

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Федеральное государственное бюджетное учреждение
Специальная астрофизическая обсерватория РАН

УДК 520; 523.3; 523.9; 524
№ госрегистрации 01201269936
Инвентарный № 03/13

УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН

Член-корр. РАН Балага Ю.Ю.



Балага

» _____ 2013 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

«Исследования спектрально-поляризационных характеристик в широком частотном диапазоне на УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» для развития методик прогноза солнечной активности и мониторинга электромагнитного загрязнения и собственного излучения земной атмосферы»

Шифр 2012-1.8-16-518-0005-161

Этап 2: «Проведение теоретических и экспериментальных исследований»

(государственный контракт № 14.518.11.7054 от «20» июля 2012 г.)

Руководитель работ,

заместитель директора САО РАН





















М.Г. Мингалиев

М.Г. Мингалиев

Нижний Архыз

2013

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

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

Реферат

Отчет 49 с., 22 рис., 26 источник. 1 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:

Проведено исследование Солнца в период года максимума с использованием УСУ.

Обеспечено проведение исследований для сторонних организаций с использованием УСУ.

Разработана методика анализа и борьбы с помехами на высокоскоростных системах сбора данных.

Разработана методика измерения собственного радиоизлучения земной атмосферы методом «вертикальных разрезов».

Проведены мероприятия по развитию УСУ в части модернизации приемно-измерительной аппаратуры для расширения наблюдательных возможностей.

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

Обеспечено проведение исследований для сторонних организаций на УСУ РАТАН-600 в соответствии с расписанием (Приложения А₂

<http://www.sao.ru/ratan/schedule/2013/half1.html>

Проведены мероприятий по дооснащению УСУ.

По результатам исследований на радиотелескопе РАТАН-600 подготовлены

научные статьи в ведущие реферируемых российских и зарубежных изданиях, представлены доклады на конференциях.

Проведена модернизация приемно-измерительных комплексов Облучателя 1 (внедрение новой системы сбора и регистрации данных, 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 сайтах САО РАН (<http://www.sao.ru/hq/sun/> и <http://91.151.190.98/prognoz/>).

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	Проведение исследований Солнца в период года максимума с использованием УСУ.	8
2	Обеспечение проведения исследований для сторонних организаций с использованием УСУ.	15
3	Разработка методики анализа и борьбы с помехами на высокоскоростных системах сбора данных.	26
4	Разработка методики измерения собственного радиоизлучения земной атмосферы методом «вертикальных разрезов».	27
5	Проведение мероприятий по развитию УСУ в части модернизации приемно-измерительной аппаратуры для расширения наблюдательных возможностей.	28
6	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	43
	Список использованной литературы.	44
	Приложение А. Расписание наблюдений на РАТАН-600	47

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 сайтах САО РАН (<http://www.sao.ru/hq/sun/> и <http://91.151.190.98/prognoz/>).

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 Проведение исследований Солнца в период года максимума с использованием УСУ

Изучению тонкой временной структуры в радиоизлучении вспышек посвящено уже нескольких десятилетий. Наблюдения и интерпретация этого явления позволяют проводить эффективную диагностику вспышечной плазмы. Исследования были посвящены изучению субсекундных импульсов (ССИ) или миллисекундных радиоспайков, которые представляют собой интенсивные импульсы радиоизлучения продолжительностью менее 1 секунды, которые накладываются на всплеск большей продолжительности [1]. Обычно ССИ наблюдаются на импульсной фазе вспышки и их связывают с процессами первичного энерговыделения. Как правило, ССИ сопровождаются всплеском жесткого рентгеновского излучения (энергия фотонов выше 25-30 кэВ), но однозначная корреляция между этими видами излучения чаще всего не наблюдается. Особый интерес вызывает фрагментация наблюдаемого радиоизлучения. В первую очередь, она может быть вызвана фрагментацией самого первичного энерговыделения – один спайк это один акт энерговыделения или ускорения частиц во время солнечной вспышки. Эта модель была использована для объяснения наблюдавшихся всплесков в работах Мешалкиной и др. [2, 3]. Однако фрагментация радиоизлучения может быть также связана или со свойством самого механизма излучения или быть результатом вторичной фрагментации структуры источника радиоизлучения. С вторичной фрагментацией связаны два механизма – электронный циклотронный мазер и плазменный механизм. Существует огромное количество моделей разработанных на основе этих двух механизмов. Для реализации электронного циклотронного лазера необходимы невысокая плотность плазмы и высокие значения напряженности магнитного поля [1, 4]. Под плазменным механизмом излучения понимают двухступенчатый процесс. На первой стадии в источнике генерируются собственные колебания, неспособные покинуть плазму. Это могут быть, например, ленгмюровские волны. На второй стадии происходит их трансформация в быстрые поперечные электромагнитные волны, которые и наблюдаются в виде радиоизлучения [1].

Многообразие существующих моделей, объясняющих наблюдаемые ССИ, и применение их для различных наблюдательных случаев, позволяет продвигаться в понимании процессов энерговыделения и переноса энергии в солнечных вспышках. Целью нашего исследования был анализ радиоизлучения ССИ наблюдавшихся в слабой вспышке вблизи лимба с привлечением данных в рентгеновском диапазоне полученных с

субсекундным разрешением, которые дают возможность сделать оценку изменения параметров вспышечной плазмы на тех же временах, на которых наблюдались всплески.

1.1. Результаты наблюдений.

