



РATAN-600: отчет 2015-1

- 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.

Задачи

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

40 лет первому наблюдению

$\lambda = 4 \text{ см}$

PK S 05 21-36

12 VII 74

$T_s = 0.42 \text{ K}$ - NOAA



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:

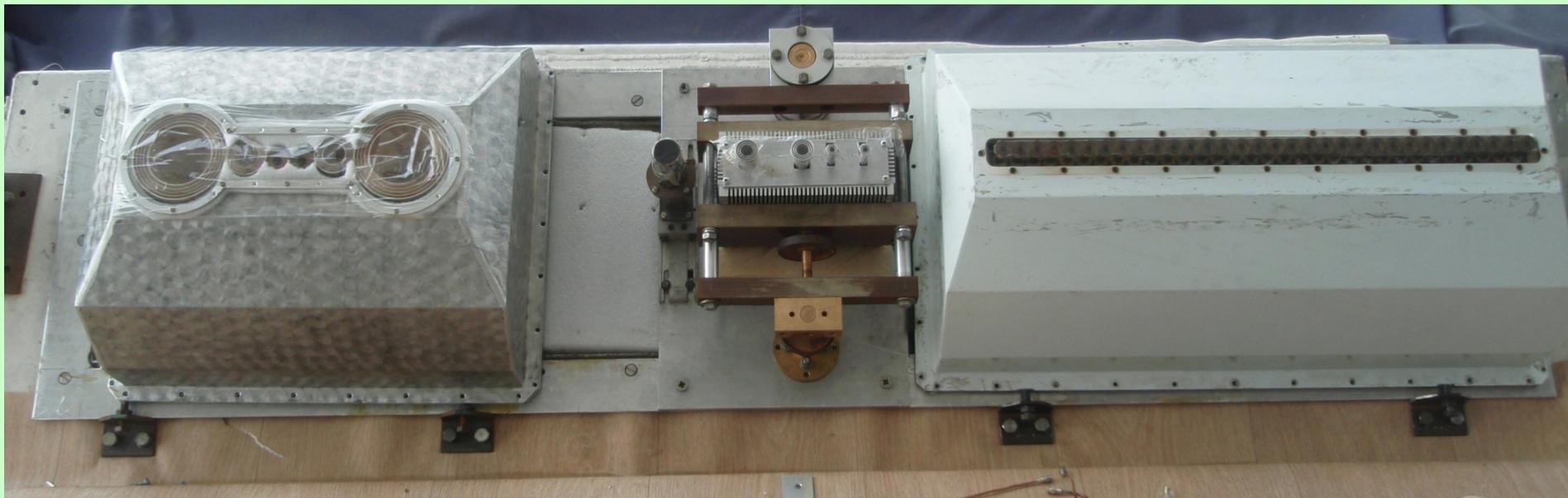
- континуум;
- спектральные наблюдения;
- и Солнце.

Основной комплект радиометров континуума
установлен на Облучателе 1;
круглосуточно используется в наблюдениях.

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

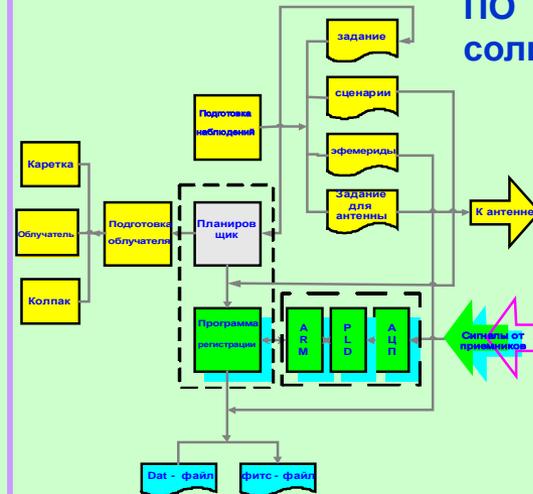


Солнечный комплекс

Основные параметры СПКВР

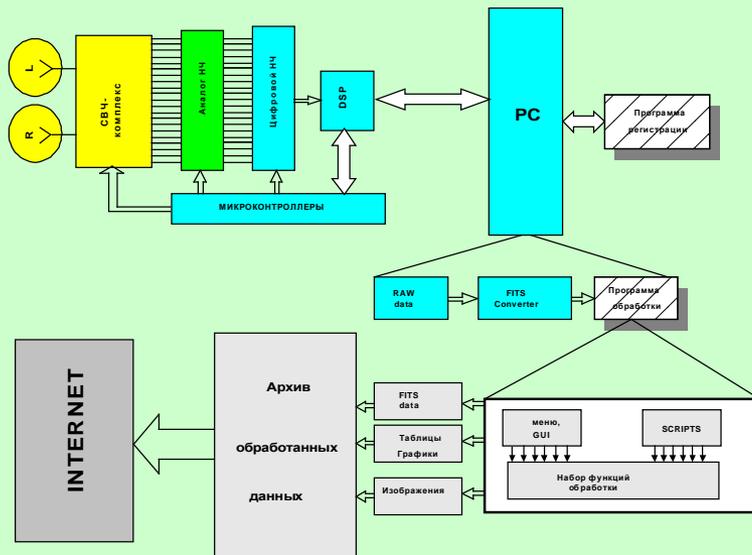
- Частотный диапазон: 0.75 ГГц – 18 ГГц
- 1. Число каналов: 112
- 2. Спектральное разрешение: 1% и 100 МГц
- 3. Скорость регистрации: 0.0025 сек/ 112 кан.
- 4. Шумовая температура: 300К
- 5. Динамический диапазон: > 100000
- 6. Межканальная развязка: > 20 дБ
- 8. Скорость переключения RH и LH поляризаций: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

ПО солнечного комплекса

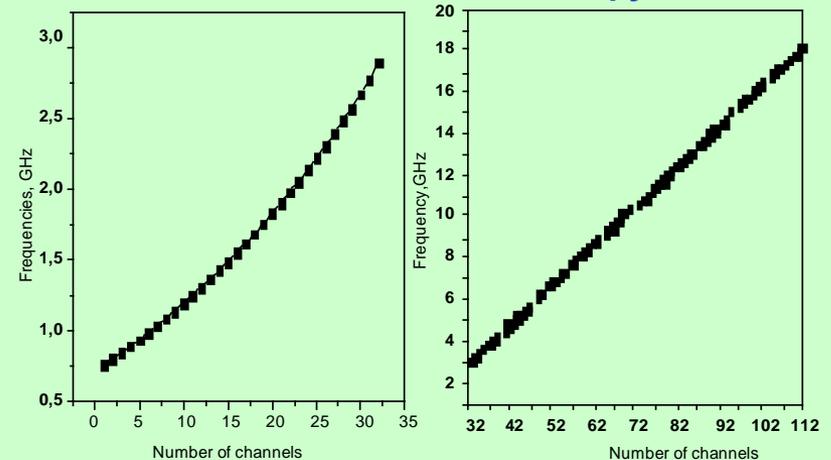


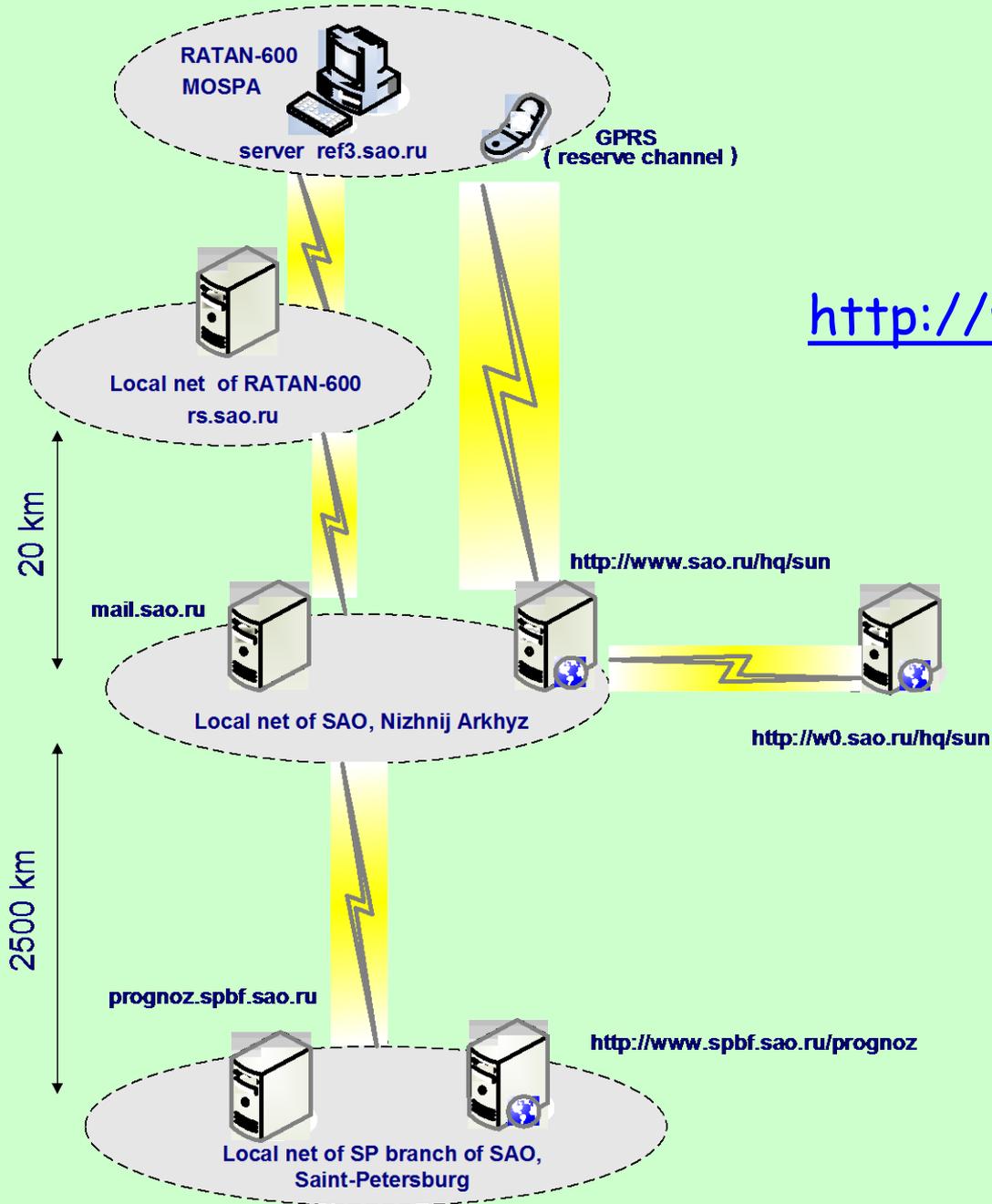
Система регистрации выработывает данные, которые преобразуются в FITS - формат, и в течение нескольких минут после завершения наблюдения данные автоматически по сети Интернет (оптоволокно, GPRS) переносятся на специализированный сервер prognoz.spbf.sao.ru в Санкт-Петербурге.

Блок-схема приемного комплекса



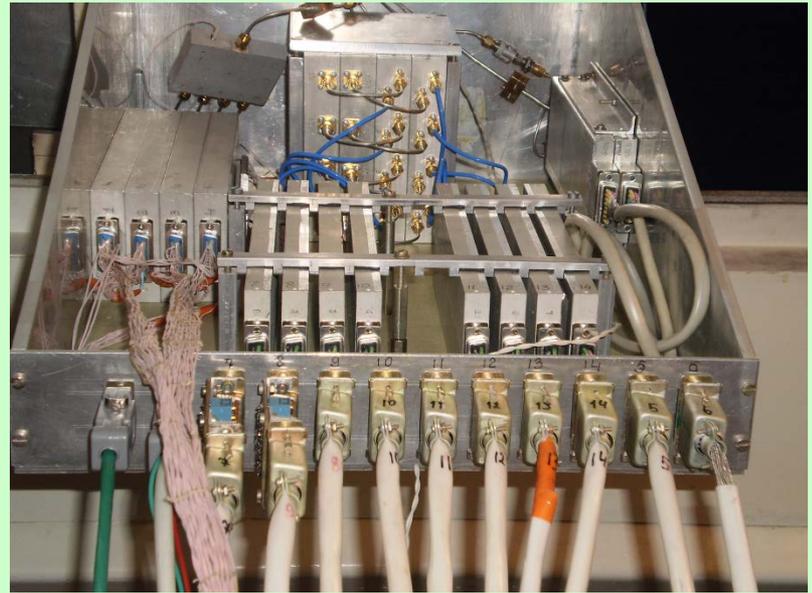
Расположение 112 частот по спектру 0.75-18 ГГц





Передача данных
 РАТАН-Пулково
 на сайт
<http://www.spbf.sao.ru/prognoz/>

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



Вкратце о резултатах
за 1-ое полугодие 2015 г.

Облучатель 1 (континуум)

- Запланировано: 13921 наблюдений
- Проведено: 12422
- Потери: 1499 (10.8 %)

в том числе:

- Погода 1278 (9.2 %)
- Антенна 105 (0.8 %)
- Аппаратура 52 (0.4 %)
- Прочее 64 (0.4 %)

Облучатель 2 (МАРС-3, ЭРИДАН)

- Запланировано: 12528 наблюдений
- Проведено: 11207
- Потери: 1321 (10.5 %)

В ТОМ ЧИСЛЕ:

- погода 1155 (9.2 %)
- антенна 75 (0.6 %)
- аппаратура 60 (0.5 %)
- прочее 31 (0.2 %)

Солнечный комплекс

- Запланировано: 1826 наблюдений
- Проведено: 1744
- Потери: 82 (4.5 %)
 - в том числе:
 - погода 60 (3.3 %)
 - аппаратура 19 (1.0 %)
 - прочее 3 (0.2 %)

Некоторые научные результаты последних лет

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).

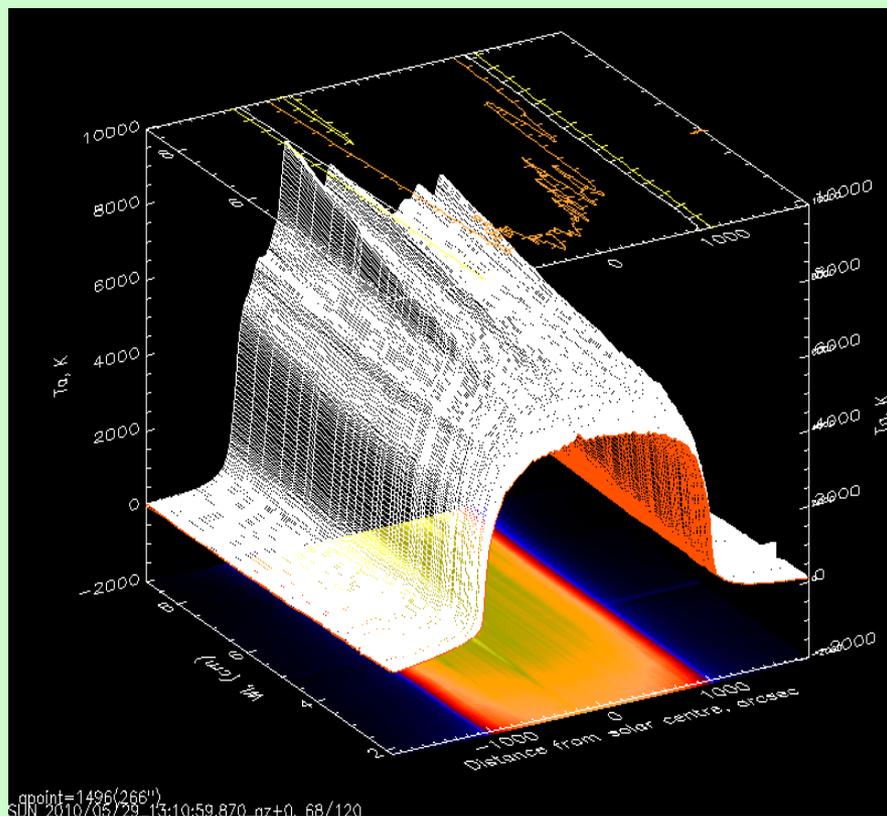
2. Активные ядра галактик: многоцелевые мониторинги по исследованию переменности на разных временных масштабах от дней до лет.

3. Галактика (ОСН, рентгеновские источники, микроквazarы)

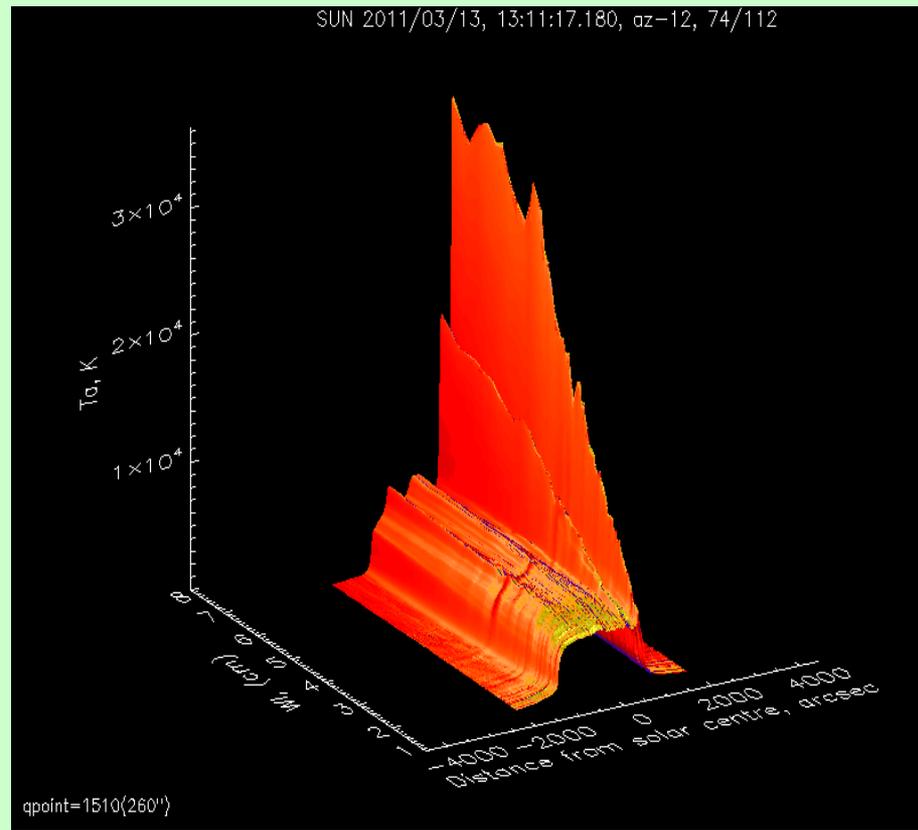
- Исследования Солнца;
- Галактика в линиях;
- Спектрально-пространственные флуктуации CMBR.

Примеры регистрации широкодиапазонных спектров на стадии роста активности

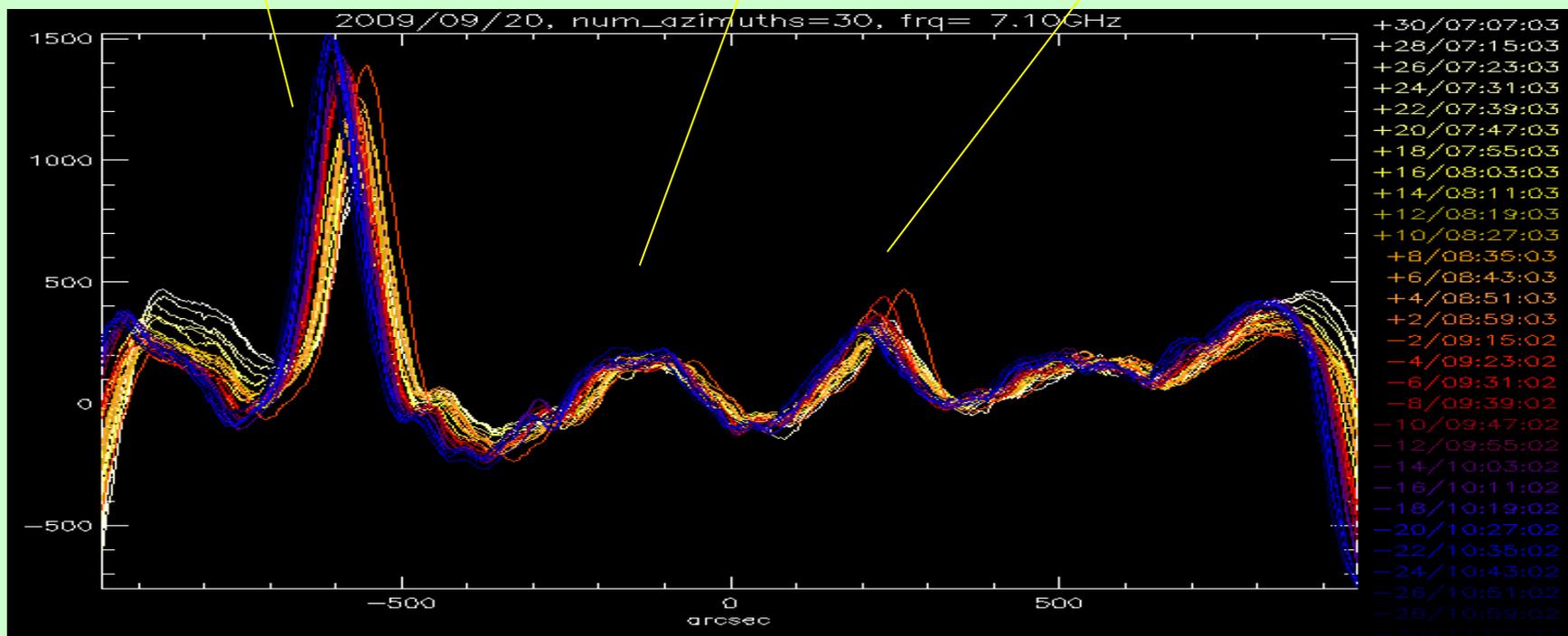
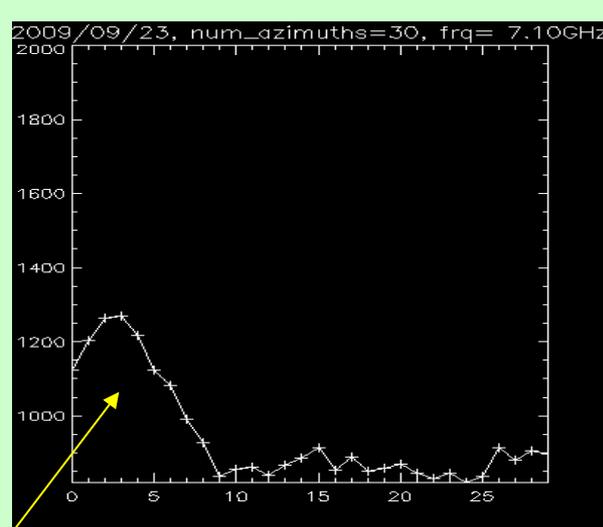
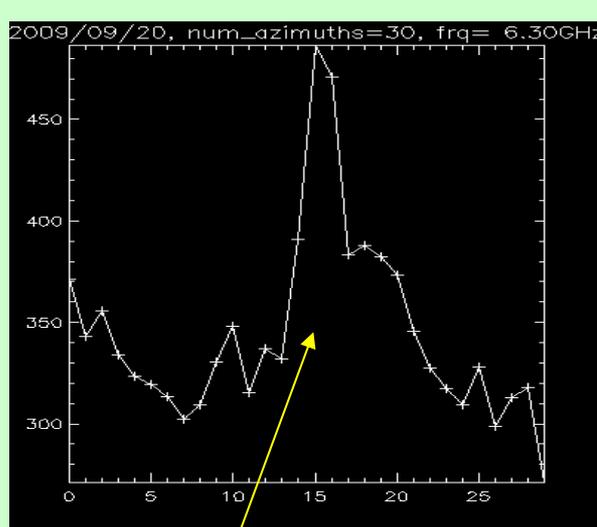
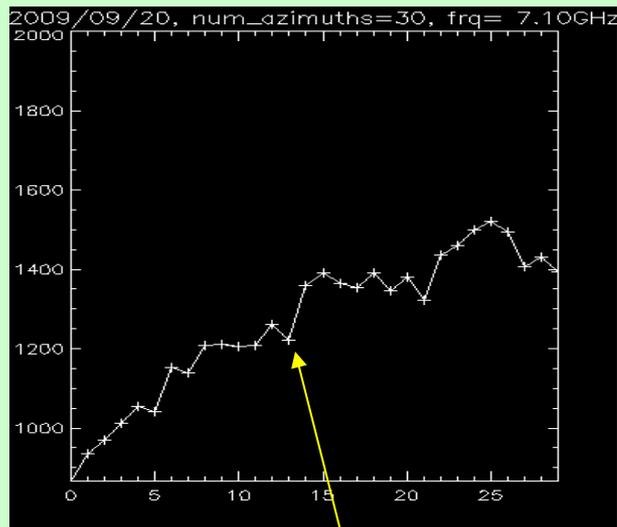
Спокойное Солнце



