

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Специальная астрофизическая обсерватория

УДК 520; 523.3; 523.9; 524

Рег. номер 01200962253

УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН

член-корр. РАН Балега Ю.Ю.

09 ноября 2010 г.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
«Исследования на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» (РАТАН-600) для развития
методов оценки состояния земной атмосферы и методов прогнозирования
воздействий солнечной активности на атмосферу Земли; мониторинг помех в
радиодиапазоне и совершенствование методов борьбы с ними»

Шифр 2009-07-1.8-00-05-174

Государственный контракт № 02.518.11.7167 от 8 июня 2009 г.

4-ый этап

Завершение научных исследований на основе текущих и ранее полученных данных на УСУ. Внедрение новых методов.

Руководитель работ,
заместитель директора Учреждения Российской
академии наук САО РАН _____ М.Г.Мингалиев

Нижний Архыз

2010

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

Зам. директора, д-р физ.-мат. наук _____ М.Г. Мингалиев (введение, раздел 1, заключение)

Исполнители темы:

Ведущий инженер-электроник _____ С.В. Балдин (раздел 2)

Руковод. СПб Филиала САО РАН,
д-р физ.-мат. наук _____ В.М. Богод (раздел 2)

Ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук _____ Н.Н. Бурсов (раздел 1, 3)

Младший научный сотрудник _____ Д.В. Кратов (раздел 1, 4)

Зав. лаб., канд. физ.-мат. наук _____ Н.А. Нижельский (раздел 4)

Гл. науч. сотр., академик РАН _____ Ю.Н. Парийский (раздел 3)

Ведущий инженер-электроник _____ А.А. Перваков (раздел 2)

Научный сотрудник,
канд. физ.-мат. наук _____ Т.А. Семенова (раздел 1, 3)

Старший научный сотрудник,
канд. физ.-мат. наук _____ С.Х. Тохчукова (раздел 2)

Младший научный сотрудник _____ Р.Ю. Удовицкий (раздел 1, 4)

В выполнении работ приняли участие следующие молодые специалисты: Андреева М.Г., Карукес Е.В., Моргунова Т.С., Николаев Т.В., Пономарева А.А., Расулова М.Р., Синдзикас Е.Г., Хрыкин И.С., Чечель В.И., Шаповалов М.И., Шконда А.А., Матвеев М.В., Мингалиев Ш.М., Сотникова Ю.В., Хапаев А.А., Эркенов А.К., Зиатдинова А.А., Накиско И.В., Муфахаров Т.В., Шамсетдинов Н.Т., Матвеев А.А., Мазуренко А.П.

Реферат

Отчет 74 стр., 18 рис., 4 табл., 6 прил.

Цель работы – проведение комплексных исследований астрофизических объектов и мониторинга околоземного пространства методами радиоастрономии, научно-методическое и приборное обеспечение наблюдений на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» в соответствии с утвержденным программным комитетом расписанием наблюдений, модернизация приемников излучения и методов наблюдений.

В процессе работы проводилось совершенствование и разработка методов наблюдений и новой приемно-измерительной аппаратуры, развитие материально-технической базы УСУ РАТАН-600, астрофизические наблюдения астрономических объектов, обработка текущих и ранее полученных данных наблюдений и подготовка на их основе публикаций, привлечение студентов к научно-исследовательской работе, оказывались услуги сторонним организациям.

В результате выполнения работ по контракту:

Обеспечены наблюдения на УСУ РАТАН-600 в соответствии с расписанием (Приложение А, <http://www.sao.ru/ratan/schedule/2010/half1.html>). Приведены данные об оказанных услугах коллективного пользования.

Завершены работы четвертого этапа по внедрению в штатную эксплуатацию систем мониторинга и подавления помех.

Разработано руководство для пользователей для качественного использования системы подавления помех.

Завершена работа по обеспечению полной обработки полученных на радиотелескопе РАТАН-600 данных наблюдений Солнца на удаленном сервере.

Проводилось накопление наблюдательных данных:

- по собственному радиоизлучению атмосферы;
- по исследованию радиоизлучения Солнца и солнечно-земных связей.

Подготовлены и опубликованы научные статьи, представлены доклады на конференции, подготовлены 2 дипломные работы.

Степень внедрения – результаты наблюдений космических объектов используются в астрофизических исследованиях; результаты исследования помех успешно применяются на УСУ РАТАН-600 для борьбы с ними; результаты мониторинга Солнца постоянно обновляются на сайте САО РАН (<http://www.sao.ru/hq/sun/>).

Использование новых методов наблюдений и разрабатываемой аппаратуры позволяет повысить чувствительность, временное разрешение и сократить время для

накопления сигнала от слабых объектов.

Представленные приемно-измерительная аппаратура и разработки рекомендуется использовать не только на радиотелескопе РАТАН-600, но и на различных других радиотелескопах. Полученные научные данные и результаты обработки имеют научную новизну и вносят большой вклад в данной области науки.

	ВВЕДЕНИЕ	6
1	Проведение наблюдений, обработка	8
1.1.	Накопление данных	8
2.	Обеспечение полной обработки данных наблюдений Солнца на удаленном сервере	11
2.1.	Создание информационной системы наблюдений Солнца на удаленном сервере. Представление и онлайн анализ данных.	11
2.2.	Выбор технологий и методов для создания информационной системы	13
2.3.	Солнечные данные РАТАН-600	16
2.3.1.	Объем данных	16
2.3.2.	Перенос данных	17
2.3.3.	Хранение данных	18
2.3.4.	Поиск в базе данных	19
2.3.5.	Сбор данных с других телескопов	21
2.4.	Пользовательский веб-интерфейс для удаленного запуска приложений	21
2.4.1.	Архитектура приложения ION	21
2.4.2.	Интерфейс веб-приложения для представления и анализа данных	22
2.4.3.	Автоматическое сопоставление с данными других обсерваторий	26
2.5.	Другие задачи, выполняемые через веб-интерфейс	27
3.	Исследования атмосферного шума	29
4.	Введение в штатную эксплуатацию систем мониторинга помеховой обстановки на РАТАН-600	31
5.	Вовлечение в научно-исследовательский процесс студентов, подготовка кадров высшей квалификации	38
6.	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
	Приложение А: Расписание наблюдений на РАТАН-600: 1-ое полугодие 2010 г.	42
	Приложение Б: Расписание наблюдений на РАТАН-600: 2-ое полугодие 2010 г.	45
	Приложение В: Руководства пользователя "Комплекс средств мониторинга помеховой обстановки"	48
	Приложение Г: Справка о числе публикаций, подготовленных по результатам исследований с использованием научного оборудования УСУ	68
	Приложение Д: Справка о количестве дипломных работ, подготовленных по результатам исследований с использованием научного оборудования УСУ	73
	Приложение Е: Справка о числе диссертационных работ на соискание ученых степеней.	74

ВВЕДЕНИЕ

Специальная астрофизическая обсерватория РАН является крупнейшим центром наземной астрономии в России. В радио- и оптическом диапазонах обсерватория оснащена телескопами мирового уровня - оптическим с диаметром главного зеркала 6 м (БТА) и радиотелескопом с диаметром 600 м (РАТАН-600). Все телескопы работают и оснащены современной навесной аппаратурой. В обсерватории работает около 100 научных сотрудников, из них 21 докторов и 51 кандидат наук. Высококвалифицированный инженерно-технический персонал поддерживает телескопы в рабочем состоянии.

Цель работы, проводимой по настоящему контракту:

- Проведение исследований в области: мониторинга и прогнозирования солнечной активности, мониторинга состояния атмосферы в приземном слое, мониторинга помех в радиодиапазоне.
- Проведение исследований и обеспечение научно-исследовательских работ, проводимых организациями Российской Федерации, с предоставлением возможности использования методов научных исследований, разработанных на уникальной установке «Радиотелескоп РАТАН-600».
- Развитие материально-технической базы УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» путем дооснащения имеющихся специализированных комплексов, приобретаемым научным оборудованием для обеспечения и развития исследований в форме коллективного пользования.

Содержание работ контракта на 4-ом этапе:

- Проведение наблюдений, обработка данных.
- Внедрение в штатную эксплуатацию систем мониторинга и подавления помех. Разработка руководства для пользователей.
- Обеспечение полной обработки данных Солнца на удаленном сервере.
- Подготовка результатов исследований к публикации.
- Приобретение оборудования.

Актуальность работ, проводимых по контракту. В области фундаментальных исследований наблюдательная астрофизика обеспечивает получение новейших знаний о происхождении и эволюции объектов Вселенной. Этот вопрос является самым важным в естествознании. Исследование макромира (Вселенной как целого) позволяют проводить тестирование физических моделей микромира (Теория Великого Объединения и др.). Результаты астрофизических исследований, полученных сегодня, составят основу для развития физических наук человечества в XXI веке. Вместе с тем, использование

уникальных установок позволяют получать весьма ценную информацию и для повседневной деятельности человека. За отчетный период проведены более качественные исследования данных, полученных при изучении Солнца, реализована возможность штатной эксплуатации систем мониторинга и подавления помех. Уникальной база данных по исследованию Солнца будет основой для развития методов прогнозирования возмущений земной атмосферы. Это позволяет проведение регулярного мониторинга солнечного радиоизлучения на РАТАН-600 и расширение частотного диапазона для улучшения прогностических свойств, применяемых методов. Обеспечение полной обработки данных наблюдений Солнца на удаленном сервере дает возможность не только постоянного доступа к полученным данным, но и возможность быстрой реализации обработки и адаптация его для работы в режиме коллективного пользования. Созданная база данных используется для всестороннего изучения корреляций с различными эффектами солнечно-земных связей. В частности, они могут быть использованы для анализа состояния земной атмосферы, предупреждения особой опасности для служб различных служб человеческой деятельности и др. Для изучения активности такого переменного объекта как Солнце, важно обеспечить регулярность (в течение года) и многократность наблюдений (в течение дня).

Также в процессе работы проводилось совершенствование и разработка методов наблюдений и новой приемно-измерительной аппаратуры, развитие материально-технической базы УСУ РАТАН-600, астрофизические наблюдения астрономических объектов, обработка текущих и ранее полученных данных наблюдений и подготовка на их основе публикаций, привлечение студентов к научно-исследовательской работе, оказывались услуги сторонним организациям.

Степень внедрения – результаты наблюдений космических объектов используются в астрофизических исследованиях; результаты исследования помех успешно применяются на УСУ РАТАН-600 для борьбы с ними; результаты мониторинга Солнца постоянно обновляются на сайте САО РАН (<http://www.sao.ru/hq/sun/>).

Новизна работы. Результаты научных исследований получены из оригинальных наблюдательных данных на радиотелескопе РАТАН-600. Создаваемая приемно-измерительная аппаратура является уникальной как по чувствительности, так и частотному перекрытию.

В отчете приводятся результаты исследований по перечисленным выше темам.

Проведение наблюдений, обработка данных

На первом этапе выполнения работ был проведен анализ методик защиты в зависимости от категории помех. Сбор информации о работе новых источников помех. Разработано входное приемное устройство для исследований Солнца. Разработана Программа развития УСУ на 2009-2010гг.

На втором этапе выполнения работ проведен монтаж и наладка аппаратуры для мониторинга метеопараметров и помеховой обстановки на УСУ РАТАН-600. Создано и отлажено программное обеспечение для системы сбора. Проведена опытная эксплуатация входного приемного устройства для исследований Солнца. Разработана новая система цифровой многоканальной регистрации данных.

На третьем этапе выполнения работ изготовлены СВЧ фильтры для выбора полос анализа. Опытно эксплуатированы системы защиты от помех в радиодиапазоне. Внедрено в штатную эксплуатацию входное приемное устройство для исследований Солнца. Создано программное обеспечение по автоматизации процесса наблюдений, экспресс-обработке данных наблюдений. Внедрена новая система цифровой многоканальной регистрации данных.

На четвертом этапе выполнения работ внедрена в штатную эксплуатацию система мониторинга и подавления помех. Разработано руководство для пользователей. Обеспечена полная обработка данных наблюдений Солнца на удаленном сервере.

Результаты исследований всех этапов работы подготовлены к публикации.

Приобретено новое оборудование.

1.1. Накопление данных

По программе «Генетический код Вселенной», проводимой на УСУ РАТАН-600 накоплен материал по фоновым излучениям Вселенной, а также по атмосферному фону. Это дает возможность качественно и с высокой чувствительностью оценить многие факторы Вселенной.

Область неба обзора определялась из условия малого значения aberrаций (вблизи местного Зенита), наличием достаточно сильного опорного объекта малого углового размера (3C84), и оптимальной шириной по склонению (оптимум между временем накопления на элемент разрешения и статистическим шумом, “cosmic variance”). Выбранная нами ширина около 2 градусов позволяет надеяться на удовлетворительный результат для достаточно малых угловых масштабов, наиболее интересных для данного проекта ($l > 1000$)

В таблице 1 приведено количество накопленных данных по данной программе и

полученная чувствительность.

$\lambda_{см}$	Паспортная чувствительность по белому шуму ($t=1$ сек, 1 запись, мК)	Нуток	Достигнутая чувствительность по белому шуму ($\tau=1$ сек, N записей, мК)	Примечание
1.0	5.4	4800	0.087	32-волноводная матрица MAPC-3
1.0	6	1710	0.145	3 радиометра MAPC-2
1.38*	3.5	719	0.13	
2.7*	3	754	0.11	
3.9*	3	752	0.11	
6.2*	2.2	510	0.10	левая круговая поляризация
6.3*	2.2	534	0.10	правая круговая поляризация
7.6*	2	151	0.16	
13.0	8	174	0.61	
13.01	8	678	0.31	
12.27	8	364	0.42	
12.53	8	300	0.46	
12.79	8	587	0.33	
13.07	8	685	0.31	
13.36	8	685	0.31	
13.67	8	686	0.31	
13.99	8	565	0.34	
31.2	15	39,2	2.40	
29.78	15	519	0.66	
30.72	15	520	0.66	
33.15	15	102	1.48	
45.32	25	106	2.42	
46.44	25	46	3.67	
47.62	25	519	1.10	
48.86	25	520	1.10	
50.17	25	51	3.49	
51.55	25	53	3.45	
53.00	25	54	3.40	
54.54	25	116	2.33	

* охлаждаемые радиометры (до 15К)

Алгоритм обработки:

- Формирование однородных выборок файлов по всем частотам наблюдения (коррекция параметров, оптимизация длительности по времени);
- Калибровка записей по амплитуде, коррекция по времени методом кросс-корреляции, которая проводилась между смоделированными записями по источникам NVSS-каталога и соответствующими записями наблюдений;
- Пиксельное накопление данных методом весового осреднения;

- Фильтрация длинных уходов, связанных с излучением земли и атмосферы, с временными масштабами более 150сек. времени;
- Удаление дискретных источников методом гаусс-анализа с последующим их вычитанием;
- Нахождение полусумм и полуразностей из выборок обработанных файлов
- Разделение компонент.

2. Обеспечение полной обработки данных наблюдений Солнца на удаленном сервере

2.1 Создание информационной системы наблюдений Солнца на удаленном сервере. Представление и онлайн анализ данных.

В настоящее время эффективное использование наблюдательных данных инструмента невозможно без представления данных в сети Интернет на современном уровне. Это связано, в частности, с тем, что количество ежедневно получаемых данных наблюдений Солнца выросло до объемов, которые невозможно обработать и представить без автоматизированной компьютерной обработки. Экспоненциальный рост объема информации в астрономии (как и в других областях знаний), базируется на впечатляющем росте объема носителей информации: ёмкость памяти/жёстких дисков удваивается каждые 18 мес. (вариант формулировки сформулированного Гордоном Муром в 1965 году закона: удвоение числа транзисторов будет происходить каждые два года во всем мире). Получение все больших объемов информации порождает проблему ее усвоения – добывания из нее знаний. К примеру, Солнечная Динамическая Обсерватория (Solar Dynamics Observatory), запущенная 11 февраля 2010 года, передает на землю порядка 1,5 терабайт данных в день, и еще до запуска спутника было уделено большое внимание разработке программного обеспечения для автоматического анализа данных- было проведено 4 конференции по обработке изображений Солнца (Solar Image Processing), что стимулировало экспоненциальное развитие в разработке техники обработки изображений, программного обеспечения и алгоритмов, и, соответственно, количества статей по этой тематике. Благодаря бурному развитию информационных технологий в последние десятилетия, способы представления мировых солнечных данных в сети интернет быстро развиваются. Главная тенденция последнего десятилетия это виртуальное объединение баз данных различных инструментов с помощью современных веб-технологий (грид, веб-сервисы, распределенные базы данных), которое осуществляется в виртуальных обсерваториях, и, в частности, в виртуальной солнечной обсерватории. С другой стороны, развиваются и методы автоматизированной обработки солнечных данных, с автоматизацией всех этапов обработки данных: 1) первичная обработка, которая включает в себя удаление инструментальных эффектов, вычитание фона, преобразование координат, при необходимости, выравнивание изображений и определение центра солнца, фильтрация изображений, восстановление изображений, и др. 2) автоматизированный анализ данных, включающий в себя автоматическое распознавание пространственных, временных и спектральных особенностей, с использованием спектральных методов (фурье и вейвлет анализ, метод анализа главных компонент, и др.) и методов

машинного обучения 3) автоматическое представление данных в форме графической, каталогизированной, статистической, в виде входных данных для теоретического моделирования, или инструментов для прогноза.

Данные наблюдений Солнца на РАТАН-600 входят в общий архив наблюдательных данных САО РАН, который развивается согласно стандартам Международного альянса IVOA (International Virtual Observatory Alliance). Но проблема представления данных это не только обеспечение легкого и универсального доступа к данным, в рамках всемирной или солнечной виртуальной обсерватории. Солнечные данные РАТАН-600 имеют много особенностей, и для их понимания и эффективного использования необходимо применение специфического программного обеспечения и методов представления. Вследствие уникальной конструкции телескопа, получаемые на нем данные отличаются от большинства изображений, получаемых солнечными телескопами – данные РАТАН-600 это одномерные, многоволновые изображения, в то время как большинство мировых данных представляют двумерные одноволновые изображения. Также и первичная обработка данных не может быть обеспечена унифицированными (для всех мировых изображений Солнца) методами, т.к. учет методических и инструментальных особенностей данного радиотелескопа не только отличается от других, но отличается сложностью. Поэтому выбор технологий и методов, используемых для информатизации наблюдений Солнца на РАТАН-600, также несколько отличается от методов представления цифрового архива наблюдательных данных САО РАН (где не используются IDL/ION), что обусловлено спецификой объекта наблюдения, так и по отношению к большинству мировых веб ресурсов по солнечным изображениям (где широко используется IDL и пр., но пока больше внимания уделяется объединению всех данных в единую виртуальную обсерваторию, нежели созданию удобных веб-приложений для их онлайн обработки и анализа, и разнообразного графического/табличного представления).

Нами разработана и продолжает развиваться информационная система, которая в режиме реального времени выполняет в автоматическом режиме все операции: сбор данных, контроль их качества, первичную обработку данных, автоматическое распознавание пространственных, временных и спектральных особенностей в данных, интерактивный поиск, табличное и графическое представление (визуализацию) данных разнообразными способами, сопоставление с данными других обсерваторий, заполнение базы данных по интересующим объектам (каталогизация), моделирование радиоизлучения локальных источников, а также, в перспективе, возможно автоматическое

прогнозирование мощных вспышечных событий на основе многоволновых данных РАТАН-600.

2.2. Выбор технологий и методов для создания информационной системы

Автоматизированная система обработки данных состоит из множества согласованных программ, из которых выделим некоторые отдельные характерные задачи (таблица 2) и перечислим используемое стандартное программное обеспечение, на котором реализованы алгоритмы для их реализации.