Исследуемые ССИ были зарегистрированы во время солнечной вспышки класса C2.4. Событие произошло 10 августа 2011 года в активной области 11263 вблизи западного лимба с максимумом в 9:35 UT (Рисунок 1.1, верхняя панель). Данное событие было одновременно зарегистрировано на РАТАН-600 [5] и Сибирских солнечных спектрополяриметрах (2-24 ГГц и 4-8 ГГц) Радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН [6]. Изображения Atmospheric Imaging Assembly/Solar Dynamic Observatory (AIA/SDO) [7] в линиях экстремального ультрафиолетового диапазона (EUV), характеризующих вспышечную плазму, показывают, что вспышечная петля имела простую форму, близкую к потенциальной. Наблюдения в рентгеновском диапазоне данного события были получены одновременно на КА RHESSI (временное разрешение четыре секунды) [8] и КА FERMI [9] (с временным разрешением одна секунда и субсекундным разрешением). Особенностью этого события была регистрация рентгеновского потока с энергией выше 25 кэВ, что не является типичным для таких слабых вспышек. Сравнение временных профилей микроволнового и рентгеновского излучения выявило тесную корреляцию между ними [10], что свидетельствует о генерации излучения в обоих диапазонах одной и той же популяцией электронов. Еще одной особенностью данного события является то, что исследование, проведенное с использованием параметров плазмы полученных из рентгеновских спектров и моделирования гиротронного излучения, указывает на то, что зарегистрированное как микроволновое, так и рентгеновское излучение генерировалось высокотемпературным источником ($T > 30$ МК) [10].

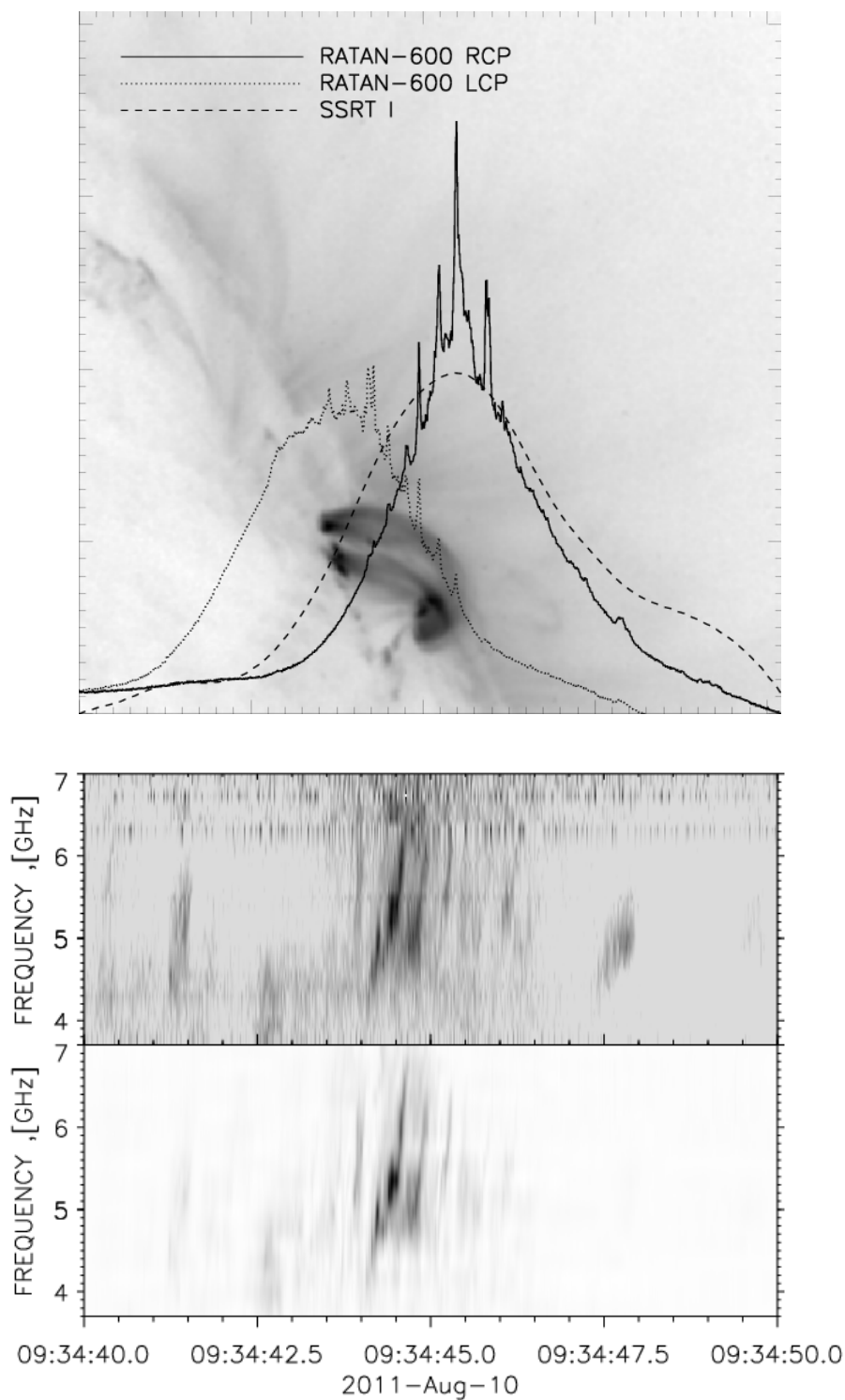


Рисунок 1.1 – Верхняя панель: На двумерное изображение вспышечной петли (EUV 94 A AIA/SDO) наложены одновременные одномерные профили RCP (сплошная линия) и LCP(пунктирная линия) субсекундных импульсов, полученные на РАТАН-600 в 9:34:37-9:34:51 UT на частоте 5.7 ГГц. Штриховой линией изображено одномерное распределение интенсивности, реконструированное из наблюдений ССРТ, на той же частоте и в тот же момент времени. Нижняя панель: Сравнение динамических спектров (верхняя поляризация) полученных на спектрополяриметре 4-8 ГГц (верхняя панель) и РАТАН -600 (нижняя панель)