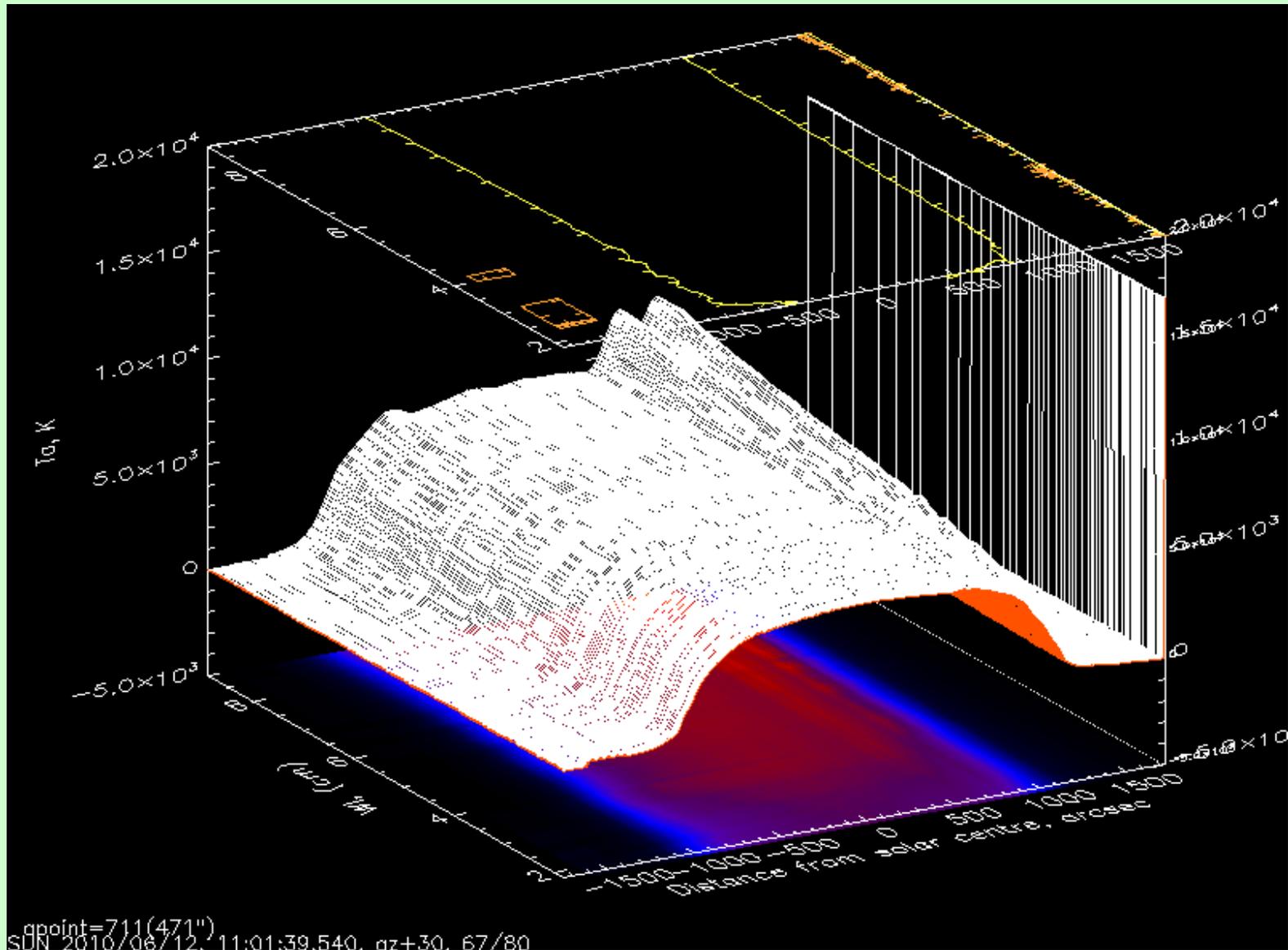
Активное Солнце



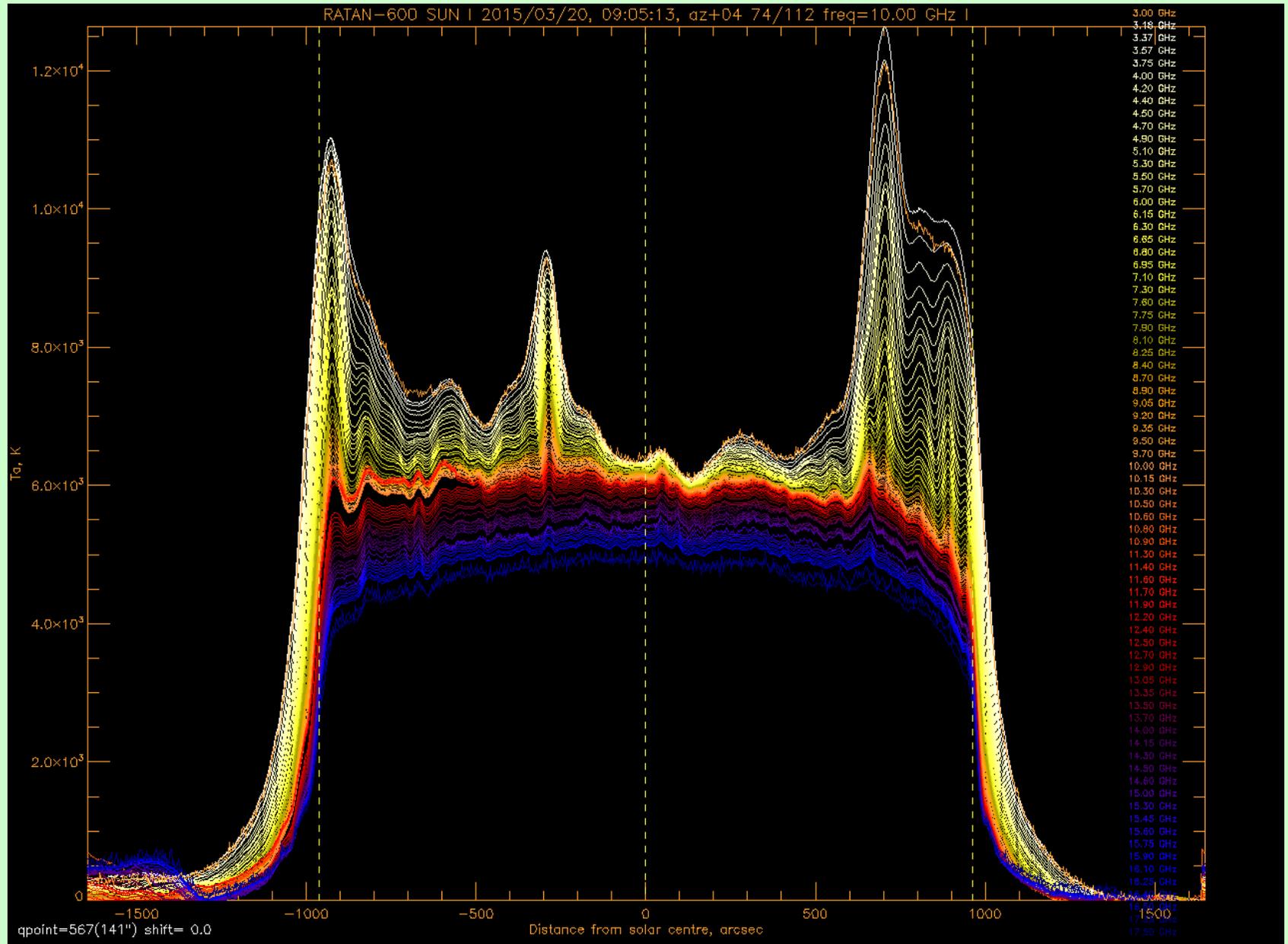
ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛАБЫХ ОБЪЕКТОВ НА СОЛНЦЕ (многоазимутальный режим)



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

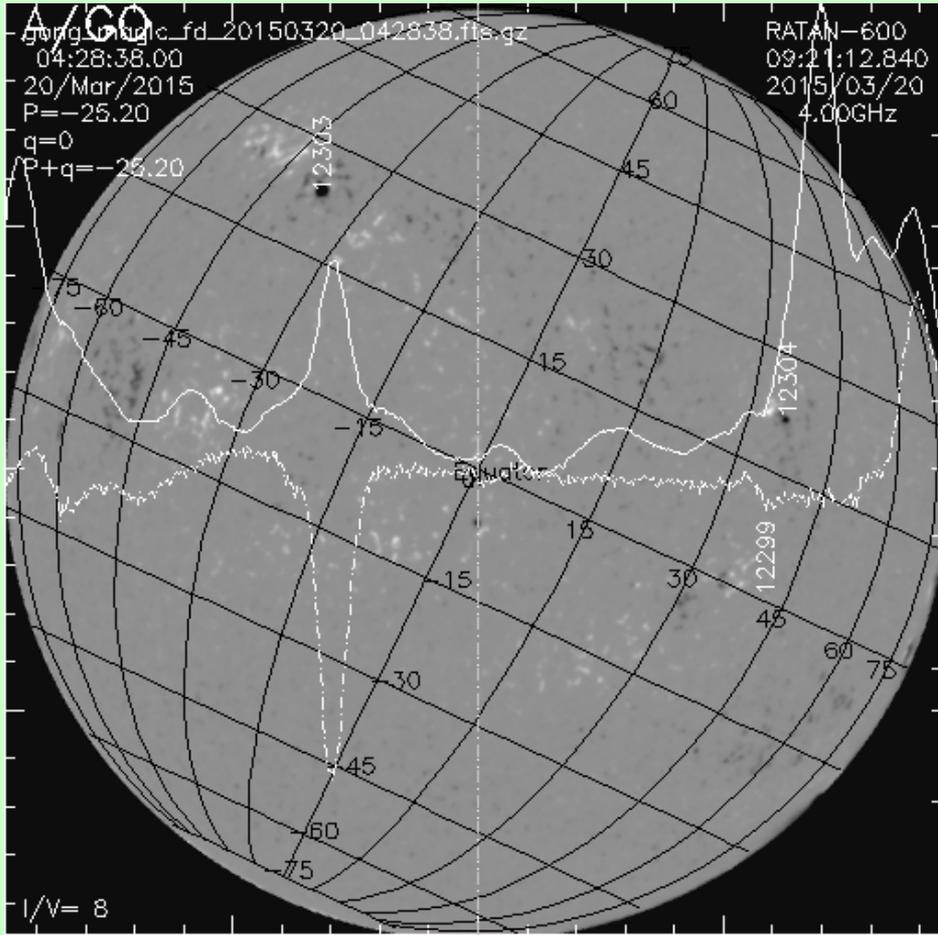


Eclipse 20 March 2015 RATAN-600

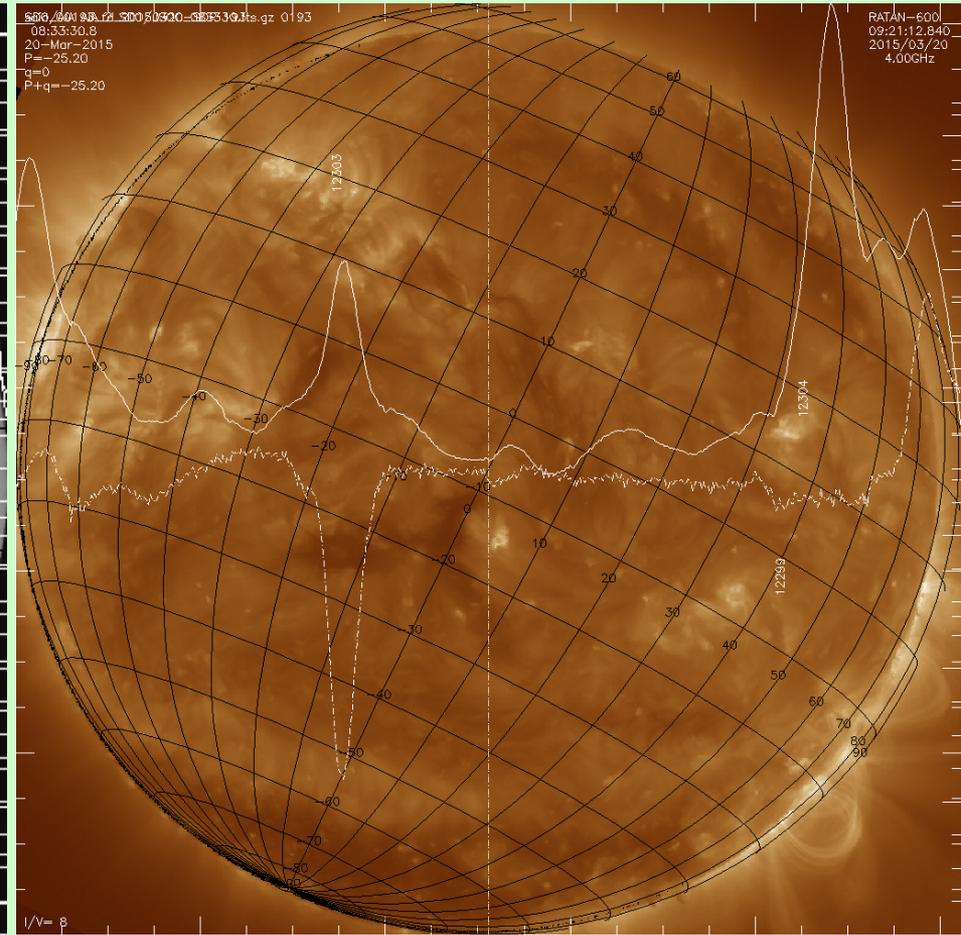


NOAA 12297 and 12303 20.03.2015

НАБЛЮДЕНИЕ ЧАСТНОГО ЗАТМЕНИЯ 20 МАРТА 2015г.



RATAN-600 (@4.0 GHz) Stokes I&V + GONG
Magnetogram



RATAN-600 (@4.0 GHz) Stokes I&V + SDO AIA
171A

ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ NOAA12297

Tanaka-Enome big flares prediction criterion (Flux 3 cm >10 sfu, Flux 3cm/Flux 10 cm >1):

today NOAA ARs: 2297

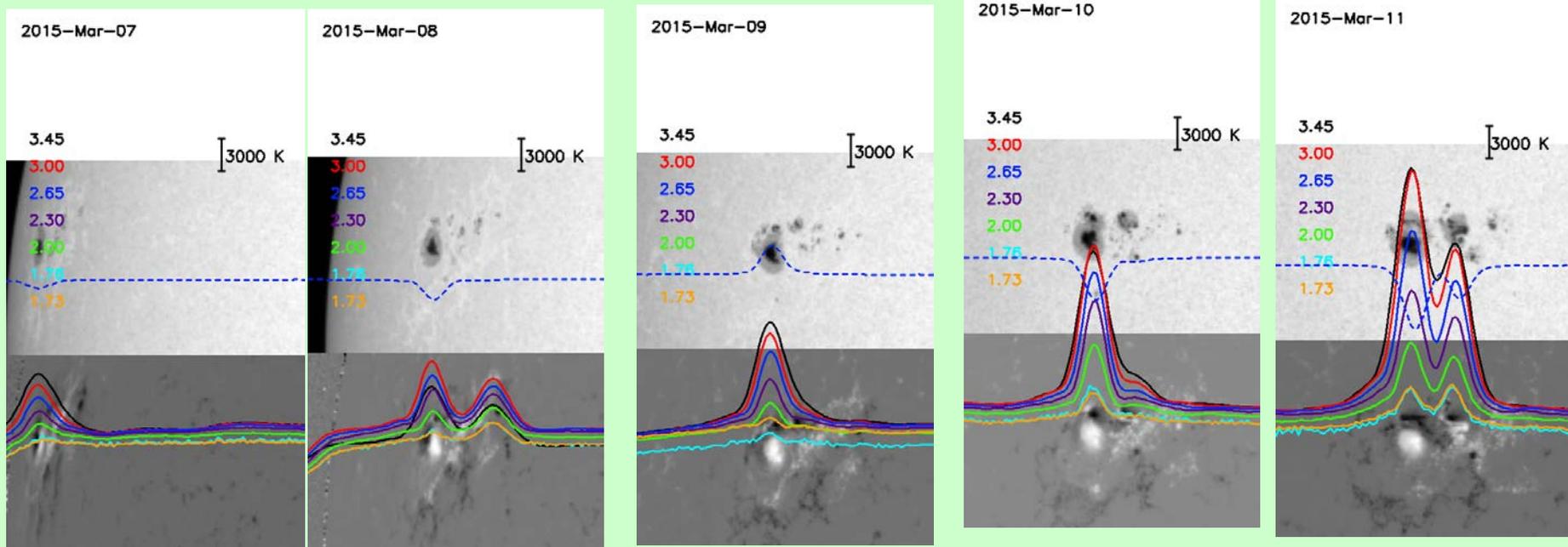
Time	az	NOAA AR	x pos	y pos	flux 3cm	flux 3cm corr	flux 10cm	flux 10cm corr	Pol	location	area	prognosis	spi	x1	x2	dx	q
07:23:27	+30	2297	-423	-0.1	43.90	43.90	14.20	14.20	S	S16E26	280	positive	0.00	-556	-261	295	
07:31:28	+28	2297	-423	-0.1	48.80	48.80	14.90	14.90	S	S16E26	280	positive	0.00	-631	-239	392	
07:39:30	+26	2297	-447	-0.1	47.00	47.00	15.60	15.60	S	S16E26	280	positive	0.00	-544	-252	292	
07:39:30	+26		-568	0.0	2.80	2.80	1.40	1.40	P		0	negative	0.00	-782	-544	238	
07:47:31	+24	2297	-435	-0.1	39.00	39.00	15.30	15.30	S	S16E26	280	positive	0.00	-578	-198	380	
07:55:32	+22	2297	-415	-0.1	63.50	63.50	20.80	20.80	S	S16E26	280	positive	0.00	-641	-176	465	
08:03:33	+20	2297	-444	-0.1	52.20	52.20	21.00	21.00	S	S16E26	280	positive	0.00	-613	-224	389	
08:11:34	+18	2297	-450	-0.1	44.70	44.70	20.00	20.00	S	S16E26	280	positive	0.00	-613	-230	383	
08:19:35	+16	2297	-447	-0.0	44.20	44.20	19.50	19.50	S	S16E26	280	positive	0.00	-673	-249	424	
08:27:36	+14	2297	-445	-0.0	40.30	40.30	17.60	17.60	S	S16E26	280	positive	0.00	-795	-224	571	
08:35:37	+12	2297	-453	-0.0	33.80	33.80	15.90	15.90	S	S16E26	280	positive	0.00	-773	-309	464	
08:43:38	+10	2297	-450	-0.0	31.40	31.40	13.60	13.60	S	S16E26	280	positive	0.00	-591	-280	311	
08:51:39	+8	2297	-449	0.0	29.20	29.20	13.70	13.70	S	S16E26	280	positive	0.00	-704	-249	455	
08:59:40	+6	2297	-453	0.0	26.90	26.90	11.10	11.10	S	S16E26	280	positive	0.00	-613	-274	339	
09:07:41	+4	2297	-455	0.0	24.60	24.60	11.10	11.10	S	S16E26	280	positive	0.00	-588	-280	308	
09:15:42	+2	2297	-446	0.0	22.80	22.80	10.40	10.40	S	S16E26	280	positive	0.00	-585	-243	342	
09:23:43	0	2297	-445	0.0	24.80	24.80	10.10	10.10	S	S16E26	280	positive	0.00	-566	-274	292	
09:31:44	-2	2297	-442	0.0	22.30	22.30	9.30	9.30	S	S16E26	280	positive	0.00	-560	-274	286	
09:39:45	-4	2297	-437	0.0	21.90	21.90	9.20	9.20	S	S16E26	280	positive	0.00	-611	-259	352	
09:47:46	-6	2297	-439	0.0	22.30	22.30	9.50	9.50	S	S16E26	280	positive	0.00	-582	-255	327	
09:55:47	-8	2297	-434	0.1	21.50	21.50	9.70	9.70	S	S16E26	280	positive	0.00	-548	-237	311	

WARNING! Big flare is probable within the next 3 days from selected date (20150311)!

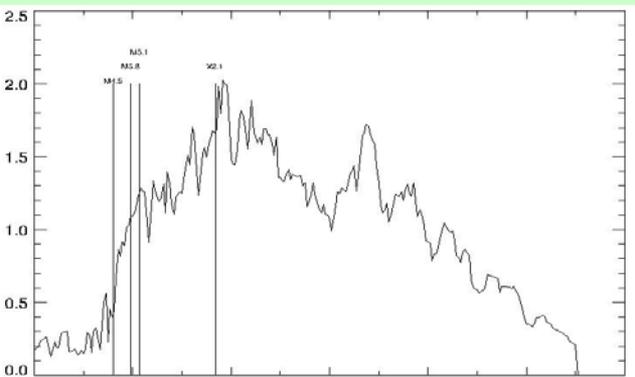
Check also the [polarization configuration](#).

www.spbf.sao.ru/prognoz/ (S. Tokhchukova et al.)

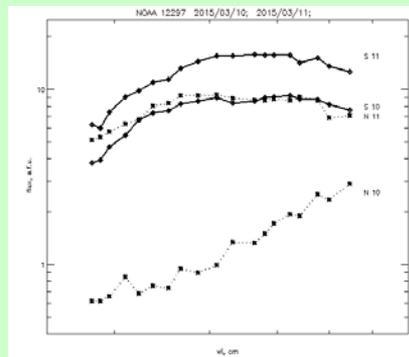
Эволюция микроволнового излучения и магнитографических характеристик активных областей Солнца перед большими вспышками, ГАО Боровик В.Н.



За два дня до вспышки X2.1 в АО 12227 по данным РАТАН-600 зарегистрировано появление и развитие нового микроволнового источника над участком с максимальным градиентом магнитного поля, где в последующем 11 марта 2015 в 16:55 UT произошла X-вспышка.



Развитие градиента магнитного поля (SDO) в АО 12227, март 2015



Спектры потоков микроволновых источников 10 и 11 марта 2015

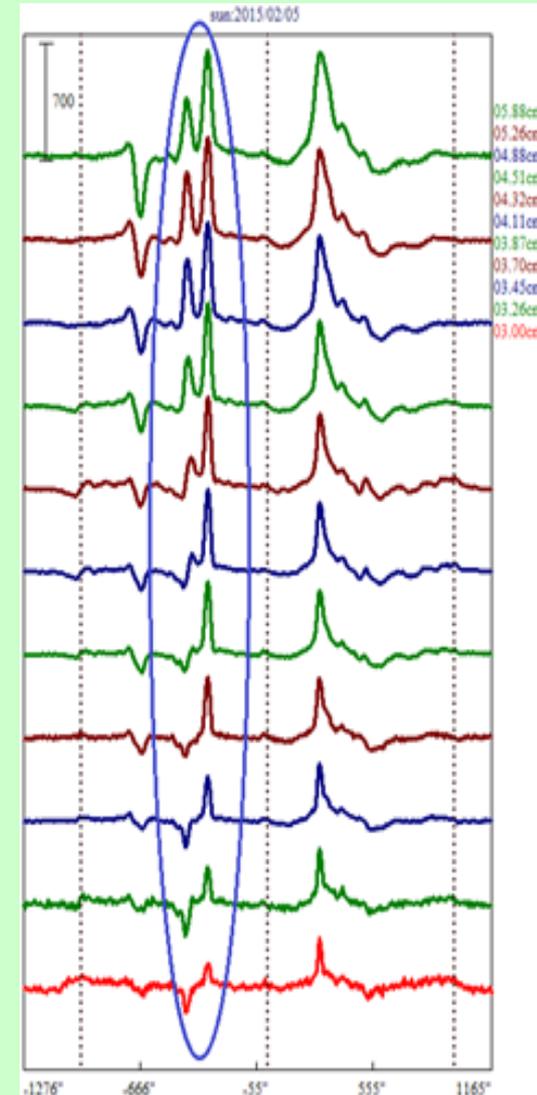
Продолжен цикл работ авторов (Боровик В.Н., Абрамов-Максимов, В.Е., Опейкина Л.В., Тлатов А.Г) по исследованию предвестников больших вспышек по данным РАТАН-600 и SDO/HMI (Solar Phys., 2015, v. 290, p.53-77; Геомагнетизм и Аэронаом. 2015. т.8)

Инверсия поляризации горячего источника над пятном с дельта-конфигурацией , Кальтман Т.И.

В компактной активной области AR 12280 с низко расположенными петлями (193 А) зарегистрирована инверсия поляризации над пятном с дельта-конфигурацией магнитного поля. Инверсия наблюдалась с небольшим сдвигом критической частоты f_c по частотному диапазону в зависимости от времени, согласно наблюдениям в азимутах. Оценка магнитного поля источника по циклотронному излучению 450 Г. По наблюдаемому значению $f_c=7.1$ ГГц согласно формуле (1) для распространения излучения в квазиперечных полях инверсия произошла в низкорасположенных петлях на 50-70 Г. Близость источника к горячему участку (до 10 млн К по данным SDO 131 А) также позволяет предположить наличие токового слоя.