Таблица 2. Задачи ИС и используемые средства для разработки программного обеспечения

№№	Наименование программы	Используемые программные продукты
1	Подготовка наблюдений (расчет эфемерид, формирование файлов для установки антенны, задания для планировщика наблюдений)	Perl, Fortran, Linux
2	Сбор данных (проведение наблюдений, поканальное управление усилением в ходе наблюдений, проведение калибровок)	C++
3	Контроль качества данных (поиск неисправностей, ежедневная рассылка писем в случае обнаружения неисправных каналов)	IDL, Perl, Linux (cron, sendmail)
4	Архивация данных, передача по каналам связи (оптоволокно, GPRS) на специализированный сервер в СПб, занесение в базу данных	Linux (rsync, ssh, cron), Perl, Oracle 10 XE
5	Первичная автоматическая обработка данных	IDL
6	Распознавание одномерных изображений (поиск источников)	IDL
7	Гаусс-анализ найденных источников	IDL
8	Интерактивный поиск и визуализация данных	Linux, Apache, ION, PHP, Oracle
9	Сбор вспомогательных данных (с сайтов других обсерваторий)	Cron, wget
10	Сопоставление с данными других обсерваторий	IDL, SSW
11	Моделирование ЛИ в on-line режиме	Fortran, ION
12	Расчет физических параметров ЛИ	IDL
13	Расчет диаграммы направленности телескопа для наблюдений Солнца	Fortran, ION
14	Прогноз солнечной активности	IDL, SSW
15	Различные исследовательские задачи	IDL, SSW

Первичная автоматизированная обработка данных, под которой принято понимать процедуры, необходимые для подготовки данных к дальнейшему анализу с использованием стандартных численных методов, а также собственных разработок,

основана на известной (текущей) информации о состоянии, телескопа, аппаратуры, характере наблюдений и содержит принятые стандартизированные способы обработки.

Для анализа данных пользователю предоставляется веб интерфейс, с помощью которого можно получить разнообразные данные (информацию), методика получения которых общепринята, и может быть алгоритмизирована. Для применения других оригинальных методик обработки и анализа необходимо скачать данные в формате FITS и обрабатывать самостоятельно в WorkScan или в IDL с использованием собственных разработок (примеры таких программ и процедур можно найти на сайте).

Выбор IDL как основной технологии для обработки и представления солнечных данных РАТАН-600 в первую очередь объясняется тем, что IDL де-факто является стандартом в области обработки солнечных данных. Удобство использования данного продукта определяет высокий уровень языка – его «естественность», обеспечивающая легкость в использовании, позволяющая создавать полнофункциональные приложения, не обладая квалификацией программиста. Не случайно, что создателем языка IDL в 1977 году был Дэвид Стерн, работавший в Колорадском Университете с группой исследователей, анализировавших данные, полученные на космических аппаратах Маринер Марс 7 и 9. С помощью IDL можно легко и быстро создавать устойчиво работающие прикладные программы для обработки данных, затрачивая на это намного меньше времени, чем это требуется при использовании традиционных языков программирования. Наряду со встроенными мощными математическими и статистическими библиотеками, под IDL разработано большое количество процедур и функций, ориентированных на общие задачи солнечной физики, статистической обработки данных, а также программное обеспечение для обработки и анализа данных солнечных наблюдений практически всех крупных инструментов, представляющих свои данные в сети Интернет - SolarSoftWare (SSW). Помимо этого, мы используем ряд методик, процедур и функций, разработанных для солнечной радиоастрономии авторами. Кроме того, IDL предоставляет средства для разведочного анализа данных - поиска новых закономерностей в данных (которые представлены в IDL iTool) – и их также можно использовать на сайте.

Для удобства разработки веб-приложений были выбраны средства разработки, наиболее совместимый с IDL – это ION (IDL On the Net). Функциональные характеристики программного продукта обеспечивают выполнение следующих функций:

- возможность работы под управлением операционной системы Linux с ядром версии не ниже 2.6;

- возможность интерактивной работы в многопользовательском режиме on-line посредством WEB-браузера;
- интеграция с WEB-сервером и поддержка HTML тэгов;
- совместимость с программами, реализованными на языке IDL;
- статистическая и прогностическая обработка данных радионаблюдений;
- двухмерная визуализация данных радионаблюдений;
- трёхмерная визуализация данных радионаблюдений;
- интеграция с WEB-технологиями JavaScript, ActiveX;
- возможность работы с распределенными базами данных.

Другие используемые нами технологии известны более широко. Наряду с открытыми бесплатными ПО (такими как Linux, Apache, PHP/Perl), нами используется бесплатная версия СУБД Oracle XE, которая обладает некоторыми ограничениями по сравнению с коммерческими версиями, но, тем не менее, вполне удовлетворяет нашим текущим требованиям. Oracle, как средство разработчика, удобен (в отличие, от рассмотренного в качестве альтернативы mysql, бесплатного продукта с открытым кодом) тем, что включает в себя модуль Oracle Application Express (Oracle APEX), средство для визуальной разработки веб-интерфейса к базе данных, до достаточно сложных GUI приложений. В целом, нам представляется, что такая связка- Linux-Apache-Oracle-ION (по сравнению, например, с более стандартной LAMP – Linux-Apache-Mysql-PHP/Perl/Phyton), является наиболее простым для освоения инструментом для разработки эффективного веб-ресурса с большим количеством графики, силами самих исследователей, т.е. без привлечения квалифицированных программистов. В принципе, можно полностью отказаться от PHP/ Perl, используя еще один продукт от производителя IDL- IDL Data Miner - ODBC (Open Database Connectivity) - интерфейс для подключения из IDL к базе данных. В нашем случае этот DataMiner работает неустойчиво (причина неизвестна, возможна несовместимость с используемой версией Linux), поэтому вместо него мы используем Perl и PHP.

Возможна также комбинация- PHP вместо ION для запуска IDL программ (как это делают, например авторы в сети Grid), но в этом случае не удастся эффективно использовать такие преимущества IDL, как его эффектные графические возможности, и в целом представляется, что такая замена увеличит трудоемкость разработки требуемого ПО.

2.3. Солнечные данные РАТАН-600

2.3.1. Объем данных

Объем данных, получаемых на РАТАН-600, несколько скромнее, чем на SDO, но и он вырос на порядок за последние 10 лет (Рисунок 1, 2). После реализации в 2000 году многоазимутального режима наблюдений, количество наблюдений в день достигло 61 (в течение 4 часов вблизи местного полудня). Регулярно обновляется радиометрический комплекс, обеспечивая рост количества каналов. В настоящее время для наблюдений Солнца на РАТАН-600 установлен новый радиометрический спектральный комплекс, который является уникальным по числу регистрируемых длин волн (112 частотных каналов в диапазоне от 750 МГц до 18 ГГц). В этом комплексе спектральное разрешение, усредненное по диапазону, составляет 1%. При этом, одновременно на всех каналах регистрируются параметры Стокса (интенсивность и круговая поляризация), что удваивает число каналов регистрации. Таким образом, количество сканов в день может составить порядка $61 \times 112 \times 2 = 13664$ одномерных изображений.

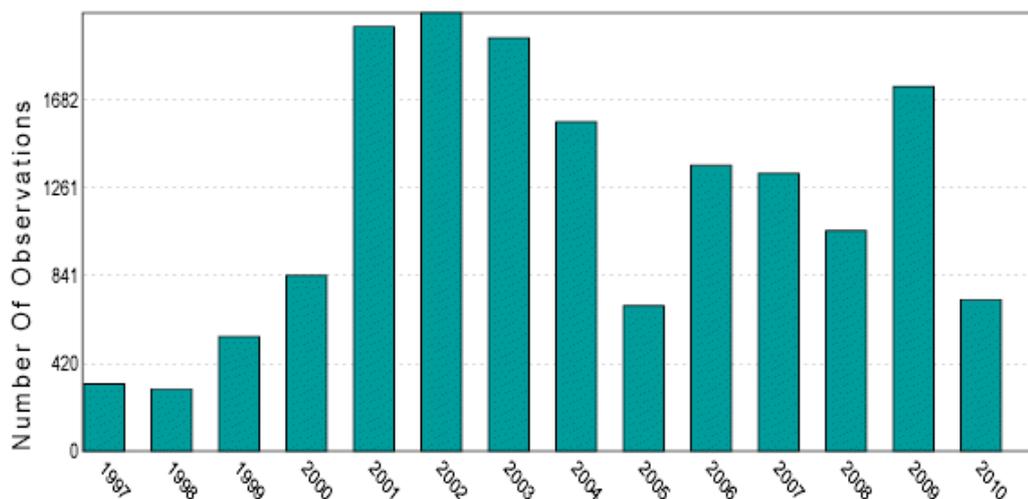


Рисунок 1. Количество наблюдений регистраций в год, 2000 – июль 2010 гг. В 1997-1

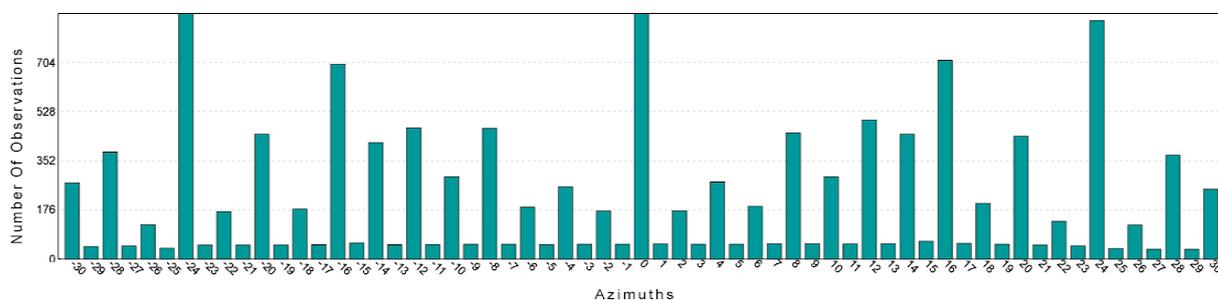


Рисунок 2. Распределение количества наблюдений по азимутам в 2000 – сентябрь 2009 гг. Количество наблюдений в меридиане больше масштаба данного графика- 2203.

Лет 15 назад, когда в регистрации Солнца на РАТАН-600 было 8 каналов, а азимутов 1, для тщательной обработки данных с гаусс-анализом с разделением

источников на компоненты, и подготовки публикации требовалось не меньше года, то в настоящее время подобный «ручной» гаусс-анализ одного дня наблюдений на всех волнах за пределами человеческих возможностей. Для постановки и решения новых задач необходимо постоянное улучшение характеристик телескопа, разработка новых методов наблюдений, а также, благодаря развитию информационных и компьютерных технологий, можно ставить и решать задачи, требующие статистической обработки большого объема данных, что трудно или невозможно без автоматической обработки.

2.3.2. Перенос данных

Создание единой информационной системы для наблюдений и анализа данных солнечных наблюдений на РАТАН-600, на основе специализированного сервера в Санкт-Петербургском филиале САО стало возможным благодаря внедрению надежных широкополосных каналов связи в информационно-вычислительной сети САО РАН и СПбФ САО РАН в 2006 г. Перенос данных с облучателя №3 РАТАН-600 (ст.Зеленчукская, Карачаево-Черкесия) на специализированный сервер в г.Санкт-Петербурге в настоящее время осуществляется по сети Интернет в два этапа, с промежуточным архивированием данных на сервере mail в п.Нижний Архыз, что вызвано тем, что в настоящее время с сервера prognoz нет прямого доступа во внутреннюю сеть САО РАН. Перенос инициируется планировщиком наблюдений после завершения каждого наблюдения, и конвертации его в FITS формат. При этом утилита rsync по протоколу ssh осуществляет инкрементальную синхронизацию удаленных каталогов. В свою очередь, prognoz «забирает» данные с mail.sao.ru также по rsync, синхронизуя каталоги с заданным интервалом времени (обычно задается 2-4 минуты при многоазимутальных наблюдениях).

В случае разрыва связи с облучателем, данные могут быть переданы на промежуточный сервер по запасному каналу- GPRS (Рисунок 3). Таким образом, время переноса одного наблюдения составляет в настоящее время до 4 минут. С дальнейшим развитием сетевых технологий, передача данных, скорее всего, будет упрощена и ускорена. Сейчас программа наблюдений реализована таким образом, что теоретически возможно удаленное «наблюдение» Солнца, в режиме реального времени, в том числе через интернет. Практически же сети все еще недостаточно развиты, и возможны потери пакетов, разрывы связи. К тому же потребность в таких наблюдениях еще не сформировалась.

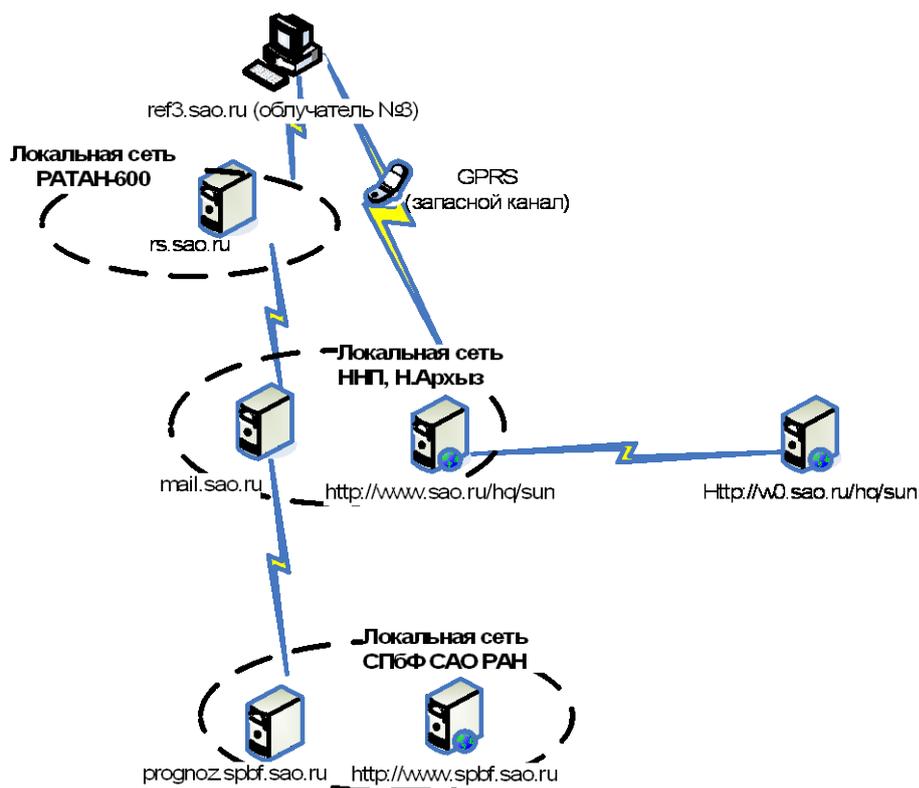


Рисунок 3. Пути переноса солнечных данных РАТАН-600 с места регистрации и до представления на веб-серверах в Н.Архызе (www.sao.ru), его зеркале в Москве (w0.sao.ru), и специализированном сервере в Санкт-Петербурге (www.spbf.sao.ru/prognoz)

2.3.3. Хранение данных

По мере заполнения накопителя данных на облучателе (в приемной кабине радиотелескопа, которая перемещается по рельсовым путям), данные прошлых лет вручную удаляются наблюдателем. Значительная часть первичных данных хранится на rs.sao.ru/buf/sun/data/ (1997-2006 гг). Первичные данные «как есть» архивируются также в общем наблюдательном архиве САО РАН, начиная с 1979г. Часть солнечных данных РАТАН-600 доступна в Интернет на веб-странице <http://w0.sao.ru/hq/sun/> начиная с 1997гг., по одному наблюдению в день, обычно в меридиане, в форматах FITS и GIF. Изображения представлены (после ручной обработки наблюдателем) в виде сканов I&V и двумерных карт $T_a(x, y)$, и нанесенных на скан над ЛИ значений магнитных полей, вычисленных из предположения о гирорезонансном механизме излучения.

На сервере prognoz данные хранятся в формате DAT/RAW и FITS. Все изображения данных, представленные в веб-интерфейсе, создаются динамически, в момент обращения пользователя к веб-странице, или при нажатии на соответствующую кнопку.

Типы данных и вид доступа к ним приведен в таблице 3.

Таблица 3. Виды наблюдательных данных и вид доступа к ним

вид данных	Расширение файла	Размер файла	Доступ из локальной сети СПбФ САО по sftp	Доступ к FITS файлам по http	Доступ к данным в графическом виде (из приложений)
Первичные данные	Ohd, Dat, raw	до 45 Мб	Свободный	Не предусмотрен	Не предусмотрен
Необработанные	fitsS	1 Мб	Свободный	Авторизованный	Свободный
Обработанные	fits	1 Мб	Свободный	Свободный	Свободный

Первичная обработка данных включает в себя как типичные для обработки солнечных изображений операции: удаление инструментальных эффектов, артефактов, вычитание фона, калибровка, определение положения центра Солнца и лимба, но по методикам, разработанным для одномерных изображений, и специально для солнечных данных РАТАН-600.

Для хранения/ манипуляций с данными создана система таблиц в СУБД Oracle. В базе данных не хранятся целиком исходные файлы наблюдений, а только ссылки на них. Основные таблицы- rat_fits(путь к файлу, имя файла, размер, флаг включения в результаты поиска, и пр.), и rat_fits (все параметры первой FITS шапки). В отдельных таблицах хранится информация об активных областях, вычисленных спектрах, результатах моделирования, и др.

Данные автоматически заносятся в базу данных сразу после первичной обработки и копирования в архив уровня 2, непосредственно после синхронизации удаленных каталогов. В процессе обработки с помощью эмпирически определенных признаков осуществляется поиск неисправных каналов (зашумленных, отключенных) и других неисправностей (неправильно выставленная антенна или облучатель, сбой в системе регистрации, и проч.) в наблюдениях, по результатам которого посылается электронное письмо по списку рассылки с изображением неисправных записей, и пояснительным текстом. Архив писем доступен в почтовом ящике, доступ к которому есть у всех участников наблюдательного процесса.

2.3.4. Поиск в базе данных

Пользовательский веб-интерфейс к базе данных (меню Данные->Поиск в базе данных) организован на РНР. Список параметров поиска в этом интерфейсе ограничен в настоящее время основными характеристиками наблюдений - дата и азимут. Список выводимых параметров также ограничен по сравнению со списком имеющихся полей в таблицах базы данных, т.к на данный момент не видится необходимости в поиске по все

параметрам или выводе всех параметров. Наряду с поиском по дате и азимуту, реализован поиск по сетам наблюдений — т.е. поиск дней, в которые количество наблюдений находится в заданном интервале. Такие сеты представляют интерес для изучения временных вариаций параметров радиоизлучения.

На странице с результатами поиска можно скачивать найденные данные архива второго уровня свободно, первичные данные - с авторизацией, а также свободно просматривать на сайте как первичные, так и прошедшие первичную обработку данные (Рисунок 4), и выполнять над данными часть операций, доступных на странице Анализ данных. Ограничение доступа к первичным данным связано с тем, что использование их для исследовательских целей вряд ли возможно.

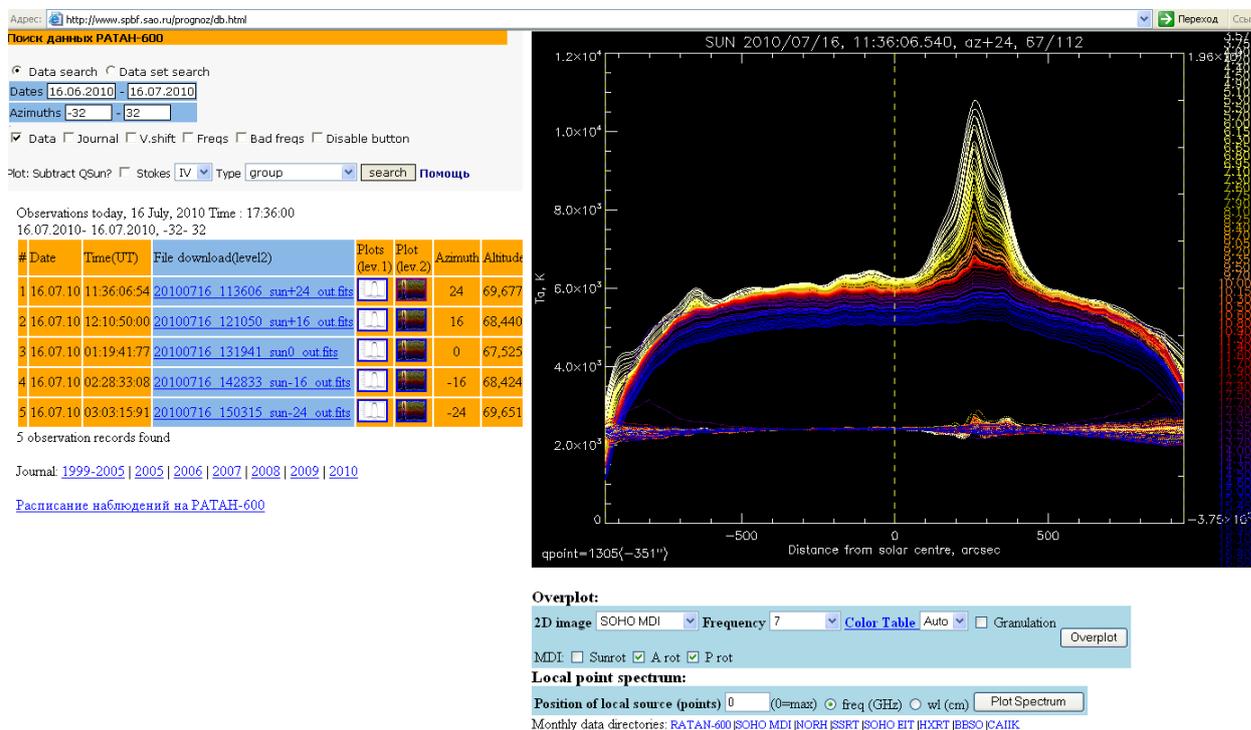


Рисунок 4. Интерфейс поиска в базе данных. Слева сверху задаются параметры поиска, слева внизу выводятся результаты поиска в виде таблицы. По клику мышкой по пиктограмме в строке таблицы справа отображаются найденные данные в различных графических представлениях.

