



**РАТАН-600: АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ДЛЯ ИХ РЕШЕНИЯ**

Мингалиев М.Г., Жеканис Г.В.

Радиотелескоп РАТАН-600 относится к рефлекторным антеннам и его появление на свет было обусловлено требованиями астрофизических задач того времени – достижение высокого углового разрешения и большой собирающей поверхности. Принципиальные ограничения в линейных размерах наземных телескопов привели к появлению новых конструкторских решений в телескопостроении.

Специальный
выпуск Изв. ГАО,
№ 188, 1972

Весь номер
с 3-ей страницы
по 243
о РАТАН-600

ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ

В ПУЛКОВЕ

№ 188

АСТРОМЕТРИЯ, АСТРОФИЗИКА, РАДИОАСТРОНОМИЯ



ЛЕНИНГРАД

Издание Главной астрономической обсерватории в Пулкове

972

Основные астрофизические проблемы, на решение которых и создавался РАТАН-600, подробно рассмотрены в одной из работ в вышеуказанном издании (Изв. ГАО, № 188, 1972. стр. 3-12):

Радиотелескоп РАТАН-600

С. Э. Хайкин, *Н. Л. Кайдановский*, *Ю. Н. Парийский*, *Н. А. Есепкина*

Кратко описан проект радиотелескопа переменного профиля (АПП) предельного размера для волн 0.4—21 см. Основные параметры радиотелескопа: 1) диаметр — 576 м; 2) высота — 7.4 м; 3) эффективная площадь (при единичном наблюдении) $\approx 1000 \text{ м}^2$; 4) ширина горизонтальной диаграммы $\approx 5''$ на $\lambda=0.8 \text{ см}$. Радиотелескоп снабжен перископом для ускорения обзора и наблюдений, требующих длительного сопровождения.

§ 1. НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ

РАТАН-600 — радиотелескоп высокой разрешающей силы и большой собирающей площади для диапазона волн 4 мм—21 см (рис. 1). РАТАН-600 в основном предназначен для астрономических исследований методами радиоастрономии и радиолокации, но может быть использован также для радиофизических исследований и прикладных целей.

Задачи

- исследование объектов Солнечной системы;
- изучение квазаров и радиогалактик;
- поисковые обзор неба на предельно высоких частотах;
- детальное исследование радиогалактик;
- исследование Галактики в спектральных линиях;
- исследование радиоизлучения Солнца.

И действительно, годы работ на РАТАН-600 подтвердили правильность выбранного решения. Именно благодаря высоким параметрам – угловому разрешению и чувствительности, как по плотности потока, так и по яркостной температуре – были получены результаты мирового уровня по многим направлениям в астрофизике:

- Первое обнаружение радиоизлучения у двух Галилеевских спутников Юпитера: Ио – самого близкого к Юпитеру и Европы – самого малого из Галилеевских спутников;
- Обнаружение «перемычки» (радиоизлучения между яркой центральной деталью и протяженными «радиоушами») у радиогалактик;
- Обнаружение радиогрануляции на Солнце;
- Ограничения на флуктуации реликтового излучения;
- И многие другие.

Задачи

Время идет, появляются новые инструменты, как для широкого круга астрофизических исследований, так и специализированные инструменты для целевых (dedicated) исследований. Естественно, необходимо искать и находить свою нишу, где наилучшим образом реализуются заложенные в инструменте возможности. Тем не менее, большинство астрофизических проблем, на решение которых и строился РАТАН-600 по-прежнему остаются затребованными

Сегодня РАТАН-600 – многопрограммный инструмент коллективного пользования.

Наблюдательное время распределяется КТБТ:

Выполняются Программы, как российских пользователей, так и зарубежных; участвует в международных наблюдательных программах по наземной поддержке многих космических проектов сегодняшних и будущих (Planck, Радиоастрон).

Исторически наблюдательные программы делятся на три вида:

- континуум;
- спектральные наблюдения;
- и Солнце.

Исследования в континууме

1. Многоцелевые глубокие обзоры:

➤ фоновые излучения Вселенной: Проект «Генетический код Вселенной»;

➤ статистика и исследование слабых объектов в см-диапазоне (Большое Трио: РАТАН-VLA-БТА).

2. Исследования уже известных объектов по другим обзорам в сантиметровом диапазоне (Северный Полюс Мира); $75^\circ \leq \text{Decl} \leq 88^\circ$.

3. Активные ядра галактик (многоцелевые мониторинги по исследованию на разных временных масштабах от дней до лет.

4. Галактика (ОСН, рентгеновские источники, микроквазары)

Исследования Солнца:

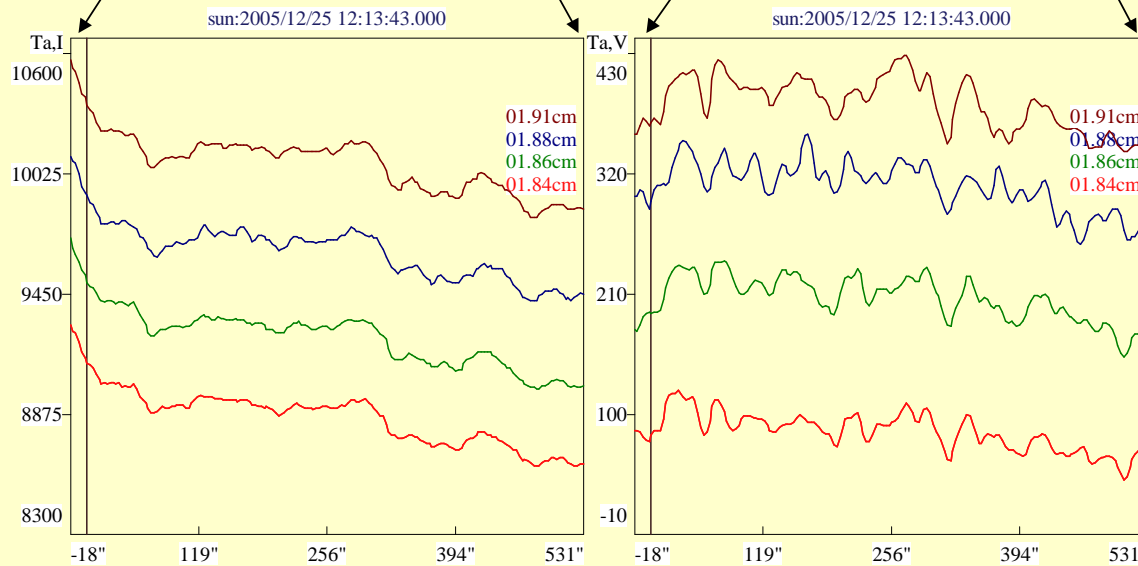
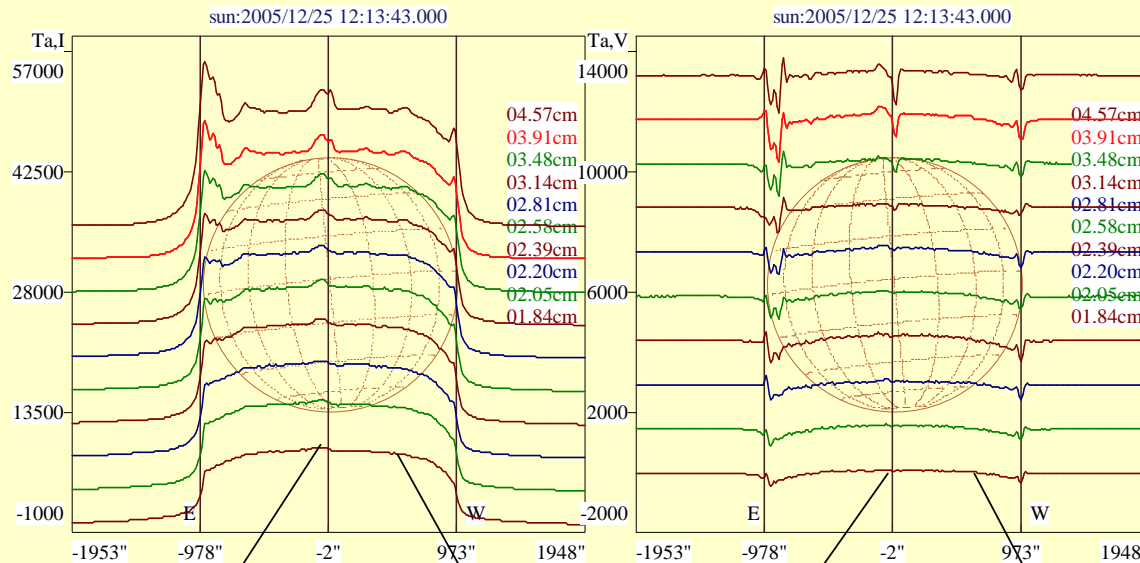
- Тонкая спектрально-поляризационная структура предвспышечной плазмы
- МГД осцилляции в короне и перенос энергии в активных областях