05 февраля 2015
PATAN-600

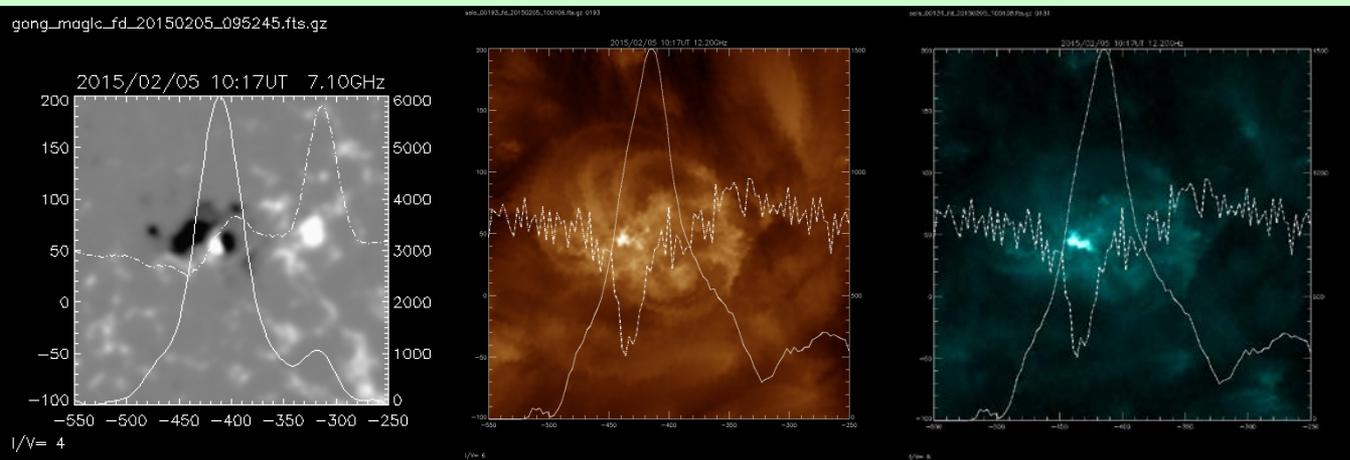
$$f_c \approx \left(2 \cdot 10^{17} N B_0^3 \frac{1}{\left| \frac{d\theta}{dz} \right|} \right)^{1/4} \quad (1)$$



GONG магнитограмма, 7.1 GHz

SDO 193 A, 12.2 ГГц

SDO 131 A, 12.2 ГГц



Web-страница прогноза солнечной активности

RATAN-600 solar observati... x

www.spbf.sao.ru/cgi-bin/ion-p?page=rat_search.ion

RATAN-600 data analysis **HELP**

Date [2013] [02] [06] Az [0] Stokes [I] Units [T_a] Type [group] Xrange [Auto] Freq [7.1] GHz Wx [800] Wy [600] ColorT [STD GAMMA-II] [1]

Subtract QSun [None] Additional Parameter [none] [0]

Mark LS Sub.next no lows PS no Plot Align [overplot] [single] Overplot [Weekly] [0] [Monthly] [week]

NOAA ARs for today: 1665 1667 1669

Time	az	NOAA AR	x pos	y pos	flux 3 cm	flux 3 cm corr	flux 10 cm	flux 10 cm corr	location	area	proton flare prognosis
07:47:49	+24	1665	599	2.9	1.20	1.26	1.60	1.61	N10W31	120	negative
07:47:49	+24	1665	560	2.9	1.30	1.37	1.80	1.82	N10W31	120	negative
07:47:49	+24	1669	-579	4.7	1.80	2.05	2.20	2.26	N08E52	10	negative
07:47:49	+24		-414	0.0	1.70	1.70	2.40	2.40		0	negative
08:37:51	+12	1665	588	2.2	1.50	1.54	1.80	1.81	N10W31	120	negative
08:37:51	+12	1669	-585	5.4	1.50	1.79	2.20	2.28	N08E52	10	negative
08:37:51	+12	1669	-792	5.4	1.60	1.90	2.20	2.28	N08E52	10	negative
08:37:51	+12		-383	0.0	1.40	1.40	2.20	2.20		0	negative
09:27:41	0	1665	575	1.6	2.00	2.03	1.60	1.60	N10W31	120	negative
09:27:41	0	1667	-43	7.8	1.20	1.72	1.90	2.04	N22E14	80	negative
09:27:41	0	1669	-590	6.1	1.50	1.86	2.00	2.09	N08E52	10	negative
09:27:41	0	1669	-801	6.1	1.80	2.23	2.00	2.09	N08E52	10	negative
10:17:31	-12	1665	580	0.9	1.90	1.91	1.80	1.80	N10W31	120	negative
11:07:32	-24	1665	583	0.2	1.90	1.90	1.40	1.40	N10W31	120	negative

No proton flares are expected for the next 3 days.
No information on flares for this day: 2013-02-06 and the next 3 days.

Информация

Выберите азимут, и нажмите одну кнопку (Plot, Azimuths, Gauss, Summary, Weekly, и т.д.). Для возврата на предыдущую страницу и загрузки списка азимутов на другую дату, нажмите гиперссылку "<<" справа от даты и азимута.

Сканы и спектры

По кнопке **Plot**, в нижнем левом окне будет выведено изображение скана на всех частотах на выбранную дату и азимут. В выпадающем списке **Stokes** можно выбрать параметры, которые будут отображены - I, V, R, L, а также степень поляризации p, и их пары. Способ графического представления (одномерные сканы на одной волне (single), их наложение (group, vertical), двумерные цветные и контурные карты (map, contour), трехмерные поверхности (surface, 3D) можно выбрать в выпадающем списке **Type**. В таких режимах как array, vertical array и др. следует задавать размеры окна больше, например 2000, и т.п. в зависимости от желаемого результата.

Над данными выполняются процедуры (кроме режима **Type=Raw data**) первичной обработки. Это удаление неисправных каналов, удаление записей ПШ, калибровка, преобразование R&I->I&V, коррекция центра Солнца, и др.

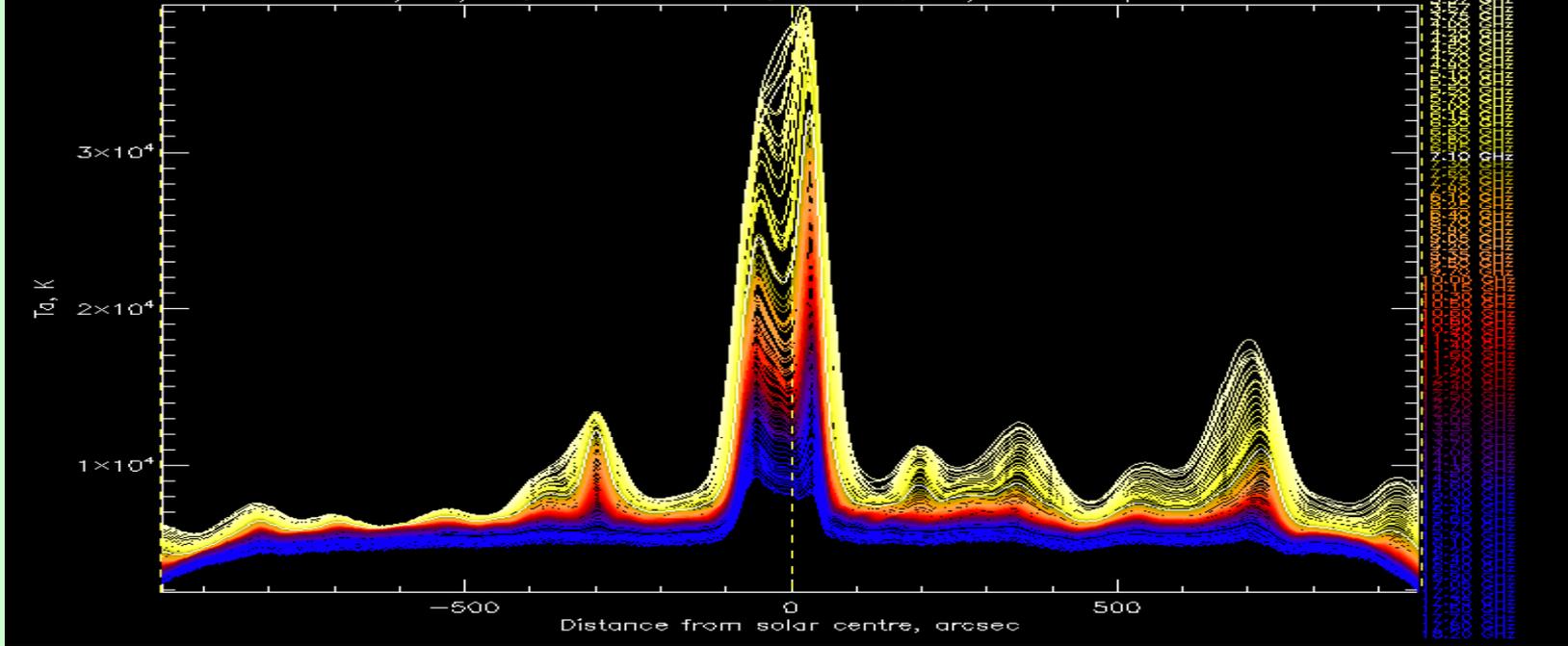
При выборе значения поля **Subtract QSun** отличным от None, будет выполнено вычитание уровня спокойного Солнца (возможно тремя разными алгоритмами). Качество проведения уровня спокойного Солнца может быть проконтролировано в режиме просмотра **Type=I-qsun temp**. Если выбран **Type=single**, спокойное Солнце будет вычтено только на одной выбранной волне.

По ссылкам внизу изображения полученный результат можно скачать в формате FITS. Также все полученные изображения можно сохранять. Для этого надо провести мышью на изображении, нажать правую кнопку, и выбрать меню "Сохранить рисунок как..." (стандартная процедура для всех браузеров).

В режимах, когда сканы представлены в размере диска Солнца (**xrange=disksize**), и размер изображения (**Wx**) по ширине равен 800, при клике мышкой на скане, в правом окне будет построен локальный спектр антенной температуры (либо другого параметра, выбранного в поле **Spectra**) в интенсивности и круговой поляризации выбранной точки на скане (отслеживается только координата x). Параметры спектра можно задать в полях над изображением в левом окне - размер изображения, единицы по оси x (частота или длина волны), логарифмическая шкала, и т.д. Если отметить чекбокс **All sources**, будут выведены спектры всех найденных на скане источников.

В начало | Обзор | Поиск в БД | Анализ | Архив 2 | Архив 1 (внутр. доступ) | ДНА | EFRAT | К моделированию >> | Solarmonitor | Eng >>

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

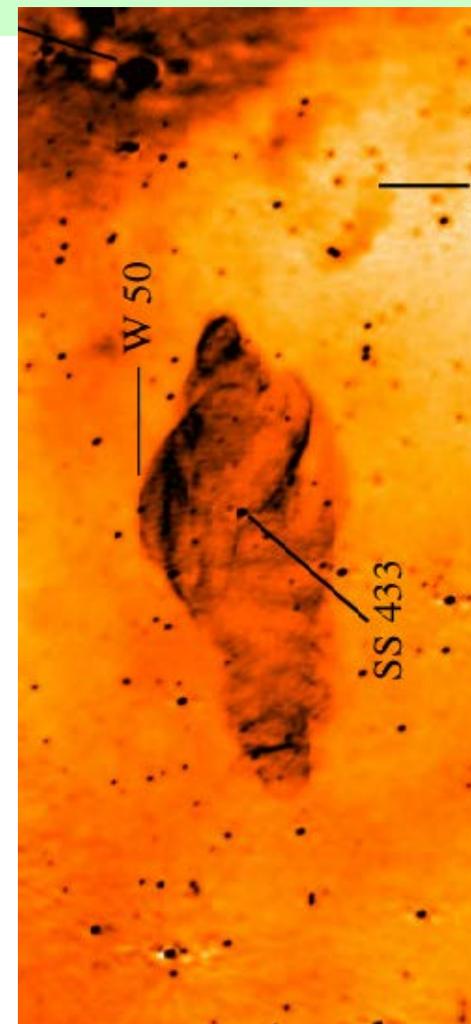
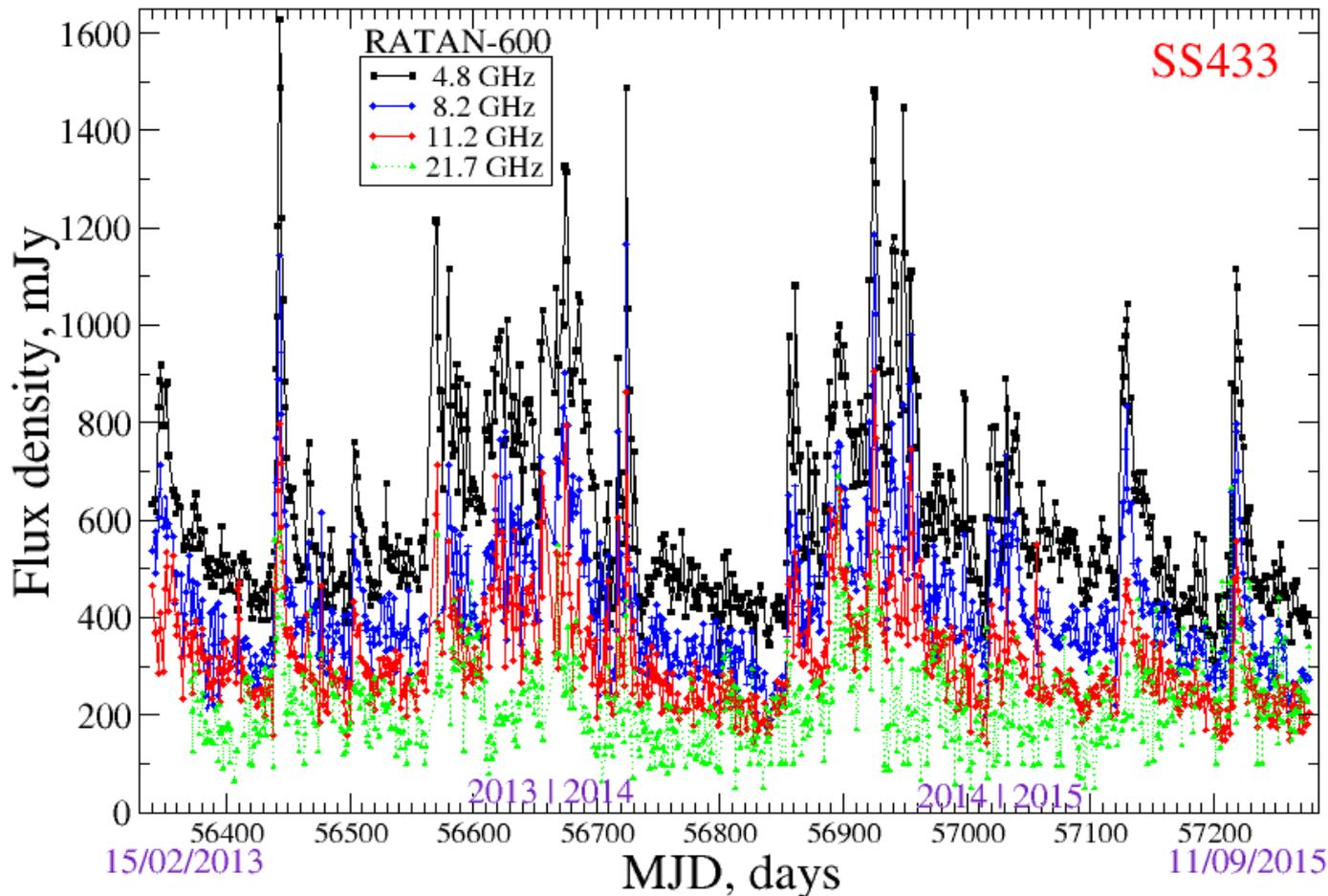


**Tanaka-Enome proton flares prediction criterion
 Flux 3 cm >10 sfu, Flux 3cm/Flux 10 cm >1)**

NOAA ARs for today: 1689 1691 1692 1695 1696 1698

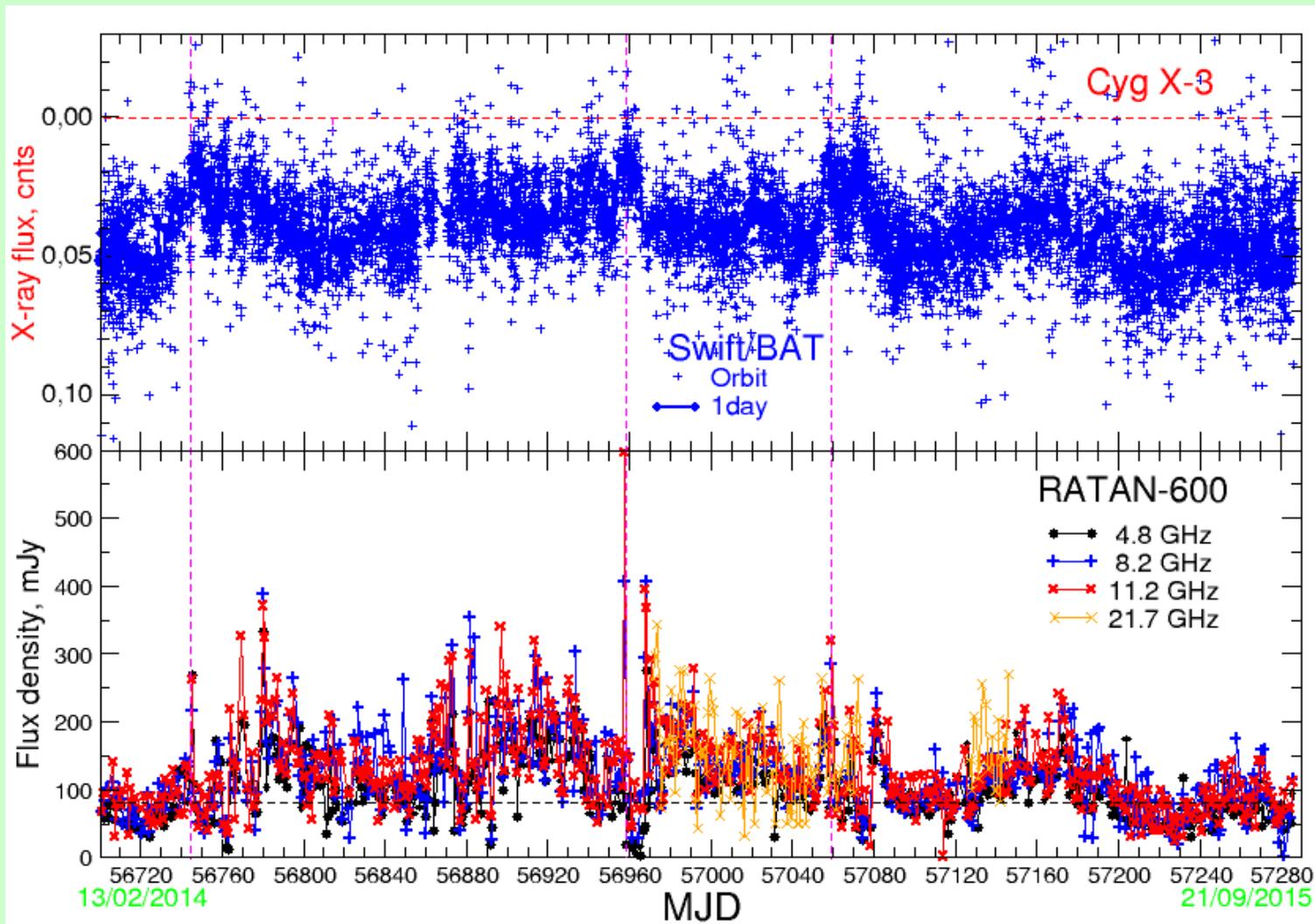
Time	az	NOAA AR	x pos	y pos	flux 3 cm	flux 3 cm corr	flux 10 cm	flux 10 cm corr	location	area	proton flare prognosis
07:22:28	+30	1689_1691_1690	719	0.2	1.60	1.60	7.30	7.30	S18W69	30	negative
07:22:28	+30	1692	3	4.4	45.50	51.12	20.80	21.27	N09E09	200	positive
07:22:28	+30	1695	-318	6.6	1.90	2.45	12.20	12.80	N09E31	160	negative
07:30:28	+28	1689_1691_1690	720	0.1	2.00	2.00	6.50	6.50	S18W69	30	negative
07:30:28	+28	1692	-1	4.4	49.40	55.51	18.10	18.51	N09E09	200	positive
07:30:28	+28	1695	-320	6.6	1.30	1.68	10.10	10.61	N09E31	160	negative
07:38:28	+26	1689_1691_1690	720	0.1	2.60	2.60	10.60	10.60	S18W69	30	negative
07:38:28	+26	1692	-9	4.4	53.40	59.93	27.40	28.02	N09E09	200	positive
07:38:28	+26	1695	-285	6.6	2.20	2.84	14.40	15.13	N09E31	160	negative
07:46:28	+24	1689_1691_1690	710	0.1	1.70	1.70	10.70	10.70	S18W69	30	negative

Мониторинг микровазаров SS433



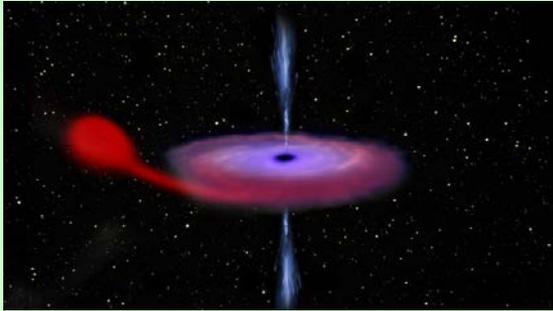
Кривые блеска SS433 в 2013-2015 гг (~1000 дней!) на РАТАН-600 и изображение ОЧ W50 на 140 МГц (LOFAR). Зарегистрированы многие яркие вспышки SS433 и впервые обнаружена корреляция радиоизлучения на метровых и сантиметровых волнах. Кривые блеска вспышек затухают по степенному закону, который соответствует адиабатическому расширению струйного выброса. (Broderick+2015; Трушкин и др.

Мониторинг микроквазаров *Cyg X-3*

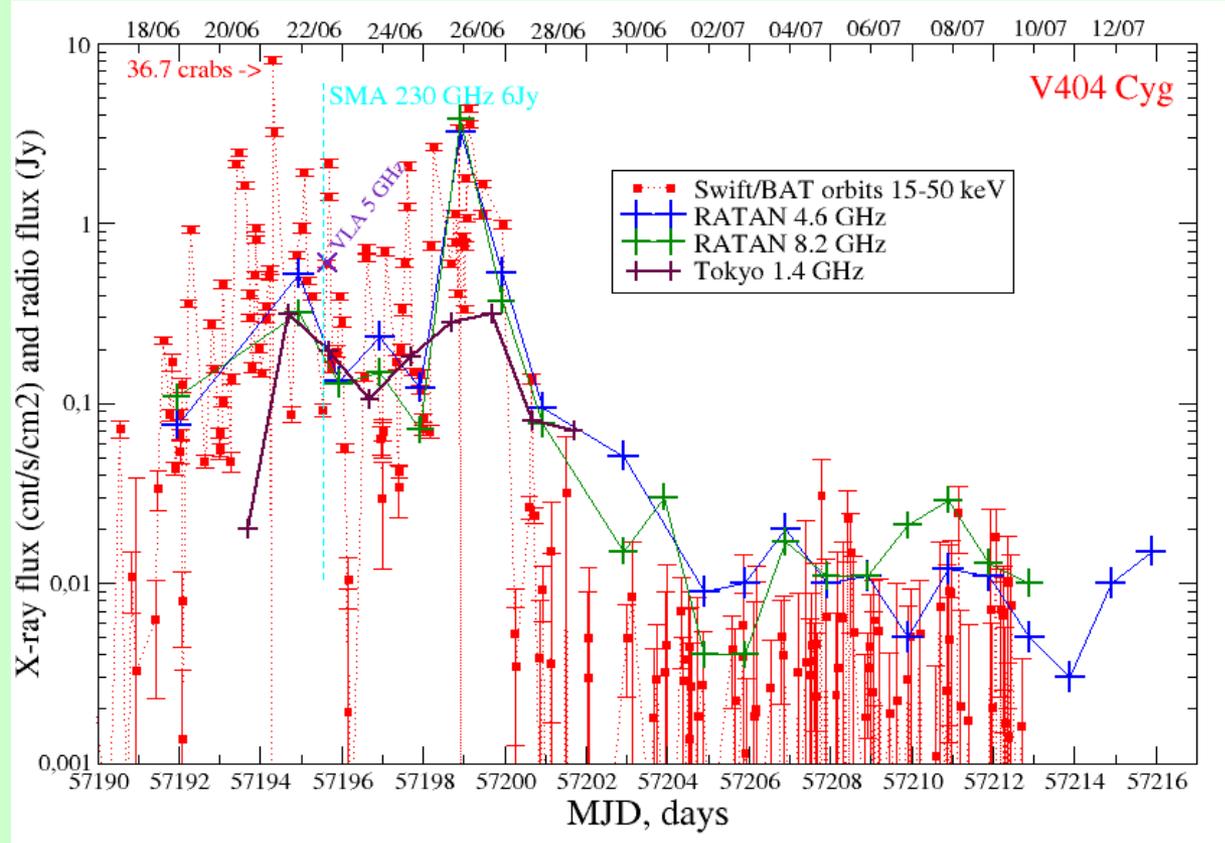


В спокойном состоянии (2014-15 г.) обнаружена **антикорреляция** жесткого рентгена и радиопотока (на верхнем графике поток на 15-50 кэВ растет вниз). Если потоки усреднить по десяти дням, но коэффициент корреляции равен -0.84 ± 0.05 . Механизм такой тесной корреляции пока не ясен (Трушкин и др. 2015).