Кроме данных, на странице поиска можно вывести информацию по неисправным каналам, добавлять комментарии к наблюдениям (обычно указывается причина неисправностей, или другая особенность наблюдения, не указанная в FITS -шапке), исключить дефективное наблюдение из поиска, и др.

Помимо пользовательского интерфейса, представленного на веб-сайте, имеется интерфейс для администрирования базы данных, разработанный на Oracle Apex. Доступ к

этому интерфейсу возможен только из локальной сети. Кроме таблиц с наблюдательными данными, в базе данных хранятся и другие информационные материалы, в частности, база данных по публикациям сотрудников.

2.3.5. Сбор данных с других телескопов

Наряду с получением данных с облучателя РАТАН-600, сервер также осуществляет ежедневный автоматический сбор данных с веб-сайтов других обсерваторий, на моменты времени, наиболее близкие к наблюдениям на РАТАН-600. В частности, с сайта soi.stanford.edu/magnetic скачиваются 96-минутные фотосферные магнитограммы SOHO MDI с номерами 4-7, согласно времени проведения наблюдения в азимутах 7-11 UT. Сопоставление конфигурации и величин магнитных полей на фотосфере со значениями магнитных полей на уровне хромосферы-короны, получаемыми по данным РАТАН-600, имеют большое значение, например, для диагностики предвспышечной ситуации. Среди скачиваемых данных также двумерные радиоизображения с ССРН на волне 5.7 см и Нобеяма на волне 17.4 см. Эти волны находят в начале и в середине диапазона приемного комплекса РАТАН-600, и могут быть использованы для определения второй координаты активной области. Данные с радиогелиографа Нанси в метровом диапазоне могут быть использованы, например, для сопоставления с дециметровыми всплесками, наблюдаемыми на РАТАН-600. Данные в УФ диапазоне (SOHO EIT) и рентгеновском (Hinode XRT) могут быть использованы для идентификации ярких рентгеновских точек, корональных дыр и петель, аркад, и т.д. Данные GOES используются для определения моментов и класса рентгеновских вспышек и т.д.

Часть скачиваемых данных используется на странице обзора состояния на Солнце, на текущий момент или на выбранную дату. Двумерные FITS данные, как правило, используются для графического сопоставления с данными РАТАН-600.

2.4. Пользовательский веб-интерфейс для удаленного запуска приложений

2.4.1. Архитектура приложения на ION

Поиск в БД составляет малую часть возможностей веб-сайта. Основу его функциональности составляют веб-приложения на IDL/ION для интерактивной обработки данных, и большое разнообразие способов графического представления исходных данных (сканов) и полученных результатов (спектров, временных рядов различных параметров).

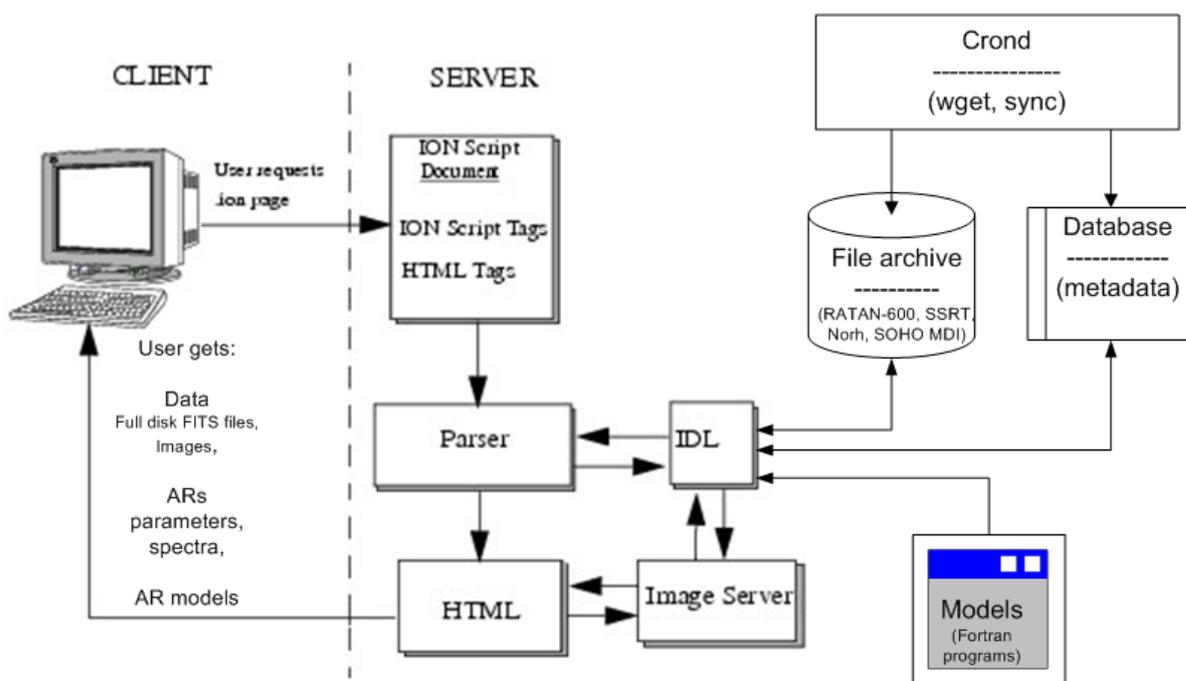


Рисунок 5. Архитектура приложения на ION и потоки данных.

Архитектура приложения на ION изображена на рисунке 5. Как видно из рисунка, при обращении к странице ION Script, 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 ION_DATA_OUT посылается серверу данных, который пересылает код в программу IDL для обработки, и 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 (файлы с расширением .pro). Из IDL может быть сделан запрос в базу данных, запущена внешняя программа на фортране, или запущена подкачка данных, и т.д.

2.4.2. Интерфейс веб-приложения для представления и анализа данных

Для начала работы с данными необходимо представить зависимость интересующего параметра (например, параметра Стокса I) от времени (t), частоты (ν), координаты (x). В таблице 4 приведено 8 возможных комбинаций этой зависимости, отображение которых требует использования различных графических функций.

Аналогичные зависимости строятся и для других параметров- Стокса V, R, L, степени поляризации p, а также пар I&V, I&p, R&L и др.

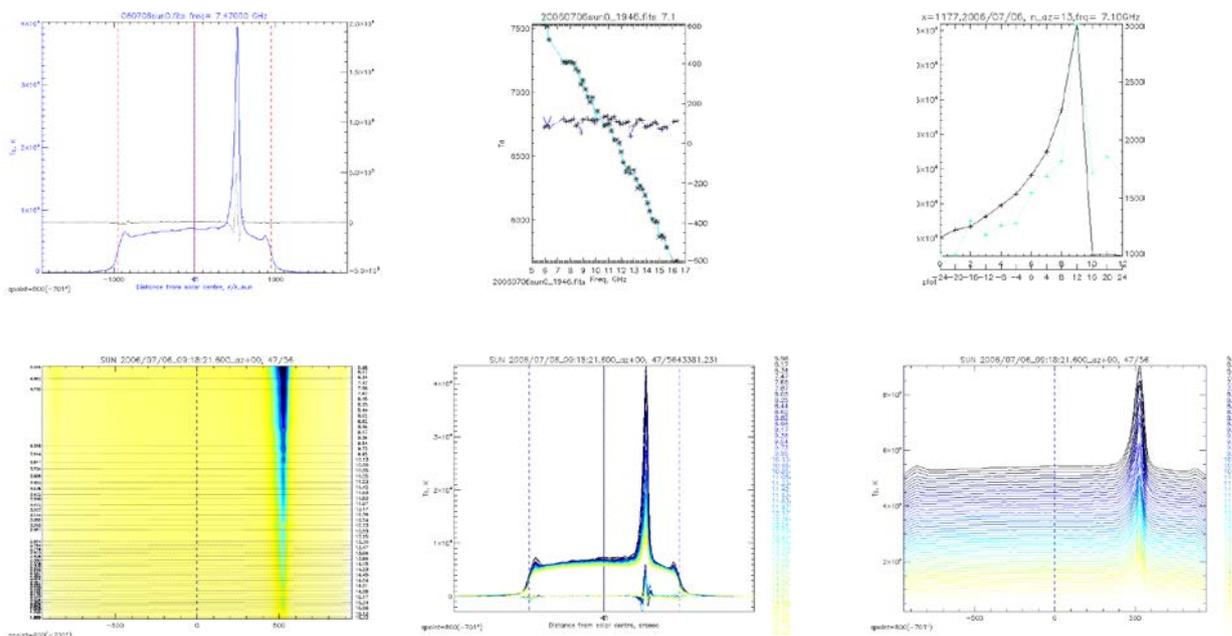
Таблица 4. Виды зависимостей для представления параметра Стокса I

Вид представления	Одна точка на скане	Все точки на скане (один скан)
Одна частота, один момент времени (одно прохождение)		$I(r)^1$
Все частоты, один момент времени	$I(v)^2$	$I(r,v)^4$
Одна частота, все моменты (азимуты)	$I(t)^3$	$I(r,t)^5$
Все частоты, все азимуты	$I(t,v)^6$ $I(v,t)^7$	$1)I(r,v,t)^8$ $2)I(r,t,v)^9$

1) Скан; 2) спектр; 3) временной ряд; 4) наложение сканов (на всех частотах) или спектр по скану; 5) наложение сканов (во всех азимутах) или динамика скана в азимутах; 6)наложение временных рядов ЛИ / динамический спектр; 7) наложение спектров ЛИ или динамика спектра ЛИ в азимутах; 8) динамика спектра по скану; 8) серия изображений типа 4 (фильм); 9) серия изображений типа 5 (фильм).

При этом, для того чтобы подчеркнуть морфологическую, спектральную, или временную структуру области излучения, одну и ту же зависимость можно представить разными способами. Например, двумерные изображения принято представлять в виде карт, контурных изображений, поверхностей. Одномерные сканы можно наложить друг на друга, развести сканы по вертикали или горизонтали, для лучшей видимости структуры, и применять другие графические способы для эффективного представления данных.

На рисунке 6 приведено 15 видов соответствующих одно- и двумерных изображений, которые позволяют детально рассматривать полученные данные с разных точек зрения.



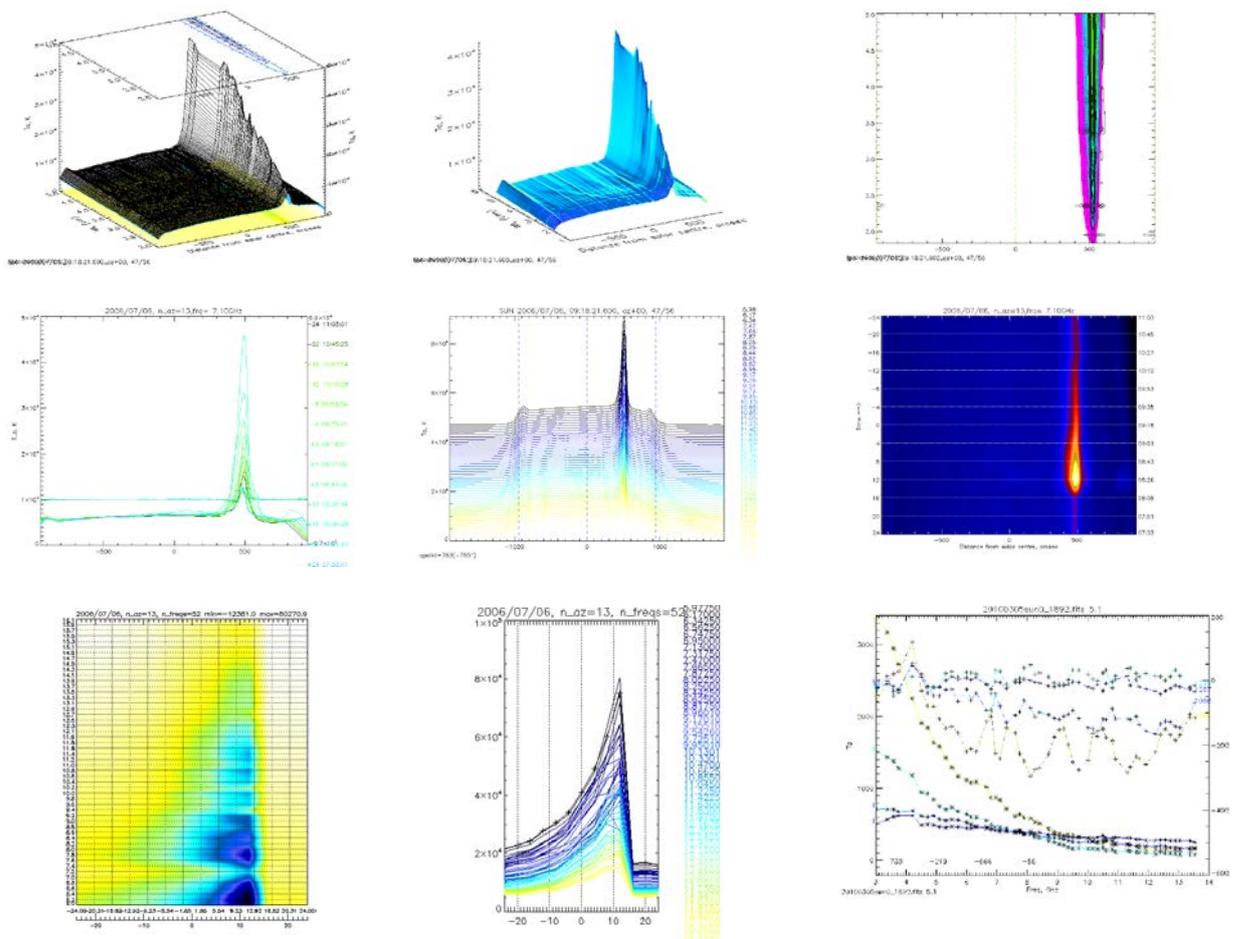


Рисунок 6. Способы графического представления данных RATAN-600 на странице http://www.spbf.sao.ru/cgi-bin/ion-p?page=rat_search.ion. Нумерация рисунков соответствует видам представления в таблице 3.

Для представления данных разработан веб-интерфейс, который структуре напоминает стандартный GUI для Windows- приложений (Рисунок 7).

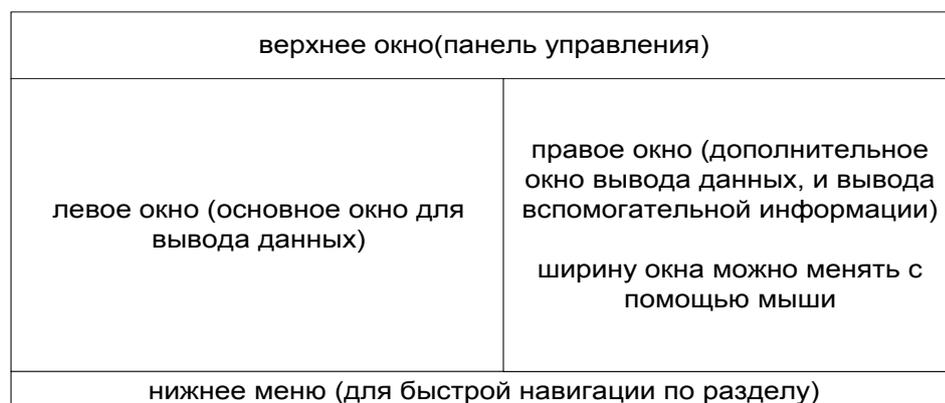


Рисунок 7. Схема веб-интерфейса страницы анализа данных

Основными элементами страницы являются (Рисунок 7):

1. верхнее горизонтальное окно для управляющих элементов (аналог панели управления в Windows приложениях);

2. левое основное окно, для вывода запрошенной информации;
3. правое информационное окно для вывода помощи, или запрошенной в левом окне дополнительной информации.

Нижняя строка меню, для быстрой навигации между основными страницами текущего раздела веб-сайта.

Внешний вид панели управления, и вызываемые из него скрипты (веб страницы) и процедуры приведены на рисунке 8.

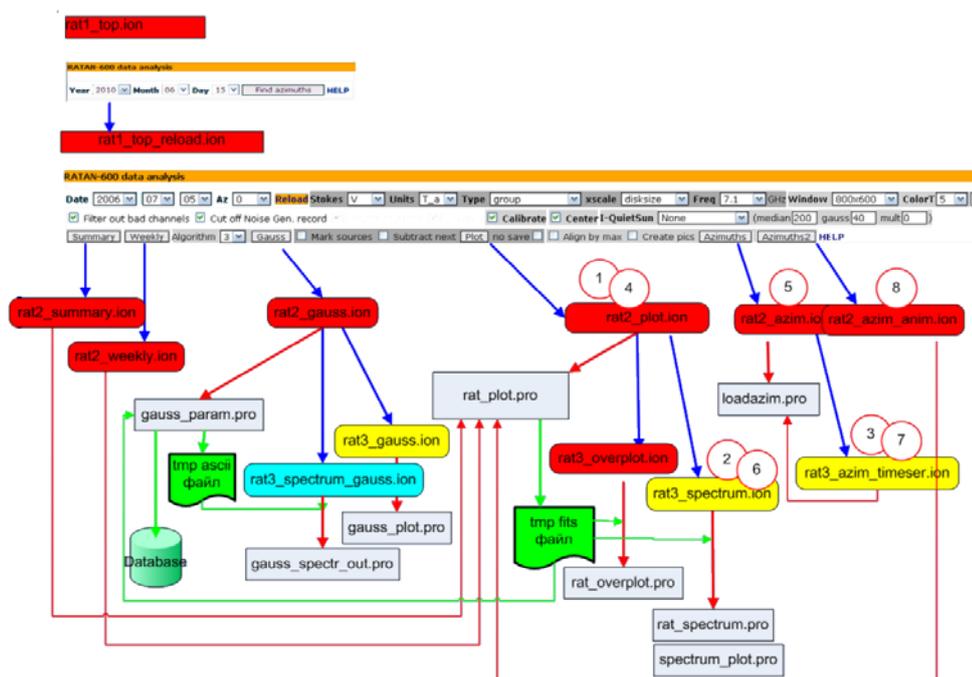


Рисунок 8. Схема вызова страниц из панели управления на странице анализа данных, состояние на июль 2010г. Скрипты третьего уровня (rat3.) запускаются при нажатии на кнопки или клике на картинке со страниц второго уровня (rat2) Красным цветом отображены страницы, вызываемые при нажатии на кнопки. Желтым цветом- вызываемые по клику мышкой на рисунке (для выбора координат). Голубым цветом – вызываемые по гиперссылкам.

Страницы, загружаемые при нажатии на кнопки в панели управления, выводятся в левом окне. Они выводят на экран обработанные или необработанные сканы, во множестве графических представлений (выпадающий список Type). Страницы, вызываемые из левого окна, загружаются в правом окне. Из схемы на рисунке 8 и названий процедур видно, например, что спектры и временные ряды, как правило, отображаются в правом окне. Эти страницы на рисунке выделены желтым цветом, т.к. вызываются путем щелчка мышью на картинке в левом окне.