Галактика в линиях:

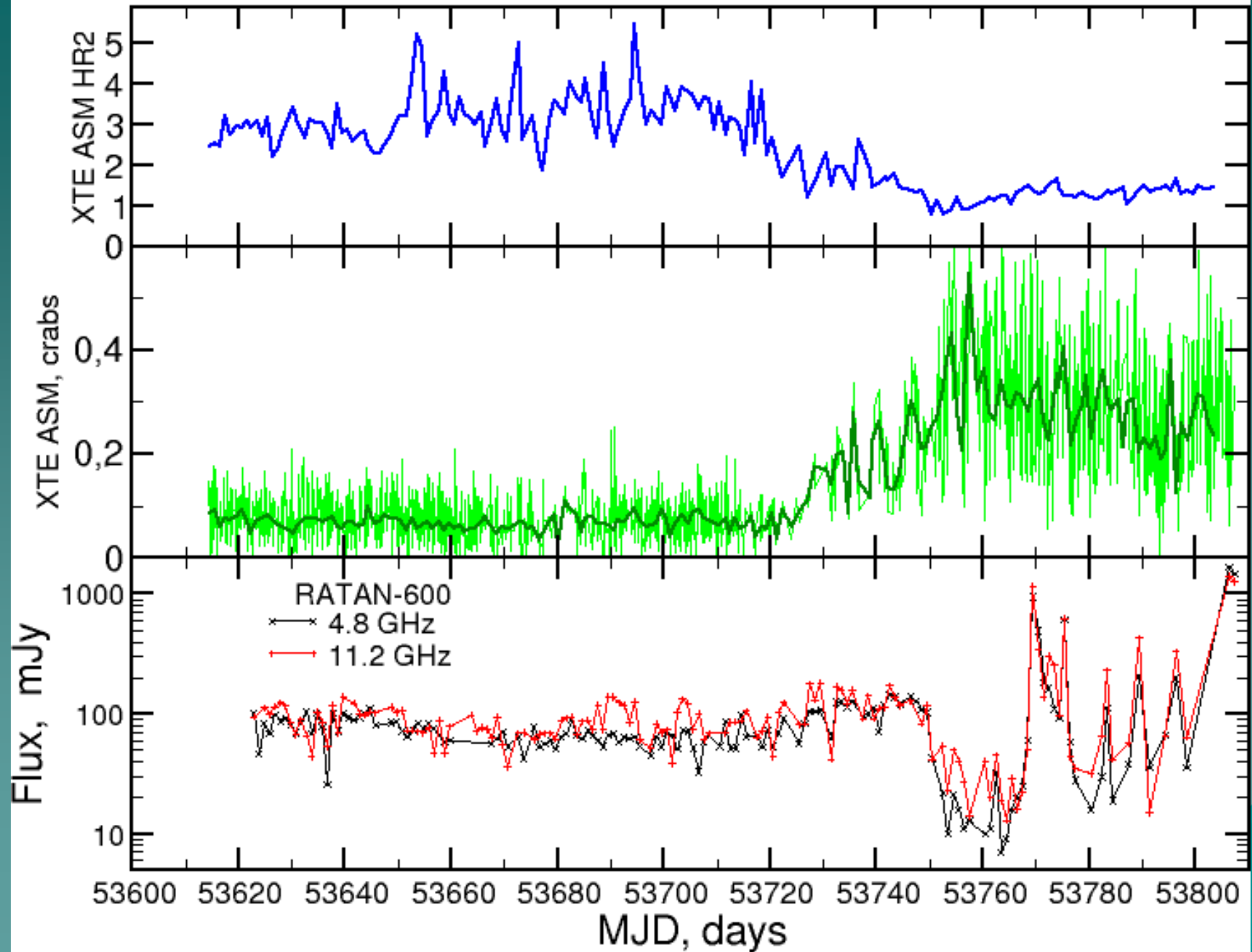
Солнце

- Слева - Int
- Справа - Pol (V)
- Внизу –
"радиогрануляция"