Микроквазар V404 Cyg проснулся спустя 26 лет

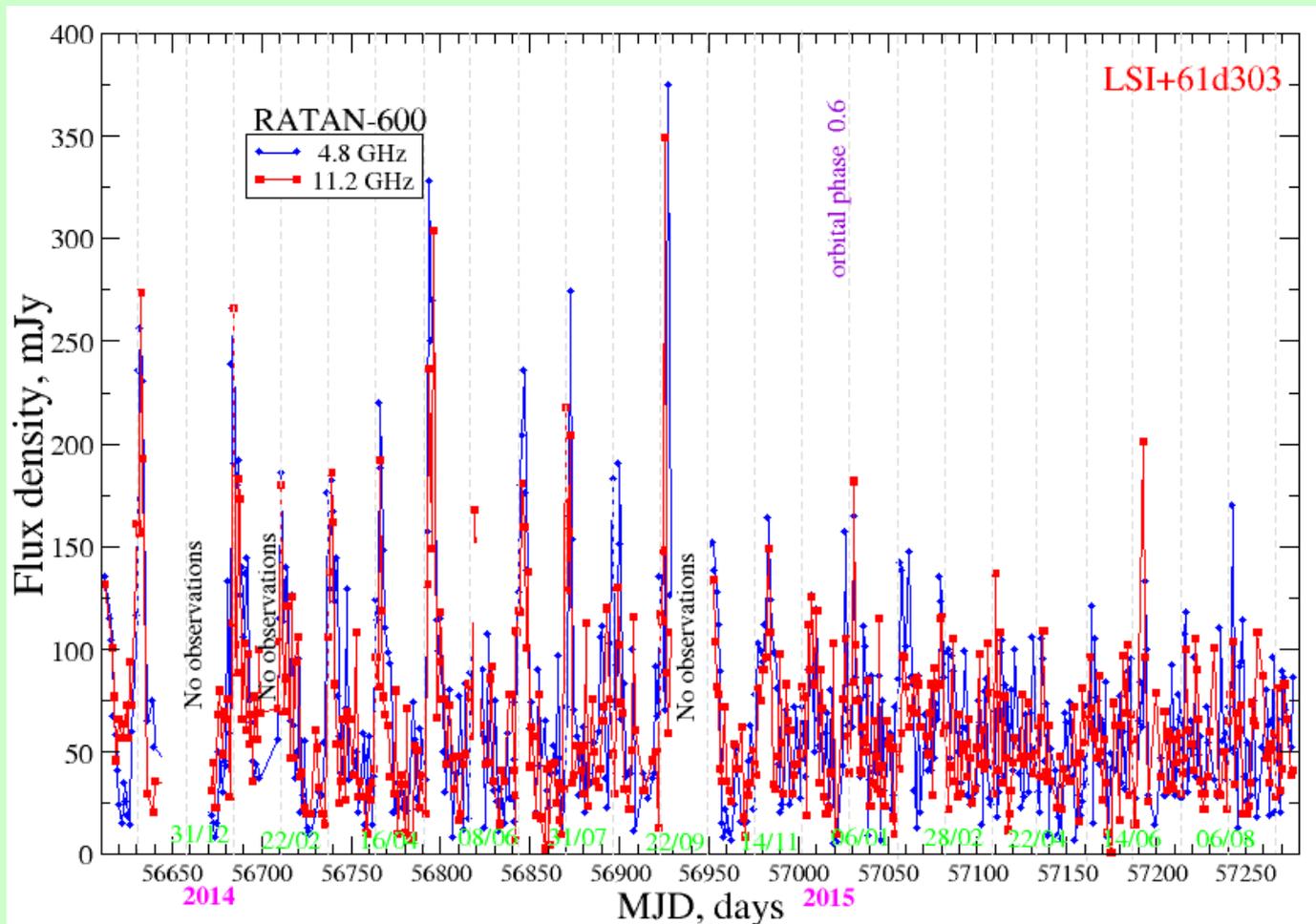


Система состоит из черной дыры с массой $10 M_{\odot}$ и нормальной К-звезды с массой около $0.6 M_{\odot}$ (Черепашук+) на 6.5-дневной орбите ($d=2.7$ крс)



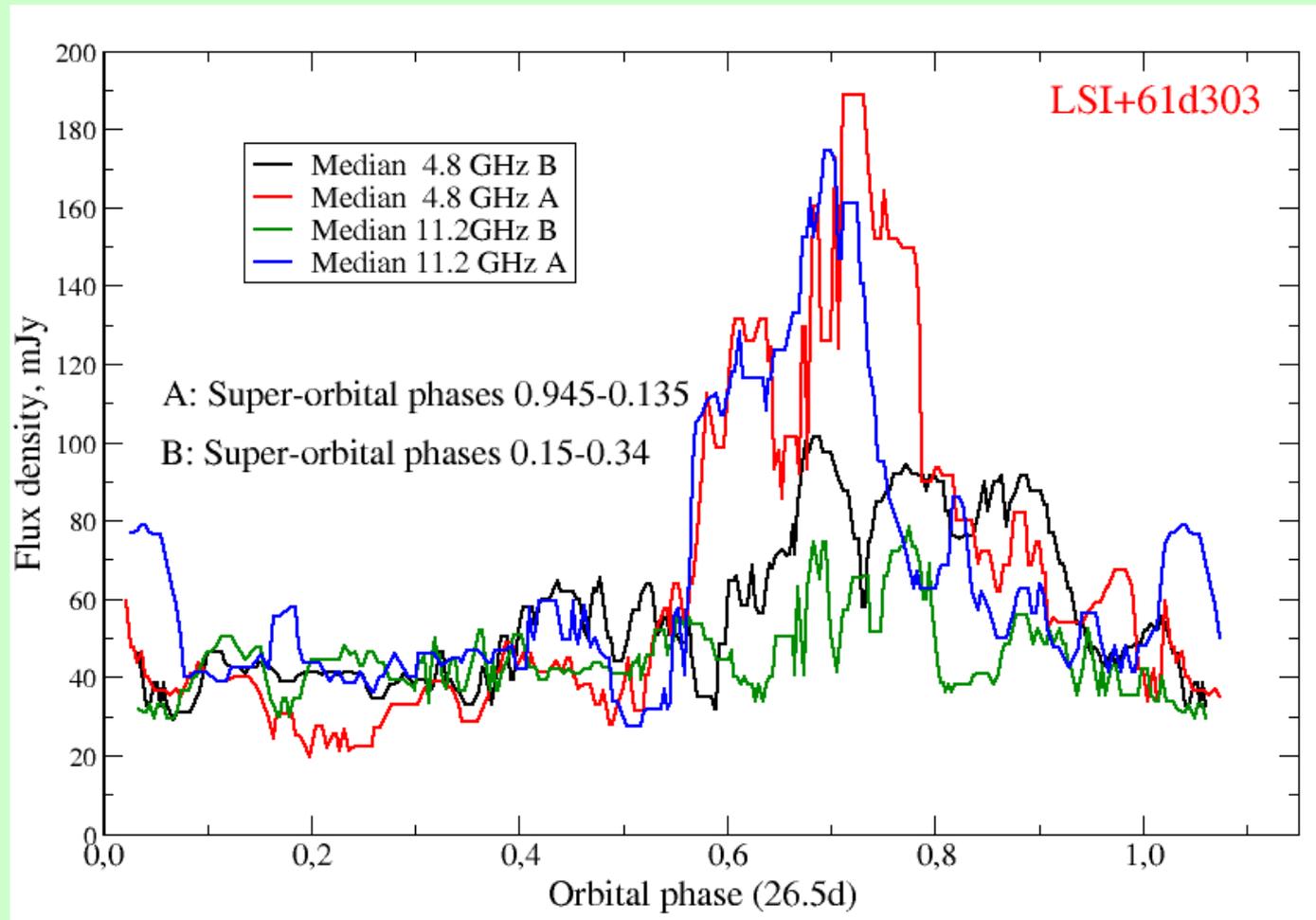
15 июня и 26 июня 2015 года рентгеновский поток V404 Cyg вырос почти 1000 раз, превысив 30 и 40 crabs, на РАТАНе источник детектировался с 18 июня, а 26 июня (2 часа после рентгеновского всплеска) зарегистрирована яркая радиовспышка выше 4 Ян, что соответствует формированию за одни сутки релятивистского струйного выброса из области около черной дыры (Trushkin+ 2015).

Мониторинг микровазаров *LSI+61d303*



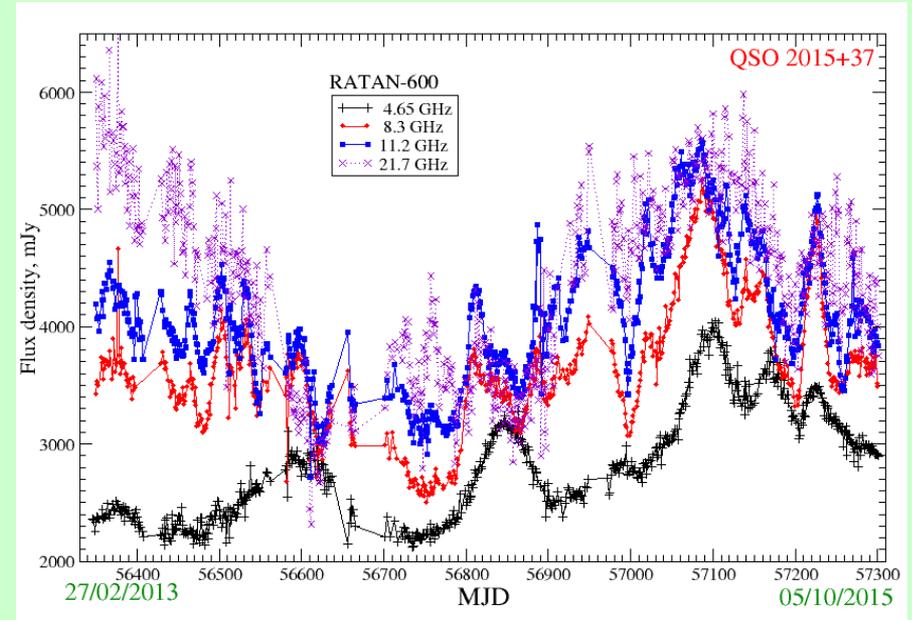
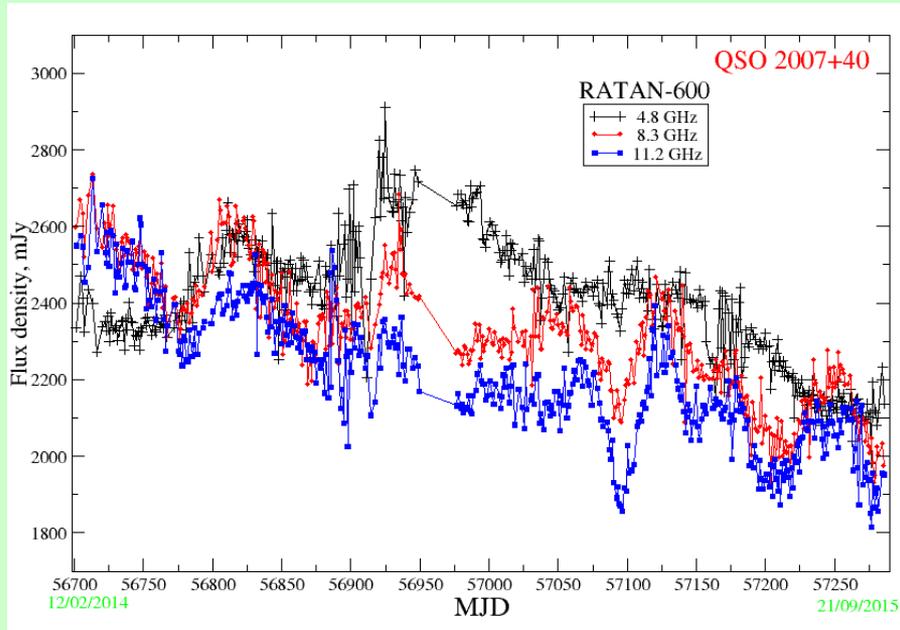
- Кривые радиоблеска микровазара LSI+61d303 в течение 25 орбитальных периода ($P_o=26.5d$). Обнаружена резкая смена яркости (от 250 к 100 мЯн) радиовспышек между фазами 0.945-0.135 и фазами 0.15-0.34 сверх-орбитального периода ($P_s=1667d$). «Сверхзадача» - максимально без пропусков проследить кривые блеска за весь период $P_s \sim 62P_o$ (Трушкин и др.) .

Мониторинг микровазаров LSI+61d303



- Средние кривые радиоблеска LSI+61d303 в течение двух половин цикла. Вероятно, формирование джета резко меняется с фазой сверх-орбитального периода — и максимальный поток вспышки и его орбитальная фаза. Два максимума вспышки объясняются в рамках двух характерных орбитальных фаз максимального темпа аккреции в этой системе с Be звездой в паре с ЧД или НЗ. (Трушкин и др.)

Сравнение микрокварзаров и квазаров



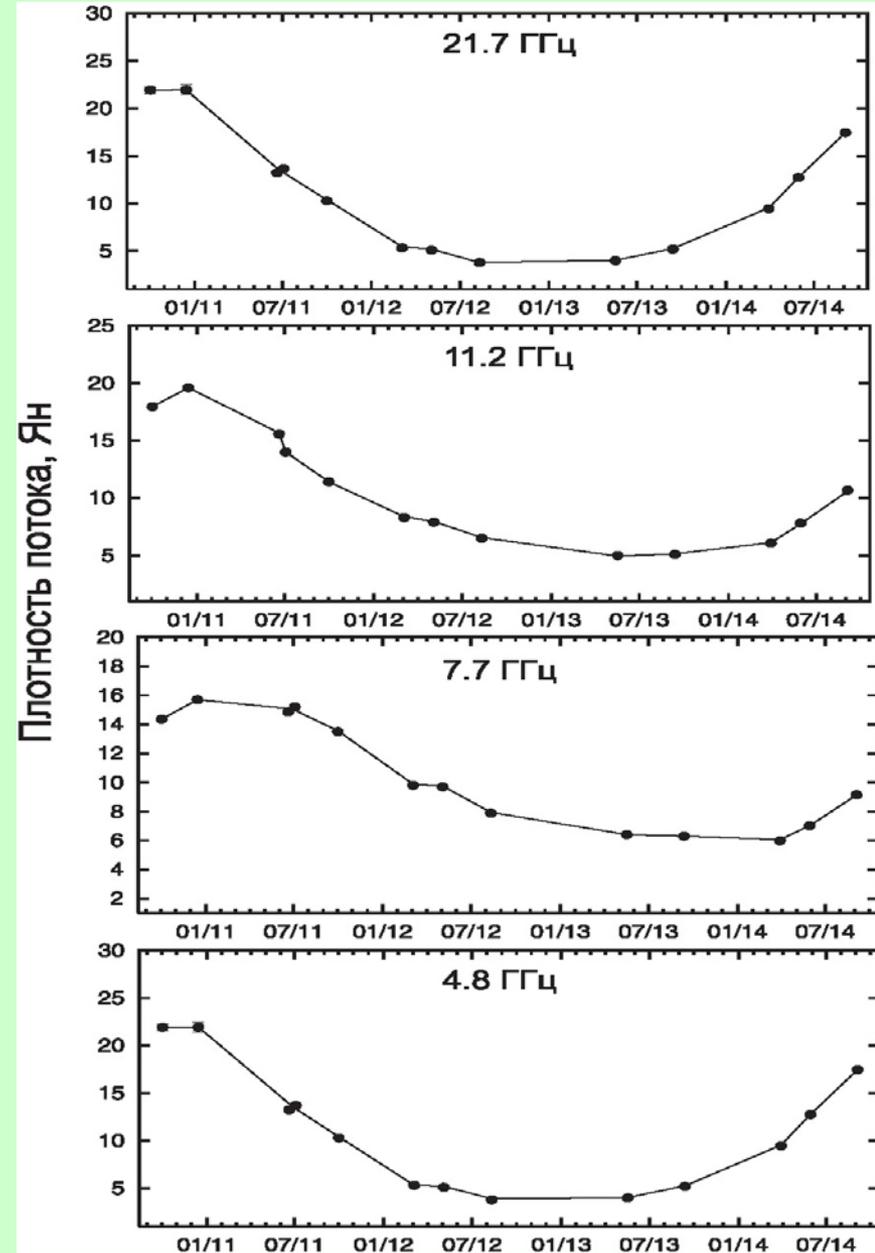
- 1) Кривые блеска ярких квазаров 2007+40 и 2015+37 с плоским спектром в течение 2013-2015 гг (~ 1000 дней). Формально их внутренняя переменность на временах 10-100 дней соответствует (нормируя на R_s или M_{bh}) переменности микрокварзаров на временах микросекунды-миллисекунды, которая никогда не наблюдалась из-за поглощения радиоволн во внутренних областях аккреционного диска. С другой стороны кривые блеска 2015+37 сильно напоминают кривые блеска микрокварзара GRS1915+105 на временах минуты-часы. Внутренняя переменность следует модели синхротронного источника, расширяющегося по мере движения в релятивистском струйном выбросе.
- 3) Возможно обнаружено событие (около MJD57100) так называемого экстремального рассеивания (ESE, Fiedler+1987) внутри плоскости Галактики источника 2007+40 с характерной кривой блеска с «провалом», если рассеивающая область имеет много меньший угловой размер внегалактического источника.

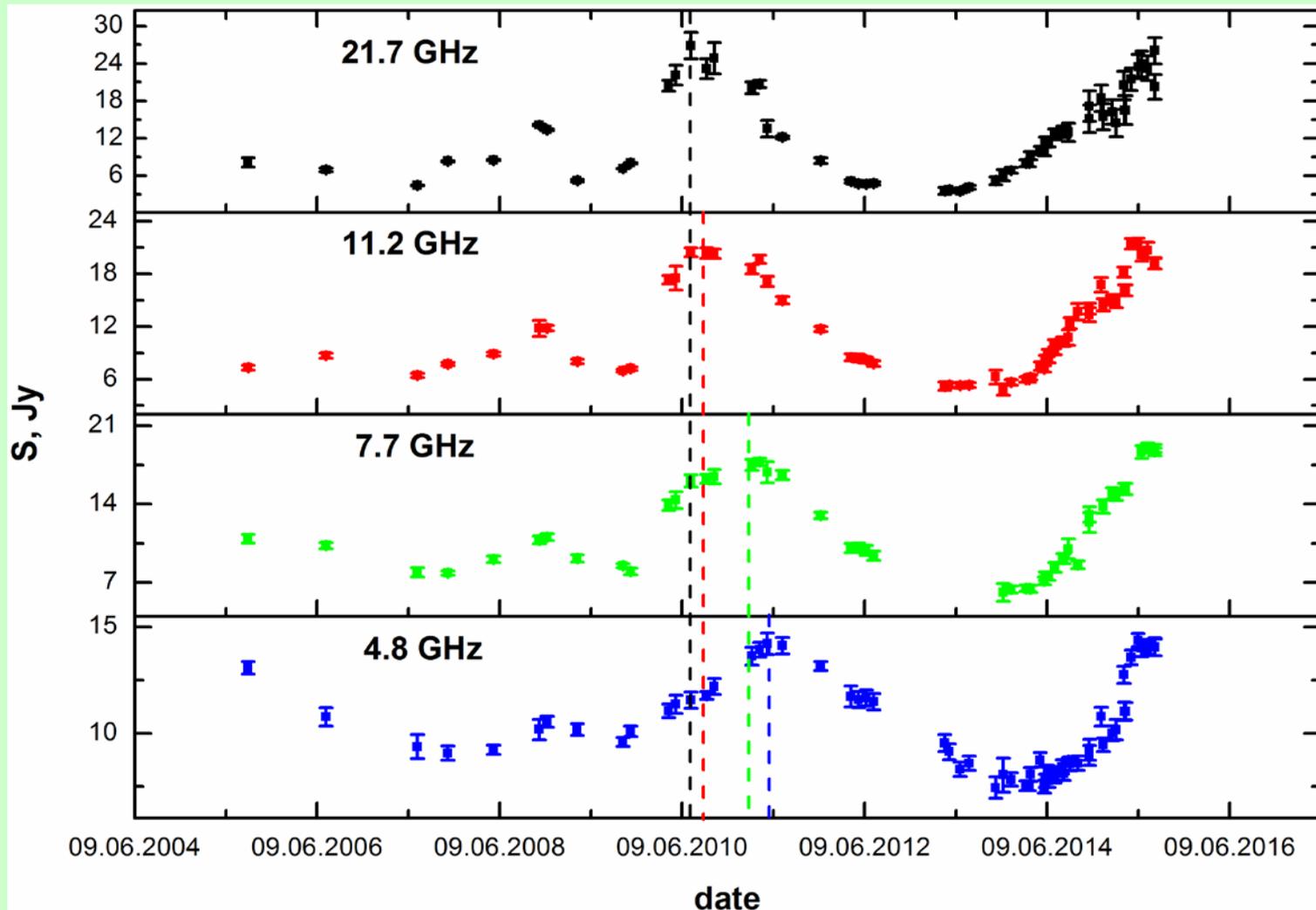
Исследование переменности блазаров

Новая вспышка блазара 3C 454.3

Предварительные оценки показали:

- видимые угловые размеры области 0.07 mas;
- линейные размеры порядка 5 Мпк;
- яркостная температура превышает комптоновский предел в 150 раз;
- Допплер-фактор равен 5.4



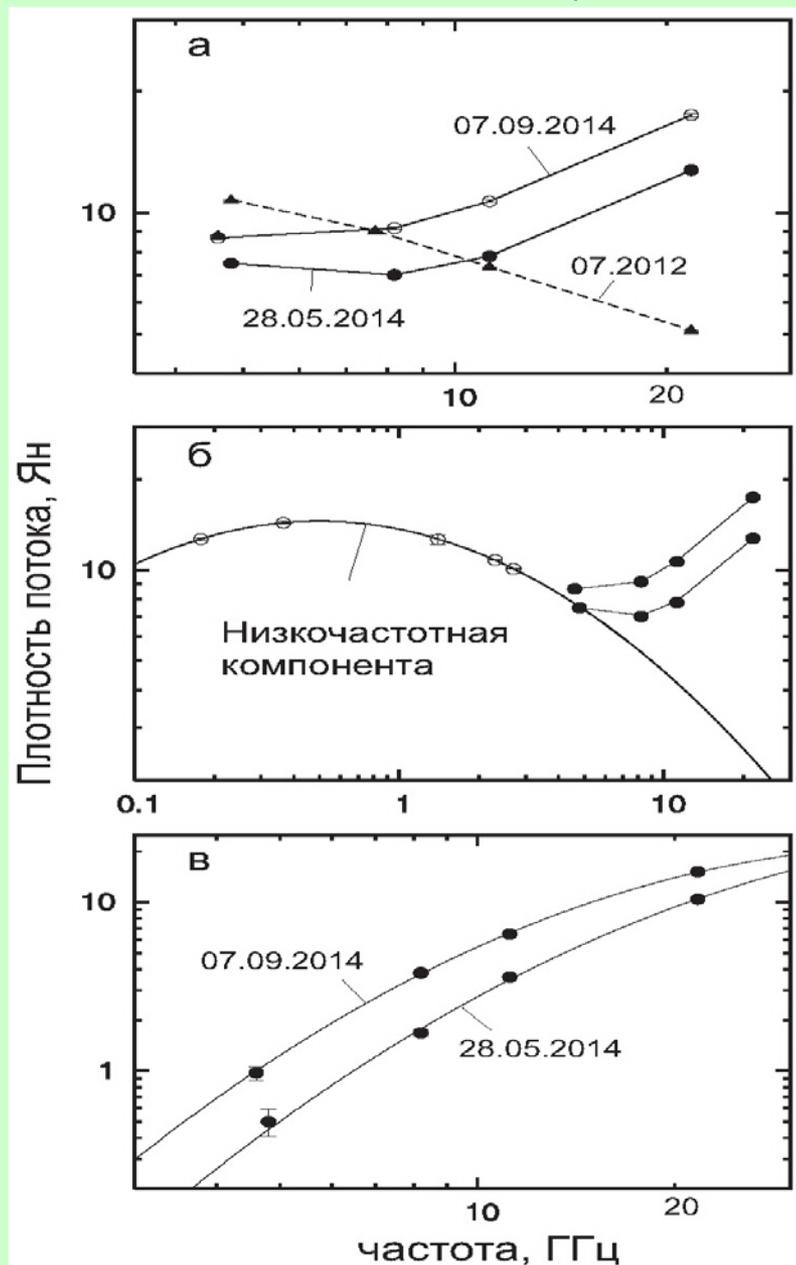


3C454.3 в период 2005-2015 гг. Мониторинг проводится с использованием двух комплексов радиометров. Ранее, в 2010 г., зафиксировано увеличение плотности потока на 21.7 ГГц до 27 Ян, через 2 месяца максимум наблюдался на 11.2 ГГц (~20 Ян) и только через пол года наблюдался максимум на частотах 7.7 и 4.8 ГГц (18 и 14 Ян, соответственно).