Радиоизлучение Солнца на РАТАН-600 регистрировалось двумя вынесенными из фокуса на одинаковое расстояние облучателями правополяризованного (RCP) и левополяризованного (LCP) радиоизлучения. Соответственно, диаграммы LCP и RCP были разнесены в пространстве. Солнце проходило через них в разное время, с задержкой 2.52 секунды [5]. На Рисунке 1.1 (верхняя панель) показаны одновременные пространственные одномерные RCP и LCP профили ССИ на частоте 5.7 ГГц, полученные на РАТАН-600.

ССИ были зарегистрированы в момент максимума вспышки одновременно на РАТАН-600 и спектрополяриметре 4-8 ГГц (Рисунок 1.1, нижняя панель). Импульсное излучение было зарегистрировано с максимальным откликом в момент прохождения максимума основного источника через центр диаграммы РАТАН-600, и с меньшей интенсивностью - до и после этого момента, что говорит о компактности источника импульсов, и его близости к положению основного источника радиоизлучения.

По данным спектрополяриметра 4-8 ГГц, излучение ССИ не было поляризовано. В то же время, сравнение временных профилей всплесков ССИ на записях правой и левой поляризации зарегистрированных на РАТАН-600, позволяет заключить, что некоторые импульсы имеют значительную степень круговой поляризации, а знак поляризации может быть разным для отдельных импульсов. Проведенное нами сравнение временных профилей интенсивности микроволнового и жесткого рентгеновского излучений указывает на существование временной корреляции с рентгеновским излучением в диапазоне 11.4- 26.3 кэВ (Рисунок 1.2). Этот факт указывает на связь генерации микроволнового излучения с электронами с энергией около 50 кэВ. Однако для фотонов рентгеновского излучения более высоких энергий корреляция отсутствует, хотя некоторый уровень сигнала в диапазоне до 50 кэВ регистрируется. Это может объясняться двумя причинами. Первая причина – низкий уровень сигнала и высокий уровень шума для потока излучения в этом энергетическом диапазоне. Другое объяснение связано с высокотемпературной природой вспышечного источника, и с тем, что наблюдаемые нами электроны имеют тепловое распределение по энергиям. Количество электронов достаточно быстро падает с увеличением энергии, и для исследуемого энергетического диапазона уже слишком мало, чтобы вносить существенный вклад в генерацию ССИ. Но, скорее всего, мы наблюдаем сочетание этих двух факторов.

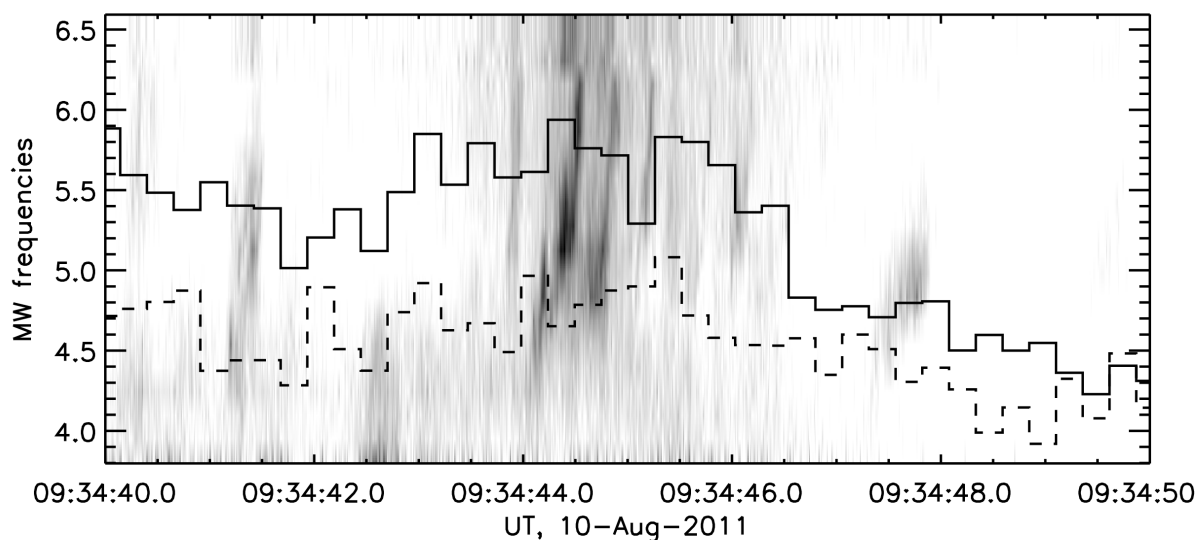


Рисунок 1.2 – Динамический спектр, полученный спектрополяриметром 4-8 ГГц (негатив) и временные профили рентгеновского излучения в диапазонах 11.4- 26.3 кэВ (сплошная линия) и 26.3- 49.9 кэВ (штриховая линия) полученные на КА FERMI

1.2. Анализ и выводы.