В правой части панели управления сгруппированы кнопки для отображения сканов и непосредственно измеряемых параметров радиоизлучения (поток, антенная температура, степень поляризации). В левой части по кнопке Gauss вызывается процедура гаусс-анализа, которая вписывает гауссиану в источники, найденные автоматическим распознаванием, для определения таких параметров источника, как размер, положение, полный поток, яркостная температура. Полученные параметры отображаются в табличном виде, а при нажатии на ссылки в заголовках соответствующих столбцов, выводятся в правом окне в виде графиков. Параметры источников заносятся в соответствующую таблицу в базе данных.

Анализ данных на этой странице включает в себя такие операции, как вычитание уровня спокойного Солнца (несколькими разными методами), нахождение местоположения локальных источников, получение спектров различных полученных при обработке параметров, фурье и вейвлет анализ полученных рядов данных.

2.4.3. Автоматическое сопоставление с данными других обсерваторий

Сопоставление (наложение) данных осуществляется автоматически, параметры задаются в правом нижнем окне под изображением. Сопоставление включает в себя масштабирование, выравнивание, повороты двумерного изображения на P,V,L углы Солнца, под которыми Солнце наблюдается с Земли на РАТАН-600, поворот за счет собственного угла, под которым мог наблюдать спутниковый инструмент, а также, в случае разницы по времени, возможен поворот на время наблюдения на РАТАН-600, с учетом дифференциального вращения Солнца.

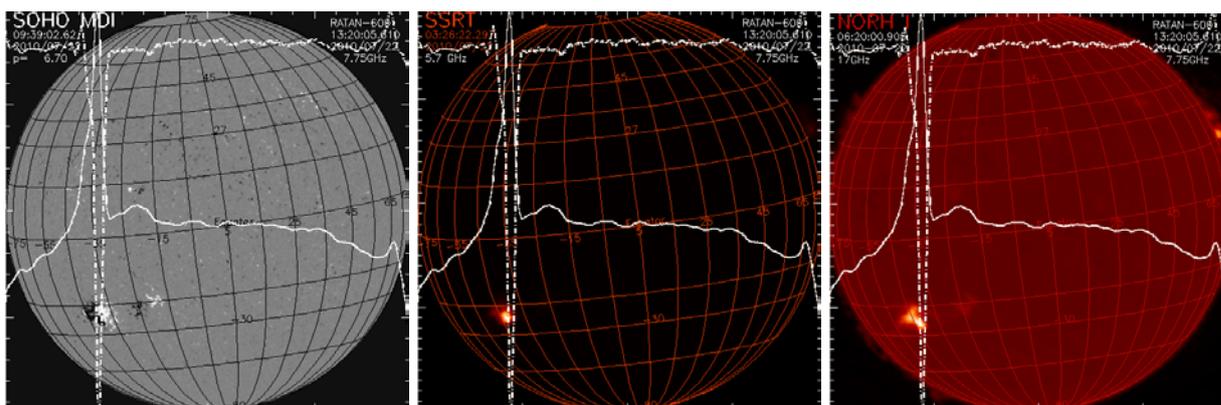


Рисунок 9. Наложение сканов радиоизлучения Солнца РАТАН-600 на двумерное изображение с других инструментов (SOHO MDI, SSRT, NORH и др.) на сервере осуществляется автоматически.

Сопоставление данных, например, используется для определения второй координаты. При этом имеет смысл использовать изображения на тех же волнах - с

радиогелиографов ССРТ (I,V) на волне 5.2 см и Nobeyama RH (I,V) на волне 1.74 см. Для оптического отождествления области излучения (межпятенный источник, источник над головным пятном, источник в основании петли и др.), используется наложение скана на выбранной частоте (или всех частотах) на двумерную магнитограмму SOHO MDI. Также при наличии соответствующей задачи подкачиваются данные в УФ и рентгеновском диапазонах. Определенные астрофизические выводы можно сделать, например, на основании смещения максимумов излучения в различных диапазонах.

2.5. Другие задачи, выполняемые через веб-интерфейс.

Кроме представления данных, на веб-сайте представлены пользовательские веб-интерфейсы для различных расчетов, необходимых для подготовки, обработки, и интерпретации наблюдений. Из графического интерфейса на ION вызываются программы на Фортране, разработанные сотрудниками САО РАН и ГАО РАН:

- Раздел по моделированию радиоизлучения локальных источников.
- Расчеты эфемерид для наблюдений Солнца на РАТАН-600.
- Расчет одномерной диаграммы направленности РАТАН-600.

Система регистрации солнечного комплекса РАТАН-600, которая является частью информационной системы обеспечения наблюдений Солнца на РАТАН-600, описана в работе.

Результаты

Создана и развивается информационная система для сбора, хранения, обработки, анализа, моделирования, и выдачи информации по наблюдениям Солнца на РАТАН-600. Система предоставляет свободный и авторизованный сетевой доступ к данным наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 в режиме сопровождения наблюдений (ежедневно после каждого наблюдения). Система осуществляет автоматическую первичную обработку и контроль качества данных, с рассылкой предупреждений о неисправных каналах. Для работы в интерактивном режиме разработаны веб-приложения для интерактивного анализа и визуализации данных, в том числе получения спектров интенсивности и поляризованного излучения, вычитания уровня спокойного Солнца, сопоставления с данными других обсерваторий, и т.д. Автоматизирован расчет наблюдаемых параметров солнечных источников (размеры, плотность потока, яркостная температура, степень поляризации) на основе гаусс-анализа ЛИ.

Часть функциональности сервера – поиск неисправностей в записях, поиск источников (или интересующих объектов) на сканах, поиск характерных особенностей в

спектрах этих объектов, сигнализирующих о возможной предвспышечной ситуации, и оповещение о них – являются задачами, свойственные интеллектуальным информационным системам (диагностика, мониторинг, прогнозирование), и может развиваться в этом направлении. На основе автоматического определения предвспышечной ситуации наблюдатель может принять решение об изменении режима наблюдения (увеличить количество азимутов, уменьшить время накопления, перейти в режим слежения и т.д.).

3. Исследования атмосферного шума

Атмосфера Земли фильтрует излучение, падающее на радиотелескоп, поглощая его часть. Даже в окне прозрачности поглощение на коротких сантиметровых волнах составляет около 10%, и эти потери необходимо учитывать.

Турбулентный характер флуктуаций в атмосфере приводит к росту мощности в пространственном спектре радиоизлучения атмосферы, имеющего вид, типа $1/f^\alpha$ (f – частота) при увеличении угловых масштабов. Роль этого шума можно учитывать по положению излома в пространственном спектре сигнала на выходе радиометра (f_{knee}).

Мощность атмосферного шума зависит от состояния атмосферы и может сильно меняться со временем. Это видно по статистике данных о дисперсии шума. Ее можно проводить по любым интересующим наблюдателя временным масштабам. В качестве примера изменения атмосферного шума со временем на рисунке 1 показано перемещение положения излома в пространственном спектре сигнала на выходе радиометра для области околоразенитного обзора в различные дни наблюдений. Около 20% записей имеют положение излома в более высокочастотной области, чем в среднем для исследуемого числа записей.

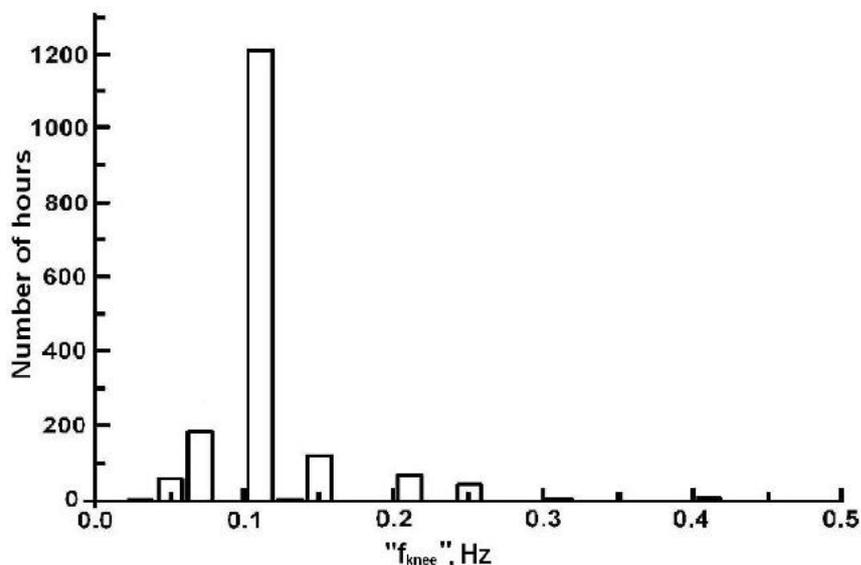


Рисунок 10. Распределение числа часовых записей с определенным положением частоты излома спектра f_{knee} для области околоразенитного обзора в различные дни наблюдений на волне 1.38 см. Использовано временное окно 600 секунд ($l > 50$, l – номер мультиполя в разложении яркостной температуры неба по сферическим гармоникам).

Большой разброс положения излома спектра f_{knee} приводит к необходимости селекции сканов по их качеству. Простое среднее многих сканов может дать результат хуже, чем одиночная запись с малым атмосферным шумом.

Спектр мощности атмосферного шума можно характеризовать двумя параметрами

– положением излома спектра на шкале частот и его наклоном на низких частотах (малых пространственных масштабах l). По данным РАТАН-600, медианный наклон атмосферного спектра (в дважды-логарифмическом масштабе) близок к спектру Колмогоровской турбулентности. На волне 1см (матричный радиометрический комплекс МАРС-3) среднее положение излома спектра мощности переместится к частоте 0.03Гц.

Атмосферный шум доминирует над белым гауссовым шумом радиометров при наземных исследованиях достаточно протяженных объектов на коротких волнах. Проблема учета атмосферного шума неба при наземных наблюдениях является особенно острой при исследовании флуктуаций реликтового фона, где исследуются угловые масштабы около градуса. Время прохождения таких масштабов через диаграмму РАТАН-600, как правило, больше времени $t=D/v$ (где D – размер апертуры, v – скорость ветра), и «апертурная фильтрация» становится менее эффективной. Таким образом, многочастотная фильтрация атмосферной компоненты шума оказывается полезной, но мало эффективной при малом атмосферном шуме. Основой для учета влияния атмосферного шума в предыдущих исследованиях было использование длины волны вблизи линии водяного пара (1.35см) как индикатора атмосферного шума.

4. Введение в штатную эксплуатацию систем мониторинга помеховой обстановки на РАТАН-600

Необходимость постоянного мониторинга помеховой обстановки на РАТАН-600 продиктована резким увеличением числа радиочастотных диапазонов, которые уже ограничено доступны или вовсе не доступны для радиоастрономических наблюдений. Так, например, в диапазоне волн 13 см на РАТАН-600 стали недоступными для наблюдений 3 "узких" канала шириной по 50 МГц из 8. Расчетная чувствительность этого радиометра ухудшилась в корень квадратный из отношений ширин полос полного диапазона радиометра и "усеченного" ($\ll 1.27$ раз) только за счет сужения полосы радиометра. На радиометре диапазона 31см наблюдения проводятся в полосе, вчетверо меньшей, чем проектная, с результирующим ухудшением чувствительности в 2 раза. Следует отметить, что наличие сильной помехи ухудшает чувствительность и в оставшихся полосах радиометров, условно считающихся «чистыми». Кроме этого, помехи появились уже и в сантиметровом диапазоне РАТАН-600. На радиометре на волну 3.9 см, с начала работы радиотелескопа считавшегося одним из лучших по большинству параметров, "засветка" радионеба (Рисунок 11) ухудшила расчетную чувствительность в 2-3 раза.

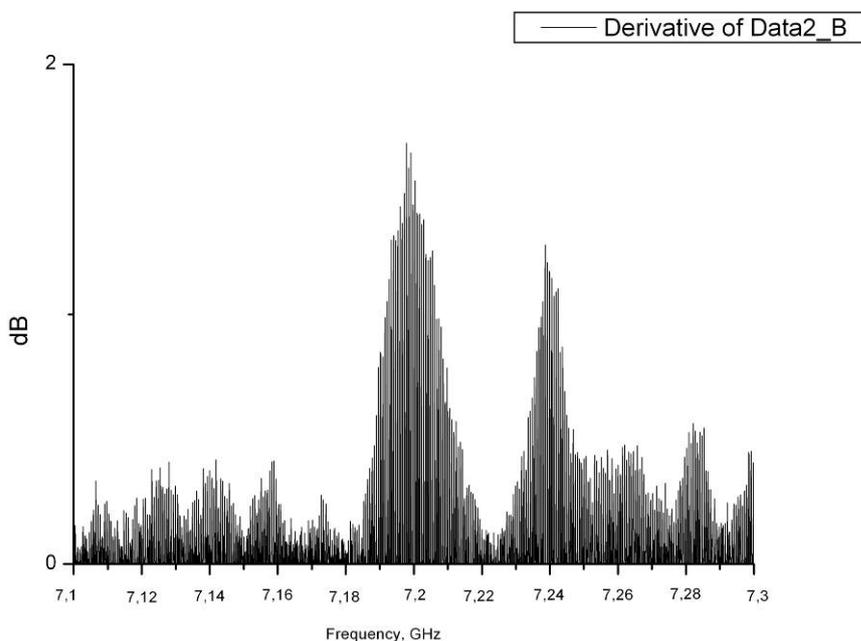


Рисунок 11. Измерение радиочастотного излучения с помощью FSU-46, подключённого к СВЧ выходу штатного радиометра 3,9 см.

На сегодняшний день на РАТАН-600 введены в штатную эксплуатацию:

1) Программно-аппаратный комплекс для измерения помеховой обстановки в диапазоне 0-3ГГц на основе приёмника ESMC. Приемник полностью охватывает рабочие полосы дециметрового диапазона РАТАН-600. Однако, чувствительность данного приемника в комплекте с двухметровой параболической антенной намного хуже чувствительности современного радиометра с антенной РАТАН-600, поэтому для более точных измерений нами приобретен и установлен дополнительный малошумящий усилитель на входе приемника (+17 дБ). В таком составе измерительный комплекс стало возможным использовать для визуальной регистрации помех по шкале прибора.

Для реализации записи регистрируемых помех на персональный компьютер (ПК) и получения отчетов по измерениям нами разработано дополнительное программное обеспечение, позволяющее управлять режимами измерения и заносить данные в ПК. Система разработана на базе ОС Linux и позволяет производить автоматическое сканирование выбранного диапазона частот, применяя различные виды демодуляции (PULSE, AM, FM, LOG) с требуемым частотным разрешением и временем интегрирования. Измерительный комплекс установлен на верхней точке одного из вторичных зеркал РАТАН-600.

Данный метод используется для постоянного отслеживания электромагнитной обстановки на РАТАН-600, но в случае очень малых по мощности мешающих сигналов он тоже становится неэффективным. Это связано, в основном, с малой эффективной площадью двухметровой параболической антенны.

2) Использование анализатора спектра FSU-46 на выходах радиометров (как дециметровых, так и сантиметровых диапазонов), с коммутацией входов приемников. Спектроанализатор FSU-46 имеет следующие параметры:

- диапазон работы 0-46ГГц;
- отображаемый средний уровень шумов типично -158 дБм (1 Гц) без предварительного усилителя;
- фазовый шум типично -123 дБс / Гц при смещении 10 кГц, частота несущей 640 МГц;
- фазовый шум типично -160 дБс / Гц при смещении 10 МГц, частота несущей 640 МГц;
- точка пересечения по интермодуляционным составляющим 3-го порядка (TOI) типично 25 дБм;
- точка сжатия на 1 дБ типично 13 дБм;
- динамический диапазон коэффициента утечки мощности в соседний канал WCDMA 77.5 дБ / 84 дБ с коррекцией шума;
- общая погрешность уровня 0.3 дБ на частотах до 3.6 ГГц;

- нелинейность <0.1 дБ до уровня -70 дБ.

Измерения помеховой обстановки последним методом наиболее эффективно, так как при этом измеряется радиочастотное излучение, попадающее непосредственно через антенную систему в приёмники РАТАН-600. Но использование этого метода требует приостановки наблюдений на измеряемом радиометре РАТАН-600, поэтому его использование ограничено во времени. Метод применяется в случае, когда измерения по первому методу не показали наличие помехи, но при этом чувствительность одного из радиометров ухудшена.

На рисунке 12 показан результат измерений электромагнитного излучения с помощью FSU-46, подключённого к выходу СВЧ блока штатного радиометра 31см. Представлены два спектра:

Черная линия - запись с нагрузкой на входе радиометра, видно, что помех не наблюдается. Такая операция позволяет исключить неисправность радиометра и однозначно идентифицировать шумовой сигнал как мешающее электромагнитное излучение.

Красная запись – без нагрузки на входе, т.е. приёмник в фокусе телескопа РАТАН-600. Видно, что мешающий сигнал расположен по частоте в диапазоне 1,10-1,13 ГГц. Помеха длительная, поэтому штатной системой импульсного помехоподавления вырезать её нельзя, возможна только отбраковка этого частотного канала или смещение полосы канала в свободную от помехи часть спектра.

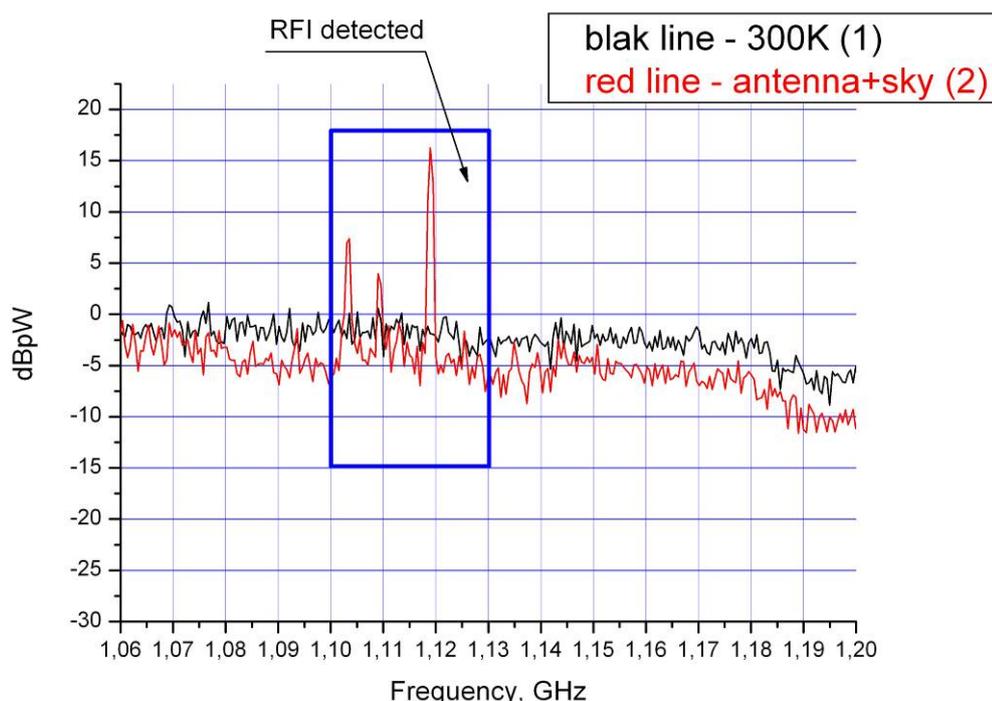


Рисунок 12. Измерение мешающего излучения с помощью FSU-46, подключённого к СВЧ выходу штатного радиометра 31см.

