

## **Аннотация**

В рамках Пушинской обсерватории АКЦ ФИАН уже несколько лет развивается центр хранения и обработки радиоастрономических данных (Radio Astronomy Data Center, RADS). Он состоит из:

- а) базы данных на основе важнейших для радиоастрономов астрономических каталогов;
- б) базы наблюдательных данных Пушинской радиоастрономической обсерватории.

База данных астрономических каталогов <http://astro.prao.ru/db/> содержит сейчас несколько десятков важнейших астрономических каталогов, необходимых для планирования наблюдений радиоастрономов. С 2011 года база данных астрономических каталогов активно оснащается средствами графической визуализации данных и кросс-анализа каталогов между собой.

В базу наблюдательных данных обсерватории <http://observations.prao.ru/> поступают результаты с большинства наблюдательных установок и радиотелескопов ПРАО. Она снабжена описаниями наблюдательных установок и телескопов, механизмами выборки данных по установкам, видам наблюдений, наблюдателям, датам наблюдений, небесным объектам и т.п.

## **Abstract**

The Radio Astronomy Data Center (RADDC) are developed at PRAO ASC LPI in last some years. It consists from:

- a) the database of most important for radio astronomers astronomical catalogs;
- b) the database of observational data of Pushchino Radio Astronomy Observatory.

The database of astronomical catalogs <http://astro.prao.ru/db/> contains few tens of most important catalogs for planning radio astronomy observations. Since 2011 a database of astronomical catalogs actively equipped with graphical tools for data visualization and cross-analysis of catalogues between one with other.

The observation database <http://observations.prao.ru/> is collected observational data from base observatory instruments and radio telescopes. This database provides access to observation instruments and telescopes descriptions, techniques of making data samples per instruments, information about types of observations, observers and dates of observations and so on.

# **Развитие центра хранения и обработки радиоастрономических данных (RADS) Пушинской радиоастрономической обсерватории Астрокосмического центра ФИАН.**

Самодуров В. А.<sup>(1)</sup>, Исаев Е.А.<sup>(1,2)</sup>, Пугачев В.Д.<sup>(1)</sup>

(1) - Пушинская радиоастрономическая обсерватория астрокосмического центра ФИАН

(2) - Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

## **Введение.**

Сейчас для астрономов весьма актуальной становится задача сравнительного анализа выборок источников из различных астрономических каталогов – как одного спектрального диапазона, так и их перекрестный анализ. Важно также размещение реальных данных с астрономических инструментов в режиме online. В вышеперечисленных целях нами развиваются сайты ПРАО АКЦ ФИАН ([www.prao.ru](http://www.prao.ru)) созданных на их основе центр хранения и обработки радиоастрономических данных (RADS). Здесь можно найти как инструментарий для подготовки радиоастрономических наблюдений, в частности, базовый набор основных астрономических каталогов, полезных для радиоастрономов, так и базу данных результатов наблюдений обсерватории.

База данных астрономических каталогов работает в режиме on-line на сайте «Рабочая среда радиоастронома» (<http://astro.prao.ru/db/>). Она содержит сейчас несколько десятков важнейших астрономических каталогов, необходимых для планирования наблюдений радиоастрономов. База данных состоит из нескольких сводных таблиц описаний астрономических каталогов и собственно таблиц каталогов. Наполнение базы данных, дополнение базовых каталожных таблиц дополнительными данными, и ее обслуживание производится специальными программами, написанными на языках Perl и PHP. С 2011 года база данных астрономических каталогов активно оснащается средствами графической визуализации данных и кросс-анализа каталогов между собой. Данные средства в дальнейшем послужат основой для статистической обработки и перекрестного анализа различных астрономических каталогов.

С 2006 г. работает «Электронная база данных результатов наблюдений на радиотелескопах ПРАО АКЦ ФИАН» (<http://observations.prao.ru/>) . Сайт рабо-

тает на основе единой базы данных (на основе PostgreSQL), в которую непрерывно поступают наблюдательные данные с большинства наблюдательных установок и радиотелескопов ПРАО.

Она снабжена описаниями наблюдательных установок и телескопов, механизмами выборки данных по установкам, видам наблюдений, наблюдателям, датам наблюдений, небесным объектам и т.п. В данную систему добавлены также средства графического отображения информации и статистического анализа данных для основных видов небесных радиоисточников, наблюдаемых на Пушинской обсерватории. Ведется разработка дополнительных средств on-line обработки мониторинговых данных с радиотелескопов. В данный момент в базе данных содержатся пульсарные данные (около 100 тыс. профилей нескольких десятков пульсаров за последние 4 года), спектральные данные для более чем сотни космических мазеров (для ряда из них в базе данных хранятся многолетние ряды данных с 1981 года), хранятся данные радиообзоров на 102.5 и 111 МГц.

### База данных астрономических каталогов

В целях поддержки и подготовки наблюдений на сайте ПРАО создан сайт «Рабочая среда радиоастронома» <http://astro.prao.ru/>. Составной частью в него входит база данных астрономических каталогов на сайте ПРАО АКЦ ФИАН <http://astro.psn.ru/db/>, которая содержит несколько десятков важнейших каталогов с общим числом записей более полутора миллионов источников (Рис. 1).

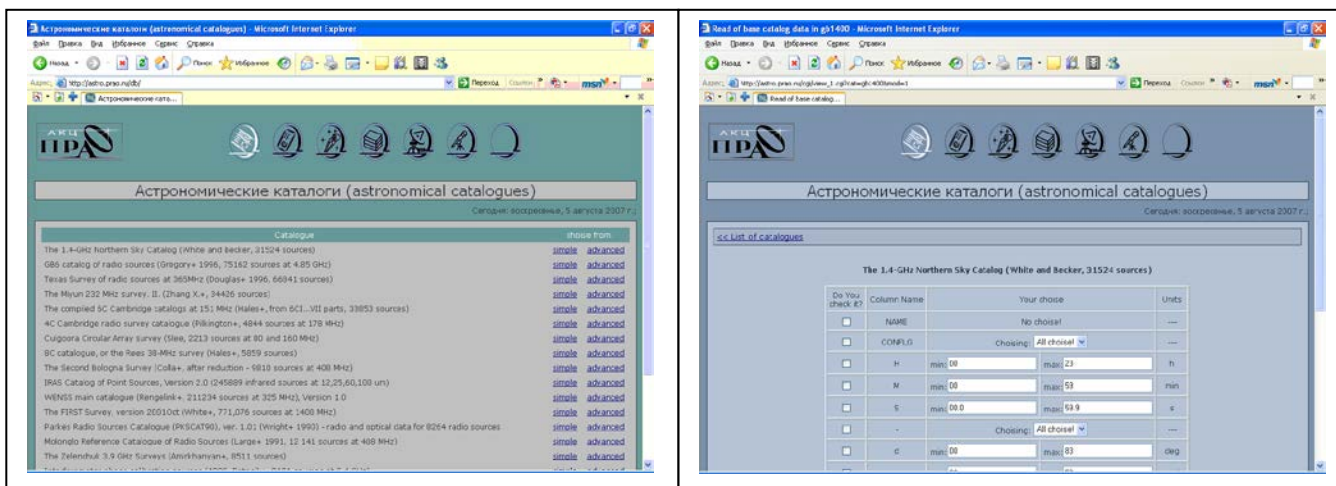


Рис.1. Слева – заглавная страница базы данных астрономических каталогов. Справа – запросная форма данных для одного из астрономических каталогов из базы данных.