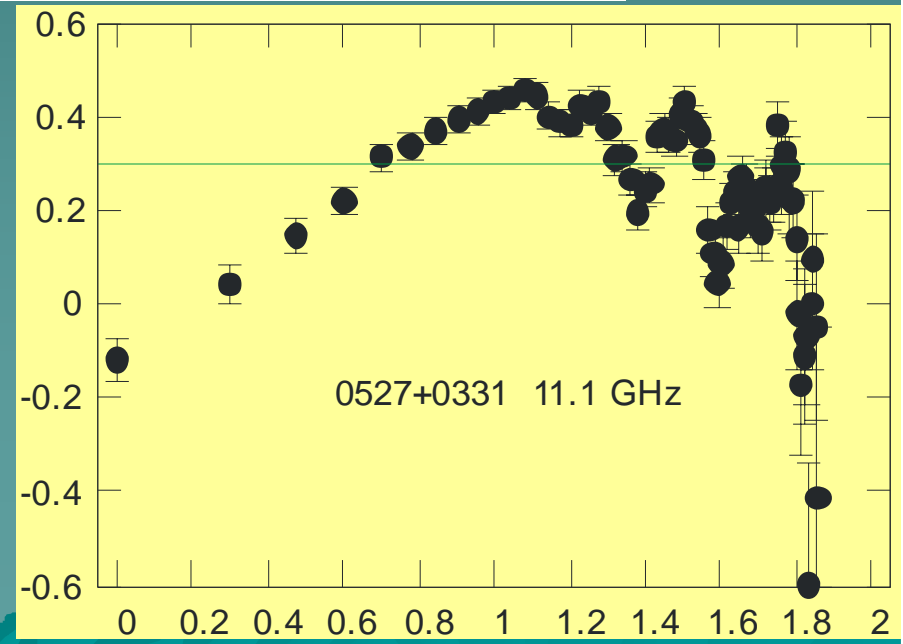
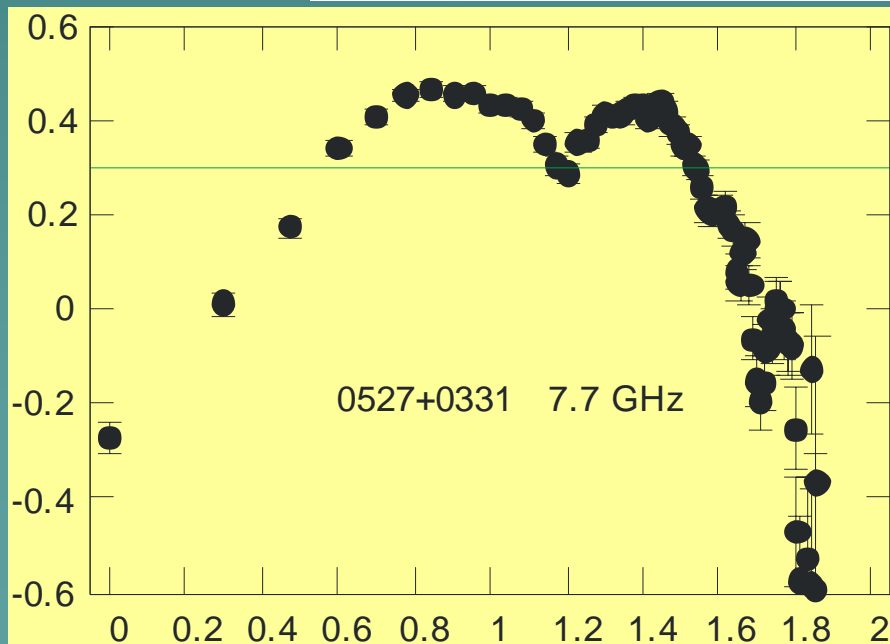
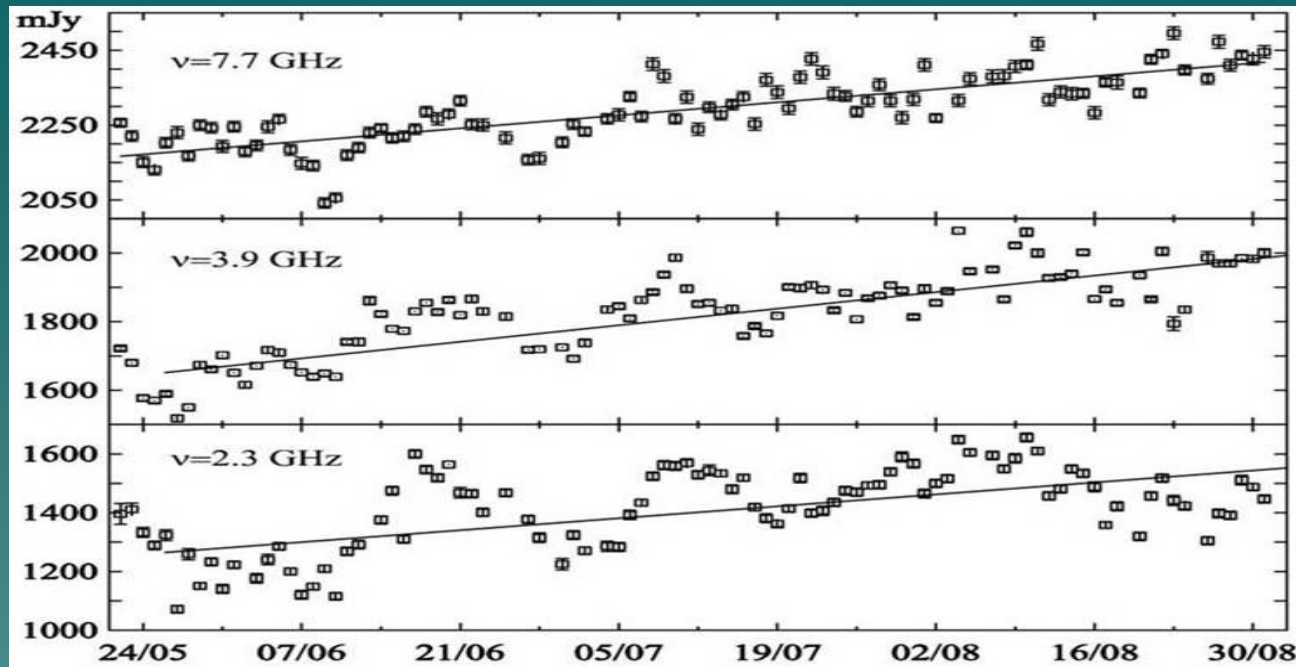
Корреляция
кривых на
соседних волнах
не хуже 95%.



