

УДК 520.27:523.9

## РАДИОТЕЛЕСКОП РАТАН-600 В 24 ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ. IV. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА НА РАТАН-600

© 2011 С. Х. Тохчукова\*

*Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия*

Поступила в редакцию 27 июля 2010 г.; принята в печать 28 октября 2010 г.

Развитие наблюдательной техники и программного обеспечения для обработки и эффективного представления спектрально-поляризационных микроволновых наблюдений Солнца на РАТАН-600 способствует получению новой информации о параметрах плазмы на уровнях хромосферы и короны, недоступных для регистрации в УФ и рентгеновском диапазонах. Приведено описание действующей информационной системы наблюдений Солнца на РАТАН-600, обеспечивающей автоматизированный сбор, хранение, обработку данных и их оперативное представление в сети Интернет. Пользовательский веб-интерфейс для интерактивного поиска, визуализации и on-line анализа данных представлен по адресу <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/>.

Ключевые слова: *методы астрономических наблюдений, приборы и инструменты*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Наблюдения в микроволновом диапазоне дают возможность измерять параметры плазмы в структурах атмосферы Солнца на уровнях хромосферы и нижней короны, недоступные для регистрации в УФ и рентгеновском диапазонах. В частности, большой интерес для исследователей представляют радиометоды измерения магнитных полей в короне, основанные на различных механизмах излучения — гирорезонансном (доминирует в пятенных источниках), тепловом тормозном и плазменном. При этом, чем выше чувствительность, пространственное и спектральное разрешение инструмента, тем точнее оценка магнитного поля и тем меньше изменения магнитного поля он может регистрировать.

Радиотелескоп РАТАН-600, оснащенный современным комплексом приемной аппаратуры для наблюдений Солнца, является уникальным инструментом для диагностики параметров солнечной плазмы, сочетая в себе при умеренном пространственном (по сравнению с другими крупнейшими радиотелескопами) разрешении высокую чувствительность, высокое спектральное разрешение в широком микроволновом диапазоне и высокую точность измерения поляризации [1, 2].

Регулярные многоазимутальные наблюдения [3], проводимые на Южном секторе РАТАН-600 с Перископическим отражателем, начиная с 2000 г., показали, что спектры поляризованного излучения активных областей (АО), производящих мощные вспышки, являются немонотонными, в отличие от спектров невоспыхивающих АО [4]. Из расчетных оценок следует, что к таким немонотонностям могут приводить неоднородности параметров плазмы, определяющих плотность поляризованного потока, в высотной структуре АО. Например, неравномерность по высоте величины магнитного поля, температурная инверсия, электрические токи в короне и др. [5, 6]. Особенности в спектрах наблюдаются на масштабах времени несколько часов/дней до вспышки, поэтому ежедневные спектрально-поляризационные радионаблюдения могут быть использованы для предсказания вспышек.

Для исследования предвспышечных явлений и решения других задач физики Солнца, радиометрический комплекс непрерывно развивается — увеличивается спектральное разрешение и расширяется диапазон длин волн. Установленный в настоящее время радиометрический спектральный комплекс обеспечивает регистрацию одновременно на 112 частотных каналах (в диапазоне от 0.756 ГГц до 18.2 ГГц). При этом одновременно на всех каналах

\*E-mail: [susan@sao.ru](mailto:susan@sao.ru)

регистрируются правая ( $R$ ) и левая ( $L$ ) круговая поляризация, что удваивает число каналов регистрации. Количество наблюдений Солнца в азимутах достигает 61 в день (в течение 4 часов вблизи местного полудня). Таким образом, максимальное количество сканов (одномерных изображений на одной длине волны) в день составляет 13664. Для оперативной обработки быстро увеличивающегося количества информации необходимо применение автоматизированных информационных технологий.

Вследствие уникальной конструкции телескопа, получаемые на РАТАН-600 солнечные данные отличаются от данных большинства солнечных телескопов. Это набор одномерных изображений на многих длинах волн, в то время как большинство мировых данных представляют собой двухмерные изображения на одной длине волны. Поэтому интеграция солнечных наблюдений РАТАН-600 в различные виртуальные обсерватории затруднительна. Для обработки и эффективного представления данных, с учетом методических и инструментальных особенностей, требуется разработка специального программного обеспечения.

Для автоматизации задач обслуживания наблюдений и организации оперативного удаленного доступа коллективам научных учреждений РАН и заинтересованным зарубежным пользователям к данным наблюдений на новом радиометрическом комплексе нами разрабатывается (с 2006 года) информационная система (ИС) “Прогноз” на базе специализированного сервера, расположенного в Санкт-Петербургском филиале САО РАН. Система выполняет в автоматическом режиме такие задачи как: сбор данных, контроль их качества, первичную обработку данных, поиск, табличное и графическое представление (визуализация) данных разнообразными способами, сопоставление с данными других обсерваторий, автоматическое распознавание различных особенностей в данных, заполнение базы данных по интересующим объектам (каталогизация), моделирование радиоизлучения локальных источников (ЛИ) на сайте и др. Пользовательский веб-интерфейс для доступа к данным, включающий в себя веб-приложения для удаленной интерактивной обработки данных, представлен на сайте <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/>. В перспективе, дальнейшее развитие ИС до уровня интеллектуальной системы позволит создать систему для автоматического прогнозирования мощных вспышечных событий на основе многоволновых данных РАТАН-600.

## 2. АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ “ПРОГНОЗ”

Автоматизированная ИС наблюдений Солнца на РАТАН-600 состоит из аппаратных средств и программного обеспечения.

