
- Прогноз и диагностика геоэффективных явлений (потoki плазмы, ускоренных частиц и жестких электромагнитных излучений)

# Корональная магнитография с использованием гирорезонансного поглощения



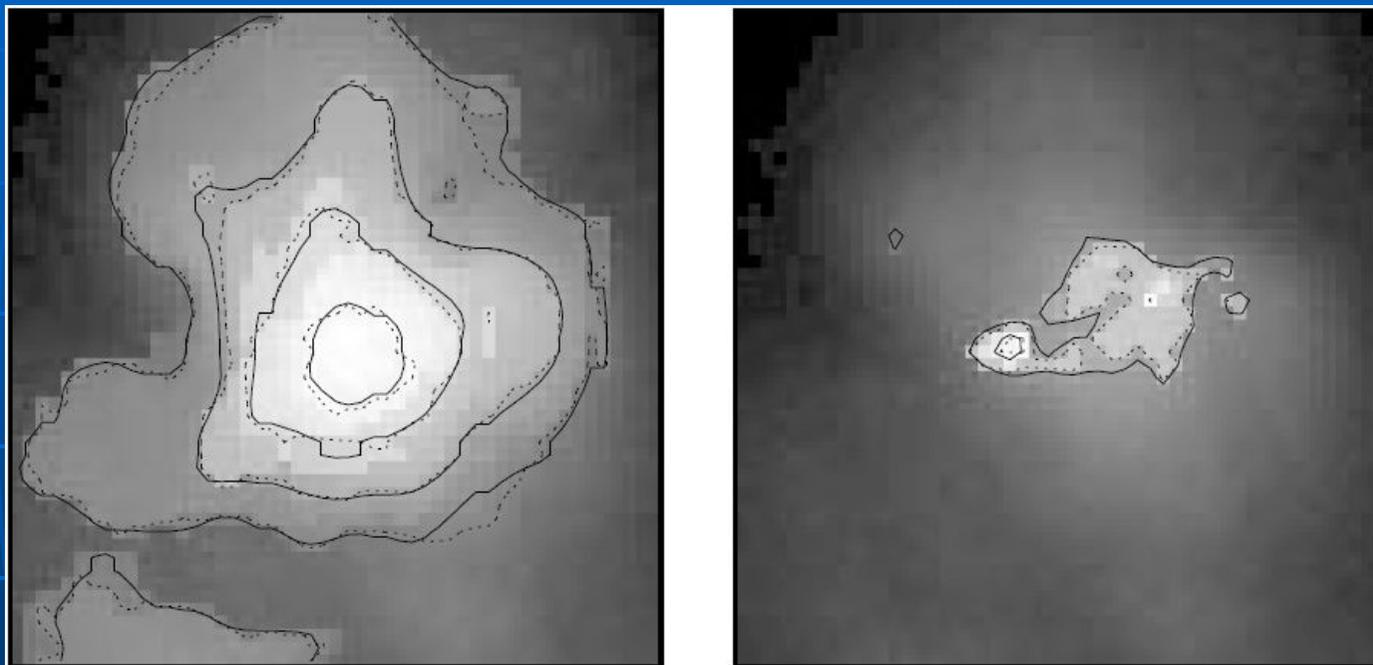
Вид области А06615 с рассчитанными в бессиловом приближении силовыми линиями магнитного поля. Показаны резонансные поверхности (третья гармоника циклотронной частоты) на частотах: 5 ГГц ( $B = 600$  Гс), 8 ГГц ( $B = 950$  Гс) and 11 ГГц ( $B = 1300$  Гс). (Bastian et al.,

[http://www.fasr.org/FASR\\_Overview.html](http://www.fasr.org/FASR_Overview.html))

Методика развита при интерпретации данных РАТАН-600

Akhmedov et al. 1982,  
Grebinskij et al 2000

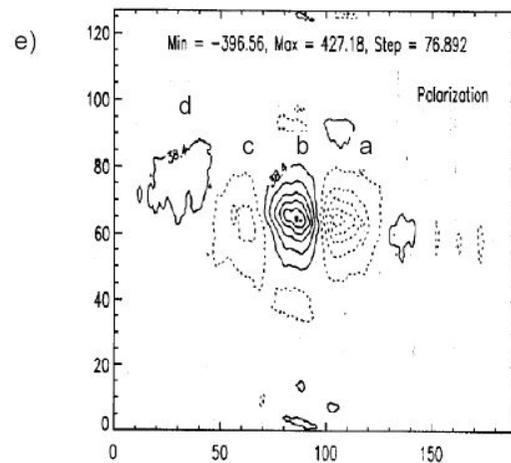
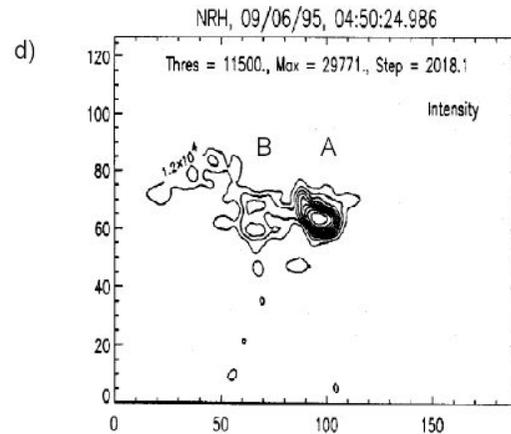
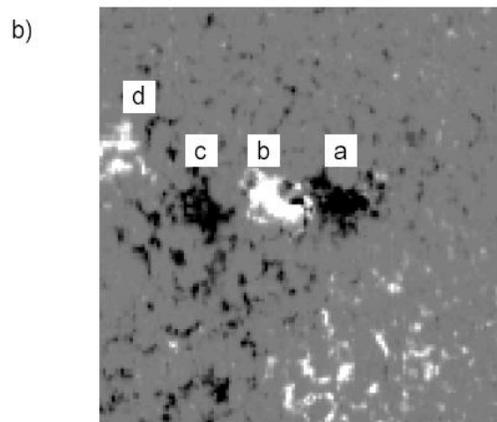
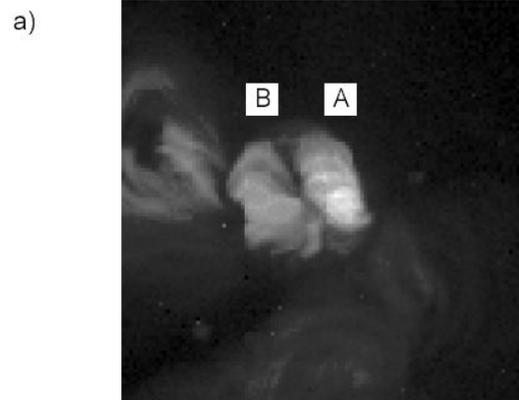
# Корональная магнитография с использованием гирорезонансного поглощения



Сравнение контуров радиояркости VLA (слева 1.5 ГГц, справа 5 ГГц) с расчетными (распределение температуры, плотности и магнитного поля, Brosius et al. 1997). Поле зрения 225x225 угл. сек.

