



РАТАН-600: современный
статус и перспективы

Мингалиев М., САО РАН

Радиотелескоп РАТАН-600 относится к рефлекторным антеннам и его появление на свет было обусловлено требованиями астрофизических задач того времени - достижение высокого углового разрешения, большой собирающей поверхности, многочастотность.

Принципиальные ограничения в линейных размерах наземных телескопов привели к появлению новых конструкторских решений в телескопостроении.

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.

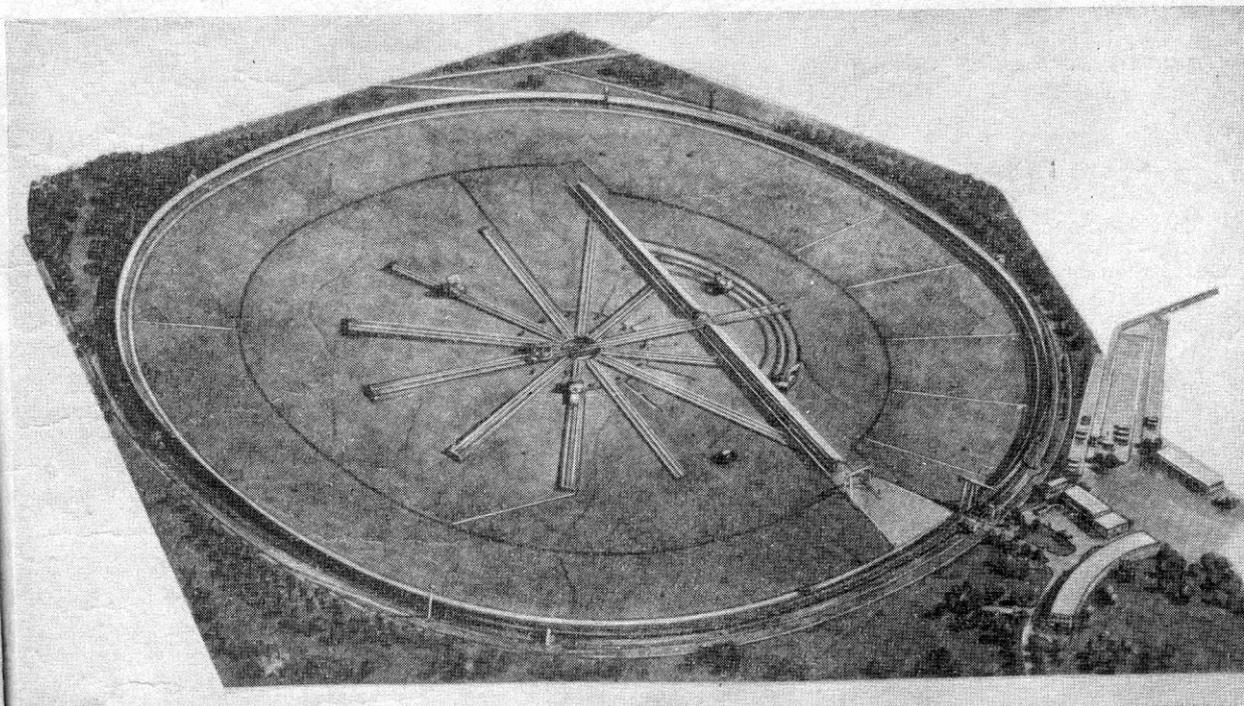


Рис. 1. Общий вид радиотелескопа.

1. Основные радиоастрономические проблемы:
 - а) детальное исследование объектов ближнего космоса, прежде всего с целью изучения физических условий на поверхностях планет Солнечной системы, их спутниках, астероидах;

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.

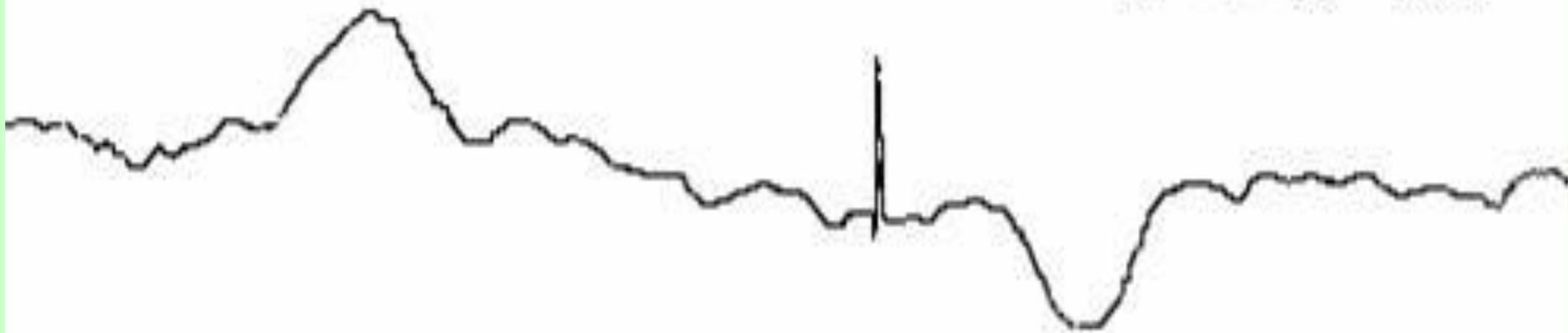
40 лет первому наблюдению

$\lambda = 4 \text{ см}$

PK S 05 21-36

12 VII 74

$T_s = 0.42 \text{ K}$ - Набл



Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

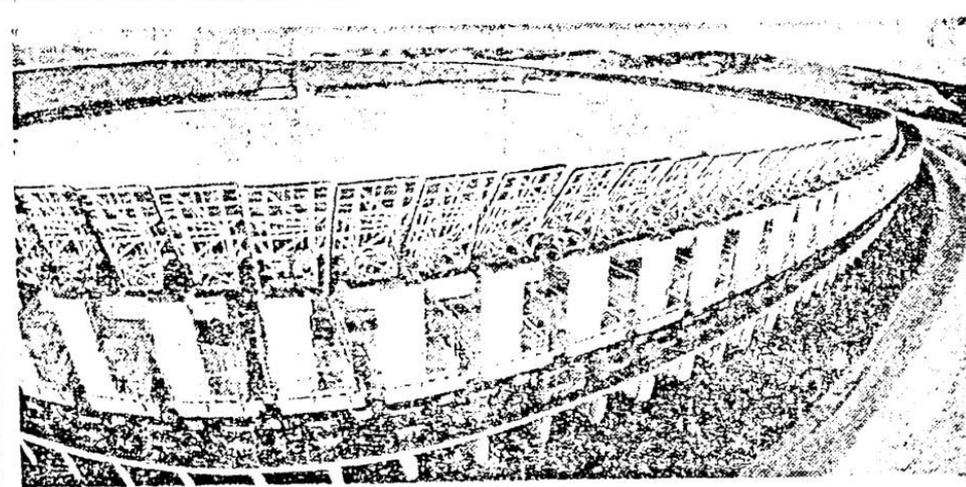
Коммунистическая партия Советского Союза

ПРАВДА

и Центрального Комитета КПСС

Воскресенье, 20 марта 1977 года

Цена 3 коп.



РАТАН-600 действует!

Строителям, рабочим, монтажникам, инженерно-техническим работникам, служащим, ученым, коллективам организаций и предприятий, всем участникам создания, строительства и ввода в действие радиотелескопа РАТАН-600

Дорогие товарищи!

Сердечно поздравляю вас с новым успехом в развитии советской астрономической науки и техники — с вводом в действие крупнейшего в мире радиотелескопа РАТАН-600 в станице Зеленчукской Ставропольского края.

Создание этого уникального астрономического прибора стало возможным благодаря самоотверженному труду и творческому содружеству ученых, строителей, монтажников, инженерно-технических работников и служащих Академии наук СССР, Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, предприятий Министерства энергетики и электрификации СССР, Министерства энергетического машиностроения и других организаций.

РАТАН-600 по своим важнейшим параметрам превосходит все известные радиотелескопы. В его оригинальной конструкции воплощены лучшие достижения отечественной науки и техники. Советские ученые получили совершенный астрономический инструмент, который значительно расширяет возможности в проведении фундаментальных исследований Солнечной системы, нашей Галактики и других объектов Вселенной.

Желаю вам, дорогие товарищи, в преддверии 60-летия Великой Октябрьской социалистической революции дальнейших успехов в развитии советской науки.

Л. БРЕЖНЕВ

Крупнейший в мире радиотелескоп РАТАН-600 в станице Зеленчукской Ставропольского края — совершенный астрономический инструмент, позволяющий ученым расширить возможности исследования Вселенной.

Фото В. Яковлева.

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 востребованными.

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 (ГАИШ, МГУ; Большое Трио: РАТАН-VLA-БТА).

2. Активные ядра галактик: многоцелевые мониторинги по исследованию переменности на разных временных масштабах от дней до лет.

3. Галактика (ОСН, рентгеновские источники, микрокварзы)

- Исследования Солнца
- Галактика в линиях
- Спектрально-пространственные флуктуации CMBR

Основные элементы успешной работы инструмента

- Антенна
- Приемно-измерительные комплексы
- Методы

Точностные требования к форме поверхности антенны

Главное зеркало:

- 1) Точность поверхности отдельных элементов;
- 2) Позиционирование отдельных элементов для формирования расчетной отражающей поверхности.

Вторичные зеркала:

- 1) Точность поверхности зеркала;
- 2) Позиционирование в расчетное положение.

В настоящее время юстировка поверхности радиотелескопа проводится геодезическими (с использованием приборов и технологий, позволяющих проводить измерения поверхности главного зеркала с ошибкой 0.2 - 0.3 мм) и радиотехническими методами

Точностные требования к форме поверхности антенны

Для РАТАН-600 при $\lambda_{min} = 8$ мм допустимая СКО отражающей поверхности не должна превышать:

$$\pm 0.04 \times \lambda = \pm 0.32 \text{ мм}$$

Эта величина состоит из нескольких слагающихся ошибок:

состояния отражающей поверхности отдельных элементов;

положения щитов по радиусу;

положения щитов по азимуту;

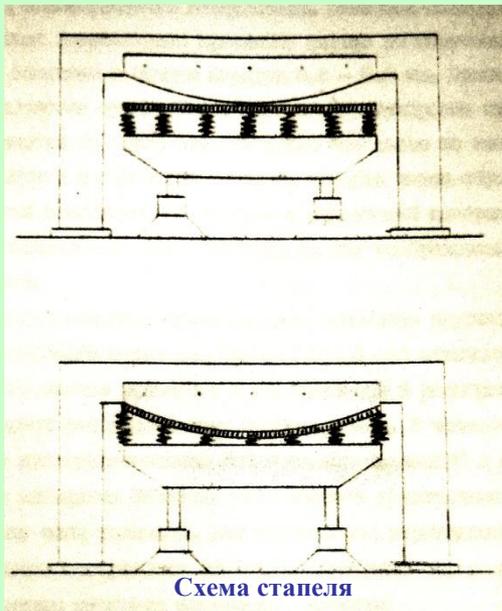
положения щитов по углу места;

установки угломестных осей щитов в проектный горизонт.

Геодетические методы контроля поверхности антенны

Существующие методы позволяют корректировать поверхность щитов главного зеркала с СКО ± 0.2 мм и устанавливать отдельные элементы антенны, при выборочной юстировке с СКО ошибкой ± 0.3 мм.

- метод высокоточного нивелирования на стапеле нивелиром Ni-007
- метод «нивелирования» вертикальными лучами прибором вертикального проектирования PZL без снятия щита с места
- метод «нивелирования» вертикальными лучами трубой измерительной визирной ППС-11
- сканирование поверхности лазерным трекером



Метод «нивелирования» с PZL



Метод «нивелирования» с ППС-11



Лазерный трекер Leica AT401

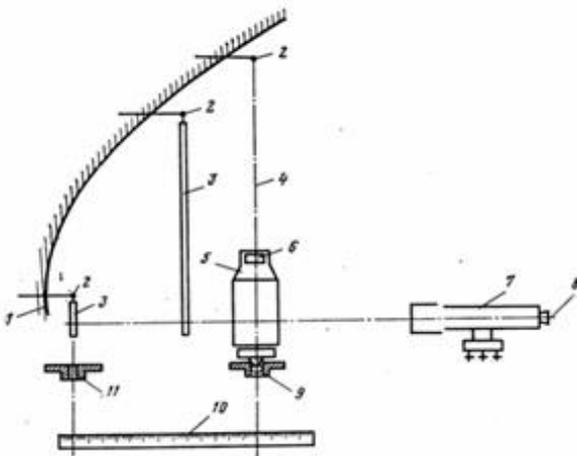
Методы геометрического контроля поверхности вторичных зеркал

- струнно-оптический метод с использованием PZL и нивелира
- угловой засечкой с использованием тахеометра
- струнно-оптический метод с использованием тахеометра
- «сканирование» поверхности лазерным трекером

Лазерным трекером Leica AT401

Схема определения координат опорных точек вторичного зеркала PZL и нивелиром

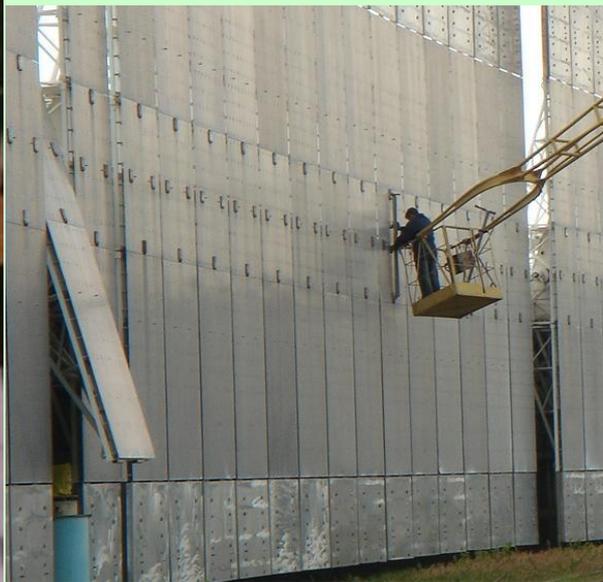
Тахеометром



Формирование поверхности главного зеркала

Формирование поверхности главного зеркала - перемещение щитов в расчетное положение. Выставление 124 щитов Плоского отражателя (вертикальное положение $\pm 10''$) на расстоянии от центра 104109 мм с СКО ± 0.3 мм.

Формирование поверхности
главного зеркала



Формирование поверхности
Плоского отражателя

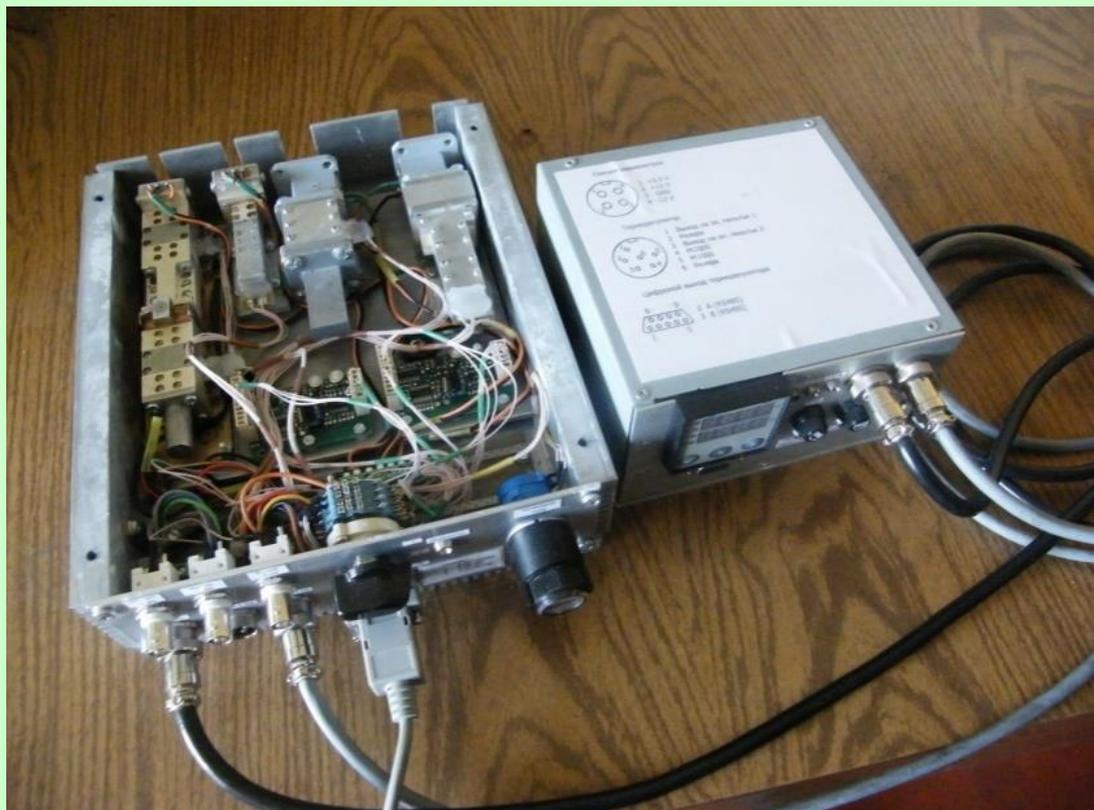


Формирование поверхности главного зеркала:

Для окончательного формирования поверхности главного зеркала используется двухчастотный приемо-передающий комплекс для радиотехнической юстировки.