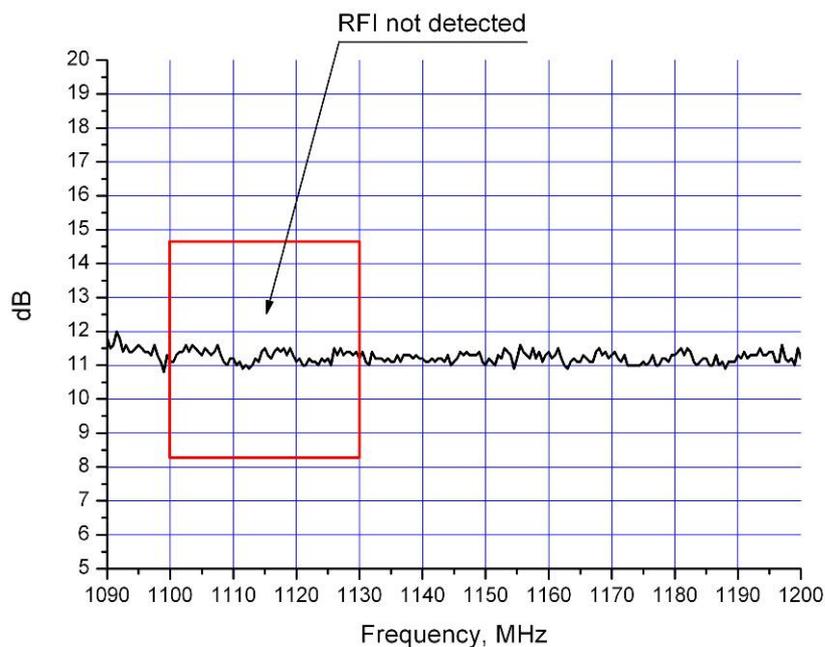


Рисунок 13. Измерение мешающего излучения приёмником ESMC в частотном диапазоне штатного радиометра 31см.

На рисунке 13 представлены измерения этого же диапазона и в этот же день приёмником ESMS с двухметровой параболической антенной. Как видно, измерения не показали наличие помехи. Это объясняется крайне низким уровнем мощности данного мешающего сигнала.

Таким образом, использование обоих методов дополняет друг друга и дает объективную оценку помеховой обстановки на РАТАН-600.

Штатный режим измерения помех на РАТАН-600 дал возможность отслеживать динамику развития радиочастотного излучения на радиотелескопе РАТАН-600. На рис. 4 приведено удобное трёхмерное изображение, дающее представление об изменении помехи в диапазоне 2,4-2,5 ГГц в течение нескольких месяцев 2010 года. Измерения проводились при определённых и одинаковых для всех измерений настройках оборудования. Из рисунка 14 видно, что помеха на 2,4ГГц (в основном радиорелейные линии связи) хотя и переменна по частоте, но долговременно находится в частотной области 2,4-2,45 ГГц. Такие долговременные измерения позволяют более адекватно принимать решения о помехозащите близких по частоте штатных радиометров радиотелескопа РАТАН-600.

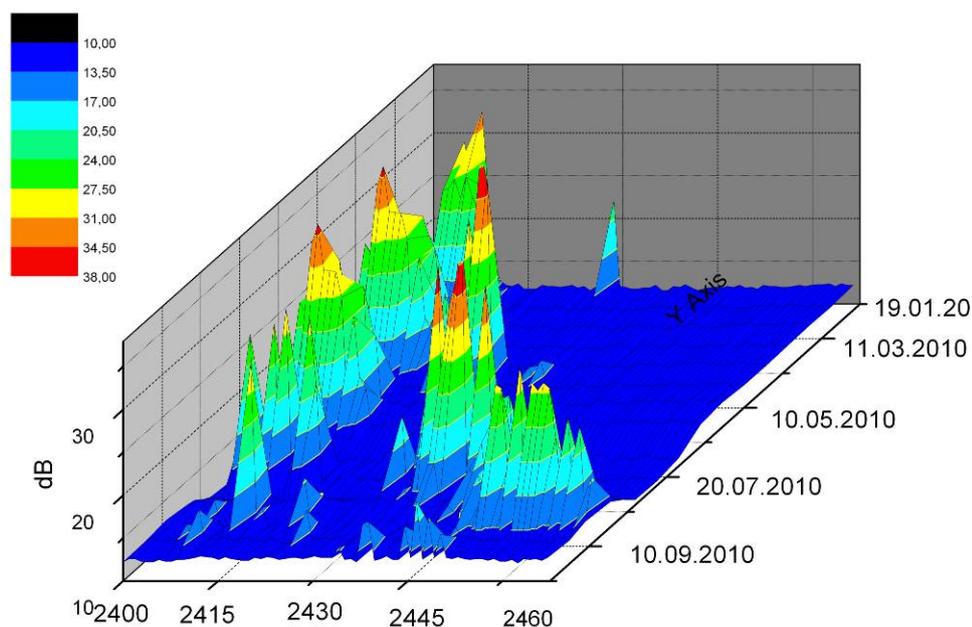
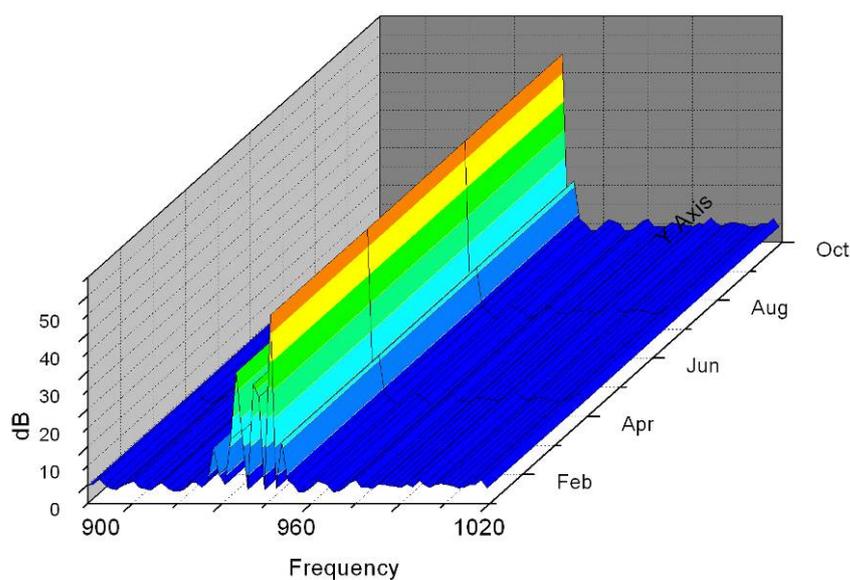


Рисунок 14. Динамика изменений радиочастотного излучения вблизи штатной волны радиометров континуума 13 см на РАТАН-600.

На рисунках 15 и 16 приведена динамика изменений помехи от сотовой связи разных стандартов в течении 2010 года. На рисунке 15 видно, что, как мощность, так и частота помехи не меняется. При этом постоянная высокая мощность сигналов от сотовой связи стандарта GSM-900 (порядка 50dB) предъявляет жёсткие требования к фильтрации рабочей полосы в штатном радиометре на волну 31см. На рисунке 16 можно увидеть небольшие смещения по частоте радиочастотного излучения от стандарта сотовой связи GSM-1800.



Рисунке 15. Динамика изменений радиочастотного излучения от сотовой связи стандарта GSM-900.

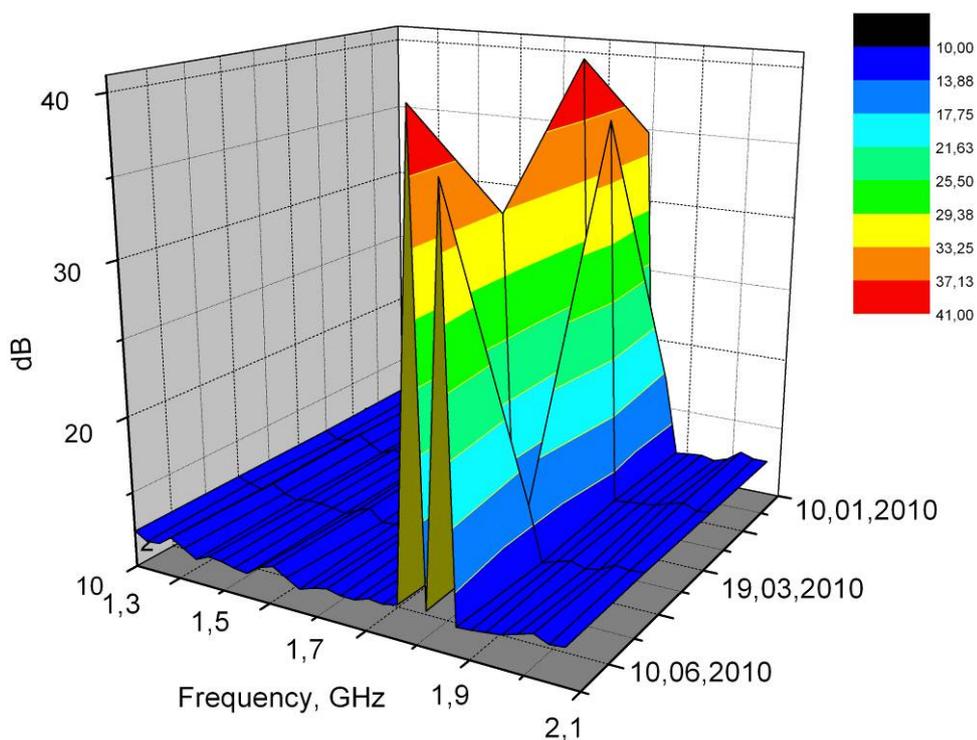


Рисунок 16. Динамика изменений радиочастотного излучения от сотовой связи стандарта GSM-1800 в течении 2010 года.

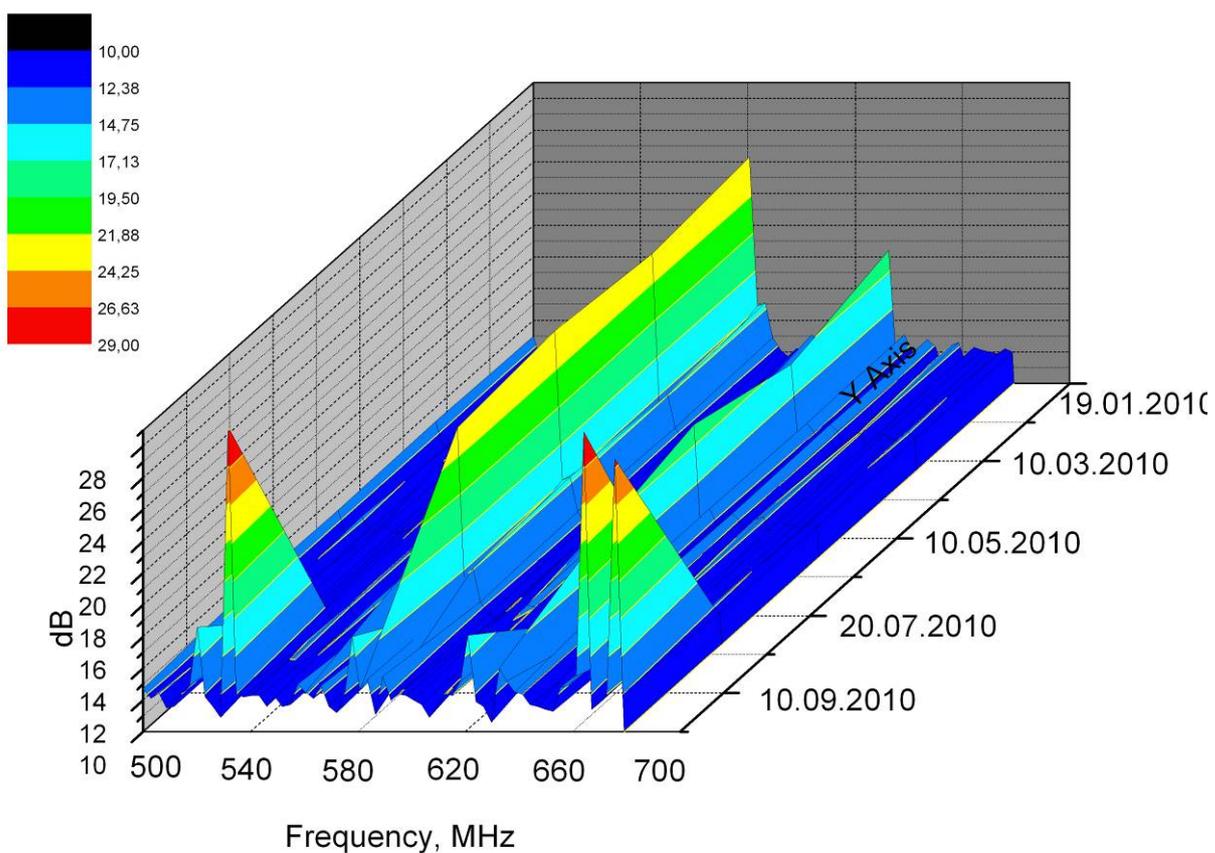


Рисунок 17. Динамика изменений радиочастотного излучения от телерадиовещательной станции в диапазоне частот 500-700МГц.

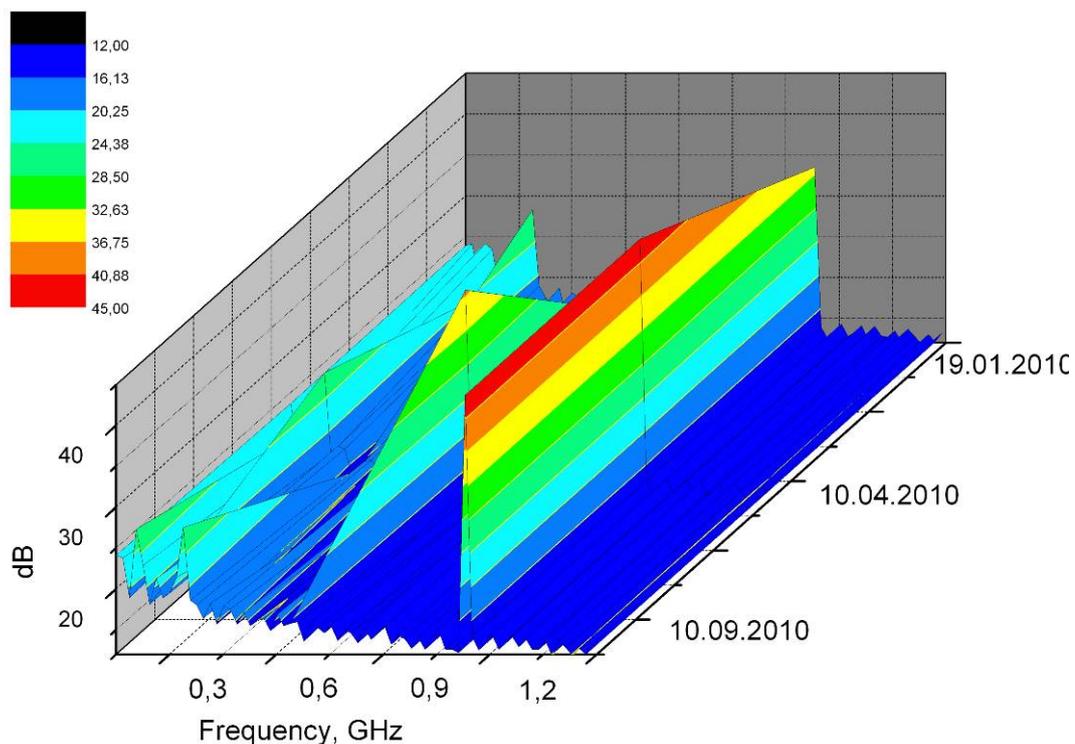


Рисунок 18. Динамика изменений радиочастотного излучения принятого на РАТАН-600 в диапазоне частот 20-1300МГц.

Эксплуатация системы позволяет проводить периодические измерения помеховой обстановки и строить трёхмерные графики долговременного изменения радиочастотного излучения, что даёт наглядное представление динамики развития мешающего излучения на РАТАН-600.

В качестве методического приложения отработана и используется техника быстрого тестирования усилительных трактов радиометров с помощью системы измерения помех, подключенной к выходу СВЧ блоков радиометров.

Вовлечение в научно-исследовательский процесс студентов, подготовка кадров высшей квалификации

Ежегодно на базе САО РАН проходят практику более 100 студентов 2-6 курсов Московского государственного университета, Санкт-Петербургского государственного университета, Ставропольского государственного университета, Казанского государственного университета, Уральского государственного университета, Московского физико-технического института, Южного федерального университета. Проводятся практики четырех типов: ознакомительная, лабораторная, производственная, дипломная.

За отчетный этап на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» прошли практику студенты Московского гос. университета, Санкт-Петербургского гос. университета, Казанского гос. университета, Московского физико-технического института, Южного федерального университета.

В 2009-2010 гг. выполнены Дипломные работы, по которым в настоящее время ведется работа по результатам исследований с использованием научного оборудования ЦКП САО РАН:

1. Зиатдинова Алина Альбертовна (студент 5-го курса), Казанский государственный университет).
2. Накиско Ирина Владимировна (магистр), Южный федеральный университет.

По материалам исследований на радиотелескопе РАТАН-600 защищены следующие диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат.наук (специальность 01.03.02 - астрофизика и радиоастрономия):

- 1) Сотникова Ю.В. «Исследование полной выборки внегалактических радиоисточников вблизи северного полюса Мира на РАТАН-600».
- 2) Семенова Т.А. «Исследование некоторых фоновых составляющих радиоизлучения Вселенной в наземных наблюдениях реликтового фона».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете представлены результаты работ по проведению и обработке данных наблюдений, полученных на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600», данные по методам наблюдений и их модернизации, новые аппаратурные разработки.

В ходе выполнения настоящего этапа работ завершено изготовление СВЧ фильтров для выбора полос анализа. Проводится опытная эксплуатация систем защиты от помех в радиодиапазоне. Внедрен в эксплуатацию новое входное приемное устройство в диапазоне частот 0.75-18 ГГц для исследований Солнца (входной совмещенный рупорный облучатель; входной приемный блок для усиления и обеспечения режимов калибровок и раздельного приема сигналов по каждой поляризации). Создано программное обеспечение по автоматизации процесса наблюдений, экспресс-обработки данных наблюдений. Внедрена новая система цифровой многоканальной регистрации данных.

Продолжались работы по совершенствованию аппаратуры. За отчетный период проведены работы по внедрению и адаптации нового анализатора спектра фирмы Rohde&Schwarz FSU46 (частотный диапазон от 20 Гц до 46 ГГц) для подключения к системе мониторинга во всем частотном диапазоне радиотелескопе РАТАН-600. Продолжаются работы по сбору информации о новых источниках помех в месте расположения УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600».

Проводилось накопление наблюдательных данных:

- по собственному радиоизлучению атмосферы;
- по исследованию радиоизлучения Солнца и солнечно-земных связей.

Внедрена в штатную эксплуатацию система мониторинга и подавления помех. Разработано руководство для пользователей.

Обеспечена полная обработка данных наблюдений на удаленном сервере. Готовятся результаты исследований к публикациям.

В ходе выполнения настоящего этапа работ также уделялось большое внимание научно-организационной деятельности и подготовке кадров:

- обеспечение наблюдений сторонних пользователей;
- участие на научных конференциях и подготовка публикаций;
- завершение подготовки дипломных работ студентами ведущих ВУЗов России.

За отчетный опубликованы 15 научных статей в ведущих мировых журналах. Подготовлены 2 дипломные работы и 2 диссертации с использованием результатов, полученных на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600».

Представленные приемно-измерительная аппаратура и разработки рекомендуется

использовать не только на радиотелескопе РАТАН-600, но и на различных других радиотелескопах.

Полученные научные данные и результаты обработки имеют научную новизну и вносят большой вклад в данной области науки.

Материалы, представленные в настоящем Отчете, так и в Отчетах за предыдущие этапы, иллюстрируют выполнение всех технико-экономических требований п. 5.1 Технического задания:

1) Исследования с использованием УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» обеспечили получение новых знаний в области (п. 5.1.1 ТЗ):

- развития методов оценки состояния земной атмосферы и влияния его на проведение астрофизических исследований на радиотелескопе РАТАН-600, что привело к повышению чувствительности при оценке фоновых излучений при анализе и обработке наблюдений космического микроволнового излучения;
- методов прогнозирования воздействий солнечной активности на атмосферу Земли;
- совершенствования методов борьбы с помехами в радиодиапазоне. Разработан и внедрен в штатную эксплуатацию комплекс мониторинга помех во всем частотном диапазоне радиотелескопе РАТАН-600. Это позволяет оперативно реагировать на новые помехи и принимать меры по защите; в частности, удалось устранить помехи в диапазоне 31 см;
- изучения космических объектов: поиск флуктуаций реликтового излучения по программе «Генетический код Вселенной»; поиск внегалактических прото-объектов; переменность активных ядер галактик; широкодиапазонная спектральная поддержка международных космических и наземных проектов; мониторинг радиопеременности микрокварзаров; исследования Солнца (мониторинг солнечной активности, поиск циклотронных линий в спектрах поляризованного излучения активных областей, изучение мелкомасштабной структуры спокойного Солнца).