Cyg X-3

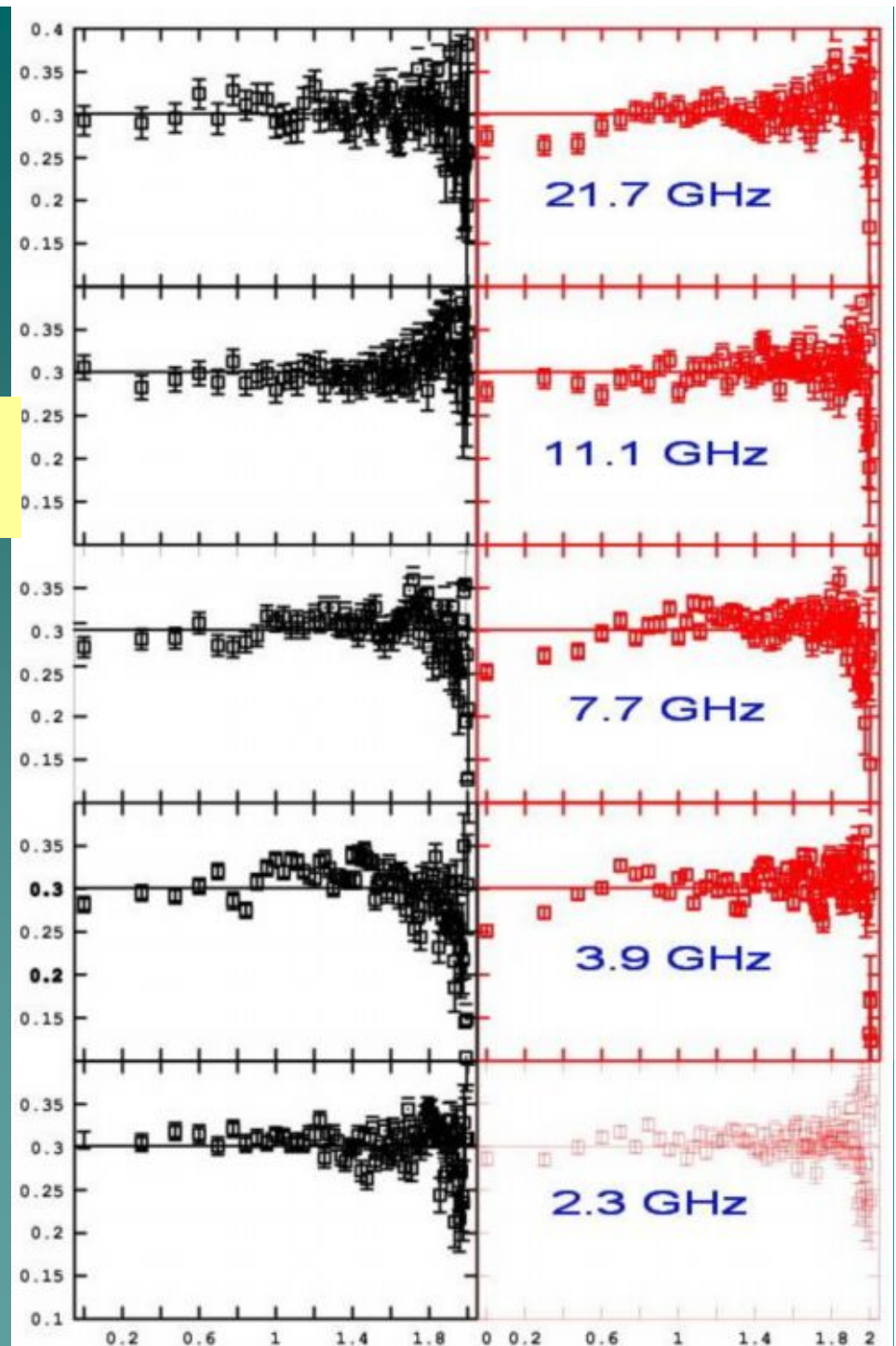


Обнаружение «недельной» переменности



$$D^1 = \langle [f(t) - f(t + \tau)]^2 \rangle$$

τ - временной сдвиг



First records of the most powerful SSRG in the distant Universe

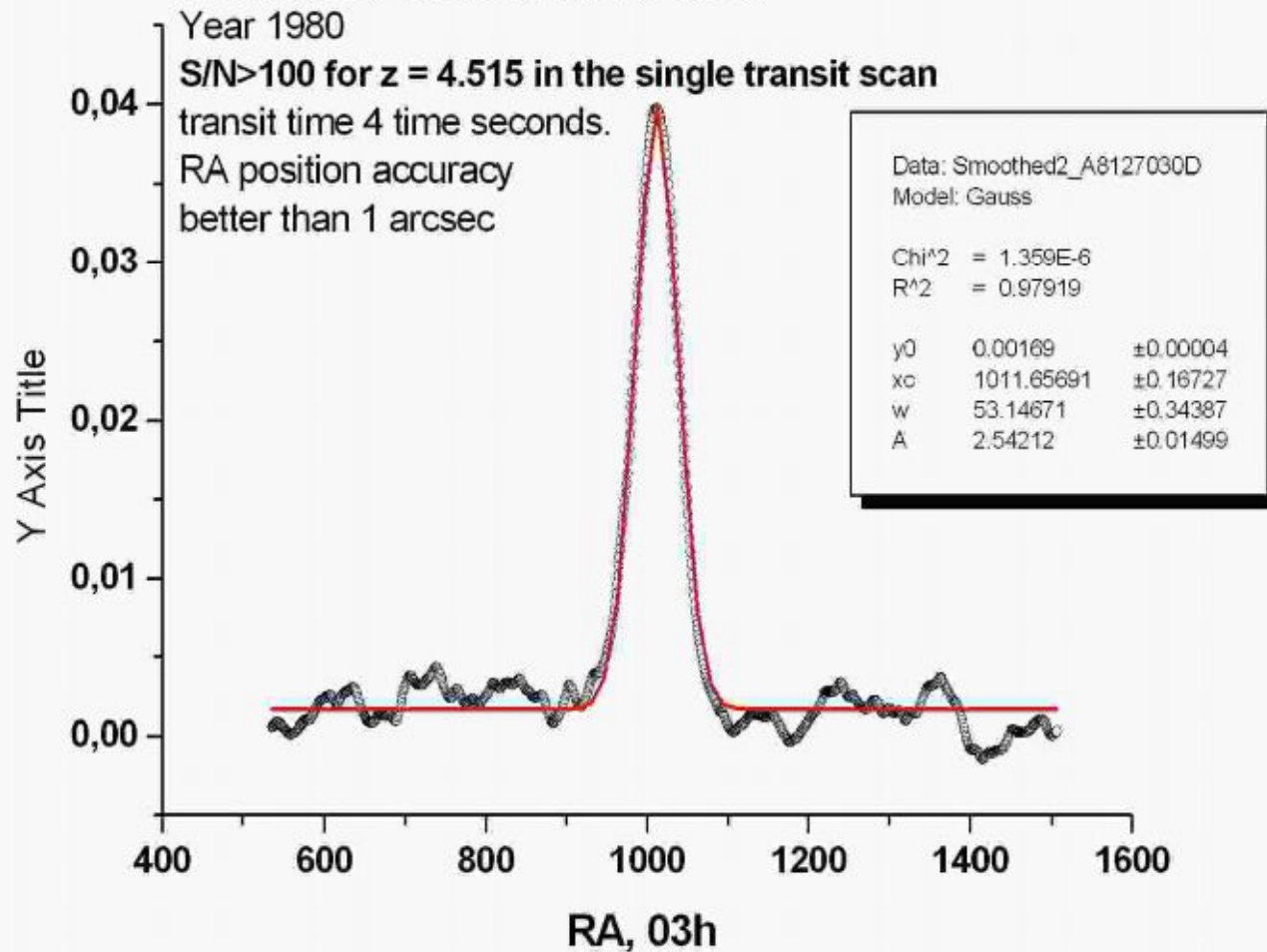
RATAN-600, Crio Radiometer, 7.6cm

Year 1980

S/N > 100 for $z = 4.515$ in the single transit scan

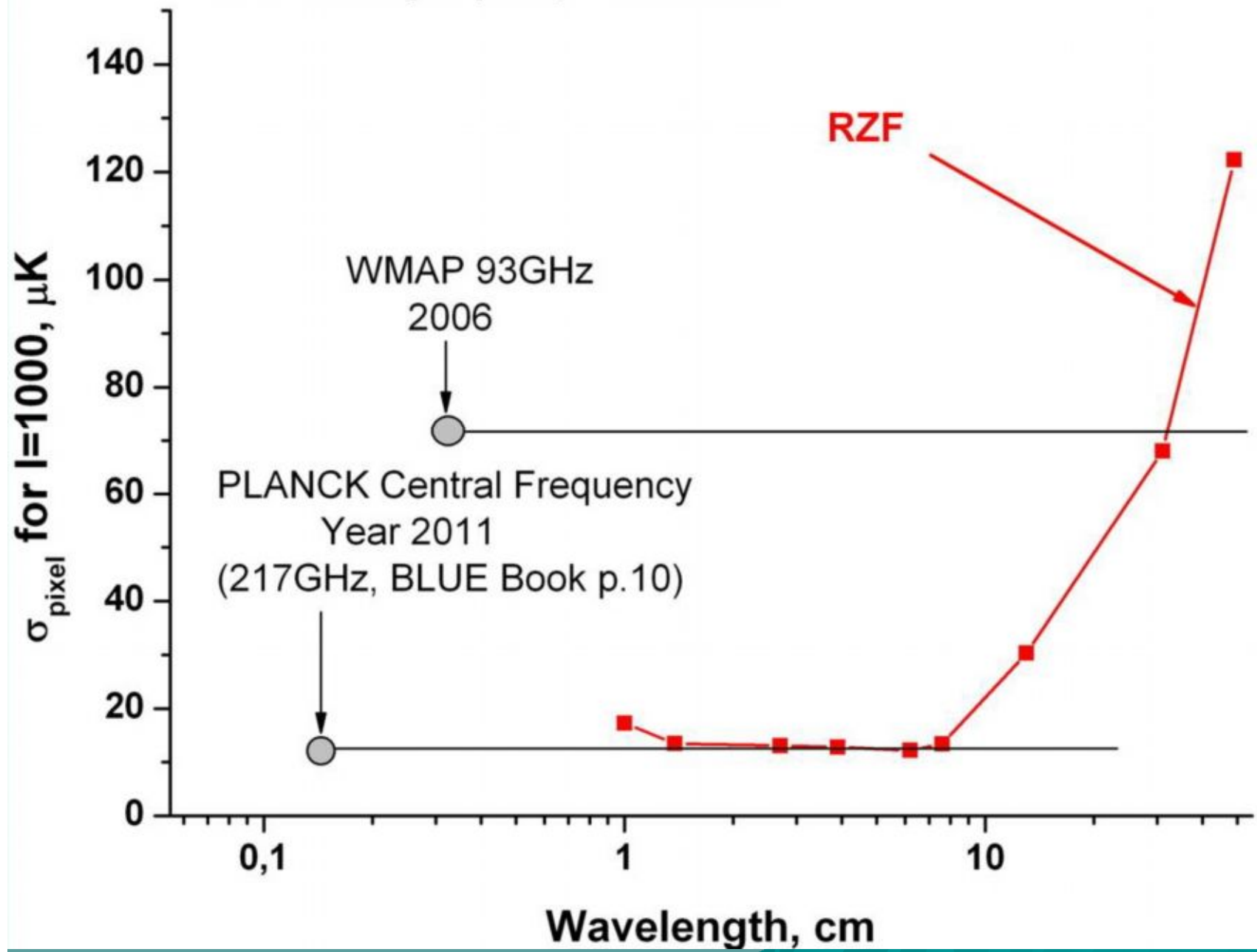
transit time 4 time seconds.

RA position accuracy
better than 1 arcsec



nnB RZF DATA, March 2007
White Noise per pixel, l=1000 case

—■— sl1000form



Для решения этих задач необходимы адекватные технические возможности. С начала регулярных наблюдений (12 июля 1974 г.) прошло более 30-и лет и, естественно, необходимы работы, как по поддержанию проектных параметров, так и по их модернизации и созданию новой аппаратуры:

- приемно-измерительные комплексы (радиометры, системы сбора данных и управления экспериментом);
- борьба с помехами;
- АСУ антенной и вторичными зеркалами;
- архивизация наблюдательных данных и организация к ним доступа.

Антенна

Сегодня в работе:

- Север;
- ЮГ;
- Плоский отражатель;
- Запад (завершается наладка).

Доступно в наблюдениях:

$$00^h < RA < 24^h$$
$$-43^\circ < Decl < 90^\circ$$

Режимы наблюдений

- Пассажный инструмент
- Сопровождение 1-2 минуты времени
- Много-азимутальный на ЮГ+Плоский, до 60 проходов («скважность» $\sim 4^m$, возможно до 2^m),