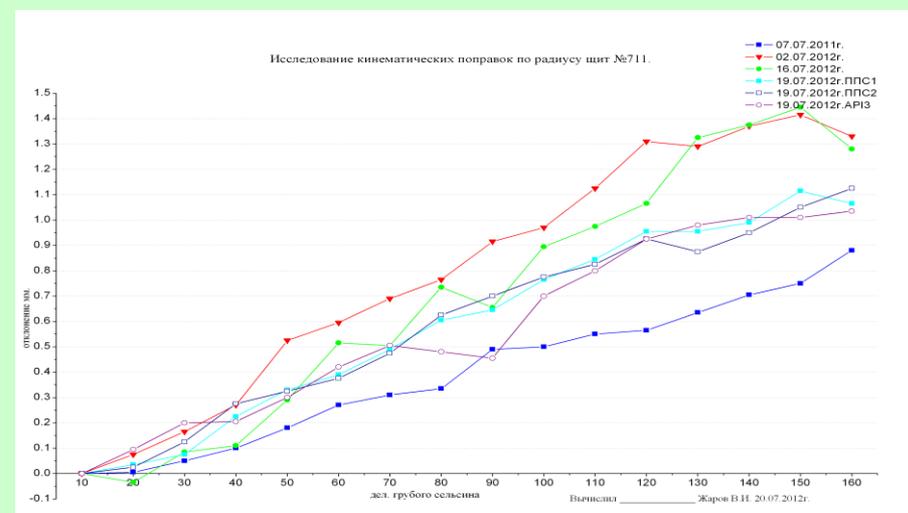
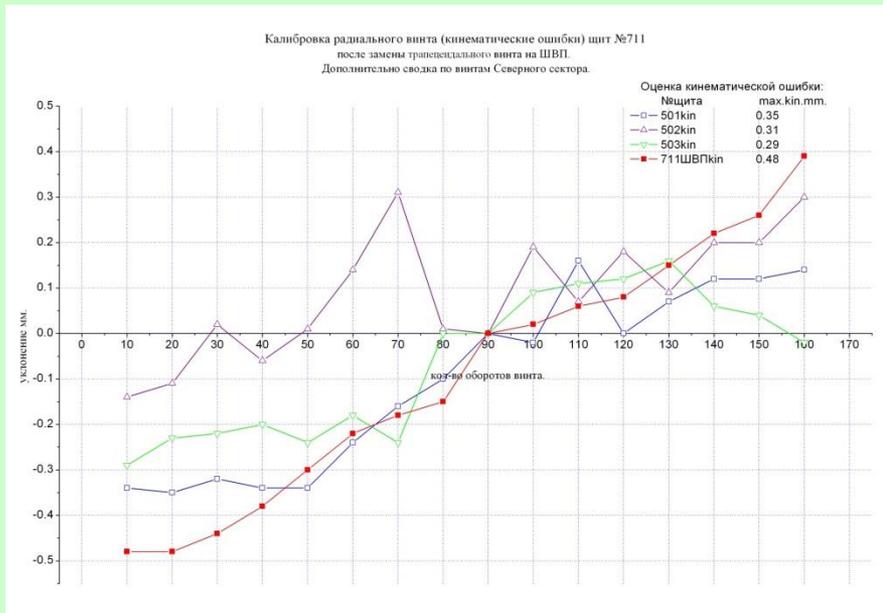
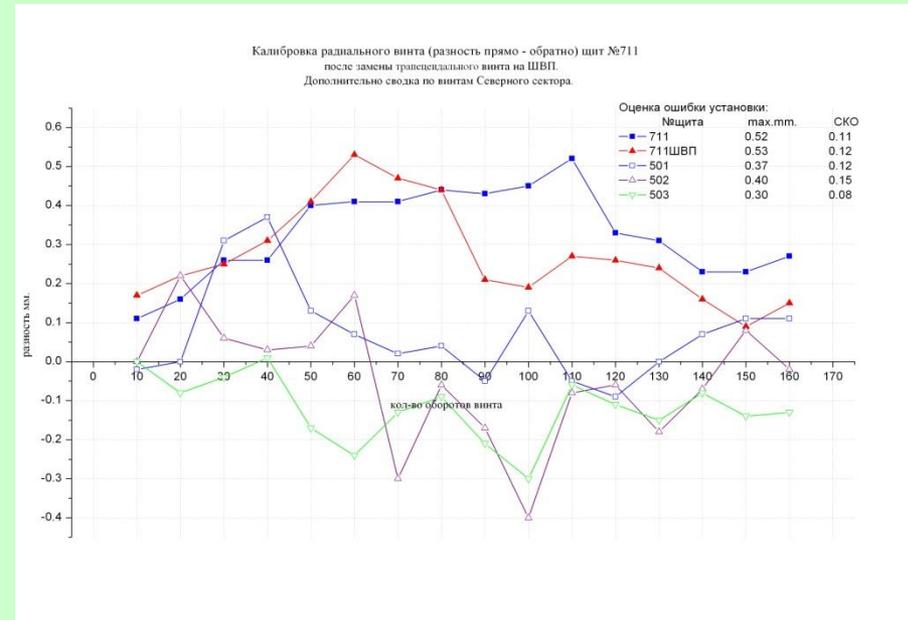
Преимущества:

- Существенное сокращение времени;
- За счет уменьшения длины волны появилась возможность существенно улучшить качество;
- Объективный контроль фокусировки системы;
- Получение реальной картины отклика системы.



Измерение динамических характеристик отдельных элементов антенны

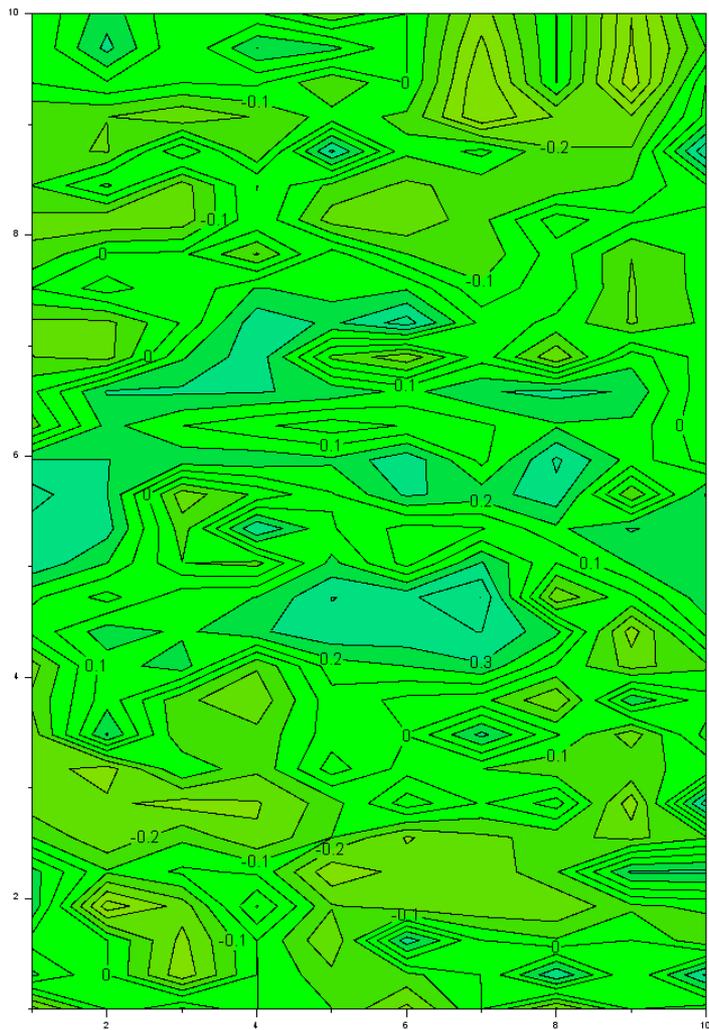
Пример исследования кинематических поправок



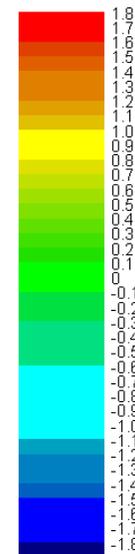
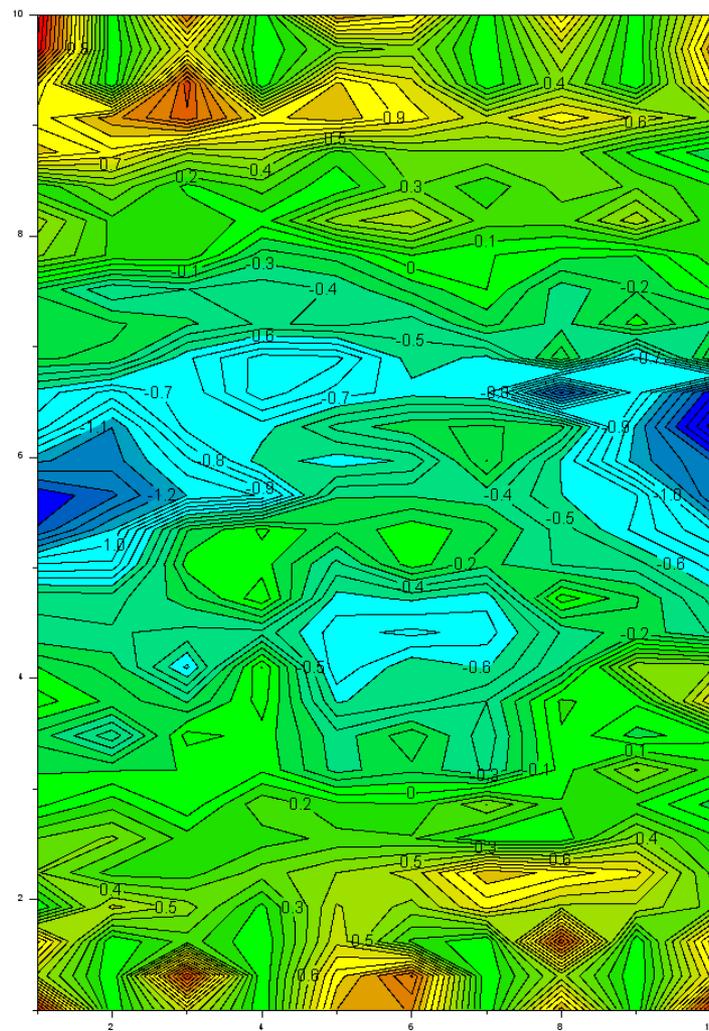
Результаты и обработка геодезических измерений

Оценка состояния отражающей поверхности элементов Южного сектора.

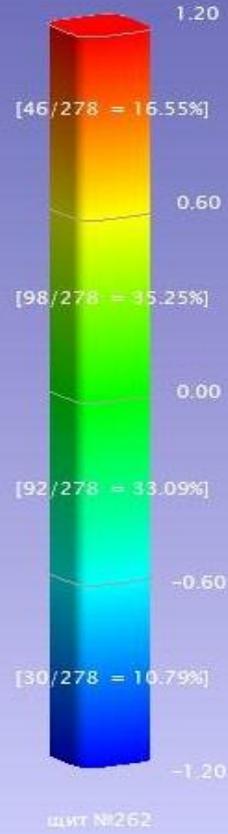
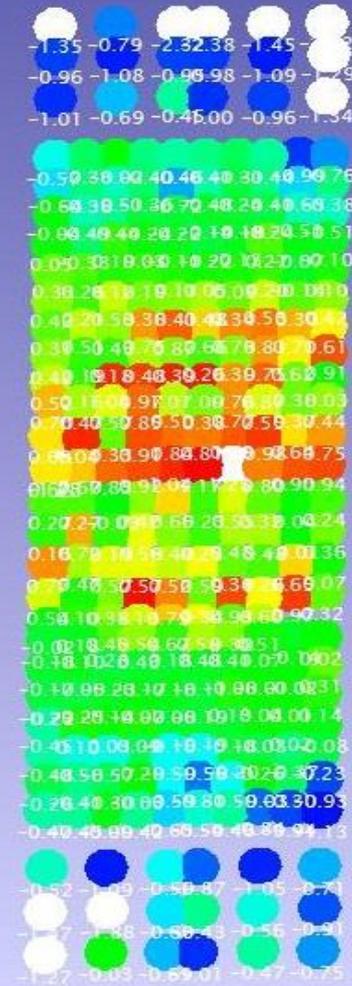
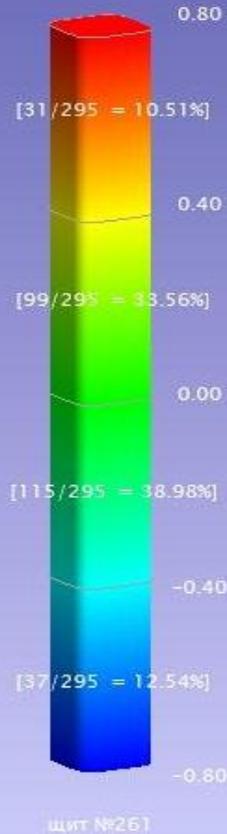
июль 1998 г. СКО = 0.24



апрель 2009 г. СКО = 0.67

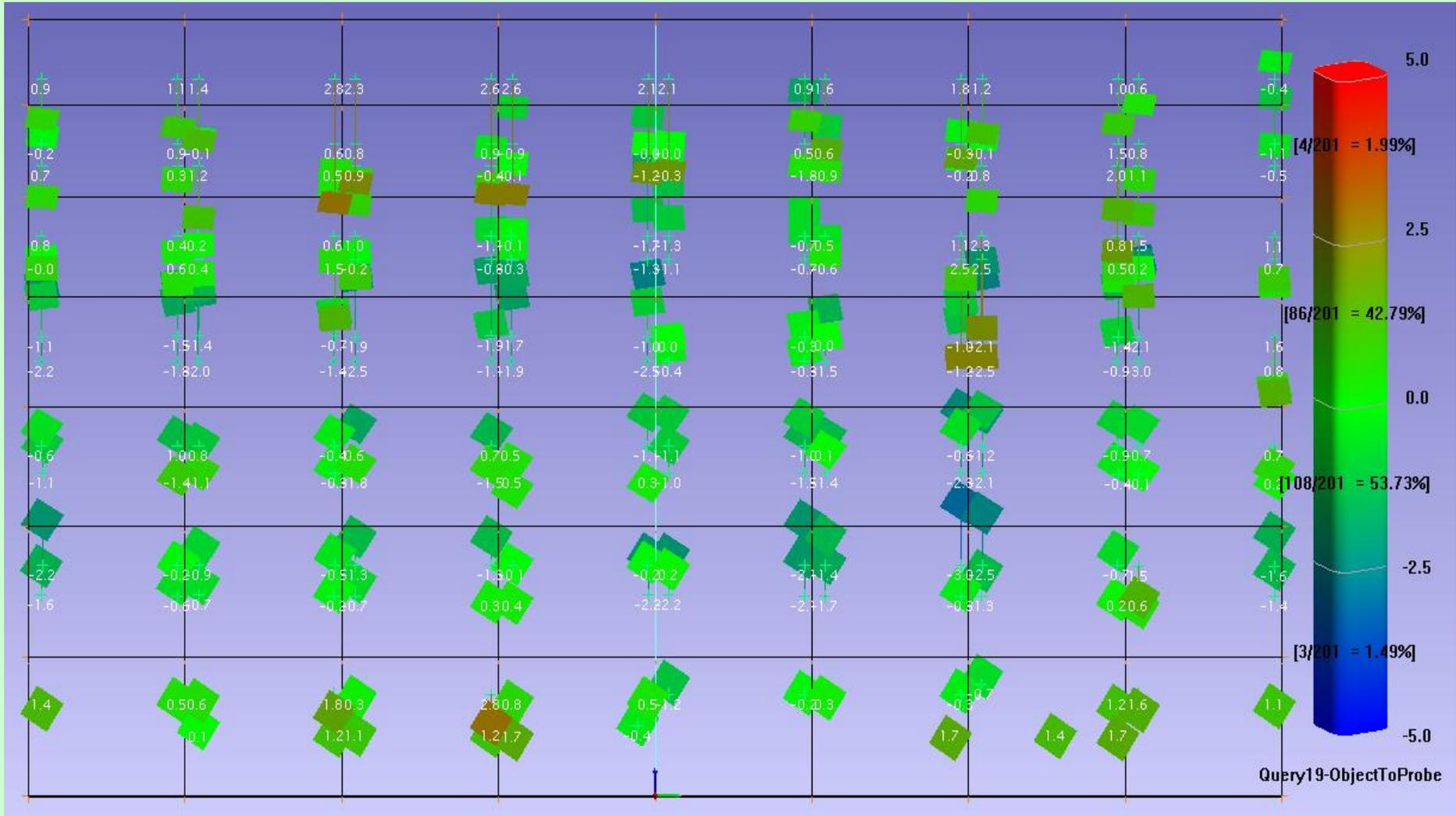


Оценка состояния отражающей поверхности элементов Южного сектора



Карта отражающей поверхности щит № 261 СКО = ± 0.23 мм,
 щит № 262 СКО = ± 0.39 мм.

Пример обработки поверхности вторичного зеркала. Сравнение с САД моделью.



Лазерный трекер Leica AT401

- Повышение точности линейных измерений и проводить
- Юстировка и контроль положения элемента одним прибором
- Возможность в реальном времени проводить корректировку
- Получаемые с прибора данные позволяют определять пространственное положение щитов, в частности представительных площадок, по которым ведется юстировка с учетом положения поверхности.



В планах:

тахеометр Leica TDRA 6000;

лазерный сканер Surphaser 25 HSX;

использование ИСЗ (см. отдельный доклад).



В планах:

тахеометр Leica TDRA 6000

лазерный сканер Surphaser 25 HSX



Радиометры континуума РАТАН-600

- В связи с многократным использованием ресурса МКС и невозможностью массового приобретения новой криогенной техники на РАТАН-600 охлаждаемые малошумящие усилители в радиометрах заменяются на «теплые».
- По большинству характеристик наиболее подходящими для использования в радиометрах признаны МШУ НТФФ «Микран» (г.Томск).
- В 2014 г. будет завершён перевод всех криогенных радиометров РАТАН-600 на теплые входные МШУ. В диапазонах 6 см, 3.5 см и 2.6 см отличие по шумам от криогенных усилителей составляет от 7 до 16 К, с учетом же гермовводов в криостаты – вдвое меньше. В диапазоне 1.4 см некоторая потеря в чувствительности будет скомпенсирована применением схемы полной мощности и двухканального приема на всех радиометрах.

Радиометры континуума РАТАН-600



Диапазон ГГц	Наименование изделия	Шумовая темп. дБ (К)	Усиление дБ	Вход-выход
4.4-5.0	MALN4450-11	0.25 (17)	35	Волновод-волновод
7.9-8.7	MALN7984-12	0.3 (21)	30	Волновод-коакс. 7/3
10.9-11.7	MALN109117-12	0.4 (28)	36-38	Волновод-коакс. 3.5/1.52
21.0-23.5	MALN210235-11	1.2 (92)	28-30	Волновод-коакс. 3.5/1.52

Основной комплект радиометров континуума установлен на
Облучателе 1;

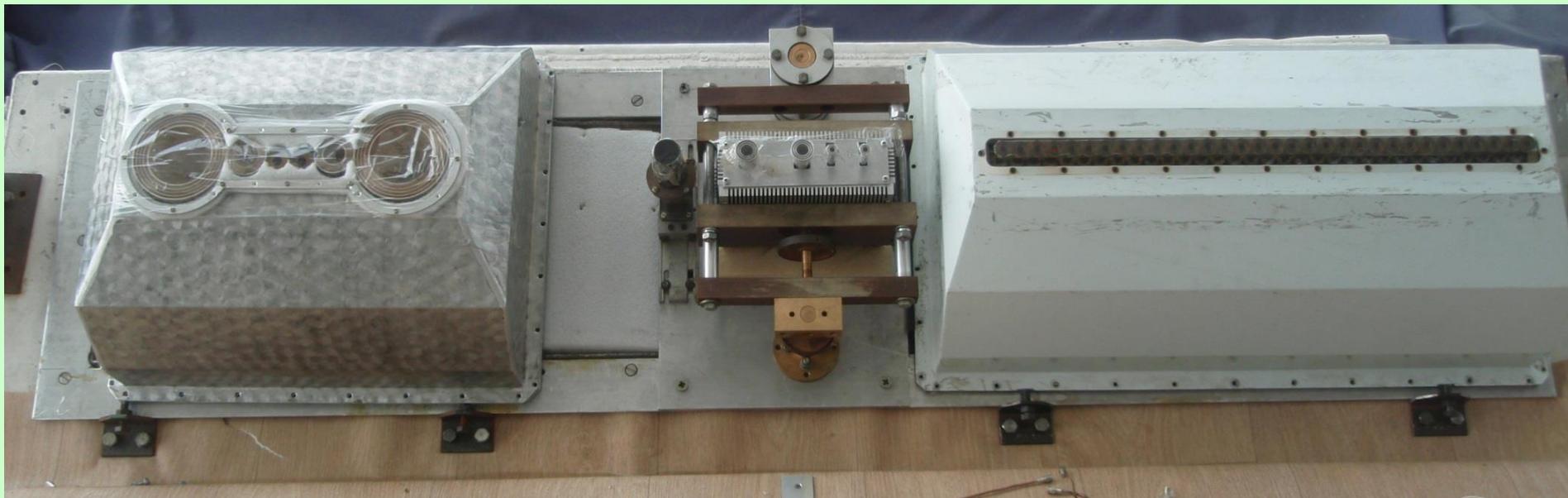
круглосуточно используется в наблюдениях.

Параметры комплекса на осень 2014 г.