Как было сказано выше, для объяснения наблюдений микроволновых ССИ предложено несколько механизмов генерации – модель электронного циклотронного мазера, плазменный механизм, и гиротронное излучение короткоживущих пучков нетепловых электронов. Мы имеем дело с низкой и довольно плотной петлей с магнитным полем в вершине около 50 Гс [10], поэтому в данном случае вряд ли будет работать механизм электронного циклотронного мазера. Одним из прямых указаний на гиротронное излучение короткоживущих пучков нетепловых электронов может быть корреляция временных профилей рентгеновского излучения и ССИ или доказательства существования потока ускоренных электронов.

По данным RHESSI рентгеновские источники в диапазоне от 6 до 50 кэВ находились в южном основании петли [10]. Согласно данным ССРТ (Рисунок 1.1, верхняя панель), источник вспышечного радиоизлучения также находился близи южного основания петли. Погрешность наведения диаграммы направленности РАТАН-600 в азимутах и невозможность ее точной коррекции из-за наличия источников на лимбе не позволяют быть уверенными в результатах локализации источника по данным РАТАН. Поэтому в своих выводах, о совпадении источников рентгеновского и микроволнового излучения мы опираемся на более точные данные ССРТ. Однако тесной связи между временными профилями фотонов рентгеновского излучения с энергией более 26 кэВ с

микроволновым излучением во время ССИ не обнаружено, в то время как во время основного всплеска корреляция между этими видами излучения была очевидна.

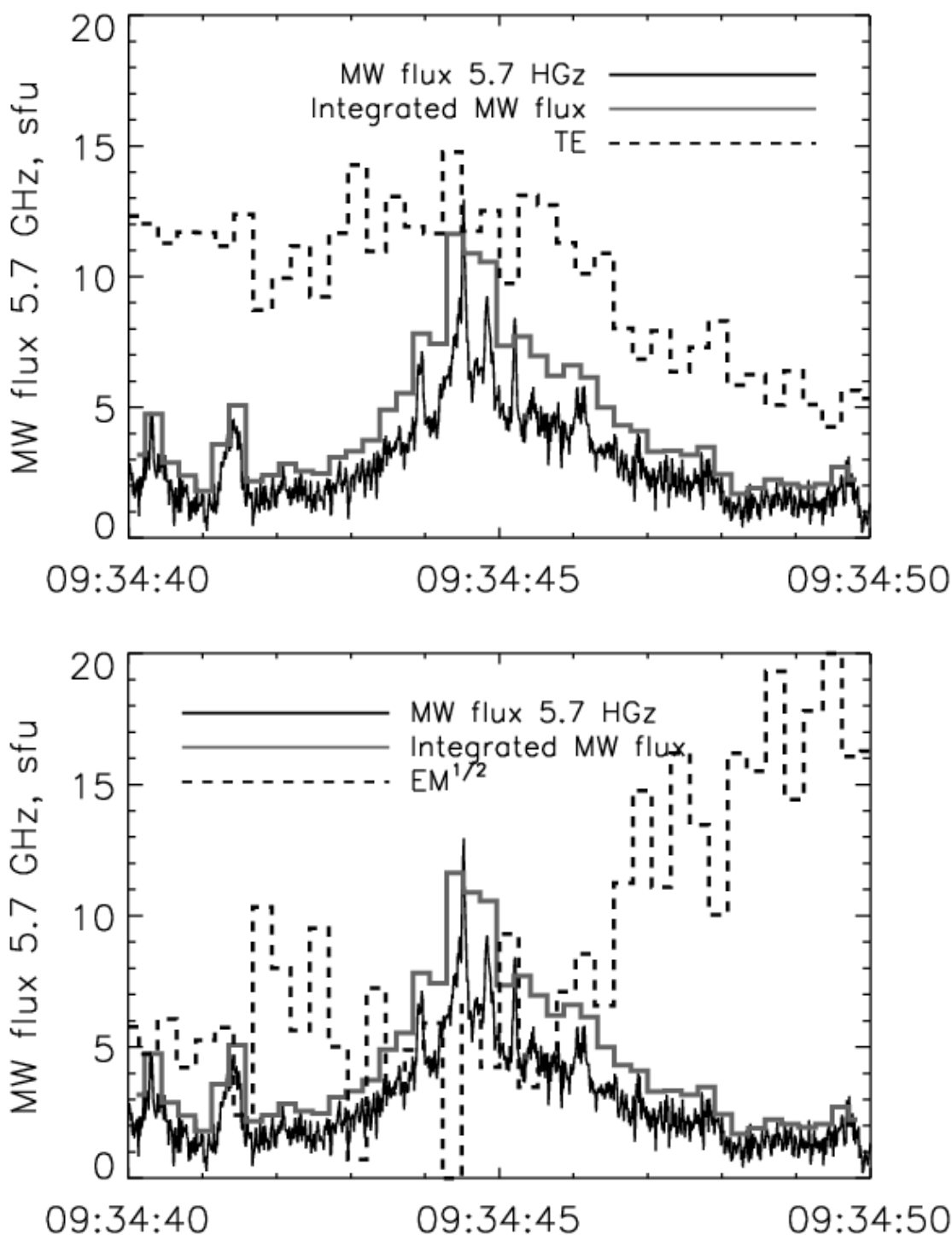


Рисунок 1.3 – Верхняя панель: Сравнение временных профилей ССИ на 5.7 ГГц и электронной температуры (ТЕ), полученной из рентгеновских спектров с временным разрешением 250 мс. Нижняя панель: Сравнение временных профилей ССИ на 5.7 ГГц и меры эмиссии в степени $\frac{1}{2}$ (ЕМ), также полученной из рентгеновских спектров. На обоих рисунках темно-серой линией показано микроволновое излучение, проинтегрированное для временного промежутка 225 мс

