

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Федеральное государственное бюджетное учреждение
Специальная астрофизическая обсерватория РАН

УДК 520; 523.3; 523.9; 524
№ госрегистрации 01201169406
Инвентарный № 17/12

УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН

член-корр. РАН Балега Ю.Ю.



« ____ » ноября 2012 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

«Исследования на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» по развитию методики мониторинга электромагнитной экологической обстановки»

Шифр 2011-1.8-518-005-186

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ

(государственный контракт № 16.518.11.7062 от 12 мая 2011 г.)

Руководитель работ,

заместитель директора САО РАН

М.Г. Мингалиев

Нижний Архыз

2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, д.ф.-м.н. Основные исполнители темы:	М.Г. Мингалиев (введение, заключение, разделы 2, 4, 5)
Зав филиалом, д.ф.-м.н.	В.М. Богод (разделы 1, 2, 3, 4)
Старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.	Н.Н. Бурсов (разделы 2, 4)
Ведущий инженер	В.И. Жаров (разделы 4, 5)
Старший инженер	П.Г. Жеканис (раздел 4)
Младший научный сотрудник	Д.В. Кратов (разделы 1, 3, 4)
Старший инженер	Е.А. Матвиенко (разделы 2, 4)
Аспирант	Т.В. Муфзахаров (разделы 2, 4)
Заведующий лабораторией к.ф.-м.н.	Н.А. Нижельский (разделы 1, 4, 5)
Рук. СЭК РАТАН-600	П.В. Призов (разделы 2, 4, 5)
Научный сотрудник, к.ф.-м.н.	Т.А. Семенова (разделы 2, 4)
Научный сотрудник, к.ф.-м.н.	Ю.В. Сотникова (разделы 2, 4)
Техник	Ф.В. Темирова (раздел 4)
Старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.	С.Х. Тохчукова (разделы 1, 2, 3)
Заведующий лабораторией д.ф.-м.н.	С.А. Трушкин (разделы 2, 4)
Младший научный сотрудник	Р.Ю. Удовицкий (разделы 1, 4, 5)
Старший инженер	А.А. Хапаев (разделы 2, 4)
Старший научный сотрудник	П.Г. Цыбулев (разделы 1, 4, 5)
Старший лаборант	Н.С. Черепкова (разделы 2, 4)
Младший научный сотрудник	А.К. Эркенов (разделы 2, 4)
Нормоконтролер	Ш.А. Узденова

Реферат

Отчет 77 с., 32 рис., 1 табл., 69 источников, 4 прил.

АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, РАДИОТЕЛЕСКОПЫ, МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ, МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ «ЗАГРЯЗНЕНИЕМ», ГАЛАКТИКИ, КВАЗАРЫ, СОЛНЦЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Цель работы – подготовка и 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:

Проведен аналитический обзор и анализ современной научной литературы и обоснование разработки новых методик; разработаны новые методики наблюдений на УСУ; завершены испытания и внедрение в эксплуатацию новых методик наблюдений на УСУ. Разработаны соответствующие руководства пользователей по использованию этих методик.

Разработана Программа развития УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600».

Проведены патентные исследования.

Проведены наблюдения и обработка данных для получения новой информации в исследовании Вселенной (Солнца, галактических и внегалактических объектов, эффекта Сюняева-Зельдовича, поиск флуктуаций микроволнового фонового излучения).

Обеспечено проведение исследований для сторонних организаций на УСУ РАТАН-600 в соответствии с расписанием (Приложения В и Г, <http://www.sao.ru/ratan/schedule/2012/half1>, <http://www.sao.ru/ratan/schedule/2012/half2>).

Приведены данные об оказанных услугах коллективного пользования.

Проведены мероприятия по дооснащению УСУ.

По результатам исследований на радиотелескопе РАТАН-600 подготовлены и опубликованы научные статьи в ведущих реферируемых российских и зарубежных изданиях, представлены доклады на конференциях.

Проведена модернизация приемно-измерительных комплексов Облучателей 1 и 2 (внедрение новой системы сбора и регистрации данных, новый трехчастотный комплекс, новые схемные решения радиометров)

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 методик наблюдений и разрабатываемой аппаратуры позволяет повысить чувствительность, временное разрешение и сократить время для накопления сигнала от слабых объектов.

Представленные в Отчете 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.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		6
1	Завершение испытаний новых методик наблюдений на УСУ.	8
2	Проведение наблюдений, обработка данных.	21
3	Разработка руководства пользователя по прогнозу солнечной активности.	54
4	Разработка руководства пользователя по мониторингу электромагнитного «загрязнения».	55
5	Обеспечение проведения исследований для сторонних организаций с использованием УСУ.	56
6	Обобщение, оценка и разработка рекомендаций об использовании полученных результатов.	60
7	Проведение мероприятий по дооснащению УСУ.	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		72
Список использованной литературы		74
Приложение А. Руководство пользователя по прогнозу солнечной активности		
Приложение Б. Руководство пользователя по мониторингу электромагнитного «загрязнения»		
Приложение В. Расписание наблюдений на УСУ РАТАН-600 в 2012 году (1-ое полугодие).		
Приложение Г. Расписание наблюдений на УСУ РАТАН-600 в 2012 году (2-ое полугодие).		

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.

РАТАН-600 до сих пор является крупнейшим по диаметру в мире рефлекторным зеркалом и основным в России радиотелескопом, работающим в центральном «окне прозрачности» Земной атмосферы в диапазоне длин волн 1-50 см. Радиотелескоп РАТАН-600 изначально создавался как инструмент общего пользования, а наблюдательное время распределяется Программным комитетом (КТБТ – Комитет по Тематике Больших Телескопов при Отделении физических наук РАН), в состав которого входят ведущие астрономы России и стран СНГ. В настоящее время CAO РАН является единственным наземным центром астрономических наблюдений в стране и де-факто обеспечивает задачи коллективного доступа к ресурсам уникальных научных инструментов. Ежегодно на радиотелескопе РАТАН-600 выполняются наблюдения по 20-25 заявкам ученых России, стран СНГ, дальнего зарубежья. Пользовательский спрос на телескопы CAO непрерывно растет – в среднем конкурс по заявкам на РАТАН-600 равен 2.5:1. Половина наблюдательного времени на телескопах выделяется для ученых из разных институтов России, до 20% времени предназначается для зарубежных астрономов. Остающаяся часть времени используется астрономами CAO РАН.

Цель работы, проводимой по контракту - обеспечение деятельности радиотелескопа телескопа РАТАН-600, внесенного в реестр уникальных установок России под № 01-44, включающее в себя как непосредственное проведение астрофизических исследований по научным программам, утверждаемым национальным программным комитетом, так и обеспечение текущего ремонта узлов и систем телескопа, развитие приемно-измерительной аппаратуры, обеспечение возможностей доступа к возможностям телескопа.

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). 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.

Основные результаты проводимых по контракту научных исследований в настоящем отчете представлены в соответствии с содержанием работ.

1 Завершение испытаний новых методик наблюдений на УСУ

1.1. Метод адаптивной фильтрации для борьбы с помехами в радиодиапазоне на РАТАН-600.

Для испытания эффективности адаптивной фильтрации была разработана модель адаптивного фильтра на базе программного комплекса «MATLAB», в качестве адаптивного алгоритма использован стандартный математический модуль «RLS Filter», по сути это математическая модель адаптивного фильтра построенная на методе наименьших квадратов [1,2]

На Рисунке 1.1 показана модель адаптивной фильтрации на основе RLS алгоритма с использованием одного массива данных. В данной модели второй массив данных получается методом добавления к первому определённой компоненты, в данном случае смешивается с синусоидой в 1000 раз меньше по амплитуде.

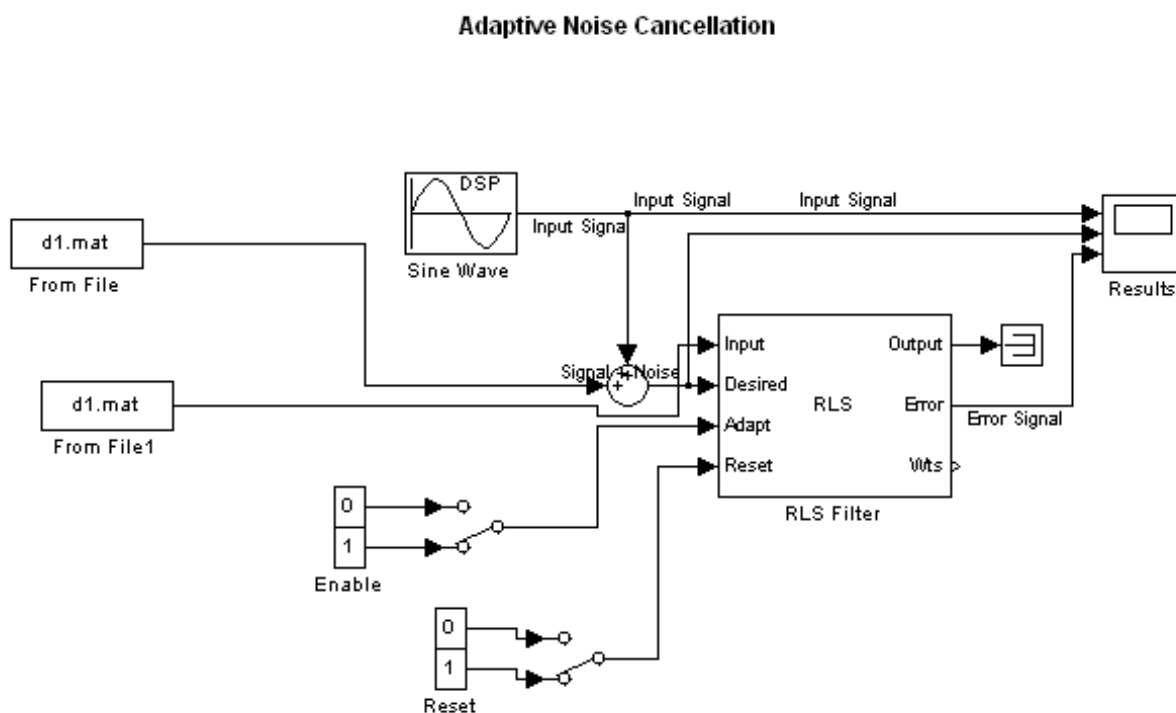


Рисунок 1.1 – Модель адаптивного фильтра с использованием одного массива данных

input signal – синусоида с амплитудой в 1000 раз меньше максимальных помех в относительных единицах – по существу это полезный сигнал который мы хотим получить;

signal+noise – реальная запись помех на волне 25см штатным приёмником РАТАН-600 смешанная с input signal.

Error signal – результат адаптивной фильтрации

При этом испытания проводились на реальных данных полученных на радиотелескопе РАТАН-600. Результат представлен на Рисунке 1.2.

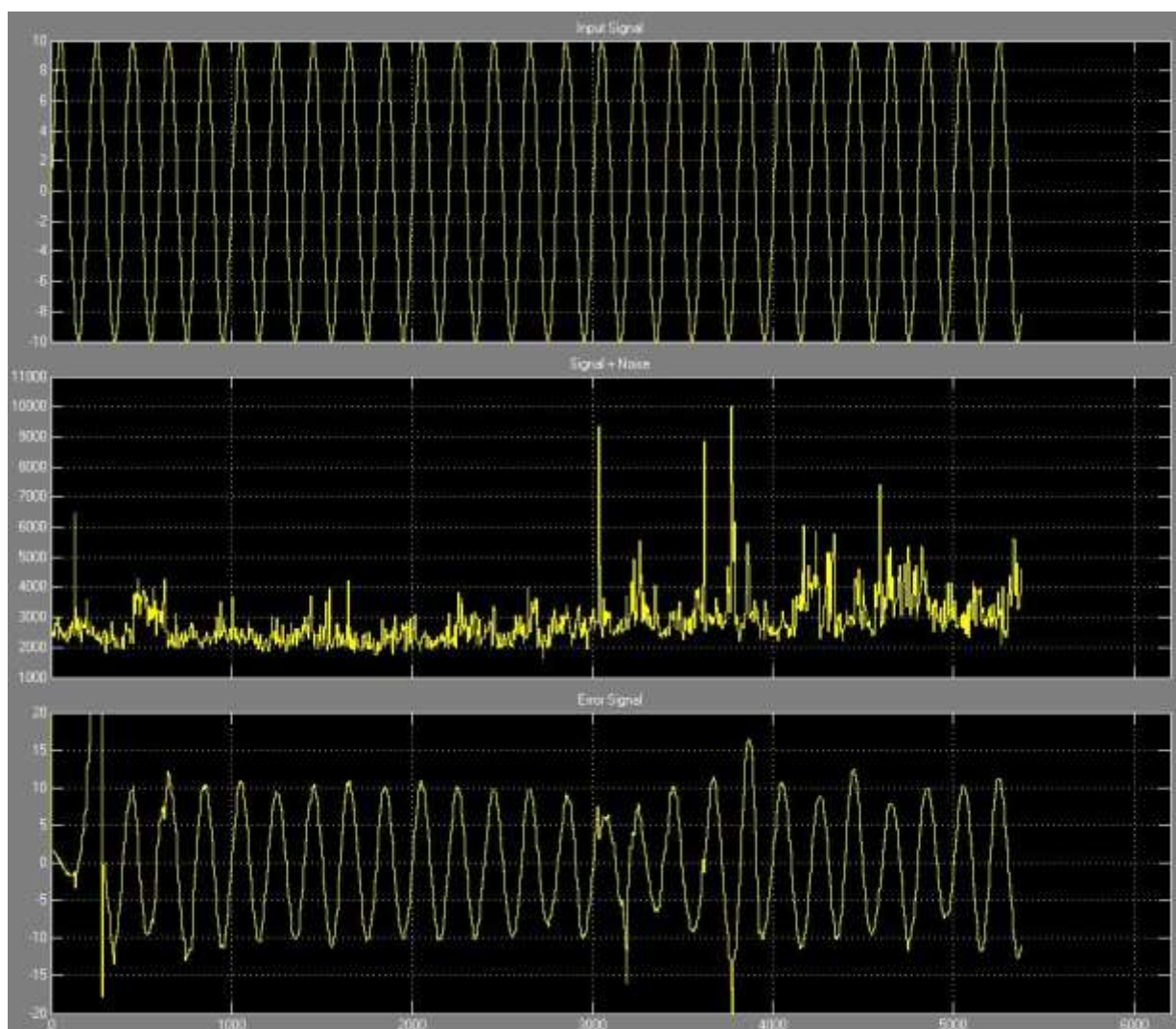


Рисунок 1.2 – Результаты моделирования с использованием одного массива данных

Как видно из Рисунка 1.2 искомый сигнал (в данном случае синусоида) был успешно получен с использованием адаптивного алгоритма.

Далее были проведены испытания на двух отдельных массивах данных. Каждый массив данных получен одновременно от двух идентичных радиометров волны 25 см, подключённых к разным первичным облучателям (облучатель “Eleven” [4-6] и облучатель Дикого [3]).

Модель адаптивного алгоритма в «MATLAB» в данном случае представлена на Рисунке 1.3.

Adaptive Noise Cancellation

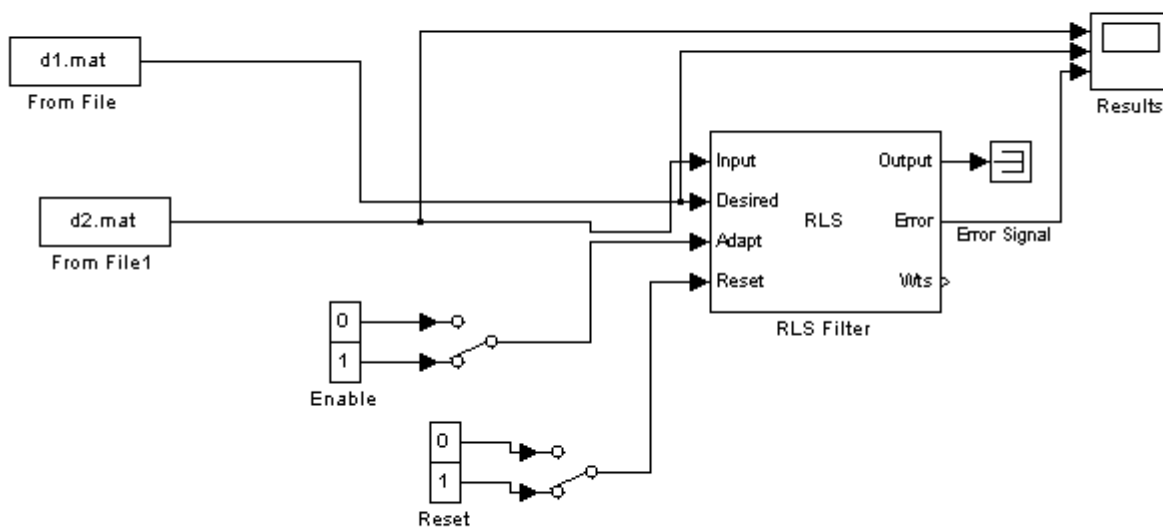


Рисунок 1.3 – Модель адаптивного фильтра с использованием двух независимых массивов данных

На Рисунке 1.4 представлен результат моделирования работы адаптивного алгоритма с использованием данных штатной волны ПАТАН-600 25 см. Как видно из результата (Error Signal), большая часть помех нивелируется при работе фильтра, однако результат не соответствует ожиданиям, и не достаточен для получения качественных наблюдательных данных на радиотелескопе ПАТАН-600.

Это объясняется недостаточной частотой оцифровки штатной системы сбора и обработки данных, а так же «неодинаковостью» первичных облучателей Дикого и Eleven.

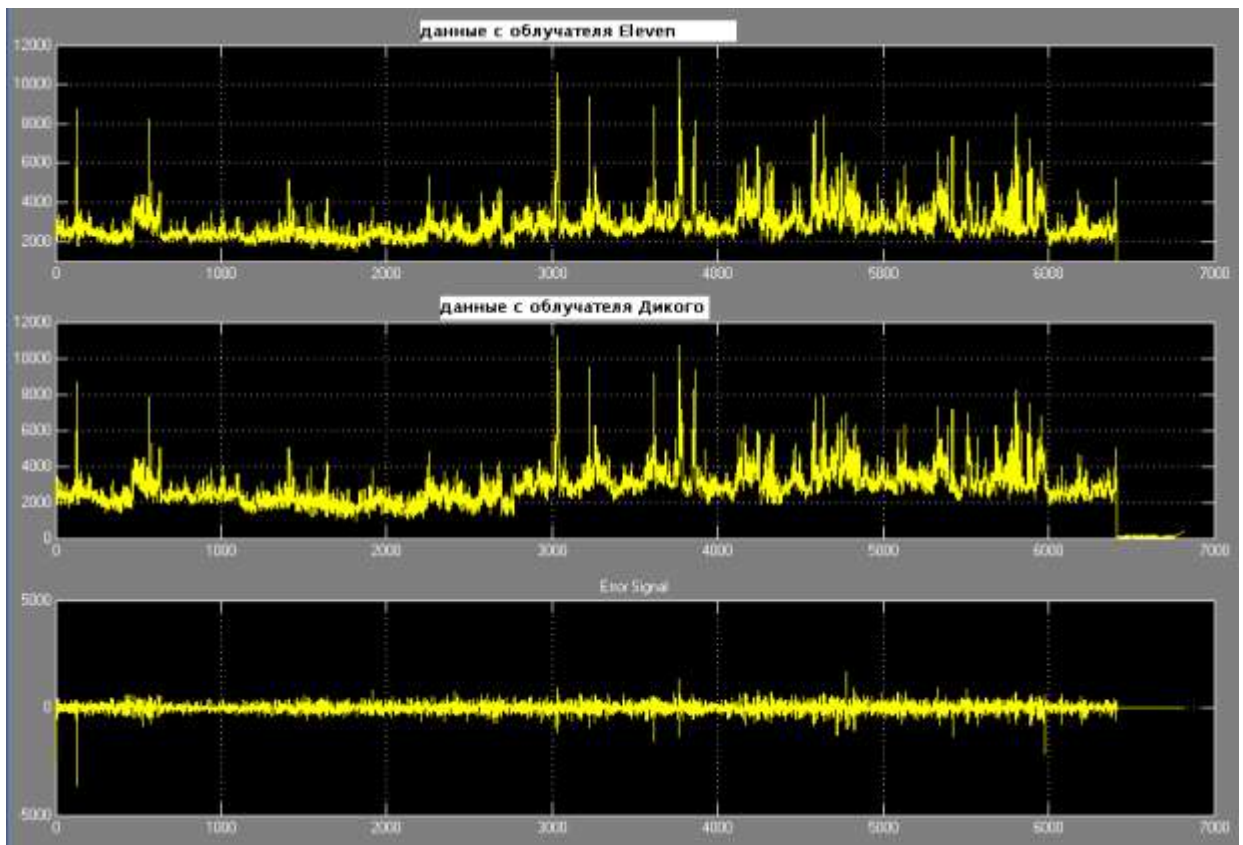


Рисунок 1.4 – Результаты моделирования с использованием двух независимых массивов

Было оценено влияние фактора недостаточной частоты оцифровки системы сбора и обработки данных. Стандартная частота оцифровки на РАТАН-600 20Гц [7].

Из Рисунок 1.5 видно что значительная часть помех длительностью 1-5 отсчётов АЦП, чего недостаточно для эффективного применения алгоритмов адаптивной фильтрации.

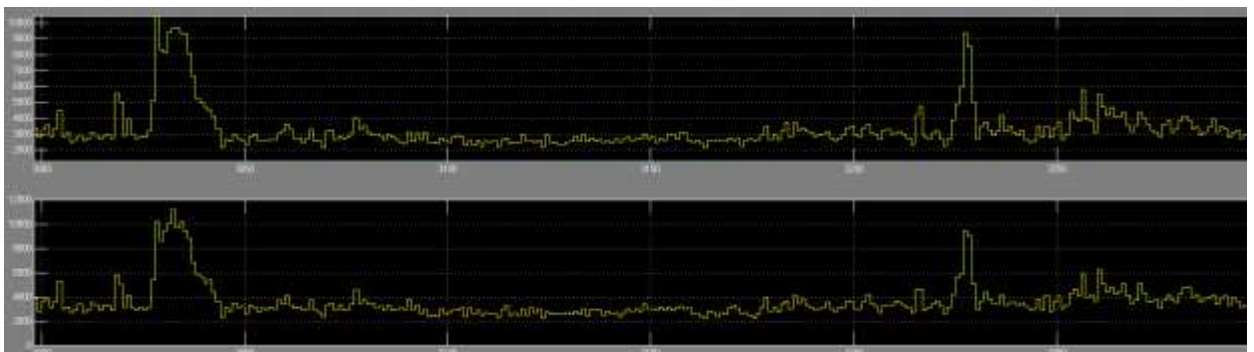


Рисунок 1.5 – Записи каналов волны 25см длительностью 15 секунд с частотой АЦП 20Гц

Из всего вышеизложенного следует, что методы адаптивной фильтрации весьма эффективны для чистки помех в дециметровом диапазоне длин волн. Однако, их применение требует повышенных требований к системе сбора данных [7], а именно,

частота оцифровки АЦП должна быть многократно повышена. Это позволит улучшить качество применения адаптивных алгоритмов на РАТАН-600, так же требуется разработка специализированного программного комплекса позволяющего реализовать адаптивную обработку сигналов в режиме реального времени.

На основе вышеописанной методики создан комплекс средств мониторинга помеховой обстановки, предназначенный 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. В Приложении А приведено «Руководство пользователя по мониторингу электромагнитного загрязнения».

1.2. Методика прогнозирования солнечной активности на основе радионаблюдений.

Введение

Задача прогнозирования вспышечной активности является комплексной проблемой, включающей разносторонние данные с различных слоев солнечной атмосферы. Развитие активности проходит в общем случае несколько стадий. Начиная со стадии зарождения активности, которая характеризуется всплытием группы пятен на солнечную поверхность. Далее, под воздействием вертикальных или горизонтальных перемещений пятен происходит всплытие нового магнитного потока, который может быть зарегистрирован средствами оптических магнитографов. Дополнительно всплытие нового магнитного потока может быть также зарегистрировано в слабом поляризованном излучении с помощью чувствительных поляризационных наблюдений в широком диапазоне длин радио волн. Динамика вариаций спектра поляризации указывает на развитие солнечной активности. В дальнейшем, всплытие магнитного потока может уже быть зарегистрировано на радиоволнах с помощью проявления спектрально-поляризационных эффектов. Наличие таких эффектов может приводить к вспышкам уровня C и M. В спектре радиоизлучения может быть также зарегистрирован источник разогрева в виде пекулярного радиоисточника NLS. Впоследствии нарастание активности приводит к эффектам типа многократных смен знака поляризации, образованию областей в спектре с низкой степенью поляризации и появлению радио потемнения при особо мощных вспышках. Дополнительно в диапазоне дециметровых волн можно заметить микровсплески, т.е. вспышечные явления малой интенсивности, которые происходят в вершинах корональных петель, ввиду того что энергия сверхтепловых электронов превышает энергию удерживающего магнитного поля. Наличие микровсплесков указывает на вероятность вспышки в пределах одного-полутора часов. В дальнейшем активность может носить циклирующий характер в зависимости от энергоемкости пятенной группы.

1.2.1. Постановка примерной методики прогнозирования активности Солнца.

1-стадия. Получение первичной информации о магнитной конфигурации магнитных полей в активной области. Данные о размерах поверхности, занимаемой пятнами, число и размеры пятен, напряженность и направление магнитного поля в крупных пятнах, информация о конфигурации пятен в группе и их перемещении. Поиск всплытия нового потока в группе пятен.

Цель – определение уровня активности. Зарождение, стабильность магнитной структуры.

Инструментарий. Данные спутниковых наблюдений типа Hinode, данные наземных магнитографов.

2-стадия. Зарождение активности. Определение уровня активности по радионаблюдениям.

Поиск явлений всплытия магнитного потока по радионаблюдениям. Поиск поляризационных свойств по частотному диапазону (смена знака и уярчение), построение широкодиапазонных спектров степени поляризации. Анализ свойств поляризации в течение всего времени жизни АО.

Инструментарий. Данные инструментов с большой эффективной площадью в широком диапазоне частот типа РАТАН-600. Необходимо достижение чувствительности по потоку радиоизлучения около 0.01 с.е.п. (солнечная единица потока)

Очень важна организация слежения за активной областью в течение нескольких часов для возможно раннего заключения о зарождающейся активности.

3-стадия. Выделение нестабильных областей. Экспресс-анализ радиоисточников входящих в активную область, построение спектра интенсивности и круговой поляризации. Поиск источников нагрева активной области, так называемых “пекулярных радиоисточников” или NLS (источников над нейтральной линией магнитного поля). Построение спектра NLS и определение динамики его жизни.

Инструментарий. Данные инструментов с большой эффективной площадью в широком диапазоне частот. РАТАН-600, модернизированный ССРТ с накоплением по времени. Радиогелиограф в Нобеяма.

4-стадия. Выделение вспышечно-продуктивных активных областей ВПАО. При наличии радиопотемнения в активной области возможен прогноз особо мощных вспышек X10-X20.

Инструментарий. Данные инструментов с большой эффективной площадью в широком диапазоне частот. РАТАН-600, модернизированный ССРТ с накоплением по времени. Радиогелиограф в Нобеяма.

При наличии дециметровых микровсплесков возможно предсказание времени вспышки в течении 1 часа.

Инструментарий. Данные инструментов с большой эффективной площадью в широком диапазоне частот. РАТАН-600.

5-стадия. Анализ состояния всех эффектов. В случае их сохранения возможна повторная генерация вспышки в течение суток. Анализ энергоемкости АО.

Инструментарий. Данные инструментов с большой эффективной площадью в широком диапазоне частот. РАТАН-600, модернизированный ССРТ с накоплением по времени. Радиогелиограф в Нобеема. Данные магнитографов.

6-стадия. Анализ постэруптивного состояния вспышки и заключение о распаде активности в данной области.

Инструментарий. Данные инструментов с большой эффективной площадью в широком диапазоне частот. РАТАН-600, модернизированный ССРТ с накоплением по времени. Радиогелиограф в Нобеема. Данные магнитографов.

7- стадия. Дальнейшее слежение за активной областью и предсказание ее повторного появления на восточном лимбе.

Инструментарий. Данные инструментов с большой эффективной площадью в широком диапазоне частот. РАТАН-600, модернизированный ССРТ с накоплением по времени. Радиогелиограф в Нобеема. Данные магнитографов и Спутника STEREO.

Примечание. Предполагалась реализация режима автоматизированного прогноза активности с помощью сервера <http://www.spbf.sao.ru/prognoz> в совместной работе с данными магнитографов радиогелиографов ССРТ и Нобеема. Использование дополнительной информации с других диапазонов э-м спектра. Важным моментом являлась реализация режима слежения за Солнце с помощью РАТАН-600.

В промежутках между наблюдениями поступающие данные со спутников и других инструментов анализировались на сервере <http://www.spbf.sao.ru/prognoz>

По результатам работ по теме были разработаны различные методики, которые сведены в Руководство по прогнозированию солнечной активности с использованием ресурсов Информационного Сайта «Прогноз» <http://www.spbf.sao.ru/prognoz>.

1.2.2. Завершение испытаний новых методик наблюдений на УСУ.

Одним из перспективных и малоисследованных предвспышечных явлений является появление пекулярных радиоисточников, располагающихся над линией раздела магнитных полярностей (NLS),

Они были обнаружены на инструменте апертурного синтеза WSRT в 1982 г. Потом в наблюдениях VLA и РАТАН-600 были обнаружены “пекулярные” радиоисточники (1984, 1986 гг.). Вопрос о механизмах излучения дискутировался в ряде работ. Но до сих пор исследование природы излучения NLS продолжает оставаться актуальным. В данном исследовании мы приводим результаты наблюдений NLS в широком диапазоне их размеров, потоков, приводим некоторые новые их свойства и делаем попытку рассмотреть их излучение с единых позиций.

Рассмотрим результаты наблюдений некоторых NLS. На Рисунке 1.6 приведен такой пример: сканы сложной активной области NOAA 10956. Анализ пространственного расположения NLS относительно других радиоисточников в активной области, проведенный по наблюдениям в крайних азимутах (± 24 градусов) показал, что NLS расположены в вершине силовых линий, связывающих циклотронные источники. Излучение всех NLS было стабильным, по крайней мере, в течение двух дней наблюдений.

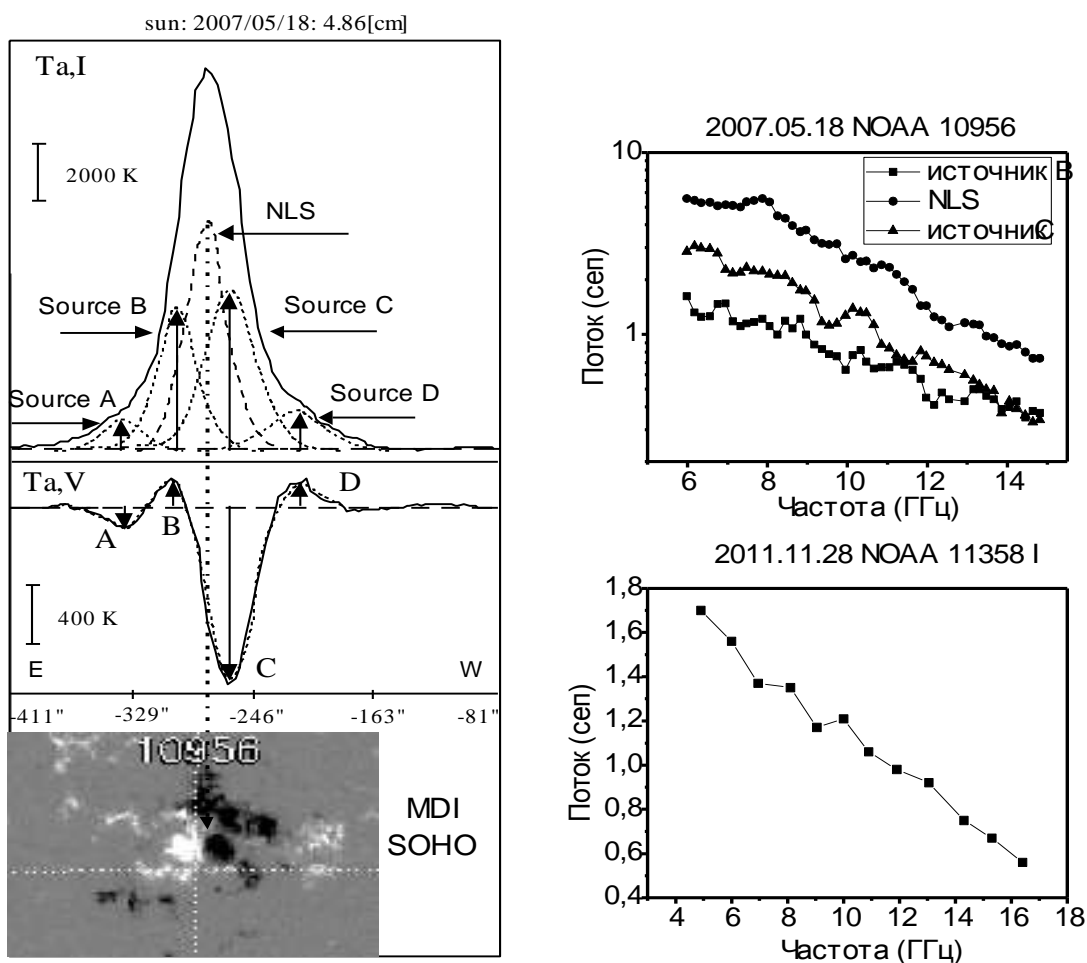


Рисунок 1.6 – Скан сложной активной области NOAA 10956 (слева) по параметрам I и V, и его сопоставление с магнитограммой SOHO MDI. Представлено разбиение на отдельные радиоисточники. Справа сверху, спектры потоков циклотронных источников (B и C) и NLS в АО и спектр NLS в АО NOAA 11358 (внизу)

В активной области NOAA 10486 по наблюдениям на ССРТ на частоте 17 ГГц был зарегистрирован NLS, который является основанием токового слоя.