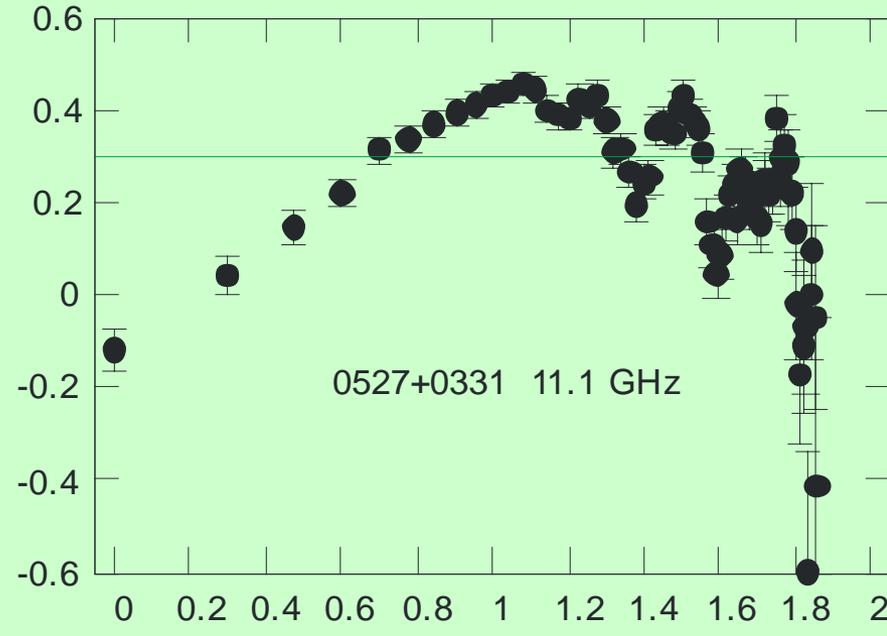
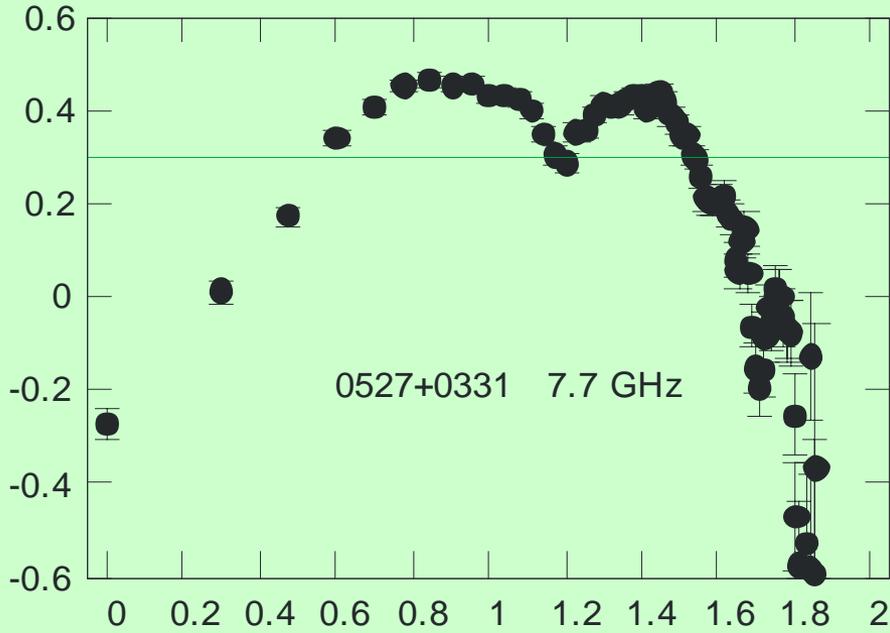
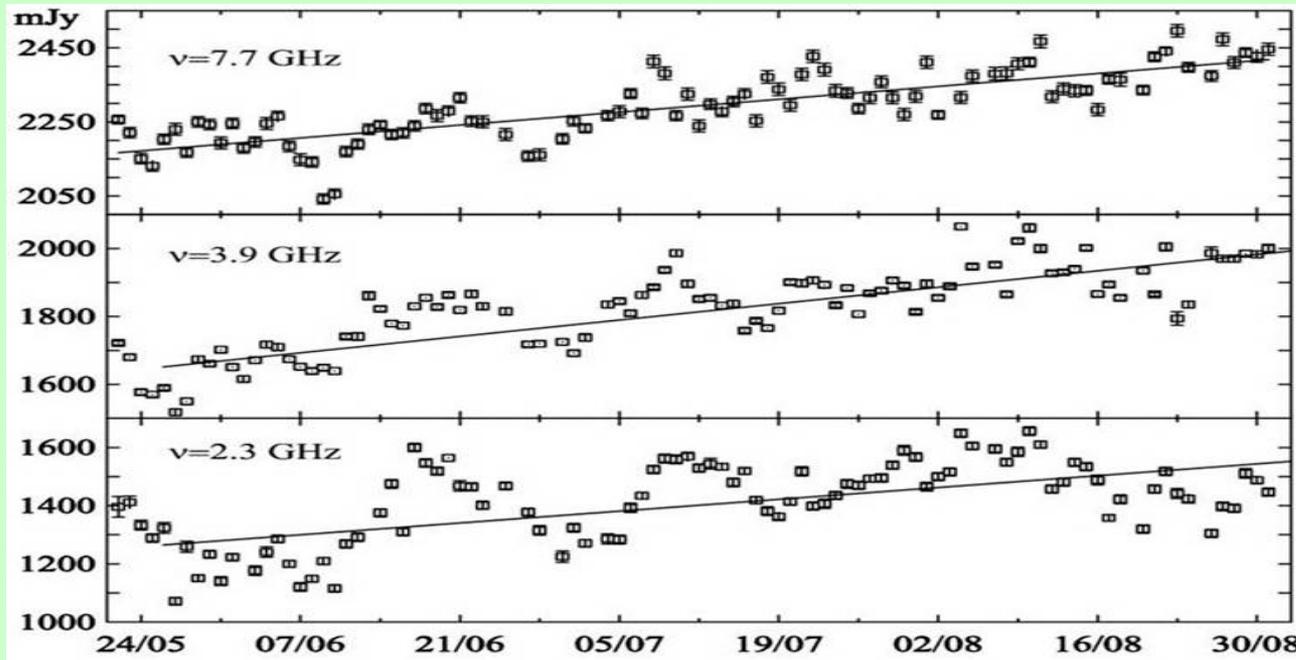
В настоящее время спад радиоизлучения пока не зафиксирован.

Исследование переменности блазаров

Показаны спектры, полученные в начале и конце наблюдений. После вычитания протяженной компоненты (Рис. б) спектры растущие (Рис. в), причем максимум в спектре к концу наблюдений значительно сдвинулся в низкочастотную область.



Обнаружение «недельной» переменности



Поддержка Радиоастрон на РАТАН-600

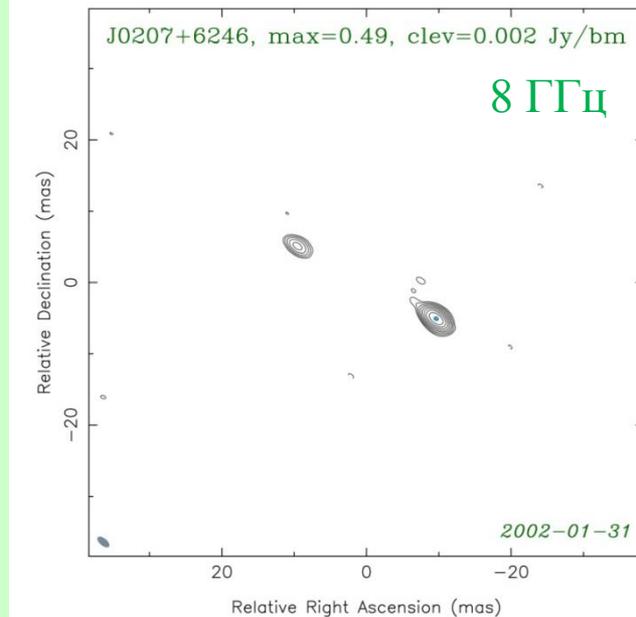
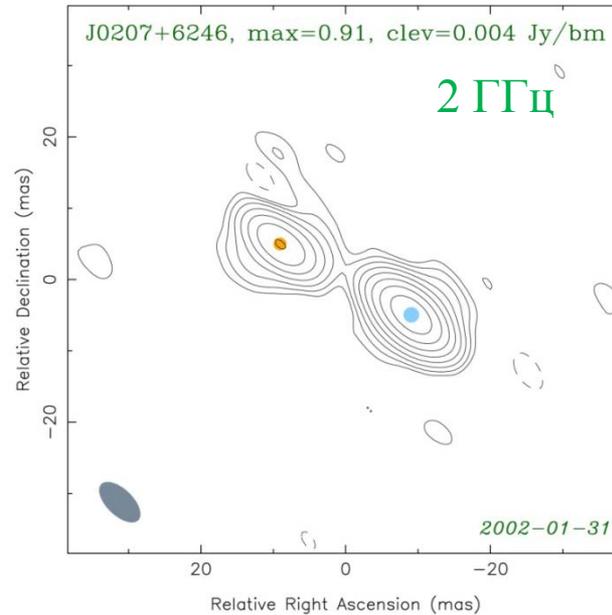
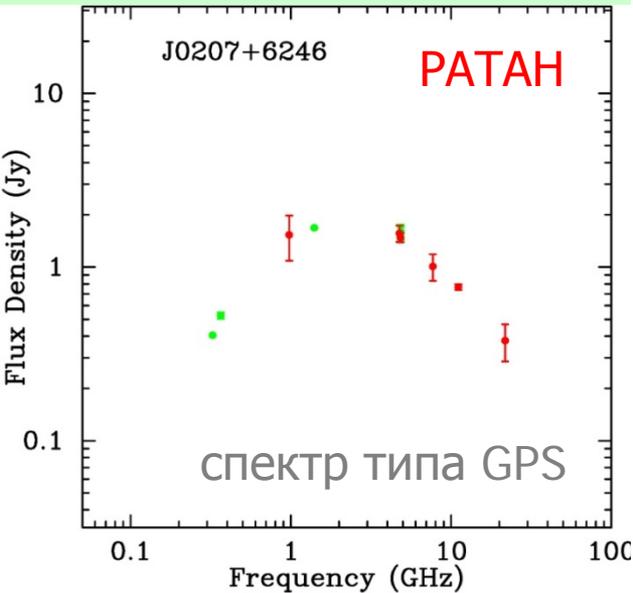


На базе результатов наблюдений по программе Ковалева и др. (около 3500 объектов) отобраны и, в настоящий момент, используются компактные внегалактические объекты для первых тестов и калибровок КРТ, поиска лепестков наземно-космического интерферометра Радиоастрон.

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

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.

Ковалев и др.: РАТАН + РадиоАстрон – 2015

Сформирована выборка AGN с очень сильной долговременной переменностью РАТАН-спектров за 11 лет – применяется при реализации научной программы РадиоАстрон для исследования ядер активных галактик во время вспышек.

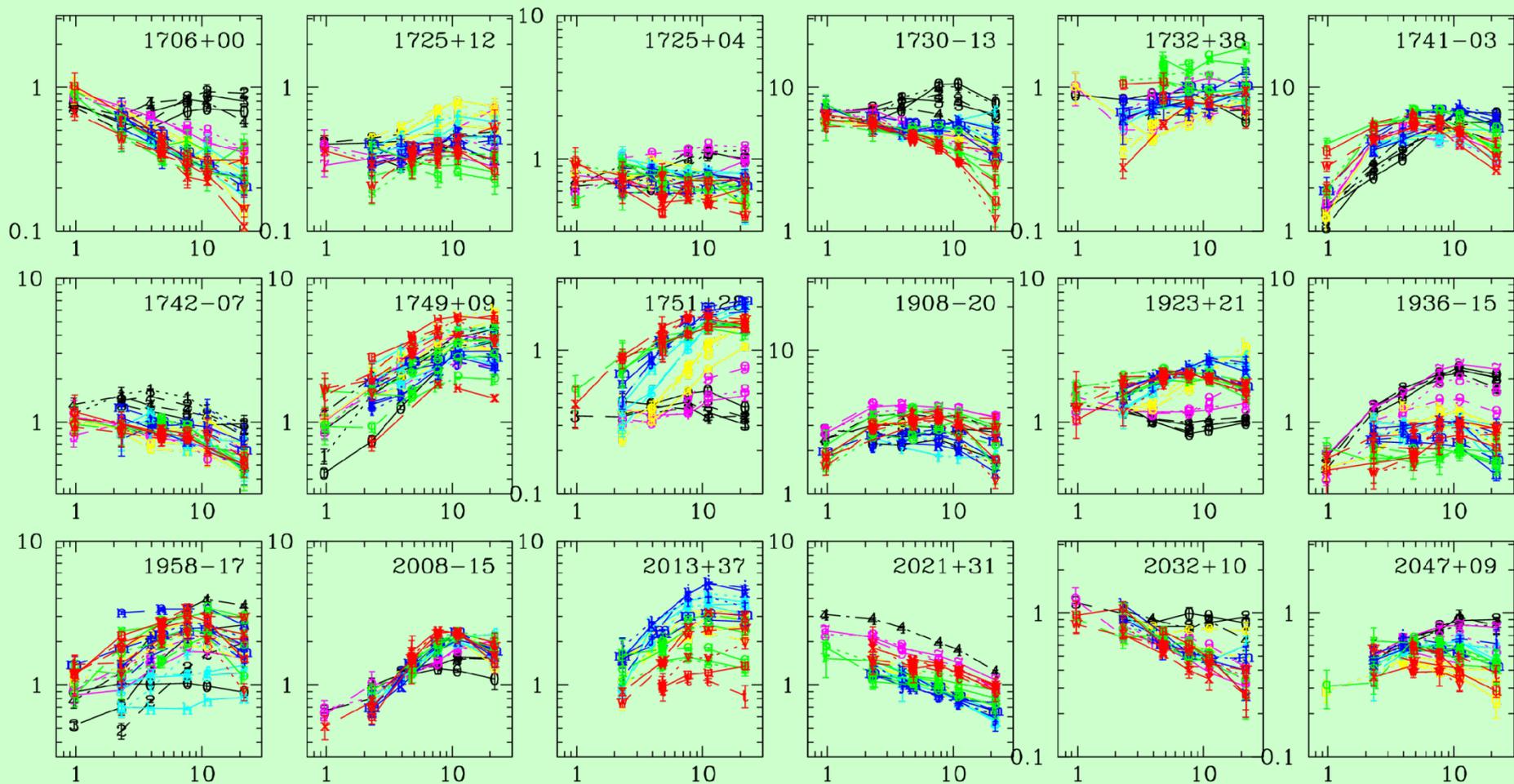
Недавние публикации в реферируемых журналах:

- Astronomy & Astrophysics, **573**, A50 (2015)
- Astronomy & Astrophysics, **565**, A26 (2014)
- Космические исследования, **52**, 430 (2014)
- Материалы конференций: IAU Symp (Галапагос 2014), COSPAR (Москва 2014).

РАТАН для РадиоАстрон

Уникальная переменность спектров

Flux Density, Jy



Мгновенные радиоспектры и радиосвойства блазаров

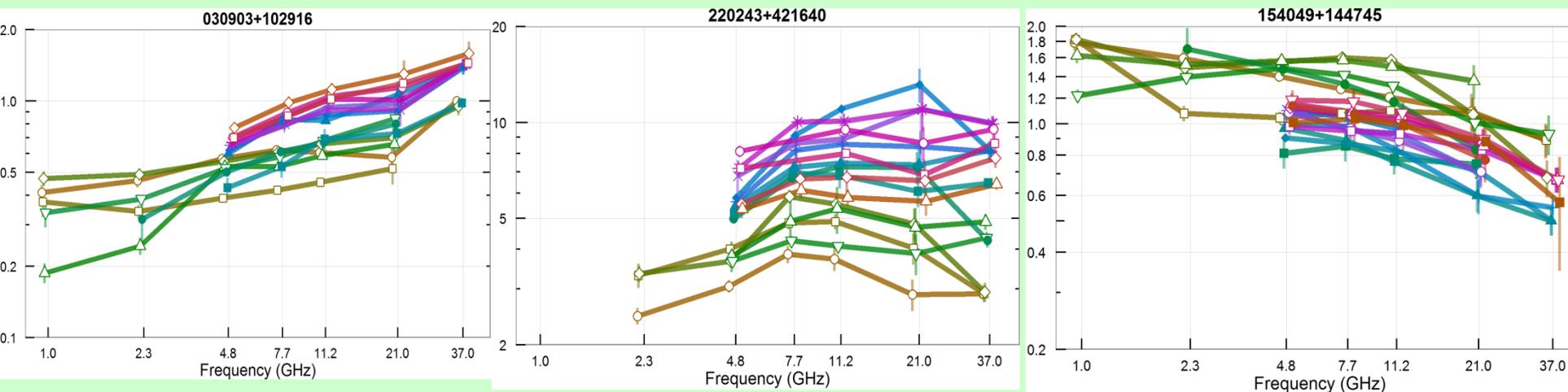
по результатам программ:

“Simultaneous spectra of the BL Lacertae Objects”,

“Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae”,

“Мониторинг переменности микроквazarов и внегалактических источников”

Для 300 блазаров проведен анализ спектральных свойств на основе квазиодновременных данных РАТАН-600 и Metsahovi обсерватории (37 ГГц). Результаты суммированы в совместной работе “Simultaneous spectra and radio properties of blazars” (подана в печать).



Примеры совместных РАТАН-600 и Метсахови одновременных радиоспектров для блазаров, мониторинг которых проводится на Р-600 систематически с 2006 г.

Мгновенные радиоспектры и радиосвойства блазаров

Class	N sources	α average	α median
1.1 – 7.7 GHz			
HSP	14	-0.68	-0.69
ISP	34	-0.56	-0.59
LSP	54	-0.12	-0.09
7.7 – 21.7 GHz			
HSP	10	-0.01	-0.05
ISP	50	-0.21	-0.29
LSP	134	-0.10	-0.08
11.2 – 37 GHz			
HSP	2	-0.11	–
ISP	6	0.17	0.09
LSP	48	0.01	-0.03

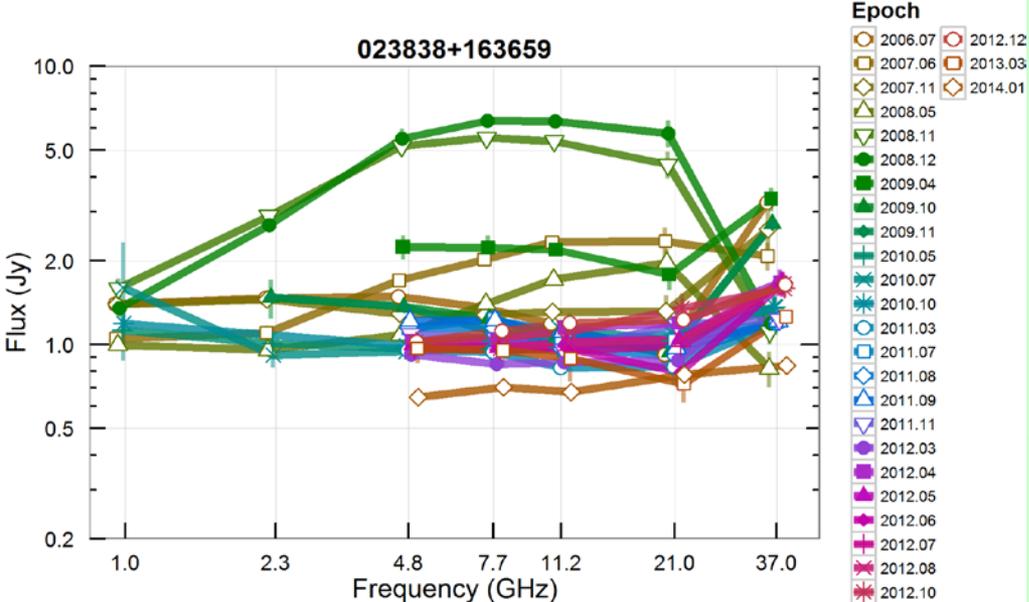
1. Средние и медианные значения спектральных индексов разных подклассов блазаров (LSP, ISP, HSP – по положению максимум синхротронной компоненты на кривой SED). Значения рассчитаны для частотных интервалов 1.1-7.7 ГГц, 7.7-21.7 ГГц и 11.2-37 ГГц. Высокочастотная область спектра для всех подклассов блазаров более плоская, чем низкочастотная (дециметровая).

Class	$S_{1.1N}$ [Jy]	$S_{2.3N}$ [Jy]	$S_{4.8N}$ [Jy]	$S_{7.7N}$ [Jy]	$S_{11.2N}$ [Jy]	$S_{21.7N}$ [Jy]	S_{37N} [Jy]
HSP	0.184 ₁₄	0.084 ₁₉	0.043 ₃₄	0.035 ₂₇	0.035 ₂₆	0.035 ₁₀	0.775 ₂
ISP	0.244 ₃₅	0.137 ₄₀	0.081 ₉₄	0.087 ₈₀	0.104 ₇₀	0.161 ₅₀	0.558 ₇
LSP	0.636 ₅₄	0.705 ₆₀	0.492 ₁₆₃	0.539 ₁₅₉	0.540 ₁₅₂	0.598 ₁₃₄	0.943 ₄₉

2. Средние и медианные значения спектральной плотности потока для разных подклассов блазаров. LSP блазары, как правило, ярче на всех частотах. Данные на самой высокой частоте -- 37 ГГц – доступны для небольшого числа самых ярких объектов.