Пока реализован ТОЛЬКО на

Облучателе № 3 в наблюдениях Солнца

АСУ

РАТАН-600 изначально строился для работы в так называемом полуавтоматическом режиме.

Сегодня:

- Управление антенной в автоматическом режиме;
- Задание на наблюдения готовится обычно на неделю (дата, время, высота источника над горизонтом).

АСУ: основные направления сегодня

1. Переоснащение АСУ антенной **главного отражателя** за счет внедрения нового электронного оборудования и программного обеспечения.
2. Созданию принципиально новых систем автоматического управления наведением **вторичных отражателей (облучателей)** с использованием современной приводной техники.

АСУ: основные направления сегодня

3. Создается оптоволоконная локальная вычислительная сеть для АСУ антенной и для систем сбора и управления облучателями радиотелескопа: повышение надежности сетей и устойчивость к грозам и пр. помехам.
4. Создание и развитие единого комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений. Комплекс направлен как на решение множества инженерных задач, так и на совершенствование методов и технологий решения фундаментальных и прикладных научных задач в области наблюдательной радиоастрономии.

Режимы наблюдений

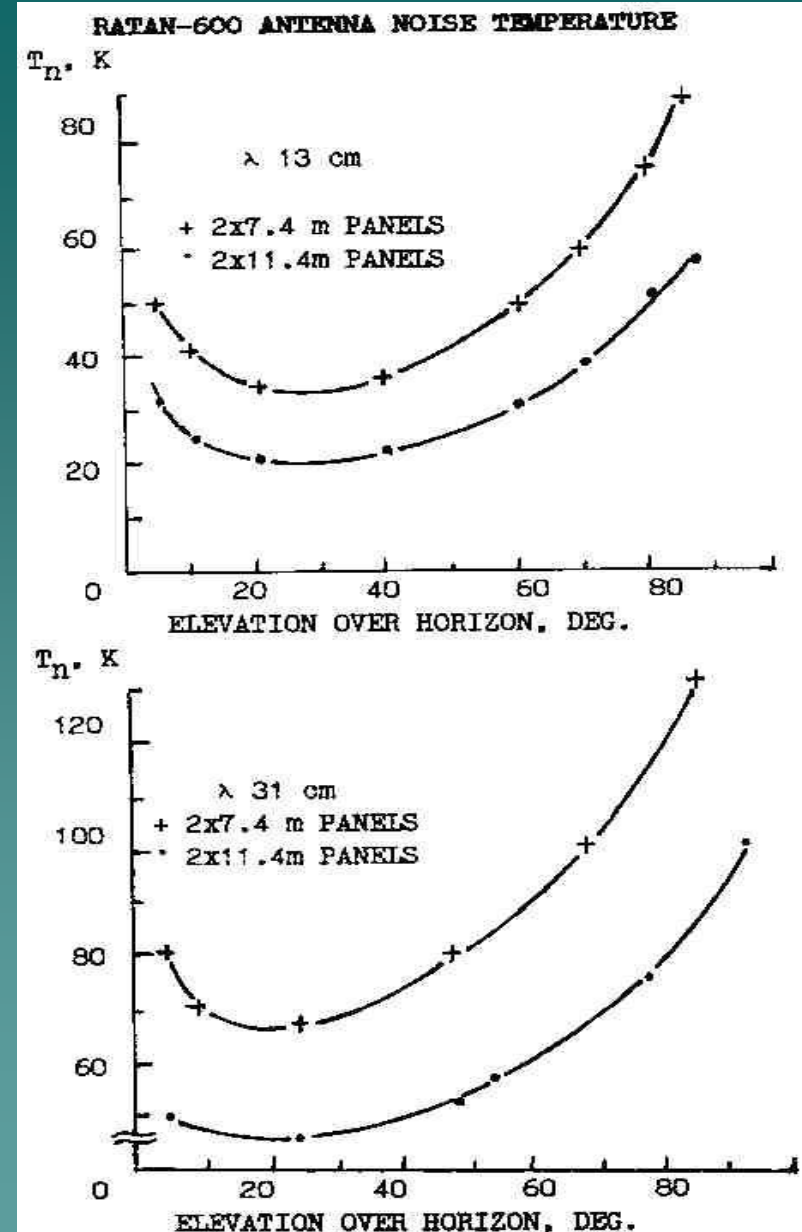
- Пассажный инструмент
- Сопровождение 1-2 минуты времени
- Много-азимутальный на ЮГ+Плоский, до 60 проходов («скважность» $\sim 4^m$, возможно до 2^m),