Программы наполнения базы каталожных данных позволяют в любой момент легко расширить список необходимых каталогов. Для всех каталогов работают программы выборки данных по любому из параметров любого каталога. Это позволяет вести статистику данных по избранным параметрам, готовить выборки данных к наблюдениям (см. Рис. 1). При этом для каждого каталога выдается две разновидности запросной формы: простая и сложная. В простую форму автоматически выводятся лишь самые важные параметры источников (например, координаты и их потоки) с уже введенными границами по ним. Поэтому достаточно нажать на кнопку «Select data», как выведется весь каталог полностью, с указанными основными параметрами для каждого источника. Сложная форма позволяет выбрать любые параметры источников (из представленных в описании каталога), и нужные ограничения по ним.

База данных содержит сейчас несколько десятков важнейших астрономических каталогов, необходимых для планирования наблюдений радиоастрономов. База данных состоит из нескольких сводных таблиц описаний астрономических каталогов и собственно таблиц каталогов. Наполнение базы данных, дополнение базовых каталожных таблиц дополнительными данными, и ее обслуживание производится специальными программами, написанными на языках Perl и PHP. С 2011 года база данных астрономических каталогов активно оснащается средствами графической визуализации данных и кросс-анализа каталогов между собой. Данные средства послужат основой для статистической обработки и перекрестного анализа различных астрономических каталогов.

### **База данных результатов наблюдений**

После подготовки наблюдений и формирования графика наблюдений они проводятся на различных радиотелескопах ПРО АКЦ ФИАН. На выходе получаются весьма разнородные данные: пульсарные, обзорные, наблюдения мерцающих источников, спектральные наблюдения и другие. Для и систематизации, ведения и анализа создана единая база данных наблюдений радиоисточников от радиотелескопов ПРАО АКЦ ФИАН (метровый и миллиметровый диапазон радиоволн). Именно на ее основе с 2006 г. заработал сайт «Электронная база данных результатов наблюдений на радиотелескопах ПРАО АКЦ ФИАН» : <http://observations.prao.ru/> , см. Рис 2.

База данных снабжена не только описаниями наблюдательных установок и телескопов, но и механизмами выборок данных по установкам, видам наблюдений, наблюдателям, датам наблюдений и т.п. (см рисунок ниже).

Например, можно просмотреть все данные за последние несколько суток, либо, выделив один избранный источник, просмотреть его изменения. Анализ

данных позволяет также калибровать поступающий поток данных по опорным источникам, следить за состоянием антенн, уровнем помех, и т.п. (см примеры на рисунках далее).

Электронная база данных результатов наблюдений на радиотелескопах ПРАО АКЦ ФИАН - Microsoft Internet Explorer

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

Назад Поиск Избранное

Адрес: http://observations.prao.ru/ Пере

Электронная база дан...

Вы вошли как гость

Имя:  Пароль:

Отправить

Выбрать данные по параметрам:

Радиотелескоп	все
Наблюдатель	1 - выбрать
Научная задача	1 - выбрать
Дата наблюдений (yyyy-mm-dd)	от <input type="text"/> до <input type="text"/>
Координаты начальные: α	<input type="text"/> δ <input type="text"/>
источников конечные: α	<input type="text"/> δ <input type="text"/>

Выбрать

[Радиотелескопы ПРАО](#) [Установки и приборные комплексы ПРАО](#)  
[Наблюдатели](#) [Мониторинг данных](#)

Рис. 2. Начальная форма для выборки наблюдательных данных с радиотелескопов ПРАО АКЦ ФИАН.

Все данные наблюдений обсерватории пишутся (вторые копии файлов) на специальный рейд-массив емкостью 2 Терабайта (с 2011 – на рейд-0массив в 23 Тб). На 2011 г. в базе данных хранится около 200 тысяч файлов данных для нескольких сотен источников (пульсары; мазерные источники; обширные зоны на небе - в том числе многодневные круглосуточные наблюдения в 16 лучах полосы шириной  $8^\circ$  по склонению; другое) общим объемом более 150 Гбт.

Датировка первых данных в базе наблюдений – сентябрь 2006, но в нее будут постепенно добавлены в дальнейшем все имеющиеся электронные данные на ПРАО (с начала 80-х годов по отдельным видам наблюдений).

Данная система в 2007 и в 2008 гг расширена средствами графического отображения информации и статистического анализа данных для различных видов небесных радиоисточников. Ведется также разработка средств on-line обработки мониторинговых данных с радиотелескопов.

Примеры выборки данных по конкретному наблюдателю, научной задаче по источникам, по помеховой обстановке – показаны на Рис. 3, 4, 5, 6.

Название установки (рус.)	Название установки (англ.)	Описание (рус.)	Описание (англ.)
Пульсарная установка УАС-128	Pulsar device NAS-128	Старая пульсарная установка УАС-128 (Узкополосный Анализатор Спектра 128 каналов). Имеет 128 каналов шириной по 1.5 КГц. Управление установкой автоматизировано (управление компьютером), сьем данных - также на компьютер. Входной сигнал на установку приходит с промежуточного устройства АС-16 (4 канала по 640 КГц). Количество пользователей: 1-2 сотрудника с ПРАО	Pulsar device NAS-128 (Narrow band Analyzer of Spectra) has 128 channels with narrow band is 1.5 kHz each.
Пульсарная установка АС-128	Pulsar device AS-128	Старая пульсарная установка АС-128. Имеет 128 каналов шириной по 20 КГц. Управление установкой автоматизировано (управление компьютером), сьем данных - также на компьютер. Входной сигнал на установку приходит с промежуточного устройства АС-16 (4 канала по 640 КГц). Количество пользователей: 15-20 сотрудников с ПРАО.	Pulsar device AS-128 has 128 channels with band is 20 kHz each.
Пульсарная установка АС-32	Pulsar device AS-32	Старая пульсарная установка АС-32. Имеет 32 канала шириной по 5 КГц. Управление установкой автоматизировано (управление компьютером), сьем данных - также на компьютер. Входной сигнал на установку приходит с промежуточного устройства АС-16 (4 канала по 640 КГц). Количество пользователей: 1-2 сотрудника с ПРАО.	Pulsar device AS-32 has 32 channels with band is 5 kHz each.
Блок АС-16	Device AS-16	Промежуточное устройство АС-16 получает сигнал с БСА в полосе 780 КГц, выдает 4 канала по 640 КГц (соответствует 4 лучам БСА). С него получают сигналы пульсарные установки: АС-128, АС-32, УАС-128. Управляется компьютером. Само	Device AS-16 has: input band in 780 kHz and 4 output channel with band 640 kHz each. AS-16 is create input