### 2.1. Аппаратные средства

Источником данных для ИС являются несколько поколений спектрально-поляризационных комплексов наблюдений Солнца на РАТАН-600 [2].

Создание единой системы для наблюдений и анализа данных солнечных наблюдений на РАТАН-600 стало возможным благодаря внедрению надежных широкополосных каналов связи в информационно-вычислительной сети САО и Санкт-Петербургском филиале САО в 2006 г. В выполнении задач сбора, архивации и обработки данных для ИС задействованы сетевые аппаратные ресурсы серверов и рабочих станций локальной вычислительной сети РАТАН-600 и СПбФ САО. Перенос данных с облучателя №3 РАТАН-600 (ст. Зеленчукская, Карачаево-Черкесия) на специализированный сервер в филиале САО (г. Санкт-Петербург) в настоящее время иницируется планировщиком наблюдений после завершения каждого наблюдения и осуществляется программой *rsync* путем инкрементальной синхронизации удаленных каталогов (т.е. копируются только изменившиеся с момента последней синхронизации файлы, при этом возможно сохранение копий измененных файлов). Время переноса одного наблюдения составляет в настоящее время до нескольких минут. С дальнейшим развитием сетевых технологий станет возможным проведение наблюдений Солнца в режиме реального времени через Интернет.

### 2.2. Программные средства

Используемые в ИС для решения различных задач программные технологии приведены в Табл. 1.

Основным программным средством для решения задач ИС “Прогноз” является IDL (Interactive Data Language)<sup>1</sup> — интерактивный язык для анализа и визуализации данных, который наиболее популярен в мире для обработки солнечных данных. Наряду со встроенными библиотеками для статистического и прогностического анализа данных, для IDL разработано большое количество процедур и функций, решающих общие и специфические для отдельных инструментов задачи обработки

<sup>1</sup><http://www.itervis.com/ProductServices/IDL.aspx>

Таблица 1. Задачи ИС и используемые для их решения программные средства

№	Выполняемая задача	Используемые программные продукты
1	Подготовка наблюдений (расчет эфемерид, формирование файлов для установки антенны, задания для планировщика наблюдений)	Fortran, Perl
2	Сбор данных (проведение наблюдений, поканальное управление усилением в ходе наблюдений, проведение калибровок, конвертирование в FITS формат)[7]	C++
3	Контроль качества данных (поиск неисправностей, ежедневная рассылка сообщений в случае обнаружения неисправных каналов)	IDL, Perl, Linux (cron, sendmail)
4	Архивация данных, передача по каналам связи на сервер “Прогноз”, занесение в базу данных	Linux (rsync, ssh, cron), Perl, Oracle 10 XE
5	Первичная автоматическая обработка данных	IDL
6	Интерактивный поиск и визуализация данных	Linux, Apache, ION, PHP, Oracle
7	Анализ данных	IDL, ION
8	Расчет диаграммы направленности телескопа для наблюдений Солнца	Fortran, ION
9	Он-лайн расчет эфемерид Солнца, Луны и калибровочных источников	Fortran, ION
10	Моделирование локальных источников [8] в он-лайн режиме	Fortran, ION
11	Прогноз солнечной активности <sup>a</sup>	IDL, SSW
12	Различные исследовательские задачи	IDL, SSW

<sup>a</sup>в разработке

изображений Солнца — SolarSoftWare (SSW)<sup>2</sup> (см. работу [9]). Также мы используем алгоритмы, процедуры и функции, разработанные для солнечной радиоастрономии, и обработки одномерных изображений Солнца [10, 11]. При вычислении параметров ЛИ используются допущения и методика, описанные в статье [12].

Представленные на сервере веб-приложения для анализа и визуализации данных разработаны на ION (IDL On the Net) Script — языке для создания основанных на интернет-технологии IDL приложений. ION Script обеспечивает возможность интерактивной работы в многопользовательском режиме он-лайн посредством браузера, с поддержкой двумерной и трехмерной визуализации данных. Пример разработанного на ION приложения для вейвлет-анализа данных (пред-

определенных или пользовательских) приведен на странице разработчика<sup>3</sup>. В работе [13] для он-лайн вейвлет-анализа данных используется IDL<sup>4</sup>, но веб-приложения разработаны на PHP<sup>5</sup>.

Для решения задач ИС мы использовали также открытое бесплатное программное обеспечение Linux, Apache, PHP/Perl и бесплатную версию Oracle XE.

### 3. СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ РАТАН-600

Эффективная научная визуализация данных является важной задачей и имеет целью представить

<sup>3</sup><http://ion.researchsystems.com/IONScript/wavelet/>

<sup>4</sup><http://pwf.iszf.irk.ru/>

<sup>5</sup><http://www.php.net/>

<sup>2</sup><http://www.lmsal.com/solarsoft/>

большие объёмы данных в такой форме, чтобы человек мог увидеть, отыскать новые знания в данных, сгенерировать гипотезу.

Данные наблюдений Солнца на РАТАН-600 могут быть представлены в виде зависимостей регистрируемых параметров  $R$  и  $L$  либо их производных — параметров Стокса  $I = R + L$  (интенсивность) и  $V = R - L$  (круговая поляризация), степени поляризации  $p = V/I$ , а также пар  $R&L$ ,  $I&V$ ,  $I&p$ , от времени ( $t$ ), частоты ( $f$ ) и координаты ( $x$ ). В Табл. 2 на примере параметра Стокса  $I$  представлены различные виды данных, которые анализируются и визуализируются при решении различных исследовательских задач.