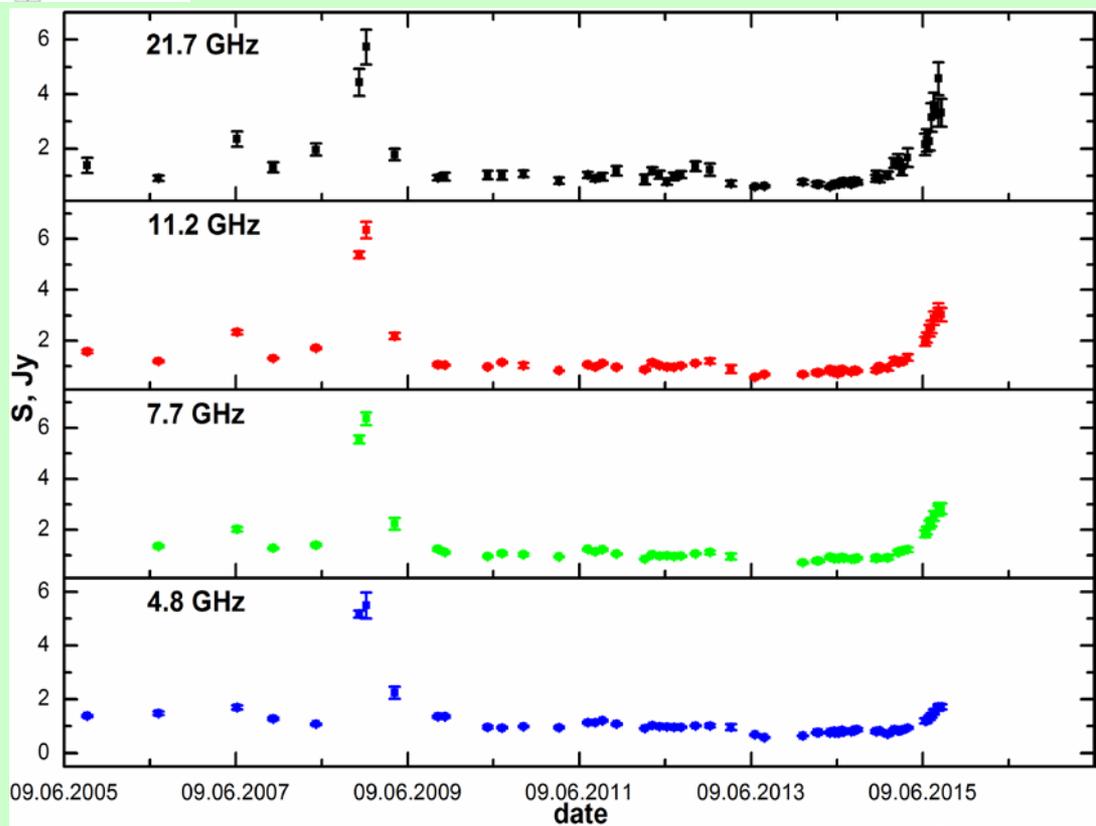
subclass	$Var_{1.1N}$ %	$Var_{2.3N}$ %	$Var_{4.8N}$ %	$Var_{7.7N}$ %	$Var_{11.2N}$ %	$Var_{21.7N}$ %
HSP	18 ₃	8 ₃	19 ₅	22 ₅	23 ₅	32 ₄
ISP	14 ₄	12 ₄	15 ₅	16 ₅	17 ₅	19 ₅
LSP	14 ₅	17 ₅	17 ₈	19 ₈	19 ₈	20 ₈

3. Средние значения индекса переменности для разных подклассов блазаров ($S/N \geq 4$). В среднем, с ростом частоты измерения растет и переменность плотности потока на радиочастотах. Однако, только единицы объектов списка (300) имеют переменность плотности потока десятки процентов. Большинство объектов на масштабах 9-10 лет имеют показывают переменность до 20%.



Эволюция спектральной плотности потока объекта типа BL Lac - 0235+16 в период 2005-2015 гг. Это один из наиболее переменных представителей ВЛас нашей выборки ($\text{Var}_{\text{radio}} \sim 0.6-0.7\%$). После шести лет спокойного состояния плотность потока в 2015 г. начинает расти и в августе 2015 г. достигает значения 3.5-4 Ян на 21.7 ГГц.

Радиоспектры блазара 0235+16 (РАТАН-600, Метсахови радиообсерватория, данные на 37 ГГц).



Многочастотный каталог измерений объектов типа VL Lacertae на РАТАН-600 – VLcat (2005-2015 гг.)

- Создан многочастотный каталог измерений представителей редкого подкласса АЯГ – объектов типа VL Lacertae, основанный на наблюдательных данных РАТАН-600.
- Каталог размещен на домашней странице обсерватории: <http://www.sao.ru/blcat> и содержит измерения объектов на частотах 1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2 и 21.7 ГГц.
- На начало 2015 года в каталоге VLcat представлено 457 объектов.
- VLcat может быть использован для:
 - статистического изучения радиосвойств этого типа АЯГ;
 - исследования эволюции синхротронных радиоспектров;
 - исследования параметров переменности;
- Отличительной особенностью представленных наблюдательных данных является использование одного инструмента для получения квазиодновременных многочастотных измерений.
- Измерения плотностей потоков представлены в удобном формате, доступен интерактивный просмотр и экспорт данных.
- Список объектов периодически дополняется и обновляется архивными и новыми наблюдательными данными.

RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lac objects



BLcat Edition 1.1, February 2015

M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, R.Yu. Udovitskiy, T.V. Mufakharov, E.Nieppola, and A.K. Erkenov

ADS abstract

- Data Usage Policy
- Column description
- Help
- Show/Hide columns
- Export main Table and RATAN-600 data

- 00h--04h
- 04h--08h
- 08h--12h
- 12h--16h
- 16h--20h
- 20h--24h

Search by name

Page number: 1 Page Size (# of lines) all Refresh page(def option)

Entry number select all	RATAN data	Set	Source name	Ra	Dec	Redshift	Rmag	Log v_{peak}	Flux density	SED class	Blazar type	Selected type	Reference
		↑ ↓ stat	RA Dec name ↑ ↓	(J2000.0) ↑ ↓	(J2000.0) ↑ ↓	↑ ↓ stat	↑ ↓ stat	↑ ↓ stat	↑ ↓ stat	↑ ↓ stat	↑ ↓ stat	↑ ↓ stat	
343	Data Explorer	2	160207+332653	16:02:07	33:26:53	1.1	23	11.97	<u>1.857</u>	LSP	Blazar~un.type	RBL	29
344	Data Explorer	11	160341+110548	16:03:41	11:05:48	0.143	18.1	13.44	<u>0.344</u>	LSP	BL~Lac	RBL	43
345	Data Explorer	9	160706+155134	16:07:06	15:51:34	0.357	17.5	14.73	<u>0.435</u>	ISP	BL~Lac	RBL	10
346	Data Explorer	1	161002+671029	16:10:02	67:10:29	-	19.3	17.45	<u>0.059</u>	HSP	BL~Lac	RBL	61
347	Data Explorer	-	161706+410647	16:17:06	41:06:47	0.267	17.7	13.94	-	LSP	BL~Lac	RBL	60
348	Data Explorer	3	161823+363201	16:18:23	36:32:01	0.73	18.7	14.63	<u>0.263</u>	ISP	BL~Lac	RBL	30

Классификация (457)

Designation criteria	Blazar type	Number of objects 2014 – 306	Number of objects 2015 – 457
Optical spectrum	BL Lac	220	284
	BL Lac candidate	43	76
	Blazar uncertain type	36	86
	FSRQ	7	11
Selection method	RBL	248	392
	XBL	56	63
	OBL	2	2
SED type	LSP: <14.5	141	262
	ISP: 14.5 --16.5	102	152
	HSP: >16.5	63	42
	undetermined	-	1

Связь излучения в джете и аккреционном диске блазаров

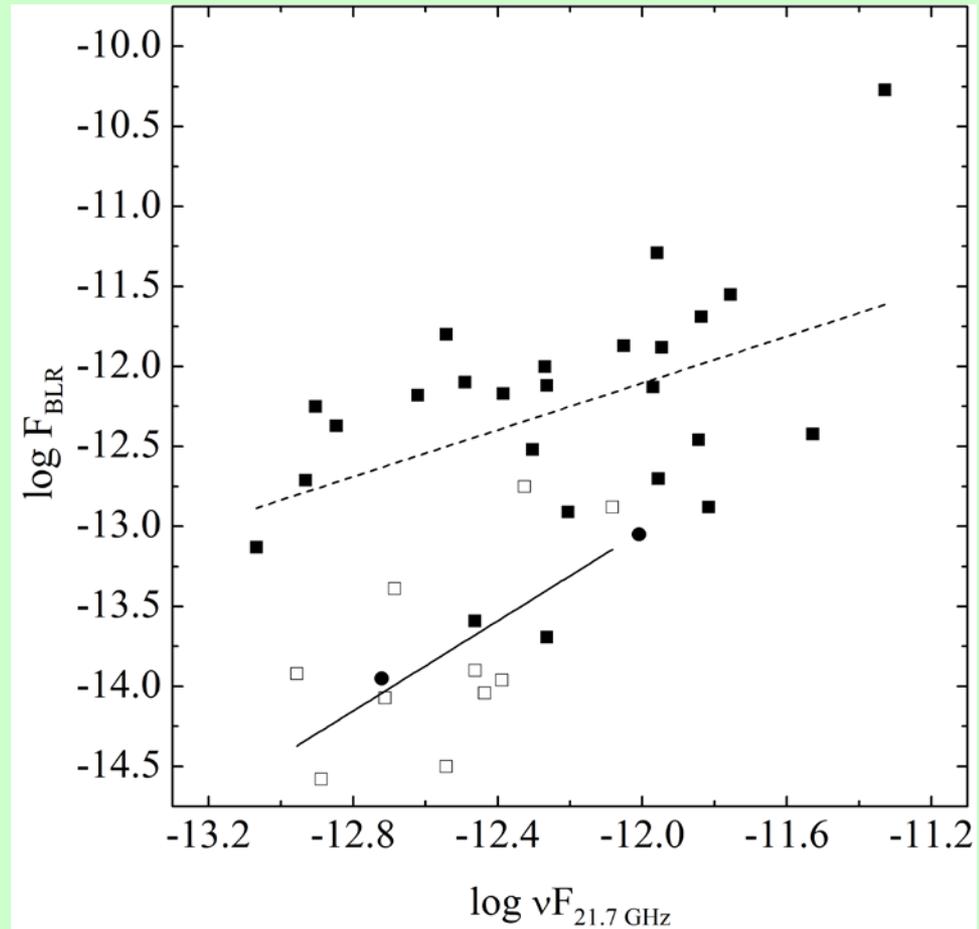
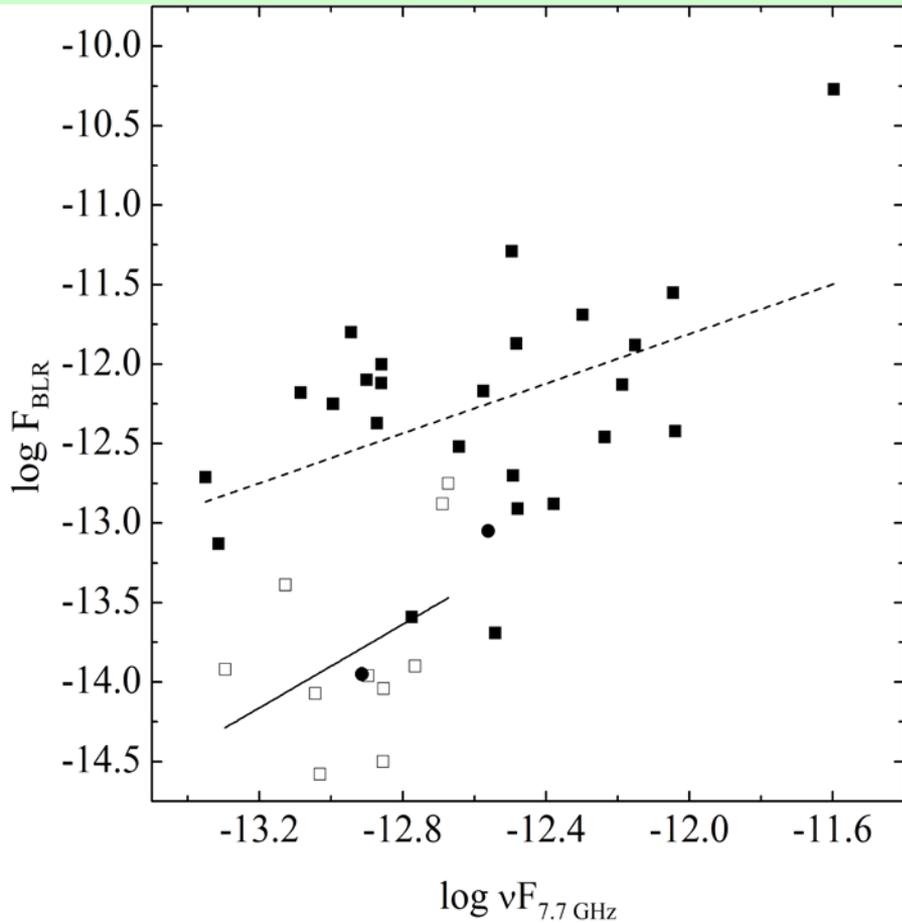
Исследование корреляции между излучением в области образования широких линий (broad line region - BLR) и излучением в других диапазонах частот (от радио до рентгена) для выборки 37 блазаров (25 - блазары FSRQ типа, 10 - блазары BL~Lac типа).

С целью определения влияния состояния объектов на корреляцию для радиоданных использовались измерения, полученные на РАТАН-600 в двух состояниях - максимального и минимального значения плотности потока.

Показано, что в некоторых состояниях радиодиапазона существует корреляция излучения с излучением BLR-области для блазаров двух типов. У FSRQ и BL Lac типа блазаров корреляция потока в BLR с потоком в радиодиапазоне неотличима во всех случаях, за исключением случая, когда рассматривалось сильное изменение плотности потока для BL Lac типа (десятки процентов). При этом уровни значимости для BL Lac (на некоторых частотах хуже 0.05) в радиоактивном состоянии позволяют говорить лишь о вероятном наличии связи.

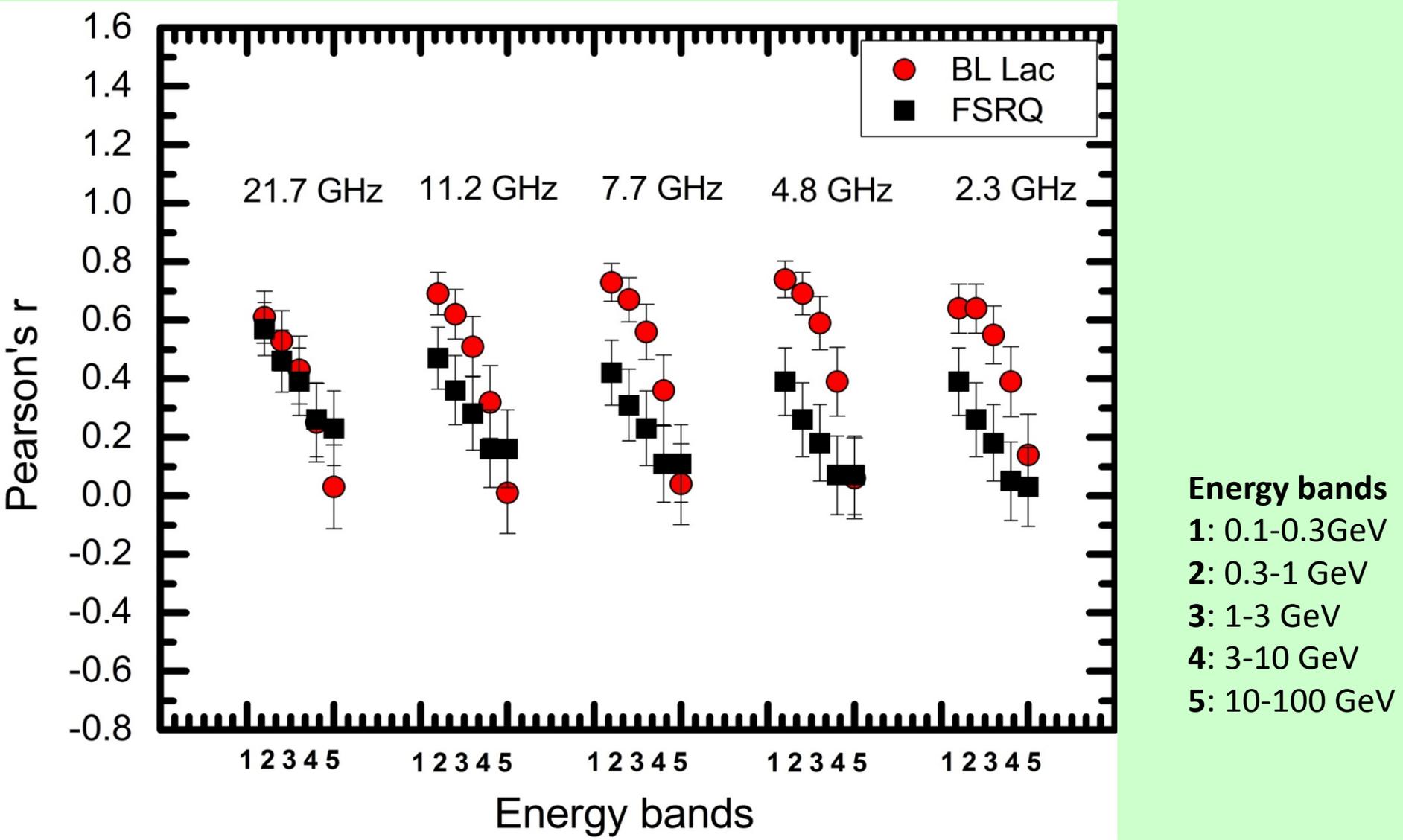
Показано, что переменность излучения значительно влияет на корреляцию. Результат работы не противоречит теоретическим предположениям о тесной взаимосвязи аккреционного диска и джета в блазарах.

Связь излучения в джете и аккреционном диске блазаров



Пример корреляции $F_{\text{radio}} - F_{\text{BLR}}$ потоков из области образования широких линий и в радиодиапазоне в активном состоянии блазаров. Заполненными квадратами обозначены FSRQ, незаполненными - объекты типа BL Lac.

Корреляция излучения в гамма- и радиодиапазоне для блазаров по данным телескопов Fermi-LAT и RATAN-600



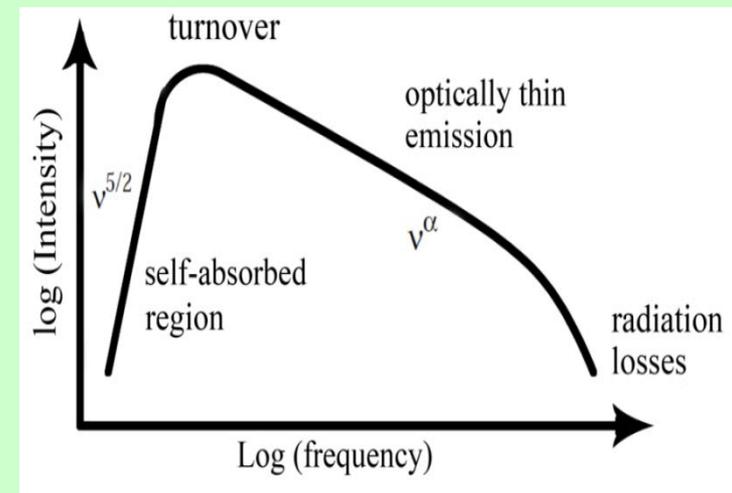
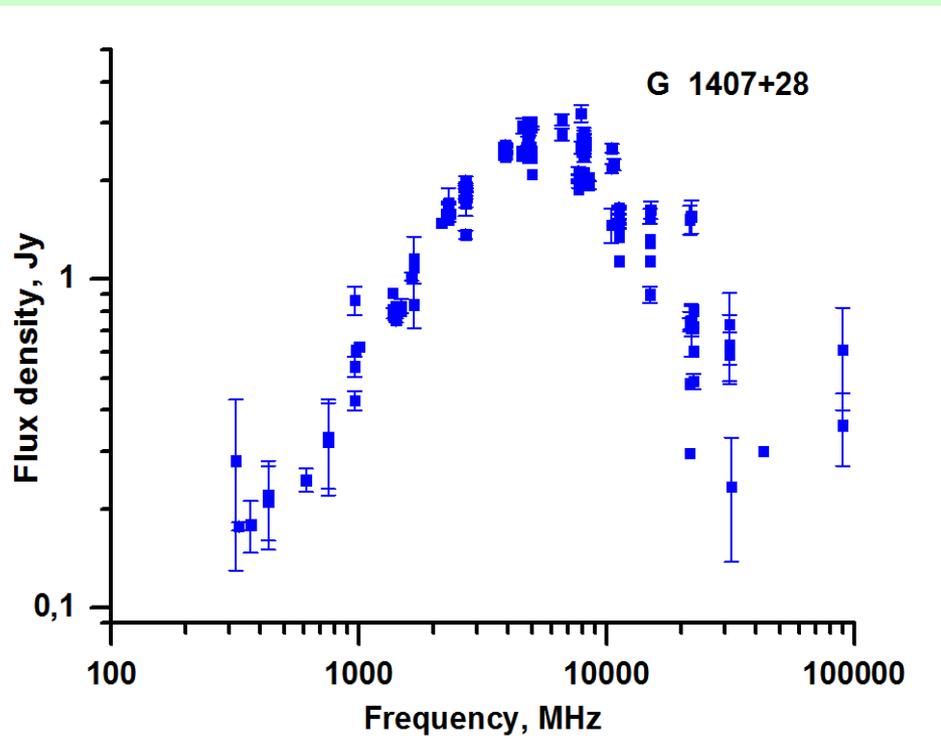
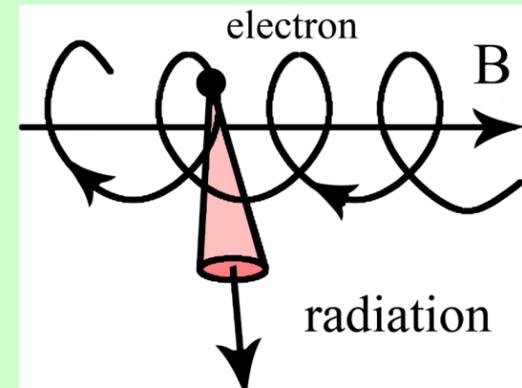
Корреляция излучения в гамма- и радиодиапазоне для блазаров по данным телескопов Fermi-LAT и RATAN-600

- Обнаружена значимая корреляция излучений в радио- и гамма-диапазонах для полос 0.1-1 ГэВ и слабая и незначимая для 10-100 ГэВ для обоих типов блазаров.
- В среднем, коэффициент корреляции выше у лацертид.
- Коэффициент корреляции оказался чувствительным к рассматриваемой полосе энергии (у лацертид) и к частоте и полосе энергии (у квазаров с плоским спектром).
- Наибольшее значение коэффициента корреляции отмечается на частотах 7.7 и 4.8 ГГц.
- Полученные результаты говорят в пользу тесной взаимосвязи гамма- и радиоизлучения и образования их из одной популяции фотонов (в рамках синхрокомптоновского модели излучения).

Многоволновое исследование GPS-источников

С 2006 по 2015 гг. на РАТАН-600 проводился мониторинг 122 кандидатов в GPS. В выборке содержатся источники, известные как GPS, по данным других авторов, отсутствие у некоторых из них измерений в высоко- и низкочастотной области спектра осложняет классификацию.

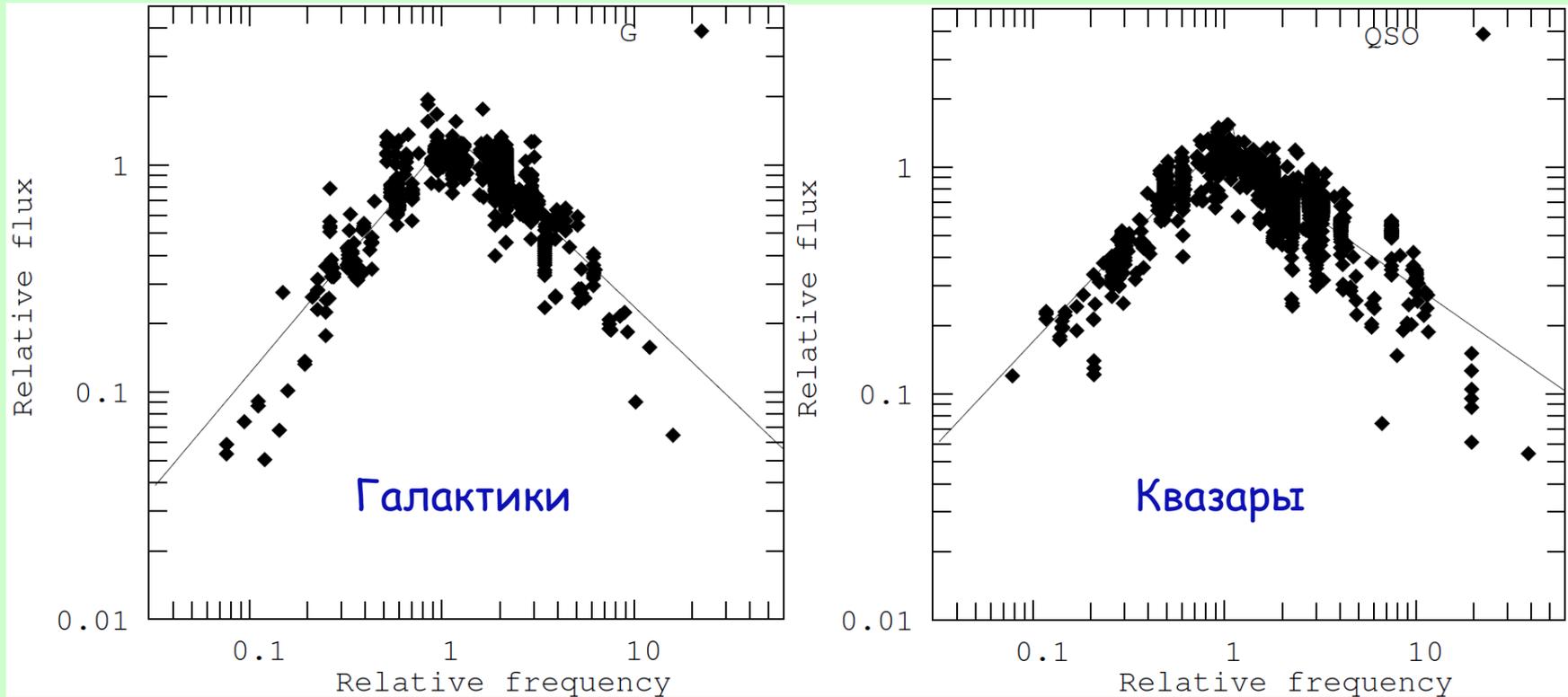
В результате наблюдений получены широкодиапазонные одновременные (1.1-21.7 ГГц) радиоспектры объектов.