Рис. 3. Пример выборки данных по конкретному наблюдателю и научной задаче

Название установки (рус.)	Название установки (англ.)	Описание (рус.)	Описание (англ.)
Пульсарная установка УАС-128	Pulsar device NAS-128	Старая пульсарная установка УАС-128 (Узкополосный Анализатор Спектра 128 каналов). Имеет 128 каналов шириной по 1.5 КГц. Управление установкой автоматизировано (управление компьютером), сьем данных - также на компьютер. Входной сигнал на установку приходит с промежуточного устройства АС-16 (4 канала по 640 КГц). Количество пользователей: 1-2 сотрудника с ПРАО	Pulsar device NAS-128 (Narrow band Analyzer of Spectra) has 128 channels with narrow band is 1.5 kHz each.
Пульсарная установка АС-128	Pulsar device AS-128	Старая пульсарная установка АС-128. Имеет 128 каналов шириной по 20 КГц. Управление установкой автоматизировано (управление компьютером), сьем данных - также на компьютер. Входной сигнал на установку приходит с промежуточного устройства АС-16 (4 канала по 640 КГц). Количество пользователей: 15-20 сотрудников с ПРАО.	Pulsar device AS-128 has 128 channels with band is 20 kHz each.
Пульсарная установка АС-32	Pulsar device AS-32	Старая пульсарная установка АС-32. Имеет 32 канала шириной по 5 КГц. Управление установкой автоматизировано (управление компьютером), сьем данных - также на компьютер. Входной сигнал на установку приходит с промежуточного устройства АС-16 (4 канала по 640 КГц). Количество пользователей: 1-2 сотрудника с ПРАО.	Pulsar device AS-32 has 32 channels with band is 5 kHz each.
Блок АС-16	Device AS-16	Промежуточное устройство АС-16 получает сигнал с БСА в полосе 780 КГц, выдает 4 канала по 640 КГц (соответствует 4 лучам БСА). С него получают сигналы пульсарные установки: АС-128, АС-32, УАС-128. Управляется компьютером. Само	Device AS-16 has: input band in 780 kHz and 4 output channel with band 640 kHz each. AS-16 is create input

Рис. 4. Выборка описаний наблюдательных установок ПРАО

Рис. 5. Наблюдения двух разных источников в одни и те же дни: пульсаров PSR 0809+74 и PSR 0823+26:

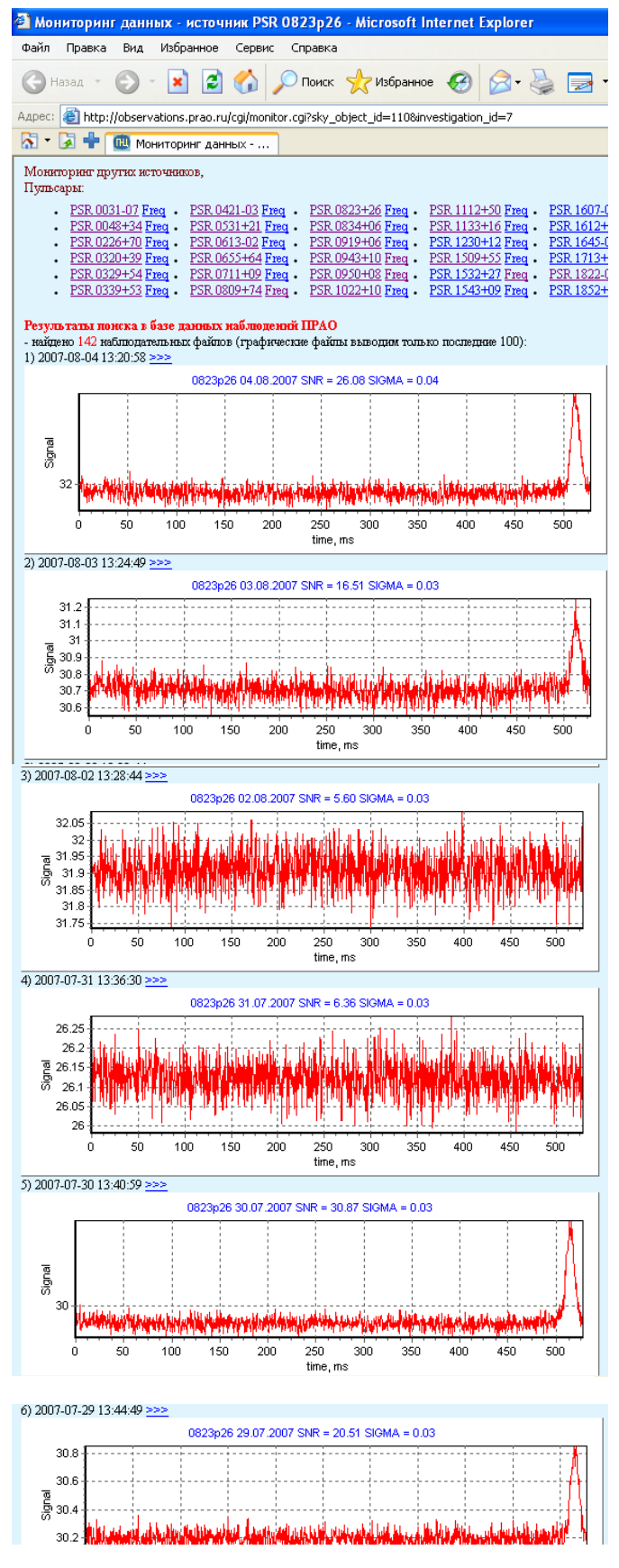
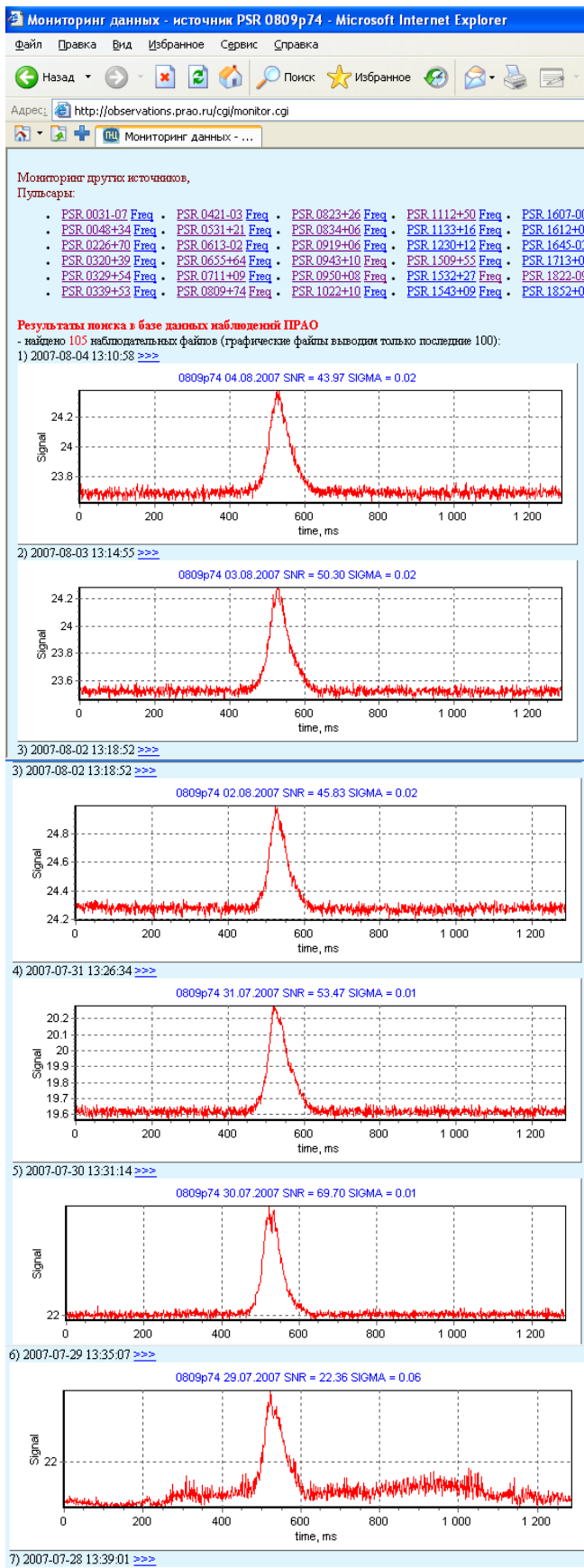
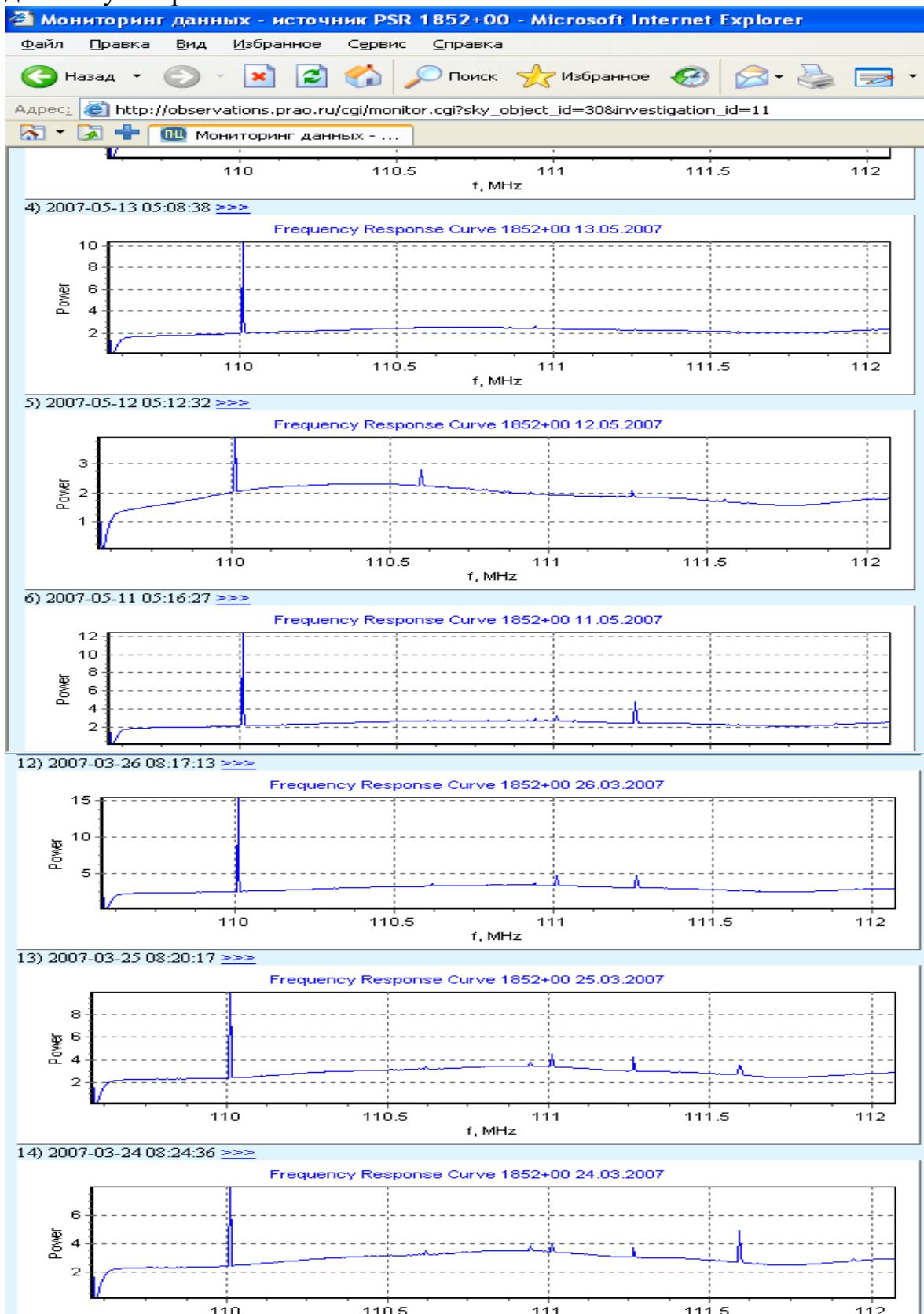