Таким образом, установлено, что основным источником вспышечного излучения в данном событии является высокотемпературный источник, располагающийся в южном основании петли. Было проведено исследование корреляции на субсекундных временах между временными профилями микроволнового излучения и электронной температуры (TE), а также величины характеризующей концентрацию электронов $EM^{1/2}$, где EM - объемная мера эмиссии ($EM = Ne^2V$, где Ne- среднее значение квадрата числа электронов в единице объема, V- объем). Предполагая, что во время ССИ объем источника не меняется, используя величину $EM^{1/2}$, можно оценить концентрацию электронов. Как видно на Рисунке 1.3 (верхняя панель), микроволновый поток, приведенный к тому же временному разрешению, что и рентгеновское излучение, показывает тесную корреляцию с электронной температурой. При этом $EM^{1/2}$ (т.е. концентрация электронов) демонстрирует плавный рост, без какой-либо связи с временным профилем ССИ. Эти факты указывают на то, что источник генерации ССИ был тесно связан с высокотемпературным источником. Для уточнения механизма генерации данных ССИ необходимо применение результатов теоретического моделирования.

Исходя из сказанного выше, можно сделать следующие выводы:

1. Впервые ССИ зарегистрированы на РАТАН-600 в диапазоне от 3.5 до 8 ГГц, что подтверждается независимыми наблюдениями на Сибирском солнечном спектрополяриметре 4-8 ГГц.
2. Природа, как излучения вспышки, так и зарегистрированных ССИ определялась высокотемпературным источником с температурой более 30 МК.

2 Обеспечение проведения исследований для сторонних организаций с использованием УСУ

Ниже перечислены организации-пользователи УСУ РАТАН-600 с указанием темы сотрудничества. На 2 этапе количество пользователей УСУ «Радиотелескоп РАТАН-600» составило 12 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) Институт прикладной физики РАН – Проведение исследований по поиску циклотронных линий в спектрах поляризованного излучения активных областей.
- 3) Рабочая группа по точечным внегалактическим источникам (Planck Extragalactic Point Sources Working Group, WG 6) – Bright Sources Monitoring during Planck Mission.
- 4) Смитсоновская астрофизическая обсерватория (Smithsonian Astrophysical Observatory) – Мониторинг радиопеременности микроквazarов – галактических рентгеновских двойных звезд со струйными выбросами.
- 5) Институт Нильса Бора (Niels Bohr Institute) – исследование фоновых излучений Вселенной по программе «Генетический Код Вселенной».
- 6) Лаборатория Кавэндиша (Cavendish Laboratory, University of Cambridge) – исследование фоновых излучений Вселенной по программе «Генетический Код Вселенной».
- 7) Астро-космический центр Физического института РАН – Исследование центральных областей ядер активных галактик.
- 8) Института солнечно-земной физики СО РАН – Динамические процессы в солнечной атмосфере и нестационарные явления в около-земном космическом пространстве.
- 9) Институт радиоастрономии им. М.Планка (Max-Planck-Institute für Radioastronomie) – Исследование центральных областей ядер активных галактик.
- 10) Национальная Радиоастрономическая Обсерватория (NRAO) – Исследование центральных областей ядер активных галактик .
- 11) Национальное космическое агентство (NASA GSFC США) – Исследование центральных областей ядер активных галактик.

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

Список пользователей с более детальной информацией 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 А):
 - 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 (2-ое полугодие 2013 г.). Проведена техническая экспертиза поступивших заявок и подготовлены предложения к Заседанию КТБТ (17-20 апреля 2013 г.). Распределение наблюдательного времени на период июль-декабрь 2013 г. будет утверждено соответствующим Решением КТБТ; на основании этого в будет сформировано 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).

Ниже представлены некоторые предварительные результаты наблюдений по программам сторонних пользователей.

Исследования активных ядер галактик. В 2013 г. на радиотелескопе РАТАН-600 проведены наблюдения около 200 представителей АЯГ - активных ядер галактик. Использовались два комплекса приемников космического излучения - криорadiометры диапазона 6.2, 3.9, 2.7 и 1.38 см и неохлаждаемый комплекс «ЭРИДАН» (1.38, 2.7 и 6.2 см). Наблюдения проведены в рамках наблюдательных программ: «Многоволновое исследование GPS-источников и кандидатов», «Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae», «Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG6)». В результате получен новый наблюдательный материал, в виде мгновенных широкодиапазонных радиоспектров. Высокая чувствительность радиотелескопа РАТАН-600 и возможность массового получения мгновенных широкодиапазонных радиоспектров позволили использовать полученные результаты в комплексных исследованиях АЯГ. Полученные результаты дали экспериментальную информацию - радиосветимости, плотности потоков, радиоспектры (ок 2.1), для массовых списков таких объектов, как BLOs (тип BL Lacertae), GPS (Gigahertz-peaked spectrum источники), квазары с плоскими радиоспектрами (FSRQ — flat spectrum radio quasars).

Исследование радиосвойств объектов BL Lac's. Проанализированы радиосвойства группы BLO, исследовавшихся на РАТАН-600 в период 2006-2013 гг. (порядка 150 объектов). В среднем все источники имеют плоские радиоспектры в высоко- и низкочастотном интервале; большинство источников выборки имеют красные смещения $z < 0.5$ [11]. Красные смещения неизвестны для 18 объектов. Большинство из них – LBLs – являются кандидатами в HFSRQs – high peaked flat spectrum radio quasars. HFSRQs - теоретически предсказанные и недавно обнаруженные [12] объекты высокой светимости с высоким пиком синхротронной компоненты ($6 \cdot 10^{46}$ erg/s и $5 \cdot 10^{15}$ Hz), что противоречит сценарию “blazar sequence” [13], объясняющему наличие антикорреляции "радиосветимость-частота пика синхротронной компоненты". Для 70% источников индекс переменности на масштабах нескольких месяцев менее чем 20%. Только для отдельных источников спектральная плотность потока меняется на десятки процентов. По материалам исследований BL Lac's создана интерактивная база наблюдательных данных "RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lac objects" www.sao.ru/blcat/ Version 1.0, в настоящий момент состоящая из 140 объектов.