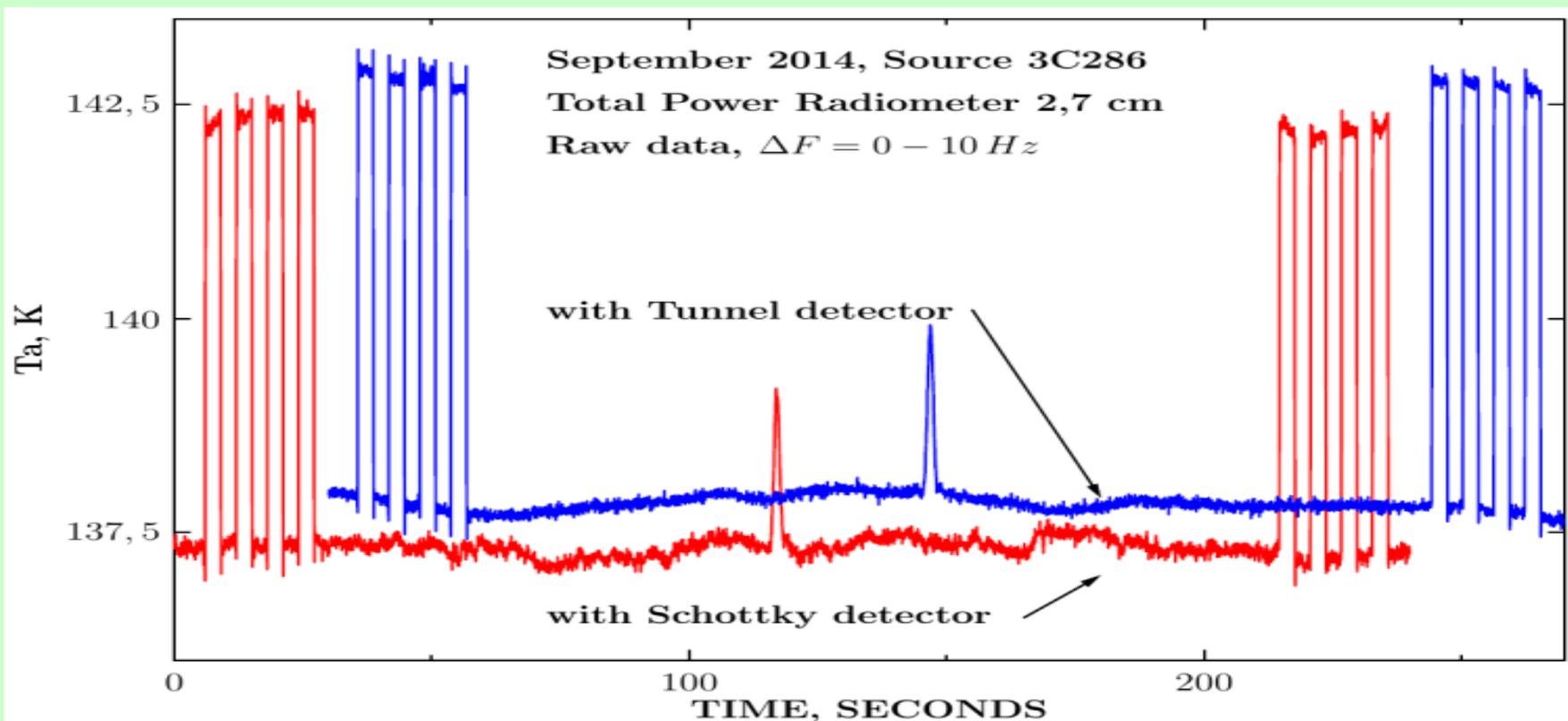
Волна см	Центр. частота ГГц	Полоса ГГц	Чувств мК/с ^{1/2}	T _{sys} К	Схема	Примечание
1.0	30.0	4.0	6	240	МОД	«МАРС-2», 3 канала
1.4	21.7	2.5	6	190	МОД	МШУ «Микран»
2.7	11.2	0.8	5	100	МОД	МШУ «Микран»
3.6	8.3	0.8	4.5	90	МОД	МШУ «Микран»
6.3	4.8	0.8	3.5	70	ТРW	МШУ «Микран» 2канала
13	2.4	0.4	12	95	РДШ	Помехи
31	0.96	0.12	15*	105	РДШ	Помехи от GSM
49	0.6	0.13	25**	125	РДШ	Помехи от ТВ

Второй комплект радиометров континуума установлен на Облучателе 2

Волна см	Центр. частота ГГц	Полоса ГГц	Чувств мК/с ^{1/2}	Тсист К	Схема	Примечание
1.0	30.0	5.0	6	240	МОД	«МАРС-3», 16 каналов
1.4	21.7	2.5	6	185	МОД	Эридан
2.7	11.2	1.4	5	100	МОД	Эридан
6.3	4.8	0.8	3.5	60	МОД	Эридан



•Продолжаются работы по повышению чувствительности радиометров континуума путем их перевода в режим "полной мощности".
В сентябре с.г. модернизирован радиометр диапазона 2.7 см (Обл. 1) – замена детектора с диодом Шоттки на туннельный детектор.

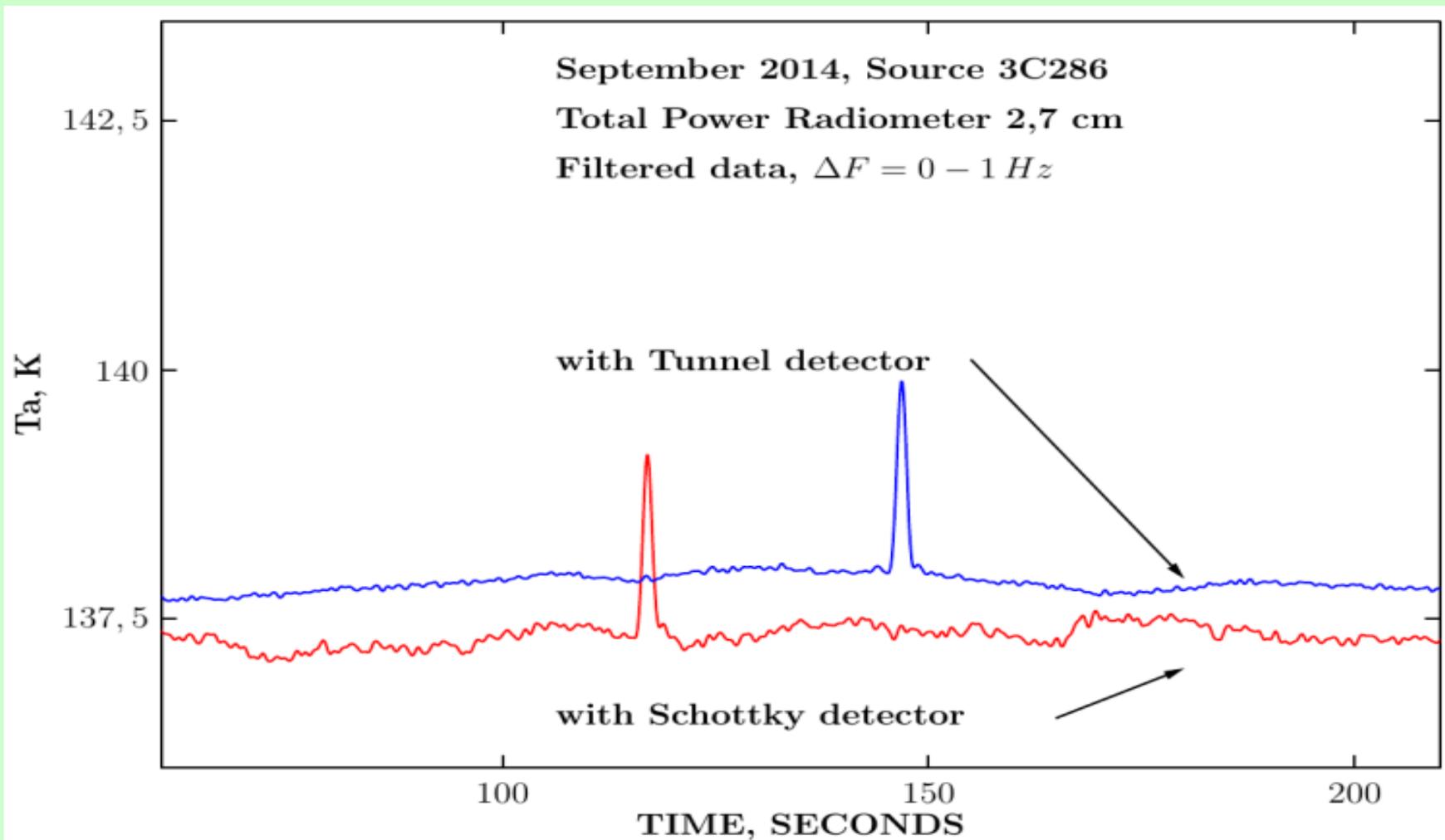


На обеих записях присутствуют "белая" компонента шума радиометра и "атмосферные волны».

Однако, на красной кривой присутствует также сильная $1/f$ компонента шума детектора, тогда как на синей кривой эта компонента шума отсутствует

Здесь показаны те же записи, но с НЧ фильтрацией для достижения максимального отношения сигнал/шум.

Наблюдения показали увеличение чувствительности в два раза (!) в режиме полной мощности по сравнению с модуляционным режимом.



Завершена модернизация Систем Сбора
Данных и Управления (ССДиУ) для
наблюдений в континууме на всех приемных
комплексах радиометров континуума:3
облучателя, 30 радиометров)

Основные характеристики новых ССДиУ:

- 1) Измерение полной мощности принимаемого излучения.
- 2) Высокая точность измерений на постоянном токе вследствие отсутствия собственных «дрейфов нуля».
- 3) Спектральная Плотность Мощности Шума (СПМШ) измерительной системы (включая ПУНЧ) равна 7 микро-Вольт/sqrt (Hz) и постоянна всюду вплоть до 0.001 Hz. В качестве ПУНЧ применяется микросхема ADA4528

Модернизация ССДиУ:

- 4) Масштабируемость: простое добавление требуемого числа измерительных каналов.
- 5) Сетевой интерфейс. Оцифрованные и обработанные сигналы радиометров доступны в локальной вычислительной сети.
- 6) ССДиУ может быть встроена непосредственно в радиометр. Измерение сигналов производится в месте их детектирования. Радиометр «самостоятельно» обрабатывает свой сигнал благодаря встроенному в его «личную» ССДиУ Цифрового Сигнального Процессора.
- 7) Синхронизация времени обеспечена установкой на каждом приемном комплексе GPS приемников.
- 8) Аппаратная основа новой ССДиУ — разработанная на РАТАН-600 измерительная система ER-DAS (Embedded Radiometric Data Acquisition System)

«Строительный блок» новой Системы Сбора Данных и Управления (ССДиУ)— измерительная система ER-DAS

DC Precision ADC module

Gain : 2, 20; ADC range 0 – 2.048 V

Order 4 Bessel LPF 0 – 8 KHz

4 16 bit ADCs, sampling rate 32 KHz

3 Auto – Zero OpAmps/channel

(AD8628)



Sampled data →

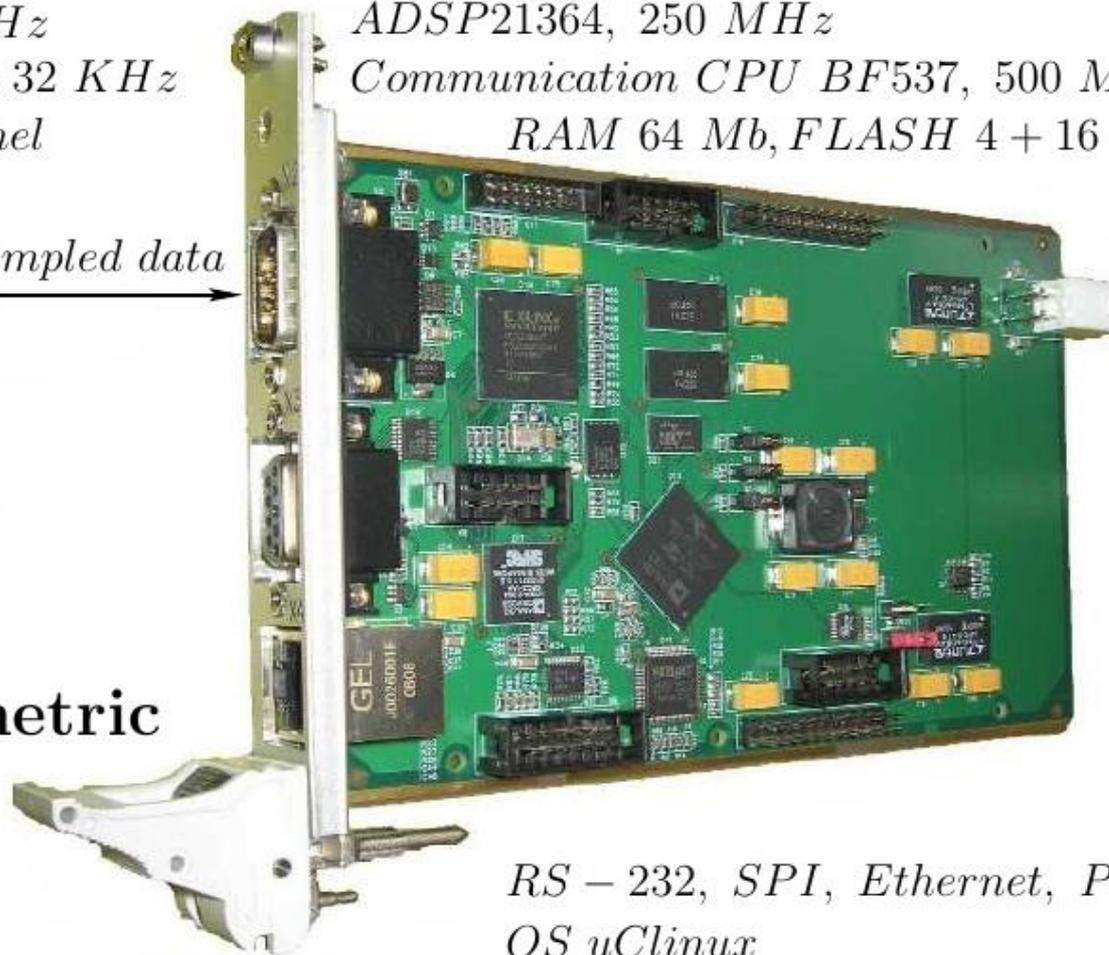
DSP and communication module

SHARC floating point DSP

ADSP21364, 250 MHz

Communication CPU BF537, 500 MHz

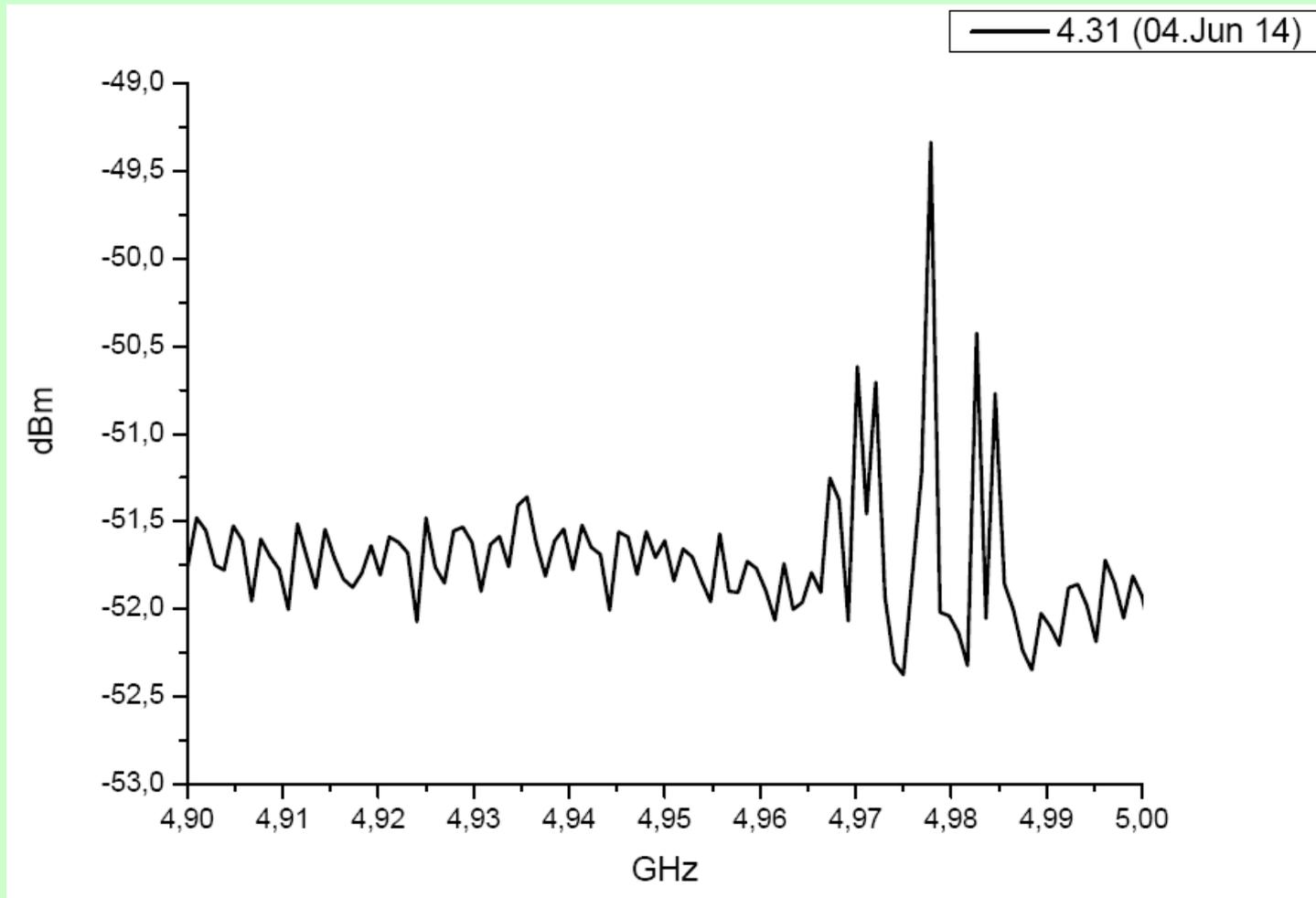
RAM 64 Mb, FLASH 4 + 16 Mb



**Embedded Radiometric
Data Acquisition
System (ER-DAS)**

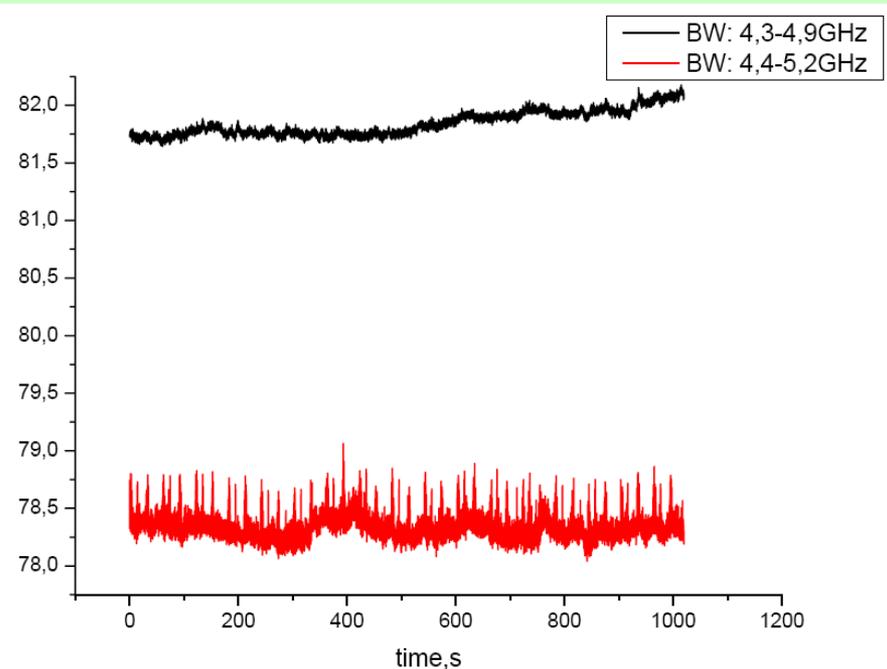
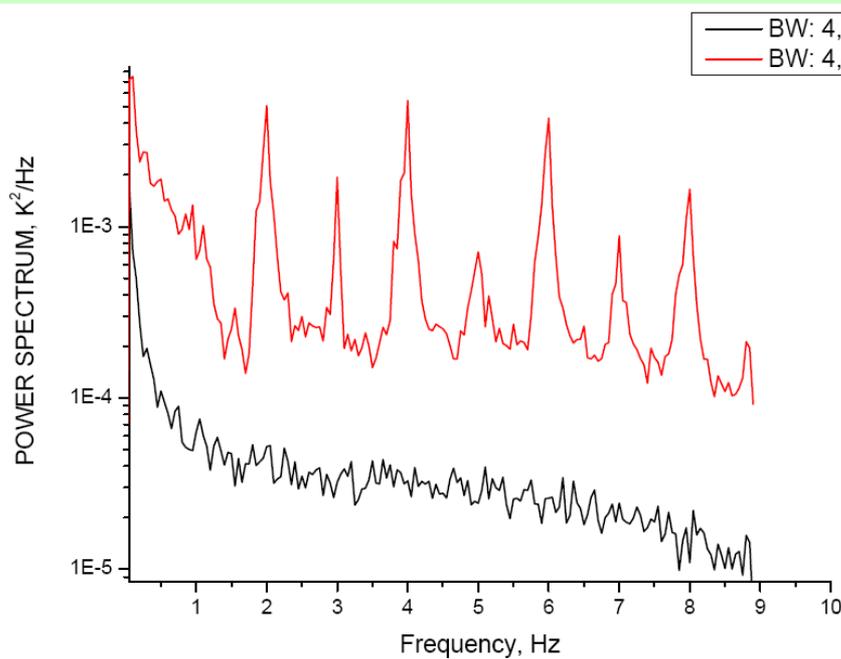
*RS – 232, SPI, Ethernet, PIO
OS uClinux*

Помехи на волне 6,2 см на РАТАН-600



Результаты измерения помех при помощи спектроанализатора FSU-46 через радиометрический тракт радиометра 6,2 см (до детектора). Помеха импульсная, быстропеременная, в каждый момент времени видно 3 пика, по частоте плавают от 4.96 ГГц до 5.05 ГГц. Ширина стабильно около 22 МГц.