Многоволновое исследование GPS-источников

- 1) Сформирована полная по плотности потока новая выборка 112 GPS-кандидатов (ПАТАН-600 + CATS). Это составляет примерно 2% от всей выборки (около 5000) с $S \geq 200 \text{ mJy}$ на 4.8/5 ГГц. Из них только 45 (1%) соответствует свойствам классическим GPS (O'Dea 1991, de Vries et al. 1997). Это значительно меньше, чем ожидалось (принято считать, что GPS составляют 10% от ярких внегалактических объектов). Каталог опубликован в центре Астрономических данных Страсбурга.
- 2) GPS галактики имеют наиболее *узкие спектры* и наиболее *крутые* на высоких частотах, чем квазары. Наблюдается увеличение низкочастотного спектрального индекса с ростом красного смещения z и у G и у QSO.
- 3) *Численность GPS галактик* резко падает с увеличением красного смещения, начиная с $z=1$. Галактики и квазары на одинаковых z имеют угловые размеры одного порядка, при этом их светимости могут на порядок отличаться.
- 4) Выборка *значительно "загрязнена"* объектами FSRQs.

Многоволновое исследование GPS-источников

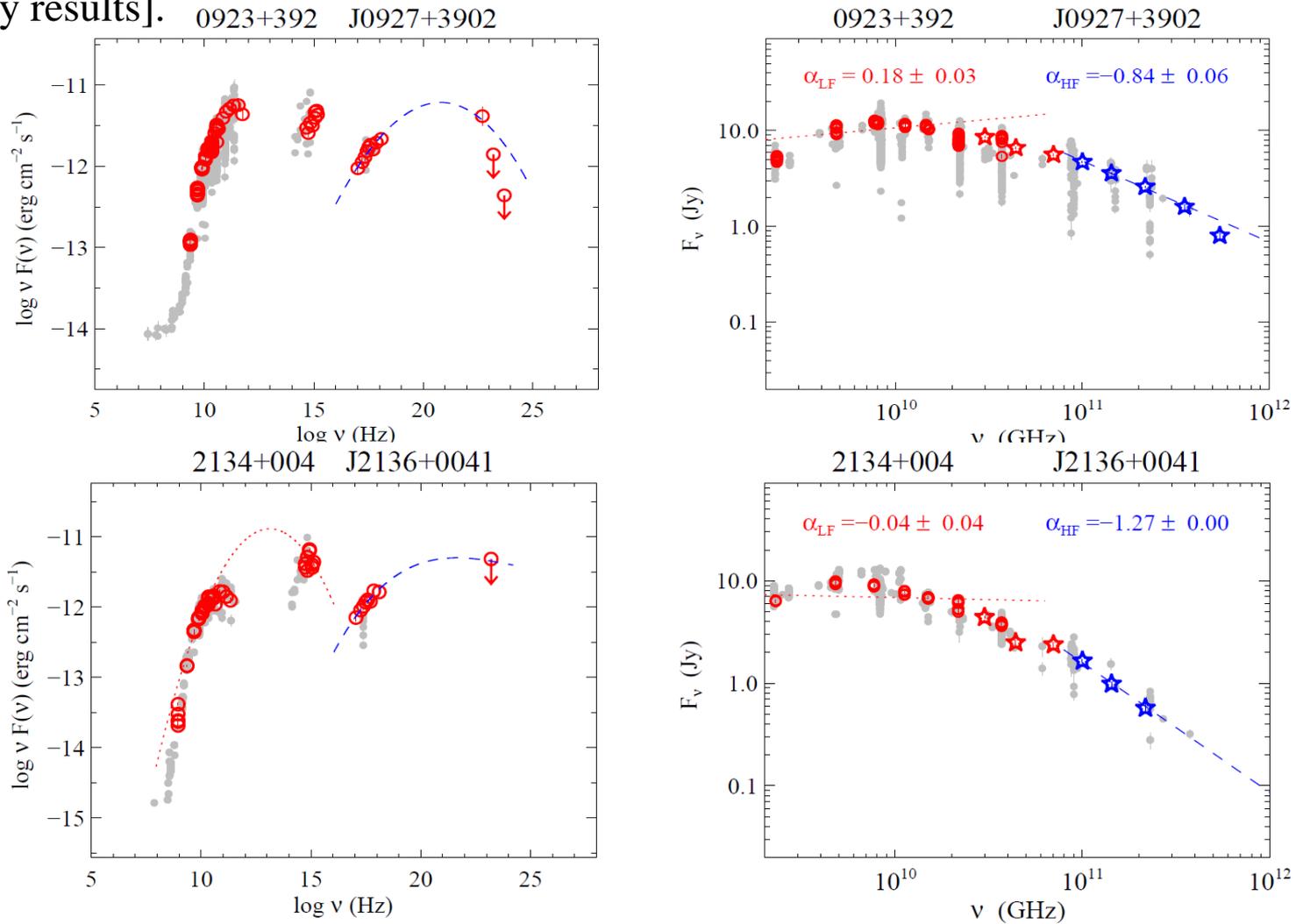


«Нормализованный» средний радиоспектр: спектр галактик уже и круче, чем у квазаров

ТИП	α_{below}	α_{above}	FWHM
G	$+1.01 \pm 0.02$	-0.81 ± 0.02	1.4
QSO	$+0.90 \pm 0.02$	-0.59 ± 0.01	1.6

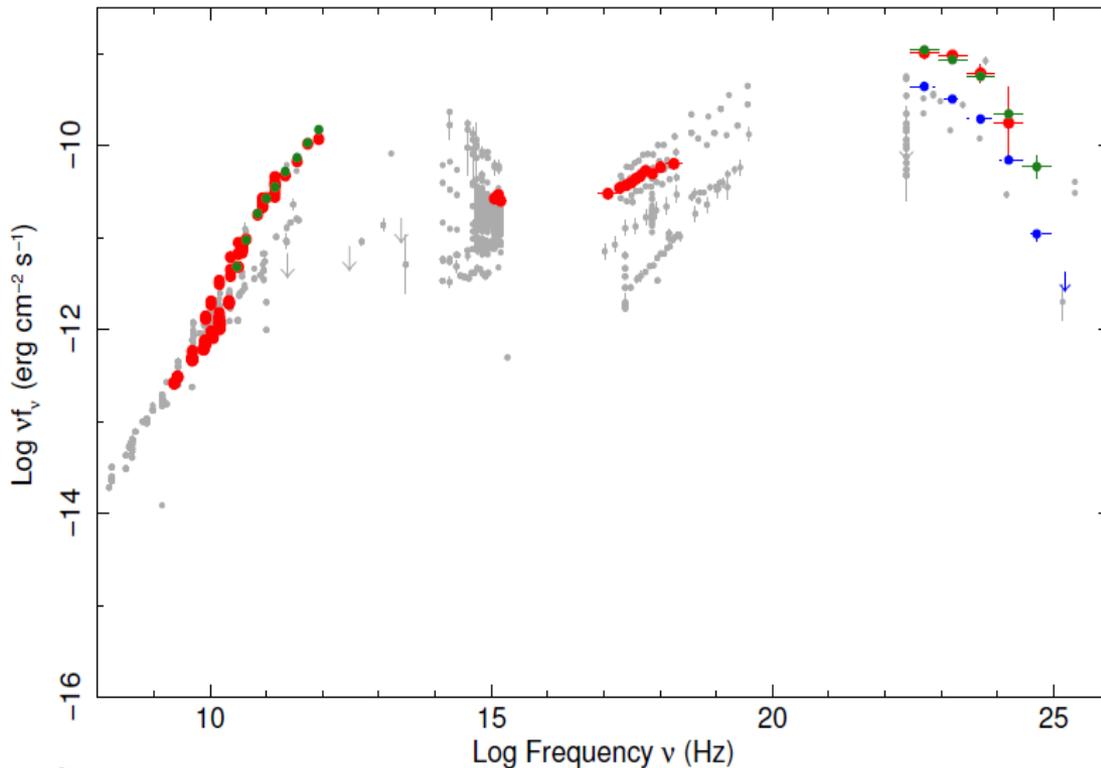
В результате одновременных наблюдений спутника Planck (30-857 ГГц) и ряда наземных телескопов в период 2009-2011 гг. получены экспериментальные кривые распределения энергии в спектре (Spectral Energy Distribution, SED) для ряда квазаров исследуемого списка. Значительный вклад в низкочастотную часть (1-22 ГГц) таких кривых принадлежит РАТАН-600. Физическая интерпретация экспериментальных кривых указывает на присутствие одно- или двухкомпонентной структуры SED для GPS-квазаров [Planck early results].

Результаты: SEDs



Наземная поддержка космического телескопа Planck

J2253+1608 – 3C 454.3



красным: одновременные данные Fermi (2 месяца интегрирования), Planck, наземные телескопы; **зеленым:** неодновременные данные наземных телескопов; **голубым:** данные Fermi (интегрирование 27 месяцев); **серым:** литературные данные.

Основные результаты:

- 1) на высоких частотах (>70 ГГц) объекты BLac имеют значительно плоские спектры, чем FSRQs – квазары с плоскими спектрами;
- 2) распределение пиковой частоты синхротронной компоненты SEDs для BLac и FSRQs одинаково ($\text{log } \nu_{\text{peak}}^S = 13.10 \pm 0.1$ Гц);
- 3) распределение пиковой частоты Комптоновской компоненты SEDs для BLac и FSRQs более широкое: $\text{log } \nu_{\text{peak}}^{\text{IC}} - 21-22$ Гц;
- 4) 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.

Observatory	Frequencies [GHz]
<i>Planck</i> LFI	30, 44, 70
<i>Planck</i> HFI	100, 143, 217, 353, 545, 857
Metsähovi, Finland	37
OVRO, USA	15
RATAN-600, Russia	1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2, 21.7
UMRAO, USA	4.8, 8.0, 14.5

Используемые частоты и инструменты

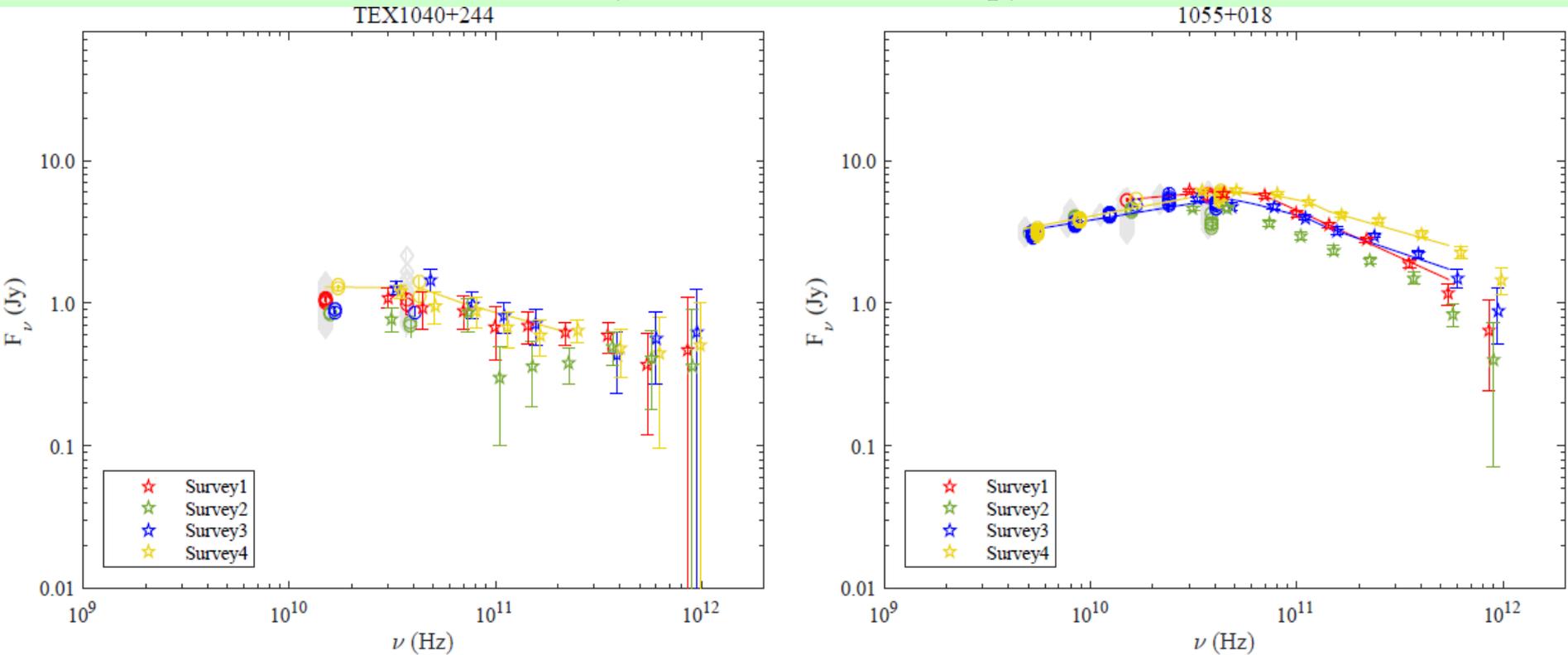


Рисунок 6. Примеры совместных спектров ярких ($S_{\text{radio}} \sim 1$ Ян) объектов северного неба

Генетический код Вселенной

- Комплекс радиометров Эридан-2 (Облучатель №2)
- На частоте 30 ГГц с разрешением до 5 сек. дуги на 32 каналах с фокальной решеткой МАРС-3 получен наблюдательный материал.
- + Длины волн: 1.38, 2.7 и 6.2 см

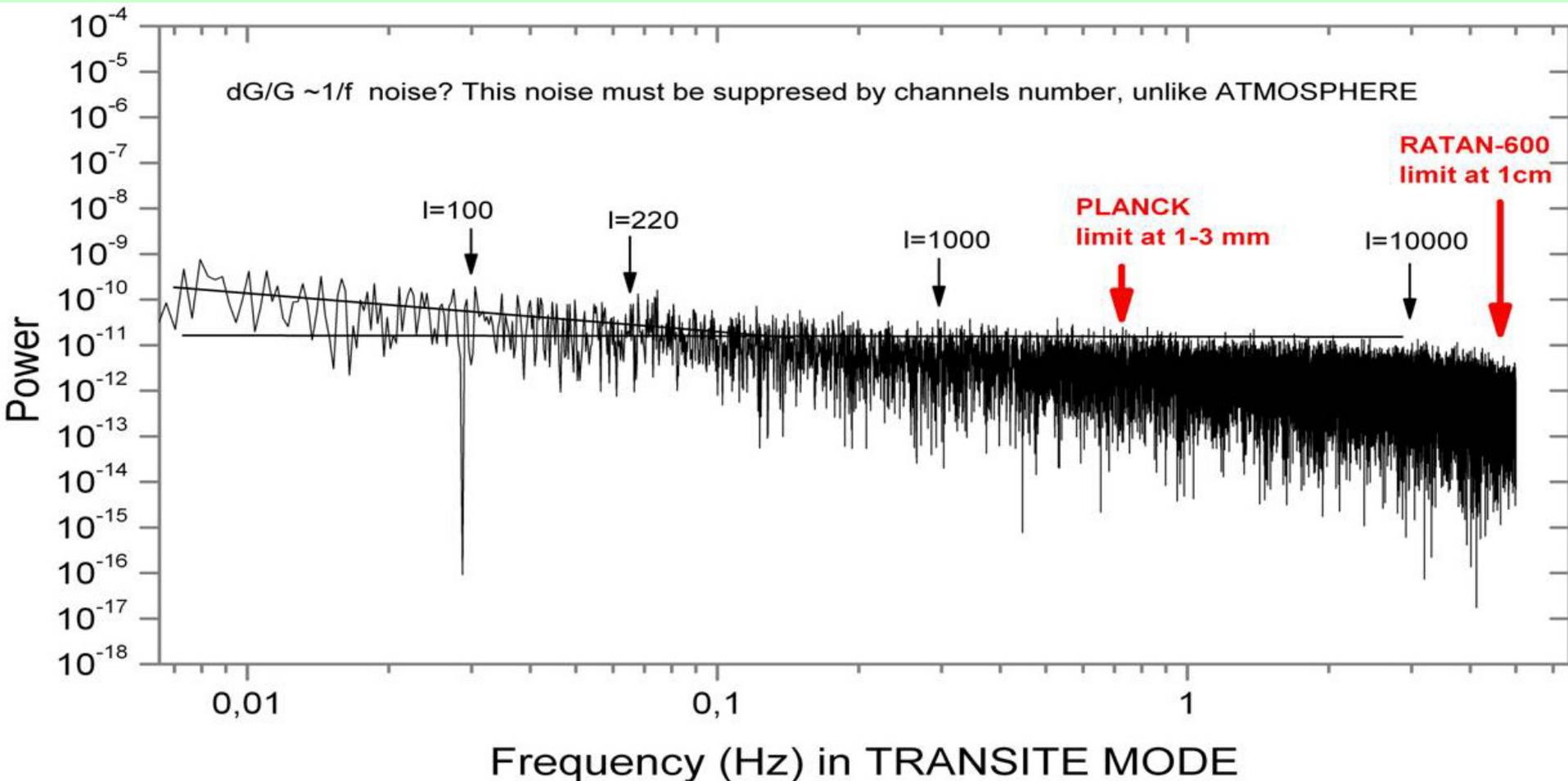
Генетический код Вселенной

RA/ De c	40.7	40.8	40.9	41	41.1	41.2	41.3	41.4	41.5	41.6	41.7	41.8	41.9	42	42.1	42.2	42.3	Σ
00	7	25	23	21	26	23	19	107	116	104	27	27	22	22	23	20	16	628
01	7	24	22	21	26	23	20	105	115	107	28	27	25	25	23	19	16	633
02	7	25	22	23	26	22	22	106	116	105	28	26	25	25	24	19	16	637
03	6	27	23	22	26	22	14	98	77	107	26	25	25	25	24	20	19	586
04	6	27	22	22	25	23	14	105	104	106	26	26	25	23	23	19	19	615
05	5	26	21	23	25	22	14	76	102	94	26	26	25	25	22	20	19	570
06	3	25	19	22	23	22	15	100	103	105	26	26	24	26	25	20	19	603
07	4	25	19	23	23	23	14	100	105	106	26	22	24	27	25	20	19	605
08	4	26	21	22	23	21	15	107	110	107	26	21	24	23	25	20	19	614
09	4	26	21	23	23	23	15	106	105	109	25	21	25	23	24	18	19	610
10	4	28	21	21	23	23	16	106	110	108	24	21	25	22	24	18	18	612
11	3	25	20	23	21	24	16	103	109	106	22	21	25	23	24	18	18	603
12	3	26	20	23	23	23	16	104	101	101	23	22	21	24	25	18	19	592
13	4	28	22	23	24	23	16	103	102	104	24	21	25	23	24	18	19	603
14	4	28	22	23	25	19	16	102	101	100	21	21	24	23	25	17	19	590
15	4	28	23	23	26	24	17	105	99	100	22	24	24	25	26	17	18	605
16	4	26	23	22	25	24	15	100	103	100	25	25	25	26	26	17	18	604
17	4	26	23	23	25	23	15	96	102	101	22	25	25	26	26	18	17	597
18	5	26	24	23	25	23	13	97	98	98	21	24	23	25	26	18	16	585
19	6	25	23	22	25	23	13	78	101	88	24	24	24	24	25	18	15	558
20	6	19	22	22	22	21	12	64	79	77	23	25	23	22	21	19	15	492
21	6	21	23	23	23	19	13	102	102	101	26	25	24	24	24	19	15	590
22	7	24	23	22	27	20	13	106	121	102	27	25	20	24	23	20	14	618
23	7	24	23	22	27	21	13	105	119	100	26	25	24	23	23	20	16	618

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.

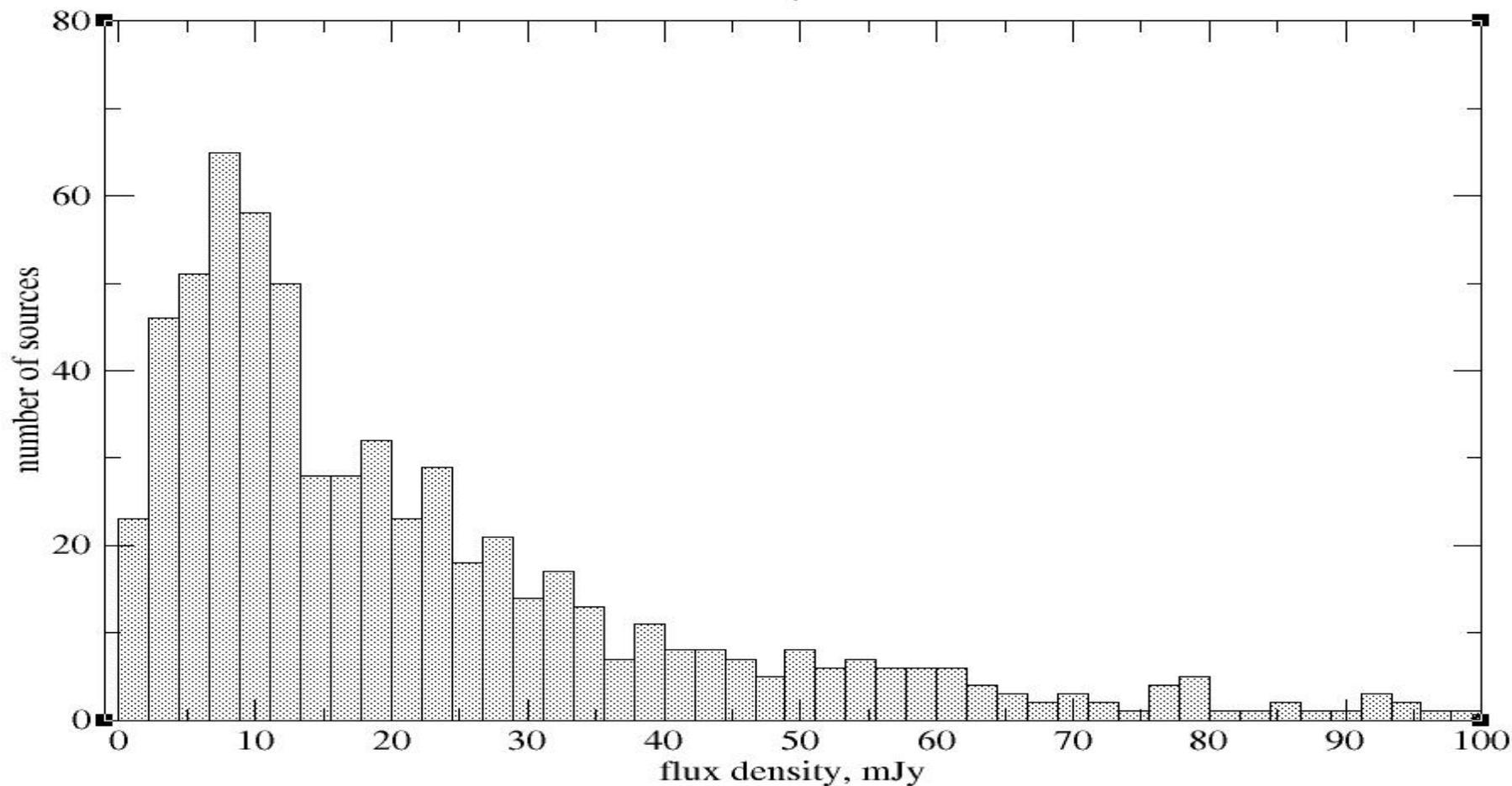
Опыт центрального сечения интенсивность РАТАН-600 и ПЛАНК 2012