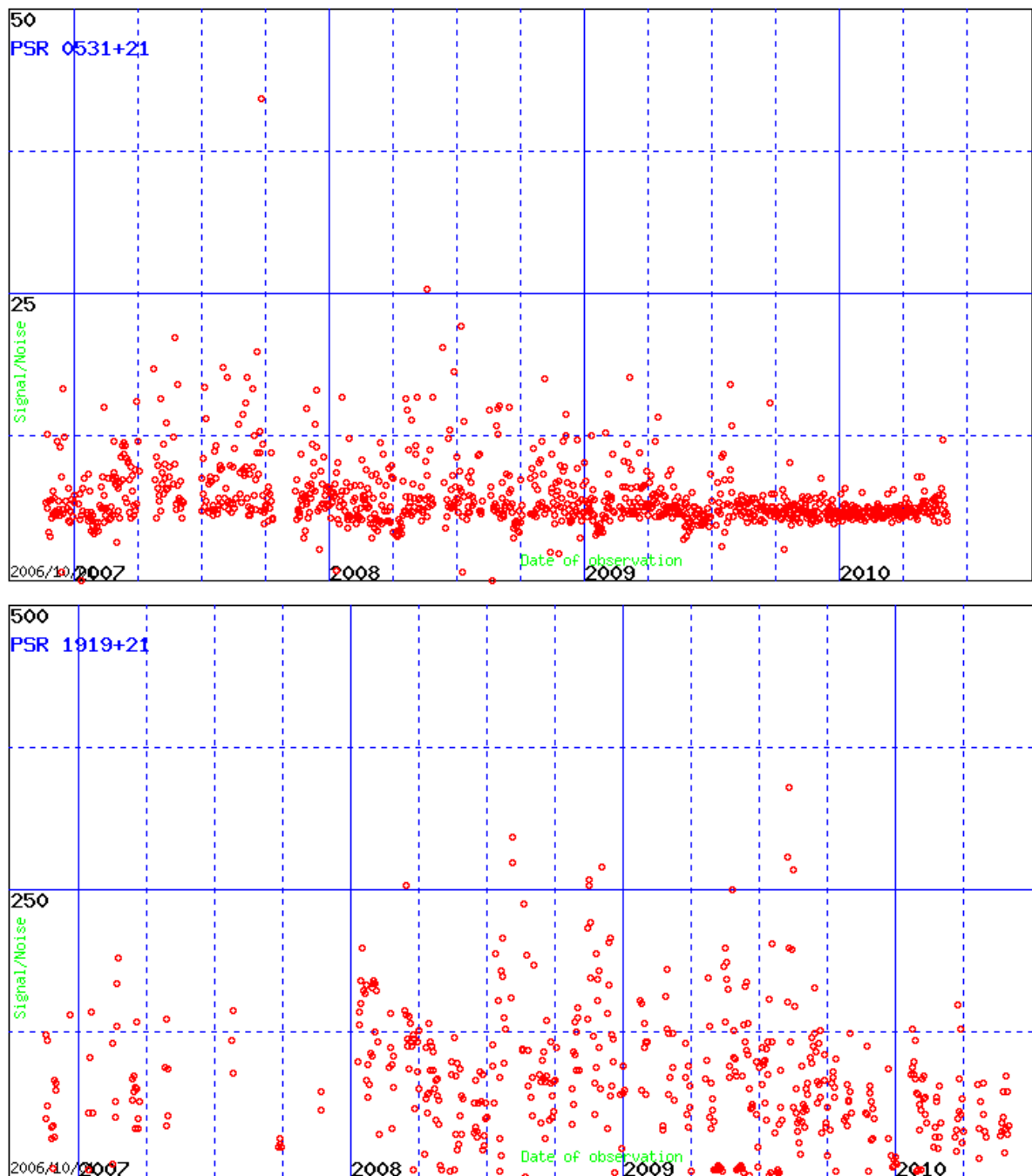
Рис. 6. Использование базы данных для исследования влияния помех на наблюдения на БСА на рабочих частотах (109-112 МГц) в разные дни (радиопомехи отмечены выбросами на шкале частот) на основе наблюдений пульсара PSR 1852+00:





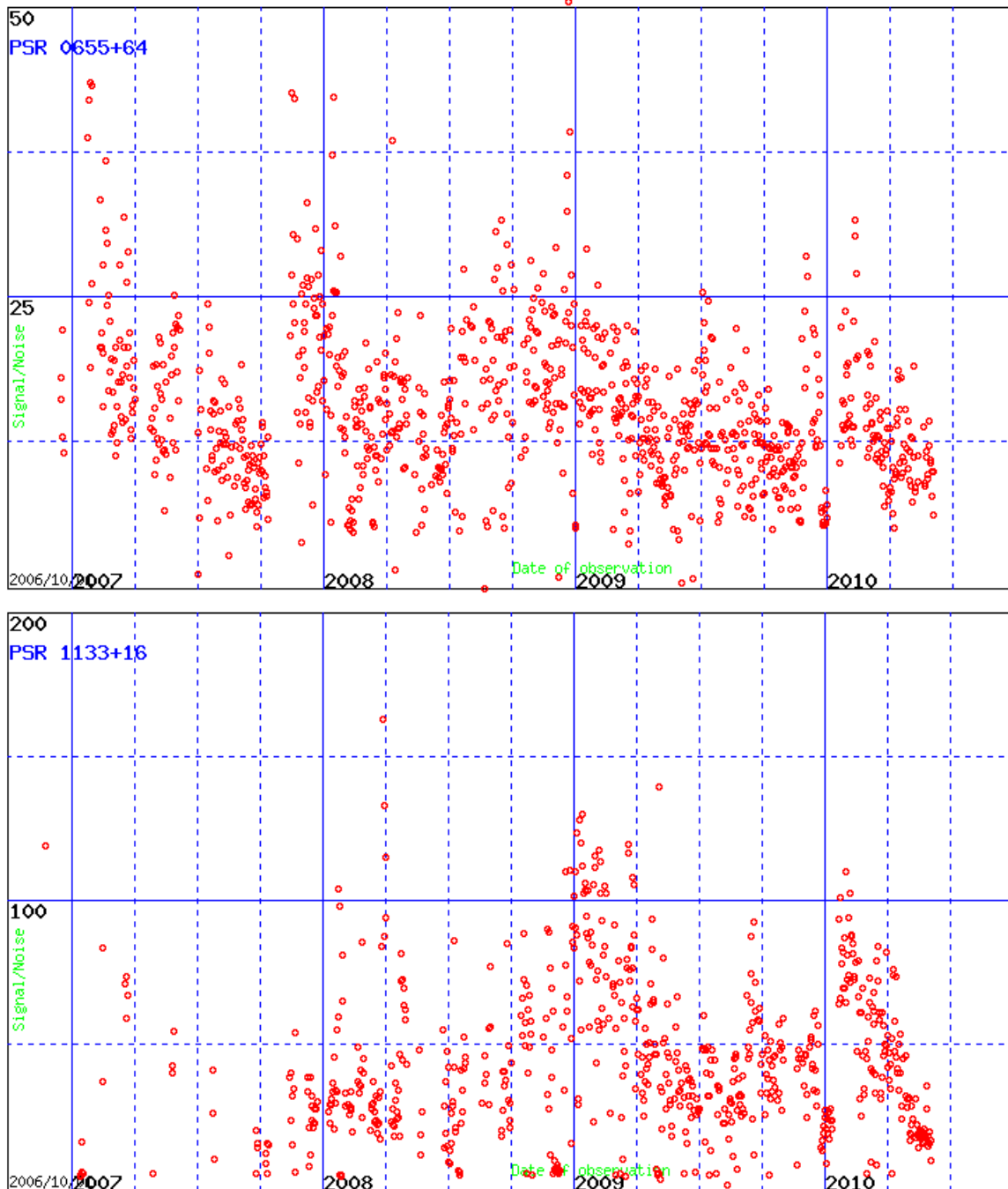
Наиболее интересное, что можно взять для анализа из построенной базы данных – это анализ поведения характеристик источников в зависимости от эпохи наблюдений. Примеры – показаны на Рис. 7,8,9.