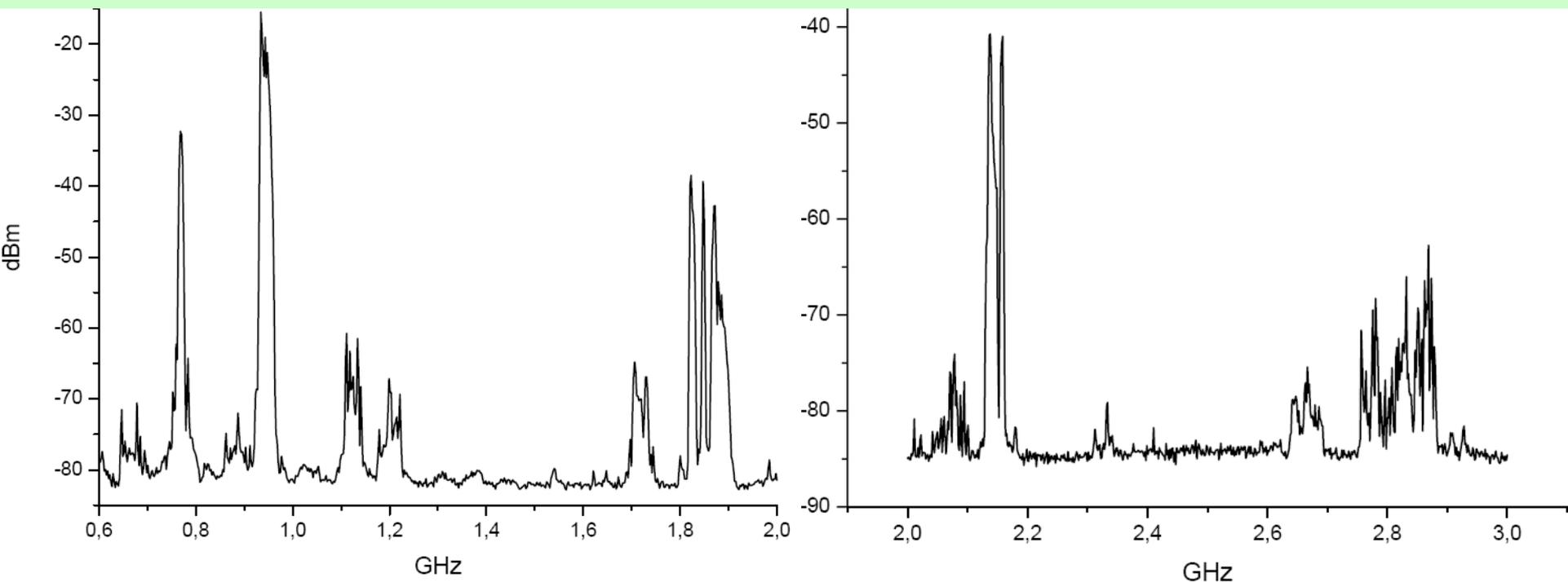
Результаты борьбы с помехами на волне 6,2 см (изменение полосы приема)



Спектр мощности радиометра
6,2 см до и после
перестроения полосы

Одновременная запись
радиометра 6,2 см: с целью
ухода от помеху одного из
каналов полоса перестроена

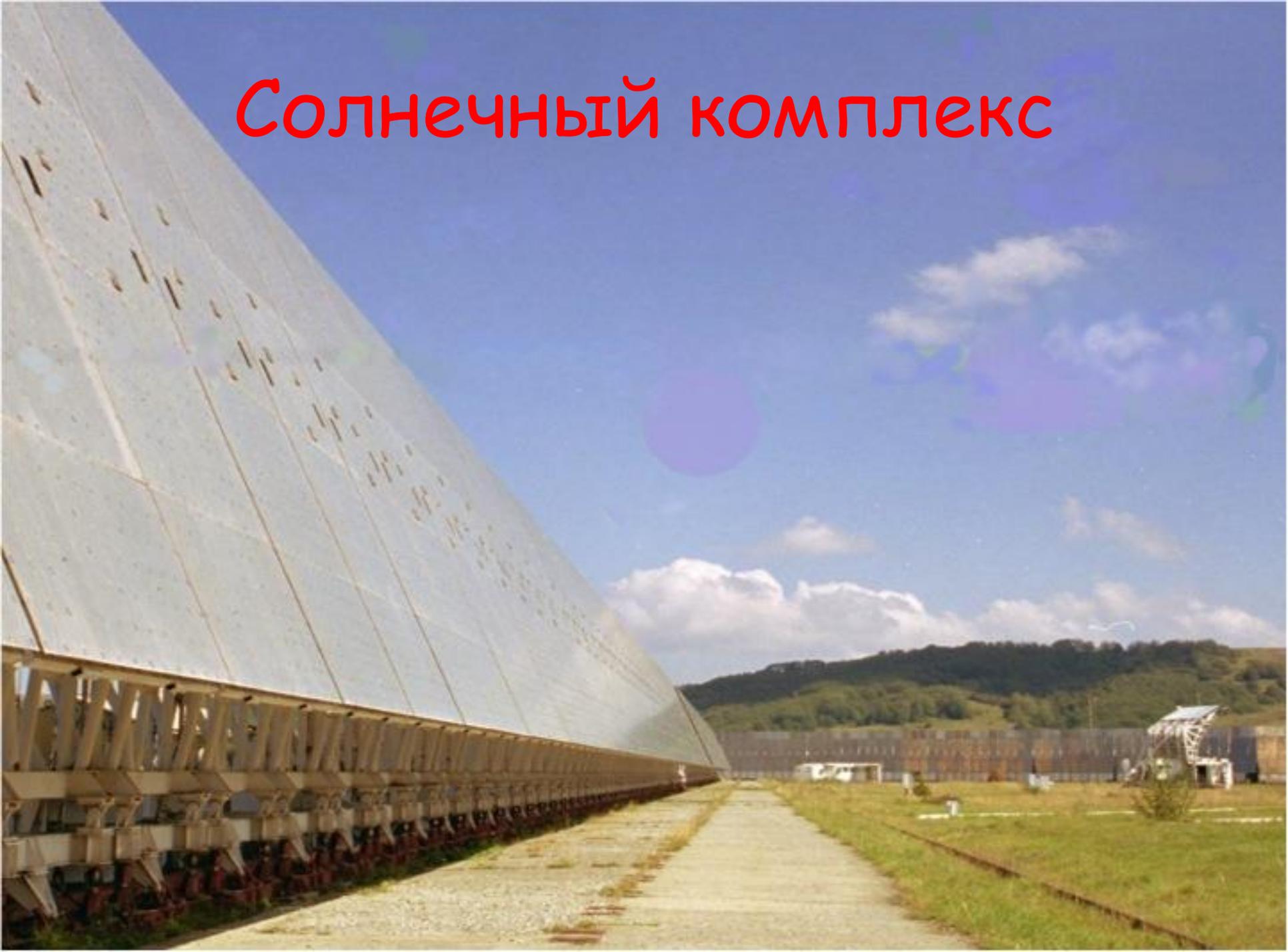
Помехи в дециметровом диапазоне

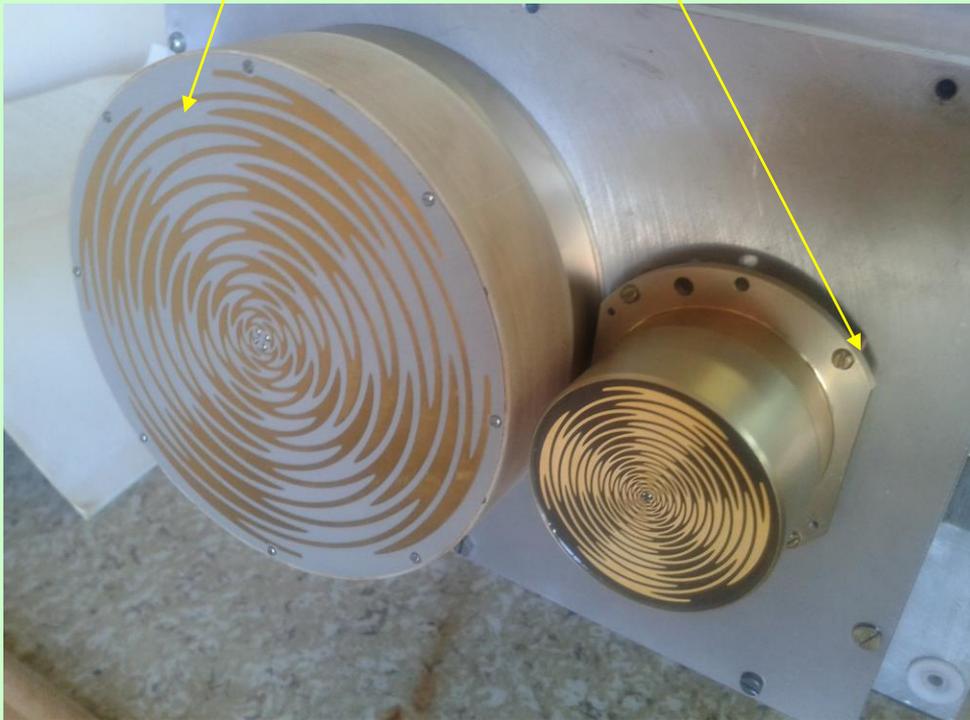
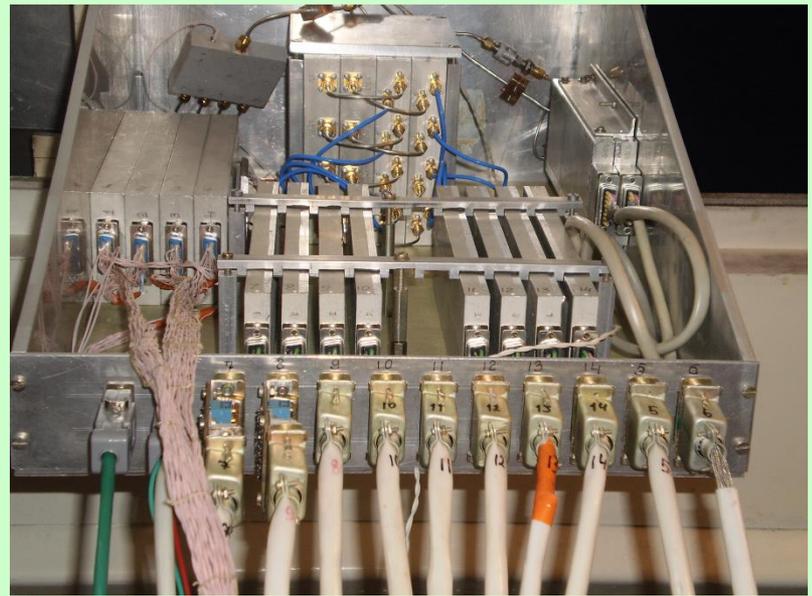


Мониторинг помеховой обстановки (04.09.2014) в диапазоне
0.6 ÷ 3.0 ГГц

Использовался FSU-46 подключённого к выходу
сверхширокополосной антенны Eleven

Солнечный комплекс





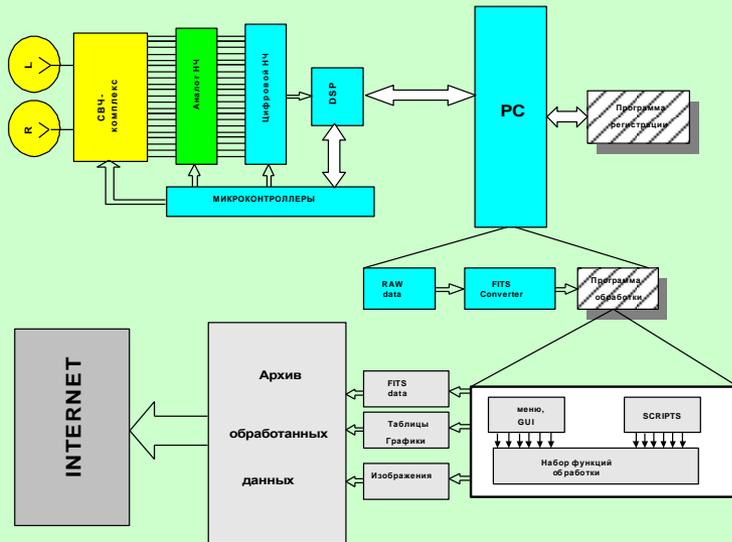
Солнечный комплекс

• Основные параметры СПКВР

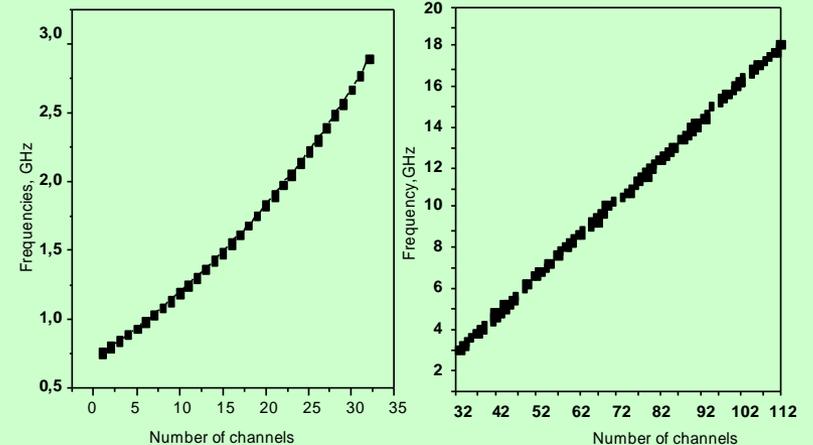
- Частотный диапазон: 0.75 ГГц – 18 ГГц
- 1. Число каналов: 112
- 2. Спектральное разрешение: 1% и 100 МГц
- 3. Скорость регистрации: 0.0025 сек/ 112 кан.
- 4. Шумовая температура: 300К
- 5. Динамический диапазон: > 100000
- 6. Межканальная развязка: > 20 дБ
- 8. Скорость переключения RH и LH поляризаций: 400 Гц.
- 9. Эллиптичность: (1-5)%
- 10. Ширина диаграммы рупоров во всем диапазоне: +- 60град.
- 11. Развязка между RH и LH поляризаций : > 20 db
- 12. Смещение фазовых центров для RH и LH: 17.5 мм