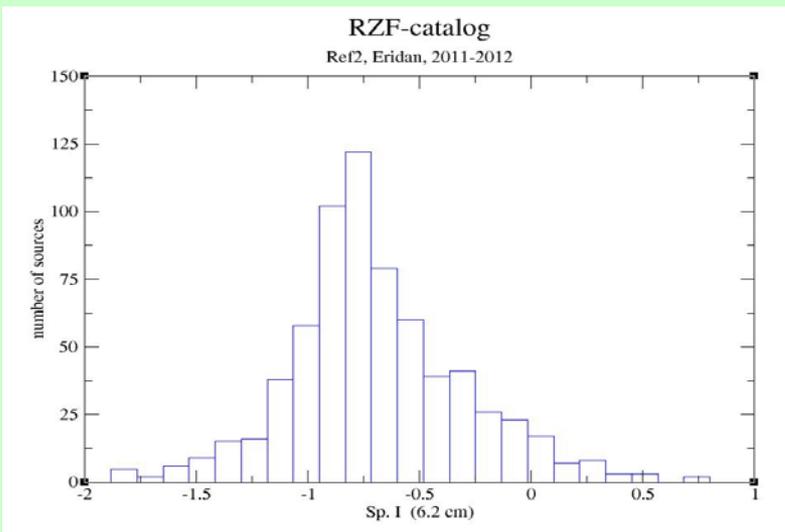
Получен каталог: 880 радиоисточников

Catalog 880 sources (Eridan-2)

wl = 6.2 cm, 2011-2012



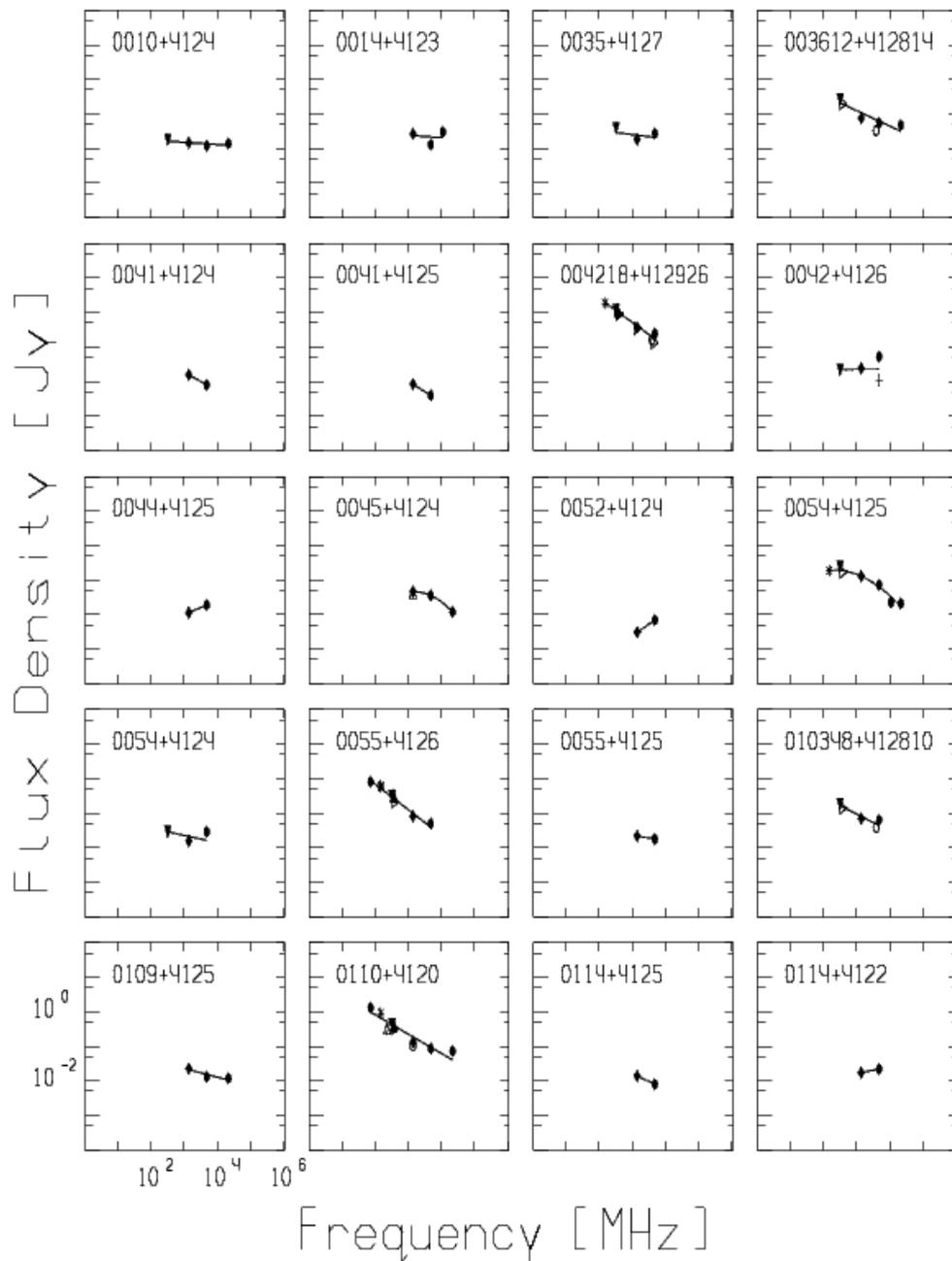
Спектры и статистика



Построены спектры
680 источников

Из них:

- 27% -- впервые
- 55% -- уточнены
- 18% -- дополнены



Основные элементы дальнейшей успешной работы инструмента

- Антенна: отдельные элементы Главного зеркала и Плоского отражателя; АСУ Главного зеркала и Плоского отражателя; АСУ вторичных зеркал (Облучателей);
- Приемно-измерительные комплексы: радиометры континуума и солнечный комплекс (←0.75-18 ГГц →)
- Методы: наблюдения, юстировка;
- *Стабильное финансирование!*

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 НТФ «Микран» (г.Томск).

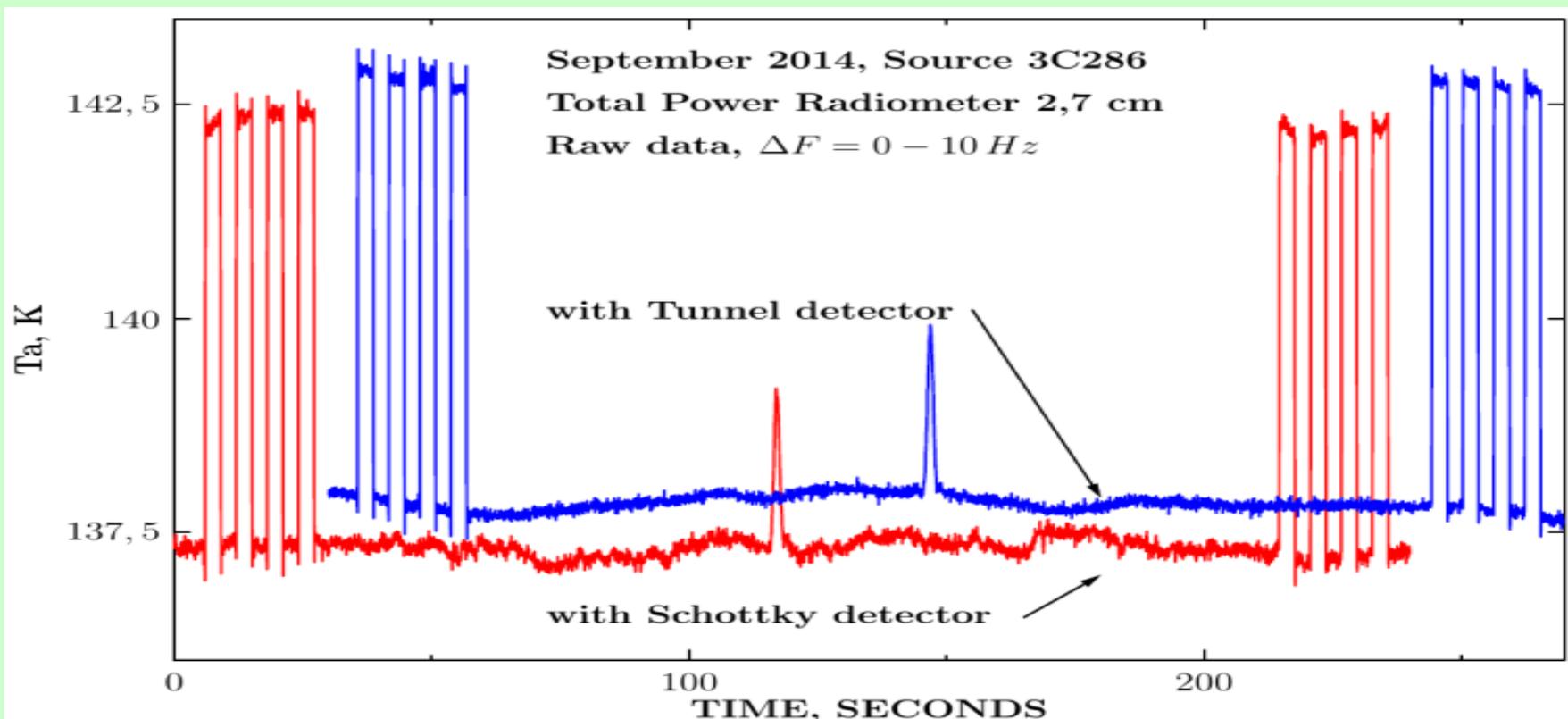
В 2014 г. будет завершен перевод всех криогенных радиометров РАТАН-600 на теплые входные МШУ. В диапазонах 6 см, 3.5 см и 2.6 см отличие по шумам от криогенных усилителей составляет от 7 до 16 К, с учетом же гермовводов в криостаты - вдвое меньше. В диапазоне 1.4 см некоторая потеря в чувствительности 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

Продолжаются работы по повышению чувствительности радиометров континуума путем их перевода в режим "полной мощности".
В сентябре с.г. модернизирован радиометр диапазона 2.7 см (Облучатель № 1) – замена детектора с диодом Шоттки на туннельный детектор.

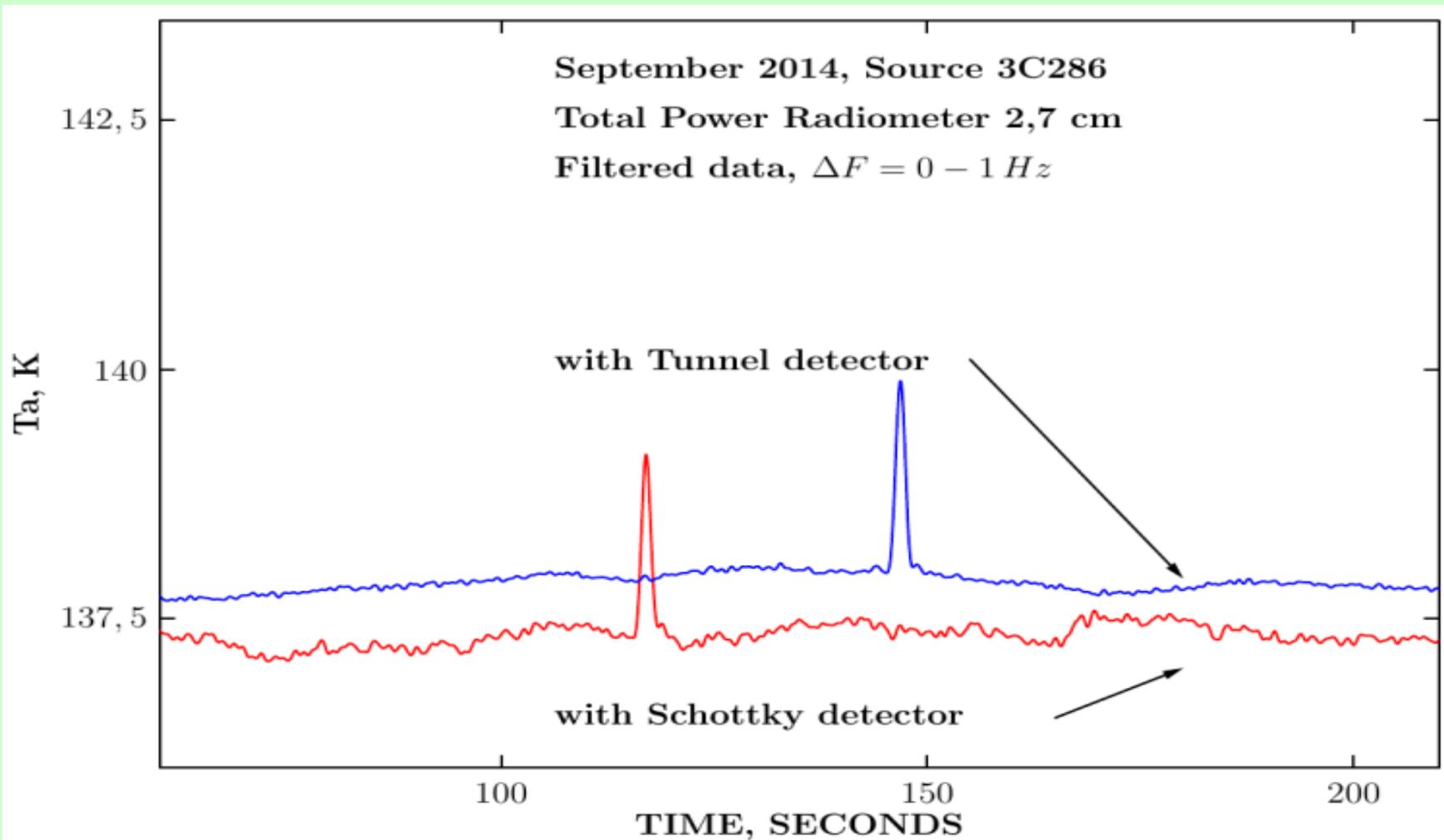


На обеих записях присутствуют "белая" компонента шума радиометра и "атмосферные волны».

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.



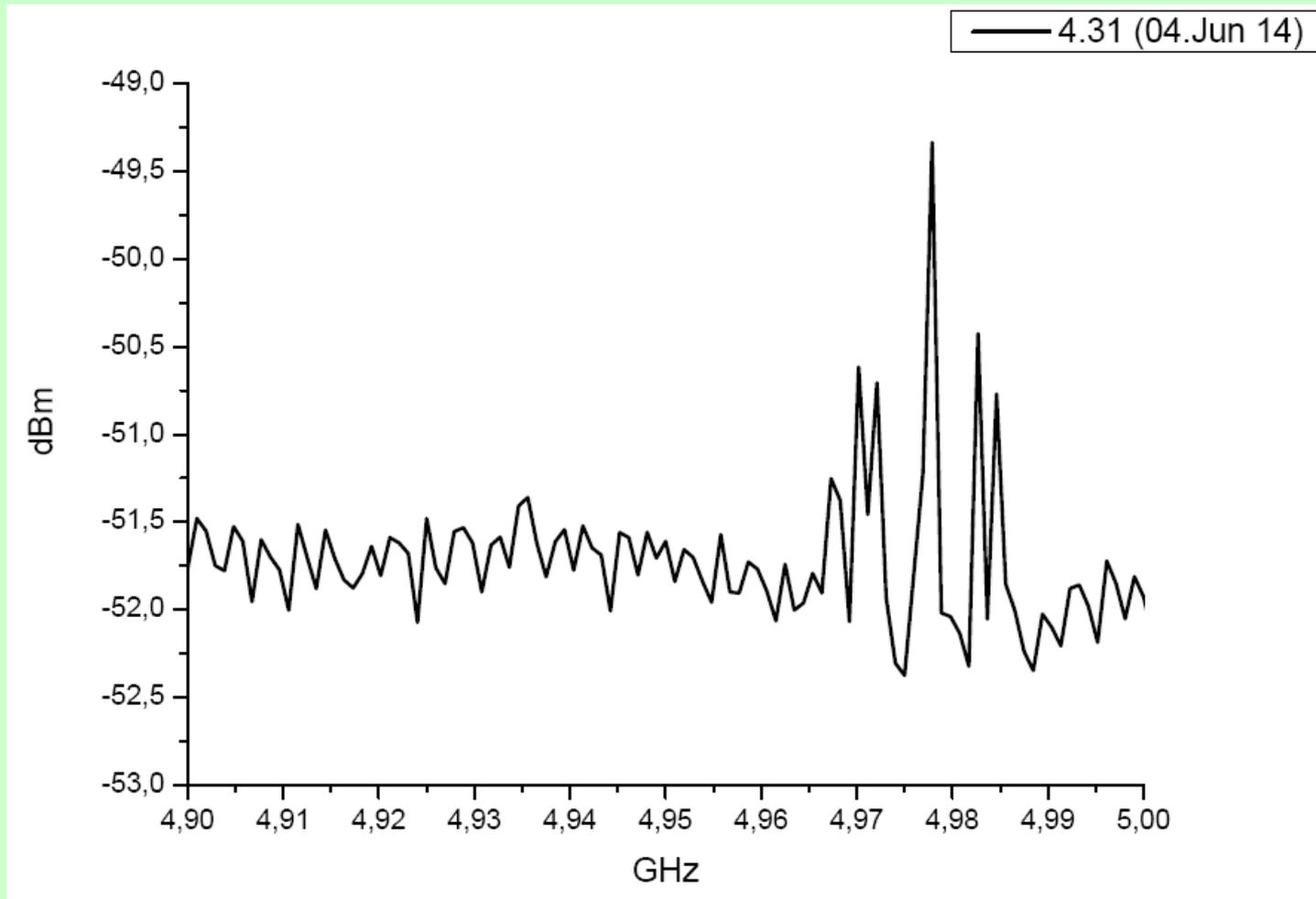
Завершена модернизация Систем Сбора Данных и Управления (ССДиУ) для наблюдений в континууме на всех приемных комплексах радиометров континуума:

3 облучателя, 30 радиометров.

Основные характеристики новых ССДиУ:

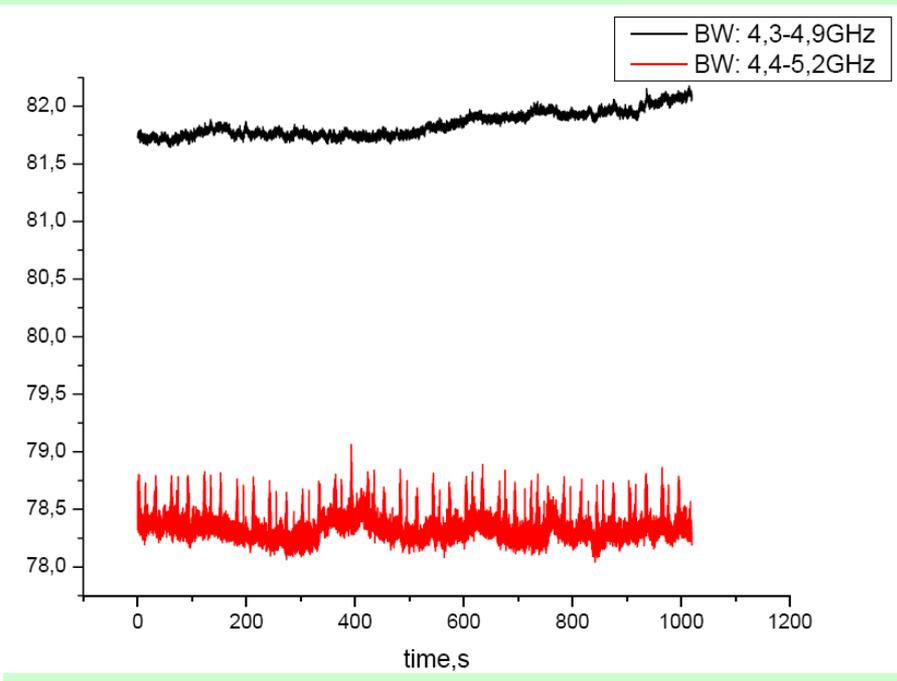
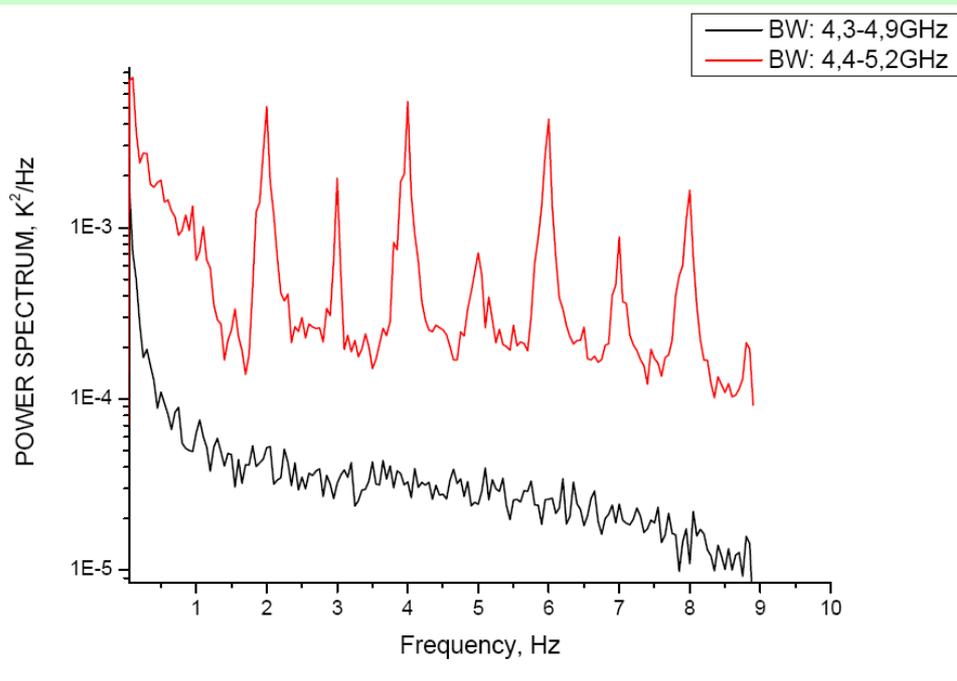
- 1) Измерение полной мощности принимаемого излучения.
- 2) Спектральная Плотность Мощности Шума (СПМШ) измерительной системы равна 7 микро-Вольт/sqrt (Hz) и постоянна всюду вплоть до 0.001 Hz.
- 4) Масштабируемость - простое добавление требуемого числа измерительных каналов.
- 5) Сетевой интерфейс - цифрованные и обработанные сигналы радиометров доступны в локальной вычислительной сети.
- 6) ССДиУ может быть встроена непосредственно в радиометр.
- 7) Синхронизация времени на каждом приемном комплексе (GPS).

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 плавает от 4.96 ГГц до 5.05 ГГц. Ширина стабильно около 22 МГц.

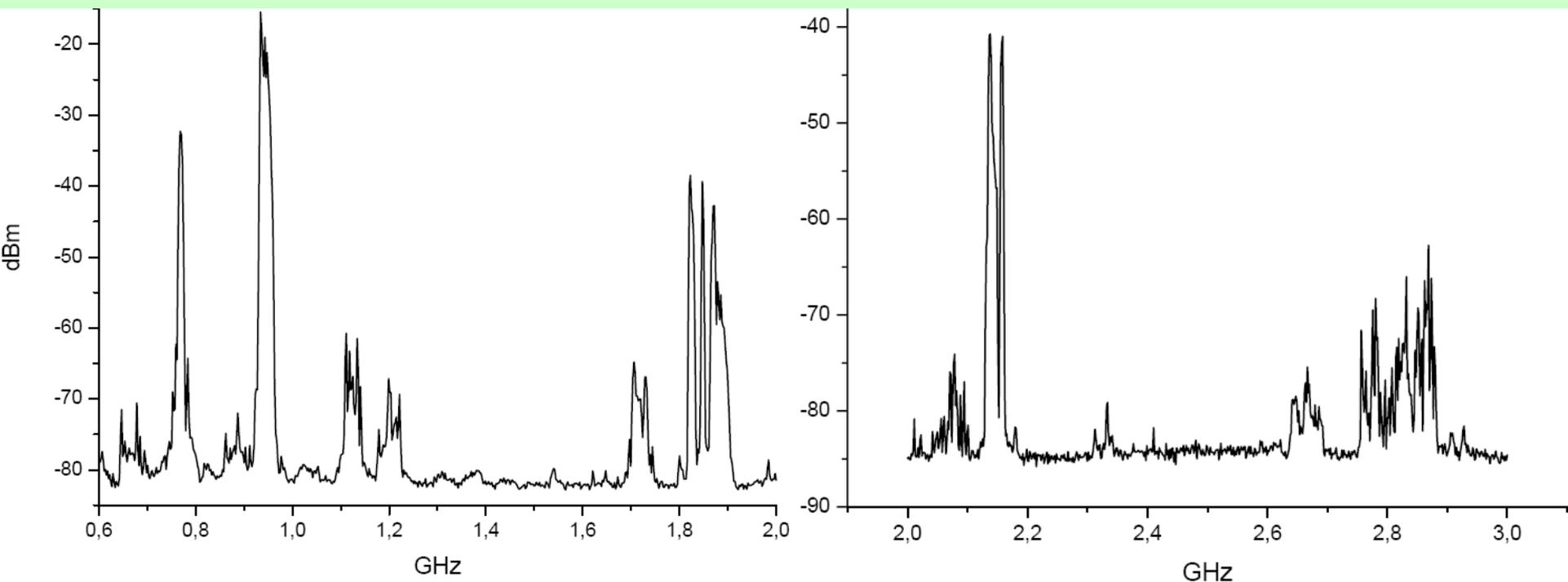
Результаты борьбы с помехами на волне 6,2 см (изменение полосы приема)



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

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

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/>.

Спасибо за внимание!