Рис. 7. График отношения сигнал/шум для PSR 0531+21. Для данного пульсаров систематика изменений данного параметра во времени практически не наблюдается. Отношение сигнал/шум ведет себя как базовая линия с рядом статистических выбросов. Действительно, из литературы известно, что данный пульсар имеет особенность – временами он демонстрирует гигантские импульсы. Данную особенность и выявляет база данных наблюдений. PSR 1919+21 ниже – не демонстрирует значимых изменений.



Из анализа данных по отдельным источникам можно выявить систематические закономерности их поведения. Далее на приведенных рисунках: ход отношения Сигнал/Шум для нескольких пульсаров за почти 4 года наблюдений. На данных заметны систематические (по-видимому, сезонные) изменения.

Рис. 8. График отношения сигнал/шум для PSR 0655+64 и PSR 1133+16. Для данных пульсаров наблюдается систематика изменений (вероятны как сезонные изменения, генерируемые изменением характеристик антенны, так и реальные изменения в пульсарах либо в среде распространения сигналов от них).



Аналогичные многолетние изменения можно легко получить из базы данных и по другим типам источников. В начале 2009 г. в базу данных введены наблюдательные данные по космическим мазерам. В большинстве своем для мазерных источников в линии водяного пара (на 22 ГГц) введены данные за 1994-2010 гг, но для некоторых источников – приведены ряды наблюдений, начиная с 1981 года.

Рис. 9а – пример одиночного спектра космического мазера в линии водяного пара W3OH на 22 ГГц, на дату 29 августа 2000 г.

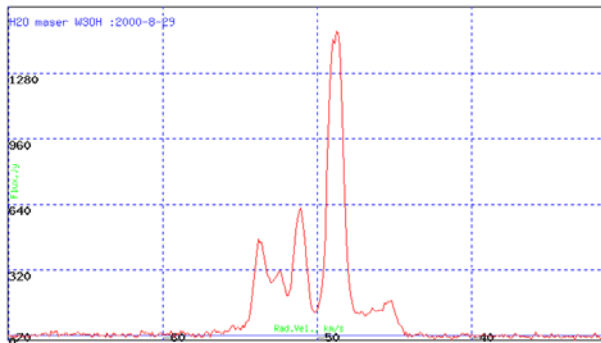
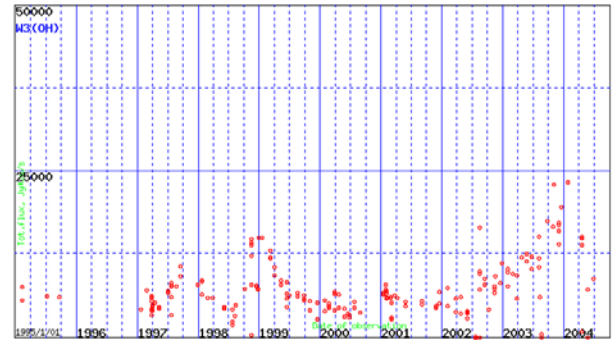


Рис. 9б – мазер W3OH показывает значительные изменения суммарного потока (в Ян) на характерных масштабах месяцев и лет.



В 2010 возможности базы данных по выводу и анализу данных наблюдений мазерных источников были расширены (новая версия базы данных находится по адресу <http://observations.prao.ru/cgi/new/index.pl> . Теперь можно выводить сводную информацию множества параметров в зависимости от времени по каждому из источников. Ниже – пример такой анализа для одного из источников – W Nya (см. Рис. 10). Ввиду своего низкого положения на небе ( $\alpha_{1950} = 13\text{h } 46\text{m } 12\text{s}$   $\delta_{1950} = -28^\circ 7' 9''$ ) это весьма низкий и неудобный для наблюдений в средних широтах источник. На измерениях его плотности потока сказываются и высота источника над близким горизонтом, и погода, и, разумеется, состояние приемной аппаратуры. Все это хорошо заметно на рисунке 11, отображающих несколько наблюдательных сессий этого источника в апреле 2010 г.

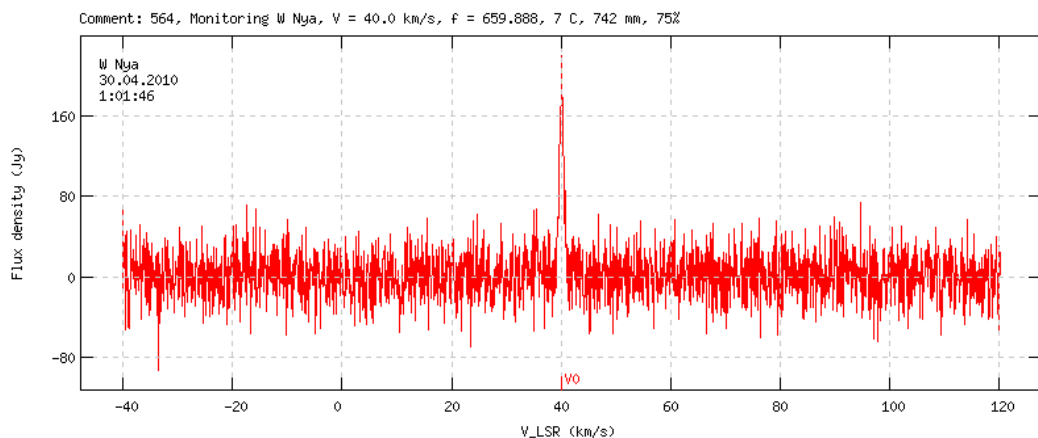
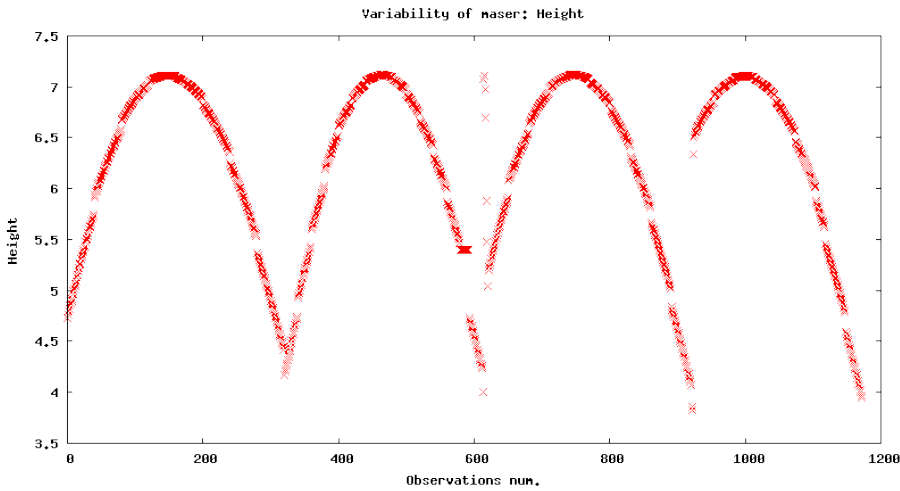