При этом, иногда, могут присутствовать источники с инверсией поляризации в узкой полосе частот. На Рисунке 1.7 видно резкое изменение вида скана на 5.26 см. Такие эффекты могут быть связаны с тонкоструктурными особенностями атмосферы активных областей. Из рисунка видно, что особенность на 5.26 см связана с преобладанием обыкновенного излучения, что связано с внедрением магнитного поля противоположной полярности по сравнению с преобладающим полем.

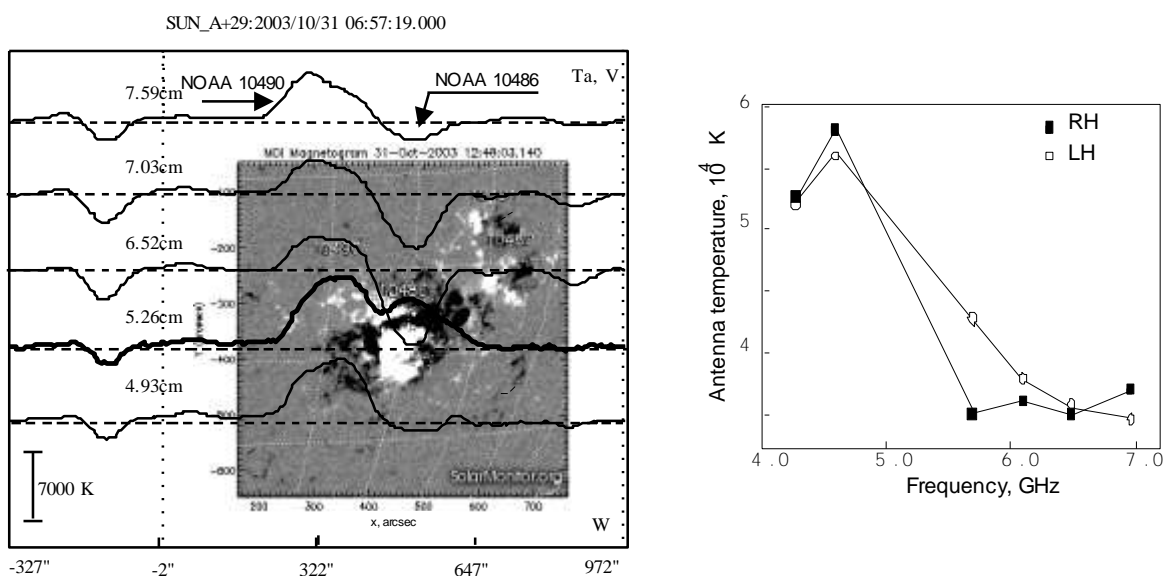


Рисунок 1.7 – Сканы в поляризованном излучении за 2003.10.31 на нескольких длинах волн (слева) и спектры антенной температуры T_a по R и по L в точке скана, где имеется RHP максимум на 5.26 см (справа)

Излучение этих областей связывается с наличием на луче зрения либо горячих петель, либо горячих токовых слоев. Исходя из этих работ можно показать, размеры такой области по лучу зрения $\Delta x = 5 \cdot 10^7$ см.

Другой тип NLS – гало наблюдался, например, 13 августа 2006 г. в активной области 10904, представлен на Рисунке 1.8. Размер NLS-гало около 120". Из геометрии положений источников в разные дни следует, что NLS-гало располагалось в верхней части корональной арки (или аркады).

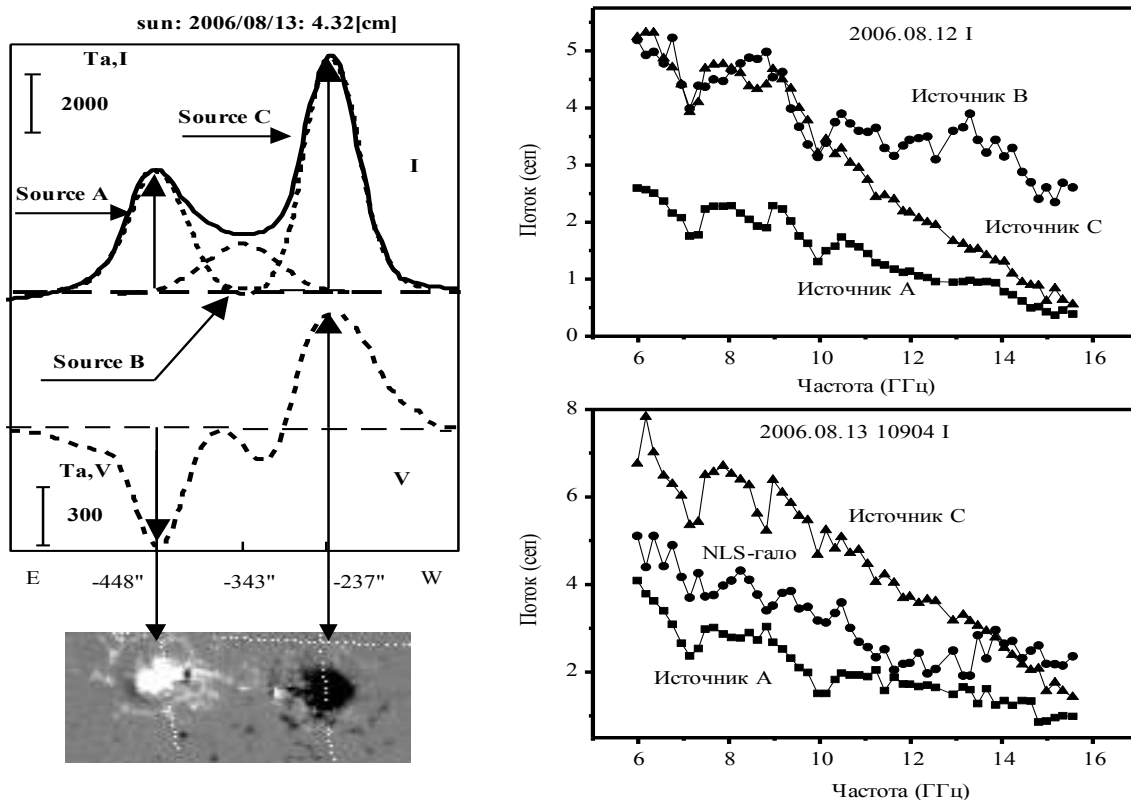


Рисунок 1.8 – Спектры потоков (а), яркостных температур (б), за 2006.08.12 в канале I для циклотронных источников (А и С) и NLS-гало

Возникает вопрос, почему при отсутствии поляризации (значение параметра V для NLS и NLS-гало близко к нулю) спектр потока этих источников растет с длиной волны при относительно постоянстве их размеров. Мы полагаем, что это связано с особенностями магнитного поля между пятнами и с квазиперпендикулярностью генерации волн в вершине корональной арки. Покажем это соответствующими расчетами.

Анализ радиоизлучения модели с плоским слоем под различными углами показывает, что на углах от 60 до 85 градусов имеет место существенное увеличение яркостной температуры и существенное уменьшение степени поляризации. При радиусе кривизны арки, равному половине расстояния между поляризованными источниками в АО NOAA 10904, область малой степени поляризации будет иметь размеры на 2 ГГц около 120", что достаточно близко соответствует приведенному выше размеру NLS-гало.

Обратимся к модели магнитного поля, составленного из двух разнесенных разнонаправленных диполей. Для распределений электронной плотности и температуры возьмем торовую модель активной области. Будем полагать, что поле на фотосфере на оси диполей есть 2000 Гс с глубиной залегания диполей равной $3 \cdot 10^9$ см. Поле между этими диполями – 1000 Гс. Тогда нужно расположить эти диполи на расстоянии $d = 6,23 \cdot 10^9$ $6.232727162869388 \times 10^9$ см. Зависимости магнитного поля с

высотой на оси диполей ($y=d/2$) и между диполями ($y=0$) показывают, что градиент магнитного поля в области между диполями существенно ниже, чем на оси диполей.

Расчеты спектров, приведенные, в частности, на Рисунке 1.9, показывают, что в петельных структурах удается получить низкую степень поляризации вместе с ростом интенсивности с длиной волны, что может быть использовано для объяснения излучения источников NLS с помощью только циклотронного излучения.

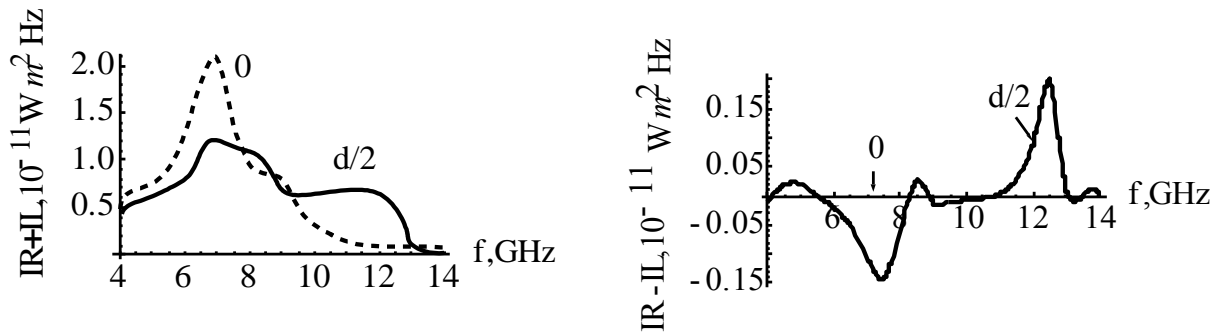


Рисунок 1.9 – Спектры параметров Стокса I и V для модели: высота петли $6 \cdot 10^8$ см, толщина петли $2 \cdot 10^8$ см, температура петли $5 \cdot 10^6$ К, плотность в петле $3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$ высота короны $3 \cdot 10^8$ см, высота хромосферы $2.8 \cdot 10^8$ см, температура короны вне петли 10^6 К. Для $d=0$ параметр $V=0$ на всех частотах

Естественно, количество параметров в модели, которая может дать приемлемый результат, очень много, поэтому затруднительно решить обратную задачу и тем самым выбрать какой-то определенный набор этих параметров. Но проведенные расчеты по другим моделям с разными параметрами позволяют выбрать из них основные. Конечно, основное – нахождение источника в вершине корональных арок. Второе – не слишком сильное различие фотосферного магнитного поля и коронального магнитного поля. Понятно, что это условие легко выполняется, так как источник находится над областью фотосферы, где поле относительно мало, а в короне из-за кривизны петель и иногда их слабой расходимости поле может иметь напряженность достаточной величины

Заключение.

Прогноз солнечных вспышек из-за его многофакторности относится к эмпирико-вероятностным задачам. Регулярные наблюдения на специально оборудованных спектрально-поляризационных комплексах могут значительно повысить наблюдательную значимость, особенно если эти наблюдения проводятся на крупном радиотелескопе типа РАТАН-600. Естественно важна роль теории, которая также основывается на экспериментальных фактах.

Применение спектрально-поляризационного анализа радиоизлучения отдельных объектов на Солнце (активные области, корональные дыры, КВМ) для развития критериев прогноза их активности. Проблема прогноза солнечной активности в разных его проявлениях является трудно решаемой как вследствие многофакторности эффектов, неадекватности проблеме используемой техники, так и недостаточной ясности процессов происходящих во всем их многообразии. Особо это относится к нижней короне Солнца, поскольку здесь резко меняются физические условия с высотой. Яркостная температура резко растет на два порядка, а плотность падает. Магнитное поле проникает в нижнюю корону, но его ослабление небольшое всего на 20-30 %. В отличие фотосферных магнитограмм, которые сейчас получают с высоким качеством на космических обсерваториях SDO, RHESSY, Soho MDI и др), сложность магнитной структуры в нижней короне недоступна вследствие повышенных температур и радиоастрономические поляризационные измерения являются практически единственным методом дающим информацию о величине магнитного поля во всех структурных образованиях.

Опыт, который был получен в проведенных исследованиях, в случае регулярного мониторинга может быть использован для дальнейшей проверки надежности и в случае успеха возможен и выход на коммерциализацию прогностического продукта.

2 Проведение наблюдений, обработка данных

2.1. Проведение наблюдений на РАТАН-600.

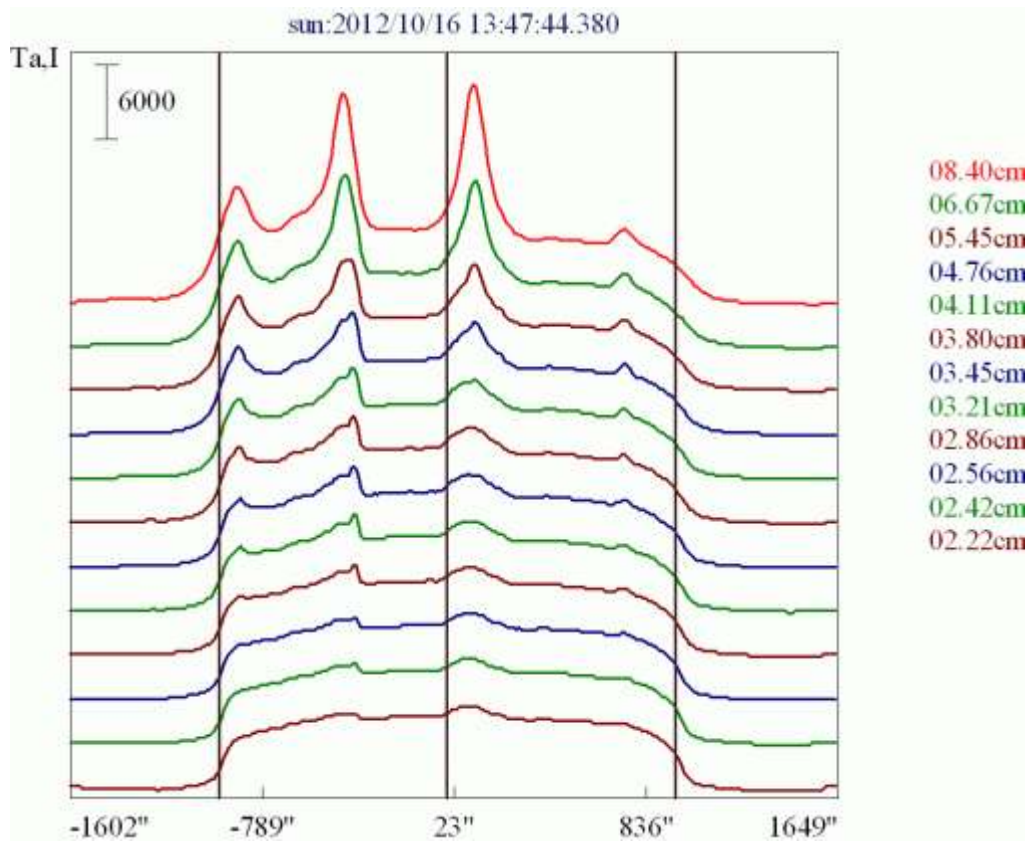
В отчетный период проводились следующие наблюдательные программы:

- 1) По исследованию фоновых излучений Вселенной по программе «Генетический Код Вселенной» (АКЦ ФИАН, САО РАН, Институт Нильса Бора, Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия);
- 2) По исследованию Солнца в рамках заявок сторонних пользователей «Мониторинг солнечной активности» (ГАО РАН), «Исследование особенностей микроволнового излучения АО накануне мощных эруптивных событий» (ГАО РАН), «Проведение исследований по поиску циклотронных линий в спектрах поляризованного излучения активных областей» (ИПФ РАН), «Динамические процессы в солнечной атмосфере и нестационарные явления в околоземном космическом пространстве» (ИСЗФ СО РАН);
- 3) По исследованию центральных областей ядер активных галактик (АКЦ ФИАН, NRAO, NASA GSFC, MPIfR, университет Erlangen-Nürnberg, Германия);
- 4) По исследованию активности ядер внегалактических источников радиоизлучения в широком диапазоне временных масштабов (ГАИШ МГУ);
- 5) По мониторингу ярких источников в период работы космического аппарата Планк (Рабочая группа по точечным источникам международного проекта Планк; Planck Extragalactic Point Sources Working Group, WG 6);
- 6) По мониторинг радиопеременности микроквазаров (САО РАН, Smithsonian Astrophys. Obs., USA; CIFS, Italy);
- 7) По многоволновому исследованию GPS-источников и кандидатов (САО РАН);
- 8) Измерение параметров антенной системы (наблюдения калибраторов: Краб, Луна, 3C84, 2039-042)

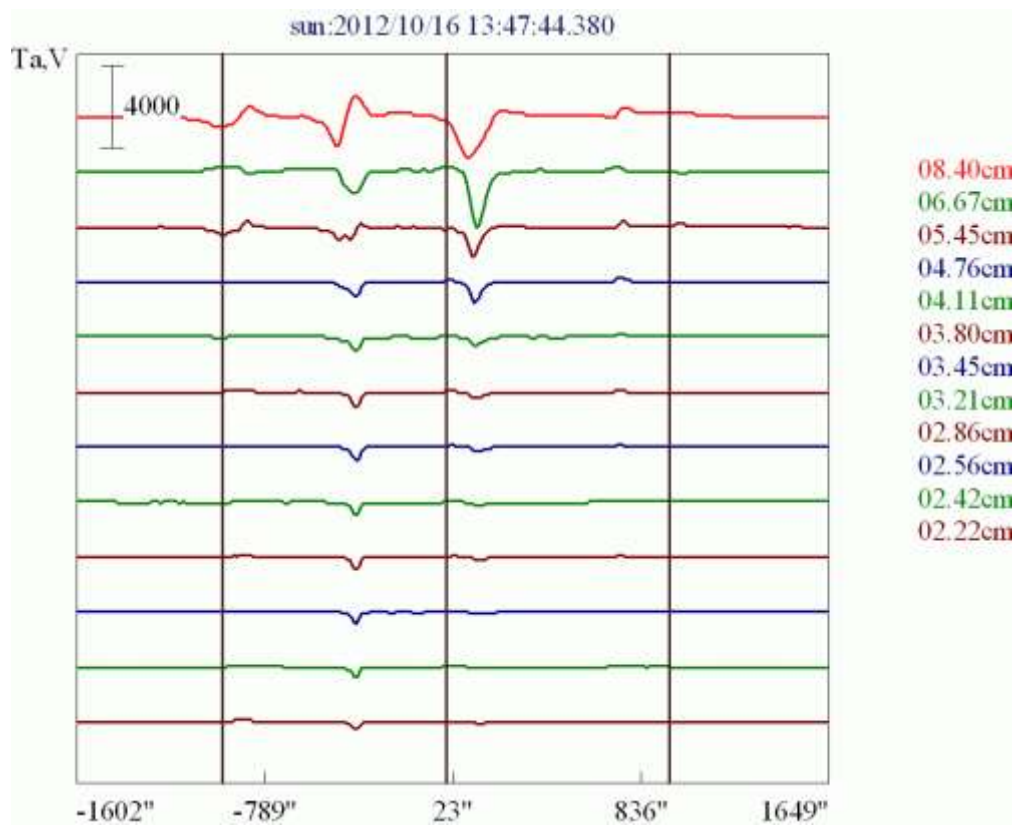
Ниже приводятся примеры наблюдений по вышеперечисленным программам; большинство программ являются долговременными и наблюдения могут продолжаться по несколько лет.

Исследования Солнца. На рисунке 2.1 представлены сканы Солнца в интенсивности за 16 октября 2012 г. по наблюдениям на солнечном спектрально-поляризационном комплексе. на сканах явно видно наличие активных областей Солнца в исследуемый период. Система предварительной оценки физических параметров наблюдаемых активных областей выдает автоматически напряженность магнитного поля.

a)



b)



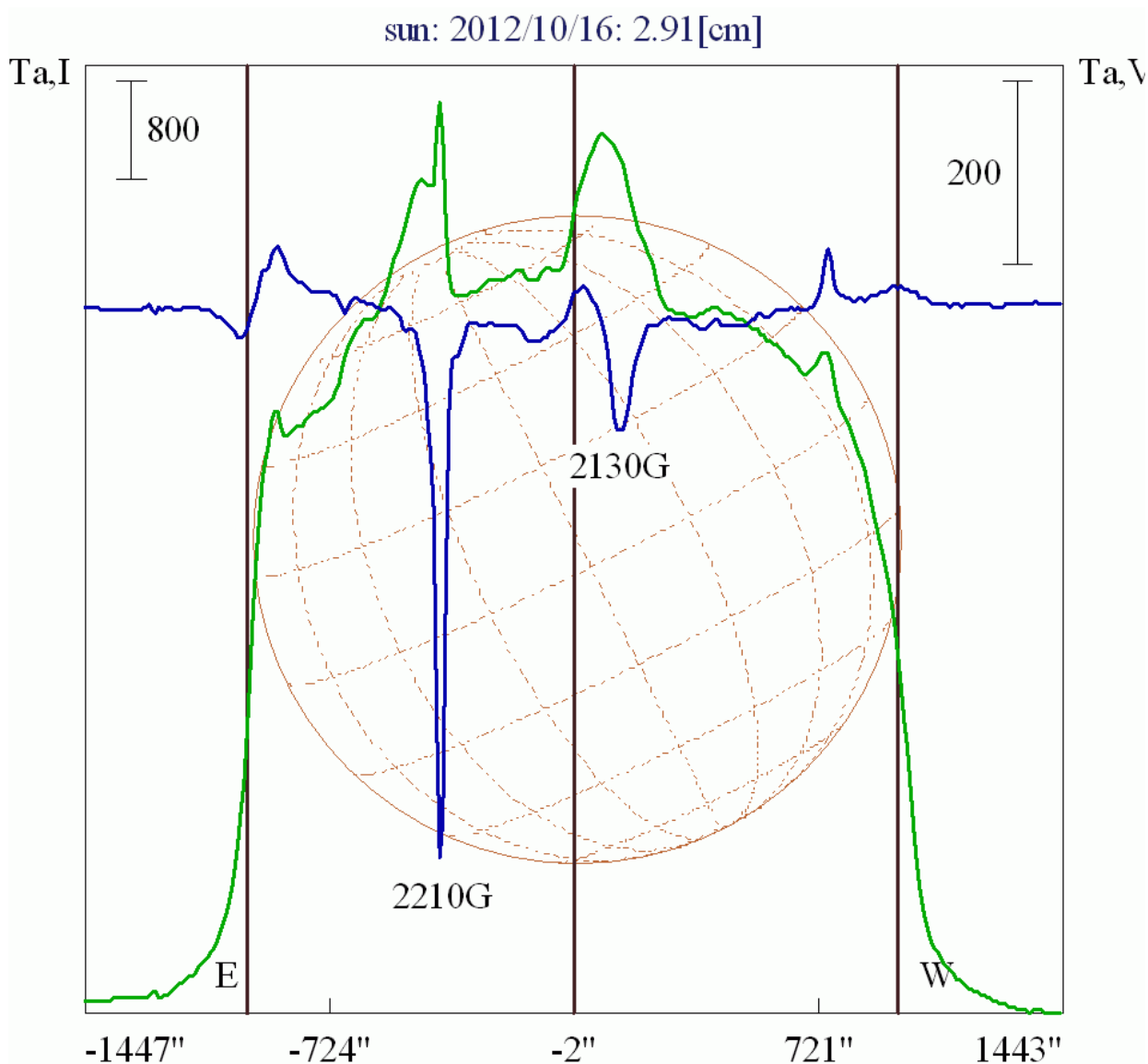


Рисунок 2.1 – Пример многочастотных сканов Солнца в интенсивности за 16 октября 2012 г. радиотелескопе РАТАН-600 на одном из азимутов: а) в интенсивности; б) в поляризации; в) интенсивность и поляризация наложены на диск Солнца; система предварительной оценки физических параметров наблюдаемых активных областей выдает автоматически напряженность магнитного поля

Ежедневные многочастотные данные наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 представляются на сайте Обсерватории - <http://www.sao.ru/hq/sun/>.

Мониторинг радиопеременности микрокварцов. На радиотелескопе РАТАН-600 проводится регулярный мониторинг микрокварцов, что позволяет захватить периоды их активной фазы. На следующих рисунках представлены результаты подобной программы на примере нескольких микрокварцов (см. Рисунки 2.2, 2.3 и 2.4).

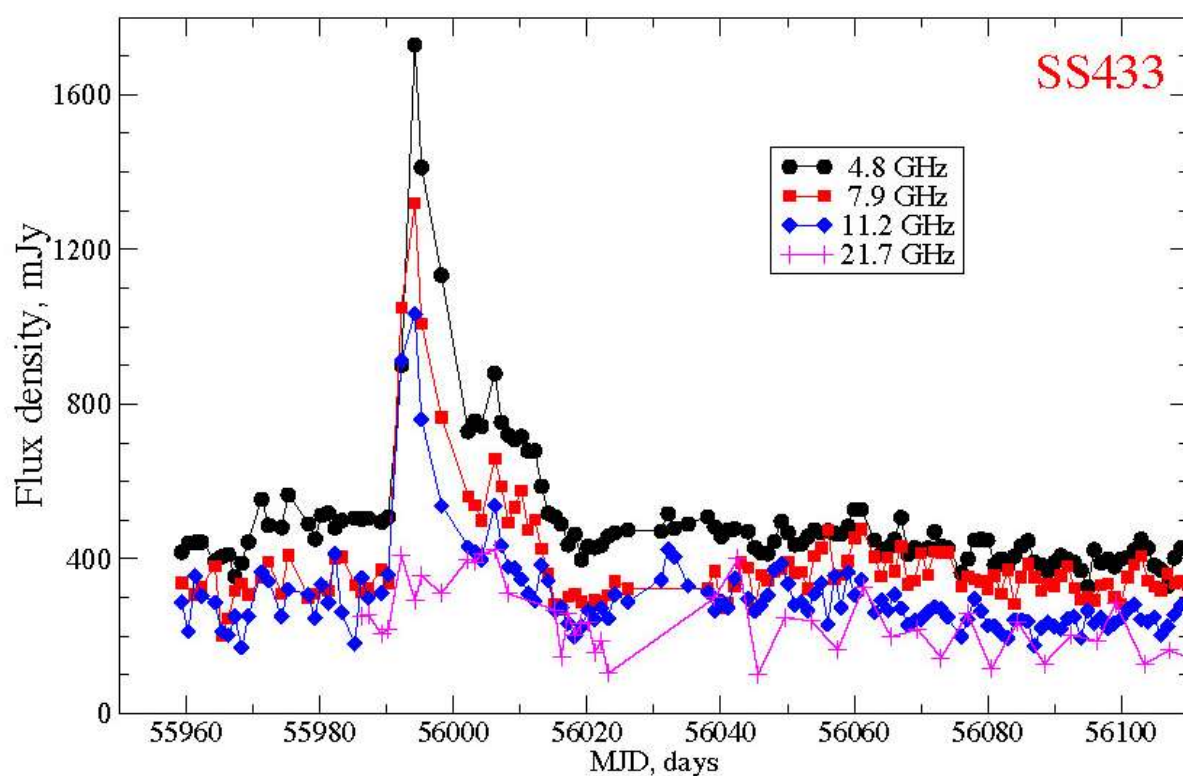


Рисунок 2.2 – Кривая блеска SS433 на нескольких частотах в 2012 г.

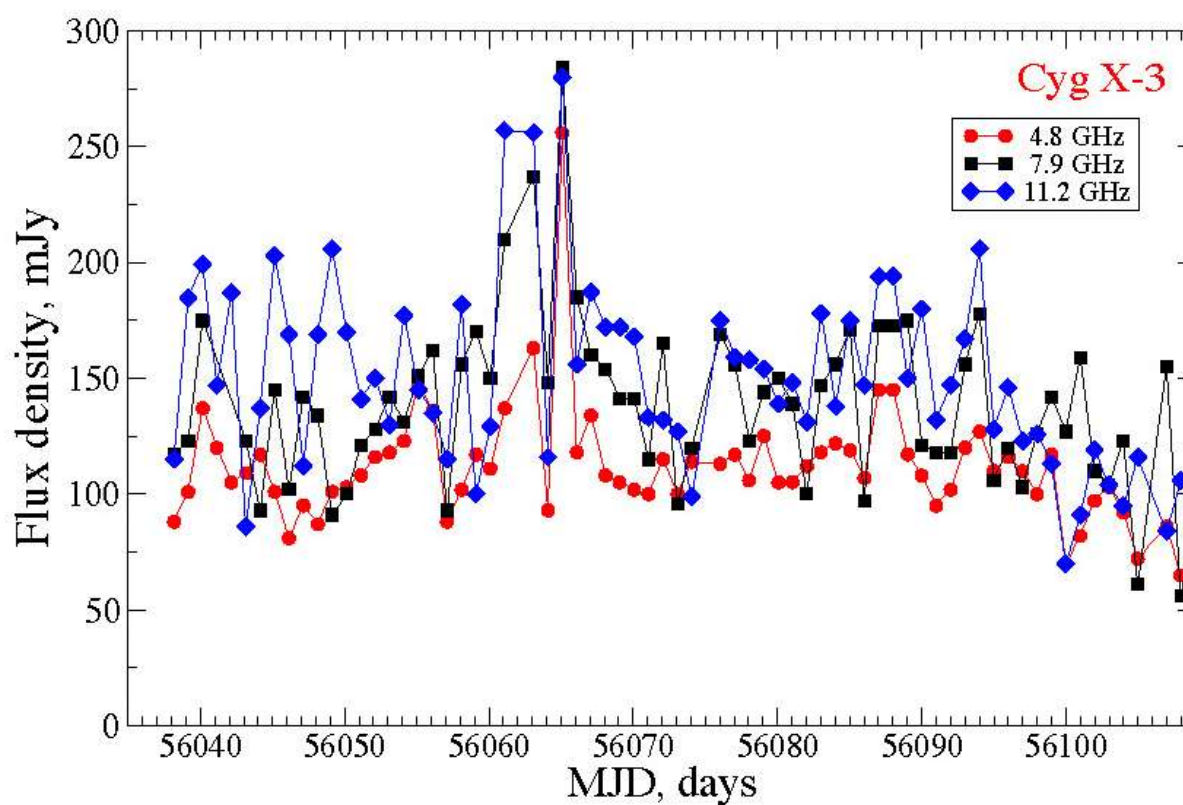


Рисунок 2.3 – Кривые блеска Cyg X-3 на 4.8-11 ГГц

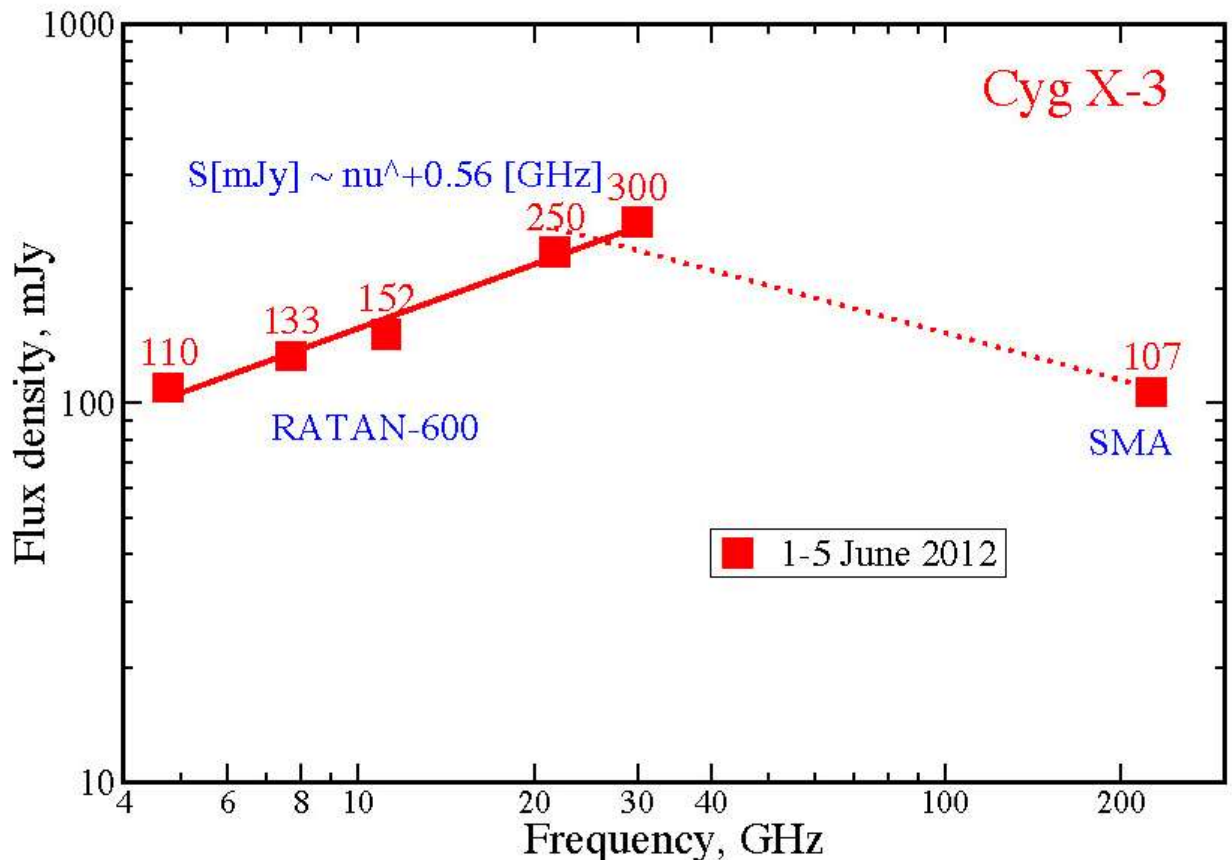


Рисунок 2.3 – Радиоспектр Cyg X-3 на 4.8-245 ГГц по наблюдениям на РАТАН-600 и SMA

Наблюдения по программе Генетический код Вселенной. В марте 2012 г. завершен первый этап накопления данных глубокого обзора неба в области $00^{\text{h}} < \text{RA} < 24^{\text{h}}$, $40.5^{\circ} < \text{DEC} < 42.5^{\circ}$ на РАТАН-600 с новой фокальной матрицей с 32-рупорными первичными излучателями на предельной частоте радиотелескопа 30 ГГц в рамках программы «Генетический код Вселенной». В октябре начались наблюдения с целью добора центральных сечений (414, 415 и 416); в Таблице 1 они выделены желтым цветом; планируется по этим центральным сечениям довести количество наблюдений до 100 суток на каждый час по прямому восхождению RA. В Таблице 1 представлена статистика наблюдательных данных (количество суток на каждое сечение на соответствующем прямом восхождении RA). Более подробно, как о методике наблюдений, так и первых результатах изложено в Разделе 2.2. настоящего Отчета.