2) Полученные результаты и разработанные методы широко используются как в отечественных, так и зарубежных научно-исследовательских организациях. Число

организаций-пользователей УСУ составило 10 единиц ежегодно. Количество заявок на наблюдательное время на УСУ РАТАН-600 превышает реальные возможности в 2-2.5 раза (п. 5.1.2 ТЗ).

- 3) Разработанные методы регистрации сигналов в астрофизических исследованиях обеспечивают высокую чувствительность и максимально широкий частотный диапазон при проведении исследований как прикладного, так и фундаментального характера (п. 5.1.3 ТЗ).
- 4) Осуществлялось научно-методическое и приборное обеспечение научно-исследовательских работ, проводимых как организациями Российской Федерации, так и зарубежными (п. 5.1.5 ТЗ).
- 5) Проводились мероприятия по текущему содержанию и модернизации УСУ (модернизация приемно-измерительной аппаратуры, совершенствование методов наблюдений и обработки данных) (п. 5.1.7 ТЗ).
- 6) Были созданы условия для достижения высоких значений загрузки УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600»: наблюдения проводятся 24 часа в сутки круглогодично; потери наблюдательного времени не превышают на различных приемно-измерительных комплексах 1-3 % (п. 5.1.8 ТЗ).

Таким образом, настоящий Отчет иллюстрирует, что все задачи, поставленные на 4-ом этапе по государственному контракту «Исследования на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» (РАТАН-600) для развития методов оценки состояния земной атмосферы и методов прогнозирования воздействий солнечной активности на атмосферу Земли; мониторинг помех в радиодиапазоне и совершенствование методов борьбы с ними», выполнены полностью и в соответствии с *Техническим заданием* и *Календарным планом*.

Расписание наблюдений на РАТАН-600
Первое полугодие 2010 года

	Северный сектор	Юг + плоский	Южный сектор
Я Н В А Р Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-31): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (CAO РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-31): Исследования Солнца¹ (один азимут в день)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(04-13): Study of complex Properties of Giant radio galaxies, Mahendra Singh (ARloOS, India)</p> <p>(14-15): Техническое время, Нижельский Н.А. (CAO РАН)</p> <p>(16-26): Bright Sources Monitoring during Planck Mission, Planck WG6</p> <p>(27-31): Исследование релятивистских струй в АЯГ, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН, MPIfR, CAO РАН, NRAO, NASA)</p>	
Ф Е В Р	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-28): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (CAO РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-28): Исследования Солнца¹ (один азимут в день)</p>	

А Л Б		<p>Облучатель 1</p> <p>(01-20): Исследование релятивистских струй в АЯГ, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН, MPIfR, CAO РАН, NRAO, NASA)</p>	
М А Р Т	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-31): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (CAO РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-10): Техническое время, Капранов В.А., Миленко В.С. (CAO РАН)</p> <p>(11-31): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p>	
А П Р Е Л Б	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-18): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (CAO РАН)</p> <p>(19-30): Техническое время (08h-17h), Капранов В.А., Миленко В.С. (CAO РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-05): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p> <p>(06-30): Исследования Солнца¹ (один азимут в день)</p>	
М А Й	<p>(01-05): Техническое время (полное отключение э/энергии), Капранов В.А., Миленко В.С. (CAO РАН)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(06-13): Юстировка, антенные измерения, Берлизев И.В., Трушкин С.А. (CAO РАН)</p> <p>(14-28): Bright Sources Monitoring during Planck Mission, Planck WG6</p> <p>(29-31): Резервное время,</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-31): Исследования Солнца¹ (один азимут в день)</p>	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-30): Спектральные исследования внегалактических прото-объектов (RA=04:00-09:00; 15:00-20:00), Дубрович В.К. (CAO РАН)</p>

	Мингалиев М. (САО РАН)		
И Ю Н Ь	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-10): Исследование релятивистских струй в АЯГ, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН, MPIfR, САО РАН, NRAO, NASA)</p> <p>(11-30): Исследование активности ядер внегалактических источников радиоизлучения в широком диапазоне временных масштабов, Горшков А.Г. (ГАИШ МГУ)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(15-30): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана) (САО РАН)</p>	

¹ - Мониторинг солнечной активности (Наговицин Ю.А., ГАО РАН), Исследование радиоизлучения короны Солнца в период начала максимума активности в новом 24 цикле (Богод В.М., СПбФ САО РАН), Изучение мелкомасштабной структуры спокойного Солнца по ее микроволновому излучению (Aleksandr Riehoakainen, Tuorla Observatory, University of Turku).

Облучатель 1 - вторичное зеркало с комплексом аппаратуры сплошного спектра.

Облучатель 2 - вторичное зеркало со спектральным комплексом и комплексом MAPC-3.

Облучатель 3 - вторичное зеркало с солнечным комплексом.

Руководитель проекта

М.Г. Мингалиев

мп

09 ноября 2010 г.

Расписание наблюдений на РАТАН-600
Второе полугодие 2010 года

	Северный сектор	Юг + плоский	Южный сектор
И Ю Л Б	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-07): Резервное время, Мингалиев М.Г. (САО РАН)</p> <p>(08): Техническое время (отключение электроэнергии), Миленко В.С. (САО РАН)</p> <p>(09-31): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p> <p>(09-31): Мониторинг радиопеременности микроквазаров (J1819-254, 1824-1514, J1911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-07): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p> <p>(08): Техническое время (отключение электроэнергии), Миленко В.С. (САО РАН)</p> <p>Облучатель 2</p> <p>(09-20): Юстировка, антенные измерения, Берлизев И.В., Жаров В.И., Бурсов Н.Н (САО РАН)</p> <p>Облучатель 3</p> <p>(01-07): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p>	<p>(08): Техническое время (отключение электроэнергии), Миленко В.С. (САО РАН)</p>
	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-31): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-09): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p> <p>(05-25): Антенные измерения (Краб, Луна, 3С 84, DR21), Богод В.М. (САО РАН)</p>	

		<p>(10-30): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(01-10): Техническое время, Миленко В.С., Нижельский Н.А. (САО РАН)</p> <p>(11-21): Мониторинг микроквazarов и АЯГ, Мингалиев М., Трушкин С.А. (САО РАН)</p>	
С Е Н Т Я Б Р Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-20): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(25-30): Исследование активности ядер внегалактических источников радиоизлучения в широком диапазоне временных масштабов, Горшков А.Г. (ГАИШ)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-31): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p>	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-30): Спектральные исследования внегалактических прото-объектов (RA=04-09h;15-20h), Дубрович В.К. (САО РАН)</p>
	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-15): Исследование активности ядер внегалактических источников радиоизлучения в широком диапазоне временных масштабов, Горшков А.Г. (ГАИШ)</p> <p>(16-17): Резервное время Мингалиев М. (САО РАН)</p> <p>(18-31): Техническое время Капранов В.А., Миленко В.С. (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-05): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p> <p>(06-30): Исследования Солнца¹ (один азимут в день)</p>	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-30): Спектральные исследования внегалактических прото-объектов (RA=04:00-09:00; 15:00-20:00), Дубрович В.К. (САО РАН)</p>

Н О Я Б Р Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-30): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-30): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p>	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-30): Исследования переменности внегалактических объектов в приполярной области, Мингалиев М. (САО РАН)</p>
Д Е К А Б Р Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-30): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-31): Bright Sources Monitoring during Planck Mission, Planck WG 6</p> <p>(01-14): Мониторинг радиопеременности микрокварзов (J1819-254, 1824-1514, J1911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (САО РАН)</p> <p>Облучатель 3</p> <p>(15-31): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p>	

¹ - Мониторинг солнечной активности (Наговицин Ю.А., ГАО РАН), Анализ динамики микроволновых характеристик активных областей (Гельфрейх Г.Б., ГАО РАН), Исследование динамики пространственной структуры активных областей на Солнце (Алтынцев А.Т., ИСЗФ СО РАН, Исследование радиоизлучения короны Солнца в период начала максимума активности в новом 24 цикле (Богод В.М., СПбФ САО РАН), Изучение мелкомасштабной структуры спокойного Солнца по ее микроволновому излучению (Aleksandr Riehoainen, Tuorla Observatory, University of Turku), Поиск циклотронных линий (Железняков В.В., ИПФАН)

Облучатель 1 - вторичное зеркало с комплексом аппаратуры сплошного спектра.

Облучатель 2 - вторичное зеркало со спектральным комплексом.

Облучатель 3 - вторичное зеркало с солнечным комплексом.

Руководитель проекта

М.Г. Мингалиев

МП

09 ноября 2010 г.

МП

СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ РАН

Комплекс средств мониторинга помеховой обстановки

Руководство пользователя

ЛРК-2010

Содержание:

Введение

1. Назначение комплекса
2. Состав комплекса
3. Общее описание комплекса
4. Система мониторинга помех на основе ESMC
 - 4.1 Параметры приёмника ESMC
 - 4.2 Порядок работы с системой мониторинга на основе ESMC
5. Система идентификации помех малой мощности на основе FSU-46 подключённого к выходным блокам штатных радиометров
 - 5.1 Параметры спектроанализатора FSU-46
 - 5.2 Порядок работы с системой на основе FSU-46

Литература

ВВЕДЕНИЕ

Чрезвычайно слабые сигналы излучения от космических объектов, полученные на РАТАН-600, могут быть обнаружены, только если адекватна чувствительность приемной системы. Чувствительность радиометра - на 60 децибелов выше чувствительности, достигаемой в приемниках телесвязи. Кроме того, важен высокий динамический диапазон, в современных радиометрах достигает 50 децибелов. В настоящее время для радиоастрономии необходимы уровни чувствительности в несколько десятков микроянских (1 микроянский соответствует 10^{-32} Вт*м⁻² *Гц). Чтобы достигать этих высококачественных результатов необходима широкая полоса пропускания и большое количество наблюдений для достаточного уровня осреднения результатов. Это возможно только в свободных от помех зонах, которых, к сожалению, в частотной области РАТАН-600 с каждым годом становится всё меньше. Так как характеристики радиоисточников могут изменяться на масштабах от дней до нескольких лет, качество наблюдений должно быть стабильно, по крайней мере, в этом же временном интервале. По этим причинам, радиоастрономические наблюдения особенно уязвимы к вредному воздействию от передатчиков активных услуг.

Радиоастрономическое измерение – это, по сути, оценка средней мощности, поступившей на вход радиометра. Самые слабые космические источники, которые могут быть измерены - те, которые дают отклик на выходе приемника, сопоставимый со среднеквадратическими шумовыми колебаниями системы. Это среднеквадратичная ошибка в измерении. При увеличении полосы пропускания эта ошибка уменьшается, поэтому в радиоастрономии необходимо использовать наибольшую возможную полосу пропускания. На РАТАН-600 используемые полосы представлены в таблице 1, откуда видно, что полосы приёмников на РАТАН-600 шириной от нескольких сотен МГц для дециметровых приёмников и 5ГГц на волне 1см.

Таблица 1 Частоты и полосы штатных радиометров континуума РАТАН-600

Длина волны, см	F ₀ , ГГц	Ширина полосы
1	30,0	5,0
1,4	21,7	2,5
2,7	11,2	1,4
3,9	7,7	1,0
6,3	4,8	0,9
13	2,3	0,4
31,2	0,96	0,2
49,5	0,61	0,128

В таблице 2 приведены данные по распределению полос частот между радиослужбами РФ в полосе от 500 МГц до 2900МГц. Этот диапазон активно используется на РТАН-600 и одновременно является самым используемым активными радиослужбами, поэтому этот диапазон частот представляет для нас наиболее острую проблему электромагнитной совместимости.

Таблица 2. Распределение полос частот между радиослужбами РФ в дециметровом диапазоне длин волн (зеленый – защищённые для радиоастрономии частоты, оранжевый – могут использоваться радиоастрономией на вторичной основе).

Частота, МГц	служба	Частота, МГц	Служба
470-638	радиовещательная	1559-1626,5	Воздушно-навигационная, Радиолокационная-спутниковая
638-646	Фиксированная, подвижная	1610,6-1613,8	Радиоастрономическая
646-686	Радиовещательная, Воздушно-навигационная	1626,5-1631,5	Морская подвижная, спутниковая
686-694	Фиксированная, сухопутная	1631,5-1634,5	Морская подвижная спутниковая, сухопутная подвижная спутниковая, фиксированная
694-726	радиовещательная	1634,5-1645,5	Морская подвижная спутниковая, фиксированная
726-790	Радиовещательная, Воздушно-навигационная	1645,5-1646,5	Подвижная спутниковая
790-890	Воздушно-навигационная, радиосвязь	1646,5-1656,5	Воздушная подвижная спутниковая, фиксированная
890-915	Воздушно-навигационная	1656,5-1660	Сухопутная подвижная спутниковая
915-935	Воздушно-навигационная	1660-1660,5	Радиоастрономическая
935-960	Воздушно-навигационная, радиосвязь	1660,5-1670	Фиксированная, радиоастрономическая
960-1215	Воздушно-навигационная	1670-1710	Фиксированная, метеорологическая спутниковая
1215-1240	Радиолокационная, радионавигационная спутниковая	1718,8-1722,2	Радиоастрономическая
1260-1300	Радиолокационная	1770-1790	Фиксированная, метеорологическая спутниковая
1300-1400	Воздушная радионавигационная Радиолокационная	1790-1885	Фиксированная
1400-1427	Воздушная радионавигационная Радиоастрономическая	1885-2025	Фиксированная, подвижная
1427-1530	Фиксированная, подвижная	2025-2100	Фиксированная
1530-1533	Служба космической эксплуатации, морская	2100-2700	Фиксированная, Радиолокационная, служба

	подвижная, спутниковая, сухопутная подвижная		космических исследований, служба космической эксплуатации, спутниковая служба, исследование земли
1533-1535	Служба космической эксплуатации, морская подвижная, спутниковая	2655-2700	Радиоастрономическая
1535-1544	морская подвижная, спутниковая	2700-2900	Воздушная радионавигационная Радиолокационная
1544-1545	Подвижная спутниковая		
1545-1555	Воздушная подвижная, спутниковая		
1555-1559	Сухопутная подвижная, спутниковая, фиксированная		

Как видно из таблицы 2, защищённые для радиоастрономии полосы в лучшем случае шириной 40 МГц и находятся не во всём частотном диапазоне, используемом РАТАН-600.

Уровни принимаемых радиоастрономических сигналов обычно выражаются в терминах спектральной плотности потока мощности, т.е. в Ваттах, падающих на квадратный метр площади антенны, в расчете на 1 Гц полосы пропускания приемника. Фактическая полоса пропускания на много порядков больше, чем 1 Гц. Из-за крошечной мощности, полученной от космических источников, их спектральная плотность потока мощности обычно определяется в Янских:

$$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{Hz}^{-1} .$$

Однако, пороги вмешательства помехи в полезный сигнал для радиоастрономии выражены в единицах температуры шума приемника ΔT , в мощности в полосе пропускания, и в терминах спектральной плотности потока мощности. На рисунке 1 приведены пороги вредного вмешательства помехи для спектральной линии и измерений континуума, 1 Янский соответствует $-260 \text{ Дб}(\text{W} / (\text{m}^2 \text{ Hz}))$. Здесь между красными линиями диапазон, в котором работают приёмники РАТАН-600.

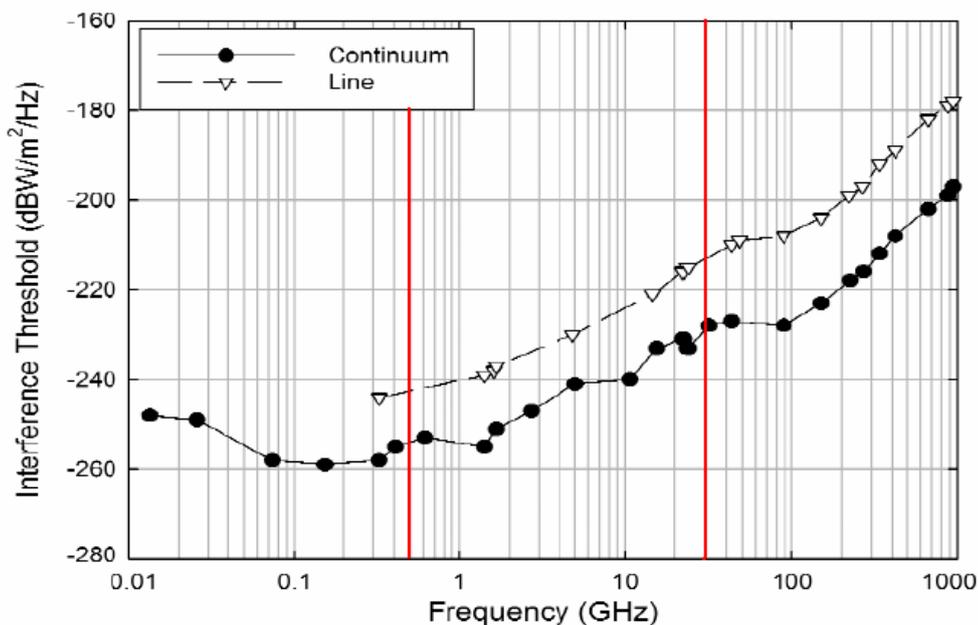


Рисунок 1. Пороги вмешательства частоты для радиоастрономии, для спектральных наблюдений и наблюдений континуума

Вышеописанная ситуация делает невозможными эффективные наблюдения на РАТАН-600 без активного и постоянного изучения помеховой обстановки в районе радиотелескопа.

Значительная часть рабочего диапазона радиотелескопа РАТАН-600 становится недоступной для радиоастрономических исследований из-за электромагнитных помех. Вместе с тем, сохранение многочастотности такого многоцелевого инструмента, как РАТАН-600, весьма важно для большинства астрофизических задач

На РАТАН-600 создан, испытан и включён в штатную эксплуатацию аппаратно - программный комплекс для исследования помеховой обстановки в месте расположения радиотелескопа.

1. Назначение

Комплекс средств мониторинга помеховой обстановки РАТАН-600 предназначен для исследования помеховой обстановки вблизи радиотелескопа РАТАН-600.

Эксплуатация системы позволяет проводить периодические измерения помеховой обстановки и строить трёхмерные графики долговременного изменения радиочастотного излучения, что даёт наглядное представление динамики развития мешающего излучения на РАТАН-600.

В качестве методического приложения возможно использование комплекса для быстрого тестирования усилительных трактов радиометров с помощью системы измерения помех, подключенной к выходу СВЧ блоков радиометров. Полученные при этом данные – это результат прохождения сигнала от антенны РАТАН-600 через весь усилительный тракт радиометра, исключая детектор и систему сбора данных, что позволяет полностью протестировать и замерить параметры радиометрического тракта, не подвергая его демонтажу и дополнительным исследованиям в лабораторных условиях.

2. Состав комплекса

Комплекс средств мониторинга помеховой обстановки РАТАН-600 состоит из двух взаимодополняющих систем:

1. Система мониторинга помех на основе приёмника ESMC фирмы Rohde&Schwarz.

В свою очередь состоит из двух блоков ESMC(20-1300МГц и 1300-3000 МГц) фирмы Rohde&Schwarz подключаемых к блоку предварительного усиления(17Дб). К блоку предварительного усиления так же подключается двухметровая параболическая антенна.

2. Система идентификации помех малой мощности на основе FSU-46

Спектроанализатор мощности FSU-46 подключается непосредственно к выходам радиометров (перед детектором или фильтрами). При этом в качестве антенны используется радиотелескоп РАТАН-600.

3. Описание комплекса

Основой комплекса для мониторинга помеховой обстановки является Система мониторинга помех на основе приёмника ESMC фирмы Rohde&Schwarz, которая

используется в штатном режиме для периодического отслеживания электромагнитной обстановки на РАТАН-600.

Измерительная система установлена на верхней точке одного из вторичных зеркал РАТАН-600. Блок-схема комплекса показана на рисунке 2.

Данная система позволяет производить круговое горизонтальное сканирование и построение азимутального распределения источников помех.