Для того, чтобы подчеркнуть морфологическую, спектральную или временную структуру области излучения, двумерные массивы данных (многоволновые сканы, многоволновые временные ряды, динамические спектры) можно визуализировать различными способами: в виде наложения кривых в одной шкале, наложения с разнесением по вертикали (Рис. 1а), двумерных цветных и контурных карт, трехмерных изображений (поверхностей), а также комбинацией нескольких способов (Рис. 1б). Зависимости от трех параметров визуализируются при помощи анимации.

Регулярная публикация наблюдений Солнца на РАТАН-600 в сети Интернет была начата в 1997 г. на веб-странице группы Солнечных Исследований <http://w0.sao.ru/hq/sun/>. Поскольку обработка была ручной, публиковались не все данные, а только одно наблюдение в день, обычно в нулевом азимуте (меридиане), в формате FITS<sup>6</sup> и графическом формате. Было выбрано три основных способа визуализации — в виде наложения сканов  $I$  и  $V$  на нескольких частотах с разнесением их по вертикали, двумерных карт  $I$  и  $V$ , а также нанесенных на скан максимальных значений магнитных полей ЛИ, вычисленных из предположения о гирорезонансном механизме излучения [14]. Эта страница в настоящее время не развивается, но будет еще некоторое время поддерживаться.

На развиваемом в настоящее время веб-сайте ИС “Прогноз” представлены все данные наблюдений Солнца на РАТАН-600, начиная с 1997 г., в исходном формате регистрации (в разные годы —

<sup>6</sup>Существует два разных формата FITS солнечных данных РАТАН-600: двоичная таблица без расширения, до августа 2007 г., и таблица с расширением в виде второй таблицы с дополнительными параметрами для каждой длины волны

HD, DAT, RAW), а также преобразованные в единый FITS-формат. Виды данных и уровень доступа к ним приведены в Табл. 3.

Данные в графических форматах, как правило, на сервере не хранятся. Визуализация данных осуществляется динамически, по запросу пользователя в приложениях ION. Реализовано большое разнообразие способов графического представления данных РАТАН-600.

### 3.1. Контроль качества данных

Данные, поступающие на сервер, автоматически подвергаются первичной обработке, включающей в себя как процедуры стандартные для обработки солнечных данных [15], так и специфические для данных РАТАН-600:

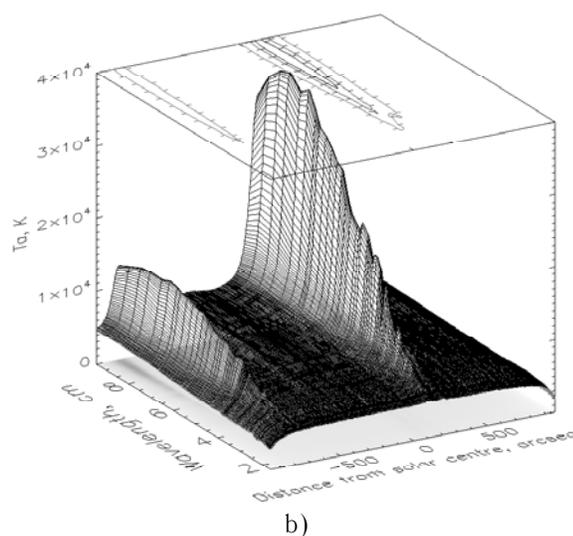
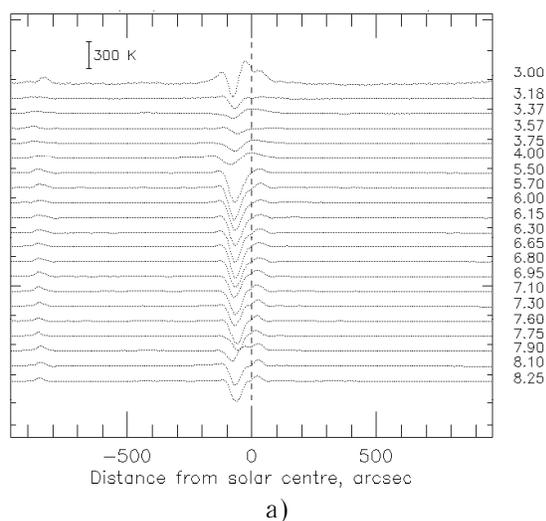
- отфильтровка дефектных (непригодных для дальнейшего анализа) сканов;
- удаление артефактов на записи (например, записи генератора шума);
- вычитание уровня неба;
- совмещение  $R&L$ ;
- преобразование  $R&L$  в параметры Стокса  $I&V$ ;
- коррекция положения центра Солнца;
- коррекция радиуса Солнца;
- калибровка и др.

Поиск дефектных (вследствие неисправностей в приемной аппаратуре или антенне: зашумленные, отключенные частотные каналы, неправильно выставленная антенна или облучатель, сбой в системе регистрации, и проч.) сканов осуществляется для оперативного контроля качества данных, с помощью эмпирически определенных критериев. По результатам поиска отсылается электронное сообщение по списку рассылки с изображением неисправных записей и пояснительным текстом. Архив писем хранится в почтовом ящике, доступ к которому есть у всех участников наблюдательного процесса. В случае, если запланированное наблюдение не состоялось, отсылается сообщение на мобильный телефон ответственного наблюдателя.

Обработанные данные образуют архив второго уровня.