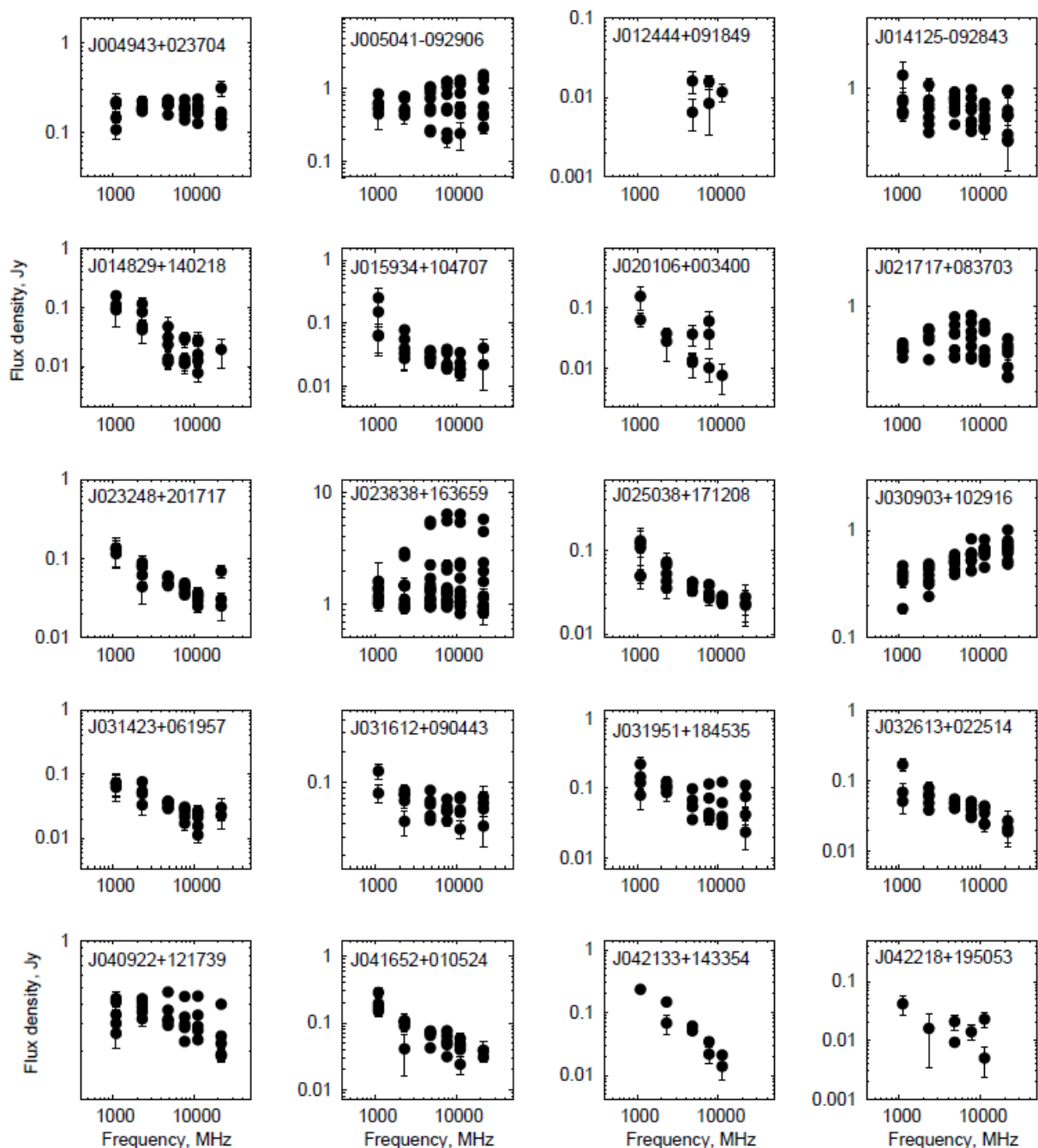


Рисунок 2.1 – Мгновенные широкодиапазонные радиоспектры активных ядер галактик, исследуемых на ПАТАН-600 (2006-2013 гг.)

Многоволновое исследование GPS источников. Многолетние наблюдения Gigahertz-Peaked spectrum источников на ПАТАН-600 (Investigation of radio spectra and variability of GPS sources, Metsahovi Radio Observatory, SAO RAS, Многоволновое исследование GPS источников и кандидатов, SAO РАН) явились основой большого объема экспериментальных данных [14]. Использование этого материала и базы данных CATS лежит в основе комплексного исследования GPS источников. Обнаружено незначительное количество “канонических” GPS [15] среди ярких внегалактических радиоисточников – несколько процентов. В работе исследованы две группы GPS – галактики и квазары.