См. также, например, Bogod et al. 1992

# Измерения магнитного поля по тормозному излучению



АО 7877 (1995, июнь)

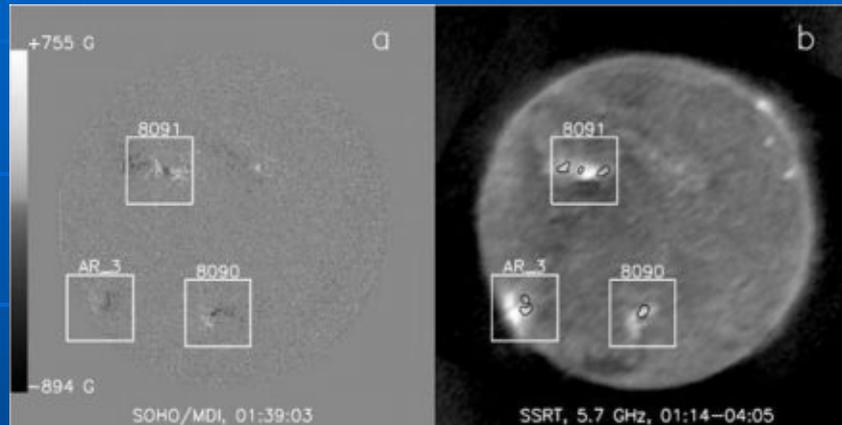
a) SXT, b) Магнитограмма,  
d, e) Радиокарты в  
интенсивности и  
поляризации на 17 ГГц.

$$[B]_G = 10700 \frac{\rho}{n \lambda_{\text{cm}}},$$

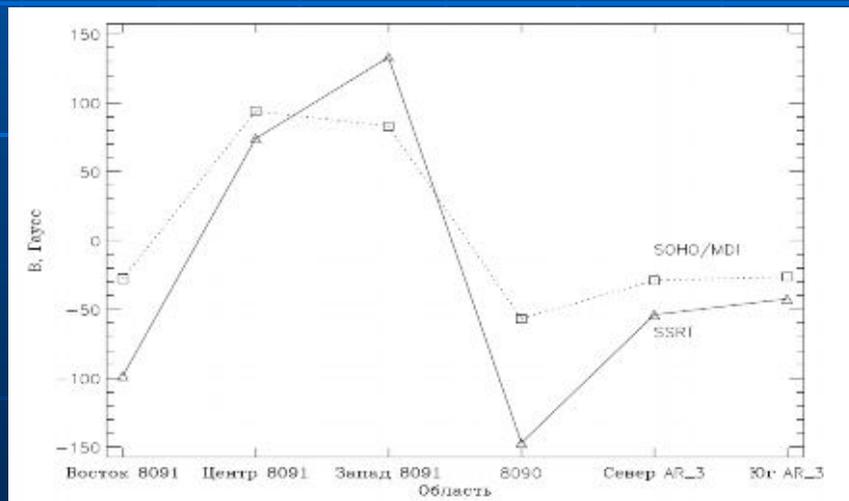
$$n \equiv \frac{d \log I_{\text{obs}}}{d \log \lambda}, \quad \rho = \frac{V_{\text{obs}}}{I_{\text{obs}}}$$

Grebinskij et al. 2000

# Измерения магнитного поля по тормозному излучению



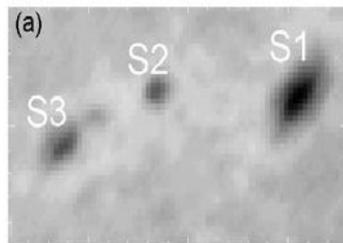
Сравнение изображений в поляризации, полученного на ССРТ 6 октября 1997 г., с фотосферной магнитограммой SOHO/MDI; б) Интенсивность (параметр Стокса I, полутона) и степень поляризации V/I (контуры, 5%) микроволнового излучения на 5.7 ГГц (Grechnev et al. 2003).



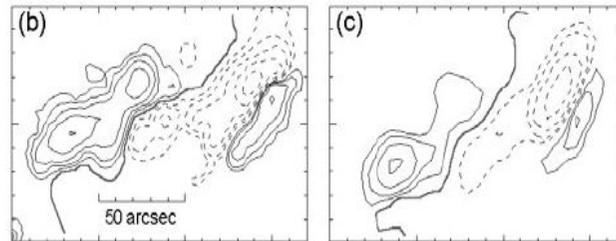
Сравнение результатов измерений коронального магнитного поля по поляризационным данным ССРТ с фотосферной магнитограммой SOHO/MDI.

# Квазиперечное распространение

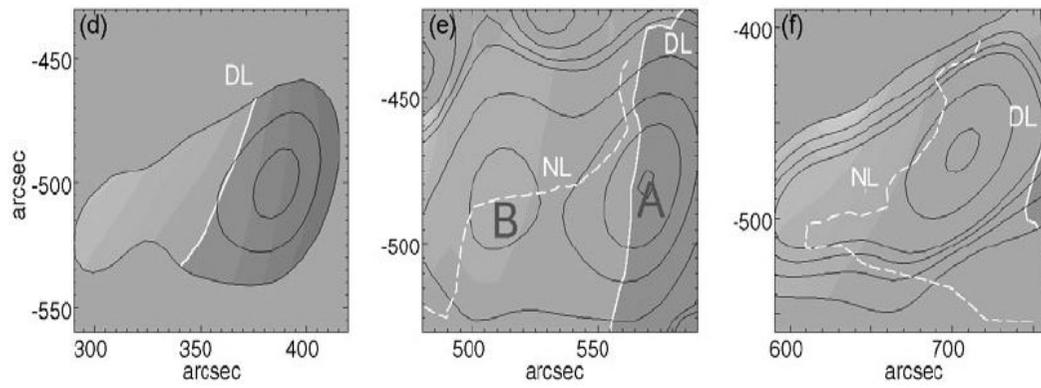
Spectroheliogram Ca K1v



Photospheric magnetograms



5.2 cm radio maps



Ryabov et al. 2005

АО 8365 (1998, октябрь)