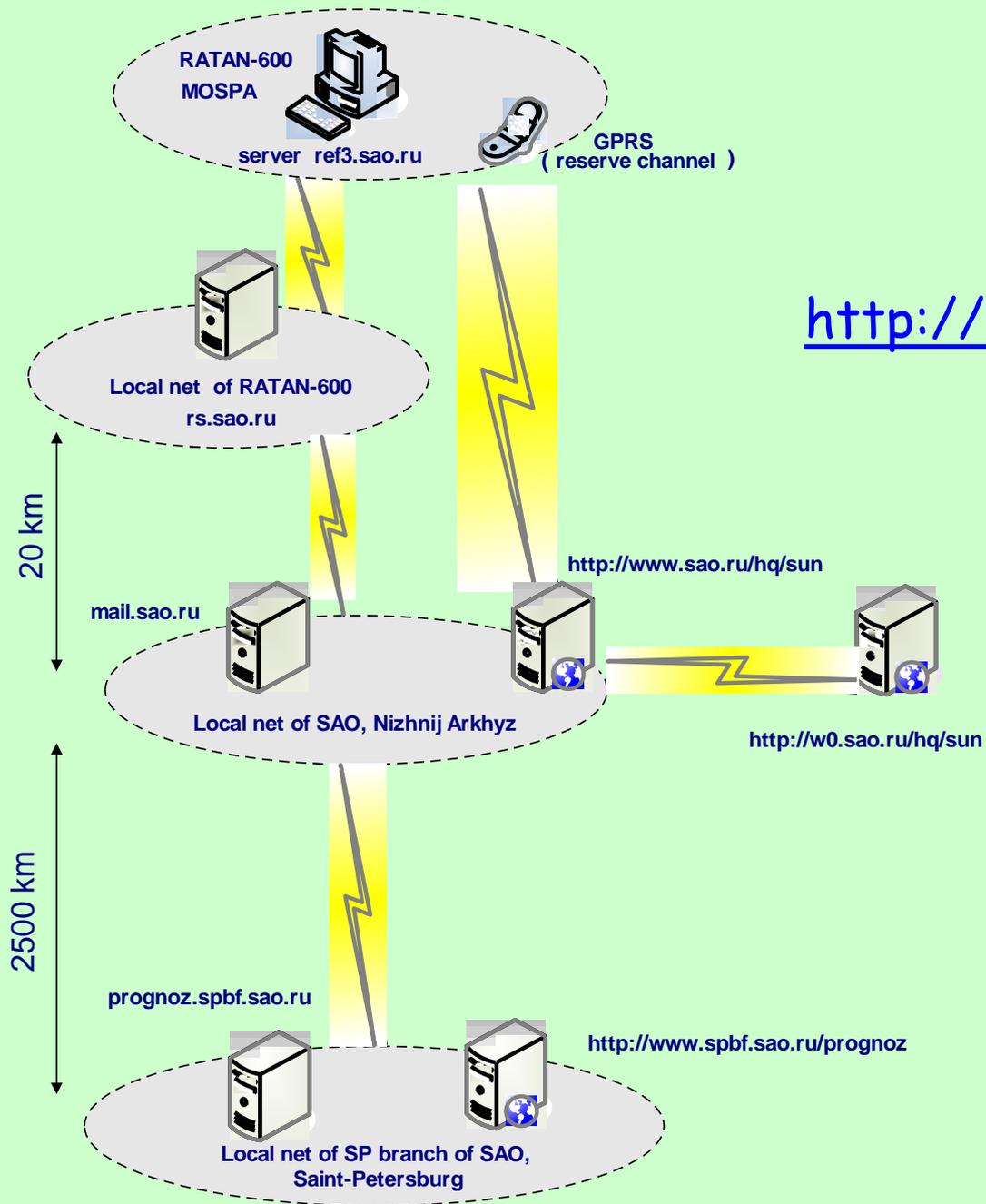


Блок-схема приемного комплекса



Расположение 112 частот по спектру 0.75-18 ГГц



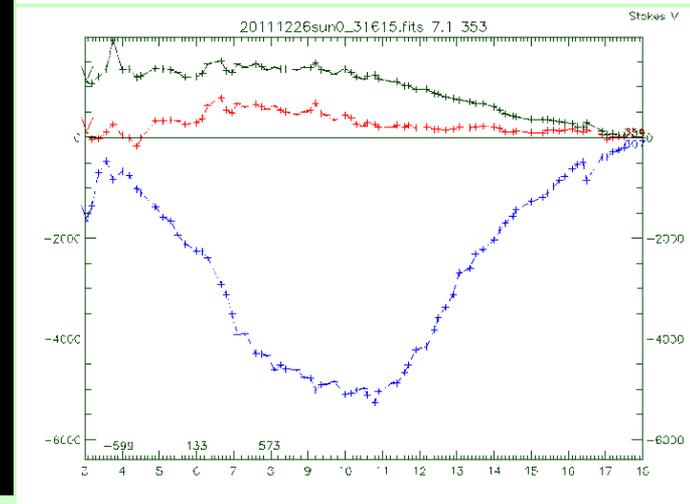
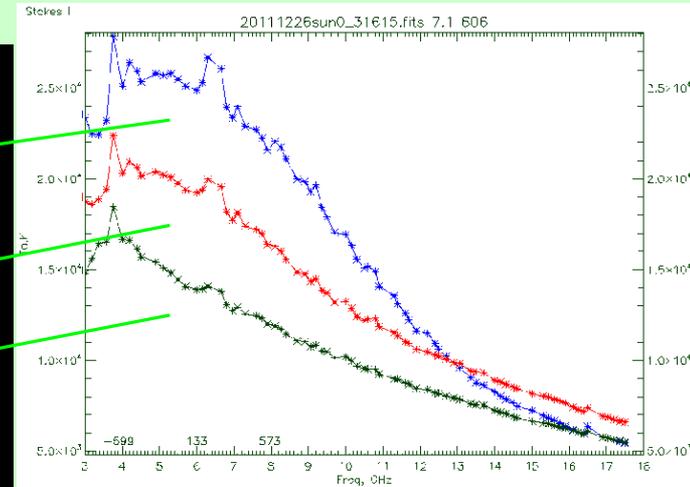
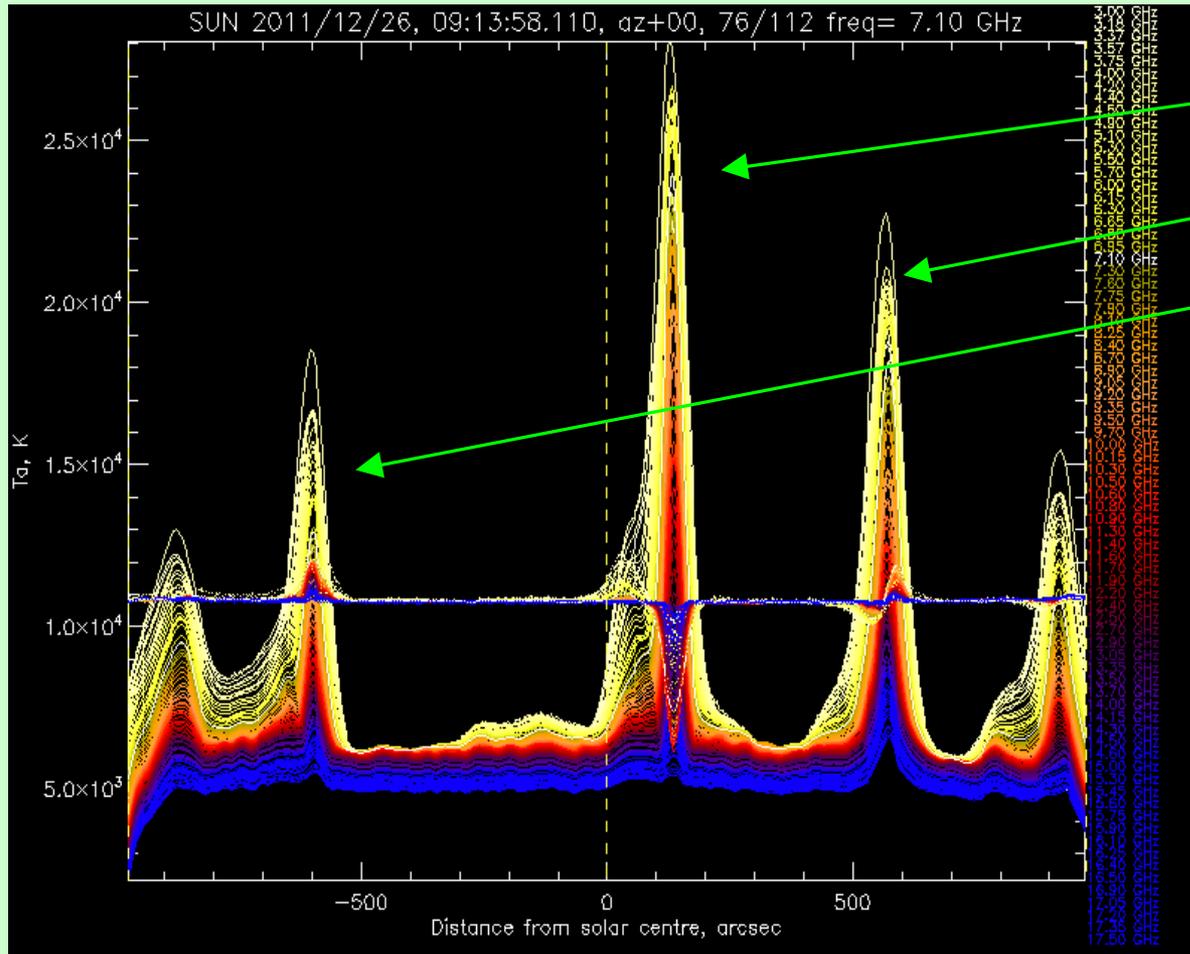


Передача данных
РАТАН-Пулково
на сайт

<http://www.spbf.sao.ru/prognoz/>

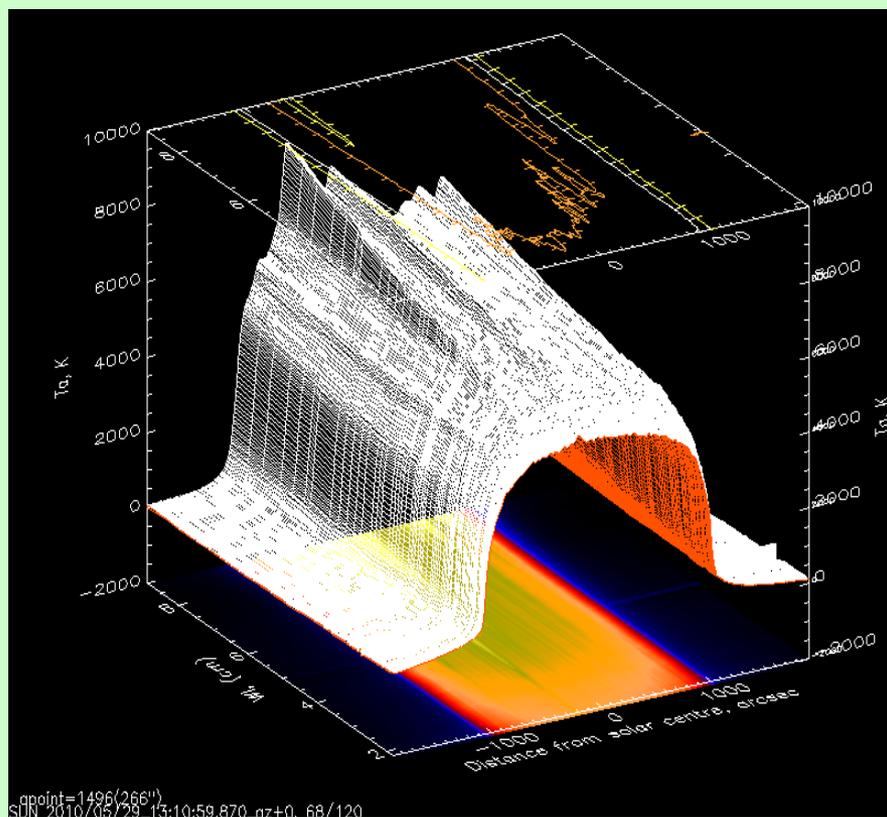
$\Delta t = 4 \text{ min}$

Пример наблюдений активного Солнца в широком диапазоне волн (26 декабря 2011 г)

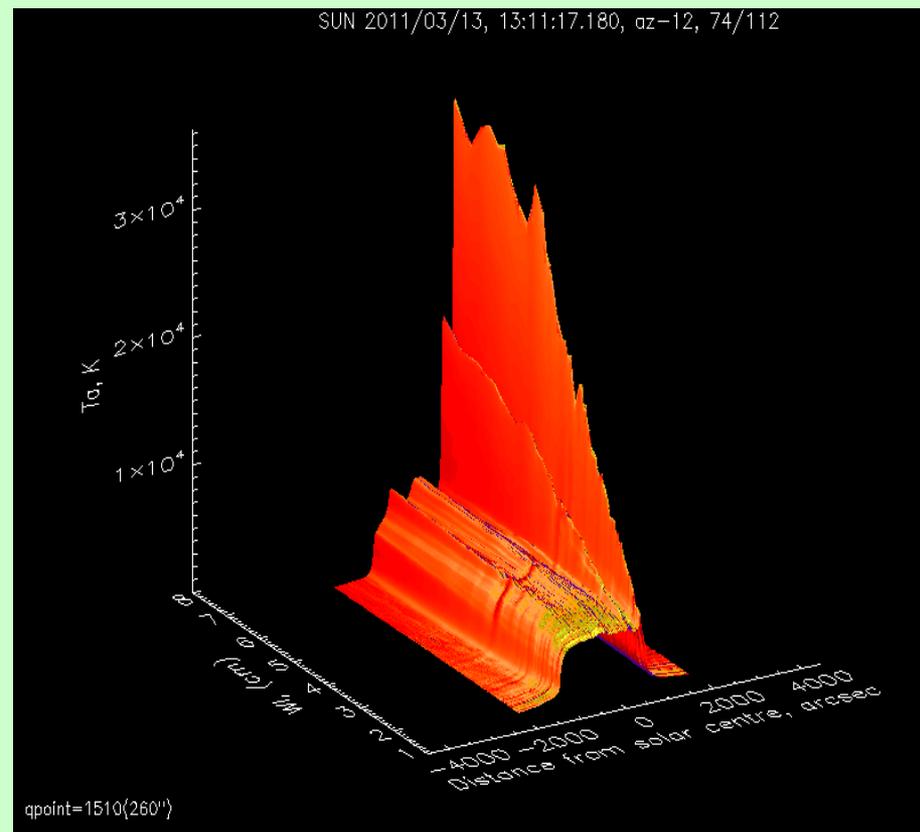


Примеры регистрации широкодиапазонных спектров на стадии роста активности

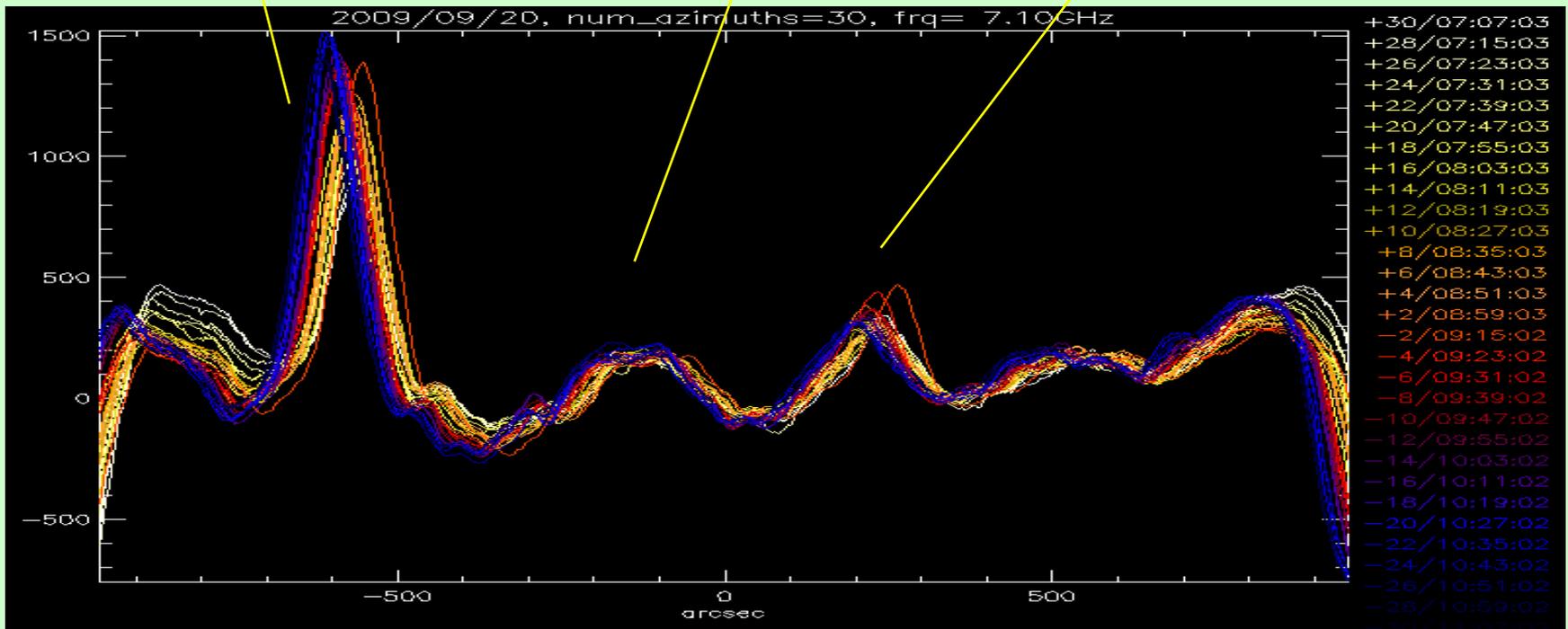
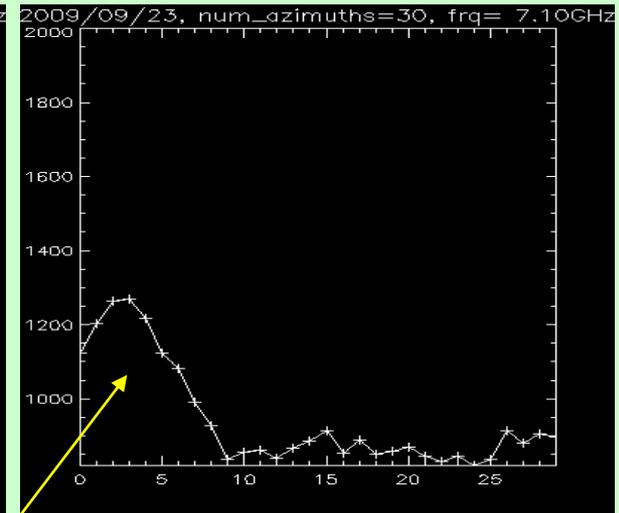
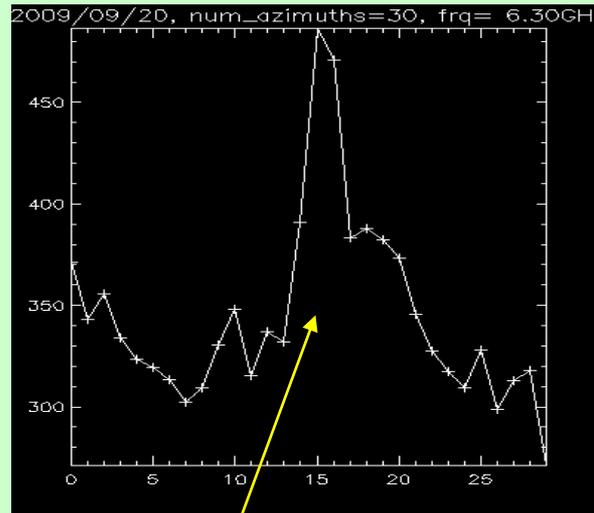
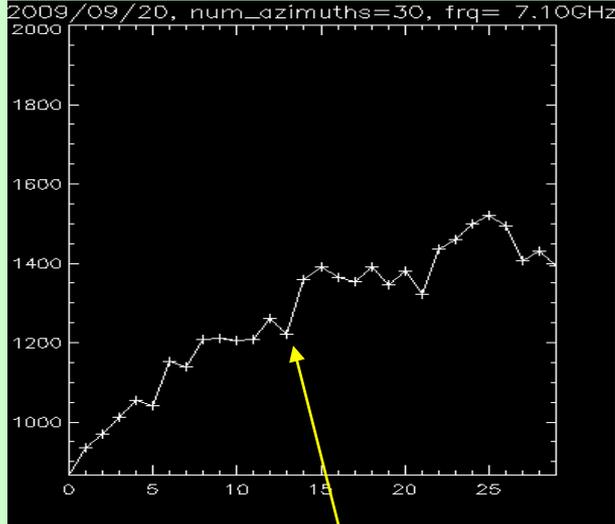
Спокойное Солнце