**Таблица 2.** Виды зависимостей на примере параметра Стокса I

	Одна точка на скане	Все точки на скане (один скан)
Одна частота, один момент времени (одно прохождение через диаграмму)	—	$I(x)$
Все частоты, один момент времени	$I(f)$	$I(x, f)$
Одна частота, все моменты (азимуты)	$I(t)$	$I(x, t)$
Все частоты, все азимуты	$I(t, f)$	$I(x, f, t)$
	$I(f, t)$	$I(x, t, f)$



**Рис. 1.** Примеры визуализации наблюдения Солнца 2011.03.03 в нулевом азимуте. (а) Разнесение сканов  $V(x, f)$  по вертикали позволяет увидеть изменения структуры поляризованного источника по спектру в представленном диапазоне и оценить их масштаб. Справа от каждой кривой приведено значение частоты в гигагерцах. (б) Представление  $I(x, f)$  в виде комбинации трехмерного изображения (посередине), контурной карты (вверху) и яркостной карты в градациях серого (внизу) более эффективно иллюстрирует мелкомасштабные спектральные неоднородности максимума интенсивности источника.

### 3.2. Пользовательский веб-интерфейс

Веб-сайт ИС “Прогноз” содержит как статические HTML-страницы с информацией о телескопе и наблюдениях, так и динамические страницы с веб-приложениями на ION.

Архитектура приложения на ION представлена на Рис. 2. Как видно из рисунка, при обращении к странице .ion происходит следующая последовательность событий:

1. Веб-сервер пересылает запрос парсеру (синтаксическому анализатору) ION Script (это CGI-программа ion-p).
2. Парсер преобразовывает содержимое скрипта в HTML. При этом содержимое блока

с IDL-кодом посылается серверу данных, который пересылает код в программу IDL для обработки, сервер данных возвращает вывод IDL на веб-страницу и т.д. IDL-код может присутствовать как непосредственно в теле ION-скрипта, так и вызываться из него в виде процедур и функций. Из IDL может быть сделан запрос в базу данных, запущена внешняя программа на фортроне, запущена подкачка данных и т.д.

Графический интерфейс пользователя (ГИП) веб-приложения для анализа данных<sup>7</sup> представлен на Рис. 3.

<sup>7</sup>[http://www.spbf.sao.ru/cgi-bin/ion-p?page=rat\\_search.ion](http://www.spbf.sao.ru/cgi-bin/ion-p?page=rat_search.ion)

Таблица 3. Виды наблюдательных данных и доступ к ним

Вид данных	Доступ из ЛВС САО	Доступ из Интернет	Доступ к данным в графическом виде (из приложений)
Формат регистрации <sup>a</sup>	свободный	нет доступа	нет доступа
Первичные fits	свободный	авторизованный	свободный
Обработанные fits	свободный	свободный	свободный

<sup>a</sup>в период 01.1997–08.2005 — HD, 03.2005–03.2009 — DAT, с 03.2010 — RAW

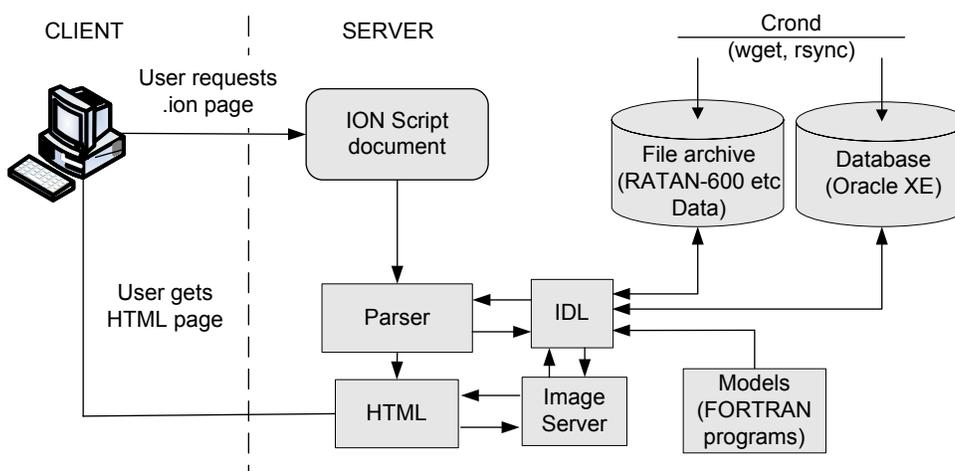


Рис. 2. Архитектура ION-приложения на веб-сервере “Прогноз”. Запрос пользователем (клиентом) .ion-документа с сервера ведет к запуску программ на IDL, формируется HTML-страница, которая отображается в веб-браузере пользователя.