Таблица 1 – Статистика наблюдательных данных (количество суток на каждое сечение на соответствующем прямом восхождении *RA*)

<i>RA/ Сечения</i>	<i>407</i>	<i>408</i>	<i>409</i>	<i>410</i>	<i>411</i>	<i>412</i>	<i>413</i>	<i>414</i>	<i>415</i>	<i>416</i>	<i>417</i>	<i>418</i>	<i>419</i>	<i>420</i>	<i>421</i>	<i>422</i>	<i>423</i>	<i>ИТОГО дней</i>
0	7	25	23	21	26	23	14	44	99	41	27	27	22	22	23	20	16	480
1	7	24	22	21	26	23	14	44	99	43	28	27	25	25	23	19	16	486
2	7	25	22	23	26	22	14	43	100	42	28	26	25	25	24	19	16	487
3	6	27	23	22	26	22	14	41	61	43	26	25	25	25	24	20	19	449
4	6	27	22	22	25	23	14	42	87	42	26	26	25	23	23	19	19	471
5	5	26	21	23	25	22	14	21	85	30	26	26	25	25	22	20	19	435
6	3	25	19	22	23	22	15	41	87	42	26	26	24	26	25	20	19	465
7	4	25	19	23	23	23	14	41	88	42	26	22	24	27	25	20	19	465
8	4	26	21	22	23	21	15	44	93	42	26	21	24	23	25	20	19	469
9	4	26	21	23	23	23	15	43	88	44	25	21	25	23	24	18	19	465
10	4	28	21	21	23	23	16	43	93	45	24	21	25	22	24	18	18	469
11	3	25	20	23	21	24	16	43	92	44	22	21	25	23	24	18	18	462
12	3	26	20	23	23	23	16	42	84	40	23	22	21	24	25	18	19	452
13	4	28	22	23	24	23	16	42	84	42	24	21	25	23	24	18	19	462
14	4	28	22	23	25	19	16	43	83	40	21	21	24	23	25	17	19	453
15	4	28	23	23	26	24	17	43	83	39	22	24	24	25	26	17	18	466
16	4	26	23	22	25	24	15	40	87	41	25	25	25	26	26	17	18	469
17	4	26	23	23	25	23	15	38	86	40	22	25	25	26	26	18	17	462
18	5	26	24	23	25	23	13	39	82	38	21	24	23	25	26	18	16	451
19	6	25	23	22	25	23	13	17	85	29	24	24	24	24	25	18	15	422
20	6	19	22	22	22	21	12	17	75	28	23	25	23	22	21	19	15	392
21	6	21	23	23	23	19	13	42	86	40	26	25	24	24	24	19	15	453
22	7	24	23	22	27	20	13	42	104	39	27	25	20	24	23	20	14	474
23	7	24	23	22	27	21	13	42	102	39	26	25	24	23	23	20	16	477

2.2. Обработка наблюдательных данных.

В отчетный период проводилась обработка наблюдательных данных за предыдущий периоды наблюдений.

2.2.1. Генетический код Вселенной.

Введение. Основной задачей работы является уточнение данных о некоторых частотно-зависимых фоновых излучениях между наблюдателем и эпохой рекомбинации на масштабах, интересных для космологии (прежде всего – роль синхротронного и теплового излучения Галактики, дискретных радиоисточников, дипольного излучения макромолекул) на слабо изученных ранее угловых масштабах. Часть полученных на РАТАН-600 результатов уже опубликована в работах [8-15].

В последние годы активно обсуждаются возможности исследования физики Вселенной на красных смещениях $Z \gg 1000$, вплоть до эпохи «инфляции», методами наземной и космической астрономии [16-22]. Одно из многообещающих направлений – исследование интенсивности и поляризации реликтового фона на масштабах, много меньших запланированных в таких проектах как WMAP ($l < 1000$) и Planck ($l < 2500$). Это привело к целесообразности использовать РАТАН-600 на предельной длине волны 1 см на масштабах значительно меньших, чем планировалось первично, в соответствии со стандартной теорией поляризации в E-моды Сахаровских осцилляций с максимумом поляризации на $l = 1000$. Предполагалось, что эта поляризация в основном связана с томпсоновским рассеянием реликтовых фотонов на электронах, и в этом случае статистически СКО в параметре Стокса Q равен шуму в параметре Стокса U ($\langle Q^2 \rangle = \langle U^2 \rangle$). Первый цикл наблюдений, начатый в июне 2009г., предполагал исследование интенсивности на малых (вплоть до разрешения радиотелескопа) угловых масштабах, и одного параметра Стокса (Q), который меньше подвержен инструментальной поляризации, связанной с поляризацией излучения Земли, щелей между панелями основной поверхности. В настоящей статье мы приведем предварительные результаты, полученные в основном по центральному сечению RZF-обзора, проходящему на склонении радиоисточника 3C84.

Методика наблюдений. Эксперименты по анизотропии реликтового излучения относятся к наиболее трудным в наблюдательной радиоастрономии, и мы поясним некоторые методы, используемые ведущими группами в этой области, которые позволяют получить статистической обработкой оценки анизотропии до нескольких μK . Целью основных экспериментов является сравнение теоретических моделей с наблюдениями. Теория (пока) не в состоянии предсказывать карты реликтового фона, и дает только корреляционные свойства флуктуаций фонового излучения неба (C_l). Это дает возможность ограничиться

статистической оценкой анизотропии реликтового излучения, что позволяет при правильно поставленном эксперименте получать значимые результаты при чувствительности на элемент разрешения в получаемых картах неба значительно ниже анизотропии фона (T_b). Практически все астрофизические результаты сегодня основаны на этой информации. Чем больше область обзора, тем точнее определяется искомая дисперсия.

Чувствительность каждого элемента матрицы MAPC-3 около 5 мК при $\tau = RC=1c$ (это соответствует $\sigma = 10$ мК в полосе 0-1 Гц). Для достижения предельной чувствительности необходимо реализовать все возможности многоэлементной матрицы ($N_{\text{receivers}} \gg 1$) и использовать максимально большое время интегрирования ($N_{\text{days}} \gg 1$).

Область обзора должна быть с достаточно большим числом элементов исследуемого масштаба, чтобы статистическая погрешность («Cosmic Variance») была не более флуктуационной чувствительности. Дальнейшее повышение чувствительности на элемент разрешения достигается осреднением по масштабам разного размера.

Наземные наблюдения отягощены не только шумом атмосферы, но (и в первую очередь) вариациями этого шума в поле зрения радиотелескопа. Радиотелескоп фильтрует часть этого шума [23]. Остаточный шум все равно часто на много превышает шум радиометра [12, 14]. Здесь мы отметим, что анизотропия интенсивности реликтового фона на масштабах, подверженных влиянию атмосферы в настоящей статье пока не обсуждается. Это ограничивает нас масштабами, недоступными WMAP и эксперименту Planck.

Одной из центральной задач проекта «Генетический код Вселенной» является поляризация фонового излучения Вселенной. Ожидаемые сигналы малы, и требуется предельно тщательное выравнивание свойств каналов, регистрирующих сигналы в ортогональных поляризациях. Мы практически решили эту проблему с помощью независимой регистрации сигнала в одном и другом полупериоде используя сильный неполяризованный фон атмосферы для выравнивания свойств каналов в ортогональных поляризациях. Этот метод освоен полностью и позволяет реализовать чувствительность радиометров при поляризационных наблюдениях, по крайней мере, на всех угловых масштабах менее 1 градуса. Кроме того, он полностью устраняет как вариации шумов атмосферы, так и вариации усиления в радиометрах (они тождественны в ортогональных поляризациях на масштабах модуляции).

Измерения показывают, что на временных масштабах от 0 до нескольких секунд времени доминирует белый шум радиометров, затем, как правило, доминирует шум, связанный с вариациями коэффициента усиления, а на самых больших масштабах – шум

вариаций атмосферного излучения.

Наблюдения. РАТАН-600 позволяет проводить наблюдения в различных вариантах. Наблюдения с перископом позволяют охватывать больший интервал склонений в суточных разрезах неба, чем при наблюдениях без перископа на высоких углах места. Однако оптимальным является именно Северный сектор вблизи местного Зенита. Этот вариант позволяет полностью использовать очень большое безабберационное поле зрения и, следовательно, применять большие фокальные матрицы. Обсуждавшийся при экспертизе проекта Западный сектор также позволяет применять большие фокальные матрицы, однако, в этом варианте матрица расширяет поле зрения по склонению в число элементов матрицы раз, но не может использоваться для повышения чувствительности на элемент разрешения. Эффективный телесный угол диаграммы направленности РАТАН-600 приблизительно в 8 раз меньше на Северном секторе в Зените, чем на Южном секторе с перископом. Это уменьшает и шум фоновых источников, который является основным на многих каналах эксперимента Planck.

Оказалось полезным регистрировать сигналы отдельно от каждого СВЧ входа (от каждой поляризации). Новый вариант системы сбора данных позволяет это делать, сохраняя возможность использовать режим сканирования, как в интенсивности, так и в поляризации. Пока проект ограничивается накоплением данных в интенсивности и в одном параметре Стокса Q, принимая достаточно очевидную гипотезу о равенстве на больших l реликтового шума в Q и U поляризациях. Как и на всех радиотелескопах, имеет место инструментальная поляризация антенны (Земля, СВЧ тракты и прочие). Опыт наблюдений (и теория) показывают, что поляризация собственного излучения Земли может достигать нескольких градусов антенной температуры, но доминирует горизонтальная поляризация. Поэтому мы выбрали для исследования поляризации параметр Q, разность сигналов с позиционными углами $+45^{\circ}$ и -45° относительно вертикали. Это практически полностью снимает проблему поляризации Земли. Проблема инструментальных эффектов в радиометрах уменьшена более чем на порядок, используя неполяризованную атмосферу как опорный сигнал. Выравнивая сигнал от атмосферы в плоскостях $+45^{\circ}$ и -45° (что легко сделать, имея независимую регистрацию этих каналов), мы добились резкого снижения всех основных методических вкладов. Заготовлены также сменные тракты для перехода (при необходимости) к U поляризации.

Интервал склонений, выбранный для наблюдений на МАРС-3, совпадает с выбранным для многочастотных наблюдений, где поле зрения обзора было оптимизировано между шумом радиометров и шумом «cosmic variance» (статистический шум, связанный с конечным числом элементов разрешения).

При предварительной селекции полученных данных около 15% записей исключены из рассмотрения (на всех масштабах), в основном из-за погоды. Практически все остальные записи удовлетворительны для исследования малых временных угловых масштабов ($1000 < l < 50\,000$). Для более крупных масштабов необходима тщательная селекция записей, достаточно свободных от атмосферного шума и других помех. Некоторые опробованные нами ранее методы можно найти в [12, 14].

Так же проведена обработка одного цикла наблюдений, использовано 2500 часовых записей. Получено, что 9,8% записей невозможно использовать в обработке данных из-за неправильности установки, либо из-за различных помех. Атмосферному влиянию подвержено 37% данных, и необходима предварительная чистка записей. Без предварительной редукции атмосферного фона можно использовать примерно 63% записей от суммарного накопленного материала.

Калибровка каналов по неполяризованному излучению атмосферы позволяет получить данные удовлетворительного качества по поляризации фонового излучения неба даже в очень плохих погодных условиях.

Аномальный низкочастотный шум практически отсутствует в поляризационных наблюдениях, где исчезает шум атмосферы и шум от нестабильности коэффициента усиления (Рисунок 2.4).

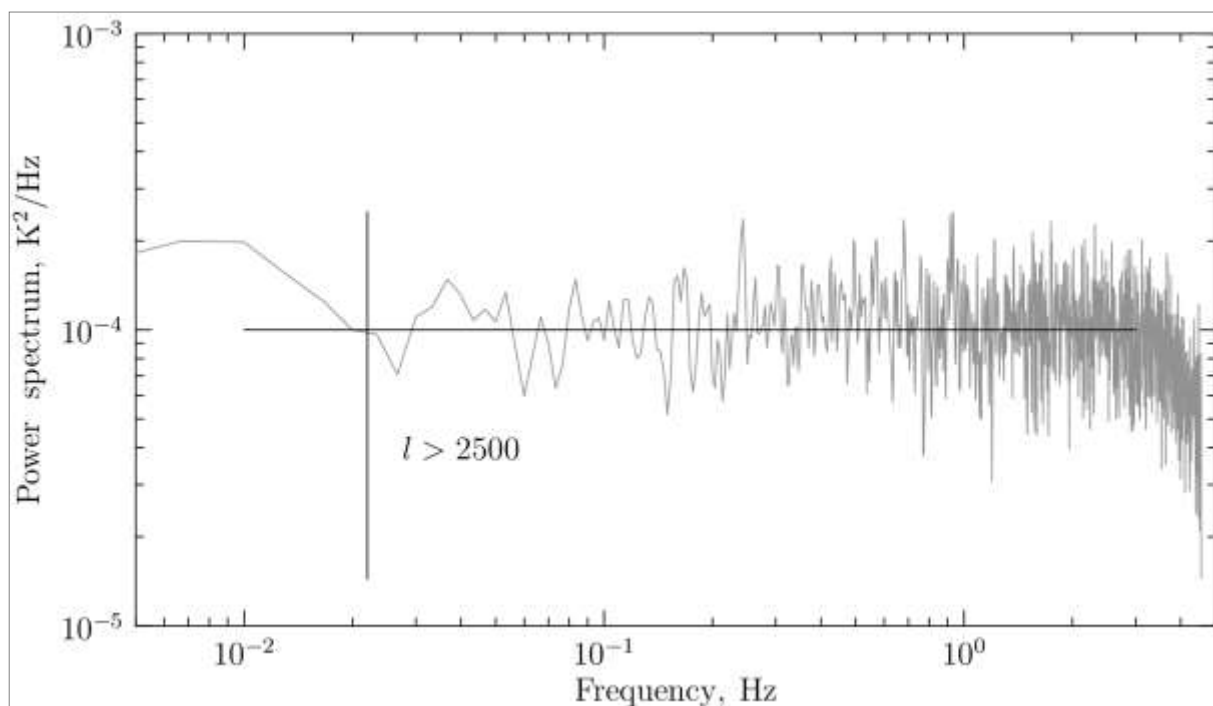


Рисунок 2.4 – Пример отсутствия аномального низкочастотного шума

Анализ данных и первичные результаты. Данные 2009 г. по центральному RZF-сечению

(около 1 месяца) пока использованы для оценки некоторых параметров фонового излучения Вселенной. Достигнутое время накопления за один месяц в 2009г. на элемент углового разрешения (5 секунд дуги) составляет 10 секунд времени на 1 канал, или 320 секунд на все каналы. Ожидаемая чувствительность в режиме полной мощности для всей матрицы около $1 \text{ mK/s}^{1/2}$ для одного эксперимента или около 0.18 mK для месячного цикла, что составляет около 1.8 mJy для точечных радиоисточников при площади радиотелескопа в период наблюдений около 300 м^2 .

Для масштабов SZ-шума (~1 минута дуги) время накопления с матрицей за месяц составило 5700 секунд (~1.5 часа).

Для масштабов, характерных для поляризации реликтового излучения ($l = 1000$, 12 минут дуги) время накопления на такой элемент разрешения составило 70 000 секунд (~20 часов).

Для масштабов, доступных WMAP на волне 1 см ($l = 500$) накопленное время вдвое больше (140 000 секунд, или 40 часов).

Для первого доплеровского пика оно еще больше, 320 000 секунд, или ~ 4 дня на элемент разрешения.

Большое время накопления позволяет приблизить чувствительность эксперимента на РАТАН-600 к опубликованным данным по анизотропии реликтового фона, а высокое разрешение и большая собирающая площадь дает возможность уточнить роль дискретных радиоисточников и отделить их от образований, связанных с SZ-шумом и «струнами» и провести поисковые наблюдения в неисследованной области l ($l \gg 1000$).

В соответствии с международной практикой, для статистических оценок шума неба используется не пиксельная чувствительность, а корреляционные свойства шума. Это позволяет выделять сигналы с отношением сигнал/шум существенно менее 1 при большом числе пикселей в поле зрения.

Шумы неба в области масштабов, недоступных WMAP и эксперименту Planck.

Анализ шумов в области $3000 < l < 5000$ в цикле наблюдений 2009 г. пока проведен для центрального сечения RZF-обзора. Полиномы Лежандра с указанными номерами гармоник соответствуют угловым масштабам 2.5-4 минуты дуги, которые проходят через диаграмму РАТАН-600 за 10-20 секунд времени. В этой области временных масштабов получено достаточно большое время накопления около 17 500 секунд (~5 часов) на пиксел, а аномальный шум радиометров полной мощности ($1/f$) и шум атмосферы не слишком ухудшают чувствительность по сравнению с «белым шумом».

Дисперсия полусуммы двух независимых групп наблюдений оказалась близкой к дисперсии их полуразности, что говорит о малости сигнала, общего для двух групп.

Формально мы получили

$$\sigma_{(I+II)/2} = 55.76 \text{ } \mu\text{K}$$

$$\sigma_{(I- II)/2} = 55.49 \text{ } \mu\text{K}$$

Отсюда можно оценить ограничения на общий в двух группах сигнал. Сигнал в интервале $3000 < l < 5000$ формально равен:

$$\sigma = 5.4 \text{ } \mu\text{K} \text{ } (^{+4\mu\text{K}} /_{-5\mu\text{K}})$$

Это меньше, чем сигнал в эксперименте СВИ¹ для этих масштабов в несколько раз (~27 μK) и ощутимо меньше, чем в эксперименте ВІМА² (22 μK) [26]. Астрофизическая значимость обсуждена в [26]. Дисперсия по антенной температуре меньше, чем дисперсия по яркостной по ряду причин, и различие на масштабах с $l = 3000$ достигает 50%. С другой стороны, на этих масштабах наряду с обсуждаемым многими SZ-шумом [26, 27] появляется шум от дискретных радиоисточников и шум «гравитационного линзирования». Для разделения всех эффектов нужны специальные исследования.

Шумы на масштабах диаграммы РАТАН-600. Эти масштабы в l -пространстве соответствуют временным интервалам от 0.3 секунд времени для однорупорного режима регистрации сигнала до 2 секунд времени, а в режиме регистрации разности между ортогональными поляризациями – на каждом радиометре. Обычно предполагается, что на этих масштабах к шумам радиометров добавляется некоторый шум от фоновых радиоисточников.

Полное поле зрения РАТАН-600 по склонению на волне 1 см близко к диаграмме одного элемента основной поверхности. Это составляет около 12 угловых секунд по уровню «нулевой мощности». В суточном разрезе неба в это поле попадают тысячи источников NVSS- и FIRST-каталогов. Однако можно надеяться, что объекты с инверсными спектрами будут видны в RZF-обзоре на длине волны 1 см.

Столь малое поле зрения не показало сколько-нибудь значимое число объектов с инверсионными спектрами, по крайней мере, на одном обработанном сечении. Некоторое уточнение статистики мы ожидаем после обработки всех 16 сечений и при накоплении большего числа наблюдений в последующих циклах. Статистический анализ накопленных на масштабах чувствительных к «шуму насыщения» также может дать сведения об источниках и менее дисперсии шума.

Заключение. Уже накопленные данные позволили получить чувствительность по белому шуму вполне сопоставимую с достигнутой в эксперименте WMAP по деталям того же

¹ СВИ (Cosmic Background Imager) – интерферометрическая система с 13-элементами на высоте 5080 метров (Чили, 1999-2008).

² ВІМА (Berkeley-Illinois-Maryland Association) – интерферометрическая система апертурного синтеза миллиметровых волн (Калифорния, США).

углового размера.

Как и ожидалось, шум радиометра все равно доминирует над шумом ожидаемых сигналов, и в таких случаях оказывается эффективной корреляционная методика оценки статистических свойств сигнала за счет большого числа элементов исследуемого размера. Мы считаем, что эта методика будет полезной и при завершении всех планируемых работ по проекту РАН «Генетический код Вселенной».

Одновременно выявлены и основные источники шумов, препятствующие реализации чувствительности по белому шуму. Это, прежде всего, шум атмосферы, резко растущий с ростом размера исследуемых деталей, и аномальный шум радиометров, который виден и на меньших масштабах. Шум атмосферы одинаков на всех каналах матрицы, и поэтому не осредняется при суммировании данных по всем каналам матрицы. Шум радиометров независим на каналах, и осредняется как корень из числа каналов.

При исследовании очень мелких масштабов остается только белый шум радиометров. Это позволило сделать независимые оценки для полиномов Лежандра с $l \gg 1000$, и для оценки роли дискретных радиоисточников в режиме близкого сканирования. Показано, что шум неба на масштабах с $2500 < l < 5000$ меньше, чем получено на экспериментах прошлых лет (например, СВИ-эксперимент [26]). Шум от дискретных радиоисточников близок к ожидаемому [28] и не предполагает существования обсуждаемой в литературе новой популяции радиоисточников, по крайней мере, на уровне ~ 1 мДж на длине волны 1 см.

Поляризационные наблюдения практически полностью устраняют шум атмосферы и аномальный шум радиометров. Дальнейшее накопление данных позволит получить астрофизически значимые результаты по поляризации на основных масштабах. Достигнутая чувствительность по поляризации близка к ожидаемой на $l=1000$, и выше чем шум от мелкомасштабной поляризации Галактики на высоких широтах.

Для продвижения по чувствительности при измерении интенсивности предполагается использовать данные по излучению атмосферы в линии водяного пара [24]. Для этого установлен трехчастотный комплекс ЭРИДАН рядом с матричным радиометрическим комплексом МАРС-3. Для исследования интенсивности на не слишком больших масштабах устанавливается радиометр на волне 1 см на предельно большом расстоянии от МАРС-3 на фокальной линии вторичного зеркала. Дальнейшая обработка покажет эффективность этих методов. Борьба с аномальным шумом радиометров требует кардинальных методов и пересмотра структуры радиометров (например, по типу эксперимента Planck [27]).

2.2.2. Наблюдение эффекта Сюняева-Зельдовича в скоплении Abell 2319.

Моделирование. Для оценки ожидаемого эффекта было проведено моделирование. При моделировании вклада Abell 2319 на частоте наблюдения 30 ГГц были получены оценки амплитуды эффекта в его центре порядка $T_{cmb} = 0.8-1.5$ мК, что с точностью до одного процента соответствует его антенной температуре. Учитывая коэффициент перевода I/T_{cmb} на частоте 30 ГГц из K в единицы интенсивности MJy/Sr порядка 27, получим интенсивность в центре кластера $I \approx 0.02-0.04$ MJy/Sr . Зная размер центральной части диаграммы порядка $0'.1 \times 0'.5$ можно оценить поток в mJy , что будет составлять порядка $0.085-0.170$ mJy . Необходимо учитывать, что эффект Сюняева-Зельдовича на частотах меньше 220 ГГц проявляется в уменьшении фоновой температуры, и профиль кластера будет иметь отрицательную амплитуду. На Рисунках 2.5-2.7 приведены модельные профили кластера Abell 2319 на частоте 30 ГГц для различных режимов наблюдения.

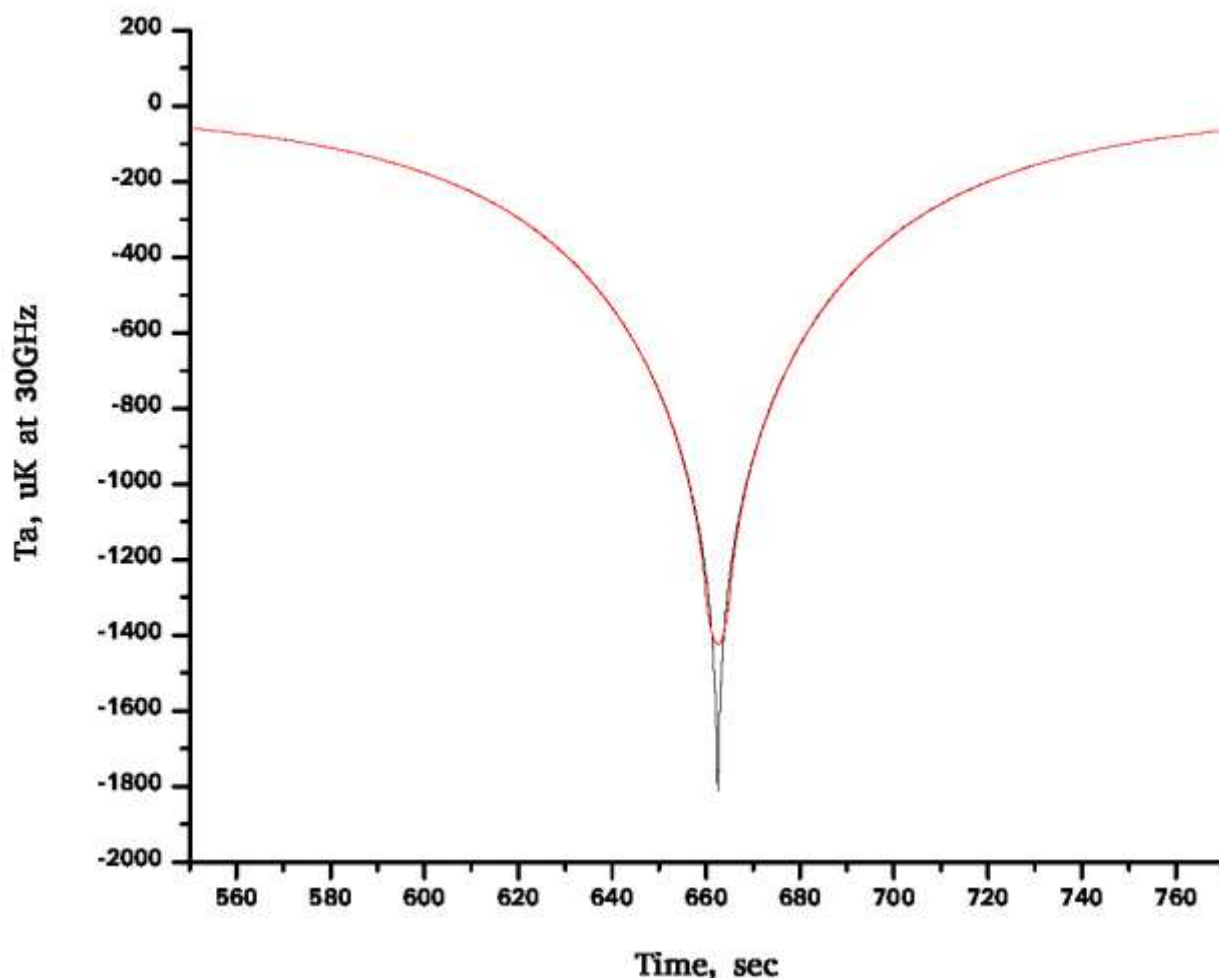


Рисунок 2.5 – Модельный профиль кластера на частоте 30 ГГц в однорупорном режиме наблюдения (total power). Красным цветом показан сглаженный профиль с окном 1 сек

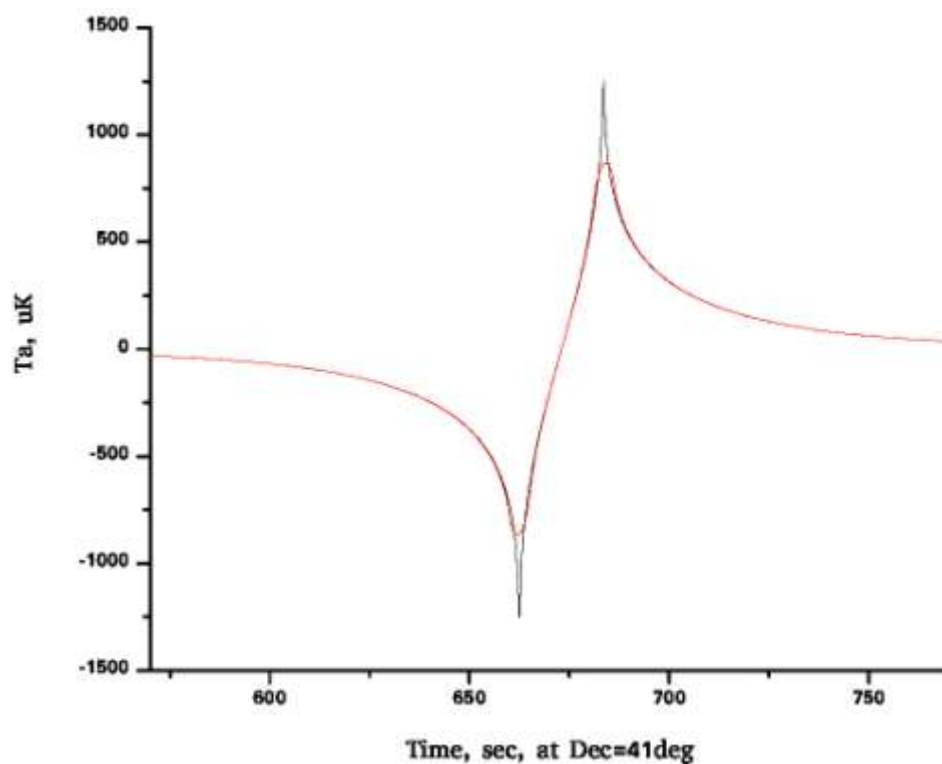


Рисунок 2.6 – Модельный профиль кластера на частоте 30 ГГц в режиме вычитания через половину линейки рупоров с шагом 21.17 сек (1-9, 2-10 и тд. - beam switching). Красным цветом показан сглаженный профиль с окном 1 сек.