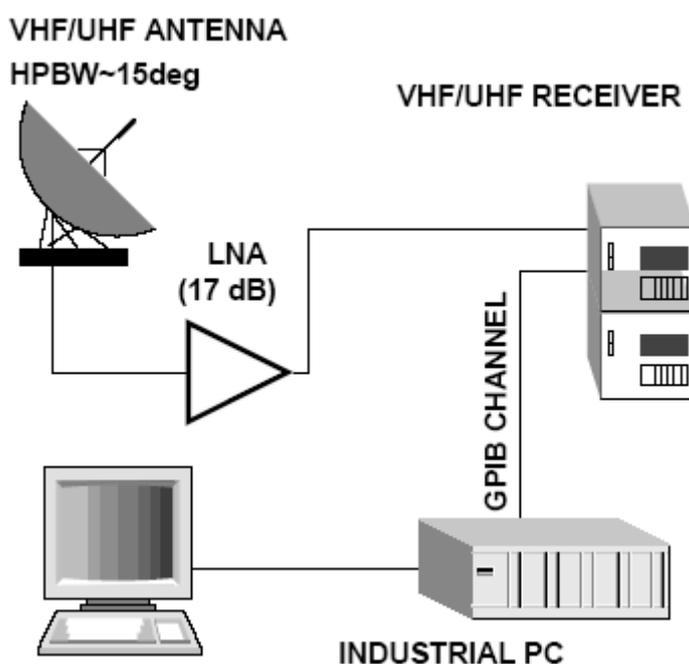


Рисунок 2. Блок-схема системы мониторинга помех на основе приёмника ESMC фирмы Rohde&Schwarz .

Двухметровая параболическая антенна монтируется на крыше кабины (2,5 м над её уровнем) с возможностью вращения по азимуту в горизонтальной плоскости. Далее СВЧ сигнал подаётся на дополнительный широкополосный блок усиления и затем на входы измерительного сканирующего приёмника ESMS диапазона 20-3000МГц фирмы Rohde&Schwarz. Приёмник в свою очередь передаёт информацию в ПК. Приемник полностью охватывает рабочие полосы дециметрового диапазона РАТАН-600. Однако, чувствительность данного приемника в комплекте с двухметровой параболической антенной намного хуже чувствительности современного радиометра РАТАН-600, поэтому, для более прецизионных измерений нами приобретен и установлен дополнительный маломощный усилитель на входе приемника (+17 дБ).

Для возможности записи регистрируемых помех в персональный компьютер (ПК) и получения отчетов по измерениям, нами разработано дополнительное программное

обеспечение, позволяющее управлять режимами измерения и заносить данные в ПК. Система разработана на базе ОС Linux и позволяет производить автоматическое сканирование выбранного диапазона частот, применяя различные виды демодуляции (PULSE, AM, FM, LOG) с требуемым частотным разрешением и временем интегрирования.

В случае, когда чувствительность одного из радиометров ухудшена, но при этом мешающего излучения в соответствующем частотном диапазоне с помощью Системы мониторинга помех на основе приёмника ESMC фирмы Rohde&Schwarz не обнаружено, проводится комплекс мероприятий по мониторингу соответствующего частотного диапазона с помощью системы идентификации помех малой мощности на основе спектроанализатора FSU-46 подключённого к выходным блокам штатных радиометров. Для этого используется система мониторинга помех созданная на РТАН-600 на основе приёмника ESMS и анализатора спектра FSU-46 фирмы Rohde&Schwarz .

Совместное использование обеих систем позволяет оперативно обнаруживать помеху и принимать решения по помехозащите соответствующего диапазона.

4. Система мониторинга помех на основе ESMC

4.1. Параметры приёмника ESMC

ESMC представляет собой радиоприёмник с гетеродированием, имеющий вторую ПЧ 21.4 МГц. Не смотря на компактность своей конструкции, в концепцию работы приёмника не было внесено никаких компромиссных изменений (в сторону упрощения). Для уменьшения нагрузки при приёме сигнала каждый тюнер снабжен следящим фильтром предварительной селекции. Высокоуровневые смесители обеспечивают надёжную интермодуляционную защищённость. Низкий уровень собственного излучения осциллятора приёмника является результатом тщательного фильтрации.

Усовершенствованный синтезатор, имеющий очень низкий фазовый шум, позволяет получить время переключения менее чем 1 мс. Это даёт возможность проводить высокоэффективное сканирование и быстро задавать состояние каналов при работе с управляемым подстроечным устройством. ESMC оснащен демодуляторами, которые обеспечивают следующие режимы работы: AM, ЧМ, импульсный и логарифмический. Приём сигналов с нижней/верхней боковой полосой и излучений класса А1 также возможен.

Логарифмический демодулятор обеспечивает линейную индикацию уровня сигнала в дБ на протяжении более чем 9 декад. Можно выбрать среднее значение или пиковое

взвешенное. Кроме того, абсолютная точность индикации уровня сигнала повышена с учётом АЧХ фильтра предварительной селекции и допустимых отклонений логарифмического усилителя при измерении уровня сигнала.

ESMC может иметь до 5 ПЧ полос пропускания в диапазоне от 500 Гц до 8 МГц. ВЧ-фильтр, согласованный по используемой полосе пропускания и подключаемый фильтр звуковых частот улучшают соотношение сигнал/шум после демодуляции. АРУ (автоматическая регулировка усиления) обеспечивает измерение уровня сигнала в пределах 120 дБ, 90 дБ (используется для ПЧ контроля) и 30 дБ при аттенуаторе на входе тюнера, который может подключаться как автоматически, так и вручную при приёме сильных сигналов. Наличие этого аттенуатора учитывается при индикации уровня сигнала. В случае ручного регулирования усиления (РРУ), усиление ПЧ можно варьировать около значения 90 дБ. Если требуется, то также можно включить ослабление 30 дБ.

Индикация настройки, контролируемая кристаллическим дискриминатором, упрощает процедуру настройки по центру выбранной ПЧ полосы пропускания. В том случае, когда принимаются сигналы с неустойчивой частотой, может использоваться цифровая автоматическая подстройка частоты для перестройки приёмника.

Технические характеристики

Диапазон частот	
Основной блок (с тюнером 1)	20.....650 МГц
Тюнер 2	650.....1300 МГц (дополнительный)
Тюнер 0	0.5.....30 МГц (дополнительный)
Настройка частоты	1 кГц, 100 Гц, 10 Гц, 1 Гц
Погрешность частоты	$<2 \times 10^{-6}$ (-10 до +55° C)
Фазовый шум осциллятора	< -110 dBc (10 кГц)
для тюнера 0	< -138 dBc (10 кГц)
Время настройки синтезатора	< 1 мс
Антенный вход	соединитель с сопротивлением 50 Ом, КСВН < 2.5 , защищен от перегрузок
Собственное излучение осциллятора	< -107 dBm
Тюнер 0	< -127 dBm
Входная избирательность	Настроенные фильтры
Тюнер 0	четыре переключаемых полосовых фильтра
Помехоустойчивость, нелинейности	

Подавление радиопомех от зеркального канала	тип. 110dB, >90dB
Подавление радиопомех на ПЧ	тип. 110dB, >90 dB
IP 2	тип. 50 dBm, >40 dBm
Тюнер 0	тип. 70 dBm > 55 dBm
IP3	тип. 11 dBm > 8 dBm
Тюнер 2	тип. 9 dBm >6dBm
Тюнер 0	тип. 35 dBm > 28 dBm
Паразитное излучение	>-107dBm
Тюнер 0	>-113 dBm
Чувствительность	
Общая шумовая картина	<13.5 dB, тип. 10 dB(20....650 МГц) <14.5 dB, тип. 11 dB (650....1300 МГц)

Соотношение (сигнал+шум)/ шум - измерение, использующее телефонный фильтр согласно МККР

АМ, ширина полосы пропускания = 8 кГц,

$f_{\text{мод}}=1$ кГц, $\tau=0.5$

20....650 МГц (тюнер 1)

$V_{\text{вх}}=-107$ дБ относительно уровня 1 мВт(1 мкВ) >10 дБ

650...1300 МГц (тюнер 2),

$V_{\text{вх}}=-103.5$ дБ относительно уровня 1 мВт (1.5 мкВ) > 10дБ

$V_{\text{вх}}=-47$ дБ относительно уровня 1 мВт (1 мВ) > 47 дБ

ЧМ, ширина полосы пропускания = 15 кГц

$f_{\text{мод}}=1$ кГц, отклонение 5 кГц

20...650 МГц (тюнер 1),

$V_{\text{вх}}=-107$ дБ относительно уровня 1 мВт(1 мкВ)> 25 дБ

650....1300 МГц (ТЮНЕР2),

$V_{\text{вх}}=-103.5$ дБ относительно уровня 1 мВт (1.5 мкВ) > 25 дБ

$V_{\text{вх}}=-47$ дБ относительно уровня 1 мВт (1 мВ) >70 дБ

ВБП/НБП, ширина полосы пропускания = 2.5 кГц, $f=1$ кГц

20....650 МГц(тюнер 1),

$V_{\text{вх}}=-117$ дБ относительно уровня 1 мВт (0.3 мкВ) > 10 дБ

$V_{вх} = -47$ дБ относительно уровня 1 мВт (1 мВ) > 50 дБ

Тюнер 0, соотношение (сигнал+шум)/ шум

НБП/ВБП, ПЧ полоса пропускания 500 Гц, $f = 500$ Гц

0.5...20 МГц, $V_{вх} = 0.4$ мкВ > 10 дБ

20...30 МГц, $V_{вх} = 0.5$ мкВ > 10 дБ

НБП/ВБП, ПЧ полоса пропускания 2.5 кГц, $f = 1$ кГц

0.5...20 МГц, $V_{вх} = 0.6$ мкВ > 10 дБ

20...30 МГц, $V_{вх} = 0.7$ мкВ > 10 дБ

$V_{вх} = 100$ мкВ > 46 дБ

АМ, ПЧ полоса пропускания 2.5 кГц,

$f_{мод} = 1$ кГц, $m = 0.5$

0.5...20 МГц, $V_{вх} = 1$ мкВ > 10 дБ

20...30 МГц, $V_{вх} = 1.2$ мкВ > 10 дБ

Поведение большого сигнала для тюнера 0

Перекрестная модуляция помеха 2.5 В (+21 дБ относительно уровня 1 мВт)

$f > 30$ кГц; $m = 0.3$; $f = 1$ кГц,

Уровень сигнала 5 мВ (-33 дБ относительно уровня 1 мВт) передача модуляции $< 10\%$

Блокирование

помеха 3.15 В (+23 дБ относительно уровня 1 мВт),

$f > 30$ кГц,

Уровень сигнала 500 мкВ (-53 дБ относительно уровня 1 мВт), $m = 0.3$, $f = 1$ кГц

ослабление сигнала < 1 дБ

Десенсибилизация

помеха 150 мкВ (-3.5 дБ относительно уровня 1 мВт),

$f > 30$ кГц,

уровень сигнала 15 мкВ (-83.5 дБ относительно уровня 1 мВт), ширина полосы

пропускания 2.5 кГц

SINAD > 20 дБ

Демодуляция АМ, ЧМ, ЛОГ, ИМП; ОБП и непрерывное излучение-дополнительно

Схема бесшумной настройки	управляемая сигналом, регулируемая -10...дБ мкВ (макс. 110 дБ мкВ, 120 дБ мкВ с тюнером 0)		
Диапазон АРУ	90 дБ; 1 мкВ. ..10 мВ дает < 4 дБ- разницу на уровне звуковой частоты		
РЧ аттенуатор	30 дБ (40 дБ с тюнером 0) устанавливаемое или управляемое сигналом		
Скорость АРУ для 90 дБ-диапазона		Действие	Задержка
	АМ/П=15кГц	<15мс	15 мс
	ИМП/П=100кГц	<0.1мс	3с, соот.3
	ОБП/П=2кГц	<1мс	дБ/100мс
Диапазон РРУ (ручная регулировка усиления)	90 дБ		
ВРУ (внешняя регулировка усиления) аналоговым напряжением)	90 дБ		

COR	
Задержка	регулируемая 1... 10 с
Действие	< 25 мс
АРУ	цифровая настройка для сигналов с неустойчивой частотой
Индикация сдвига	графическая с использованием маркеров настройки, цифровая с шагом 50 Гц (полоса пропускания < 100 кГц)
Индикация уровня сигнала	графическая в виде линии уровня или цифровая от-10 до 80 дБ мкВ (110 дБ мкВ) с тюнером 0 120дБмкВ
Разрешение	графическое 1дБ, цифровое 1 дБ
Автоматическое сканирование памяти	1000 ячеек памяти, каждая ячейка может содержать полный набор принимаемых данных.
Частотное сканирование	пять заданных интервалов сканирования с начальной/конечной частотой (5 заданий)
Аналоговая развёртка (дополнительно)	полный диапазон приёма (макс 650 МГц) или любая расширительная секция
Частотный маркер	добавлен для настройки приёмника
Время развёртки	приблизительно 47 мс
Разрешающий фильтр	ПЧ фильтры приёмника
Встроенное тестирование	
Постоянная проверка	контроль модулей, результаты тестовых испытаний могут выводиться на дисплей, сигнализация неисправности с указанием её характера
Проверка контура	запускается с пульта управления, автоматически проверяется весь блок приёма сигнала, включая 34 блок

Представление данных в реальном масштабе времени на спектральном дисплее EPZ

513 (внешний блок)

ПЧ ± 3.5 МГц, ± 1 МГц, ± 100 кГц или масштабирование

РЧ весь диапазон приёма (макс. 650 МГц) или любая расширительная секция

Входы и выходы

ПЧ 21.4 МГц, управляемый выход	500 Гц...8 МГц (зависит от выбранной полосы пропускания), 50 Ом, -10 дБ относительно уровня 1 мВт, миниатюрный байонетный разъём.
ПЧ 21.4 МГц, неуправляемый выход	500 Гц...8 МГц (зависит от выбранной полосы пропускания), 50 Ом, $V_{bx} + 12$ дБ относительно уровня 1 мВт, миниатюрный байонетный разъём.
21.4 МГц, широкополосный вход	± 4 МГц неуправляемая, 50 Ом, $v_{bx} + 9$ дБ, миниатюрный байонетный разъём, для внешнего спектрального дисплея
Видеовыход, АМ/ЧМ/ЛОГ	1/2 П4 полосы пропускания, связь по постоянному току, 50 Ом, 2 Vpp, для ЛОГ 1V, миниатюрный байонетный разъём
ЗЧ выход, сбалансированный	600 Ом, 0 дБ относительно уровня 1 мВт
ЗЧ выход, отфильтрованный, несбалансированный	0.3...3.4 кГц, фиксированный, сред. 1 В
ЗЧ, несбалансированный	средн. 1 В
ЗЧ выход громкоговорителя (ЗЧ фильтр 0.3...3.4 кГц можно подключить к любому ЗЧ выходу)	4 Ом, 500 мВт
Выход, логарифмический уровень сигнала	0...+5В, $Z_{вых} = 1$ кОм
Выход, сдвиг канала	-5...+5В, $Z_{вых} = 1$ кОм
Вход, внеш. напряжения РРУ	0...2В, $Z_{ax} = 10$ кОм
Выход, 1 гетеродин	50 Ом, SMA, -10 дБ относительно уровня 1 мВт
Выход, 2 гетеродин	50 Ом, SMA, -15 дБ относительно уровня 1 мВт
Двухсторонний разъём для опорной частоты	10 МГц, миниатюрный байонетный разъём вход: 0.1...2В, $Z_{вх} = 500$ Ом выход: 3 дБ относительно уровня 1 мВт, $Z_{вых} = 50$ Ом
Специальные выходы	бесшумная настройка, экст. остановка сканирования и т. д.
Выход для управления антенным селектором	VCD, TTL-уровень (для частотной информации)
Интерфейсы	1EC 652-2 (IEEE 488) (стандартный) или RS-232-C/ RS-422/ RS-485 (дополнительный)

Общие технические данные

Пределы рабочих температур	-10.....+55° С
Номинальный температурный диапазон	0.....+50° С
Температурный диапазон для хранения на складе	-40....+70° С
Влажность модель 02/03	согласно МЭК 68-2-30, макс. 95%, периодическая проверка 25/55° С
модель 22/23	макс. 80%, периодическая проверка 25/40° С
Ударная нагрузка (прочность на удар)	согласно МЭК 68-2-27 (MIL-STD 810D, MILT 288 00D), ударный спектр 40 г
Вибрации (синусоидальные)	согласно МЭК 68-2-6 (MILT 288 00D), 5....55 Гц, амплитуда 0.15 мм
Вибрации (шумы)	согласно МЭК 68-2-36, 10...500 Гц, сред. 1.9 г
ЭМС	согласно VDE 0875 (этап подавления радиопомехи), vde 0871, MIL-STD461- CE03, MIL-STD 461-RE 02
Питание сетевое	100/120/230/240 В,-12%; +10%, 47....440 Гц, защита от перегрузок согласно VDE 160
от источника постоянного тока	10....32 В, защита при изменении полярности
Потребляемая мощность	
сетевое питание	<100 ВА
источник постоянного тока	<75Вт
Габариты (ШхВхГ)	219ммх147ммх460мм (1/2 19", 3 габаритных единицы)
Масса	
модель 02/03	11.5кг
модель 22/23	12кг

4.2 Порядок работы с системой мониторинга на основе ESMC

Соединить блоки приёмника ESMC в соответствии с руководством пользования завода производителя(4030.2088.14-06-1 VNF-UNF COMPACT RECEIVER ESMC, Operating Manual) и подключить к питающей сети. Входы каждого блока ESMC подключить к разъёмам «Выход 1» и «Выход 2» блока предварительного усиления,

разработанного Лабораторией Радиометров Континуума САО РАН. К разъему «Вход», блока предварительного усиления, подключить двухметровую параболическую антенну.

Управление системой производится через GPIB интерфейс приёмника *esmc* подключенного к специализированному Персональному компьютеру. К компьютеру по сети Ethernet осуществляется доступ с любого компьютера локальной сети САО РАН с установленной операционной системой Linux. После включения компьютера и загрузки операционной системы Linux, системный администратор настраивает GPIB интерфейс с помощью команды:

gplib_config

В локальной сети САО РАН компьютер зарегистрирован как **signal.sao.ru** и имеет **IP адрес:**

192.168.1.144

Для работы с системой зарегистрирован

пользователь: **esmc;**

пароль: **123456.**

Запуск программы производится через стандартный терминал операционной системы Linux командой следующего вида:

esmc {начальная частота(МГц)} {конечная частота(МГц)} {шаг(кГц)}

Результат попадает на экран, для дальнейшей работы перенаправляем в файл. Программа запускается в любом домашнем каталоге пользователя *esmc*.

Для примера если необходимо узнать состояние помеховой ситуации на диапазоне 400МГц-600МГц, с шагом перестройки гетеродина 50кГц необходимо выполнить команду:

esmc 400 600 50 >rezultat

В результате сформируется файл с названием «***rezultat***», состоящий из 3-х колонок:

1. Порядковый номер измерения.
2. Частота.
3. Измеренное значение на данной частоте.

Для наглядного представления лучше всего подходит стандартная программа *gnuplot* из пакета ОС Linux (так же можно воспользоваться Origin). Запускаем *gnuplot* и набираем команду:

plot 'rezultat' u 2:3 w l

В результате получим график зависимости частоты от амплитуды. Выполняя сканирование на разных высотах и направлениях получаем наглядную картину помеховой обстановки.