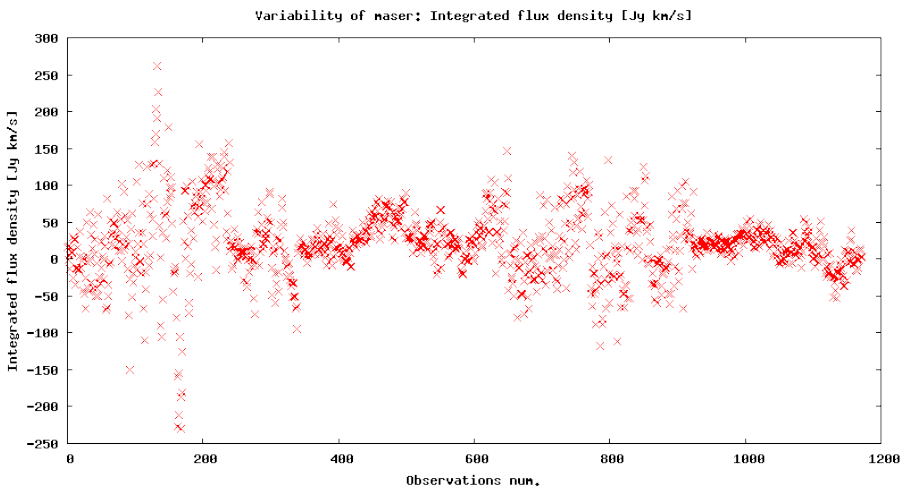
Рис. 10. Пример спектра W Нуа в одной из наблюдательных сессий апреля 2010 г.

Рис. 11. Статистика 4-х сессий:

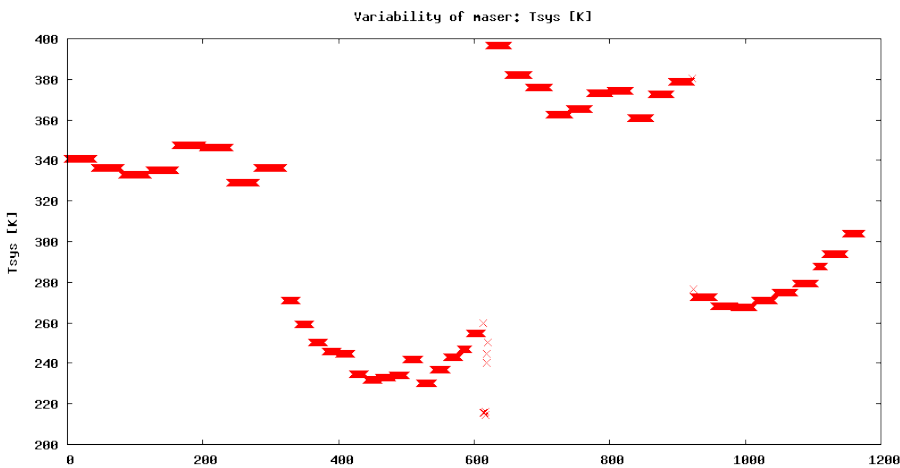
а) зависимость высоты источника над горизонтом от номера файла внутри апреля 2010 г.



б) зависимость потока источника от номера файла внутри апреля 2010 г. Просматривается корреляция потока с высотой источника (рис. 11а). Первая и третья серия наблюдений – очевидно хуже 2 и 4-й.



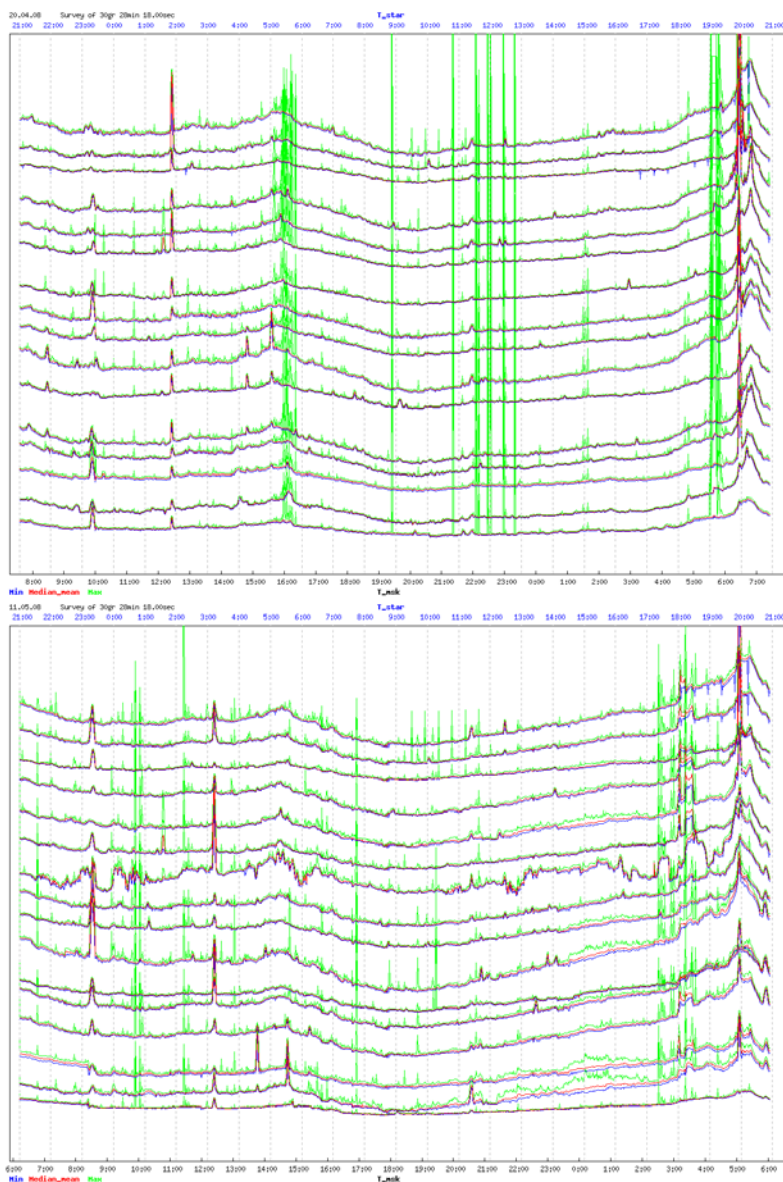
в) зависимость  $T_{\text{sys}}$  от номера файла внутри апреля 2010 г. Хорошо видно, что во 2 и 4 сериях  $T_{\text{sys}}$  ниже, что и дало лучшее качество данных на рис. 11б.



Как мы видим из рисунка 11, поток источника тем больше, чем выше он над горизонтом, и эта зависимость видна тем четче (вырисовываясь из шумов данных), чем ниже температура приемной системы.