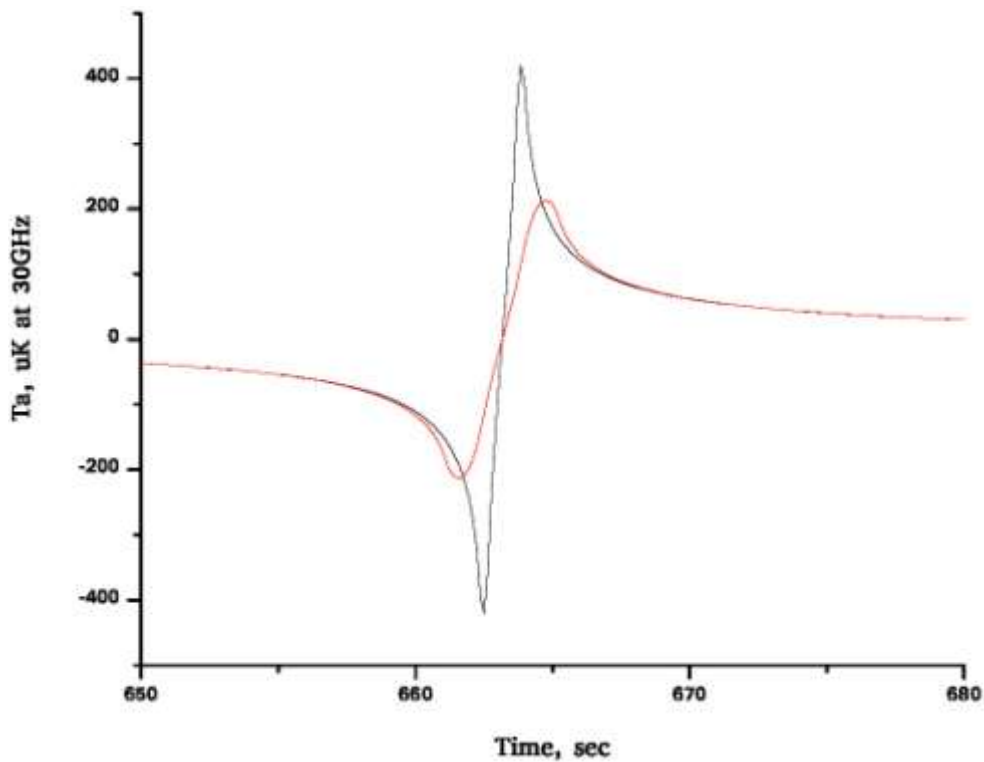


Рисунок 2.7 – Модельный профиль кластера на частоте 30 ГГц в режиме вычитания двух соседних рупоров с шагом 1.323 сек (1a-1e, 2a-2e итд, т.н. polarized mode). Красным цветом показан сглаженный профиль с окном 0.5 сек.

Наблюдения. Наблюдения проводились с ноября 2011 по март 2012 г. на комплексе радиометров МАРС-3, установленном на 2-м облучателе РАТАН-600. Центральная частота составляла 30 ГГц с полосой 10% от центральной частоты. Комплекс МАРС-3 состоит из 16-ти независимых радиометров, каждый из которых оснащён двумя рупорами, работающими в горизонтальной поляризации, и расположенными под углом 90 градусов друг к другу. Такая конфигурация позволяет наблюдать один из двух параметров Стокса (Q или U) на каждом из 16-ти радиометров, что, впрочем, не являлось целью данных наблюдений. Поскольку сигнал регистрировался отдельно с каждого из 32-х рупоров, программным образом можно было реализовать различные режимы обработки, в том числе и в интенсивности - что и было сделано. 15-я пара рупоров была исключена из обработки в связи с неисправностью данного радиометра. После предварительной редукции было оставлено 1140 записей (38 дней) с хорошей атмосферой, и 330 записей (11 дней) с умеренным атмосферным вкладом. В качестве опорного источника использовался 3С84, имеющий близкое к Abell 2319 склонение.

Обработка данных. Первичная обработка данных включала в себя визуальный контроль записей и удаление испорченных сканов, а так же отягощенных сильным атмосферным вкладом, после чего для дальнейшей обработки было выбрано 1140 записей. Записи с умеренной атмосферой на этом этапе не использовались, поскольку их включение приводило к увеличению шума в осреднённой записи. Обработка проводилась в трёх режимах - осреднение в полной мощности (total power), осреднение с программным вычитанием сканов через половину линейки рупоров (beam switching) и осреднение с вычитанием сканов с двух рупоров одного радиометра (polarized mode).

Осреднение в полной мощности. Простейший режим осреднения - это осреднение всех записей со сдвигом, соответствующим временной задержке между первым и i -м рупором. Осреднение можно производить как с вычитанием какого-либо фона (полинома или скользящего среднего с некоторым временным окном порядка нескольких десятков секунд для подавления атмосферных флуктуации), так и без него. Осреднённая запись будет определяться выражением

$$S_{tp}(t) = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{i=1}^N S_i(t + (i-1)\Delta t),$$

где $S_{tp}(t)$ – осреднённая запись, $N=32$ - общее число рупоров в линейке, N_{tot} - количество используемых рупоров, $S_i(t)$ - скан, полученный с i -го рупора, $\Delta t = 1.323$ сек - запаздывание между соседними рупорами. Если все радиометры исправны, то $N = N_{tot}$, а если какой-то радиометр неисправен, то соответствующие сканы нужно исключить. В этом режиме атмосфера частично подавляется путём вычитания фона, но в обработанной

записи остаётся $1/f$ -компонента шума радиометров, также как и белая компонента. На Рисунке 2.8 приведён пример обработанных записей опорного источника ЗС84.

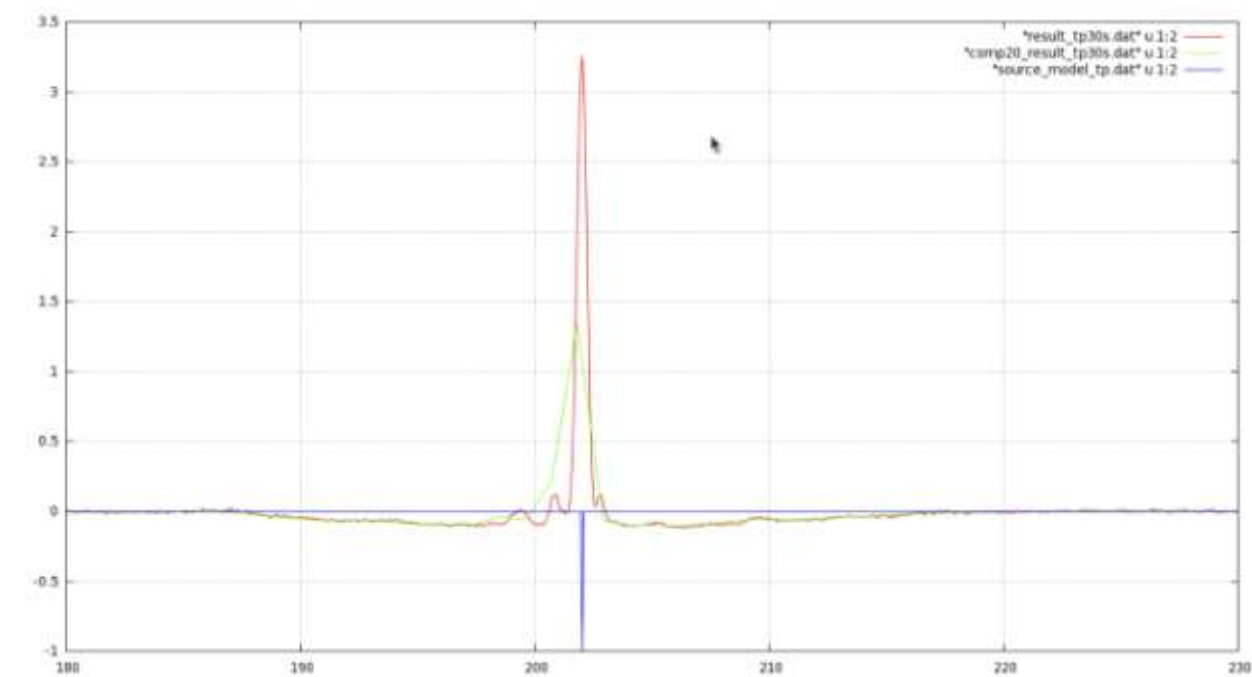


Рисунок 2.8 – Обработка опорного источника ЗС84 в режиме осреднения в полной мощности со сдвигом. Для подавления атмосферы вычитался фон - скользящее среднее с окном 30 сек. Красная кривая - результирующая запись без компрессии, зелёная кривая - компрессия в 20 раз (шаг порядка 1 сек), синим отмечено положение источника по информации из заголовка F-файла. Единицы измерения по оси Y - градусы антенной температуры

Осреднение разностных сканов с шагом в половину линейки. Если источник достаточно компактен, то для подавления атмосферных флуктуации можно конструировать разностные записи между i -м и $i+N/2$ -м рупорами, которые затем нужно осреднять с соответствующим сдвигом. Здесь так же можно предварительно проводить и вычитать фон для более сильного подавления атмосферы. В этом режиме атмосфера подавляется не только с помощью вычитания фона, но и путём вычитания $i+N/2$ -й записи из i -ой. Однако, в обработанной записи вместе с белой компонентой остаётся $1/f$ -компонента шума радиометров, а так же подавляются временные масштабы больше $\Delta t \times N/2$ сек. Источник в этом случае идентифицируется в виде двух гауссиан половинной амплитуды с разной полярностью, разнесённых друг от друга на $\Delta t \times N/2$ сек. На Рисунке 2.9 приведён пример обработанных записей опорного источника ЗС84 в этом режиме.

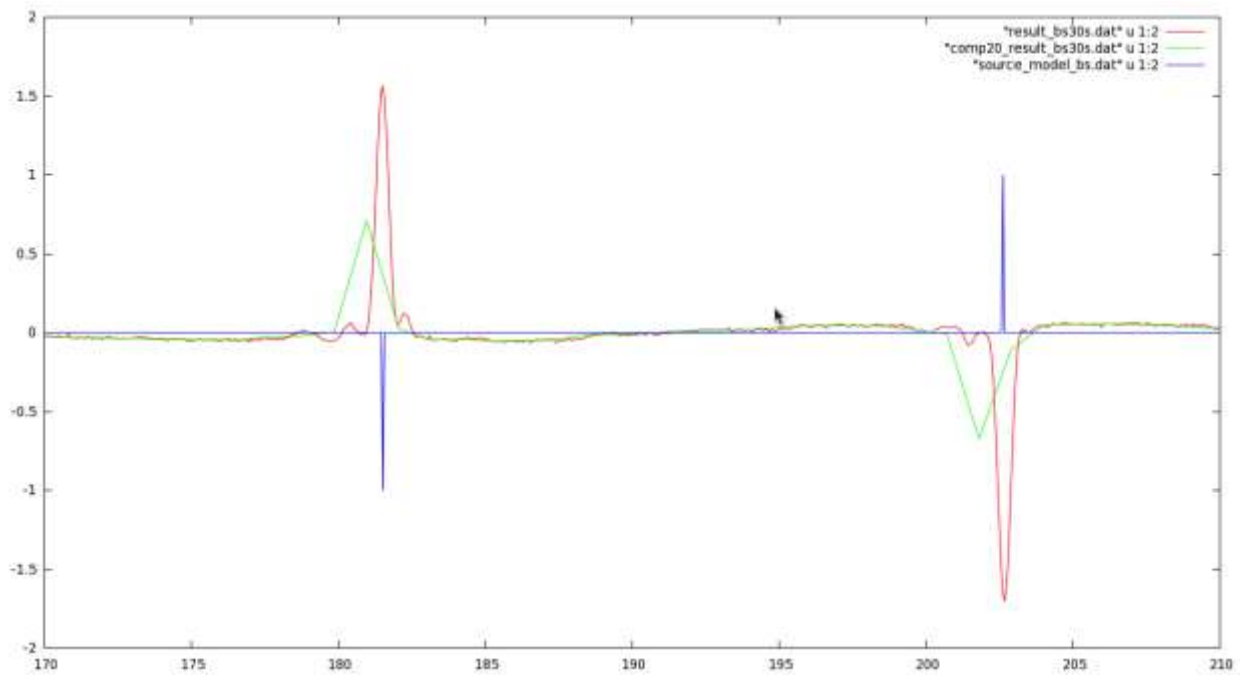


Рисунок 2.9 – Обработка опорного источника ЗС84 в режиме осреднения разностных сканов со сдвигом. Для подавления атмосферы вычитался фон - скользящее среднее с окном 30 сек. Красная кривая -результатирующая запись без компрессии, зелёная кривая - компрессия в 20 раз (шаг порядка 1 сек), синим отмечено положение источника по информации из заголовка F-файла. Единицы измерения по оси Y - градусы антенной температуры.

Осреднение разностных сканов двух соседних рупоров (поляризационный режим). Этот режим используется для наблюдения Q или U параметров Стокса, но если источник очень компактный, то можно попытаться его использовать для наблюдения интенсивности на масштабах меньше чем $\Delta t = 1.323$ сек. Здесь мы получаем существенное увеличение чувствительности за счёт подавления атмосферных флуктуации и $1/f$ компоненты шума радиометра, но за счёт удаления всех временных масштабов больше Δt сек. На Рисунке 2.10 приведён пример обработанных записей опорного источника ЗС84 в данном режиме.

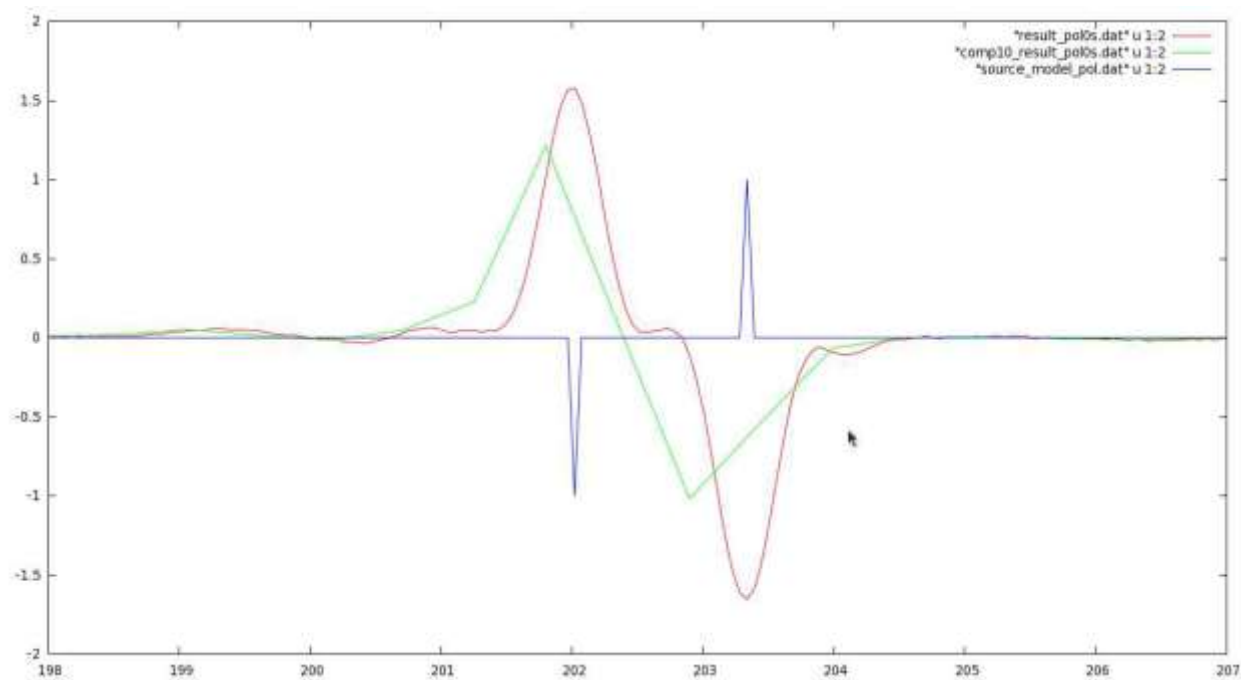


Рисунок 2.10 – Обработка опорного источника 3C84 в режиме осреднения разностных сканов двух соседних рупоров. Красная кривая - результирующая запись без компрессии, зелёная кривая - компрессия в 10 раз (шаг порядка 0.5 сек), синим отмечено положение источника по информации из заголовка F-файла. Единицы измерения по оси Y - градусы антенной температуры.

Наблюдения скопления Abell 2319 были обработаны каждым из вышеперечисленных методов без вычитания фона, и с вычитанием фона в 30 сек. Осреднённые записи для всех режимов обработки приведены на Рисунках 2.11 и 2.12.

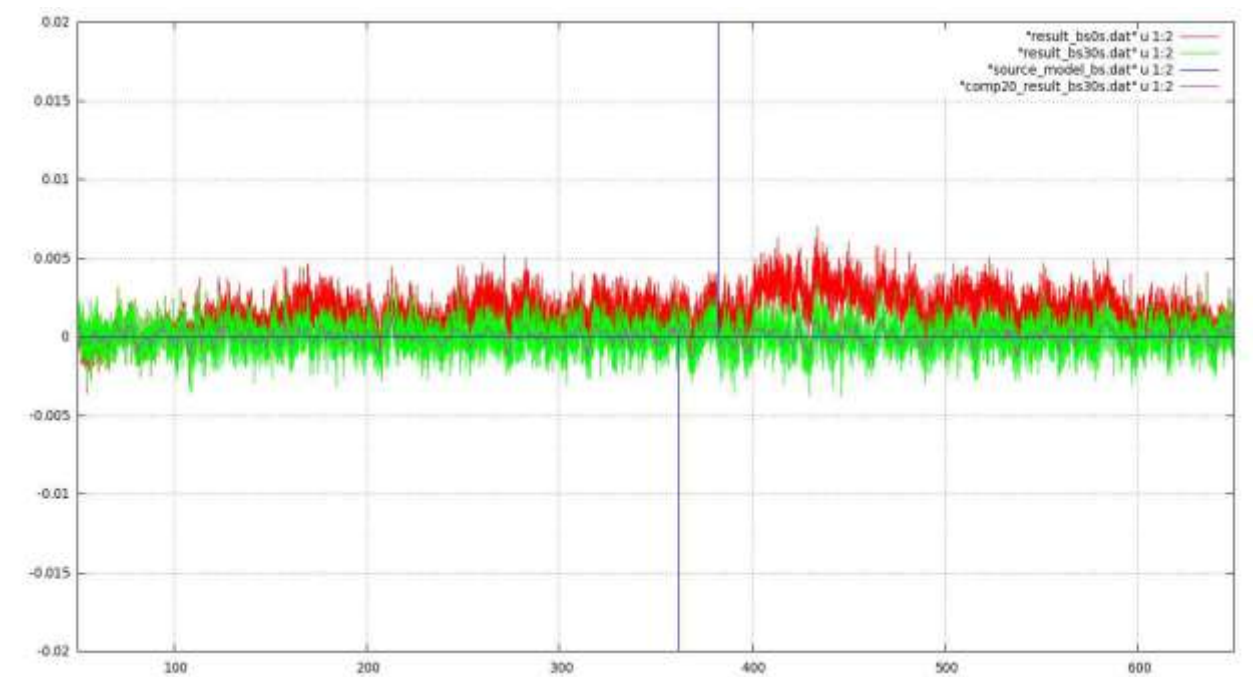


Рисунок 2.11 – Обработка кластера Abell 2319 в режиме осреднения в полной мощности со сдвигом. Красная кривая - результат без вычитания фона и компрессии, зелёная кривая - для подавления атмосферы вычитался фон - скользящее среднее с окном 30 сек. Розовая кривая - компрессия в 20 раз (шаг порядка 1 сек), синим отмечено положение источника по информации из заголовка F-файла. Единицы измерения по оси Y - градусы антенной температуры.

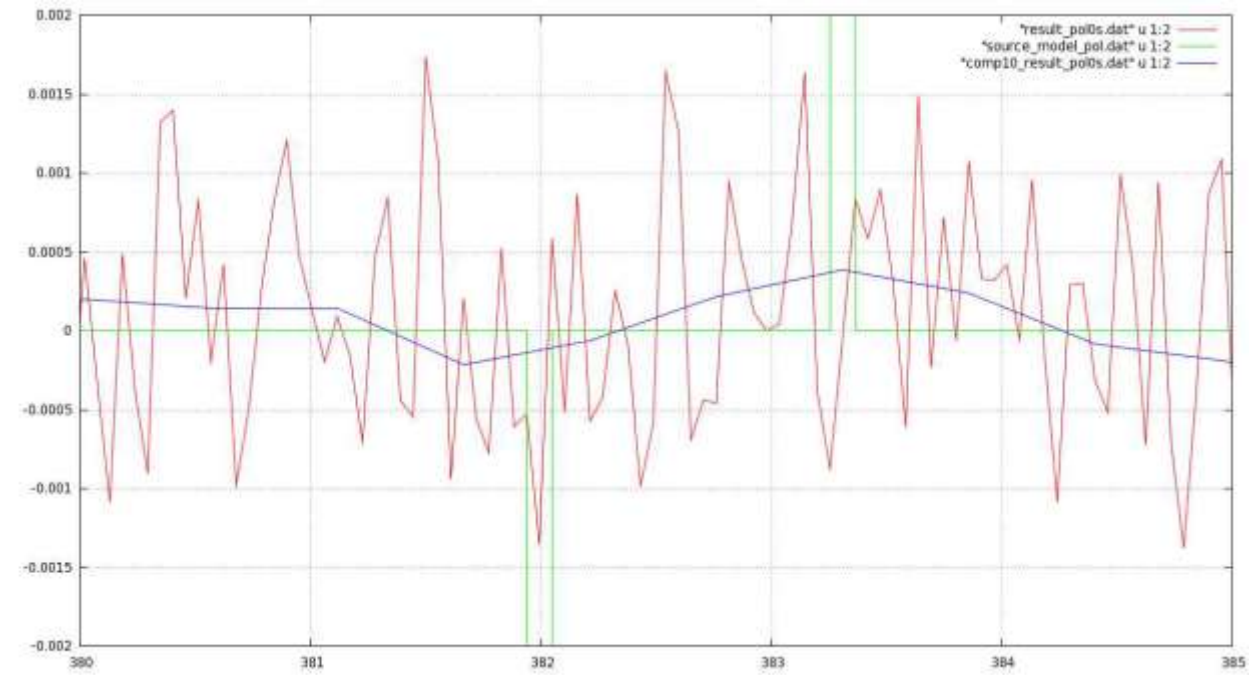


Рисунок 2.12 – Обработка кластера Abell 2319 в режиме осреднения разностных сканов со сдвигом. Красная кривая - результат без вычитания фона и компрессии, зелёная кривая - для подавления атмосферы вычитался фон - скользящее среднее с окном 30 сек. Розовая кривая - компрессия в 20 раз (шаг порядка 1 сек), синим отмечено положение источника по информации из заголовка F-файла. Единицы измерения по оси Y - градусы антенной температуры. Для соответствия с моделью на Рисунке 2.6 амплитуды нужно увеличить вдвое.

Предварительные выводы. После осреднения записей объект обнаружить не удалось в режимах total power и beam switching. Возможно, что структуры амплитудой порядка 0.2 - 0.5 мК, видимые в обработанной записи в поляризационном режиме (close beam switching) на месте, где должен быть кластер, имеют к нему отношение.

Для улучшения отношения S/N можно использовать:

- Весовое осреднение записей с весом $1/\sigma^2$.
- Более точное вычитание атмосферы в режиме beam switching с оптимизацией коэффициента k , $S_{bs} - k \times S_{i+N/2}$;

- Добавление записей с умеренной атмосферой в случае успеха вышеупомянутой оптимизации;
- Использование режима наблюдения «рупор в небо» для подавления $1/f$ -компоненты шума радиометров.

Как видно из вышеизложенного, главным мешающим фактором в реализации высокого отношения «сигнал/шум» является $1/f$ -компонента шума радиометра. В конце этого года планируется введение в опытную эксплуатацию одного частотного канала 2-х частотного криорadiометра, который позволит исключить $1/f$ -компоненту шума в подобных наблюдениях (более подробно изложено в Разделе 6 настоящего Отчета).

2.2.3. Переменность плотности потока блазара J1800+7828.

Радиоисточник J1800+7828 принадлежит к подвыборке источников с плоскими спектрами ($a \geq -0.5, S_\alpha \sim \nu^\alpha$) S5 каталога ($S_{5\text{ГГц}} > 1 \text{ мДж}$) [29]. В оптическом спектре источника отождествлена линия *MgII* 2798 А на красном смещении $z=0.684$ [30]. В 13-ом издании каталога квазаров и активных ядер источник классифицирован как высокополяризованный (HP) квазар с красным смещением $z=0.68$ и звездной величиной $V_{\text{mag}} = 15.9^{\text{m}}$ [31]. Галактическая широта источника $B = 29^\circ$.

Источник исследовался практически во всех диапазонах длин волн от гамма до радио и на масштабах времени от часов до десятков лет. Переменность обнаружена во всех диапазонах.

Источник обладает сильным рентгеновским [32, 33] и гамма излучением [34, 35], в [36] сообщается о всплеске гамма излучения в 2011 г.

Оптический (BVRI) мониторинг источника показывает переменность в этом диапазоне больше 3^{m} . Во вспышках характерное время растущей и падающей частях вспышки около $t = 20$ дней, что соответствует размеру излучающей области без учета ориентации $R \sim c \times t \sim 3000 \text{ а.е.}$ [37]. В этой же работе приведены кривые блеска источника на 8.4 ГГц, показавшие переменность плотности потока больше 1 Ян, кривые блеска в оптическом и радиодиапазонах показывают частичную корреляцию.

Временная шкала вариаций в оптическом диапазоне с характерными временами от 50 мин. до нескольких часов обнаружена в [38, 39].

В радиодиапазоне источник также показывает переменность плотности потока и поляризации с характерными временами 1-2 дня [40]; в наблюдениях на 100-м телескопе в Эфельсберге в 1989 -1999 гг. источник показал более медленную переменность, $\tau > 5$ дней [41, 42].

Наиболее длинные ряды наблюдений источника получены в Радиообсерватории Мичиганского университета (США) на частотах 4.8, 8.0 и 14.5 ГГц в 1966-1999 и 1981-2010 гг [43, 44]. Наблюдались хаотические вспышки с амплитудой 1-1.5 Ян на 14.5 ГГц. В Обсерватории Метсахови (Финляндия) источник наблюдался на частотах 22 и 37 ГГц, изменения плотности потока на этих частотах достигали 1 Ян. [45, 46]. Индекс долговременной переменности по этим данным на частотах 4.8-22 ГГц ($S_{\text{max}} - S_{\text{min}} / (S_{\text{max}} + S_{\text{min}}) \sim 0.2-0.3$).

Источник имеет радиоструктуру с ярким ядром и слабым джетом общим размером порядка 3 mas , в ряде наблюдений наблюдается двойная структура ядра [47, 48]. На

Рисунке 2.13 показаны карты структуры источника на эпохи, близкие к началу и концу наших наблюдений, полученные в программе VLBA MOJAVE на 15.4 ГГц [49]. В работе [50] предложена модель, предполагающая, что ядро источника J1800+7828 содержит двойную черную дыру (ВВН система).

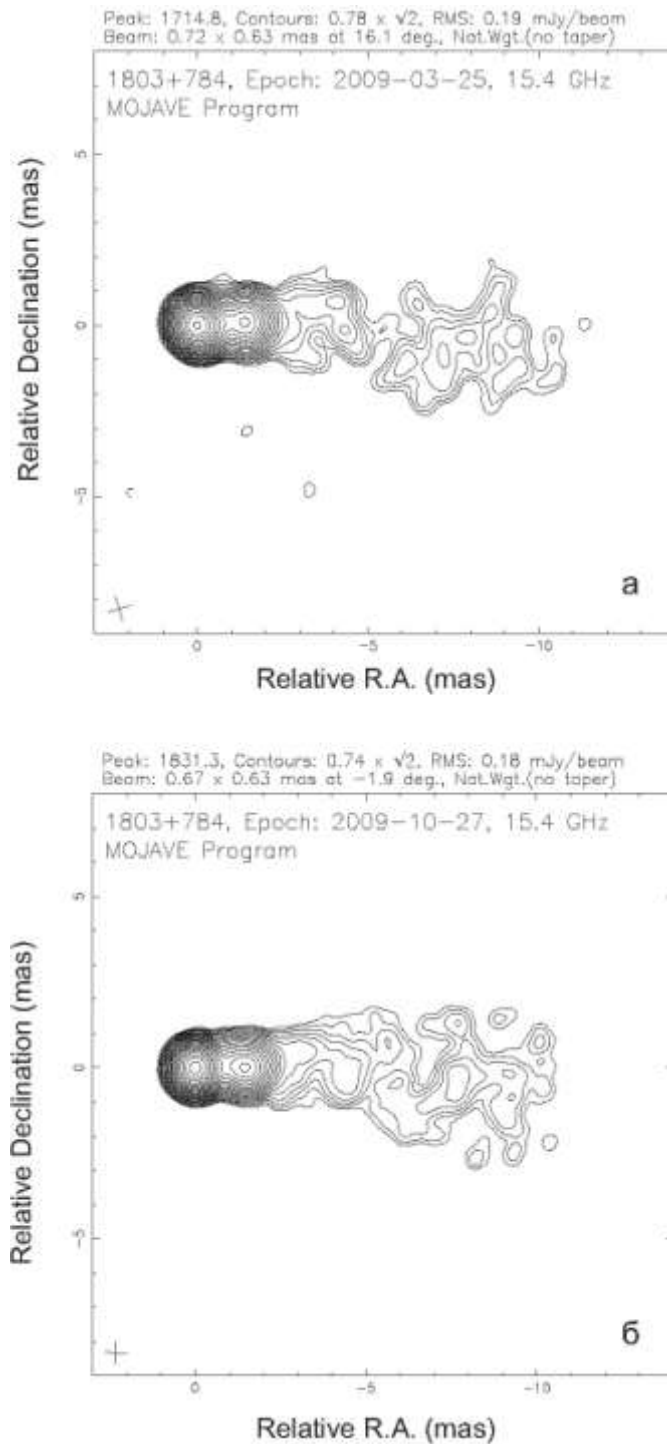


Рисунок 2.13 – Карты структуры источника, полученные в разные эпохи в программе VLBA MOJAVE на 15.4 ГГц [49].

Коррелированность вариаций в оптическом и радио диапазонах, а также близость характеристик переменности во всех диапазонах указывает на то, что в источнике доминирует внутренняя переменность.

Наблюдения и обработка результатов. Наблюдения радиоисточника J1800+7828 проводились ежедневно на Северном секторе РАТАН-600 с 15 мая по 15 октября 2009 г. одновременно на частотах 2.3, 4.85, 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц (154 дня).

Для обработки наблюдений использовался пакет программ, позволяющий получать как плотность потока индивидуального наблюдения источника, так и среднюю плотность потока за любой интервал внутри цикла наблюдений. В основу обработки положена оптимальная фильтрация исходных данных, подробно методика описана в [51, 52].

Источник наблюдался в составе выборки 35 источников с плоскими спектрами в области склонений $70^\circ - 88^\circ$ (J2000). Для учета изменения площади антенны с высотой источника над горизонтом, в указанном диапазоне склонений наблюдались 10 опорных источников. Основным калибровочным источником был J0410+7656, плотности потока которого на 2.3, 4.85, 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц приняты соответственно 4.36, 2.83, 2.16, 1.75 и 1.19 Ян. Диаграмма направленности антенны рассчитывалась для каждого источника с учетом склонения.

Наблюдения источника также проводились в 2010 г в течение 54 дней с 3 марта по 29 апреля для исследования возможных изменений характеристик переменности с течением времени.

Поиск переменности и определение ее параметров. Подробно методика поиска переменности описана в работе [53]. Методика использовалась нами для поиска переменности на масштабах времени больше суток для двух выборок в областях склонений $4^\circ - 6^\circ$ (B1950) [53] и $10^\circ - 12^\circ 30'$ (J2000) [54]. Её основные этапы следующие.

- Вначале проводилась фильтрация измеренных плотностей потоков испорченных всякого рода помехами (погодными условиями или техногенными) с использованием критерия Фишера.
- Затем была убрана долговременная переменность (аппроксимированная параболическим или линейным трендом) с характерными временами больше, чем длительность наблюдений.
- На всех частотах определялась средняя плотность потока источника в течение сета наблюдений.
- Характерные времена переменности грубо оценивались по виду структурных функций первого порядка (SF)
- Мы также рассчитали автокорреляционные (ACF) функции и по ним определили

более точно характерные времена переменности τ_{acf} .

- По виду АСФ можно определить не только характерное время, но и характеристики переменности, в частности, является ли процесс периодическим, представляет собой одну или несколько хаотических вспышек или может быть комбинацией этих процессов.
- Были построены также кросскорреляционные функции, по которым определено запаздывание максимумов на исследуемых частотах.

Результаты. На Рисунке 2.14 а, б, в слева приведены полученные на РАТАН-600 кривые блеска за период наблюдательного сета 2009 г. на частотах 21.7, 11.1 и 7.7 ГГц после вычитания линейных трендов связанных с долговременной переменностью. На всех этих частотах средняя плотность потока увеличивалась в течение всех наблюдений, на 21.7 ГГц от 2.7 до 3.1 Ян, на 11.1 от 2.45 до 2.65 и на 7.7 ГГц от 2.24 до 2.42 Ян. По наблюдениям в радиообсерватории Мичиганского университета на частоте 14.5 ГГц в начале 2008 г. наблюдалась вспышка с максимальной плотностью потока больше 3 Ян [44], плотность потока после вспышки уменьшалась до 2 Ян, с начала 2009 г. вновь начала увеличиваться. Наши наблюдения проходили на растущей части новой вспышки.