Пока реализован ТОЛЬКО на

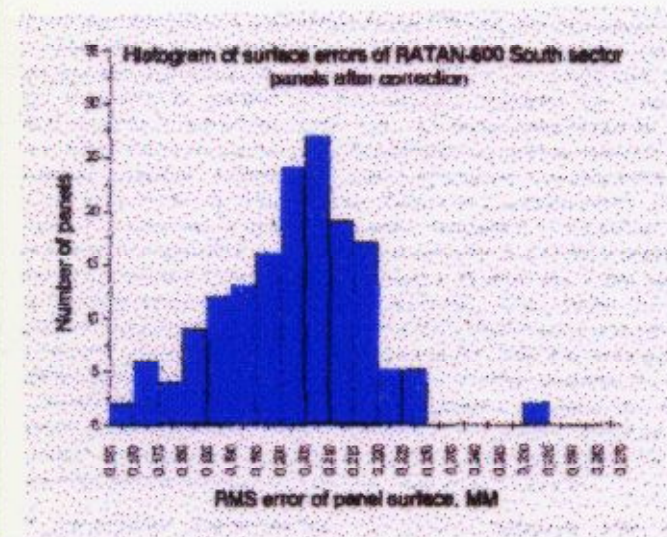
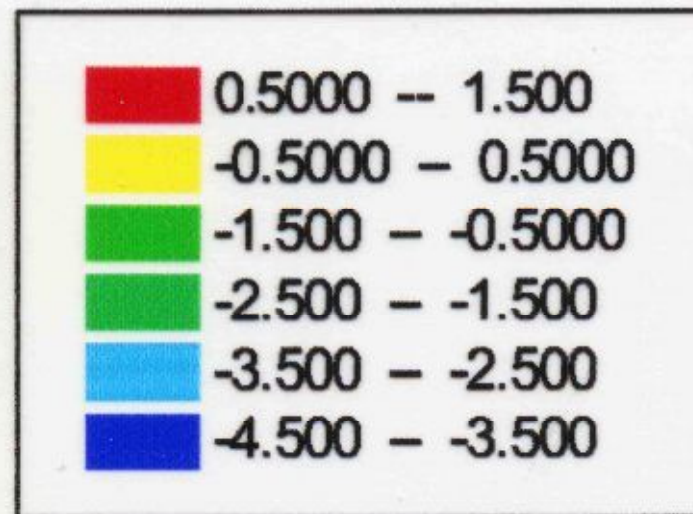
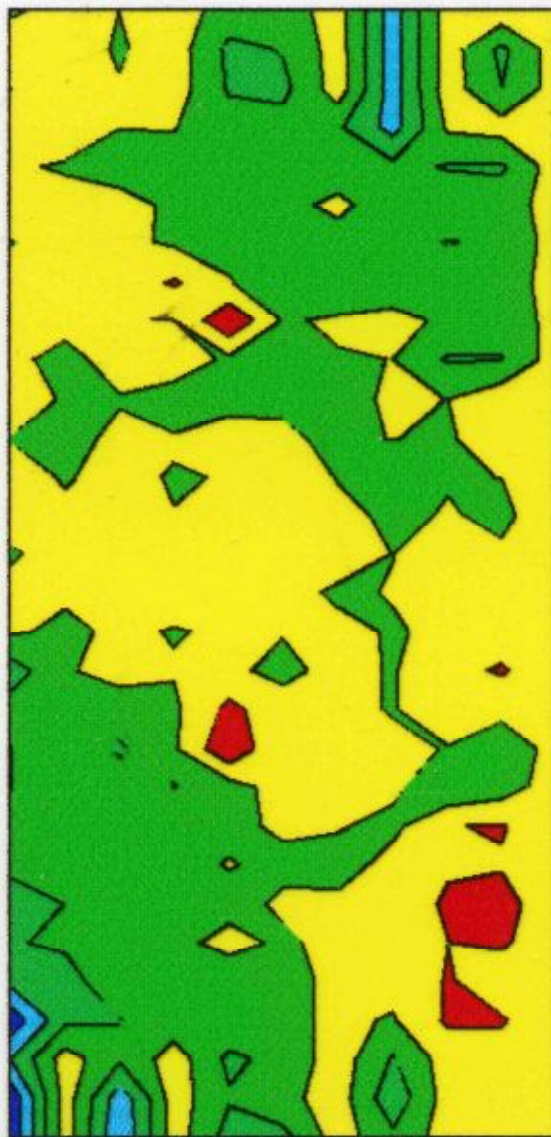
Облучателе № 3 в наблюдениях Солнца

Расширение диапазона

1. Увеличены вертикальные размеры элементов кругового отражателя – сверху и снизу добавлено по 2 м:
 - $2 \times 7.4 \text{ м}^2 \Rightarrow 2 \times 11.4 \text{ м}^2$, что существенно уменьшило общие шумы системы на длинных волнах;
 - Увеличилась $S_{\text{эфф}}$ в дм-диапазоне;
 - $\lambda \Rightarrow 49 \text{ см}$.
2. Во все времена равнодушно смотрели на мм-диапазон. Усилиями Соболевой Н.С. и др. в 1979 г. была продемонстрирована возможность работы на 3 мм.



Восстановление точности поверхности отражающей поверхности отдельных элементов



Поверхности щитов плоского отражателя до и после переобшивки.

Вторичные зеркала (Облучатели)

Сегодня в рабочем состоянии:

- 1-ый (высокочувствительный континуум);
- 2-ой (спектральный комплекс, 6.2 и 18-21 см);
- 3-ий (Солнце, 6-18 ГГц);
- 5-ый (МАРС-3, 30 ГГц, 16 радиометров);
- 6-ой (высокочувствительный радиометр, $\lambda = 8$ см).