a) Ca K1v

b, c) магнитограммы 22 и 23 октября

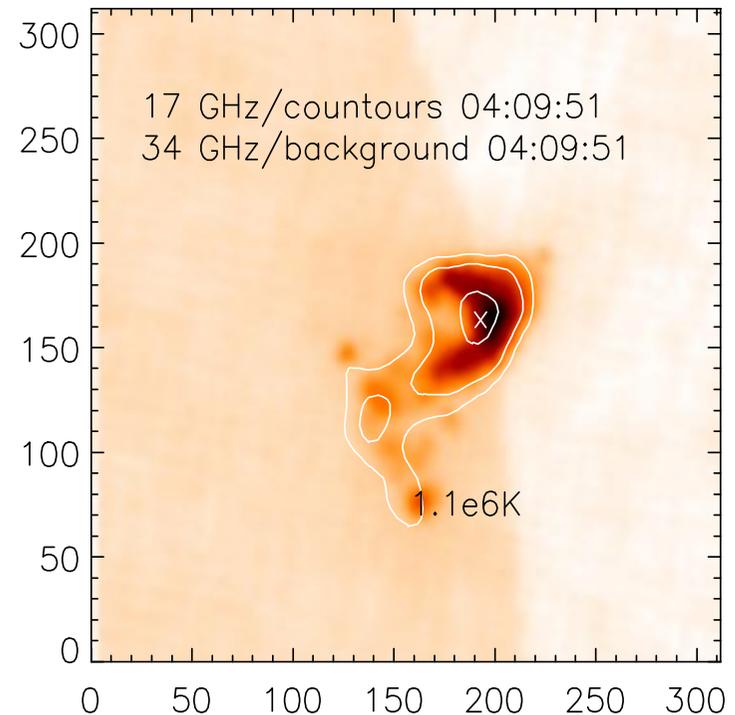
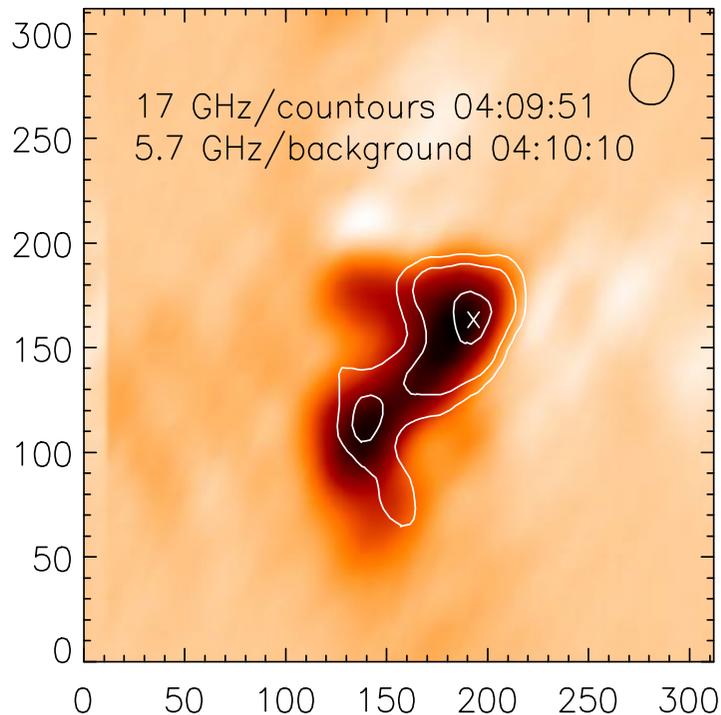
d-f) радиокарты 21, 22 и 23 октября. Контура – яркостная температура, полутона – степень поляризации.

Железняков (1964)

$$f_t = \frac{1}{2\pi mc} \left( \frac{2\sqrt{2}\pi e^5 NB}{|d\alpha/dz|} \right)^{1/4},$$

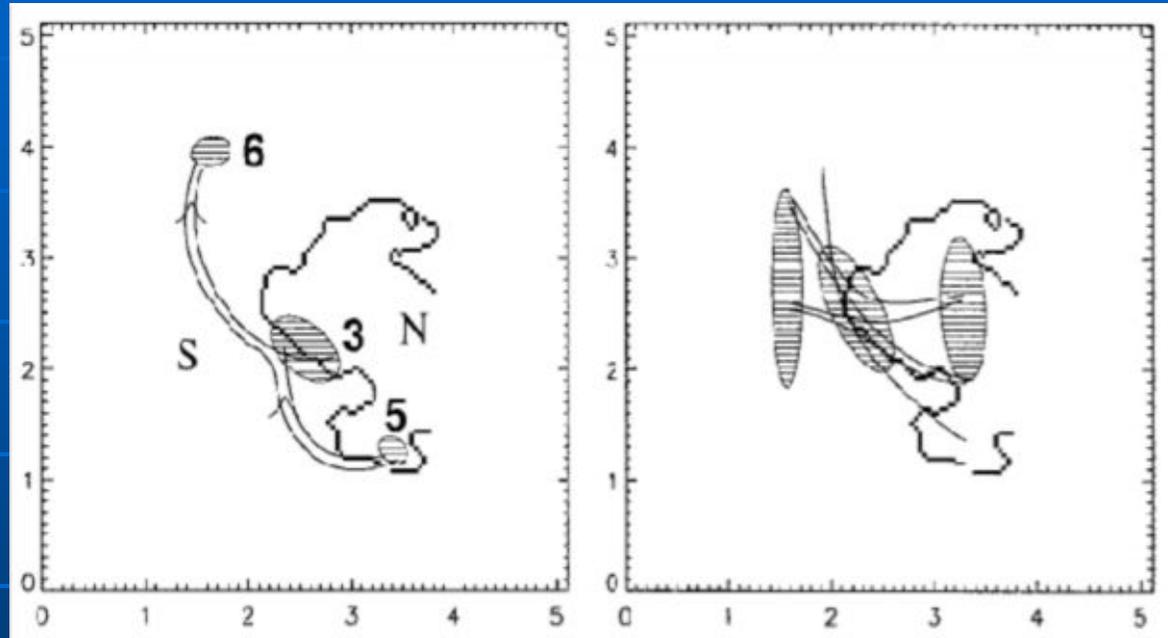
$$B \approx 180 \lambda^{-4/3} \quad (5.7 \text{ ГГц} \rightarrow 20 \text{ Гц})$$

# Солнечные вспышки



Структура вспышки 13 июля 2005 г. на трех частотах: 5.7 ГГц (ССРТ), 17 и 34 ГГц (NoRH). Яркостные температуры в точке, отмеченной крестом,  $1.1 \cdot 10^6$  (5.7 ГГц),  $5.9 \cdot 10^5$  (17 ГГц) и  $2.6 \cdot 10^5$  (34 ГГц).