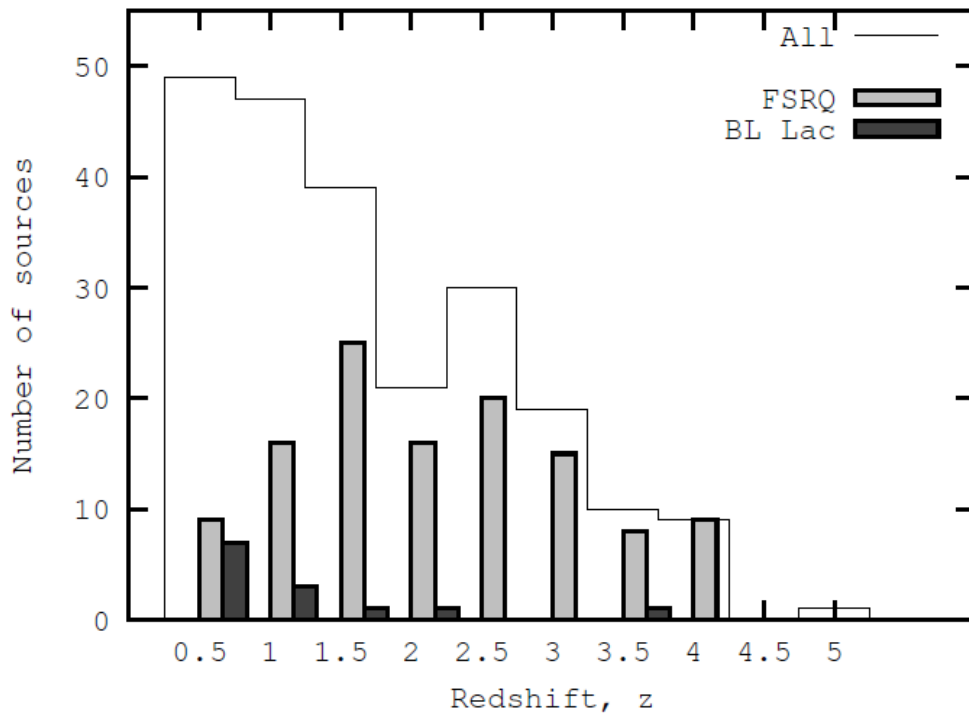


Рисунок 2.2 – Распределение красных смещений всех объектов выборки (тонкая линия); черным выделено распределение z для объектов BL Lac’s и блазаров с неопределенным типом (13 объектов) по классификации Massaro (2009); серым – для объектов FSRQs (118 объектов)

Наиболее узкие спектры наблюдаются у галактик (ширина 0.9 декады частоты). Большая часть GPS галактик обнаружена на малых красных смещениях z - от 0.014 до 1.81 (Рисунок 2.3, 2.4). GPS квазары локализованы на больших красных смещениях - от 0.114 до 3.99, имеют более широкие радиоспектры и больший индекс переменности. Выборка GPS кандидатов содержит и источники типа BL Lac’s и квазары FSRQs (flat spectrum radio quasars) (Рисунок 2.2). Из соотношения “красное смещение - пиковая частота – ширина спектра” (Рисунок 2.3) видно, что объекты с наиболее узкими спектрами локализованы в двух областях по z . Среди объектов GPS значительная часть представлена в обширном каталоге блазаров Roma-BZCAT [11]. На Рисунке 2.4 продемонстрированы соотношения между объектами FSRQ, BL Lac и пр. Хорошо видно, что выборка GPS, которые считаются слабопеременными в радиодиапазоне, значительно “загрязнена” квазарами с плоскими спектрами. Очевидно, что галактики и квазары GPS являются разными объектами по физической природе, и не только эффекты угла ориентации джета играют роль в их разных наблюдаемых свойствах. На Рисунке 2.5 представлен спектр “канонического” GPS для галактики и квазара, полученный на PATAH-600 (с

использованием CATS). Радиоспектр галактики уже и круче, чем у квазара - FWHM 1.1 и 1.2 соответственно.