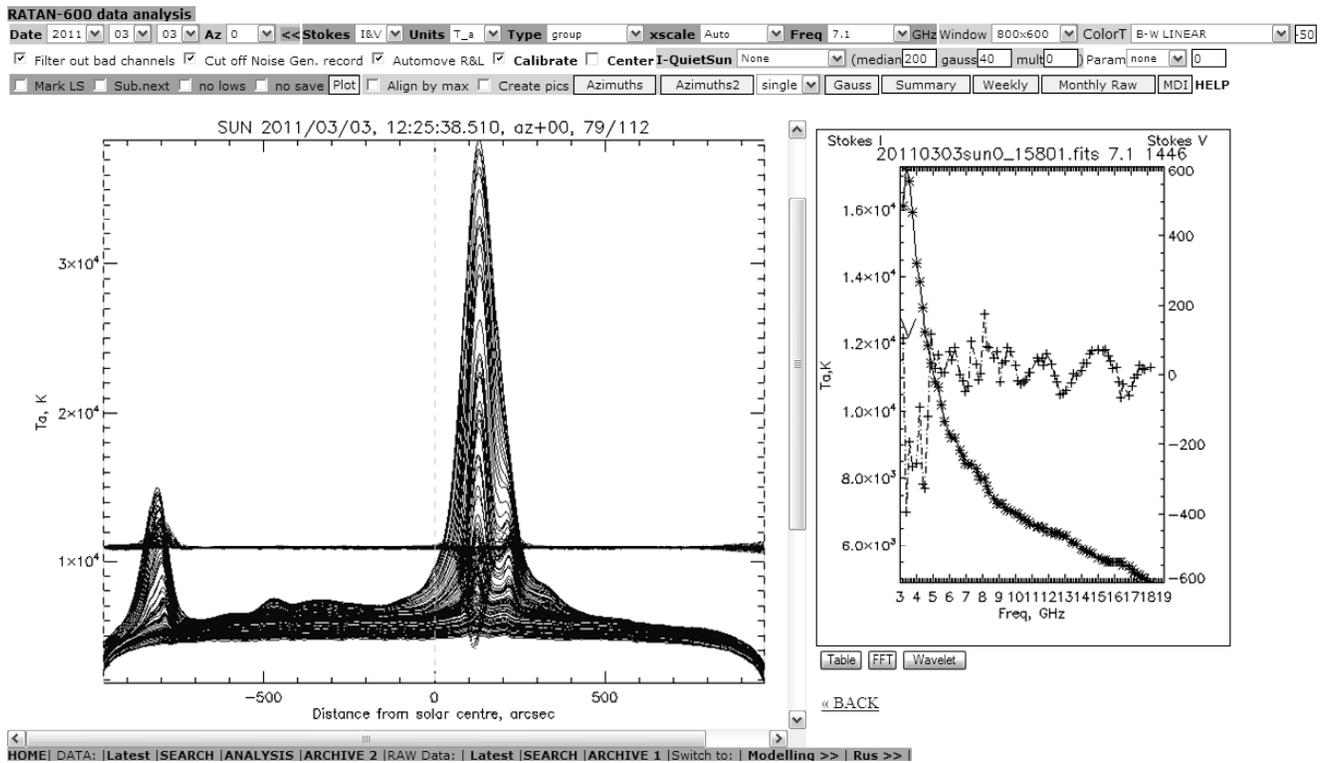
При разработке интерфейса мы стремились соблюсти баланс между удобством и простотой использования (интуитивно понятный интерфейс с минимумом элементов управления) и настраиваемостью плюс функциональностью. В верхней части окна расположена панель управления, внизу — полоса меню для быстрой навигации по разделу, посередине — два основных фрейма (т.е. рамки окна) для вывода данных (текстовой и графической информации). При нажатии на кнопки в панели управления, в левом фрейме выводятся различного вида изображения сканов. В правом фрейме выводится справочная информация, а также информация, вызываемая из левого окна (при клике мышью на изображения, нажатии на кнопки и гиперссылки) — спектры и временные ряды, наложение сканов на двумерные изображения, фурье- и вейвлет-спектры и др.

Пользовательский интерфейс предназначен для решения задач 6–12, приведенных в Табл. 1. Анализ данных включает в себя такие операции, как:

- вычитание уровня спокойного Солнца;
- автоматический поиск источников;
- расчет физических параметров ЛИ (с помощью гаусс-анализа);
- построение спектров наблюдаемых и расчетных параметров ЛИ;
- распознавание других пространственных, спектральных и временных особенностей в данных (в частности, с помощью фурье и вейвлет-анализа);
- сопоставление с данными других обсерваторий и др.

#### 4. ПРИМЕРЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ НА СЕРВЕРЕ “ПРОГНОЗ”

Рассмотрим применение возможностей сайта на примере нескольких различных задач.



**Рис. 3.** Общий вид ГИП веб-приложения для анализа данных. Вверху — панель управления, внизу — меню для быстрой навигации по разделу. В левом фрейме выведено наблюдение Солнца на РАТАН-600 в нулевом азимуте 2001.03.03,  $I(x, f)$ ,  $V(x, f)$  в виде наложения сканов на разных частотах. В правом фрейме выведены спектры  $I(f)$  (сплошная линия) и  $V(f)$  (штрих с пунктиром) выбранной точки в градусах антенной температуры.

#### 4.1. Контроль многоазимутальных наблюдений

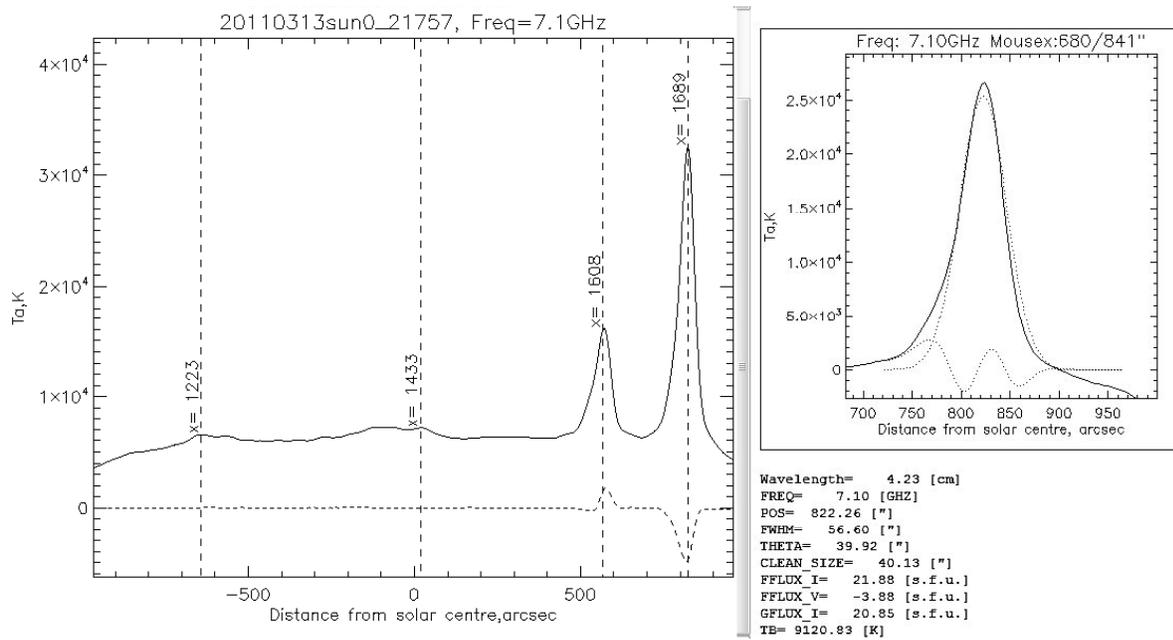
При обращении к странице “Поиск в базе данных” выводится список наблюдений на текущую дату с указанием количества дефектных сканов, удаленных в процессе первичной обработки. Кликая мышью на белой и черной пиктограммах в строках таблицы с результатами поиска, можно просматривать первичные и обработанные данные. Дежурный наблюдатель может заполнять журнал наблюдений, удалять дефектные наблюдения из базы данных (точнее, наблюдение физически не удаляется — в соответствующее поле таблицы записывается флаг отключения), просматривать текущий файл-задание для наблюдений и расписание наблюдений.