# Топология вспышки



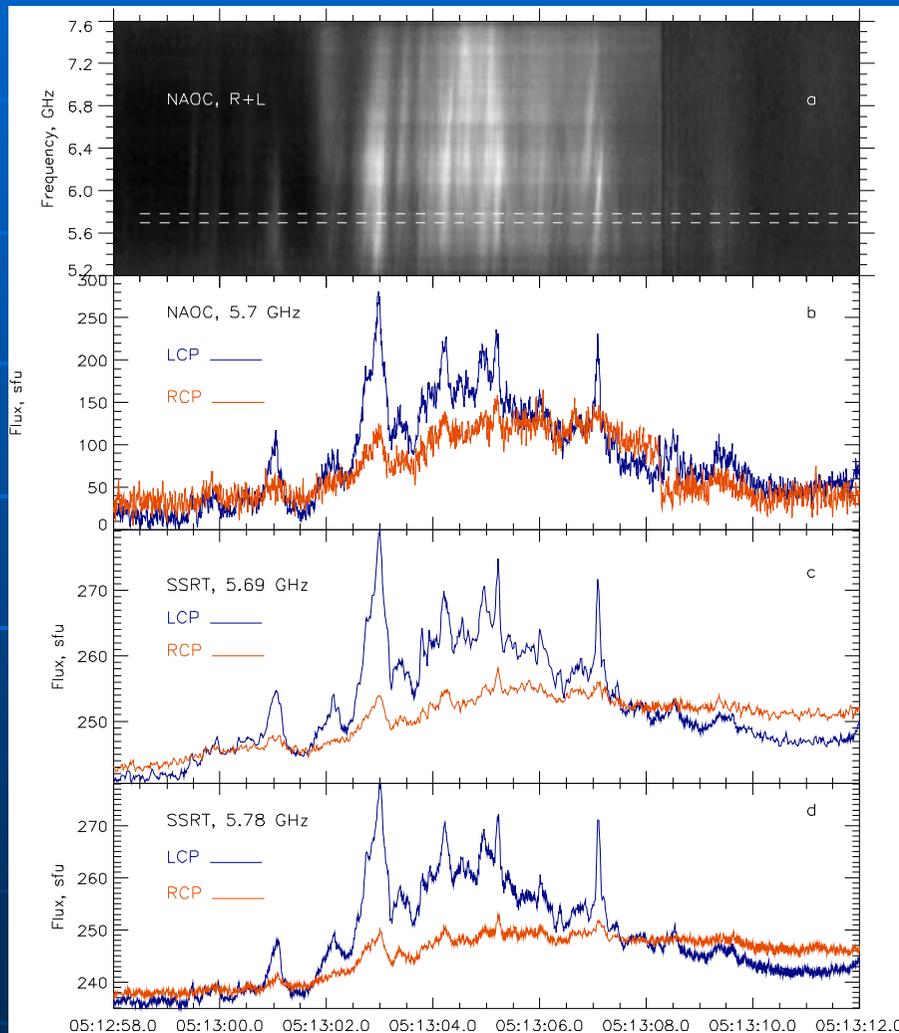
06:44 UT

07:25 UT

23 сентября 1998

Эволюция конфигурации вспышки 23 сентября 1998 г. Слева – начальная стадия вспышки, справа стадия затухания. Заштрихованные линии показывают источники излучения на 5.7 ГГц (ССРТ). Жирная линия показывает нейтральную линию фотосферного магнитного поля (Altyntsev et al. 2002).

# Процессы ускорения и потоки нетепловых электронов

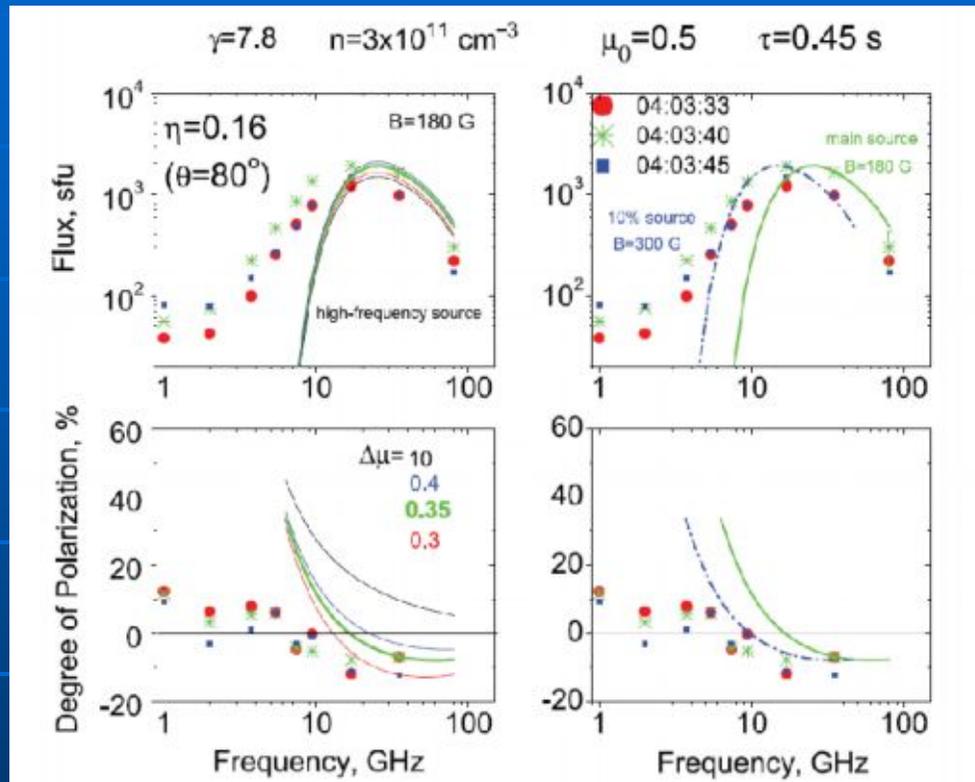


Быстро дрейфующие всплески –  
отклик на распространение  
пучков нетепловых электронов.