В средней и правой частях Рисунка 2.14 приведены структурные и автокорреляционные функции источника на частотах 21.7, 11.1 и 7.7 ГГц. Структурные функции и АСФ дают значимую циклическую переменность на этих частотах и ее отсутствие на более низких частотах. Точные τ_{acf} для каждой частоты получены оптимизацией АСФ. На частотах 21.7 ГГц и 11.1 ГГц характерное время вариаций $\tau_{acf} = 35$ дней с индексом модуляции $m = 6.5\%$ и $m = 3.2\%$. На частоте 7.7 ГГц $\tau_{acf} = 34$ дня с индексом $m = 2.1\%$. Кроме того, на 21.7 и 11.1 ГГц обнаруживается слабая переменная компонента (примерно в 5-7 раз меньшей амплитуды) с $\tau_{acf} = 11.5, 11.7$ дней.

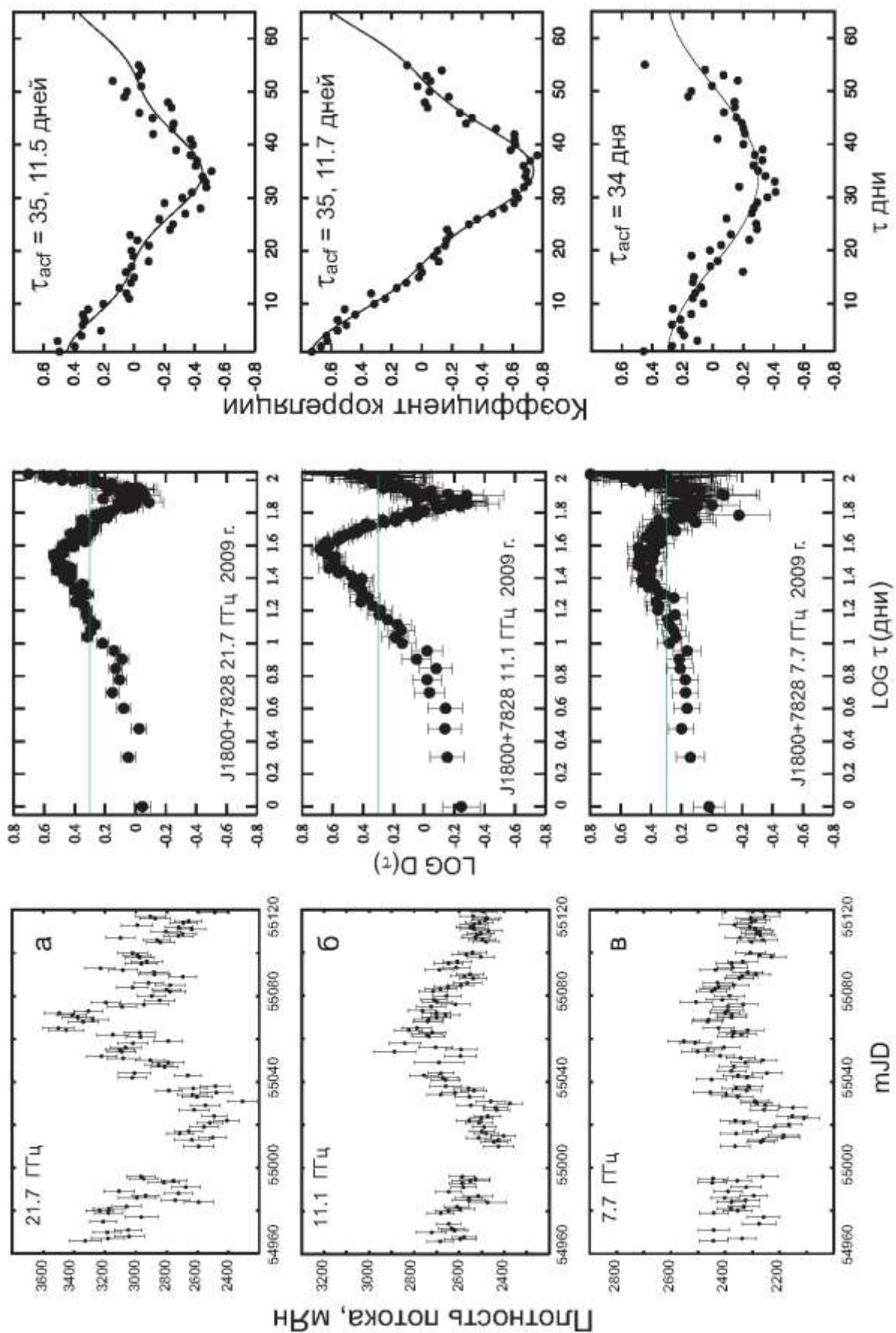


Рисунок 2.14 – Исследования блазара J0410+7656 на РАТАН-600: кривые блеска, структурные функции первого порядка (SF) и автокорреляционные функции (ACF)

На Рисунке 2.15 (а, б) показаны кросс-корреляционные функции между частотами 21.7-11.1 и 11.1-7.7 ГГц. Коэффициент корреляции между этими частотами равен 0.5. Аппроксимация кросс-корреляционных функций показала временные задержки развития процесса переменности между частотами. На частоте 11.1 ГГц максимум вариаций запаздывает на 3 дня по сравнению с частотой 21.7 ГГц, на частоте 7.7 ГГц процесс развивается позже на 4 дня по сравнению с частотой 11.1 ГГц.

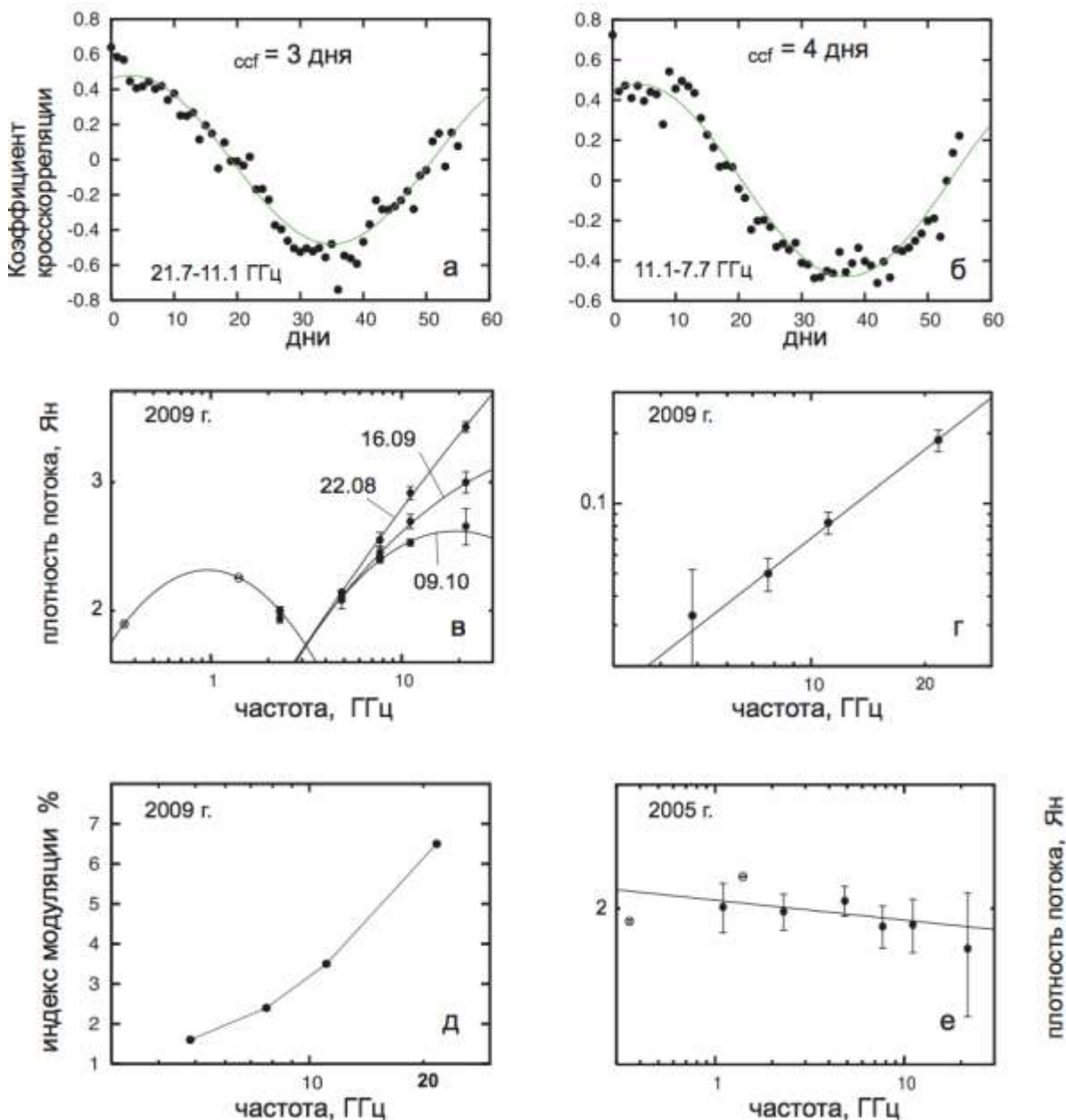


Рисунок 2.15 – Блазар J0410+7656: кросс-корреляционные функции, общий спектр и спектры переменной компоненты в разные эпохи (более подробно см. текст)

На Рисунке 2.15в приведены спектры в максимальной фазе активности 22.08.2009, после прохождения максимума 16.09.2009 и в конце сета 09.10.2009 г., когда плотность

потока была близка к минимальной. Плотности потока усреднены за 5-7 дней вокруг указанных дат для уменьшения ошибок. Темные кружки - одновременные наблюдения на частотах 2.3 - 21.7 ГГц. На частотах 4.85-21.7 ГГц спектр хорошо аппроксимируется логарифмической параболой. В максимальной фазе активности, максимум в спектре находится значительно выше исследуемого диапазона, по мере уменьшения плотности потока, максимум смещается в низкочастотную область, в конце наблюдений находится на 20 ГГц.

Привлечение данных обзора WENSS на 0.352 ГГц [58] и NVSS на 1.4 ГГц [59] (светлые кружки) показывает наличие еще одной более низкочастотной компоненты. Мы аппроксимировали данные 0.352-2.3 ГГц параболой с максимумом примерно 1 ГГц, для более точной аппроксимации требуются одновременные наблюдения и на частотах ниже 2.3 ГГц.

На Рисунке 2.15г - спектр стандарта переменной составляющей σ_{var}^2 источника. Плотность потока растет к высоким частотам, спектр хорошо аппроксимируется прямой $\sigma_{\text{var}}^2 = 3.8\nu^{1.27}$. Индекс модуляции также растет с ростом частоты (Рисунок 2.15д). На этих рисунках мы привели также данные на 4.85 ГГц, хотя уровень значимости параметров переменности на этой частоте ниже принятых нами критериев.

В августе 2005 г. проводились наблюдения источника на РАТАН-600 на частотах 1.1 - 21.7 ГГц [60], в это время источник по данным радиообсерватории Мичиганского университета находился в минимальной фазе долговременной активности. Полученный мгновенный спектр, построенный по данным [60], падающий с $\alpha = 0.028$, в диапазоне 0.325 - 21.7 ГГц близок к плоскому со средней плотностью потока около 1.9 Ян. (Рисунок 2.15е).

В наблюдениях 2010 г. переменность процесса не удовлетворяет принятым критериям, уровень значимости процесса меньше 5%.

По данным, полученным на РАТАН-600, плотность потока на 2.3 ГГц с 2005 по 2010 гг. практически не изменилась, интегральная плотность потока в 2009 г. на 21.7 ГГц в 1.7 раза выше чем в 2005 г.

Наиболее вероятная модель обнаруженной переменности - распространение ударной волны в джете радиоисточника [61, 62]. Для этой модели типична временная шкала от нескольких недель до нескольких месяцев, а также запаздывание максимума по мере уменьшения частоты. Кроме того, на этот механизм указывает растущий спектр переменной компоненты, динамика изменения интегрального спектра - смещение максимума в низкочастотную область после прохождения максимума плотности потока.

В этом случае видимые линейные размеры излучающей области $R \sim \tau_{acf} \sim 6000$ а.е., угловые $4.8 \mu s$, яркостная температура $2.3-4.8 \times 10^{14}$, доплер-фактор $D=6-7.8$ на частотах 21.7 - 7.7 ГГц.

Таким образом, в результате проведенных на РАТАН-600 154 дневных ежедневных наблюдений J1800+7828 на частотах 21.7, 11.1 и 7.7 ГГц:

- Обнаружены циклические вариации с характерными временами $\tau = 34-35$ дней, которые наблюдались на фоне роста плотности потока долговременной переменности;
- Получен спектр стандарта переменной составляющей, растущий к высоким частотам с $\alpha \sim 1.3$. Индекс модуляции также растет с увеличением частоты;
- Обнаружена задержка максимумов плотности потока между частотами 21.7-11.1 и 11.1-7.7 ГГц соответственно в 3 и 4 дня, что позволяет оценить Лоренц фактор $\gamma = 39-43$.
- Угол θ между лучом зрения и джетом составляет $\sim 2^\circ$.
- Яркостная температура T_b в максимуме блеска составляет $2.3-5 \times 10^{14}$ К в диапазоне 21.7-7.7 ГГц, что соответствует Допплер фактору $\delta = 6-8$ по комптоновскому пределу.
- Полученные спектры в разных фазах активности показывают продвижение максимума в спектре в низкочастотную область с уменьшением плотности потока на кривой блеска. Привлечение низкочастотных данных на 0.352 и 1.4 ГГц показывает наличие второй, более низкочастотной компоненты.
- Обращает на себя внимание удивительное сходство характеристик излучающих областей блазаров J1800+7828 и J0721+7120. В J0721+7120 Лоренц фактор лежит в диапазоне $\gamma = 34-50$, угол между лучом зрения и джетом $\sim 2^\circ$, временные задержки между частотами в радиодиапазоне 3-6 дней [53, 63], что практически совпадает с аналогичными параметрами J1800+7828. Кроме того, в обоих источниках близкие характерные времена вариаций и растущие спектры переменных компонент.
- Полученные данные подтверждают, что переменность блазара J1800+7828 вызвана нестационарными процессами в самом источнике, наиболее близкая к наблюдениям модель – ударная волна в джете радиоисточника.

2.2.4. Мониторинг радиопеременности микроквazarов – галактических рентгеновских двойных звезд со струйными выбросами.

Струйные явления в космосе – одна из самых горячих тем в современной астрофизике. Четкая связь «аккреция на черную дыру – аккреционный диск – струя» находит подтверждение в звездных двойных системах, активных ядрах галактик и даже коллапсирующих сверхновых, являющихся причиной длинных гамма-вспышек в далеких галактиках. Вспышечная активность микроквazarов, которая является индикатором процесса формирования струйных выбросов, позволяет понять механизм возникновения нетеплового радиоизлучения струйных выбросов в рентгеновских двойных системах на основе многочастотного мониторинга переменности микроквazarов.

Измерения мгновенных спектров радиоизлучения микроквazarов на частотах от 2 до 30 ГГц с помощью комплекса радиометров континуума радиотелескопа РАТАН-600 в режиме ежедневного мониторинга являются основой для наблюдений микроквazarов в других диапазонах, в особенности в рентгеновском диапазоне и РСДБ системах, не задействованных в мониторинге (Chandra, INTEGRAL, GLAST, VLA, MERLIN, NMA, eVLBI и др). В мировой астрономии существует широкая кооперация по исследованию микроквazarов во всем электромагнитном спектре от радиоволн до гамма-диапазона сверхвысоких энергий. В нескольких совместных исследованиях, проведенных в последние годы удалось обнаружить некоторые новые явления в микроквazарах – яркие вспышки с длительностью несколько часов, рост оптической толщи на низких частотах по мере развития вспышек, плоский спектр вспышек от 1 до 110 ГГц, корреляция жесткого рентгена и радиопотока и др. В 2009 г. на основе такого сотрудничества сделано открытие вспышечного гамма-излучения на спутнике AGILE [63]. В 2010 г. тесная корреляция между этим вспышечным гамма-излучением и радиовспышками и активностью в рентгеновском диапазоне была четко подтверждена [64].

Особое внимание микроквazarы заслужили после недавнего открытия высокоэнергетического гамма-излучения в диапазоне ТэВ-ных энергий от четырех (LS5039, Cyg X-1, LSI+61d303 и Cir X-1). Признается, что это излучение связано со струйной активностью микроквazarов, и таким образом обнаружение ТэВ-ного излучения от других микроквazarов вопрос времени и требует только координированных программ наблюдений в периоды мощной активности. Следует отметить, что во многих микроквazарах струи мощных релятивистских истечений возникают нерегулярно, а их лучшим индикатором является переменное (вспышечное) синхротронное радиоизлучение. Поэтому остается важнейшей задачей обнаружение многих микроквazarов в области сверхвысоких энергий с помощью Черенковских телескопов MAGIC (Испания) и HESS

(Намибия) в период сильных радиовспышек. На Рисунок 2.16 представлен пример таких кооперативных исследований микроквazarов.

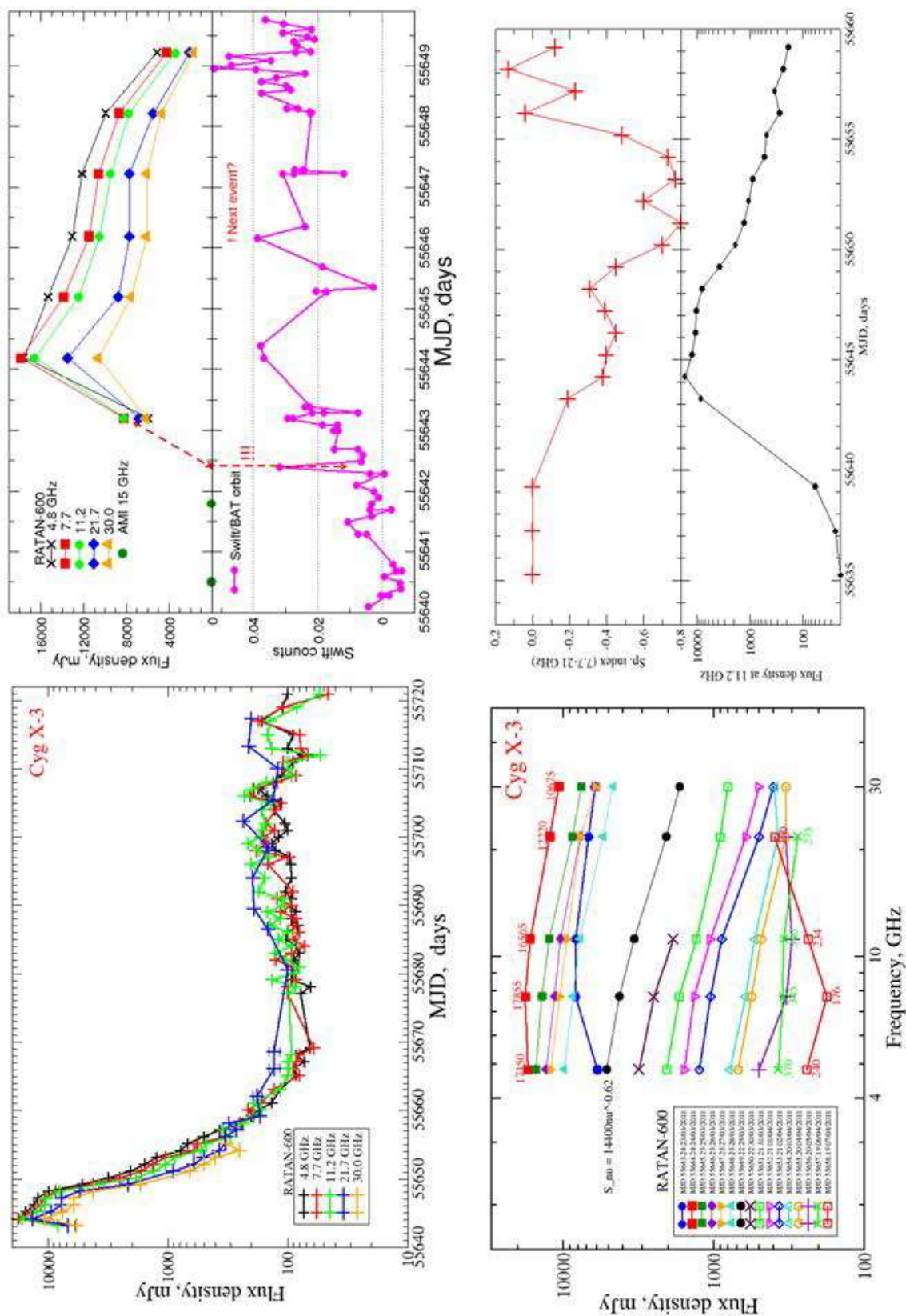


Рисунок 2.16 – Гигантская вспышка Cyg X-3 в марте-апреле 2011 г.: плотность потока в радиодиапазоне возросла, более чем на 2 порядка!

Анализ результатов подобных исследований позволяет установить связь активности в разных частотных диапазонах. Рисунок 2.17 иллюстрирует модель, полученную на основе наблюдений в диапазоне радио-рентген. Показано, что в течение вспышки спектр постепенно становился круче и спектральный индекс (11-22 ГГц) менялся от нуля до значения -0.8 , потом спектр снова возвращался к нулевому значению в спокойном состоянии. Не вызывает сомнений, что эта вспышка связана с переходом двойной системы от гипермягкого к жесткому рентгеновскому состоянию. Эта вспышка развивалась по "классической" схеме – излучение сначала упало до уровня 10-30 мЯн, а затем вспыхнуло до 17 Ян, спектр эволюционировал от оптически толстого (короткий плотный джет) до оптически тонкого в максимуме и за ним (длинный и разреженный джет).

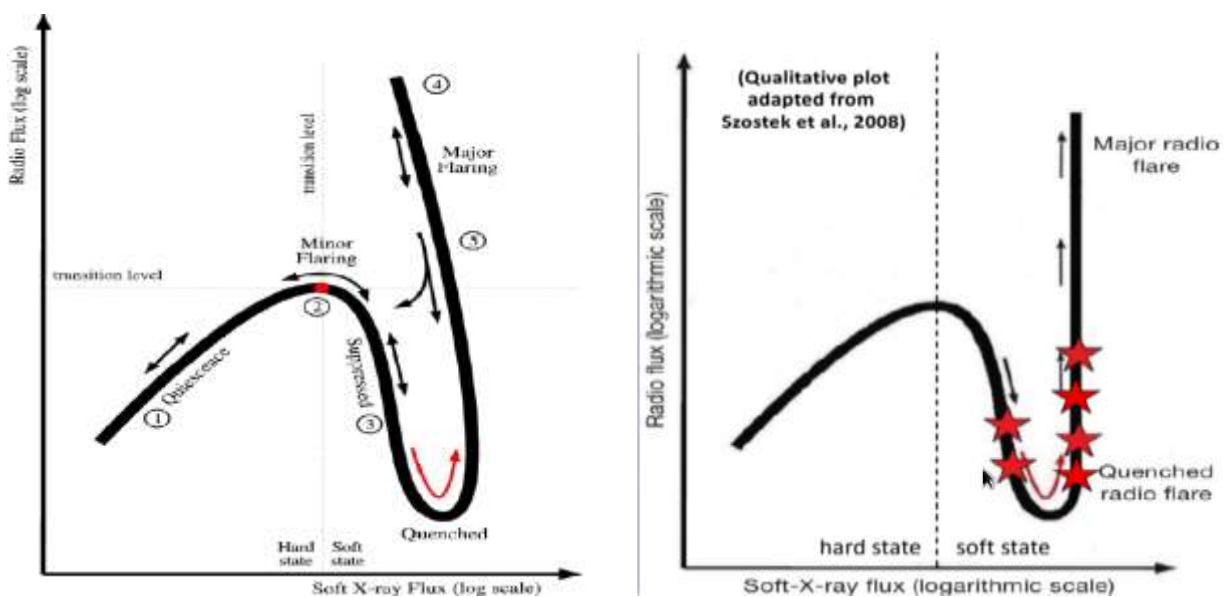


Рисунок 2.17 – Вспышечный трек Cyg X-3 на плоскости радио-мягкий рентген

В 2011 г. и летом 2012 г. зарегистрировали несколько ярких вспышечных событий от микроквара SS433. Анализ спектроскопических оптических наблюдений SS433 во время мощной радиовспышки удалось обнаружить быстрый рост скорости струй от обычного значения 0.26c до 0.29c, при этом удалось выделить сильно переменную компоненту оптического излучения, идущую от диска аккреции. Таким образом, впервые удалось «увидеть» связь массивной инъекции вещества в струи и кардинальную перестройку внешних областей аккреционного диска в SS433. Такие исследования позволяют определить природу излучения струйных выбросов, сделать оценки инжектированной массы, определить магнитное поле в струях и пр. На Рисунке 2.18 представлены кривые блеска и полученный Фурье-спектр, который позволил выделить прецессионный период.

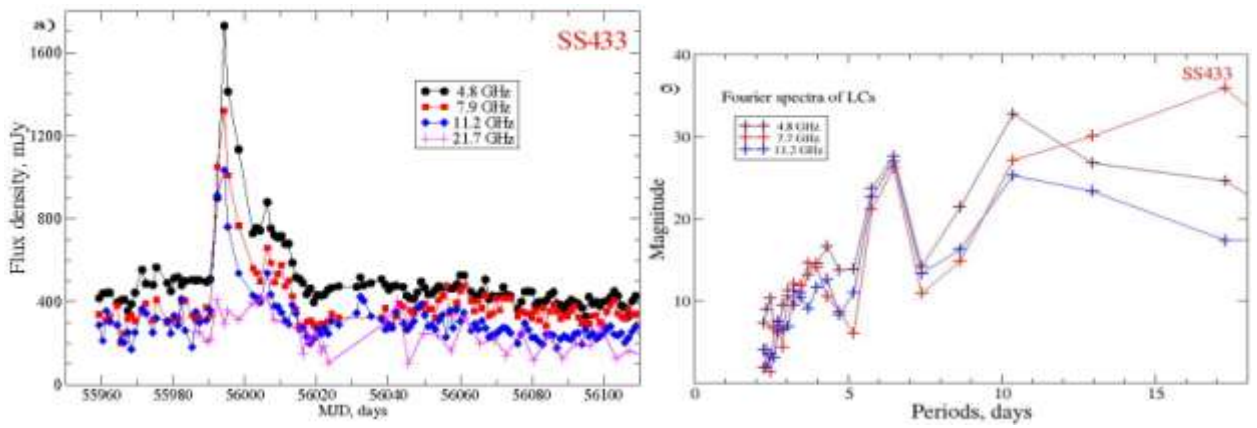


Рисунок 2.18 – SS433: кривые блеска и Фурье спектр по наблюдениям на РАТАН-600 в 2011 г.

Более подробные о исследованиях микроквазаров с использованием УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» представлены в соответствующих публикациях [65-69].

3 Разработка руководства пользователя по прогнозу солнечной активности

В ходе выполнения работ по госконтракту разработано Руководство пользователя по прогнозу солнечной активности (Приложение А).

Они позволяют пользователям самостоятельно проводить соответствующие исследования.

Материалы по прогнозу солнечной активности представлены в открытом доступе на сайте Обсерватории <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/db.html> и представляют дружественный интерфейс, позволяющий использовать практически весь доступный наблюдательный материал (от наземных инструментов до космических аппаратов) для исследования Солнца.

4.. Разработка руководства пользователя по мониторингу электромагнитного «загрязнения».

В ходе выполнения работ по госконтракту разработано Руководство пользователя по мониторингу электромагнитного «загрязнения» (Приложение Б).

Они позволяют пользователям самостоятельно проводить соответствующие исследования.

Аппаратура мониторинга электромагнитного «загрязнения» находится в штатной эксплуатации на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600». Она используется, как для оперативной оценки помеховой обстановки, так и для пост-редукции наблюдательных данных. Также опыт мониторинга и борьбы с помехами эффективно используется при разработке новых приемно-измерительных комплексов: анализ частотного диапазона основных помех – при выборе центральной полосы новых радиометров; методы борьбы с помехами – при разработке новых схем радиометров.

5 Обеспечение проведения исследований для сторонних организаций с использованием УСУ

Ниже перечислены организации-пользователи УСУ РАТАН-600 с указанием темы сотрудничества. На 4 этапе количество пользователей УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» составило 6 организаций; всего в 2012 г. – 14 организаций (по плану на год – должно быть 10 организаций).

Ниже приведен список пользователей установки и основные наблюдательные задачи, которые решались ими на УСУ:

- 1) Главная астрономическая обсерватория РАН – 1) Исследование особенностей микроволнового излучения АО накануне мощных эруптивных событий; 2) Мониторинг солнечной активности.
- 2) Института солнечно-земной физики СО РАН – Динамические процессы в солнечной атмосфере и нестационарные явления в около-земном космическом пространстве.
- 3) Гос. астрономический институт им. Штернберга Московского гос. университета – Исследование активности ядер внегалактических источников радиоизлучения в широком диапазоне временных масштабов.
- 4) Институт прикладной физики РАН – Проведение исследований по поиску циклотронных линий в спектрах поляризованного излучения активных областей.
- 5) Астро-космический центр Физического института РАН – Исследование центральных областей ядер активных галактик.
- 6) Институт радиоастрономии им. М.Планка (Max-Planck-Institute für Radioastronomie) – Исследование центральных областей ядер активных галактик.
- 7) Национальная Радиоастрономическая Обсерватория (NRAO) – Исследование центральных областей ядер активных галактик.
- 8) Национальное космическое агентство (NASA GSFC) – Исследование центральных областей ядер активных галактик.
- 9) Рабочая группа по точечным внегалактическим источникам (Planck Extragalactic Point Sources Working Group, WG 6) – Bright Sources Monitoring during Planck Mission.
- 10) Смитсоновская астрофизическая обсерватория (Smithsonian Astrophysical Observatory) – Мониторинг радиопеременности микроквazarов – галактических рентгеновских двойных звезд со струйными выбросами.
- 11) Институт Нильса Бора (Niels Bohr Institute) – исследование фоновых излучений Вселенной по программе «Генетический Код Вселенной».

- 12) Международная школа космических наук (International School of Space Science, CIFS) – Мониторинг радиопеременности микроквazarов – галактических рентгеновских двойных звезд со струйными выбросами.

Список пользователей с более детальной информацией, как за 4-ый этап, так и за весь 2012 г. приведен в отдельной форме (Приложение 18.6).

Обеспечение проведения исследований для сторонних организаций с использованием УСУ включает в себя:

- 1) проведение наблюдений в соответствии с «Расписанием наблюдений на РАТАН-600» (ПРИЛОЖЕНИЕ В, ПРИЛОЖЕНИЕ Г):
 - подготовка расписания с недельным заданием на установку антенны;
 - подготовка расписания с недельным заданием на приемно-измерительные комплексы;
 - установка антенны радиотелескопа в соответствии с недельным расписанием;
 - подготовка приемно-измерительных комплексов в соответствии с недельным расписанием.
- 2) Архивизация наблюдательных данных, поступающих с приемно-измерительных комплексов.
- 3) Организация удаленного доступа заявителя программы к экспериментальным данным.

В отчетный период завершена работа по приему заявок на следующее полугодие (1-ое полугодие 2013 г.). Проведена техническая экспертиза поступивших заявок и подготовлены предложения к Заседанию КТБТ (16-19 октября 2012 г.). Распределение наблюдательного времени на период январь-июнь 2013 г. утверждено соответствующим Решением КТБТ; на основании этого в настоящее время формируется Расписание наблюдений на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600», которое будет представлено на сайте Обсерватории – <http://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/>.

Подавляющее большинство заявителей (сторонние пользователи) даже не присутствуют на радиотелескопе в период выполнения их программы. На период выполнения такой программы стороннему пользователю открывается авторизованный доступ к архиву его наблюдательных данных.

В соответствии с "Положением об Архиве наблюдательных данных САО РАН" исключительное авторское право использования данных Архива, содержащих информацию об астрофизических объектах, в течение 2 лет после выполнения

наблюдений принадлежит заявителям наблюдательной программы (http://www.sao.ru/Doc-k8/Science/arch_regul.html).

Более подробная информация о проводимых наблюдениях и некоторых результатах представлена в Разделе 2 настоящего Отчета. В разделе 5 представлены результаты по расширению наблюдательных возможностей (создание новых радиометров, повышение чувствительности) для обеспечения проведения исследований для сторонних организаций с использованием УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600».