Для более подробной проверки данных следует перейти на страницу “Анализ данных” (Рис. 3) по гиперссылке в нижнем меню. На этой странице можно построить спектры ЛИ, временные ряды, просматривать азимутальные данные в виде сводной страницы (обзора) или анимации, обзор обработанных данных за последнюю неделю, обзор первичных данных на выбранной частоте за выбранный месяц, обзор данных с других телескопов

и др. Анализ спектров и поляризации ЛИ, сопоставление с данными в других диапазонах позволит оценить возможность предвспышечной ситуации и принять решение об изменении программы наблюдений.

#### 4.2. Отождествление ЛИ

Для отождествления ЛИ (межпятенный источник, источник над головным пятном, источник в основании петли и др.) необходимо сопоставление с данными других обсерваторий в разных диапазонах длин волн. Чаще всего данные РАТАН-600 сопоставляют с фотосферными магнитограммами (SOHO MDI и др.), с изображениями в УФ (SOHO EIT) и рентгеновском (Hinode XRT) диапазонах, в которых, как и в радио, регистрируется излучение на уровнях хромосферы и короны Солнца. Эти данные используются для идентификации ярких рентгеновских точек, корональных дыр и петель, аркад и т.д. Двухмерные радиоизображения с радиогелиографов ССРТ (I,V) на длине волны 5.2 см, и Nobeyama RH (I,V) на длине волны 1.74 см, находятся в начале и в середине диапазона приемного комплекса РАТАН-600 и могут



**Рис. 4.** Пример распознавания и гаусс-анализа ЛИ. Слева — скан  $I(x)$  &  $V(x)$  на частоте 7.1 ГГц. Вертикальными линиями отмечено положение найденных ЛИ. Справа — запись источника со вписанной гауссианой. Под рисунком выводятся частота и расчетные параметры источника: расстояние источника от центра Солнца, размер (ширина гауссианы на уровне половины максимума интенсивности), размер диаграммы, “чистый” размер источника (за вычетом размера диаграммы), поток, яркостная температура и др.

быть использованы для определения второй координаты ЛИ. Данные с радиогелиографа Нанси в метровом диапазоне используются для сопоставления с дециметровыми всплесками, наблюдаемыми на РАТАН-600. Данные GOES используются для определения моментов и класса рентгеновских вспышек. Архив данных для сопоставления ежедневно пополняется из сети Интернет в автоматическом режиме.

Для сопоставления сканов РАТАН-600 с двумерными изображениями необходимо найти данные на время, наиболее близкое ко времени наблюдения на РАТАН-600 (7–11 UT), повернуть это изображение на позиционный угол Солнца, совместить центр и края Солнца, при несовпадении времени выполнить вращение двумерного изображения на нужный момент времени, с учетом дифференциального вращения Солнца. На сайте эти процедуры осуществляются автоматически в интерактивном режиме. На подготовленное двумерное изображение накладывается скан на одной выбранной частоте или на нескольких частотах; в одной шкале или с разнесением по высоте.

Данные других телескопов также используются для обзора состояния активности на Солнце на текущую или выбранную дату.