- а) динамические спектры,
- б) временные профили на разных  
круговых поляризациях,  
полученные с помощью  
спектрополяриметров  
Пекинской обсерватории,
- с) и d) профили ССРТ на двух  
частотах, отвечающих  
горизонтальным линиям на  
панели а).

(Altyntsev et al. 2008)

# Процессы ускорения и потоки нетепловых электронов



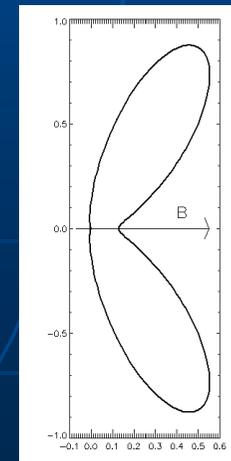
Сравнение расчетных спектров (линии) с данными наблюдений (символы) для вспышки 10 марта 2001 г.

Слева: предполагался один источник, генерирующий высочастотную часть спектра.

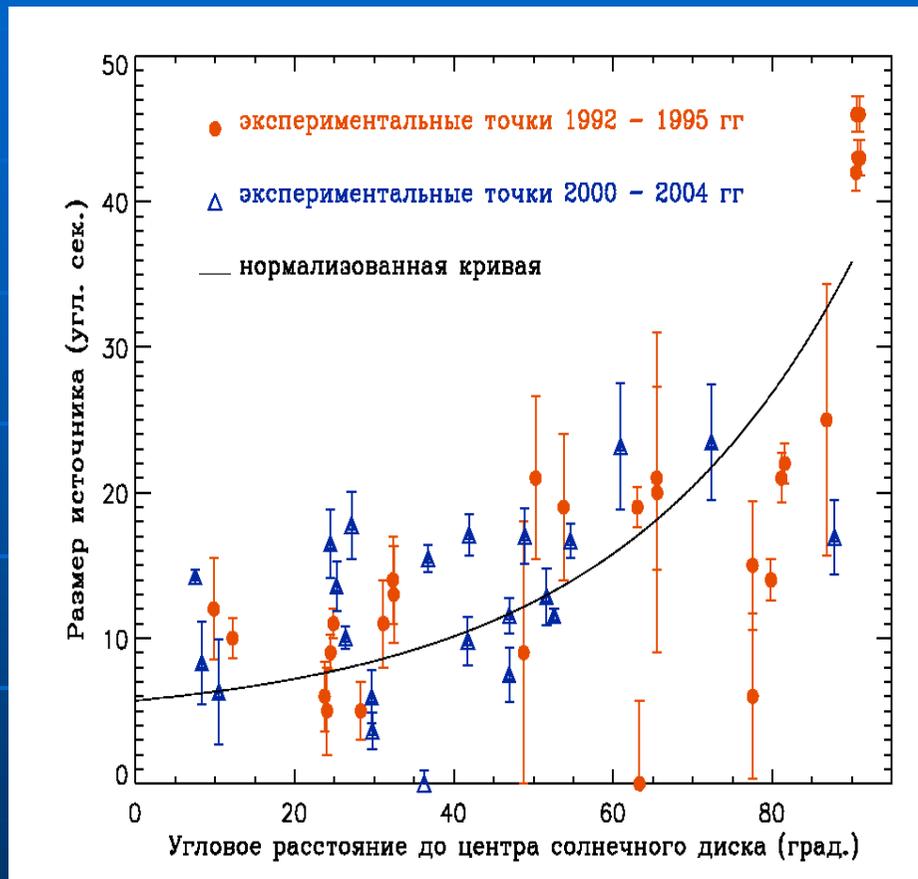
Справа: два источника. Основной результат – вид спектра ускоренных электронов.

Распределение ускоренных электронов по углам имеет пучковый характер с максимумом вокруг питч-угла около 60 град. (Altyntsev et al. 2008)

$$f_2(\mu) \propto \exp\left(-\frac{(\mu - \mu_0)^2}{\Delta\mu^2}\right)$$



# Турбулентность корональной плазмы

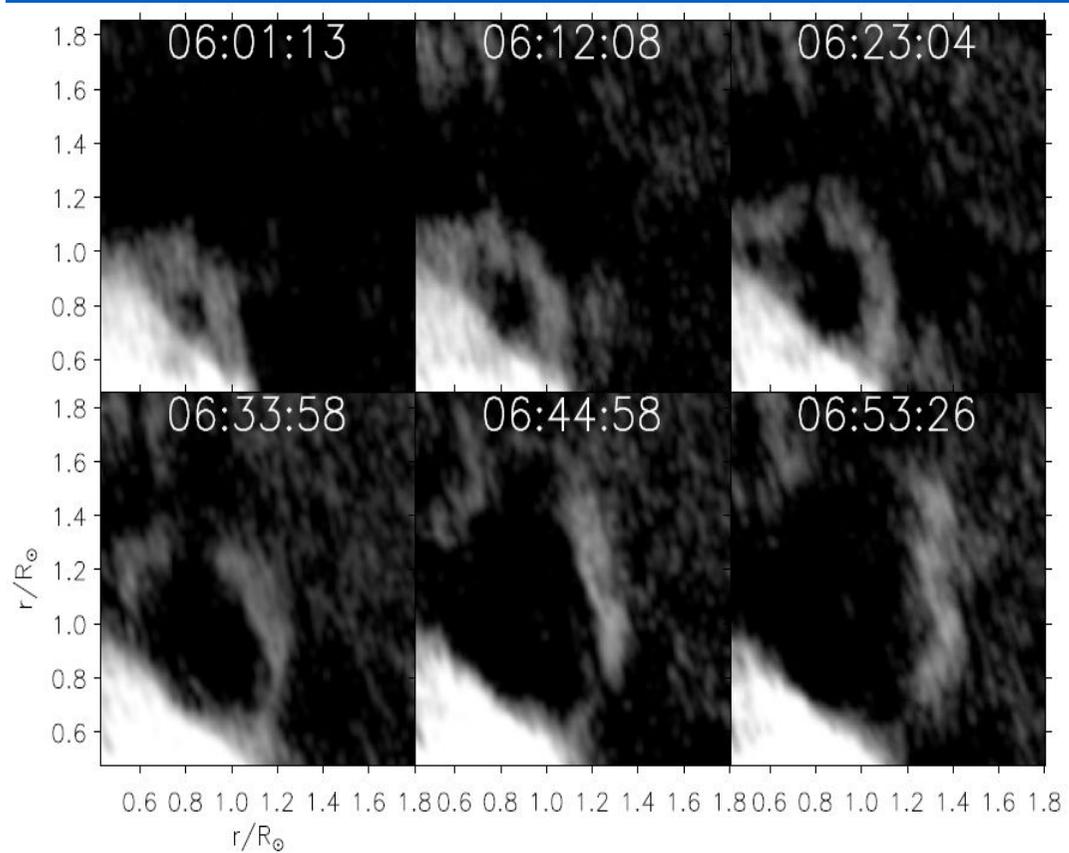


Зависимость наблюдаемых размеров источников субсекундных импульсов на частоте 5.7 ГГц от углового расстояния до центра Солнца. Кружками показаны размеры источников, полученные из наблюдений в 22 солнечном цикле, треугольниками - в 23 цикле.