Для совершенствования методов юстировки радиотелескопа совместно с компанией «Нева Технолоджи» был проведен цикл геодезических исследований с использованием новых методов и новых измерительных приборов. Актуальность таких работ обусловлена необходимостью:

- **Поддержания** высокой точности отражающей поверхности антенны. Со временем точность антенны падает вследствие механических нагрузок при эксплуатации и из-за воздействия термических эффектов. Например, перепад температур «день-ночь» в весенние месяцы может достигать до 15-25 градусов Цельсия!
- Поиска возможных вариантов **повышения** точности отражающей поверхности антенны. Повышение точности отражающей поверхности антенны может позволить расширить частотный диапазон радиотелескопа в сторону более высоких частот (или более коротких длин волн).
- Уменьшения времени на проведение плановых работ по юстировке антенны. Обычно каждый сектор радиотелескопа юстируется 1-2 раза в год; проведение таких работ методами классической геодезии требует большого антенного времени, что, естественно, уменьшает время на проведение астрофизических исследований.
- Уменьшения времени на измерения мест «нулей» и кинематических поправок элементов главного зеркала антенны. Напомню, что главное зеркало состоит из 895 элементов, которые перемещаются по трем независимым координатам (радиус, азимут и угол места); таким образом, необходимо измерять около 3000 мест «нулей».

Использовались три различных современных прибора: Трехмерный лазерный сканер высокой точности Surphaser, Система контроля и позиционирования iSpace и Лазерный трекер Leica AT401. Измерения проводились на вторичном зеркале № 1 (Облучатель 1). Среднеквадратичное отклонение получилось – 0.37, 0.45 мм и 0.3 мм, соответственно. Очевидно, что точность измерений с Leica AT401 выше, однако измерения двумя другими приборами осуществляется в 5-10 раз быстрее. На Рисунке 4.1 приведены результаты этих измерений.

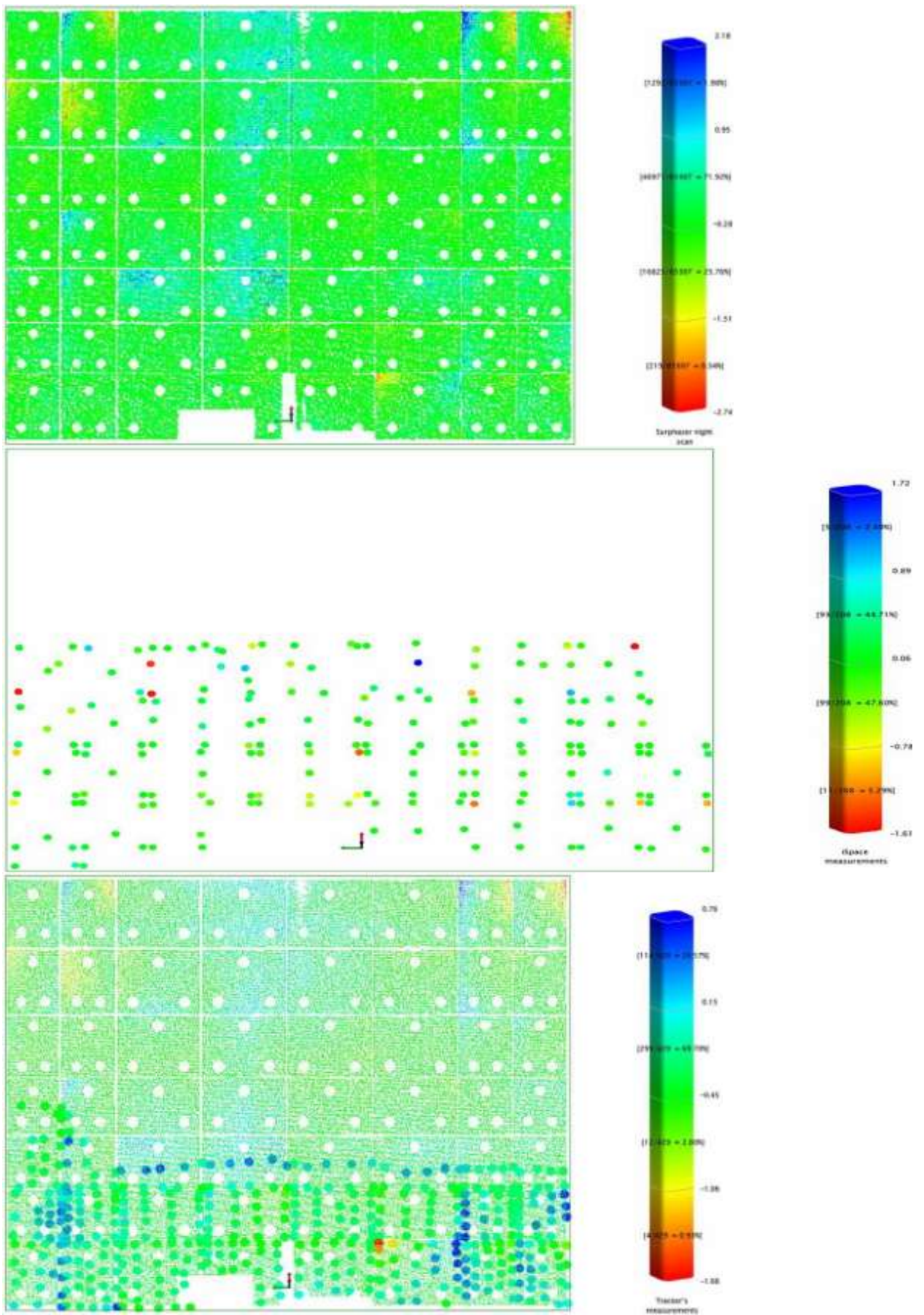


Рисунок 4.1 – Результаты измерений поверхности Облучателя 1: верхняя панель – Surphaser, средняя – iSpace и нижняя – AT401

6 Обобщение, оценка и разработка рекомендаций об использовании полученных результатов

В результате выполнения работ по контракту:

Проведен аналитический обзор и анализ современной научной литературы и обоснование разработки новых методик; разработаны новые методики наблюдений на УСУ; завершены испытания и внедрение в эксплуатацию новых методик наблюдений на УСУ. Разработаны соответствующие руководства пользователей по использованию этих методик: «Руководство пользователя по прогнозу солнечной активности» и «Руководство пользователя по мониторингу электромагнитного «загрязнения».

Проведены наблюдения и обработка данных для получения новой информации в исследовании Вселенной (Солнца, галактических и внегалактических объектов, эффекта Сюняева-Зельдовича, поиск флуктуаций микроволнового фонового излучения). Совместные исследования в разных частотных диапазонах по программе мониторинга радиопеременности микроквazarов позволила установить связь активности в разных частотных диапазонах; удалось обнаружить некоторые новые явления в микроквazарах – яркие вспышки с длительностью несколько часов, рост оптической толщи на низких частотах по мере развития вспышек, плоский спектр вспышек от 1 до 110 ГГц, корреляция жесткого рентгена и радиопотока. Получены новые спектральные данные и параметры переменности объектов типа BL Lacertae и GPS (источники с гигагерцовым пиком в спектре): по результатам многочастотного мониторинга активных ядер галактик получена зависимость разных подклассов объектов типа BL Lacertae (HBLs – высокая пиковая частота, LBLs - низкая, IBLs – промежуточная) от красного смещения; обнаружено статистически значимое различие для GPS-галактик и GPS-квazarов. В исследованиях эффекта Сюняева-Зельдовича в скоплении Abell 2319 получена предварительная эффекта в поляризации. В исследованиях переменности активных галактических ядер на масштабах времени от нескольких дней до нескольких недель получены характерные времена переменности и предложены методы разделения физических причин переменности. В рамках программы исследований центральных областей ядер активных галактик (АЯГ) был подготовлен каталог объектов для космического проекта РАДИОАСТРОН; в настоящее время совместные исследования АЯГ.

Разработана Программа развития УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600».

Проведены патентные исследования.

Обеспечено проведение исследований для сторонних организаций на УСУ РАТАН-600 в соответствии с Решениями КТБТ (Расписание наблюдений представлено на сайте САО РАН <http://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/>).

Проведены мероприятия по дооснащению УСУ.

По результатам исследований на радиотелескопе РАТАН-600 подготовлены и опубликованы научные статьи в ведущих реферируемых российских и зарубежных изданиях, представлены доклады на конференциях.

Проведена модернизация приемно-измерительных комплексов Облучателей 1 и 2 (внедрение новой системы сбора и регистрации данных, новый трехчастотный комплекс, новые схемные решения радиометров)

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/>), а также на сайте <http://www.spbf.sao.ru/prognoz>.

По результатам исследований на УСУ РАТАН-600 подготовлены и опубликованы статьи в ведущих российских и зарубежных изданиях.

Завершены испытания новых методик наблюдений на УСУ. Методика контроля электромагнитного загрязнения введена в штатную эксплуатацию и эффективно используется, как при проведении наблюдений, так и при разработке новых приемно-измерительных комплексов. Использование новых методик наблюдений и разрабатываемой аппаратуры позволяет повысить чувствительность, временное разрешение и сократить время для накопления сигнала от слабых объектов.

Анализ заявок на наблюдательное время на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» показывает, что их количество превышает потенциально возможное время в 2-3 раза. В рамках НИР показана необходимость развития наблюдательного комплекса УСУ РАТАН-600, разработки методики мониторинга помех и борьбы с ними для обеспечения наблюдательных программ по исследованию Вселенной. Разработанные методики на УСУ РАТАН-600 позволят обеспечивать высокоэффективные научные исследования, сопоставимые по уровню с лучшими мировыми образцами.

Представленные в Отчете 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.

По результатам исследований на УСУ РАТАН-600 подготовлены и опубликованы статьи в ведущих российских и зарубежных изданиях.

Завершены испытания новых методик наблюдений на УСУ. Методика контроля электромагнитного загрязнения введена в штатную эксплуатацию и эффективно используется, как при проведении наблюдений, так и при разработке новых приемно-измерительных комплексов.

В рамках НИР показана необходимость развития наблюдательного комплекса УСУ РАТАН-600, разработки методики мониторинга помех и борьбы с ними для обеспечения наблюдательных программ по исследованию Вселенной. Разработанные методики на УСУ РАТАН-600 позволят обеспечивать высокоэффективные научные исследования, сопоставимые по уровню с лучшими мировыми образцами.

6 Обобщение, оценка и разработка рекомендаций об использовании полученных результатов

В результате выполнения работ по контракту:

Проведен аналитический обзор и анализ современной научной литературы и обоснование разработки новых методик; разработаны новые методики наблюдений на УСУ; завершены испытания и внедрение в эксплуатацию новых методик наблюдений на УСУ. Разработаны соответствующие руководства пользователей по использованию этих методик: «Руководство пользователя по прогнозу солнечной активности» и «Руководство пользователя по мониторингу электромагнитного «загрязнения».

Проведены наблюдения и обработка данных для получения новой информации в исследовании Вселенной (Солнца, галактических и внегалактических объектов, эффекта Сюняева-Зельдовича, поиск флуктуаций микроволнового фонового излучения). Совместные исследования в разных частотных диапазонах по программе мониторинга радиопеременности микроквazarов позволила установить связь активности в разных частотных диапазонах; удалось обнаружить некоторые новые явления в микроквazарах – яркие вспышки с длительностью несколько часов, рост оптической толщи на низких частотах по мере развития вспышек, плоский спектр вспышек от 1 до 110 ГГц, корреляция жесткого рентгена и радиопотока. Получены новые спектральные данные и параметры переменности объектов типа BL Lacertae и GPS (источники с гигагерцовым пиком в спектре): по результатам многочастотного мониторинга активных ядер галактик получена зависимость разных подклассов объектов типа BL Lacertae (HBLs – высокая пиковая частота, LBLs - низкая, IBLs – промежуточная) от красного смещения; обнаружено статистически значимое различие для GPS-галактик и GPS-квazarов. В исследованиях эффекта Сюняева-Зельдовича в скоплении Abell 2319 получена предварительная эффекта в поляризации. В исследованиях переменности активных галактических ядер на масштабах времени от нескольких дней до нескольких недель получены характерные времена переменности и предложены методы разделения физических причин переменности. В рамках программы исследований центральных областей ядер активных галактик (АЯГ) был подготовлен каталог объектов для космического проекта РАДИОАСТРОН; в настоящее время совместные исследования АЯГ.

Разработана Программа развития УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600».

Проведены патентные исследования.

Обеспечено проведение исследований для сторонних организаций на УСУ РАТАН-600 в соответствии с Решениями КТБТ (Расписание наблюдений представлено на сайте САО РАН <http://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/>).

Проведены мероприятия по дооснащению УСУ.

По результатам исследований на радиотелескопе РАТАН-600 подготовлены и опубликованы научные статьи в ведущих реферируемых российских и зарубежных изданиях, представлены доклады на конференциях.

Проведена модернизация приемно-измерительных комплексов Облучателей 1 и 2 (внедрение новой системы сбора и регистрации данных, новый трехчастотный комплекс, новые схемные решения радиометров)

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/>), а также на сайте <http://www.spbf.sao.ru/prognoz>.

По результатам исследований на УСУ РАТАН-600 подготовлены и опубликованы статьи в ведущих российских и зарубежных изданиях.

Завершены испытания новых методик наблюдений на УСУ. Методика контроля электромагнитного загрязнения введена в штатную эксплуатацию и эффективно используется, как при проведении наблюдений, так и при разработке новых приемно-измерительных комплексов. Использование новых методик наблюдений и разрабатываемой аппаратуры позволяет повысить чувствительность, временное разрешение и сократить время для накопления сигнала от слабых объектов.

Анализ заявок на наблюдательное время на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» показывает, что их количество превышает потенциально возможное время в 2-3 раза. В рамках НИР показана необходимость развития наблюдательного комплекса УСУ РАТАН-600, разработки методики мониторинга помех и борьбы с ними для обеспечения наблюдательных программ по исследованию Вселенной. Разработанные методики на УСУ РАТАН-600 позволят обеспечивать высокоэффективные научные исследования, сопоставимые по уровню с лучшими мировыми образцами.

Представленные в Отчете 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.

По результатам исследований на УСУ РАТАН-600 подготовлены и опубликованы статьи в ведущих российских и зарубежных изданиях.

Завершены испытания новых методик наблюдений на УСУ. Методика контроля электромагнитного загрязнения введена в штатную эксплуатацию и эффективно используется, как при проведении наблюдений, так и при разработке новых приемно-измерительных комплексов.

В рамках НИР показана необходимость развития наблюдательного комплекса УСУ РАТАН-600, разработки методики мониторинга помех и борьбы с ними для обеспечения наблюдательных программ по исследованию Вселенной. Разработанные методики на УСУ РАТАН-600 позволят обеспечивать высокоэффективные научные исследования, сопоставимые по уровню с лучшими мировыми образцами.

7 Проведение мероприятий по дооснащению УСУ.

7.1. Приобретение оборудования.

В рамках мероприятий по дооснащению УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» было приобретено:

Встраиваемые промышленные компьютеры NISE-3500M (9 штук) для систем контроля, управления и сбора данных для всех приемно-измерительных комплексов радиотелескопа РАТАН-600. В настоящее время на трех Облучателях (вторичных зеркалах) работает пять приемно-измерительных комплексов. Приобретенные компьютеры работают в качестве серверов на всех приемно-измерительных комплексах (управление радиометрами, регистрация и архивизация наблюдательных данных).

Баллоны для транспортировки и хранения газов под высоким давлением (до 150 атм.) в количестве 12 штук. Жидкий гелий используется при разработке и эксплуатации криогенных радиометров сантиметрового диапазона (1.38, 2.7, 3.9 и 6.2 см) радиотелескопа РАТАН-600.

Были выполнены работы по выбору блок-схемы двухчастотного (18.5-21.5 ГГц и 27.5 -32.5 ГГц) криогенного радиометра для радиотелескопа РАТАН-600. Предлагается выполнить объединенный двухчастотный малошумящий криоблок (LNB = Low Noise Block), т.е. в одном криоблоке 4 радиометрических тракта. Первичные скалярные облучатели располагаются в одну линию, вплотную друг к другу, с расположением в центре трактов более короткой волны. Разработано Техническое задание на этот радиометр. Заключен договор на поставку одного частотного канала криогенного двухчастотного радиометра для радиотелескопа РАТАН-600 с Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ). На Рисунке 5.1 представлена блок-схема входных частей этого радиометра. На приобретение данного прибора была израсходована сумма 1113044.6 (один миллион сто тринадцать тысяч 44) рублей из средств финансирования государственного контракта 16.518.11.7062. Однако общая стоимость составляет 5 875 778 (пять миллионов восемьсот семьдесят пять тысяч семьсот семьдесят восемь) рублей. В рамках выполнения этой работы было принято решение от перехода на новую систему охлаждения. А именно, новые радиометры охлаждать на современных устройствах CRYOTIGER: это компактное, высокотехнологичное устройство для охлаждения и поддержания температуры на нужном уровне до 70 К без смены хладагента; потребление энергии примерно на 1 порядок меньше, чем у сегодня используемых микро-

криогенных систем (МКС); заметно лучше эксплуатационные характеристики (уровень шума, время выхода на режим и др.). В настоящее время приобретено два комплекта МКС CRYOTIGER на общую сумму более 1.9 млн.руб.

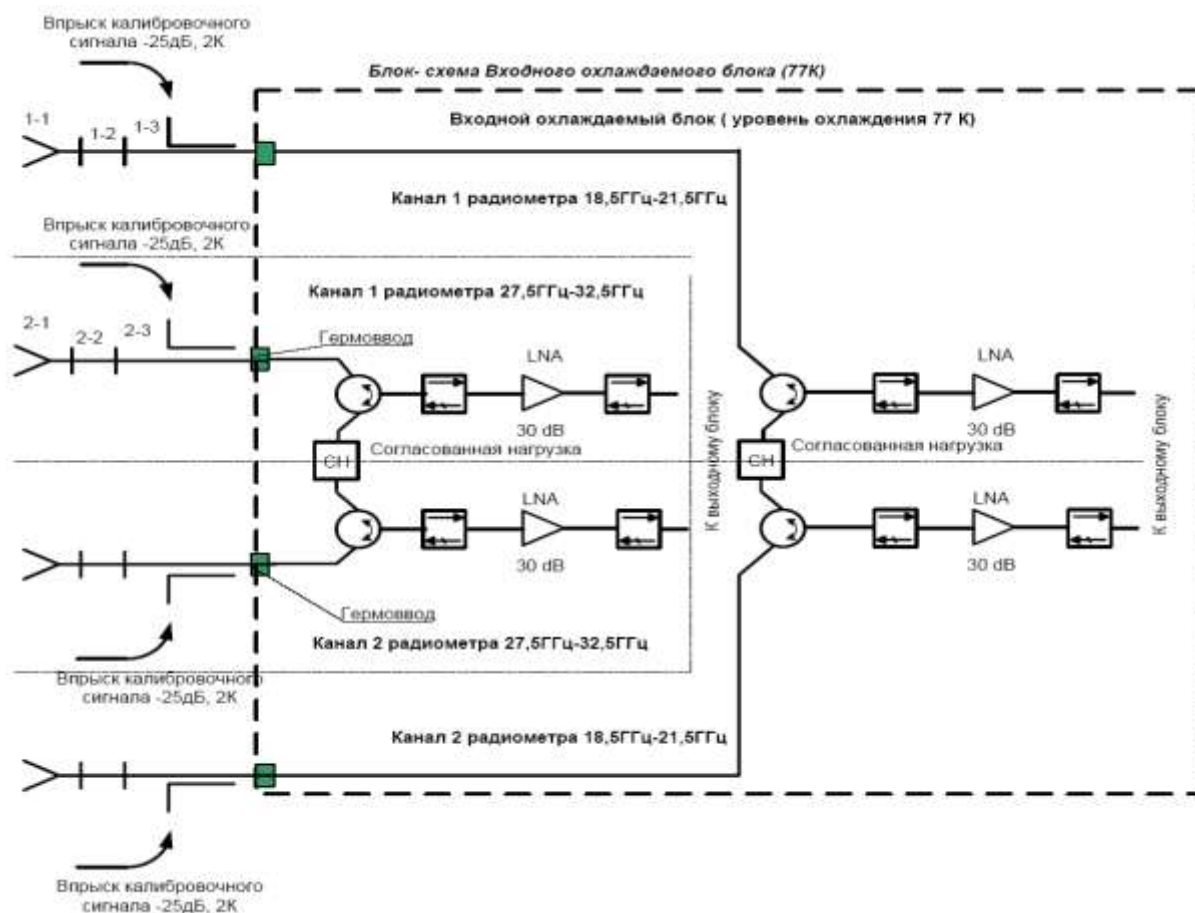


Рисунок 5.1 – Блок-схема входных частей двухчастотного блока

В подтверждение осуществления данного мероприятия среди отчетных документов представлены: приложение 20 (Перечень материальных ценностей) и копия договора с поставщиком на закупку оборудования.

7.2. Модернизация приемно-измерительных комплексов.

В рамках проведения мероприятий по дооснащению УСУ была проведена модернизация комплекса радиометрической аппаратуры для фоновых исследований в континууме на Облучателе № 2 (фокальная линия с входными трактами показана на Рисунке 5.2):

- 1) Введен в штатную эксплуатацию трехчастотный приемный комплекс «Эридан» ($\nu = 4.8, 11, 22$ ГГц; чувствительность $\approx 3-5$ мК/с^{-1/2}); на Рисунке приведена фокальная с радиометрами Облучателя № 2;



Рисунок 5.2 – Фокальная линия Облучателя № 2. Слева направо: трехчастотный комплекс «Эридан», юстировочный комплект, система MAPS

- 2) Введена в штатную эксплуатацию новая Система сбора данных и управления РАТАН-600 для проведения радиоастрономических наблюдений в континууме. Одним из «строительных блоков» системы является разработанная на РАТАН-600 *встраиваемая радиометрическая система сбора данных — ER-DAS (Embedded Radiometric Data Acquisition System)*. Это измерительная система, предназначенная для оцифровки и обработки сигналов радиометров и передачи результата по сетям Ethernet; обладает низким уровнем собственных шумов и отсутствием шума вида $1/f$.

Эффективность вышеуказанных мероприятий иллюстрирует Рисунок 5.3: красный и зеленый цвета – исходная запись на двух независимых входах радиометра, видно, что превалирует $1/f$ -шум радиометра. Реализованная новая схема на комплекс «Эридан» и новая система сбора позволяют эффективно бороться с этим шумом: синий цвет – выходной сигнал с аппаратно-программным устранением $1/f$ -шума радиометра.

1.38 cm, 1/f noise rejection efficiency in the dual beam method

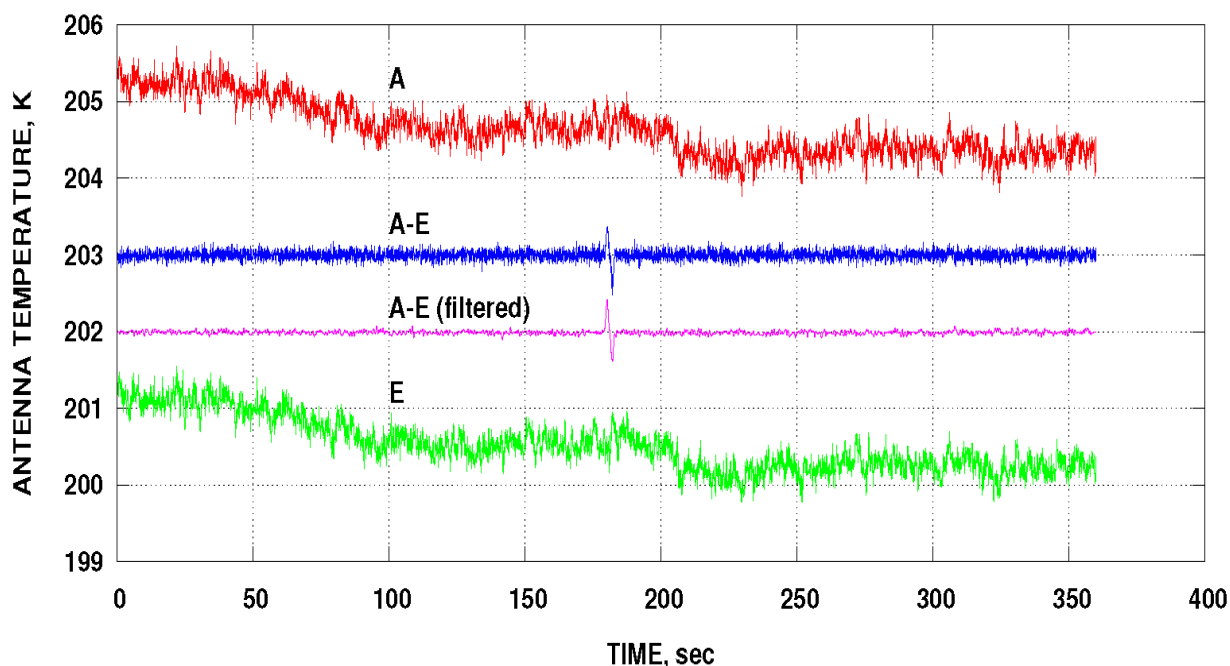


Рисунок 5.3 – Подавление шумов вида 1/f новой системой сбора при диаграммной модуляции (Эридан, длина волны 1.38 см, источник 2107+42)

В настоящее время результаты вышеописанных результатов модернизации приемно-измерительного комплекса Облучателя 2 внедряются на Облучателе 1. Проведены исследования метода приема и обработки сигналов в схеме радиометра с добавлением шума (РДШ) на 2-х криорадиометрах РАТАН-600 на волну 6.2 см. Работа метода программной балансировки РДШ показана на Рисунке 5.4. Как видно из полученных результатов, процедура балансировки, которая ранее на данных радиометрах производилась аппаратно, специальным дополнительным радиотехническим оборудованием, теперь производится программно. Соответствующее оборудование балансировки удалено из конструкции радиометра без каких либо потерь качества наблюдательного материала.

Улучшены эксплуатационные характеристики радиометров и качество получаемых данных за счет уменьшения количества оборудования, которое может потенциально быть источником нестабильностей, и замена этого оборудования программными алгоритмами, неподверженными влиянию внешних факторов (параметры окружающей среды, вибрации и пр.).

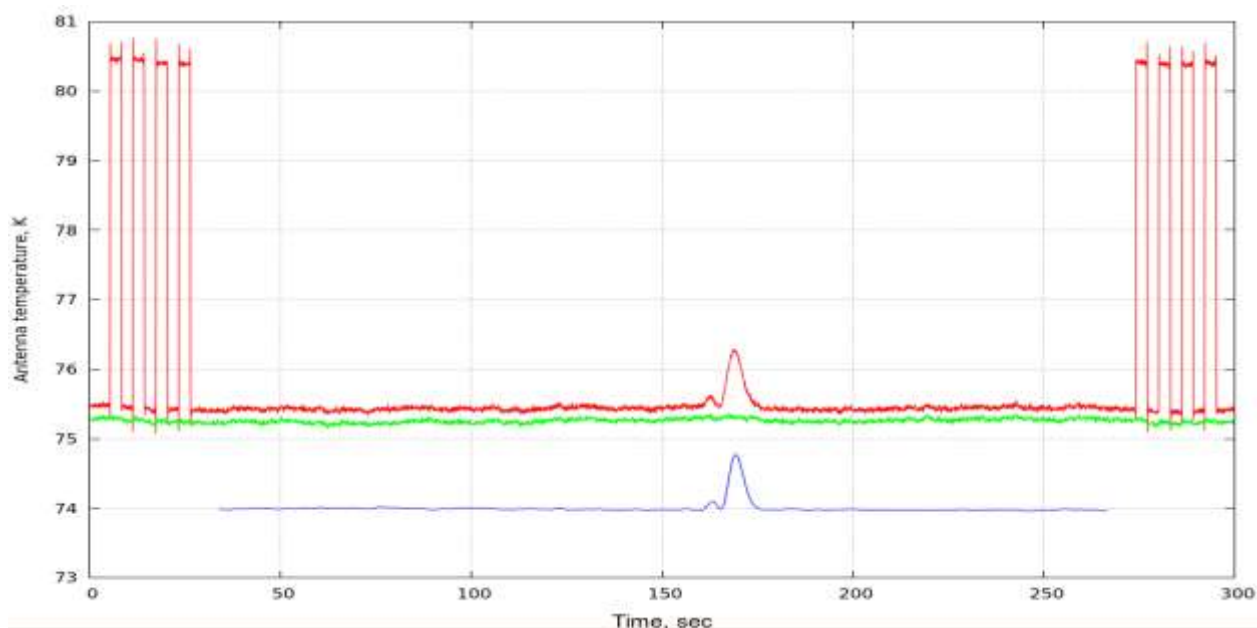


Рисунок 5.4 – Красная кривая — соответствует полупериоду «Антенна», зеленая кривая — это результат программной балансировки сигнала в полупериоде «Эквивалент» («сбалансированный эквивалент»). Синяя кривая — это разность: «Антенна минус сбалансированный Эквивалент». Дополнительно — к данной разности применена процедура НЧ фильтрации для увеличения отношения сигнал/шум. Это и есть результат работы метода.

Необходимо отметить, что программная балансировка осуществима на практике при условии точной регистрации постоянной составляющей сигналов. Это условие соблюдено на ПАТАН-600 введением в штатную эксплуатацию новой системы сбора данных и управления нового поколения — ER-DAS (см. выше). Особенностью данных систем является отсутствие у них дрейфов нуля, что дает возможность измерить и использовать в дальнейшем значение малого постоянного смещения нуля. Если это значение известно и устранено программно, тогда операция программной балансировки, состоящая в нахождении отношения двух уровней сигнала, становится корректной операцией.

Введена в опытную эксплуатацию подсистема горизонтирования Облучателя 2. Автоматизированная подсистема горизонтирования (АПГ) предназначена для горизонтирования некой условной или базовой плоскости связанной с ориентацией антенны облучателя в пространстве. В качестве плоскости для горизонтированию выбрана плоскость проходящая через основание электронного инклинометра закрепленного на регулируемом основании в центральной арке антенны. Принцип работы предлагаемой

подсистемы основан на использовании двух электромеханических домкратов с инверторным электроприводами, измерительного инклинометра Leica NIVEL20 и управляющей ЭВМ решающей задачу одновременного регулирования по обоим осям. Регулирование может выполняться двумя способами:

- Управление электрическими приводами по времени, с использованием математической модели для расчета длительности пуска;
- Управление электрическими приводами по рассогласованию, с контуром отрицательной обратной связи по положению.

Проведенные испытания показали, что использование метода управления электрическими приводами по рассогласованию, с контуром отрицательной обратной связи, практически не возможно из-за большой составляющей шума от работающих приводов и сильного влияния атмосферы.

Первые результаты испытаний. Испытания проводились при следующих метеорологических условиях:

- Скорость ветра – 3-5 м/с
- Солнце + облачность не более 15%
- В течение дня наблюдался регулярный уход отсчетов инклинометра от показаний пузырьковых индикаторов в нижней части облучателя. При этом наблюдалась корреляция смещений с температурой антенны.
- Многократные запуски процесса горизонтирования показали в подавляющем большинстве случаев точность отработки лучше 2". Неудачными результатами считались 2 случая с ошибкой около 7", которые автоматически устранялась повторным пуском домкратов

Управление подсистемой производится серверной программой в операционной системе ЛИНУКС, с разработанным и протестированным на модели пользовательским интерфейсом.

Все описанные выше работы, проведенные на Облучателе 2, позволили проводить на нем обзорные наблюдательные программы типа «Генетический Код Вселенной» в безлюдном режиме. Как и говорилось выше, все эти наработки в последующем будут внедрены и на других Облучателях УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600».

Заключение.

Принимая во внимание приведенные выше материалы и результаты работы РАТАН-600 в ходе проведения, как этапа 4, так и всего периода выполнения НИР, приходим к выводу, что в целом задачи, поставленные Заказчиком перед Исполнителем, выполнены и соответствуют требованиям Технического задания.

В ходе проведения НИР были разработаны новые методики наблюдений на УСУ. Проведено испытание новых методик и их внедрение в наблюдениях на радиотелескопе РАТАН-600 и проведен анализ первых результатов их использования.

Подготовлен отчет о результатах наблюдений на РАТАН-600 во втором полугодии 2012 г., который был представлен на заседании КТБТ 18 октября 2012 г. Подготовлены материалы по технической экспертизе заявок на наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600 (первое полугодие 2013 г.). Распределение наблюдательного времени на период январь-июнь 2013 г. утверждено соответствующим Решением КТБТ; на основании этого в настоящее время формируется Расписание наблюдений на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600», которое будет представлено на сайте Обсерватории – <http://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/>.

В настоящем отчете приведен ряд научных результатов, полученных с использованием оборудования УСУ РАТАН-600 по исследованию Вселенной (Солнца, галактических и внегалактических объектов, поиск эффекта Сюняева-Зельдович в скоплении Abell 2319, поиск флуктуаций микроволнового фонового излучения).

Проведены наблюдения и обработка данных для получения новой информации в исследовании Вселенной (Солнца, галактических и внегалактических объектов, поиск флуктуаций микроволнового фонового излучения). Данные наблюдений Солнца ежедневно представляются на сайте Обсерватории (<http://www.sao.ru/hq/sun/rus/indexr.html>), а также на сайте <http://www.spbf.sao.ru/prognoz>. По результатам подготовлены публикации к печати в ведущих российских и зарубежных изданиях.