#### 4.3. Вычисление физических параметров ЛИ

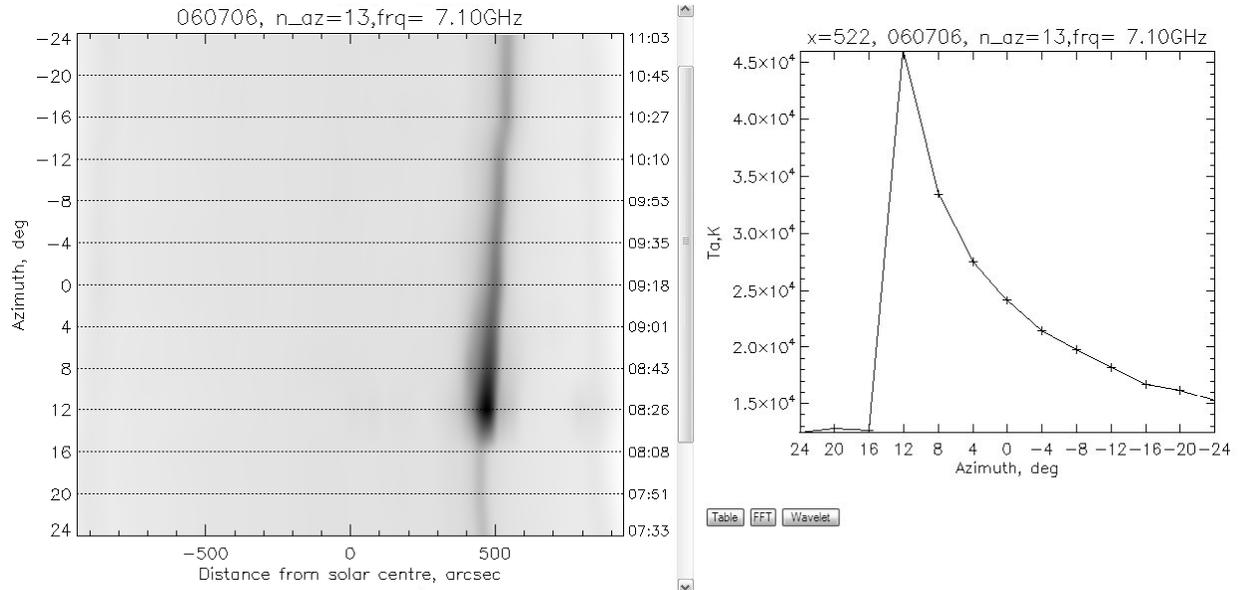
Для вычисления физических параметров ЛИ необходимо в запись источника на скане вписать гауссиану на каждой частоте. На сайте это можно сделать как автоматически на всех частотах, так и в интерактивном режиме для выбранной частоты. При клике мышью на скане в левом фрейме, в правом отображается фрагмент скана со вписанной в выбранный участок гауссианой, и выводятся его расчетные параметры (Рис. 4).

#### 4.4. Оценка временных вариаций радиоизлучения

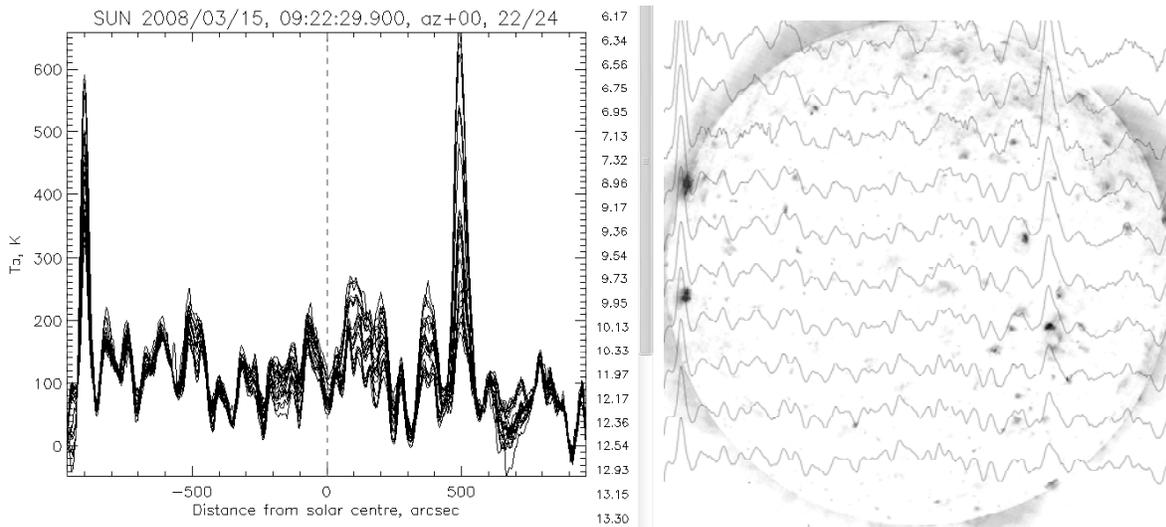
Режим многоазимутальных наблюдений позволяет исследовать события на масштабах времени минуты-часы-сутки: квазипериодические колебания плазменных структур с периодами в десятки минут, предвспышечные и постэруптивные явления в активных областях и др.

ИС предоставляет интерфейс для поиска наблюдений по дате и азимуту, а также по количеству наблюдений в день, что определяет длительность (до 4 часов) и интервал (от 4 минут) временных рядов.

Например, находим наблюдения в азимутах от 10 в день и, просматривая их, находим вспышечное



**Рис. 5.** Пример визуализации данных для изучения временных вариаций радиоизлучения. Слева — карта  $I(x, t)$ . Видны значительные изменения интенсивности радиоизлучения при смещении источника к западному лимбу Солнца. Справа — временной ряд  $I(t)$  максимума интенсивности. После вспышки, которая произошла после азимута +16, интенсивность излучения выросла примерно в 4 раза от первоначального уровня и затем медленно уменьшалась в течение примерно 3 часов наблюдений.



**Рис. 6.** Пример визуализации данных при изучении мелкомасштабной структуры. Слева — наложение сканов на разных частотах  $I(x, f)$  после вычитания уровня спокойного Солнца. Видна мелкомасштабная квазипериодическая структура (радиогрануляция) с характерным размером порядка  $20''$ – $40''$ . Справа — наложение сканов на изображение SOHO EIT 195 Å. Максимумы радиоизлучения соответствуют ярким образованиям в УФ.