5. Система идентификации помех малой мощности на основе FSU-46 подключённого к выходным блокам штатных радиометров

5.1 Параметры спектроанализатора FSU-46

Диапазон частот:

FSU46: от 20 Гц до 46 ГГц

ВЧ-характеристики:

Средний уровень собственных шумов (DANL): тип. значение -158 дБмВт (1 Гц) без использования предусилителя

Фазовый шум SSB: типичное значение - 133 дБн (1 Гц) при отстройке 10 кГц от центральной частоты 640 МГц

Фазовый шум: тип. значение -160 дБн/Гц при отстройке 10 МГц от центральной частоты 640 МГц

Точка пересечения по интермодуляционным составляющим 3-го порядка (TOI): тип. значение +25 дБмВт

Точка компрессии на 1 дБ: тип. значение 13 дБмВт

Динамический диапазон при измерении коэффициента утечки мощности в соседний канал сигнала WCDMA: 77,5 дБ / 84 дБ с коррекцией шума

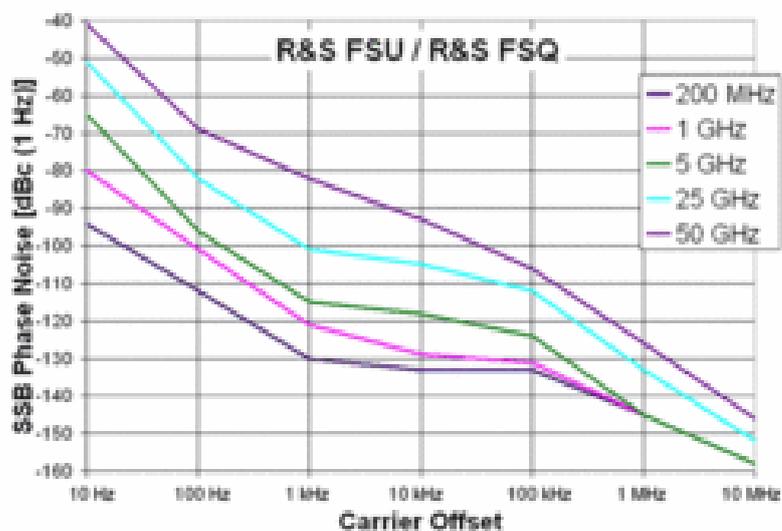


Рисунок 3. Фазовый шум SSB

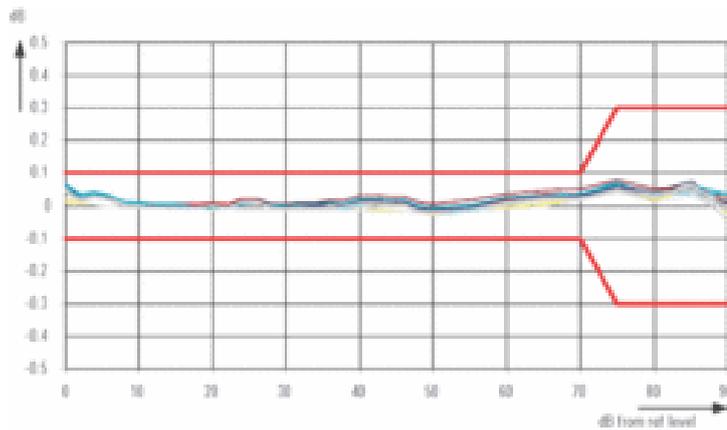


Рисунок 4. Нелинейность отображения при полосе разрешения до 100 кГц (измерение по 30 приборам)

Погрешность измерения:

Суммарная погрешность измерения уровня: 0,3 дБ на частотах до 3,6 ГГц

Погрешность вследствие нелинейности: менее 0,1 дБ до уровня -70 дБ

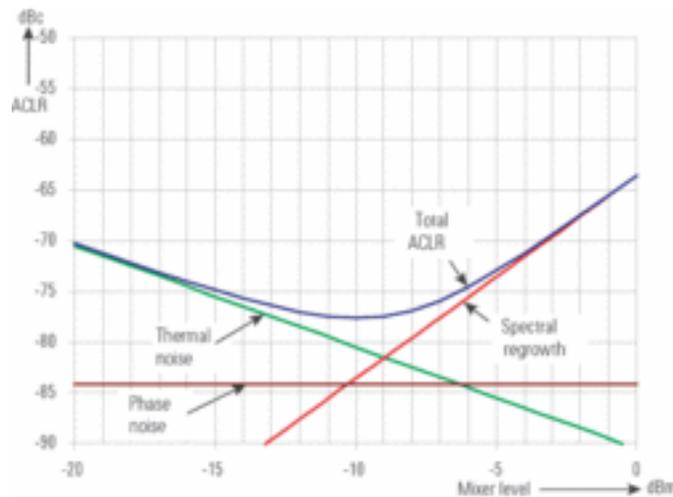


Рисунок 5. Динамический диапазон для измерения мощности в соседнем канале сигнала WCDMA без коррекции шума

Преобразователь IQ с понижением частоты:

ПЧ-дискретизатор с разрешением 14 бит и частотой дискретизации 32 МГц (ПЧ 20,4 МГц)

Память IQ на 2x512 тыс. отсчетов

Быстродействие:

Время развертки в частотной области 2,5 мс

Время развертки во временной области 1 мкс

До 70 измерений в секунду (включая передачу измерительной кривой по шине GPIB)

5.2. Порядок работы с системой на основе FSU-46

Подключение и управление спектроанализатором FSU-46 производится в соответствии с руководством по эксплуатации фирмы производителя.

Сначала спектроанализатор FSU-46 подключается напрямую к выходу радиометров (перед детектором). Схема такого подключения продемонстрирована на рис.2. При этом на вход приёмника подаётся сначала шумы нагрузки (т.е. измерение проводится без антенны РАТАН-600 и первичного облучателя), а затем к входу приемника подключается антенна РАТАН-600, как в штатном режиме наблюдений). Это даёт возможность однозначно исключить внутренние неполадки в радиометре и идентифицировать мешающий сигнал как внешнюю помеху.

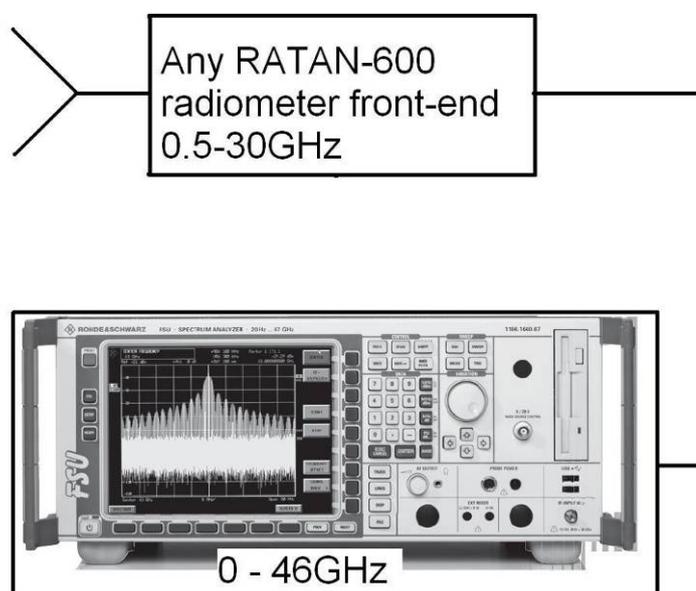


Рисунок 6. Схема подключения анализатора спектра FSU-46 к штатным радиометрам приемного комплекса РАТАН-600

Затем проводятся измерения без нагрузок с установленным облучателем в фокусе радиотелескопа РАТАН-600, что позволяет оценить электромагнитную обстановку всего прилегающего диапазона частот.

Система идентификации помех малой мощности на основе FSU-46 подключённого к выходным блокам штатных радиометров позволяет измерить все мешающие сигналы, которые непосредственно поступают на входы радиометров в реальных наблюдениях, но при этом нельзя определить направления излучения помех. Так же необходимо отметить, что при сканировании, таким образом, необходимо прерывать штатные наблюдения на радиотелескопе, что так же является ограничением в применении системы.

Литература

1. CRAF Handbook for Radio Astronomy, Third edition-2005
2. Interference-Mitigation Measures at RATAN-600 Radio Telescope, ISSN 1990-3413, Astrophysics Bulletin, 2007, Vol. 62, No. 2, pp. 193-201. © Pleiades Publishing, Ltd., 2007, Original Russian Text © P.G.Tsybulev, A.B.Berlin, N.A.Nizhel'skij, M-GMingaliev, D.V.Kmtov, 2007, published in Astrofizicheskij Byulleten, 2007, Vol. 62, No. 2, pp. 208-217.
3. Berlin A.B., Bulaenko E.V., Fridman P., RFI suppression device for RATAN-600 radiometer at 13cm, Problems of modern radioastronomy, v.3, 158-159 (1997), in Russian
4. Fridman P., Change Point Detection Method for Elimination of Industrial Interference in Radio Astronomy Receivers (1996), Proc. Of 8th IEEE Signal Processing Workshop on Statistical Signal and Array Processing, June 24-26, 1996, Corfu, Greece, 264-266
5. 4030.2088.14-06-1 VNF-UNF COMPACT RECEIVER ESMC, Operating Manual
6. PD 0758.0016.28 Анализатор спектра R&S FSU Техническое описание.

СПРАВКА

о числе публикаций, содержащих результаты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения проекта по государственному контракту № 02.518.11.7167 от «08» июня 2009 г.

Период – этап №4 календарного плана (01 июня 2010г. по 30 ноября 2010г.)

	Автор		Наименование публикации		Наименование ведущего научного журнала (издания) опубликовавшего работу	Страна	Дата выхода	Краткое описание связи содержания публикации с результатами работ по проекту
	Ф.И.О.	Должность и место работы	на русском языке	На языке оригинала (для публикаций на иностранном языке)				
1.	Семенова Т.А.	САО РАН, нс	О требованиях к методам "просветления" атмосферы при наземных радиоастрономических наблюдениях фоновых радиоизлучений Вселенной	The requirements toward the methods of "clearing" the atmosphere in ground-based radio-astronomical observations of background emissions of the atmosphere	Астрофизический бюллетень, САО РАН	Россия	2009г.	В работе проведены исследования на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» для развития методов оценки состояния земной атмосферы (наблюдения, оценка и методы чистки атмосферного фона).
	Парийский Ю.Н.	САО РАН, гл.н.с.						
	Цыбулев П.Г.	САО РАН, снс						
2.	Богод В.М.	СПбФ Зав.отд.	О сопоставлении радиоастрономических измерений высотной структуры магнитного поля с данными модельных приближений.	On the comparison of radio-astronomical measurements of the height structure of magnetic field with results of model approximations	Астрофизический бюллетень, САО РАН	Россия	2009	Используются выполненные на радиотелескопе РАТАН-600 многоволновые наблюдения поляризованного излучения активных областей в микроволновом диапазоне для оценки методов прогнозирования воздействий Солнечной активности.
	Яснов Л.В.	СПГУ, зав.лаб.						
3.	Мингалиев М.Г.	САО РАН, Зам.директ.	Исследование спектральных характеристик и переменности		Астрономический журнал	Россия	2009	Представлены результаты данных, накопленные на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600». Обработка данных проведена
	Сотникова Ю.В.	САО РАН, нс						

	Кардашев Н.С.	АКЦ ФИАН, директор	радиоисточников вблизи северного полюса мира					с учетом методов оценки состояния земной атмосферы.
	Ларионов М.Г.	АКЦ ФИАН Зам.директ.						
4.	Сотникова Ю.В.	САО РАН, нс	Наблюдения быстрой переменности двух объектов типа BL Lac J2005+77 и J2022+76 на РАТАН-600	Observations of the rapid variability of the two BL Lac type objects J2022+76 with the RATANs-600 radio telescope	Астрофизический бюллетень, САО РАН	Россия	2009	Обработка данных проведена с учетом методов оценки состояния земной атмосферы для ее качественного развития.
	Ларионов М.Г.	АКЦ ФИАН, Зам.директ.						
	Мингалиев М.Г.	САО РАН, Зам.директ.						
5.	Семенова Т.А.	САО РАН нс	Синхротронное излучение Галактики по данным RZF-обзора на РАТАН-600	Galactic synchrotron emission according to the data of the RZF survey conducted at the RATAN-600 radio telescope	Астрофизический бюллетень, САО РАН	Россия	2009	Представлены результаты накопленных данных на РАТАН-600 для развития методов оценки состояния земной атмосферы и межзвездной среды.
	Бурсов Н.Н.	САО РАН, снс						
	Парийский Ю.Н.	САО РАН, гл.н.с.						
6.	Афанасьев В.Л.	САО РАН, гл.н.с.	Оптические отождествления и спектры радиоисточников.		Астрономический журнал	Россия	2009	Использованы данные, полученные на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» для выявления характеристик радиоисточников с учетом состояния земной атмосферы и подавления помех.
	Додонов С.Н.	САО РАН, Зав.лаб.						
	Моисеев А.В.	САО РАН, снс						
	Горшков А.Г.	ГАИШ, снс						
	Конникова В.К.	ГАИШ снс						
	Мингалиев М.Г.	САО РАН, Зам.директ.						
7.	Tornikoski, M.	Metsäahovi Radio Observatory директор		Long-term radio behaviour of GPS sources and candidates.	Astron. Nachr.	Германия	2009	Использованы данные, полученные на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» с учетом состояния земной атмосферы и методов подавления помех
	Torniainen I.	Metsäahovi Radio Observatory научн. сотр.						
	Lahteenmaki A.	Metsäahovi Radio Observatory научн. сотр.						

	Hovatta T.	Mets'ahovi Radio Observatory научн. сотр.						
	Nieppola E.	Mets'ahovi Radio Observatory научн. сотр.						
	Lainela M. M.	Tuorla Observatory научн. сотр.						
	Valtaoja E.	Tuorla Observatory научн. сотр.						
	Aller M.F.	University of Michigan Department of Astronomy научн. сотр.						
	Aller H.D.	University of Michigan Department of Astronomy научн. сотр.						
	Mingaliev M.	САО РАН, зам. директ.						
	Trushkin S.	САО РАН, Зав.лаб.						
8.	Bogod V.M.	СПб Ф, Зав.отделом		Polarization of Microwave Radio Emission of Flare-Producing Solar Active Regions	Solar Physics	Германия	2009	Использовались данные УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» для оценки методов прогнозирования воздействий Солнечной активности.
	Yasnov L.V.	СПб гос. унив., Зав.лаб.						
9.	Grigoryeva I. Y.	ГАО РАН, нс		Post-Eruptive Arcade Formation in the 25 January 2007 CME/Flare Limb Event: Microwave Observations with the RATAN-600 Radio Telescope	Solar Physics	Германия	2009	Использовались наблюдательные данные на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» для оценки методов прогнозирования воздействий Солнечной активности.
	Borovik V. N.	ГАО РАН, Вед.н.с.						
	Livshits M. A.	Инст. земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.						

		Н.В. Пушкова РАН, проф.						
	Abramov- Maximov, V. E.	ГАО РАН, нс						
	Opeikina L. V.	САО РАН, нс						
	Bogod V. M.	СПб Ф, Зав.отделом						
	Korzhavin A. N.	СПбФ, Вед.н.с.						
10.	Kratov D.V.	САО РАН, мнс		Techniques for excision RFI on RATAN-600 radio telescope in dm ranges	Proceedings of Science (RFI2010) 022 http://pos.sissa.it/archive/ conferences/107/022/ RFI2010_022.pdf	Россия	2010	В работе проведены исследования на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» для опытного внедрения в эксплуатацию систем мониторинга и подавления помех
	Berlin A.B.	СПб Ф, вед.н.с.						
	Nizhelskij N.A.	САО РАН, Зав.лаб.						
	Tsybulev P.G.	САО РАН, снс						
	Mingaliev M. G.	САО РАН, зам. директ.						
	Udovitskiy R. Y.	САО РАН, мнс						
11.	Mingaliev M.G.	САО РАН, зам. директ.		"Oktave" - Superwide- Band Technologies for the RATAN-600 Continuum Radiometers.	Proceedings of Science (RFI2010) 018 http://pos.sissa.it/archive/ conferences/107/018/ RFI2010_018.pdf	Россия	2010	Проведена разработка нового приемного устройства с учетом методов борьбы с помехами для качественного их подавления в радиодиапазоне.
	Berlin A.B.	СПб Ф, вед.н.с.						
	Nizhelskij N.A.	САО РАН, Зав.лаб.						
	Tsybulev P.G.	САО РАН, снс						
	Kratov D.V.	САО РАН, мнс						
	Udovitskiy R. Y.	САО РАН, мнс						
12.	Gorshkov A. G.	ГАИШ, снс	Переменность плотности потока радиоисточников с характерными временами меньше месяца.		Астрономический журнал	Россия	2010	Использованы накопленные данные на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» с учетом систем мониторинга помех и воздействия земной
	Konnikova V.K.,	ГАИШ, снс						
	Mingaliev M.G.	САО РАН,						

	Erkenov A.K.	Зам.директ. САО РАН, мнс						атмосферы.
13.	Gorshkov A.G.	ГАИШ, снс	Спектр переменной составляющей радиоисточника J0157+7442.		Астрономический журнал	Россия	2010	Использованы накопленные данные на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» с учетом систем мониторинга помех и воздействия земной атмосферы.
	Konnikova V.K.	ГАИШ, снс						
	Mingaliev M.G.	САО РАН, Зам.директ.						
	Erkenov A.K.	САО РАН, мнс						
14.	Мингалиев Ш.М.	САО РАН, мнс	UNIVIEWER-утилита для быстрой интерактивной 3D визуализации карт реликтового излучения в пикселизации HEALPix.	UNIVIEWER utility for fast interactive 3D visualization of CMB maps in HEALPIX pixelization.	Астрофизический Бюллетень, САО РАН	Россия	2010	Описывается утилита Unviewer , предназначенная для визуализации небесных карт в пикселизации <i>HEALPix</i> с учетом анализа методик защиты в зависимости от категории помех.
	Столяров В.А.	САО РАН, снс						
15.	Мингалиев М.Г.	САО РАН, Зам.директ.	Кандидаты в GPS- источники в приполярной области северного неба		Астрономический журнал	Россия	2011г.	Представлены результаты обработки данных, полученных на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» с учетом систем мониторинга помех и воздействия земной атмосферы.
	Сотникова Ю.В.	САО РАН, нс						
	Ларионов М.Г.	АКЦ ФИАН Зам.директ.						
	Эркенов А.К.	САО РАН мнс						

Руководитель проекта

М.Г. Мингалиев

мп

09 ноября 2010 г.

СПРАВКА
о количестве дипломных работ, подготовленных по результатам исследований
с использованием научного оборудования сети центров
в рамках государственного контракта
№ 02.518.11.7167 от «8» июня 2009 г.

Период – этап №4 календарного плана (01 июня 2010г. по 30 ноября 2010г.)

№	Дипломник		Наименование дипломной работы	Наименование и шифр получаемой специальности	Дата защиты работы	Краткое описание связи работы с результатами работ по проекту и использованием научного оборудования
	Ф.И.О.	Наименование учебного заведения				
1.	Зиятдинова А.А.	Казанский Приволжский Федеральный Университет	Возможности наземной радиоастрономии в изучении физических свойств поверхности Луны на РАТАН - 600	радиофизика и электроника диплом ВСГ4112921	19 июля 2010г.	Использовались накопленные данные на УСУ радиотелескопа РАТАН-600 с учетом методов оценки состояния земной атмосферы и помех в радиодиапазоне.
2.	Накиско И.В.	Южный федеральный университет.	Исследование переменности двух внегалактических радиоисточников типа BL Lac 0235+16 и 2253+16 в радиодиапазоне	010400 физик диплом ВСА 1047495	15 июня 2010г.	Использовались накопленные данные на УСУ радиотелескопа РАТАН-600. Обработка данных проведена с использованием программ, разработанных на РАТАН-600 и учетом возможности развития методов оценки состояния земной атмосферы.

Руководитель проекта

М.Г. Мингалиев

МП

09 ноября 2010 г.

СПРАВКА
о числе диссертационных работ
на соискание ученых степеней, защищенных в рамках выполнения проектов (подготовленных по результатам исследований с использованием научного оборудования сети центров) по государственному контракту № 02.518.11.7167 от «8» июня 2009 г.

Период – этап №4 календарного плана (с 01 июня 2010г. по 30 ноября 2010г.)

	Автор диссертационной работы		Наименование диссертационной работы	Наименование и шифр научной специальности	Номер диссертационного совета	Дата защиты	Решение диссертационного совета	Краткое описание связи содержания работы с результатами работ по проекту
	Ф.И.О.	Место работы, должность						
Диссертации на соискание ученой степени кандидата наук								
1.	Семенова Т.А.	САО РАН, нс	Исследование некоторых фоновых составляющих радиоизлучения Вселенной в наземных наблюдениях реликтового фона	01.03.02-«Астрофизика и радиоастрономия»	Д 002.203.01	21 октября 2009г.	протокол №58	В работе проведены исследования на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600» для развития методов оценки состояния земной атмосферы (наблюдения, оценка и методы чистки атмосферного фона).
2.	Сотникова Ю.В.	САО РАН, нс	Исследование полной выборки внегалактических радиоисточников вблизи северного полюса Мира на РАТАН-600	01.03.02-«Астрофизика и радиоастрономия»	Д 002.203.01	21 октября 2009г.	протокол №59	Результаты данной работы получены на УСУ «радиотелескоп РАТАН-600». Обработка данных проведена с использованием программ, разработанных на РАТАН-600 для развития методов оценки состояния земной атмосферы.

Руководитель проекта

М.Г. Мингалиев

мп

09 ноября 2010 г.