Обеспечены наблюдения на УСУ РАТАН-600 в соответствие с расписанием (Приложения В и Г; <http://www.sao.ru/ratan/schedule/2012/half1.html>, <http://www.sao.ru/ratan/schedule/2012/half2.html>). Приведены данные об оказанных услугах коллективного пользования.

Разработаны «Руководство пользователя по прогнозу солнечной активности» (Приложение А) и «Руководство пользователя по мониторингу электромагнитного «загрязнения»» (Приложение Б).

В результате проведенных мероприятий по дооснащению УСУ на средства госконтракта приобретено оборудование на общую сумму 1675544.6 руб., что составляет

22% от общей суммы госконтракта (Приложение 20). В действительности около 50% от общей суммы госконтракта было использовано на приобретение оборудования, приборов, комплектующих и расходных материалов на модернизацию и эксплуатацию УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600». В Приложение 20 перечислены только дорогостоящие позиции; всего же расходы по этим статьям составляют примерно 100 позиций и, естественно, необходимость подтверждения их бухгалтерскими документами исключает возможность включения в настоящий отчет.

Подготовлены и опубликованы научные статьи, по результатам научных исследований и разработке новой аппаратуры и методик представлены доклады на конференциях (Приложение 18.1).

Достигнутый научно-технический уровень работ сопоставим с мировым уровнем, что подтверждается растущими запросами зарубежных ученых по использованию оборудования УСУ.

Список использованной литературы

1. C.F.N. Cowan. P.M. Grand., Adaptive filters, // Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, 1985
2. Fridman P., Bann W.A., RFI mitigation methods in radio astronomy // *Astronomy&Astrophysics*, 378, 327-344
3. В.М.Богод, В.Н.Дикий, Д.В.Корольков, В.Е.Сорель, Многоволновый облучатель на резонаторах бегущей волны с единым фазовым центром для применения в радиоастрономии // *Астрофизические исследования*, том 17, 1983г, стр.124-130.
4. Olsson, R; Kildal, P-S; Weinreb,S. "The Eleven Antenna: A Compact Low- Profile Decade Bandwidth Dual Polarized Feed for Reflector Antennas" *IEEE Transactions on antennas and Propagation*, vol. 54, No2, pp. 368-375, Feb.2006.
5. M. G.Mingaliev, A.B.Berlin, N.A.Nizhel'skij, P.G.Tsybulev, D.V.Kratov, R.Y.Udovitskiy, "Oktave" Project: Application of Superwide-Band Technologies for the RATAN-600 Continuum radiometer // *PROCEEDINGS of SCIENCE, PoS (RFI2018)*, 018
6. А. Б. Берлин, Ю.Н. Парийский, М.Г. Мингалиев, Н.А. Нижельский, Г.М. Тимофеева, Д.В. Кратов, «Проект «ОКТАВА». Применение сверхширокополосных технологий для модернизации радиометрического комплекса РАТАН-600 для работы в континууме», Отчёт CAO РАН 2004-2005г., стр. 82-84.
7. Цыбулев, П. Система Сбора Данных и Управления нового поколения для проведения радиоастрономических наблюдений в континууме на радиотелескопе РАТАН-600: разработка, наблюдения, измерения *Астрофизический бюллетень*, 2011, 66(1), 118-133
8. Н.Н. Бурсов, Ю.Н. Парийский, Е.К. Майорова, и др., *Астрономический журнал* **84**, 227 (2007).
9. Н.Н. Бурсов, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (CAO РАН, Нижний Архыз, 2003).
10. Т.А. Семенова, Н.Н. Бурсов, Ю.Н. Парийский, *Астрономический журнал* **84**, 291 (2007).
11. Т.А. Семенова, Ю.Н. Парийский, Н.Н. Бурсов, *Астрономический журнал* **86**, 3 (2007).
12. Т.А. Semenova, Yu.N. Parijskij, P.G. Tsybulev, *Astrophysical Bulletin* **64**, 191 (2009).
13. Т.А. Semenova, N.N. Bursov, Yu.N. Parijskij, *Astrophysical Bulletin* **64**, 270 (2009).

14. Т.А. Семенова, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (CAO РАН, Нижний Архыз, 2009).
15. P.G. Tsybulev, A.B. Berlin, N.A. Nizhel'skij, et al., *Astrophysical Bulletin* **62**, 193 (2007).
16. D. Baumann, M. G. Jackson, P. Adshead, et al., arXiv:0811.3919v1.
17. H. Guth, *Phys. Rev.* **D23**, 347 (1981).
18. D. Linde, *Phys. Lett.* **B108**, 389 (1982).
19. Albrecht and P. J. Steinhardt, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1220 (1982).
20. D. Linde, *Phys. Lett.* **B129**, 177 (1983).
21. Starobinsky, *Phys. Lett.* **B91**, 99 (1980).
22. Starobinsky, *JETP Lett.* **30**, 682 (1979).
23. Н.А. Есепкина, Д.В. Корольков, Ю.Н. Парийский, *Радиотелескопы и радиометры* (М.: Наука, 1973), 416с.
24. В.Б. Хайкин, Н.Н. Бурсов, Д.М. Караваев и др., Тезисы докладов. ВАК-2010, п. Нижний Архыз, 35 (2010).
25. Дж.Л. Пози, Р.Н. Брейсуэлл, *Радиоастрономия* (М.: Издательство иностранной литературы, 1958), 440с.
26. Cooray, A. Melchiorri, arXiv:astro-ph/0204250v3.
27. <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=planck>, «Bluebook».
28. S. Mason, T. J. Pearson, A. C. S. Readhead, et al., *ApJ*, **591**, 540 (2003).
29. H.Kiihr, A.Witzel, I.I.K.Pauliny-Toth, U.Nauber, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **45**, 367 (1981).
30. T.A.Rector, J.T.Stocke, *Astronomical journal*, **122**, 565 (2001).
31. M.P.Veron-Cetty, P.Veron, *Astron. Astrophys.* **518**, 10 (2010).
32. P.Biermann, H.Duerbeck, A.Eckart *et al*, *Astrophys. J.* **247**, L53 (1981).
33. C.M.Urry, R.M.Sambruna, D.MWorral *et al*, *Astrophys. J.* **463**, 424 (1996).
34. A.A.Abdo, M.Ackermann, M.Ajello *et al*, *Astrophys. J.* **722**, 520 (2010).
35. T. Savolainen, D. C Homan, T. Hovatta, *Astron. Astrophys.* **512**, A24 (2010).
36. L.C.Reyes, *The Astronomer's Telegram* **3322**, (2011).
37. R.Neski, E.Massaro, M.Maesano *et al*, *Astron.J.* **124**, 53 (2002).
38. S.Wagner, F.Sanchez-Pons, A.Quirrenbach, A.Witzel, *Astron. Astrophys.* **235**, LI (1990).
39. J.Heidt, S.J.Wagner, *Astron. Astrophys.* **305**, 42 (1996).
40. D.S.Heeschen, Th.Krichbaum, C.J.Schalinski, A.Witzel, *Astron. J.* 94, 1493 (1987).
41. A.Quirrenbach, A. Kraus, A.Witzel *et al*, *Astron. Astrophys. Suppl.Ser.* **141**, 221

- (2000).
42. A.Kraus, T.P.Krichbaum, R.Wegner *et al*, *Astron. Astrophys.* **401**, 161 (2003).
 43. M.F.Aller, G.E.Latimer, and P.E.Hodge, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **59**, 513 (1985).
 44. <http://www.astro.lsa.umich.edu/obs/radiotel/umrao.php>
 45. H.Terasranta, M.Tornikoski, E.Valtaoja *et al*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **94**, 121 (1992).
 46. H.Terasranta, J.Achren, M.Hanski, *et al*, *Astron. Astrophys.* **427**, 769 (2004).
 47. S.Britzen, A.Witzel, T.P.Krichbaum *et al*, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **362**, 966 (2005).
 48. M. L. Lister, M. H. Cohen, D. C Homan *et al*, *Astronom. J.* **138**, 1874 (2009).
 49. <http://www.physics.purdue.edu/astro/MOJAVE/soursepages/1803+784.shtml>
 50. J. Roland, S. Britzen, N. A. Kudryavtseva, *Astron. Astrophys.* **483**, 125 (2008).
 51. А.Г.Горшков, В.К.Конникова, М.Г.Мингалиев, *Астрон. журн.* **80**, 978 (2003).
 52. А.Г.Горшков, О.И.Хромов, *Астрофиз. исслед. (Изв. Специальн. астрофиз. обсерв.)* **14**, 15 (1981).
 53. А.Г.Горшков, В.К.Конникова, М.Г.Мингалиев, *Астрон. журн.* **87**, 986 (2010).
 54. А.Г.Горшков, В.К.Конникова, М.Г.Мингалиев, *Астрон. журн.*, в печати.
 55. J.H.Simonetti, J.M.Cordes, and D.S.Heeshen, *Astrophys. J.* **296**, 46 (1985).
 56. А.Г.Горшков, В.К.Конникова, М.Г.Мингалиев, *Астрон. журн.* **77**, 188 (2000).
 57. R.B.Rengeling, Y.Tang, A.G.de Bryn *et al*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **124**, 259 (1997).
 58. J.J.Condon, W.D.Cotton, E.W.Greisen, *Astronom. J.* **115**, 1693 (1998).
 59. М.Г.Мингалиев, Ю.Сотникова, Н.С.Кардашев *и др.*, *Астрон. журн.* **84**, 387 (2007).
 60. R.D.Bladford and A.Konigl, *Astrophys. J.* **232**, 34 (1979).
 61. A.P.Marsher, W.K.Gear, *Astrophys. J.* **298**, 114 (1985).
 62. А.Е.Вольвач, М.Г.Ларионов, Н.С.Кардашев *и др.*, *Астрон. журн.* **86**, 835 (2009).
 63. M. Tavani, A. Bulgarelli, G. Piano, et al. Extreme particle acceleration in the microquasar CygnusX-3. *Nature*, v. 462, Issue 7273, pp. 620-623 (2009).
 64. Bulgarelli A.; Piano G.; Sabatini Set al. AGILE detection of Cygnus X-3 gamma-ray active states during the mid-2009/mid-2010 period. *Astronomy & Astrophysics*, Volume 538, id.A63
 65. Piano, G.; Tavani, M.; Vittorini et al. The AGILE monitoring of Cygnus X-3: transient gamma-ray emission and spectral constraints. *Astronomy & Astrophysics*, Volume 545, id.A110 (EDP Sciences 2012A&A, 545A.110P)

66. Corbel, S.; Dubus, G.; Tomsick et al. A giant radio flare from Cygnus X-3 with associated gamma- emission. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol 421, pp.2947-2955.
67. Bulgarelli, A.; Tavani, M.; Chen et al. AGILE detection of Cygnus X-3 - active states during the period mid-2009/mid-2010. *Astronomy & Astrophysics*, Volume 538, A63
68. Trushkin, S.A.; Nizhelskij, N.A.; Bursov, N.N. Multi-Frequency Radio Photometry of the Microquasars with the RATAN-600 Radio Telescope. *Proceedings of the Twelfth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity*, edited by Thibault Damour, Robert T. Jantzen and Remo Ruffini. ISBN978-981-4374-51-4. Singapore: World Scientific, 2012, p.996
69. Trushkin, S.A.; Nizhelskij, N.A.; Tsybulev P.G. A giant radio flare from SS433, 2012. *AstronomersTelegram ATEL #4484* (<http://www.astronomerstelegram.org/?read=4484>)

СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ РАН

**Прогноз солнечной активности
Руководство пользователя**

Лаборатория исследований Солнца – 2012

Прогноз осуществляется на странице <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/db.html> .

На странице отображается список законченных наблюдений Солнца на РАТАН-600 на текущую дату (Рисунок 1). При нажатии на кнопку Search будет выведен список наблюдений за выбранный период времени (по умолчанию за последний месяц).

При нажатии на черной пиктограмме в колонке Plot (lev.2) напротив выбранного наблюдения, в правой части окна будет выведена веб-страница с изображением наложения сканов Солнца на всех рабочих частотах на соответствующую дату и время.

Данная веб-страница является частью Информационной Системы «Прогноз», которая обеспечивает автоматизированный сбор, архивацию, первичную обработку, поиск и визуализацию данных наблюдений Солнца на РАТАН-600, реализованной с применением современных информационных технологий IDL/SSW, Apache/Oracle/PHP.

Download the data in FITS format:
 Level1 file (authorization required) | Level2 (auto treatment from the archive) | Level 2 (current work file)
[20121007_143750_sun_24.fits](#) | [20121007_143750_sun_24_out.fits](#) | [data/tmp/20121007sun_24_...](#)

NOAA region: 1579 1582 1585

Tanaka-Enome proton (M/X class) flares prediction criterion
 (Flux 3 cm >10 sfu, Flux 3 cm / Flux 10 cm >1)

Time	NOAA AR	x pos	y pos	flux 3 cm	flux 3 cm corr	flux 10 cm	flux 10 cm corr	location	area	proton flare prognosis
07:24:52	1582_1584	920.0	3.4	2.70	2.89	1.40	1.42	S22W54	0.0	Negative
07:24:52	1582_1584	874.0	3.4	1.90	2.03	0.90	0.91	S12W64	220.0	Negative
07:24:52	1582_1584	920.0	3.4	2.70	2.89	1.40	1.42	S12W64	220.0	Negative
07:24:52	1582_1584	874.0	3.4	1.90	2.03	0.90	0.91	S22W54	0.0	Negative
08:13:07	1582	884.0	3.1	2.50	2.65	0.80	0.81	S12W64	220.0	Negative
09:01:21	1582	940.0	2.8	3.10	3.25	1.30	1.31	S12W64	220.0	Negative
09:01:21	1582_1584	883.0	2.8	2.80	2.93	1.00	1.01	S22W54	0.0	Negative
09:01:21	1582_1584	883.0	2.8	2.80	2.93	1.00	1.01	S12W64	220.0	Negative
09:49:35	1582_1584	885.0	2.5	2.50	2.59	0.90	0.91	S12W64	220.0	Negative
09:49:35	1582	944.0	2.5	2.90	3.01	1.20	1.21	S12W64	220.0	Negative
09:49:35	1582_1584	885.0	2.5	2.50	2.59	0.90	0.91	S22W54	0.0	Negative
10:37:50	1582_1584	937.0	2.2	2.50	2.57	0.70	0.70	S12W64	220.0	Negative

Resume: No big flares are expected in the next 1-3 days.

Рисунок 1 – Поиск данных в ИС «Прогноз» и прогноз солнечной активности на выбранные дни

Для целей разработки и реализации методов прогнозирования мощных солнечных вспышек база данных ИС была расширена: (i) – добавлены таблицы с параметрами активных областей из каталогов SWPC, (ii) дополнена информацией о вспышках, (iii) добавлены различные параметры радиоизлучения Солнца с NoRP, NoRH (Япония) и других наземных радиотелескопов. Схема базы данных ИС «Прогноз» приведена на Рисунке 2.

Создано новое матобеспечение, с помощью которого на основе созданных таблиц осуществляется автоматическое отождествление локальных источников на сканах Солнца с активными областями по нумерации NOAA, а также коррекция потоков за счет положения в вертикальной диаграмме. Последнее немаловажное, т.к. например критерий Танаки-Эноме основывается на вычислении абсолютных значений потоков. Отождествление активных областей позволило связать между собой вспышку, ее класс, и вычисленные значения параметров ЛИ, что дает возможность автоматизировать оценку качества прогноза.

Database Model Diagram (Entity Relationship Diagram)

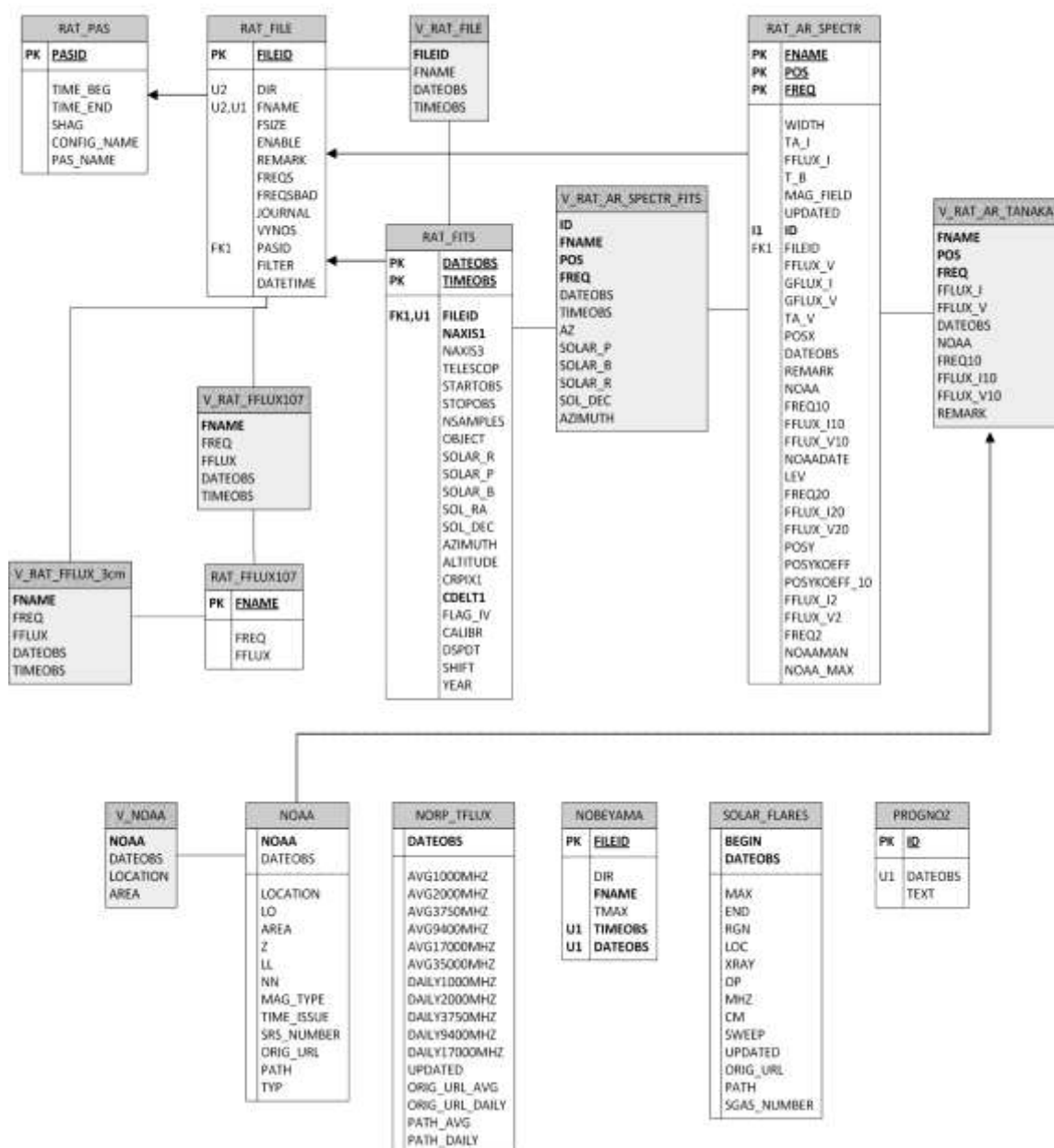


Рисунок 2 – Схема базы данных наблюдений Солнца на РАТАН-600 с дополнения данных по активным областям, вспышкам, потокам в радиодиапазоне с других инструментов

В правой части веб-страницы поиска данных (Рисунок 1) <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/db.html> внизу рисунка со схематическим изображением сканов выводится таблица с расчетными потоками автоматически распознанных на скане локальных источников, и результаты их отождествления с пятнами на фотосфере согласно нумерации NOAA. В

последней колонке этой таблицы выведены результаты автоматического анализа для каждой найденной активной области первых двух пунктов критерия Танаки-Эноме для возникновения протонных вспышек: (i) поток на волне 3 см > 10 с.е.п.

(ii) отношение потоков $F(3 \text{ см})/F(10 \text{ см}) > 1$.

Этот набор параметров согласно критерию Танаке и Эноме является необходимым, но недостаточным для возникновения протонной вспышки. Для полного набора нужно также проанализировать морфологическую структуру источника в поляризации - она должна быть не самой простой (с одним пиком), а иметь еще пики другого знака. Это можно визуально оценить по приведенной выше картинке.

Внизу таблицы отображен суммарный прогноз по всем активным областям с целью ожидания протонной вспышки в ближайшие три дня.

Ниже этой таблицы для контроля выводится список вспышек на следующие три дня. Такая информация, конечно, становится доступна только после того, как эти вспышки произойдут, поэтому таблица выводится только для более ранних дат.

При оценке эффективности прогноза следует иметь в виду, что протонные вспышки соответствуют, как правило, событиям класса М или Х, но не все вспышки этих классов являются протонными.

Протонность означает, что протоны от вспышки долетают до уровня Земли, то есть это наиболее геоэффективный класс вспышек. Протонность вспышки можно проверить по графикам потоков протонов со спутников GOES http://www.swpc.noaa.gov/rt_plots/pro_3d.html. Эти графики за заданную дату можно найти на сайте solarmonitor.org. Так, вспышка класса М 9 октября 2012 г, т.е. на день, на который приведен Рисунок 1 не являлась протонной. К сожалению, оперативно обновляемого списка протонных вспышек нами не было найдено на сайтах посвященных солнечной активности, поэтому протонность вспышек надо проверять вручную. Нами проверяется предположение, что критерий Танаки-Эноме при его

обобщении может быть применим не только к протонным вспышкам, но к крупным вспышкам вообще.

Найдем последнюю вспышку класса X по нашей базе данных:

```
SQL> select dateobs, xray from solar_flares where xray like 'X%' order by dateobs desc;
```

DATEOBS	XRAY
-----	-----
12.07.12	X1.4
06.07.12	X1.1
И т.д.	

Проверим протонность вспышки по данным GOES с сайта solarmonitor.org (см. Рисунок 3).

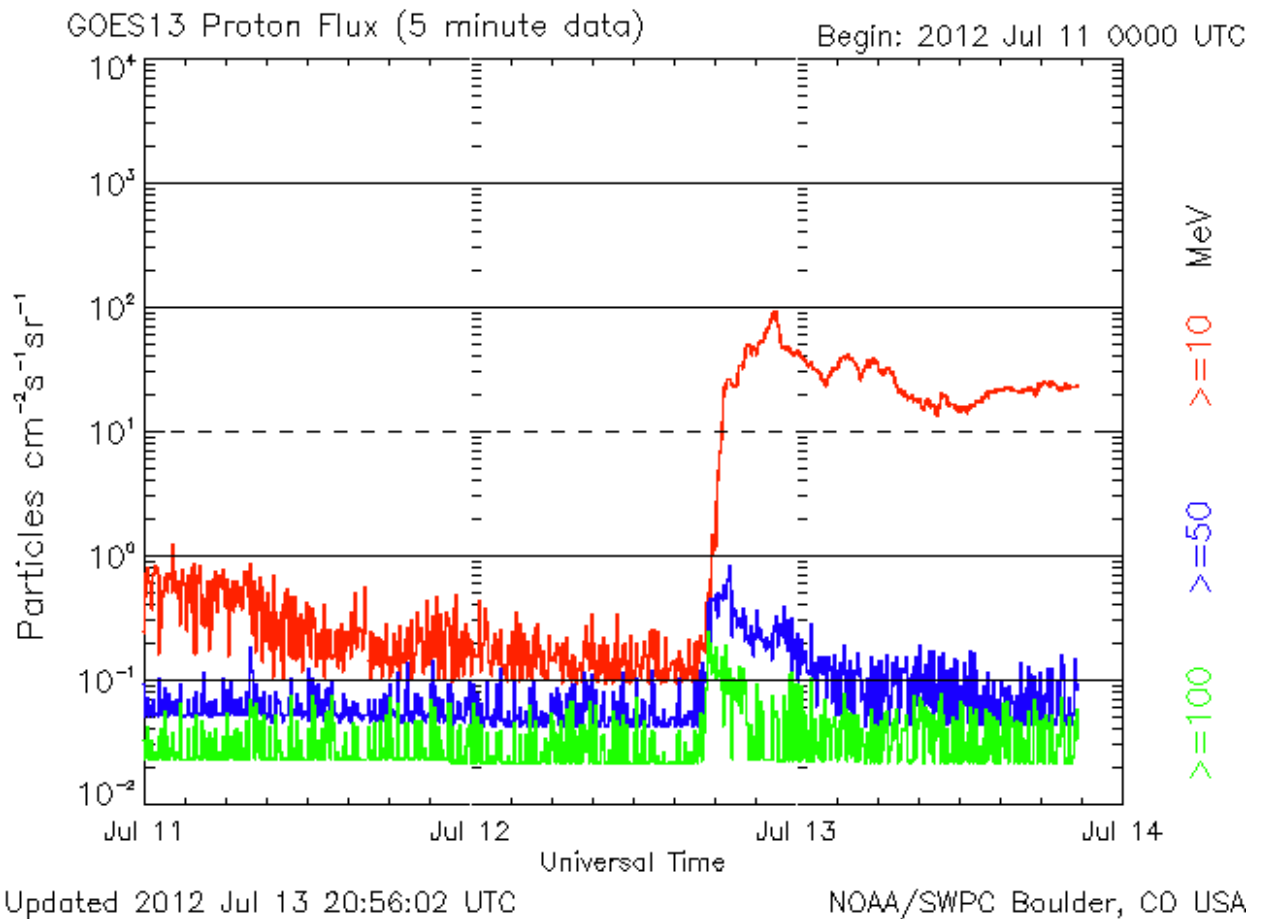


Рисунок 3 – Поток протонов от последней на сегодняшний день вспышки класса X 12 июля 2012г, зарегистрированной на спутнике GOES

Из Рисунка 3 видно, что вспышка была протонной. Посмотрим, что дают наши таблицы на этот день, представленные на Рисунке 4.

08:53:25	1520	-40	-352	18.80	22.87	21.80	22.66	S17E06	1320	positive
09:02:03	1520	-39	-352	20.00	24.33	21.70	22.56	S17E06	1320	positive
09:10:40	1520	-47	-352	21.50	26.16	21.30	22.14	S17E06	1320	positive
09:19:18	1520	-27	-352	23.00	27.98	19.30	20.06	S17E06	1320	positive
09:27:55	1520	4	-352	21.30	25.91	19.20	19.96	S17E06	1320	positive
09:36:32	1520	-34	-352	22.20	27.01	24.90	25.88	S17E06	1320	positive
09:45:10	1520	-27	-351	21.50	26.12	22.20	23.08	S17E06	1320	positive
09:53:48	1520	11	-350	19.40	23.51	22.00	22.87	S17E06	1320	positive
10:02:26	1520	-26	-350	20.70	25.12	24.30	25.26	S17E06	1320	negative
10:11:05	1520	-14	-349	20.00	24.24	24.40	25.36	S17E06	1320	negative
10:19:45	1520	5	-348	19.80	23.97	22.90	23.78	S17E06	1320	positive
10:28:25	1520	2	-347	18.50	22.37	22.20	23.05	S17E06	1320	negative
10:37:06	1520	1	-346	17.50	21.14	22.30	23.16	S17E06	1320	negative
10:45:49	1520	15	-344	17.40	20.99	21.80	22.61	S17E06	1320	negative
10:54:32	1520	6	-343	16.90	20.36	21.50	22.30	S17E06	1320	negative
11.03.17	1520	16	-341	17.40	20.91	22.20	23.03	S17E06	1320	negative

WARNING! Proton flare is probable within the next 3 days!

X-ray flares within 2012-07-12 and 2012-07-15

Date	Begin	Max	End	NOAA AR	Loc.	Xray class	Op
2012.07.12	1537	1649	1730	S15W0000	S15W01	X1.4	2b
2012.07.14	0731	0734	0737	S19W0000	S19W37	C2.0	SF
2012.07.14	1408	1416	1423	S15W0000	S13W28	C2.4	SF

Рисунок 4 – Прогноз протонной вспышки по наблюдениям на радиотелескопе РАТАН-600

То есть эта вспышка могла быть предсказана.

Для подробного изучения активных областей и динамики их параметров перед крупными вспышками составлена автоматически пополняемая таблица <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/tanaka/tanaka.html>, представленная на Рисунке 5.

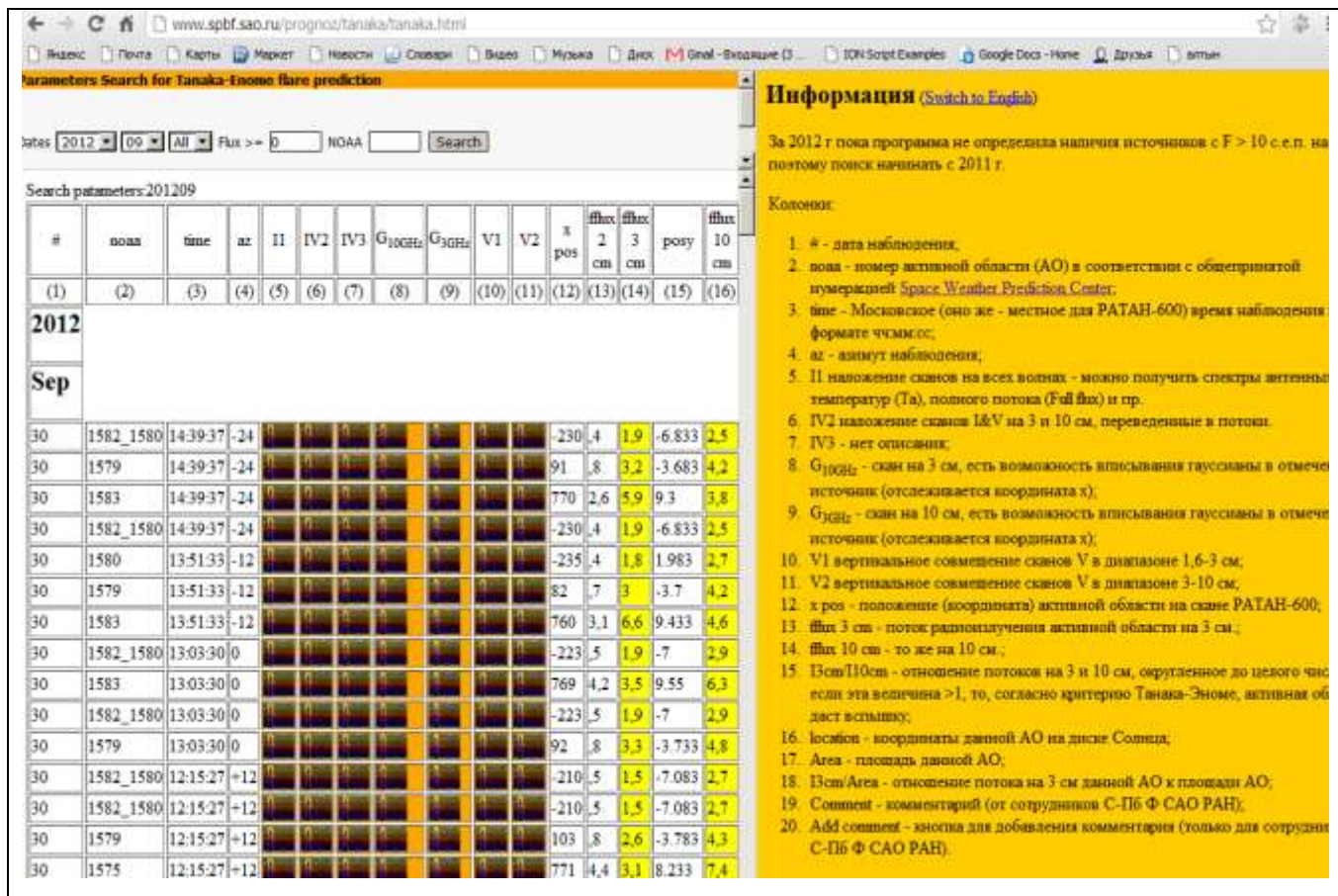


Рисунок 5 – Иллюстрация изучения связи динамики параметров локальных радиоисточников на Солнце со вспышками

Эта таблица служит для:

- просмотра выбранных активных областей как морфологически, например, изменения поляризационной структуры с частотой как на Рисунке 6, так и по временным изменениям ряда параметров, представленными на Рисунке 7;
- проверки правильности автоматического отождествления источников, расчета потоков, и т.д.