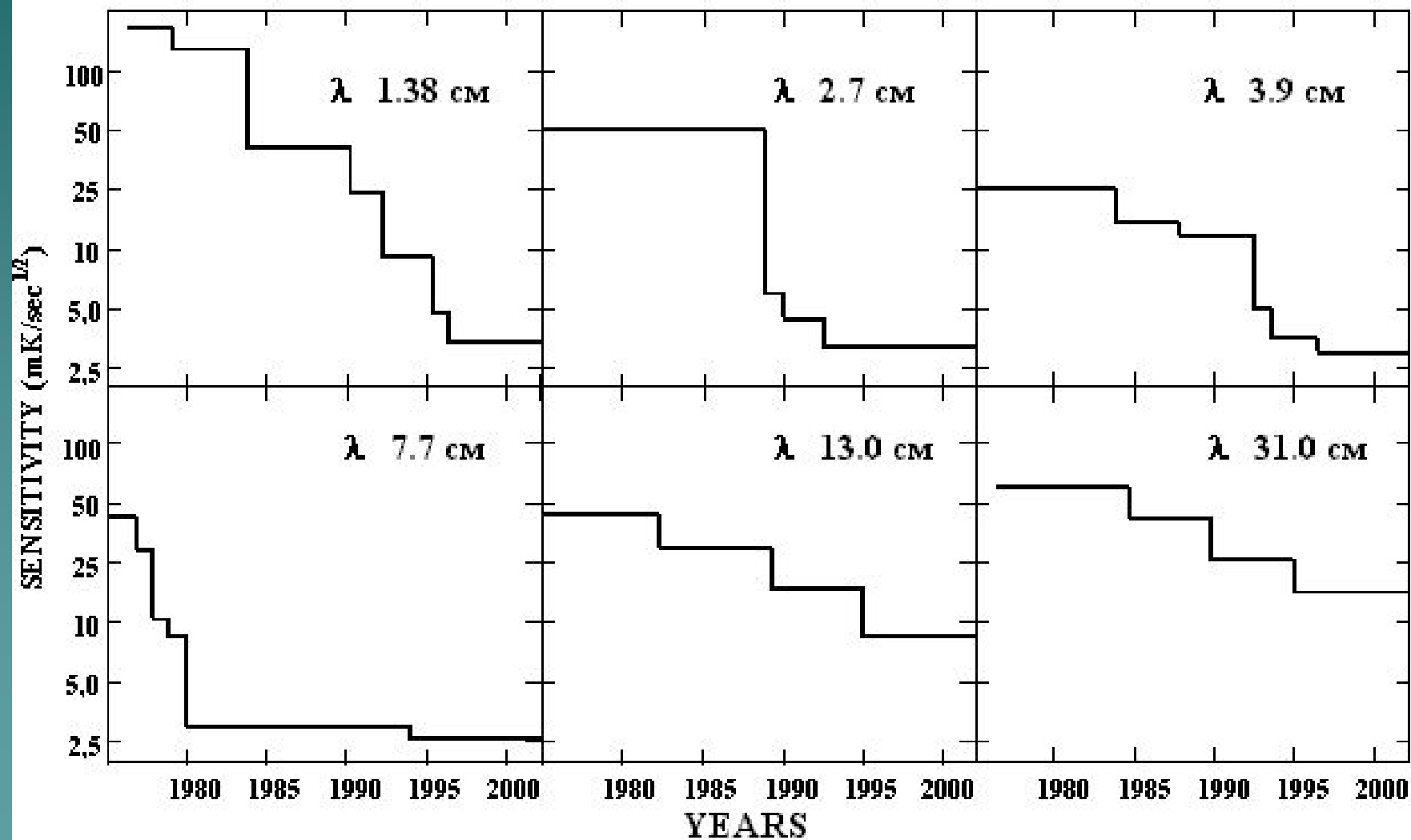
Точность поверхности зеркал:

- 1-ый: $\sigma = 0.15$ мм;
- 2-ой: $\sigma = 0.1-0.2$ мм;
- 3-ий: $\sigma = 0.23$ мм;
- 5-ый: $\sigma = 0.54$ мм.

Радиометры: проводится непрерывная модернизация и создание новых радиометров.

Эволюция чувствительности радиометров континуума:

Динамика роста чувствительности радиометров континуума РАТАН-600



Приемный комплект радиометров континуума (Облучатель 1)

Волна см	Центр. частота ГГц	Полос а ГГц	Чувств мК/с ^{1/2}	Тсист К	Схема	Примечание
1.0	30.0	4.0	6	220	МОД	«МАРС-2», 3 канала
1.4	21.7	2.5	4.5	80	МОД	КРИО (15К)
2.7	11.2	1.4	3	70	МОД	КРИО (15К)
3.9	7.7	1.0	3	62	МОД	КРИО (15К)
6.3	4.8	0.9	2.2	39	РДШ	КРИО (15К), 2канала
13	2.4	0.4	12	95	РДШ	Сист. помехозащиты
31	0.96	0.12	15*	105	РДШ	Помехи от GSM
49	0.6	0.13	25**	125	РДШ	Помехи от ТВ

МАРС-3 (ввод в штатную эксплуатацию в 2008):

1) 16-канальная система (32 входа);

2) $\nu = 30$ ГГц , $\Delta\nu = 5$ ГГц;

3) $T_{\text{сис}} = 220\text{К}$, $\Delta T = 6$ мК/с^{1/2} на один канал.