Вертикальные отрезки соответствуют стандартным отклонениям. Кривая соответствует модели Bastian (1995), нормализованной к экспериментальным данным по методу наименьших квадратов.

Получены оценки размеров и интенсивности мелкомасштабных флуктуаций плотности в нижней короне (Чащей, Шишов и Алтынцев, 2006)

# Обнаружение и диагностика выбросов корональной массы

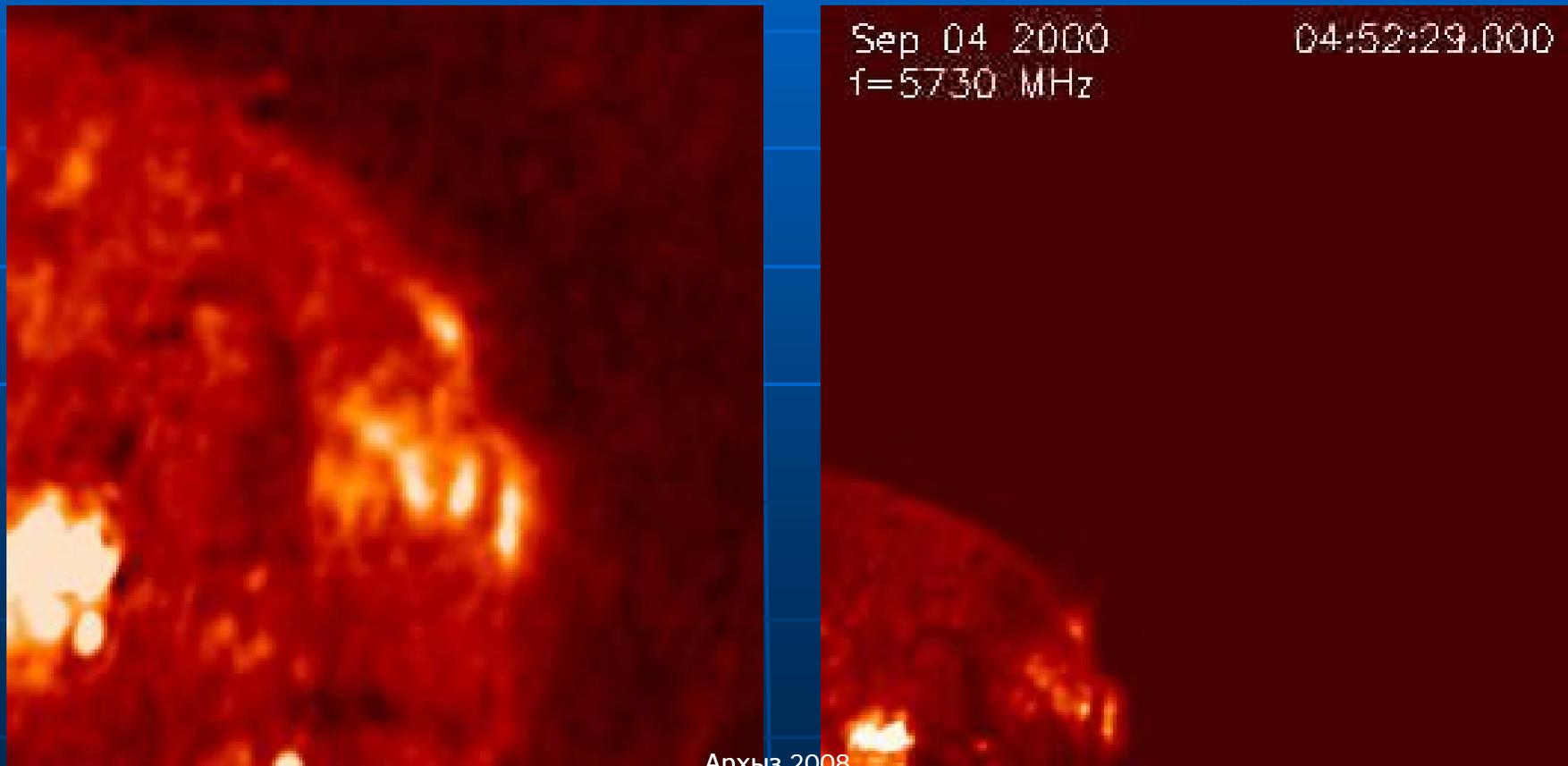


Эруптивный протуберанец, наблюдавшийся на ССРТ 14 января 2001 г. (Grechnev et al., 2006)

Яркостная температура ограничена 15 000 К, для того чтобы лучше показать протуберанец, и это приводит к «замытию» солнечного диска. На осях показаны расстояния от центра диска в долях солнечного радиуса.