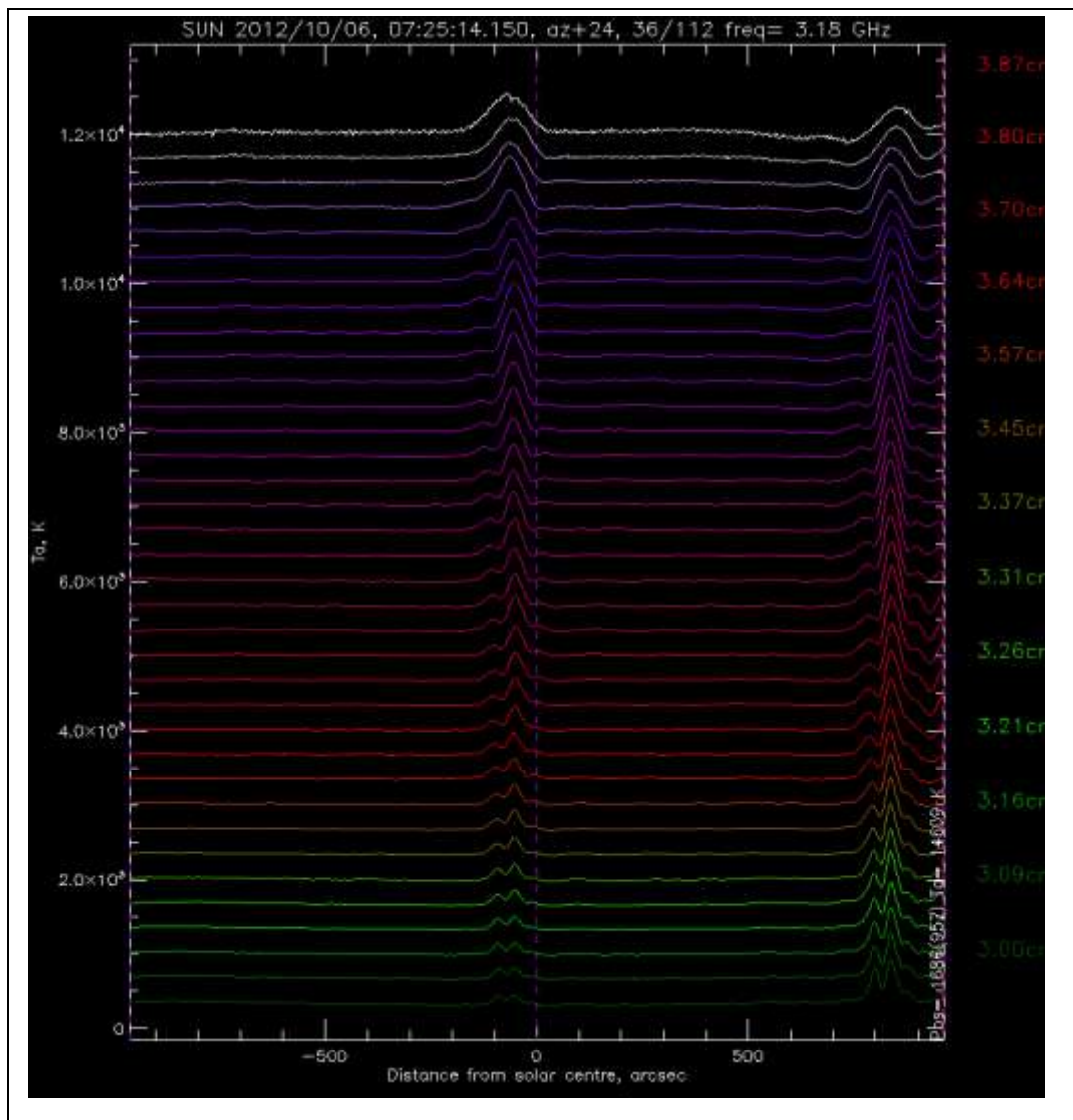
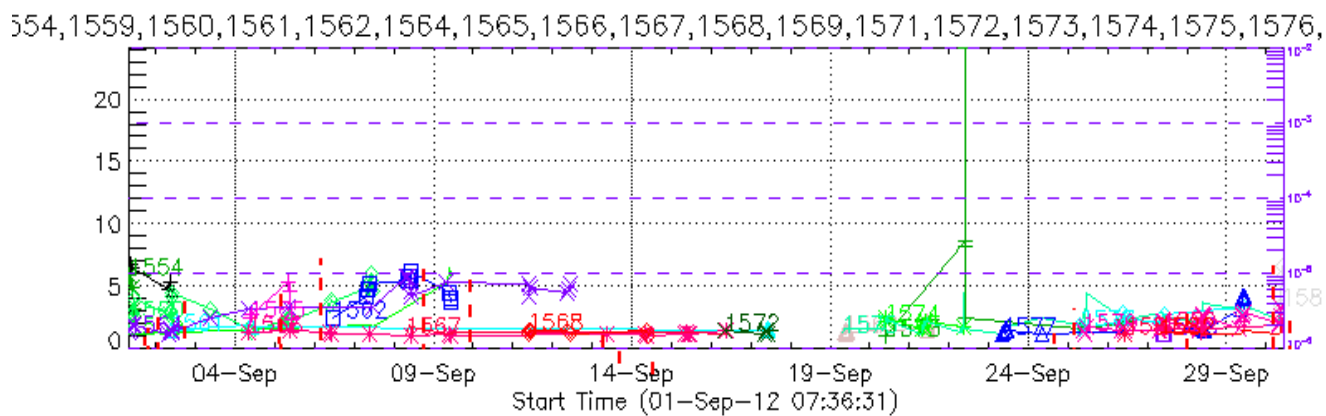


Рисунок 6 – Изменение структуры поляризации с частотой в средней части диапазона РАТАН-600. Нелинейный характер спектров поляризации может быть признаком предвспышечной конфигурации активной области



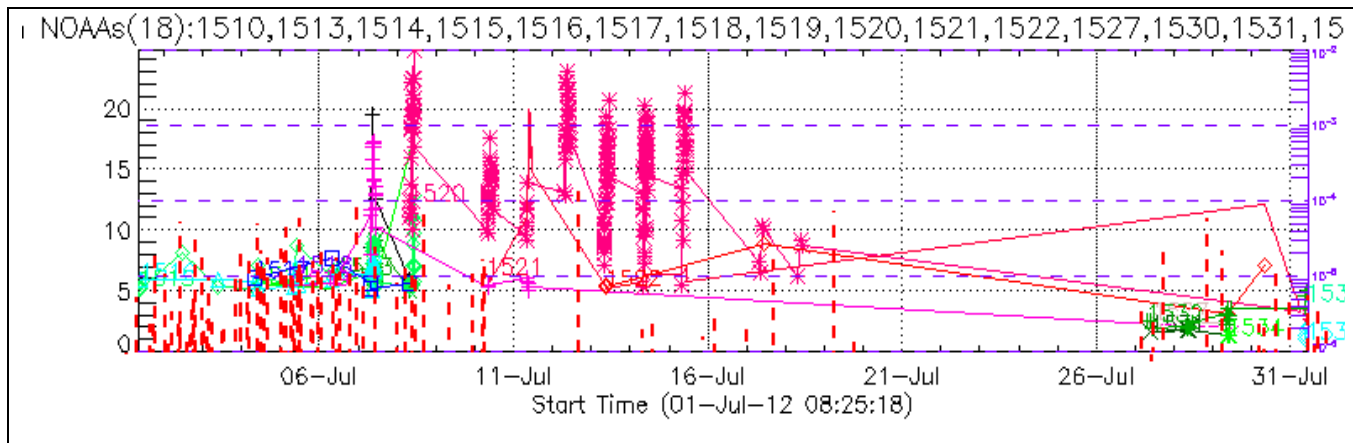


Рисунок 7 – Динамика потока на 3 см для проходивших по диску АО в течение относительно спокойного (верхняя панель) и активного (нижняя панель) месяца. Моменты вспышек отмечены вертикальными пунктирными линиями

Заключение.

Прогноз солнечных вспышек из-за его многофакторности относится к эмпирико-вероятностным задачам. Регулярные наблюдения на специально оборудованных спектрально-поляризационных комплексах могут значительно повысить наблюдательную значимость, особенно если эти наблюдения проводятся на крупном радиотелескопе типа РАТАН-600. Естественно важна роль теории, которая также основывается на экспериментальных фактах.

Применение спектрально-поляризационного анализа радиоизлучения отдельных объектов на Солнце (активные области, корональные дыры, КВМ) для развития критериев прогноза их активности. Проблема прогноза солнечной активности в разных его проявлениях является трудно решаемой как вследствие многофакторности эффектов, неадекватности проблеме используемой техники, так и недостаточной ясности процессов происходящих во всем их многообразии. Особо это относится к нижней короне Солнца, поскольку здесь резко меняются физические условия с высотой. Яркостная температура резко растет на два порядка, а плотность падает. Магнитное поле проникает в нижнюю корону, но его ослабление небольшое всего на 20-30 %. В отличие фотосферных магнитограмм, которые сейчас получают с высоким качеством на космических обсерваториях (SDO, RHESSY, Soho MDI и др), сложность магнитной структуры в нижней короне недоступна вследствие повышенных температур и радиоастрономические поляризационные измерения являются практически единственным методом дающим информацию о величине магнитного поля во всех структурных образованиях.

Опыт, который был получен в проведенных исследованиях, в случае регулярного мониторинга может быть использован для дальнейшей проверки надежности и в случае успеха возможен и выход на коммерциализацию прогностического продукта.

СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ РАН

**Комплекс средств мониторинга
электромагнитного загрязнения**

Руководство пользователя

СОДЕРЖАНИЕ

1	Назначение комплекса	3
2	Состав комплекса	4
3	Описание комплекса	5
4	Система мониторинга помех на основе ESMC	7
4.1	Параметры приёмника ESMC	7
4.2	Порядок работы с системой мониторинга на основе ESMC	10
5	Система идентификации помех малой мощности на основе FSU-46 подключённого к выходным блокам штатных радиометров	12
5.1	Параметры спектроанализатора FSU-46	12
5.2	Порядок работы с системой на основе FSU-46	13
	Список использованной литературы	16

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 ПАТАН-600 состоит из двух взаимодополняющих систем.

1. Система мониторинга помех на основе приёмника ESMC фирмы Rohde&Schwarz в составе:
 - Два блока ESMC (20-1300 МГц и 1300-3000 МГц) фирмы Rohde&Schwarz;
 - Блок предварительного усиления (22 Дб);
 - Параболическая антенна, D = 2 м.

2. Система идентификации помех малой мощности на основе FSU-46:
 - Спектроанализатор мощности FSU-46;
 - Радиометры радиотелескопа ПАТАН-600 (спектроанализатор подключается непосредственно к выходам радиометров (перед детектором или фильтрами);
 - В качестве антенны используется радиотелескоп ПАТАН-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 1.

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

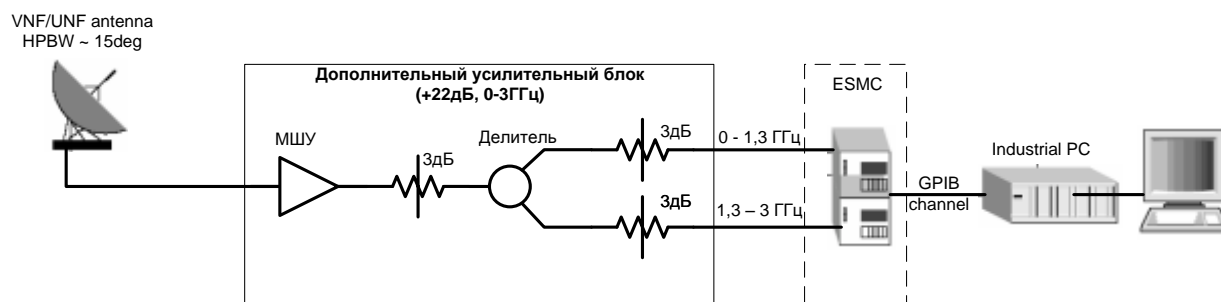


Рисунок 1 – Блок-схема системы мониторинга помех на основе приёмника ESMC фирмы Rohde&Schwarz .

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 малошумящий усилитель на входе приемника (+22 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.

Пример записи помеховой обстановки на основе приёмника ESMC фирмы Rohde&Schwarz приведён на Рисунке 2.

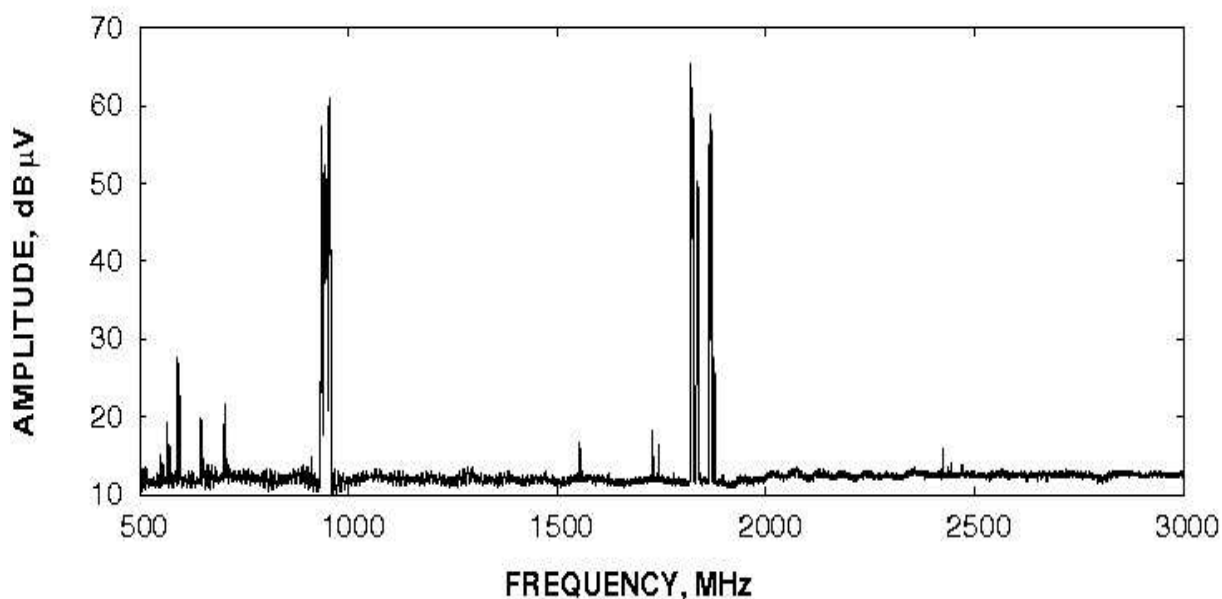


Рисунок 2 Пример записи помеховой обстановки на основе приёмника ESMC фирмы Rohde&Schwarz

В случае, когда чувствительность одного из радиометров ухудшена, но при этом мешающего излучения в соответствующем частотном диапазоне с помощью Система 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 ПАТАН-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. Несмотря 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 фильтрования.

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: АМ, 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. Видеочастотный 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 приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – 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	Настроечные фильтры
Тюнер 0	четыре переключаемых полосовых фильтра
Помехоустойчивость, нелинейности	
Подавление радиопомех от зеркального канала	тип. 110dB, > 90 dB
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 > 6 dBm
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)

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 разъёму «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 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 дБм
- 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
 - 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

Измерение радиочастотного загрязнения проводится следующим образом: сначала спектроанализатор FSU-46 подключается напрямую к выходу радиометров (непосредственно перед детектором, или после малошумящего входного блока радиометра). Схема такого подключения продемонстрирована на Рисунке 3. При этом на вход приёмника подаётся сначала шумы нагрузки (т.е. измерение проводится без антенны РАТАН-600 и первичного облучателя), а затем ко 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.

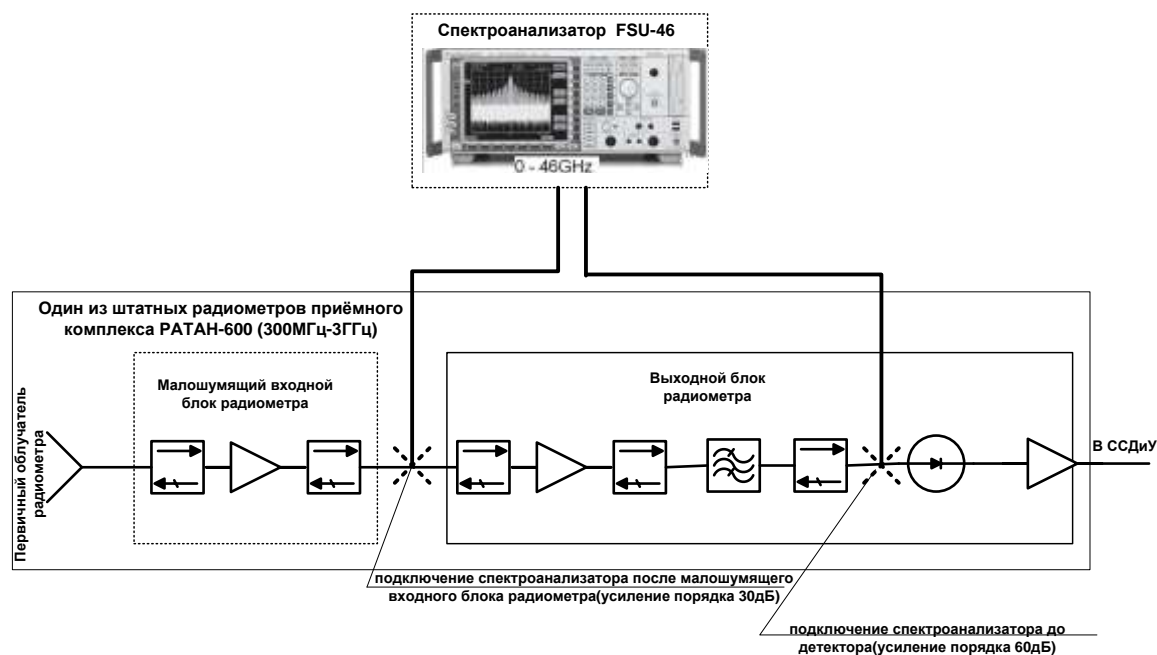


Рисунок 3 – Схема подключения анализатора спектра FSU-46 к штатным радиометрам приемного комплекса РАТАН-600

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. На Рисунке 4 продемонстрирован пример записи помеховой обстановки с подключения анализатора спектра FSU-46 к после входного малошумящего широкополосного блока дециметровых приёмников РАТАН-600.

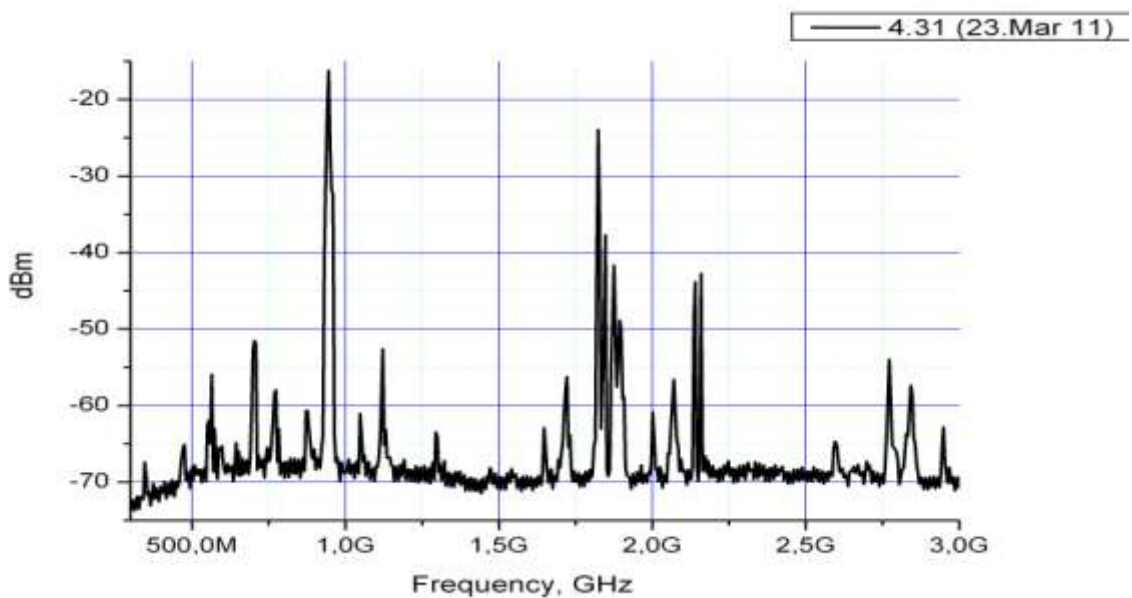


Рисунок 4 – Пример записи помеховой обстановки с подключения анализатора спектра FSU-46 к после входного малошумящего широкополосного блока дециметровых приёмников РАТАН-600

В качестве методического приложения возможно использование этого метода для быстрого тестирования усилительных трактов 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. На Рисунке 5 показан пример измерений помеховой обстановки в полосе радиометра(FSU-46 подключен перед детектором штатного радиометра).

Использования обоих методов позволяет отслеживать динамику развития радиочастотного излучения в районе расположения радиотелескопа РАТАН-600, проводить технический анализ радиосигналов в реальном времени и при отложенной обработке, оценку текущего состояния и

прогнозирование тенденций развития электромагнитной экологической обстановки.

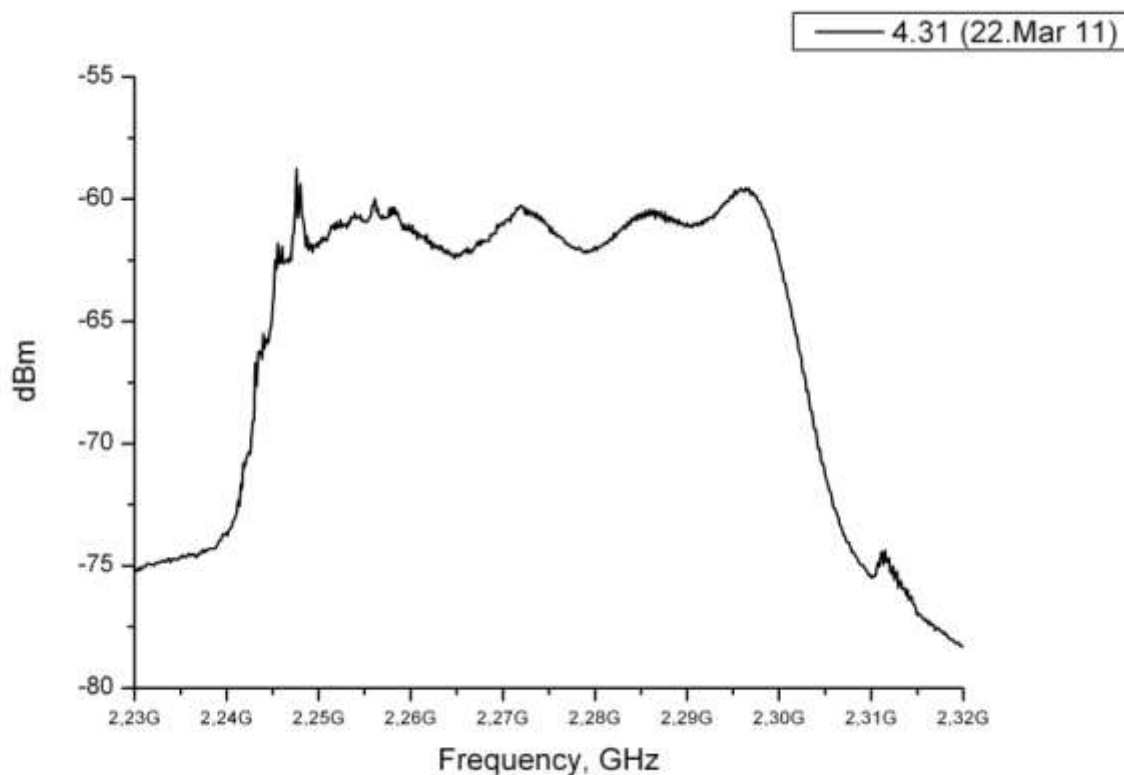


Рисунок 5 – Пример измерений помеховой обстановки в полосе радиометра(FSU-46 подключен перед детектором штатного радиометра волны 12см.)

Измерения помеховой обстановки с использованием анализатора спектра FSU-46 на выходах радиометров наиболее эффективно, так как при этом измеряется радиочастотное излучение, попадающее непосредственно через антенную систему в приёмники РАТАН-600.

Список использованной литературы

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

РАСПИСАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАТАН-600

с 1 января по 30 июня 2012 г.

	Северный сектор	Юг + плоский	Южный сектор
Я Н В А Р Б	<p>Облучатель 2 (01-31): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия)</p> <p>(01-31): Исследование SZ-эффекта в скоплении A2319, Столяров В.А. (САО РАН; Cavendish Laboratory, University of Cambridge, UK; Laboratoire APC, CNRS, France)</p>	<p>Облучатель 3 (01-31): Исследования Солнца¹(один азимут в день)</p> <p>Облучатель 1 (30-31): Резервное время, Мингалиев М. (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 1 (01-29): Многоволновое исследование GPS-источников и кандидатов, Сотникова Ю.В. (САО РАН)</p> <p>(01-29): Bright Sources Monitoring during Planck Mission, Planck WG 6</p> <p>(01-29): Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae, Мингалиев М. (САО РАН)</p>
Ф Е В Р А Л Б	<p>Облучатель 2 (01-29): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия)</p> <p>(01-29): Исследование SZ-эффекта в скоплении A2319, Столяров В.А. (САО РАН; Cavendish Laboratory, University of Cambridge, UK; Laboratoire APC, CNRS, France)</p>	<p>Облучатель 3 (01-29): Исследования Солнца¹(один азимут в день)</p> <p>Облучатель 1 (01-29): Мониторинг радиопеременности микрокварзов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, Franc)</p> <p>(01-19): Исследование центральных областей ядер активных галактик, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФРГ)</p> <p>(21-29): Bright Sources Monitoring during Planck Mission, Planck WG 6</p>	
М А Р Т	<p>Облучатель 2 (01-11): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия)</p> <p>(01-11): Исследование SZ-эффекта в скоплении A2319, Столяров В.А. (САО РАН; Cavendish Laboratory, University of Cambridge, UK; Laboratoire APC, CNRS, France)</p> <p>Облучатель 1</p>	<p>Облучатель 1 (01-11): Bright Sources Monitoring during Planck Mission, Planck WG 6</p> <p>(01-11): Мониторинг радиопеременности микрокварзов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>Облучатель 3 (12-31): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p>	

	<p>(12-13): Резервное время, Мингалиев М. (САО РАН)</p> <p>(14-25): Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа VL Lacertae, Мингалиев М. (САО РАН)</p> <p>(14-31): Мониторинг радиопеременности микрокварзов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>(26-31): Исследование центральных областей ядер активных галактик, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФР)</p>	<p>(12-31): Измерение параметров антенной системы, Богод В.М. (САО РАН)</p>	
А П Р Е Л Ь	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-08): Исследование центральных областей ядер активных галактик, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФРГ)</p> <p>(01-08): Мониторинг радиопеременности микрокварзов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>(09-22): Техническое время, Миленко В.С., Яковенко С.В. (САО РАН)</p> <p>(23-30): Юстировка, антенные измерения, Берлизев И.В., Жаров В.И., Трушкин С.А. (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-30): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p>	
М А Й	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-31): Исследование переменности активных галактических ядер, Горшков А.Г. (ГАИШ МГУ)</p> <p>(01-31): Мониторинг радиопеременности микрокварзов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>(01-31): Bright Sources</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-06): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p> <p>(07-20): Техническое время, Миленко В.С., Яковенко С.В. (САО РАН)</p> <p>(21-31): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана) (САО РАН)</p>	<p>(07-20): Техническое время, Миленко В.С., Яковенко С.В. (САО РАН)</p>

	Monitoring during Planck Mission ² (Planck WG 6)		
И Ю Н Б	<p>Облучатель 1 (01-30): Исследование переменности активных галактических ядер, Горшков А.Г. (ГАИШ МГУ)</p> <p>(01-30): Мониторинг радиопеременности микроквazarов, Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>(01-30): Многоволновое исследование GPS-источников и кандидатов², Сотникова Ю.В. (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 3 (01-30): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p> <p>(15-30): Измерение параметров антенной системы, Богод В.М. (САО РАН)</p>	

¹Мониторинг солнечной активности (Наговицин Ю.А., ГАО РАН), Анализ динамики микроволновых характеристик активных областей (Боровик В.Н., ГАО РАН), Поиск циклотронных линий (Железняков В.В., ИПФАН)

²Второй приоритет

Облучатель 1- вторичное зеркало с комплексом аппаратуры сплошного спектра.

Облучатель 2- вторичное зеркало 1) со спектральным комплексом и 2) с комплексом аппаратуры сплошного спектра (приемно-измерительные комплексы МАРС-3 и ЭРИДАН).

Облучатель 3- вторичное зеркало с солнечным комплексом.

РАСПИСАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАТАН-600

с 1 июля по 31 декабря 2012 г.

	Северный сектор	Юг + плоский	Южный сектор
И Ю Л Б	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-31): Исследование переменности активных галактических ядер, Горшков А.Г. (ГАИШ МГУ)</p> <p>(01-31): Мониторинг радиопеременности микрокварзаров, Трушкин С.А. (CAO РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>(01-21): Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae², Мингалиев М. (CAO РАН)</p> <p>(22-31): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-31): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p>	<p>Облучатель 2</p> <p>(31): Техническое время, Гречкин А.А., Миленко В.С., Яковенко С.В. (CAO РАН)</p>
А В Г У С Т	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-10): Исследование переменности активных галактических ядер, Горшков А.Г. (ГАИШ МГУ)</p> <p>(01-31): Мониторинг радиопеременности микрокварзаров, Трушкин С.А. (CAO РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>(01-10): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p> <p>(11-13): Резервное время, Мингалиев М. (CAO РАН)</p> <p>(14-31): Многоволновое исследование GPS-источников и кандидатов, Сотникова Ю.В. (CAO РАН)</p> <p>(27): Техническое время (отключение электроэнергии), Миленко В.С. (CAO РАН)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-17): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p> <p>(18-31): Юстировка, антенные измерения, Берлизев И.В., Жаров В.И., Трушкин С.А. (CAO РАН)</p> <p>(27): Техническое время (отключение электроэнергии), Миленко В.С. (CAO РАН)</p>	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-17): Техническое время, Гречкин А.А., Миленко В.С., Яковенко С.В. (CAO РАН)</p> <p>(27): Техническое время (отключение электроэнергии), Миленко В.С. (CAO РАН)</p>
С Е Н Т Я Б Р	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-03): Многоволновое исследование GPS-источников и кандидатов, Сотникова Ю.В. (CAO РАН)</p> <p>(01-16): Мониторинг радиопеременности</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-30): Исследования Солнца¹ (5 азимутов в день, +- 2h от меридиана)</p> <p>(01-10): Измерение параметров антенной системы, Богод В.М. (CAO РАН)</p>	

Б	<p>микрокварзов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (CAO РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>(04-16): Исследование центральных областей ядер активных галактик., Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФРГ)</p> <p>Облучатель 2</p> <p>(17-28): Техническое время, Миленко В.С., Яковенко С.В. (CAO РАН)</p> <p>(29-30): Юстировка, антенные измерения, Берлизев И.В., Жаров В.И., Трушкин С.А. (CAO РАН)</p>		
О К Т Я Б Р Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-07): Юстировка, антенные измерения, Берлизев И.В., Жаров В.И., Трушкин С.А. (CAO РАН)</p> <p>(08-31): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (CAO РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия)</p>	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-12): Техническое время, Миленко В.С., Яковенко С.В. (CAO РАН)</p> <p>Облучатель 3</p> <p>(13-31): Исследования Солнца¹ (1 азимут в день)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(13-31): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p> <p>(13-31): Мониторинг радиопеременности микрокварзов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (CAO РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p>	<p>(01-12): Техническое время, Миленко В.С., Яковенко С.В. (CAO РАН)</p>
Н О Я Б Р Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-30): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (CAO РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-07): Исследования Солнца¹ (1 азимут в день)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(01-07): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p> <p>(01-07): Мониторинг радиопеременности микрокварзов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (CAO РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite</p>	<p>Облучатель 1</p> <p>(08-30): Многоволновое исследование GPS-источников и кандидатов, Сотникова Ю.В. (CAO РАН)</p> <p>(08-30): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p> <p>(08-30): Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae, Мингалиев М. (CAO РАН)</p>

		Paris, France)	
Д Е К А Б Р Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-31): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-16): Исследования Солнца¹ (1 азимут в день)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(01-02): Резервное время, Мингалиев М.</p> <p>(03-16): Исследование центральных областей ядер активных галактик, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФРГ)</p> <p>(03-16): Мониторинг радиопеременности микроквazarов (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105, J2033+40), Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>Облучатель 3</p> <p>(17-31): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(17-31): Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae, Мингалиев М. (САО РАН)</p>	

¹Динамические процессы в солнечной атмосфере и нестационарные явления в околоземном космическом пространстве (Алтынцев А.Т., ИСЗФ СО РАН), Исследование особенностей микроволнового излучения АО накануне мощных эруптивных событий (Боровик В.Н., ГАО РАН), Проведение исследований по поиску циклотронных линий в спектрах поляризованного излучения активных областей (Железняков В.В., Злотник Е.Я. ИПФАН), Мониторинг солнечной активности (Наговицин Ю.А., ГАО РАН)

²Второй приоритет

Облучатель 1 - вторичное зеркало с комплексом аппаратуры сплошного спектра.

Облучатель 2 - вторичное зеркало со спектральным комплексом.

Облучатель 3 - вторичное зеркало с солнечным комплексом.