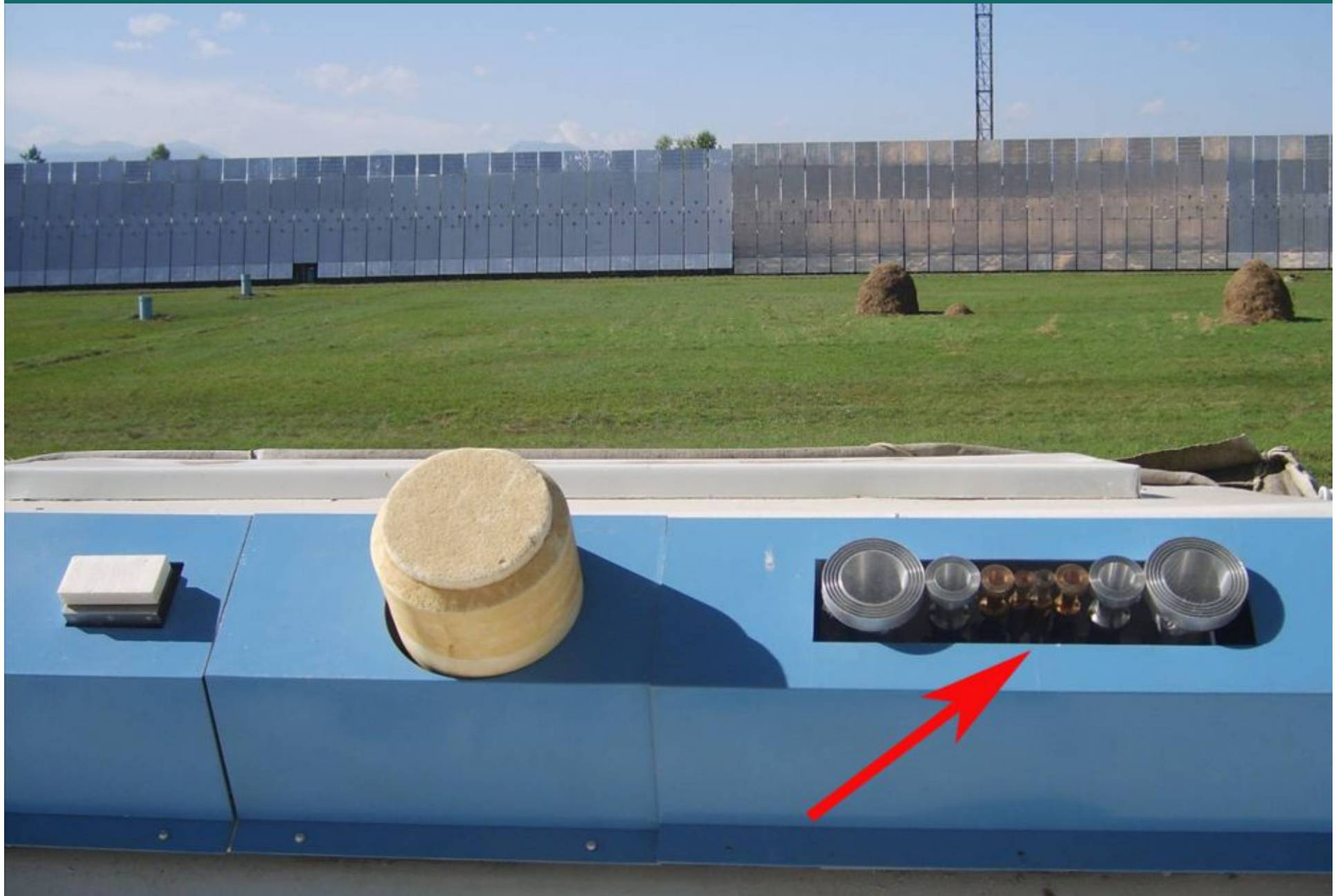


Проект «Октава»

На основе сверхширокополосного облучателя типа "ELEVEN" и сопряженного с ним сверхширокополосного малошумящего входного усилительного блока предлагается объединить по входу три радиометра дециметрового диапазона.



Континуум: развитие



Автоматизированный радиоспектрометрический комплекс (Облучатель 2)

λ см	Тип усилителя	T_{sys}	$\theta_{0.5}$	Линии
1.35	HEMT (азот)	180	0.15'	Разрушен ☹
6.2	HEMT (неохлажд)	60	0.75'	Космология H_2CO , рекомб.
18-21	HEMT (неохлажд)	70	2.3'	Галактика HI, OH

В 2007 г. внедрен новый спектроанализатор, основанный на прямом Фурье-преобразовании сигнала, имеющий 2048 каналов в полосе обзора 60 МГц, что позволяет увеличить полосу обзора более, чем в 30 раз и соответственно сократить требуемое время наблюдения.

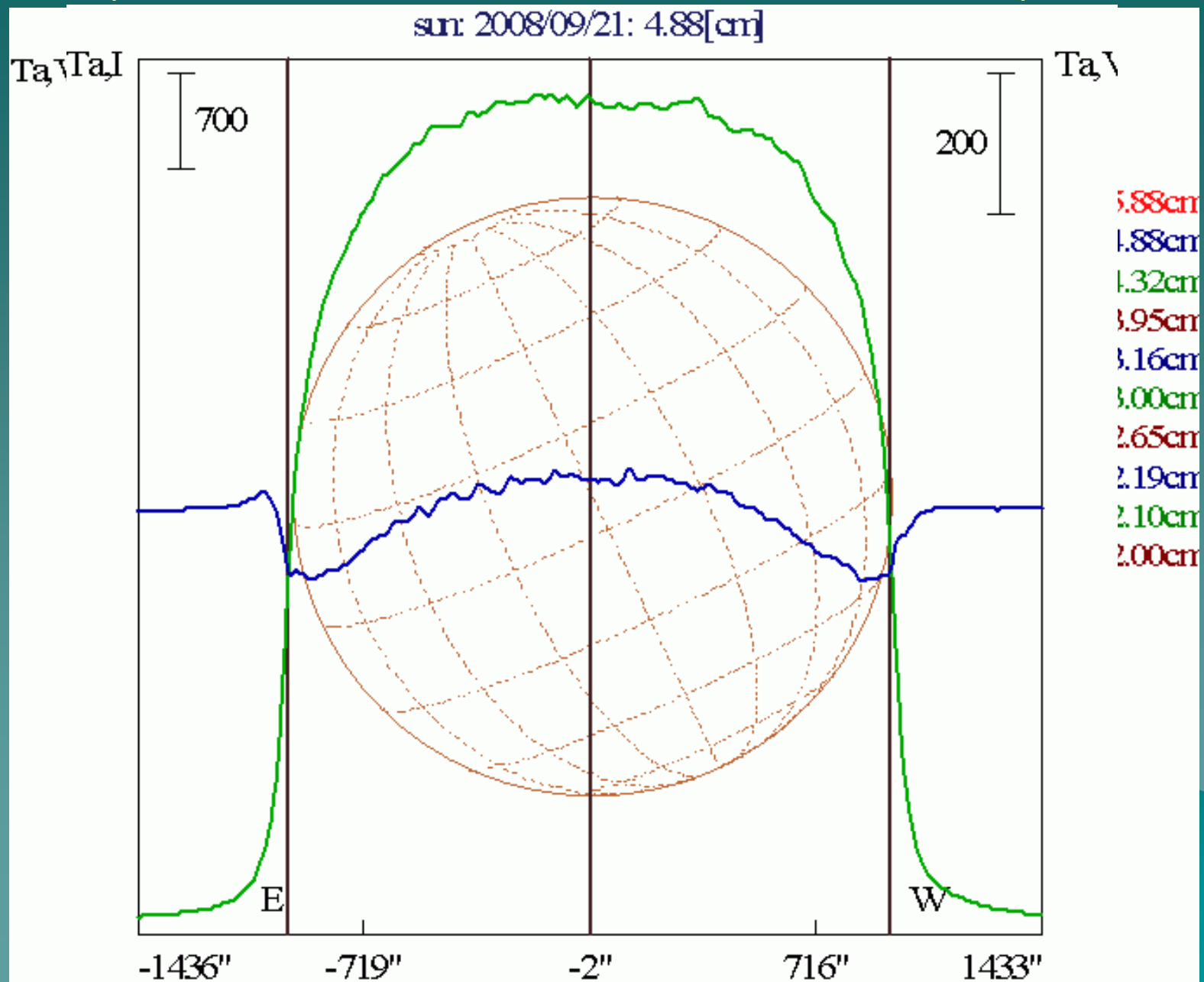
Солнечный комплекс

- 64 канала;
- $\nu = 1.67 \div 16.4$ ГГц; $\Delta\nu = 84 \div 820$ МГц
- Совмещенный облучатель с единым фазовым центром во всем диапазоне
- Одновременный анализ параметров I и V
- Чувствительность $\approx (1-3) \times 10^{-3}$ s.f.u. (на диске Солнца)
- Много-азимутальные наблюдения в течение $\pm 2^h$ вблизи меридиана с интервалом 4^m ; до 60 сканов в день
- Каталог наблюдений и программы обработки представлены на сайте <http://sao.ru/hq/sun>

Интегрированный Банк наблюдательных данных ODA-R

Годы	1978-2007
Число наблюд. дат	8866
Число наблюдений	269739
Объем данных	323 Гб Стремительный рост: в 2000 г. = 5.3; в 2007 = 174.6
Число типов наблюдательных данных	<ol style="list-style-type: none">1) Континуум, Облучатель № 12) Континуум, Облучатель № 63) МАРС-3, Облучатель № 54) Спектральный комплекс, Облучатель № 25) Солнечный комплекс, Облучатель № 3

Представление данных в Интернет



Таким образом, РАТАН-600 остается одним из немногих инструментов России, работающих в режиме коллективного пользования и обладает параметрами, которые необходимы при решении наиболее актуальных проблем современной наблюдательной астрофизики.



Спасибо за внимание!