событие 6 июля 2006 г. в AR10898. Согласно мировым солнечным данным, это событие классифицировалось как вспышка класса M2.5/2N в 08:13 UT и сопровождалось корональным выбросом массы. Для построения динамического ряда  $I(t)$  сканы в азимутах на выбранной частоте калибруются одинаковым образом и совмещаются по длине и шагу

между отсчетами (Рис. 5, слева). Как видно из полученного ряда (Рис. 5, справа), резкое увеличение потока радиоизлучения сопровождалось медленным постепенным спадом в течение нескольких часов. Полученные данные можно вывести в виде таблицы, а также выполнить фурье- и вейвлет-анализ.

#### 4.5. Мелкомасштабная структура спокойного Солнца

Для изучения мелкомасштабной структуры спокойного Солнца необходимо вычлест крупномасштабную постоянную составляющую, т.н. “уровень спокойного Солнца”. Для этой цели разработано несколько различных алгоритмов, основанных как на применении различных алгоритмов сглаживания, так и моделировании свертки двумерной модели Солнца с ДНА РАТАН-600.

Как показывают исследования [16], максимумы в периодической структуре микроволнового излучения спокойного Солнца могут быть отождествлены с различными образованиями в УФ, рентгеновском и других диапазонах. На Рис. 6 приведен пример наблюдения 2008.03.15 и его сопоставление с изображением SOHO EIT 195 Å.

### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и внедрена в штатную работу информационная система “Прогноз” для автоматизированного сбора, хранения, обработки, удаленного интерактивного анализа, моделирования и визуализации данных наблюдений Солнца на РАТАН-600.

Информационно-вычислительные средства ИС могут быть использованы для поиска объектов, для визуального анализа, первоначальной оценки параметров радиоизлучения, отождествления, спектрального и статистического анализа данных РАТАН-600 и т.д.

ИС также используется для удаленного слежения за выполнением программы наблюдений, контроля их качества, принятия решений об изменении режима наблюдения (изменения количества азимутов, уменьшения времени накопления) и др.

Разработка средств для автоматического интерактивного распознавания различных особенностей в больших массивах данных без необходимости их скачивания на локальный компьютер предоставляет новые возможности для решения различных задач солнечной радиоастрономии. В частности, дальнейшее развитие интеллектуальных функции ИС будет способствовать реализации автоматического прогнозирования мощных вспышечных событий на основе многоволновых солнечных данных РАТАН-600.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит коллег, участвовавших в разработке и тестировании ИС, а также руководителя Богода В. М. за привлечение интереса к данной работе.

Работа частично поддерживалась Программами Российской Академии наук ОФН-15 и ПАН-4 и грантами Российского фонда фундаментальных исследований 08-02-00378 и 11-02-00072.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. М. Богод, *Astrophysical Bulletin* **66**, 189 (2011).
2. В. М. Богод, А. М. Алесин и А. А. Перваков, *Astrophysical Bulletin* **66**, 204 (2011).
3. В. М. Богод, Г. Н. Жеканис, М. Г. Мингалиев и С. Х. Тохчукова, *Известия ВУЗов, Радиофизика* **47**, 1 (2004).
4. В. М. Богод и С. Х. Тохчукова, *Письма в АЖ* **29**, 305 (2003).
5. V. M. Bogod and L. V. Yasnov, *Solar Phys.* **255**, 253 (2009).
6. Т. И. Кальтман, А. Н. Коржавин и Ю. П. Цап, *Астрон. ж.* **82**, 838 (2005).
7. С. В. Балдин и В. И. Гараимов, *Астрофизический бюллетень* **66**, 400 (2011).
8. Т. И. Кальтман, Диссертационная работа на соискание ученой степени Кандидата физико-математических наук (САО РАН, Нижний Архыз, 2000).
9. S. L. Freeland and B. N. Handy, *Solar Phys.* **182**, 497 (1998).
10. В. И. Гараимов, Препринт №.127Т (Нижний Архыз, САО РАН, 1997).
11. V. V. Grechnev, in *Proceedings of Int. Symp. Phys. Processes associated with the Sun*, (Weihai, China, 2002), <http://srg.bao.ac.cn/weihailect/Grechnev/Grechnev01.htm>.
12. В. М. Богод, Ш. Б. Ахмедов, В. Н. Боровик и др., *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **25**, 105 (1987).
13. R. A. Sych, V. M. Nakariakov, S. A. Anfinogentov, and L. Ofman, *Solar Phys.* **266**, 349 (2010).
14. Sh. B. Akhmedov, G. B. Gelfreikh, V. M. Bogod, and A. N. Korzhavin, *Solar Phys.* **79**, 41 (1982).
15. Markus J. Aschwanden, *Solar Phys.* **262**, 235 (2010).
16. Т. И. Кальтман, В. М. Богод, С. Х. Тохчукова, and А. Н. Коржавин, in *Electronic proceedings of 12th European Solar Physics Meeting*, (Freiburg, Germany, 2008), [http://espm.kis.uni-freiburg.de/fileadmin/user\\_upload/espm/Proceedings-Poster/p\\_23-28.pdf](http://espm.kis.uni-freiburg.de/fileadmin/user_upload/espm/Proceedings-Poster/p_23-28.pdf).

**INFORMATION SYSTEM FOR SOLAR OBSERVATIONS ON RATAN-600****S.Kh. Tokhchukova**

The development of observational equipment and software for processing and efficient representation of spectral and polarization solar microwave observations on the RATAN-600 contributes to obtaining new information about the parameters of plasma at the chromospheric and coronal levels. Current status of information system for RATAN-600 solar observations is described, which is devoted to automatically capturing, storing, transmitting and processing the data and near-real-time publishing them on the Internet. The user web interface for interactive search, visualization, and on-line analysis of the data is available at <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/>.

Key words: *Sun: activity—techniques: radar astronomy—techniques: polarimetric*