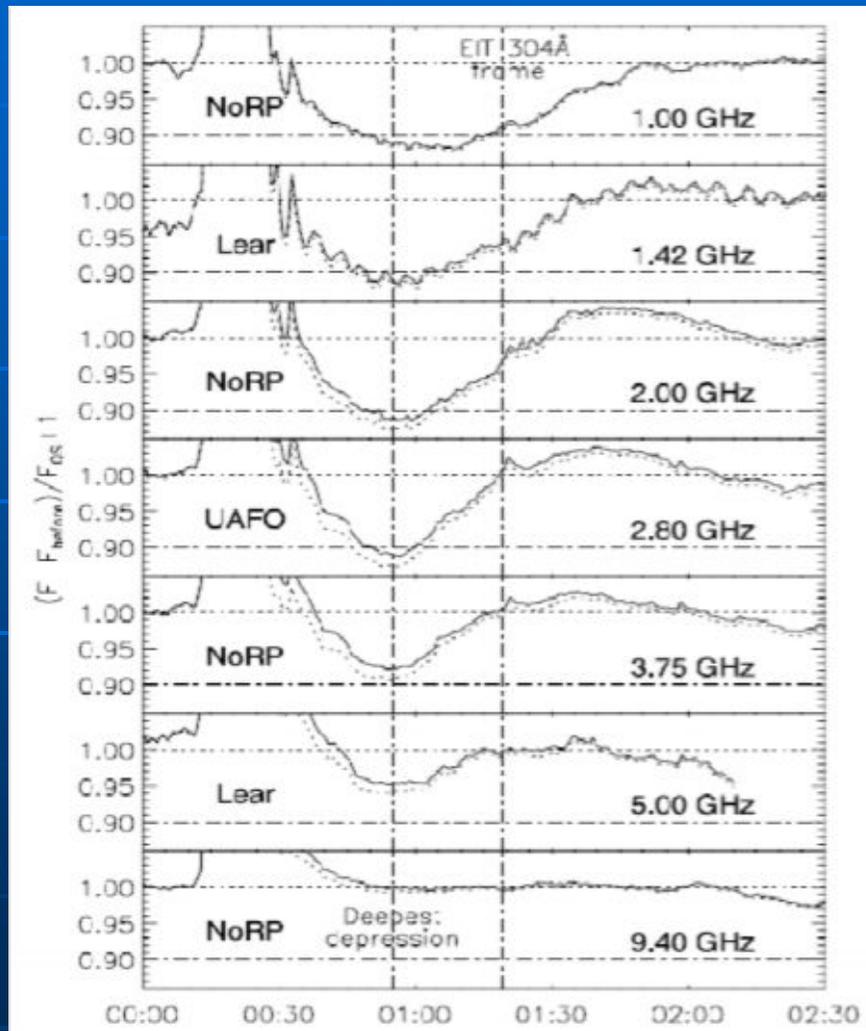
# 2000/09/04: 5.7 ГГц, ССРТ

- Выброс волокна
- Микроволновое излучение - тепловое



Архыз 2008

# Обнаружение и диагностика выбросов корональной массы



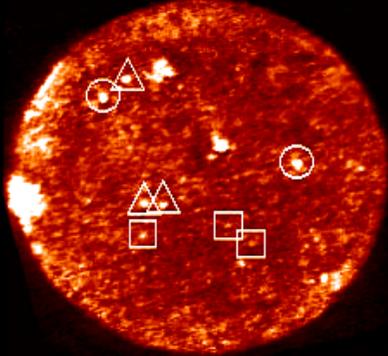
Архыз 2008

Депрессия радиоизлучения во время выброса корональной массы 13 июля 2004 г. (Grechnev et al., 2008)

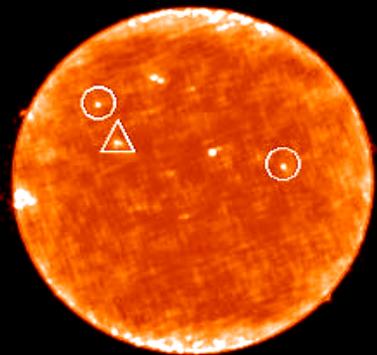
Наблюдения на фоне диска «отрицательных» всплесков (Maksimov and Nefedev, 1991) – перспективный метод обнаружения и диагностики выбросов корональной массы на фоне солнечного диска.

# Корональные точки

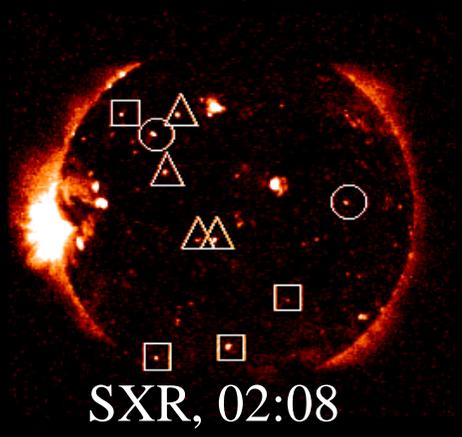
1996/06/03



5,7 GHz, 02:09



17 GHz, 02:08



SXR, 02:08

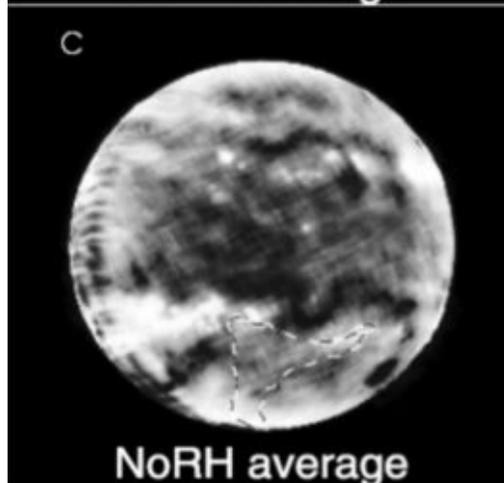
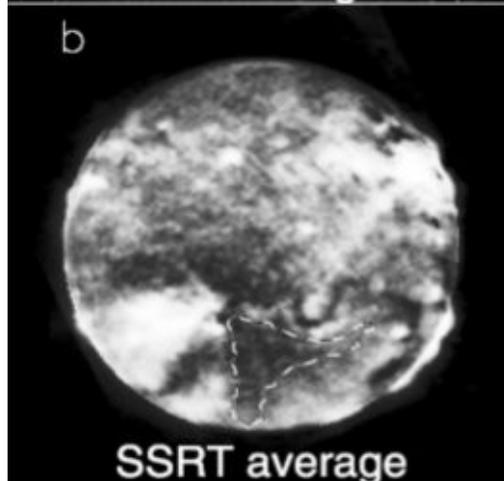
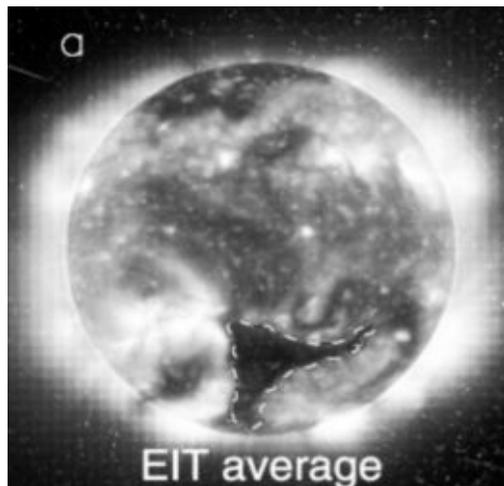
За корональные яркие точки на 1,5-17 ГГц отвечает оптически тонкое тепловое тормозное излучение.