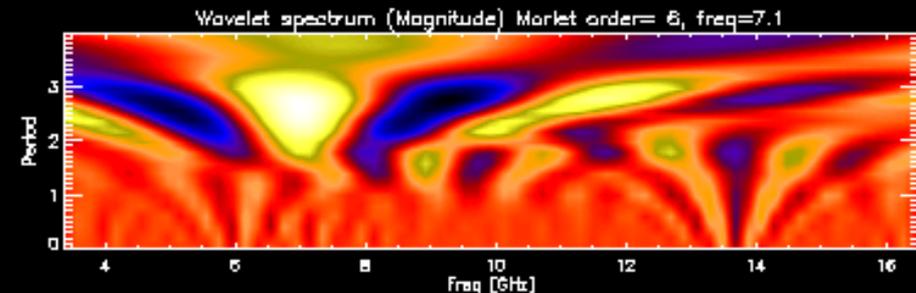
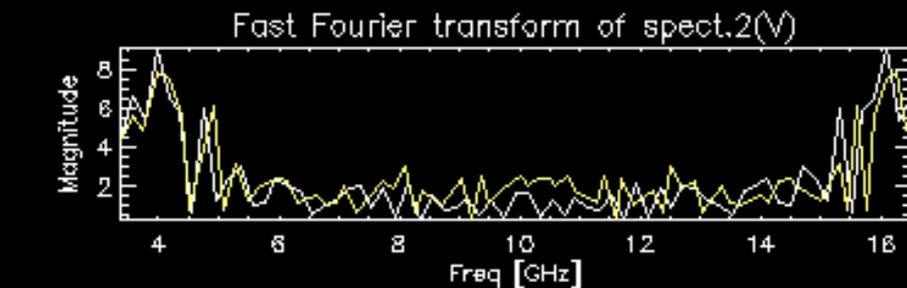
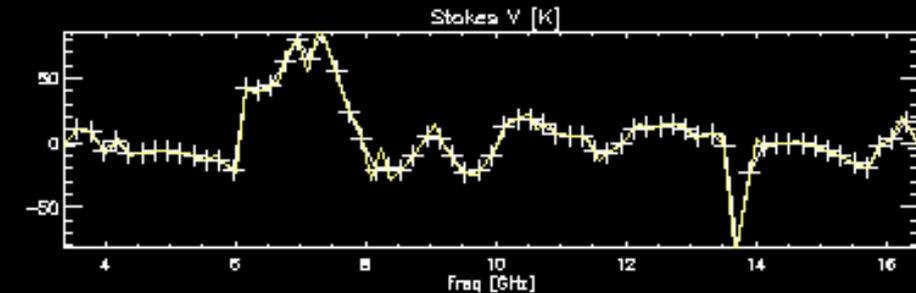
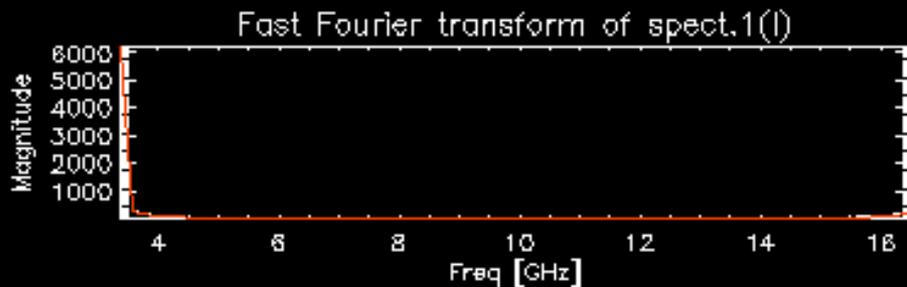
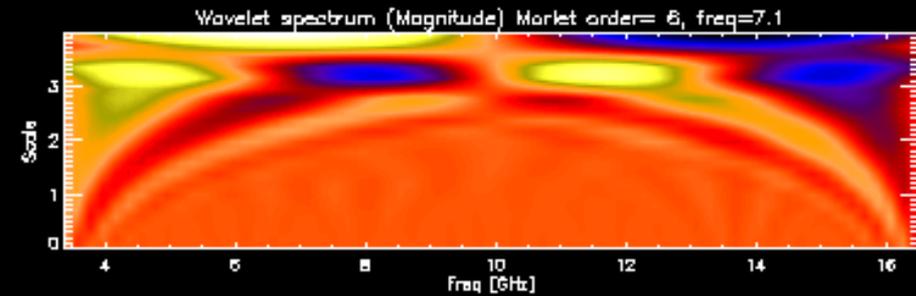
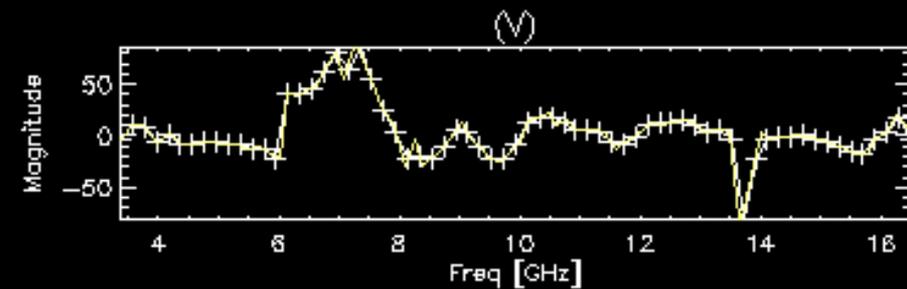
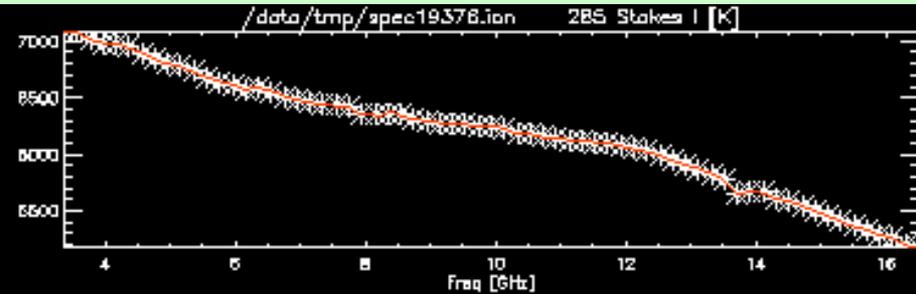
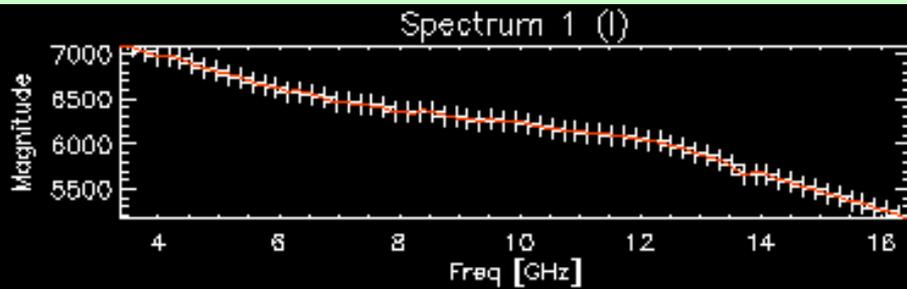
Активное Солнце



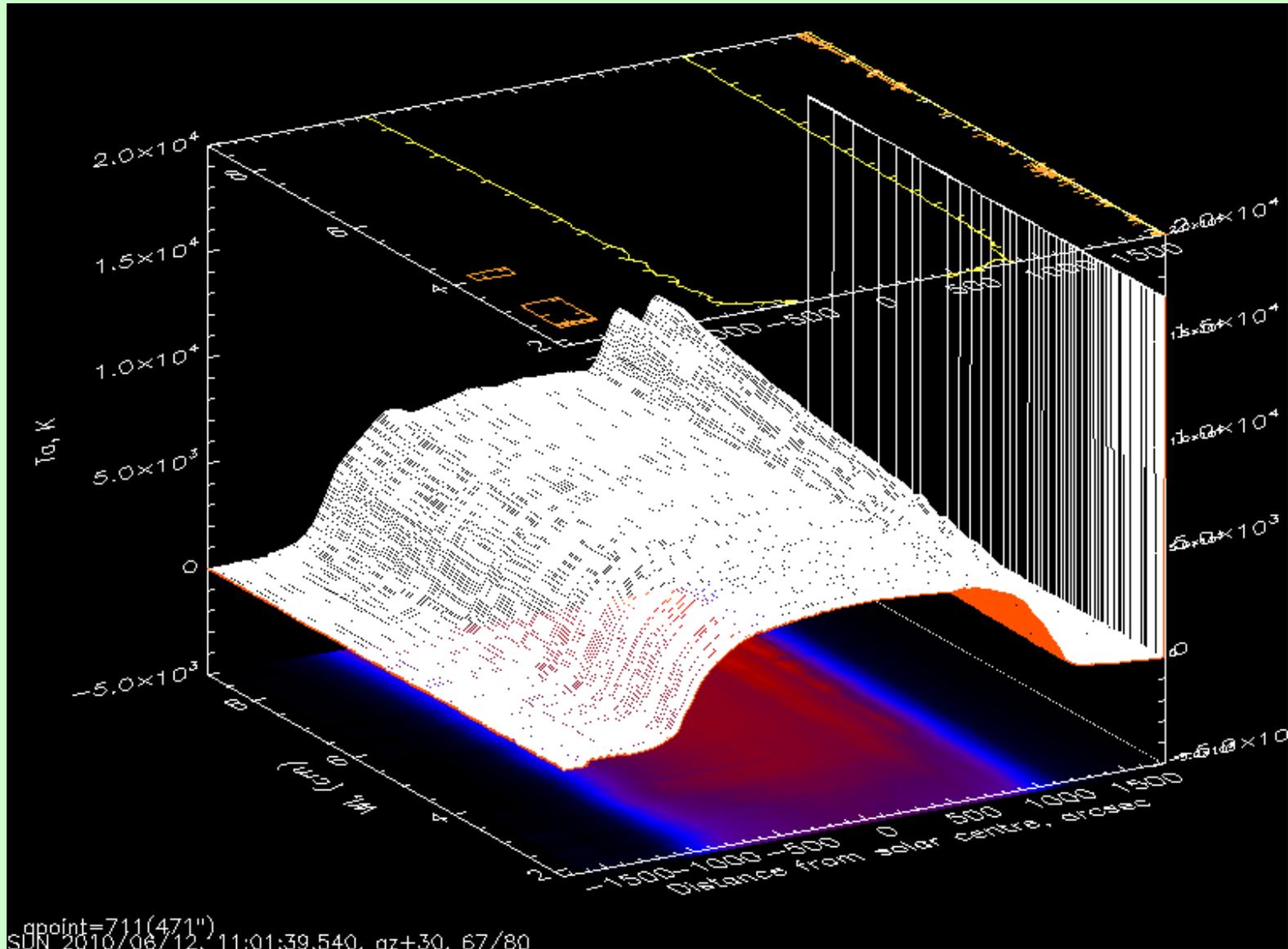
ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛАБЫХ ОБЪЕКТОВ НА СОЛНЦЕ (многоазимутальный режим)



Фурье и вейвлет анализ помогают обнаружить временные квази-периодические колебания в активных областях, характерные размеры радиогрануляции или других регулярных структур (пространственные, временные, спектральные)



Многоазимутальный режим: спектр вспышки в диапазоне 2÷10 см с 1% частотным разрешением



Планы

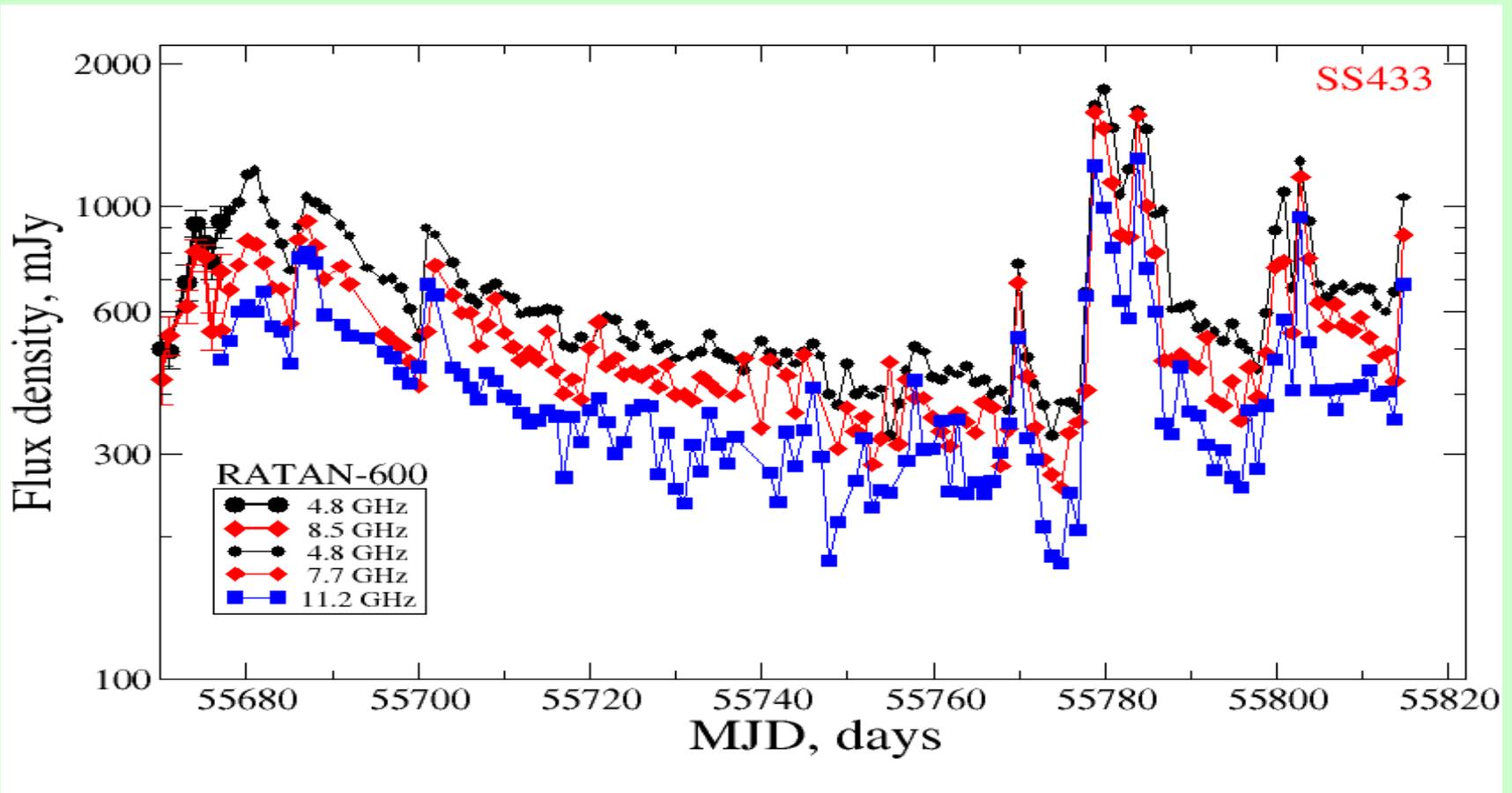
Поддержание проектных параметров, модернизация и создание новой аппаратуры:

- приемно-измерительные комплексы (радиометры, системы сбора данных и управления экспериментом);
- борьба с помехами;
- АСУ антенной и вторичными зеркалами;
- Контроль и повышение точности отражающей поверхности;
- архивизация наблюдательных данных и организация к ним доступа: <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/>
<http://www.sao.ru/blcat/>.

An aerial, wide-angle photograph of a large, circular stadium. The stadium features a vibrant green grass field in the center, surrounded by a wide, light-colored running track. The seating area is composed of numerous white, tiered sections that curve around the field. The stadium is situated in a rural landscape with rolling green hills and a clear blue sky with scattered white clouds. The text "Спасибо за внимание" is overlaid in red at the bottom of the image.

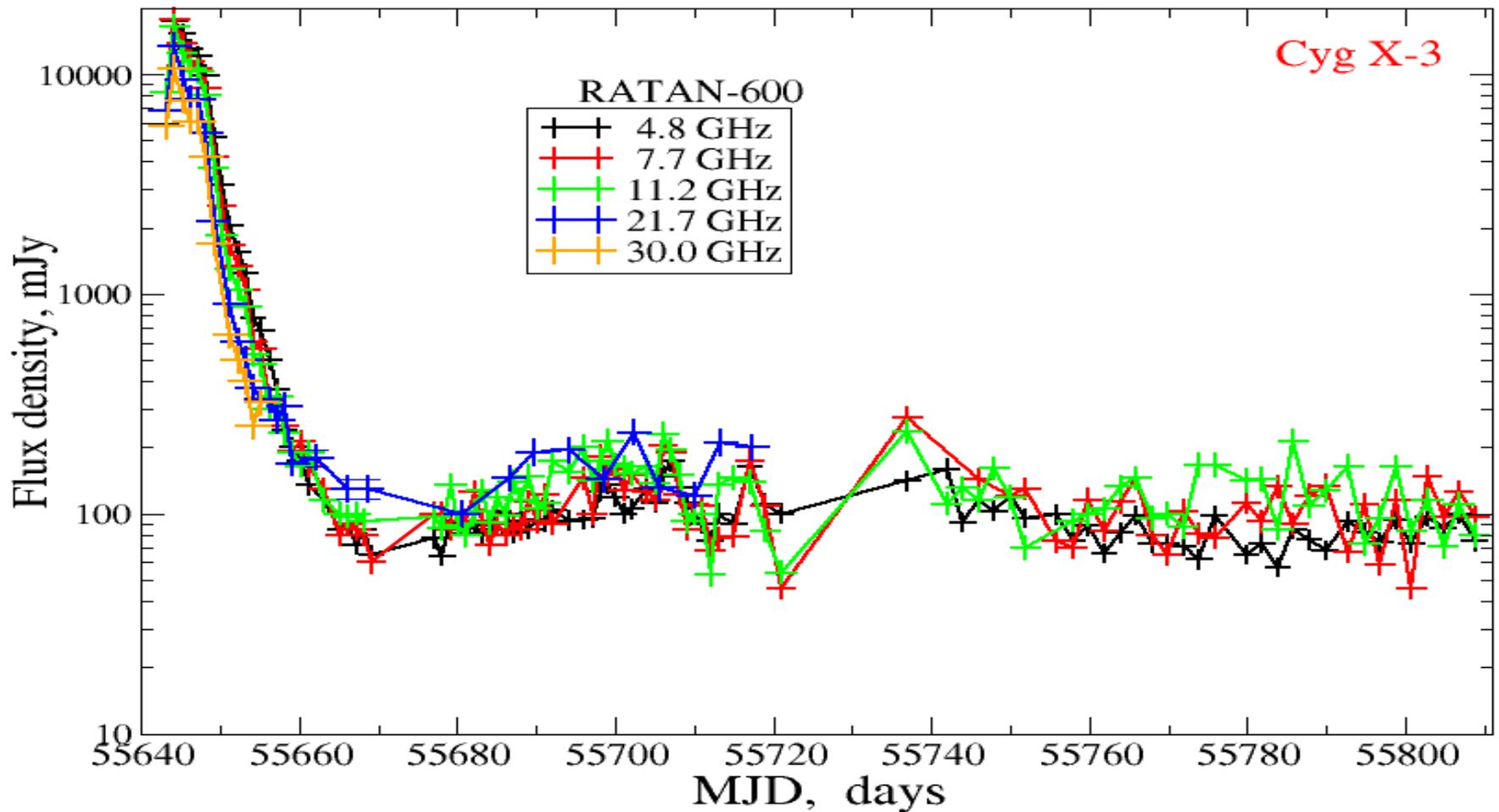
Спасибо за внимание

Кривые блеска SS433 в апреле-сентябре 2011 г.