Подготовлены к подключению к базе данных и прошли тестовую процедуру, которая будет применена при включении среза данных в специальную таблицу – данные круглосуточных обзорных наблюдений на радиотелескопе БСА. Ниже мы приводим образцы данных, которые появятся в ближайшее время на сайте. На их основе можно будет отслеживать состояние радиотелескопа БСА, помеховую обстановку, и решать другие задачи, например, по мониторингу ионосферы и возможных транзиентных явлений. Например, приведенные ниже на рис. 12 два образца показывают, что в промежутке между 12 и 13 часами (Мск) происходит повторяющийся выброс помех. Такие регулярные явления можно будет анализировать специальными sql-запросами обращениями к базе данных.

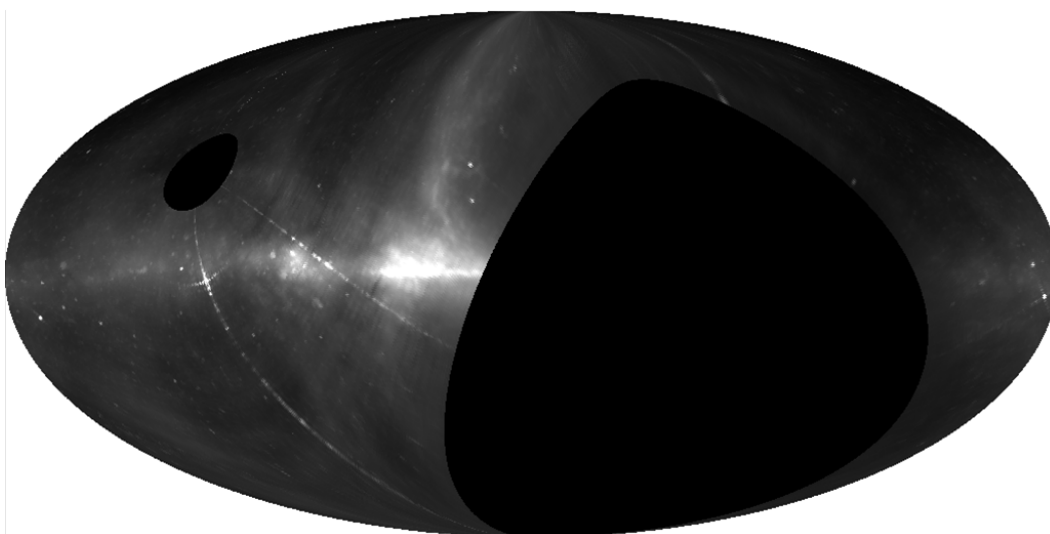
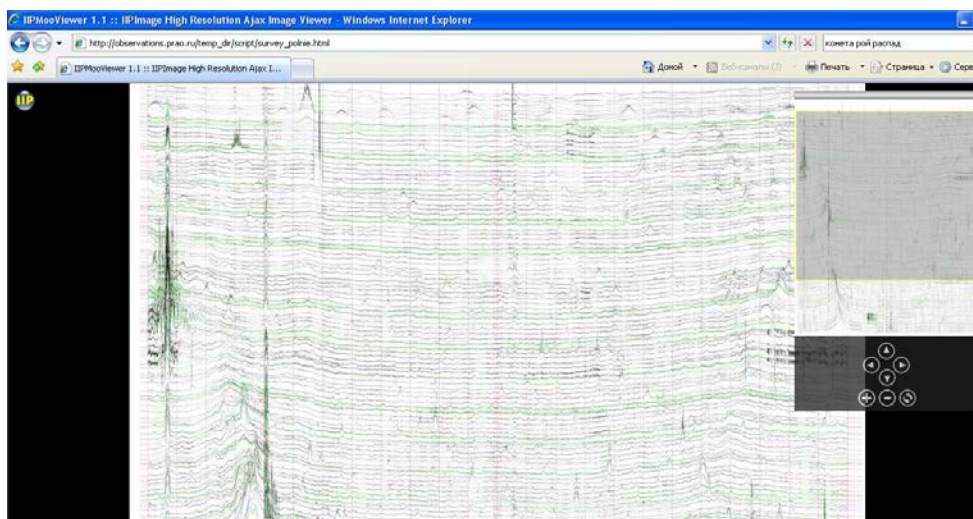
Рис. 12. Образцы обзорных данных на 16-ти лучевой диаграмме радиотелескопа БСА ФИАН для двух различных суточных записей наблюдений 20.04.2008 г. и 11.05.2008 г.



Но полностью всю мощь базы данных для анализа и мониторинга небесных радиоисточников, состояния ионосферы, космической погоды и т.п. – мы сможем выявить после запуска новой 128-лучевой диаграммы БСА (планируется в конце 2011 г.) и специального многоканального приемника.

В июне 2010 года на сайт наблюдений подключены в виде отдельной базы данных [http://observations.prao.ru/temp\\_dir/](http://observations.prao.ru/temp_dir/) результаты обзорных наблюдений на БСА в 1991-1993 гг северной полусферы неба ( $-16^\circ < \delta_{1950} < +82^\circ$ ). Сейчас эта часть базы данных работает в тестовом режиме, выводя на сайт лишь общие оригинальные результаты обзора в результате масштабируемых сканов с данными и изофоты в различных проекциях (рис. 13). В дальнейшем, по завершению обработки, к базе данных будет подключен каталог источников на основе данных обзора.

Рис. 13а,б. Оригинальные результаты наблюдений обзора северной полусферы неба на 102.5 МГц в 1991-93 гг. Вверху, на гибко масштабируемом изображении сайта – полная выборка сканов с многолучевой антенны БСА. Ниже – оригинальные данные обзора в проекции Молдвейна.



## **Заключение**

Итак, на основе ряда примеров мы убедились, что даже из простейшего систематического анализа данных наблюдений – по избранному времени наблюдения и по выборкам конкретных источников, вполне можно решать множество задач:

- анализировать состояние антенн ПРАО АКЦ ФИАН и качество наблюдений – по совокупности данных на конкретную дату наблюдений
- анализ можно расширить на исследование сезонности состояния антенн, влияния на данные космической погоды и т.д.
- анализировать изменения конкретного источника, обнаруживая систематические изменения избранного для анализа параметра
- при расширении числа обрабатываемых и хранимых в базе данных параметров можно устанавливать эмпирические зависимости между самыми разными характеристиками как радиоисточников, так и приемных систем на радиотелескопах ПРАО АКЦ ФИАН.

Соответственно, ввиду больших возможностей база данных наблюдений ПРАО неизбежно будет расширяться – как по объему наблюдательных данных, так и по средствам их визуализации и анализа.

В 2011 году, в частности, в базу будет завершен ввод данных по космическим мазерам (ряды данных для некоторых источников - с 1981 г.) и их визуализация; будет завершено автоматизирование ввода и визуализация обзорных данных (в частности, круглосуточные многолучевые наблюдения на БСА по программе космической погоды).

Все данные наблюдений обсерватории с 2011 г. пишутся на специальный сервер данных с рейд-массивами емкостью 23 Терабайта. Оснащение данным серверным оборудованием поддержано грантом РФФИ 10-02-05065-б.