Некоторые корональные точки, видимые в других диапазонах излучения, не видны на изображениях NoRH из-за процедуры «чистки».

(Maksimov et al. 2001)

- На всех диапазонах
- △ На двух
- На одном

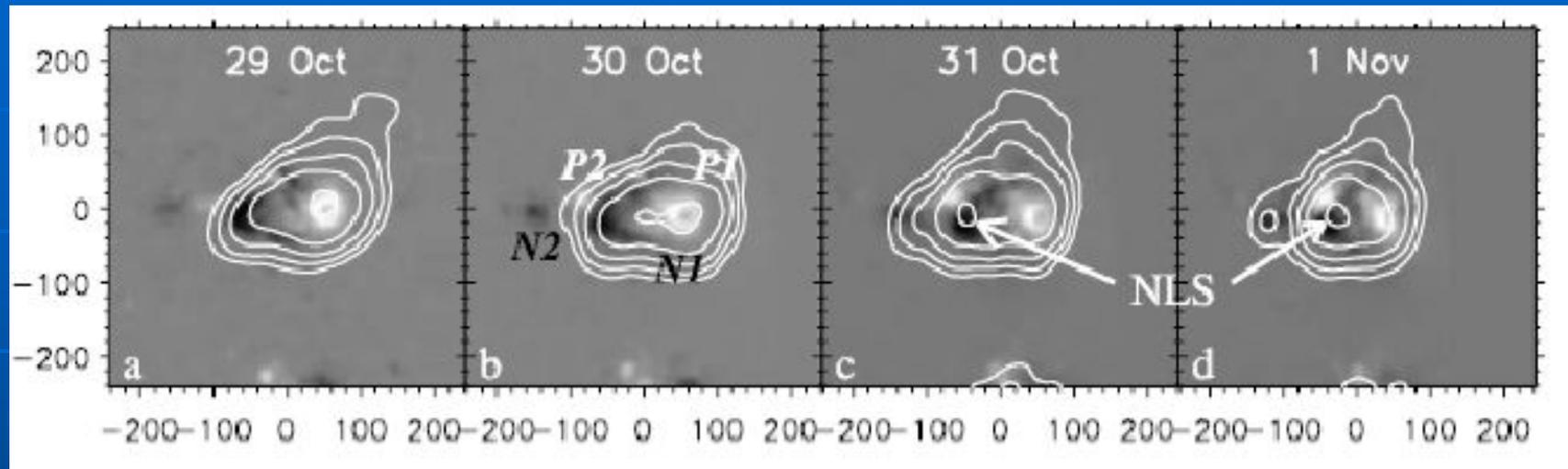
# Корональные дыры



Изображения корональной дыры в крайнем ультрафиолете (171 А) и микроволнах (5.7 и 17 ГГц), усредненные в течение периода 20-23 апреля 1998 г. Корональная дыра на микроволновых изображениях показана штриховым контуром, определенным на изображении EIT (Maksimov et al. 2006).

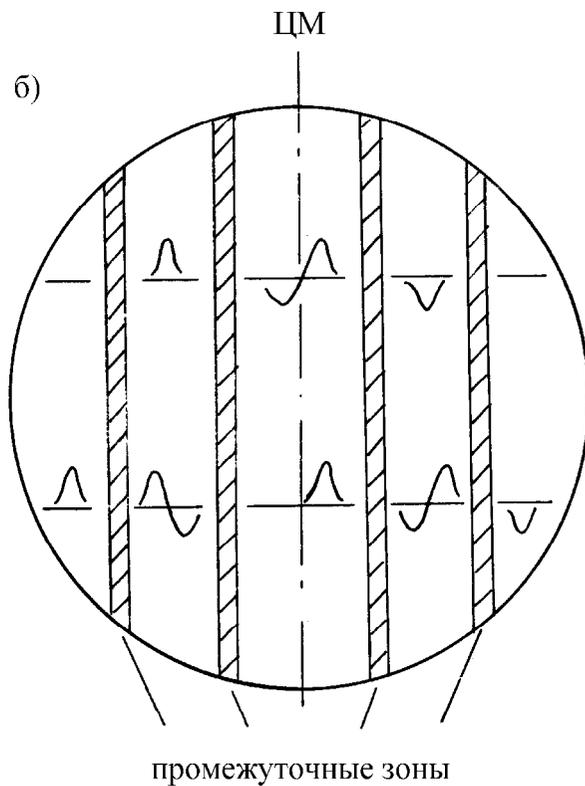
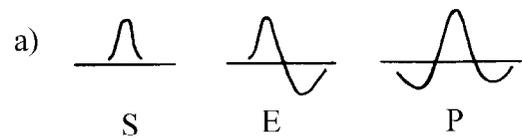
Измерения на нескольких длинах волн позволяют анализировать распределение температуры плазмы по высоте над областями формирования высокоскоростных потоков солнечного ветра.

# Прогнозирование геоэффективных событий: токовый слой



АО 10488 (2003 г.) Контура яркости (5.7 ГГц), наложенные на магнитограммы  $B_r$ . Мощная вспышка X2.7 произошла на четвертый день после появления 31 октября источника над нейтральной линией магнитного поля (Uralov et al. 2008). Дополнительно – высокая поперечная компонента магнитного поля, субвспышки в источнике NLS.

# Прогнозирование геэффективных событий: структура поляризации



б) вверху - нормальное распределение  
внизу - вспышечно опасное распределение

Развитие методов краткосрочного прогноза мощных солнечных вспышек, основанных на анализе изменений структуры активной области в круговой поляризации (Tanaka&Enome 1975, Maksimov et al. 1990, Smolkov et al. 2000).

Дополнительные признаки:

- а) Поток активной области  $> 20$  SFU
- б) Резкие изменения отношения потока к площади АО

A scenic landscape photograph of a lake with mountains in the background and trees in the foreground. The text "Thank You!" is overlaid in the center. The image shows a calm body of water reflecting the sky and surrounding greenery. In the foreground, there are several trees, some with bare branches and others with fresh green leaves. The background features rolling hills and mountains under a cloudy sky. The overall mood is peaceful and serene.

Thank You!