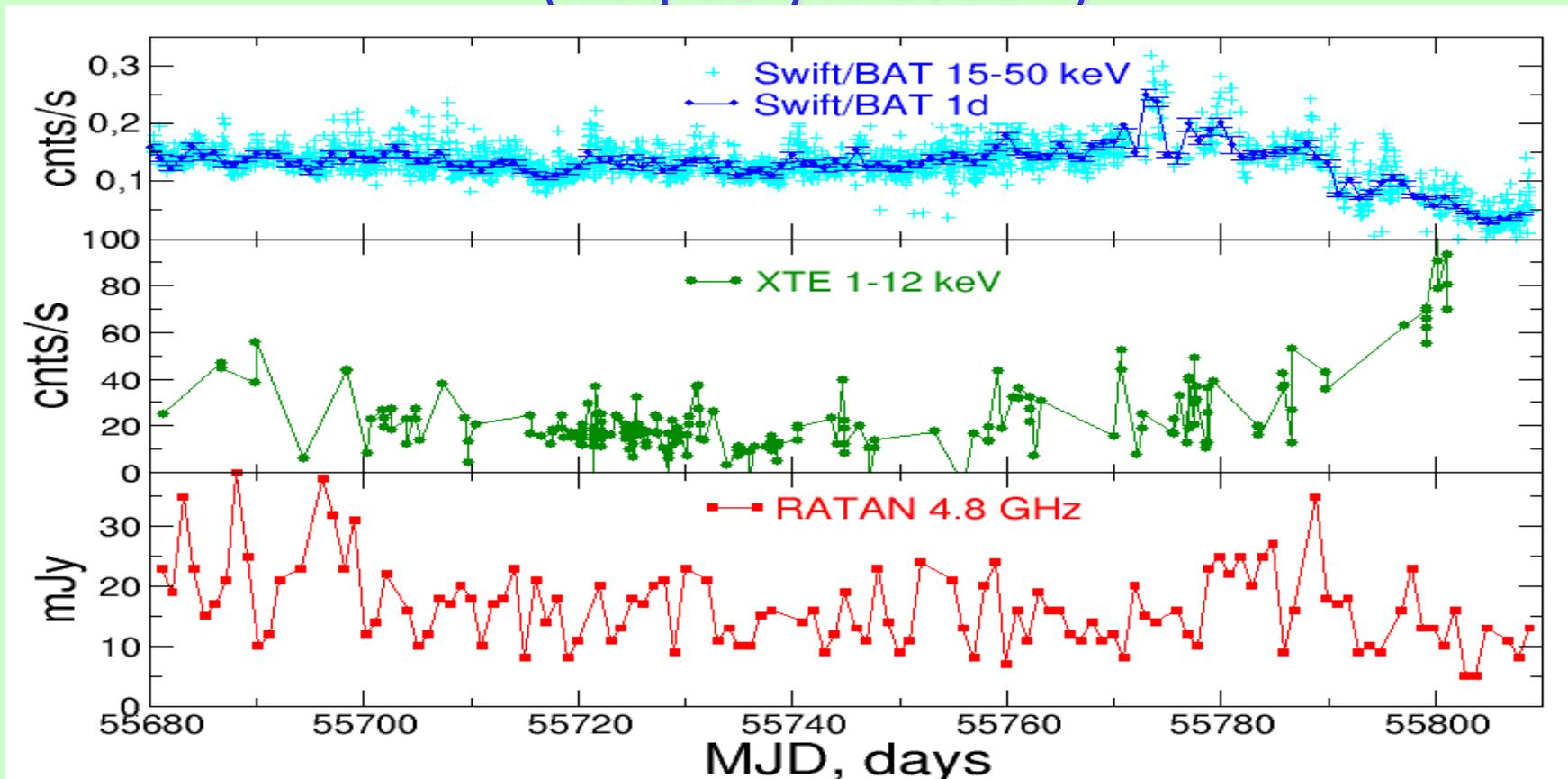
- В апреле 2011 были проведены совместные наблюдения на РАТАН-600 и на спутнике ИНТЕГРАЛ.
- В августе зарегистрирована довольно редкая по мощности вспышечная активность (около 2 Ян на 5 ГГц).

Кривые блеска микровазара Лебедь X-3 на 5-30 ГГц



- Ярчайшая (~ 20 Ян) радиовспышка есть прямое указание на мощный выброс массы с релятивистской скоростью из окрестностей аккреционного диска. Вспышка одновременно обнаружена в рентгеновском (Swift) и гамма- (Fermi) диапазонах.

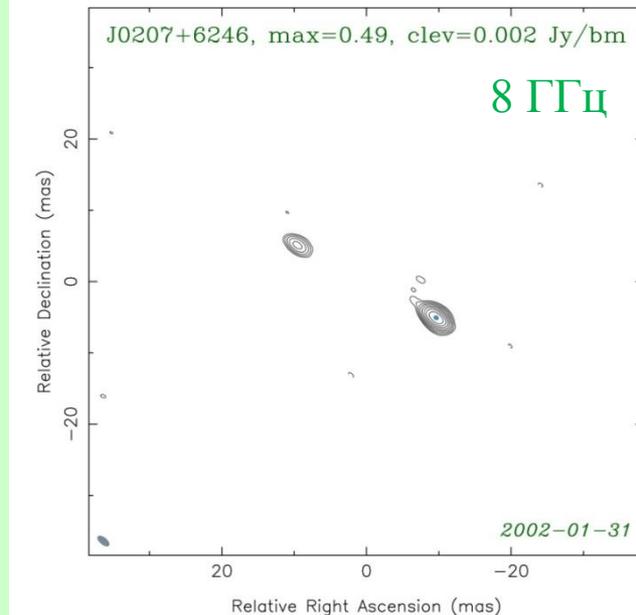
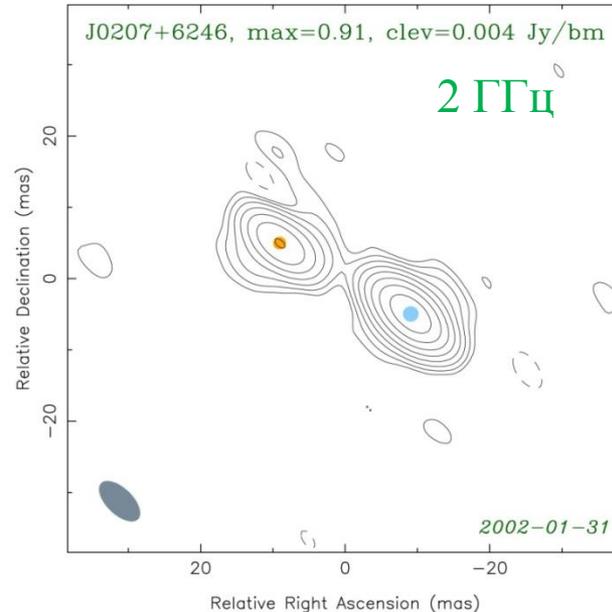
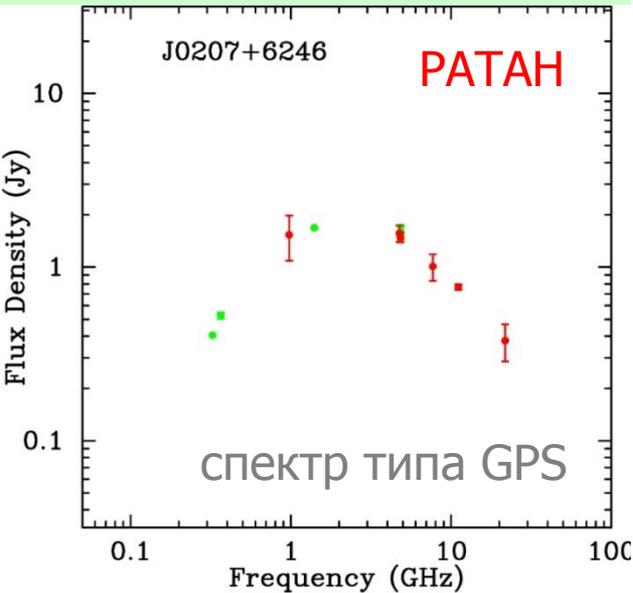
Двойная системы с черной дырой (Cyg X-1) во время перехода объекта в жесткое состояние (маг-август 2011 г.)



- Микроквazar Cyg X-1 не показывает яркого радиоизлучения (струй), когда обладает мягким рентгеновским спектром, с уярчением жесткого рентгеновского излучения (Swift) релятивистские струи появляются. В конце данного цикла радиопоток заметно ослаб, поток на XTE вырос, поток на Swift упал – система вернулась в «мягкое» состояние.

CSO: Compact symmetric objects

Компактные симметричные (молодые?) радио галактики



По данным ПАТАН-600 и VLBA построена и изучена полная выборка CSO внегалактических радиоисточников – скорее всего, молодых ядер галактик.

Впервые, значимо найдено несовпадение пиков излучения компактных радио-“лобов” между 2 и 8 ГГц, то есть значимые градиенты спектрального индекса в пятнах. Это может объясняться специфическим распределением энергии релятивистских электронов на и около фронта ударных волн в лобах.

Поддержка Радиоастрон на РАТАН-600 *прошлое и будущее*



На базе результатов наблюдений по программе Ковалева и др. отобраны и, в настоящий момент, используются компактные внегалактические объекты для первых тестов и калибровок КРТ, поиска лепестков наземно-космического интерферометра Радиоастрон.

Принципиально важной для успеха проекта Радиоастрон является информация о текущих вспышках компактных внегалактических объектов, которую планируется получать из наблюдений на РАТАН-600.

Многочастотные исследования GPS-источников и кандидатов

Радиотелескоп РАТАН-600 в период 2009-2011 гг. осуществляет наземную поддержку наблюдений спутника Planck (30-857 ГГц). Наблюдения на РАТАН-600 проводятся на 4-7 частотах: 1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2, 21.7 и 30 ГГц.

Что наблюдается:

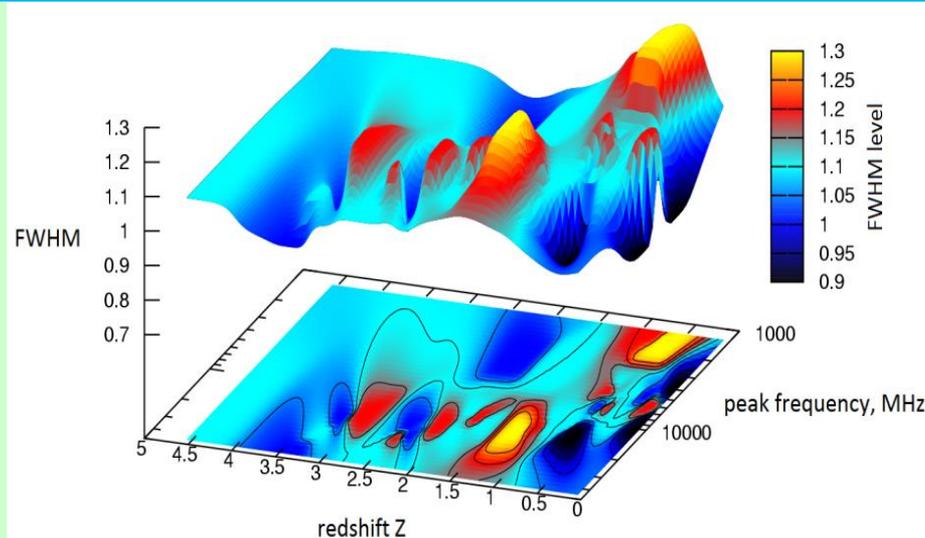
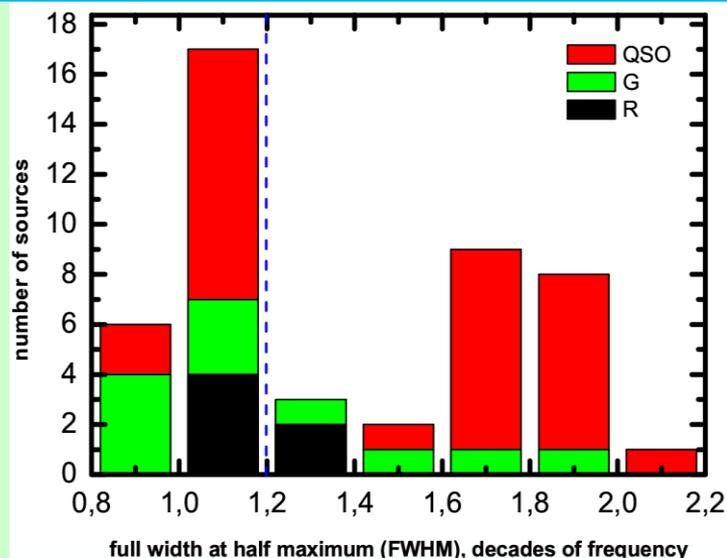
1. Выборка 120 кандидатов в GPS, мониторинг проводится с 2006г. систематически.
2. С использованием литературных данных с 2011 г. в исследуемый список включены новые кандидаты в GPS.

Общее число исследуемых кандидатов - около 200.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1) Обнаружено статистически значимое отличие высокочастотного спектрального индекса для галактик и квазаров класса GPS (-0.93 ± 0.07 и -0.70 ± 0.04 соответственно). Возможно, это указывает на наличие у галактик класса GPS дополнительных возрастных потерь энергии на излучение, или они имеют космологические отличия в энергетических спектрах, родившись на разных красных смещениях z .

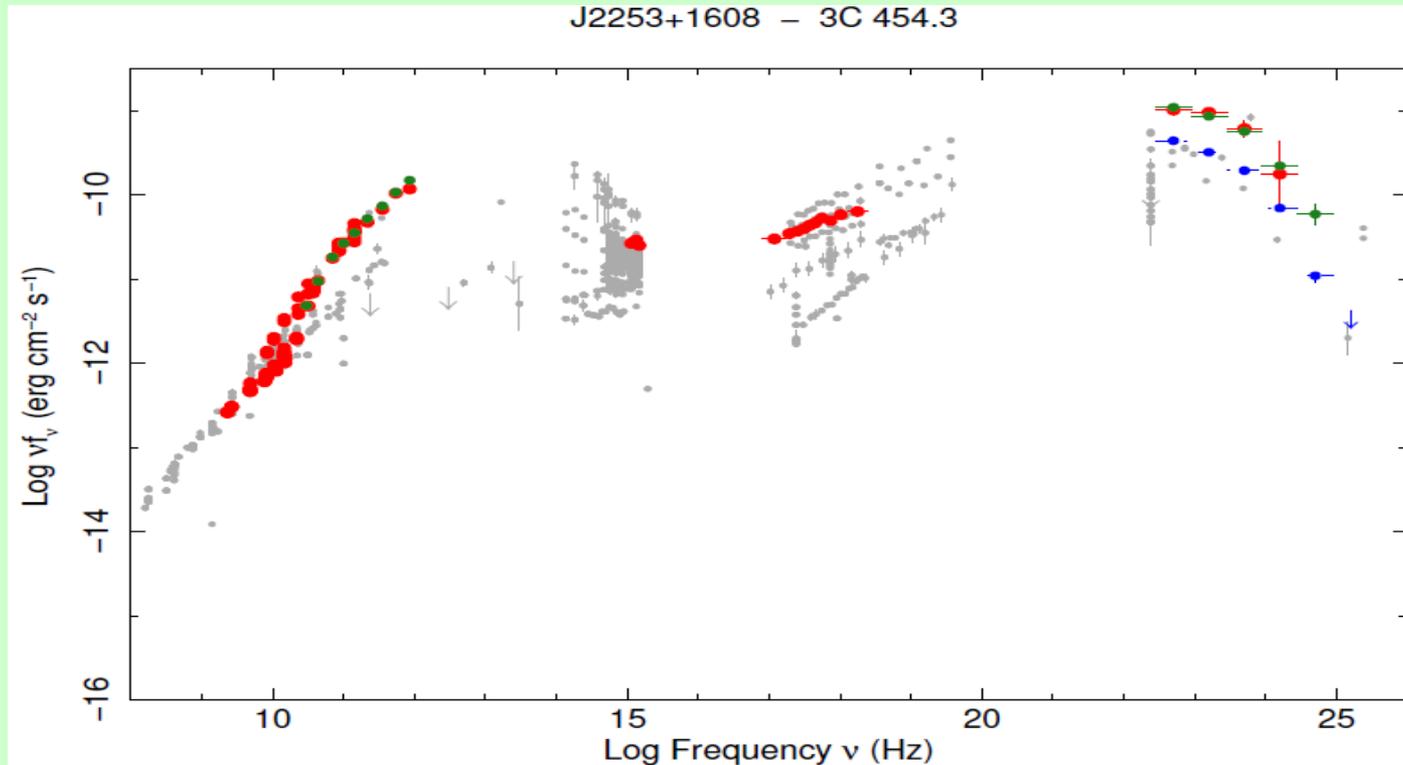
2) Объекты с узкими радиоспектрами $\text{FWHM} \sim 1$ (такие спектры характерны молодым компактным радиоисточникам) приходятся как на близкие красные смещения $0.02 \geq z \geq 0.7$ так и на далекие $z \geq 1.7$. Возможно, что различные физические механизмы или условия играют определяющую роль в формировании спектра GPS галактик и квазаров.



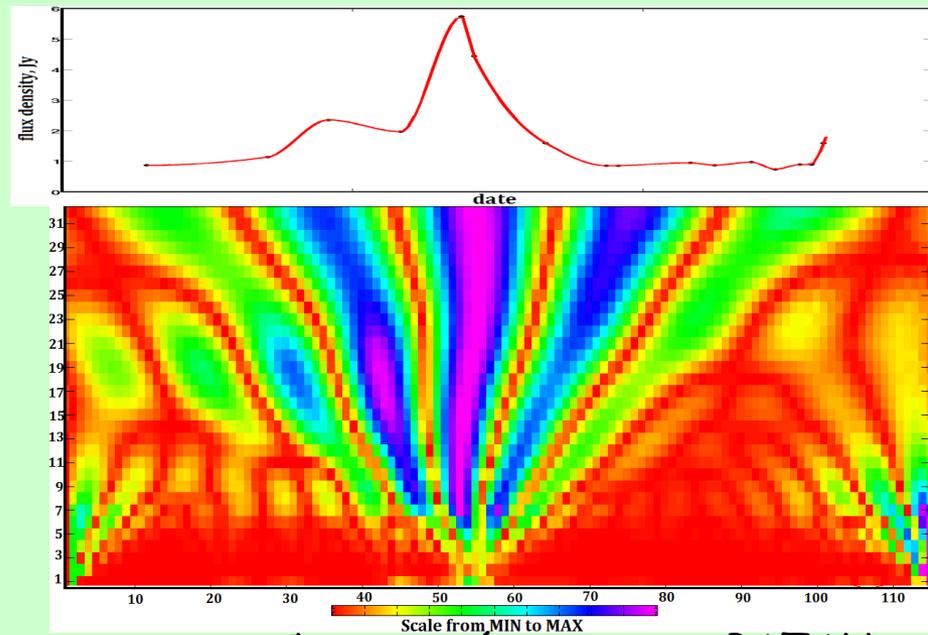
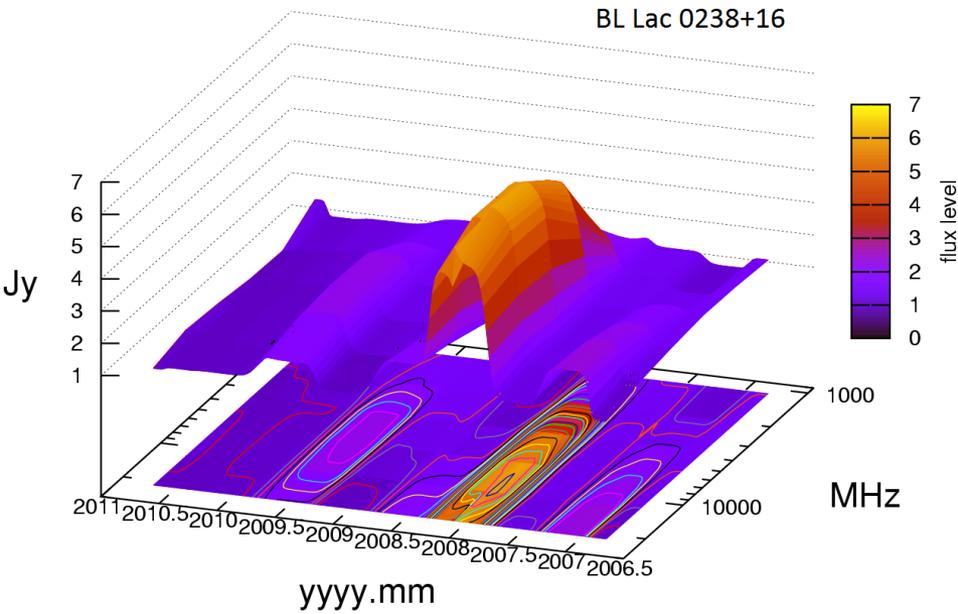
Распределение величины FWHM (в декадах частоты) для GPS галактик, квазаров и неотожествленных источников выборки.

«Красное смещение - пиковая частота – ширина спектра» для кандидатов в GPS источники.

Bright Sources Monitoring during Planck Mission

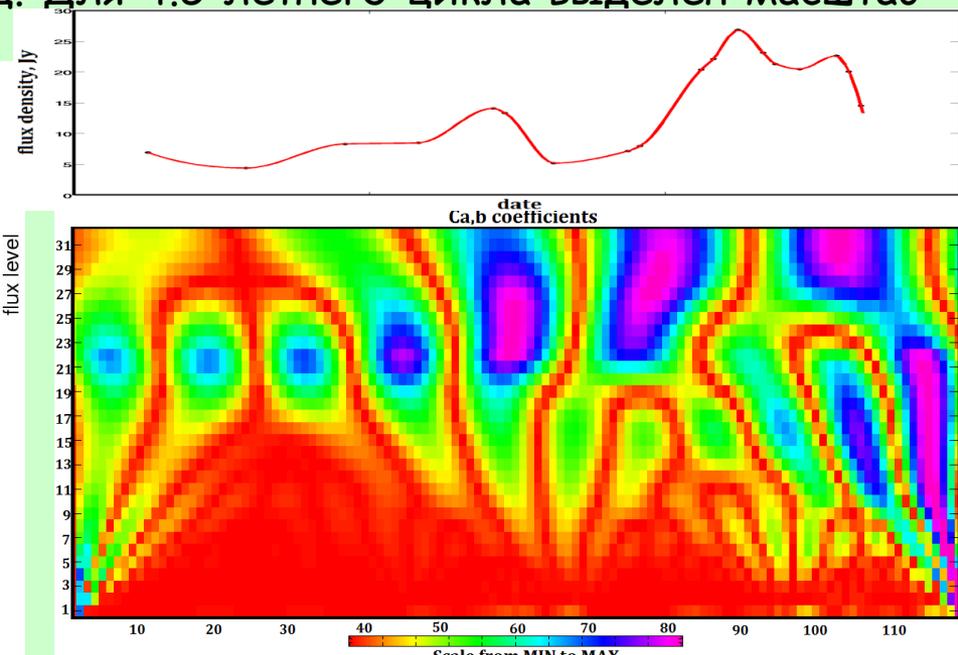
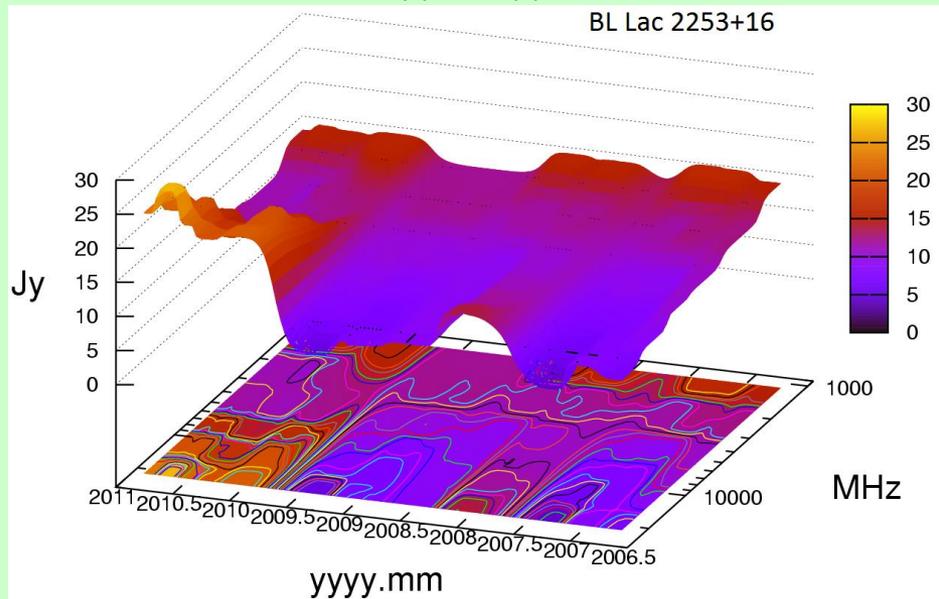


- 1) на высоких частотах (>70 ГГц) объекты ВЛас имеют более плоские спектры, чем FSRQs – квазары с плоскими спектрами;
- 2) распределение пиковой частоты синхротронной компоненты SEDs для ВЛас и FSRQs одинаково ($\nu_{\text{peak}}^S = 10^{13.10 \pm 0.1}$ Hz);
- 3) сравнение многочастотных данных с теоретическими предсказаниями показывают, что простая однородная модель SSC - Synchrotron-Self-Compton не может объяснить одновременные SEDs для большинства блазаров, детектируемых в гамма диапазоне.

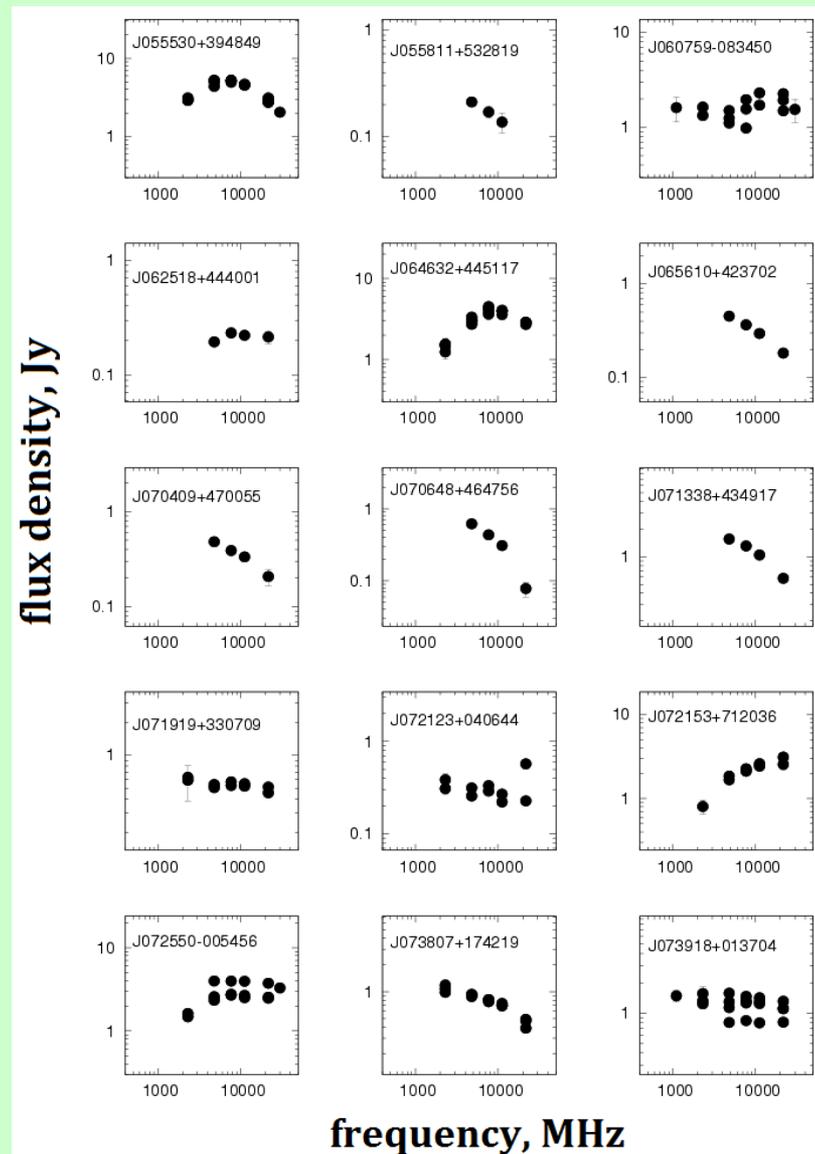
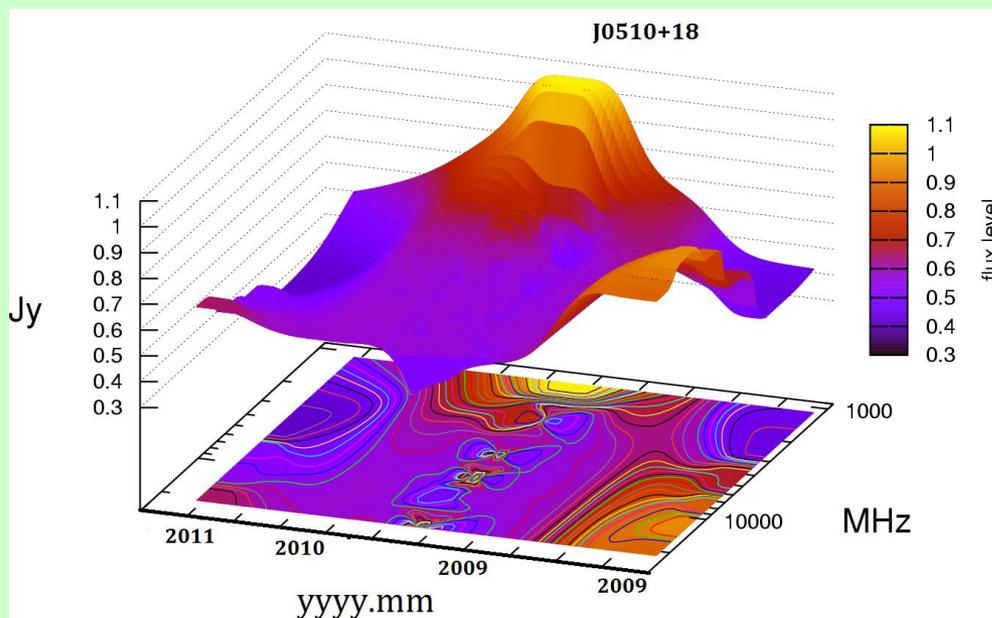
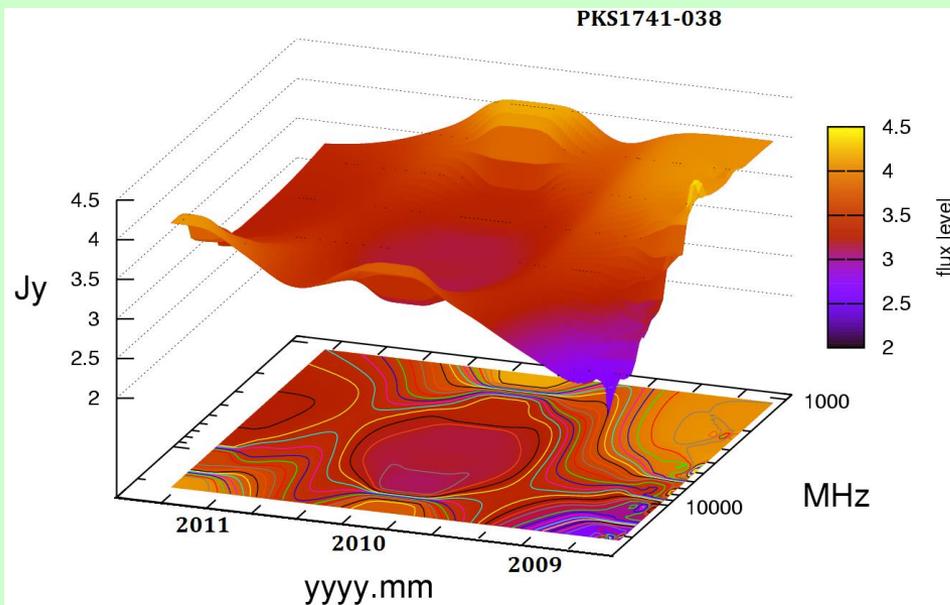


Слева: частотно-временная эволюция радиоспектров двух блазаров (измерения РАТАН-600 в 2006-2011 гг.);

Справа: Wavelet-анализ на частоте 21.7 ГГц. Для 4.5-летнего цикла выделен масштаб вспышки 18-64 недель для 0238+16 и 46-64



Мгновенные радиоспектры (~240 объектов)



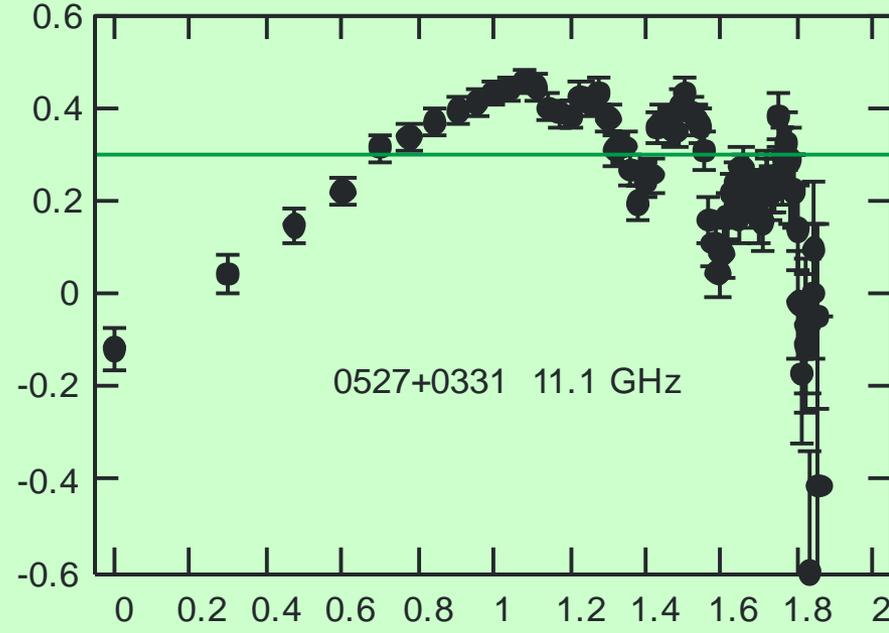
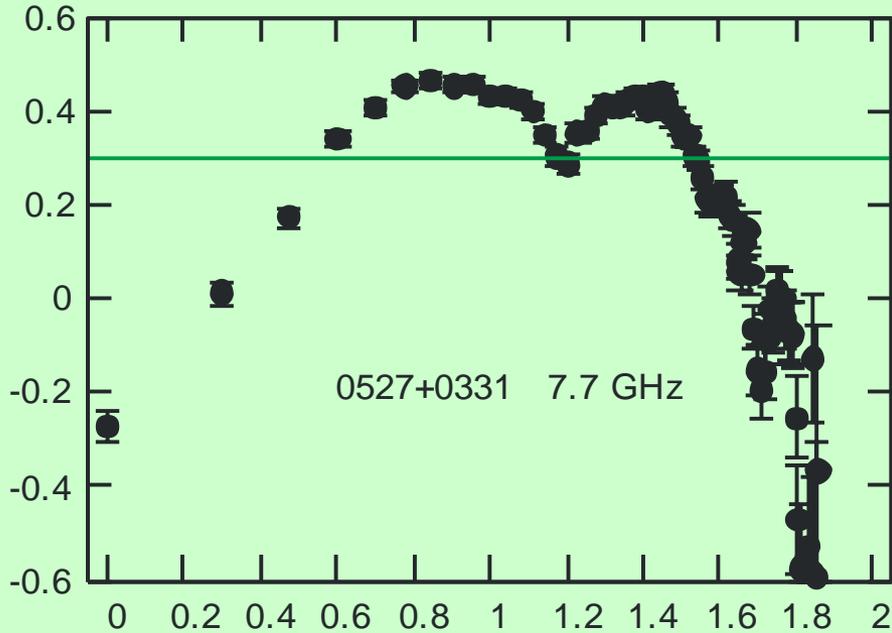
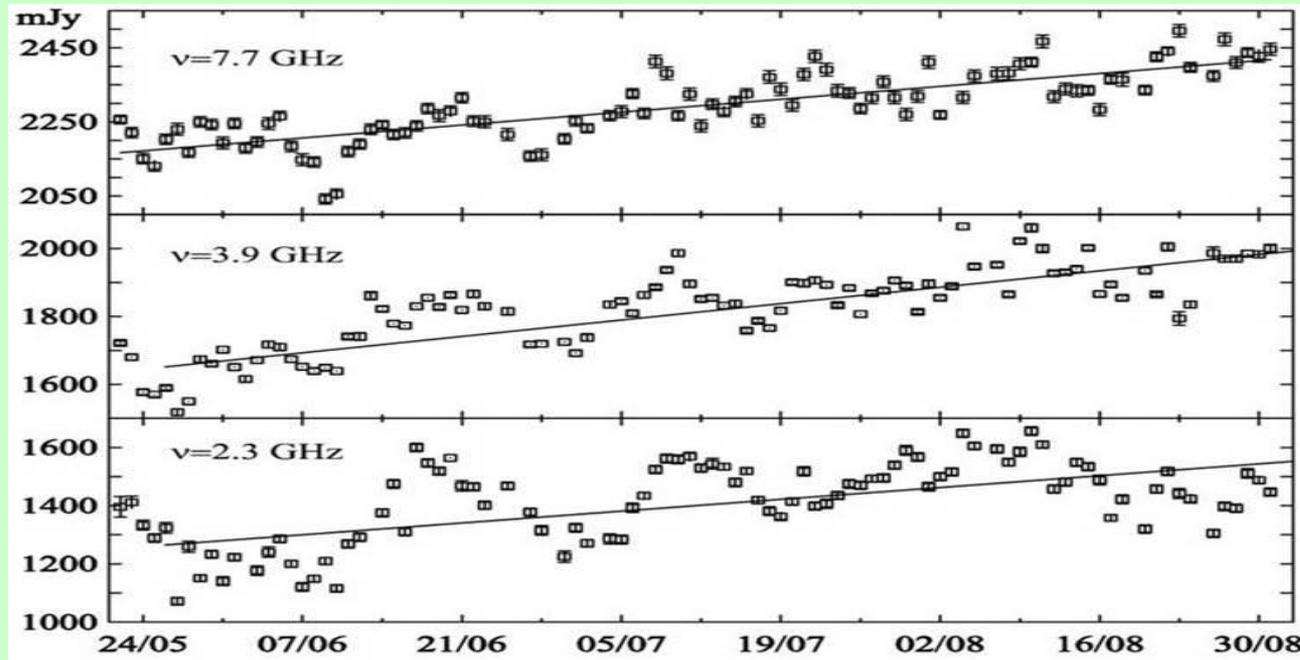
Переменность активных ядер галактик

Исследование долговременных кривых блеска и спектров в разных фазах активности. Получены:

- 1) Индексы переменности;
- 2) Исследованы виды кривых блеска;
- 3) Отобраны источники, перспективные для дальнейших наблюдений их переменности на разных масштабах времени.

Особый интерес представляют источники, кривые блеска которых показывают выделенные вспышки, так как характерное время вспышки дает характеристики излучающей области, линейные и угловые размеры, яркостную температуру.

Обнаружение «недельной» переменности



Генетический код Вселенной

Накоплено с разрешением до 5 сек. дуги на 32 каналах с фокальной решеткой МАРС-3

7800 суточных разрезов неба

Найден способ регистрации поляризации с балансировкой каналов по сильному неполяризованному атмосферному излучению с устранением аномального шума радиометра

Результаты и планы

- Опыт обработки центрального сечения показал, что случайные ошибки оценки анизотропии близки к **нескольким микроградусам**;
- Изучается роль систематических ошибок; Для уменьшения их проводится кросс-корреляционный анализ независимых групп наблюдений;
- Планируется кросс-корреляция данных РАТАН-600 с данными ПЛАНКА для общих масштабов.

Опыт центрального сечения интенсивность РАТАН-600 и ПЛАНК 2012