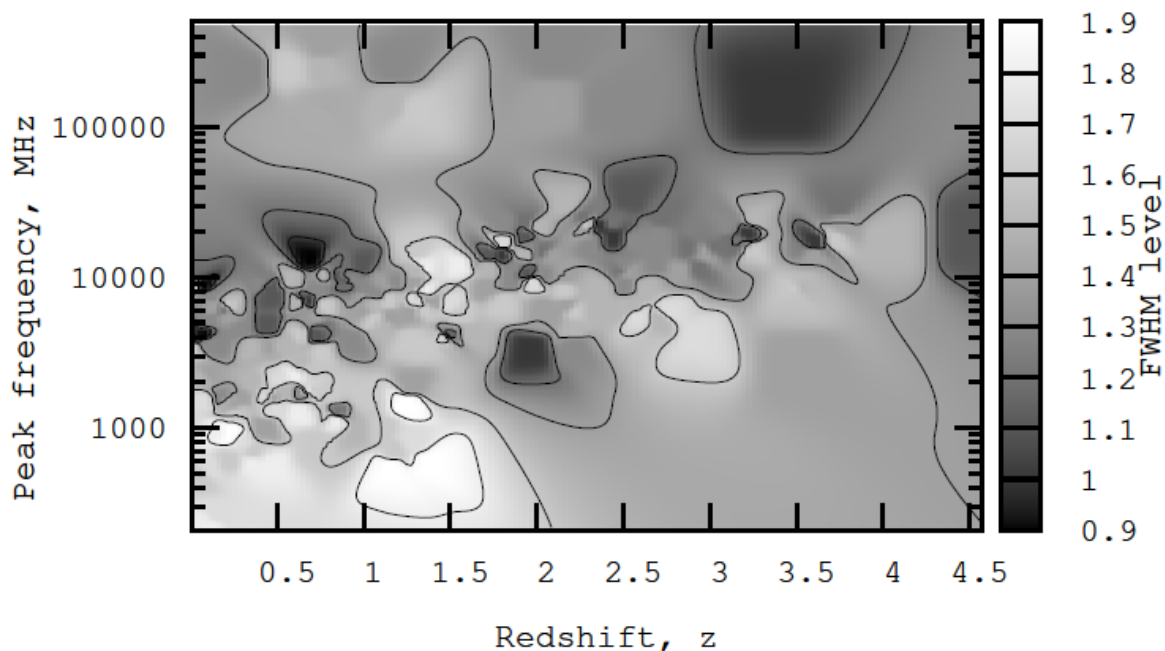


Рисунок 2.3 – Соотношение “красное смещение - пиковая частота – ширина спектра” для компактных объектов, имеющих спектральный максимум в радиодиапазоне; параметры спектров рассчитаны с использованием измерений ПАТАН-600 и CATS

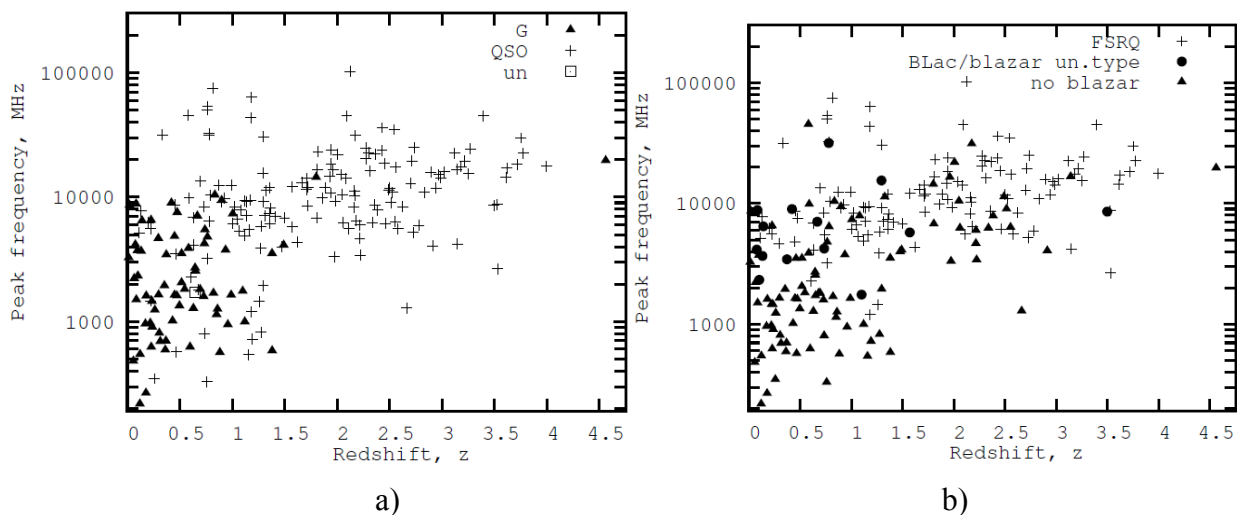


Рисунок 2.4 – а) Соотношение “красное смещение – пиковая частота” для галактик G, квазаров QSO и неотжествленных объектов un; б) соотношение “красное смещение – пиковая частота” для FSRQs, BL Lac’s и блазаров неопределенного типа (blazar un.type) и объектов, не имеющих свойств блазаров (no blazar)

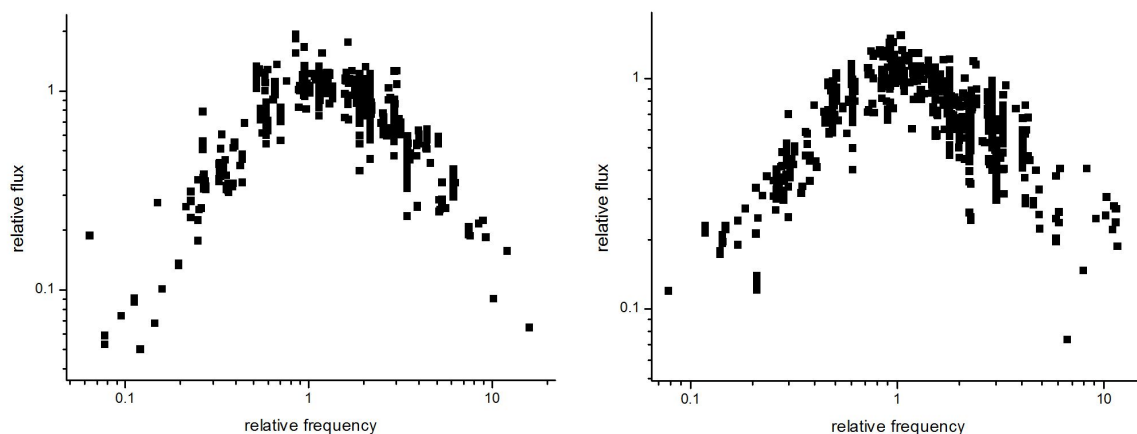


Рисунок 2.5 – Полученные на ПАТАН-600 (с использованием также CATS) “канонические” спектры GPS галактики (слева) и квазара (справа)

Мониторинг ярких радиоисточников списка PLANCK. На ПАТАН-600 систематически наблюдаются объекты списка PLANCK (*1 Jy Complete Sample*). В январе-марте 2013 г. проведены наблюдения около 60 объектов с использованием двух приемных комплексов сантиметрового диапазона (1.38, 2.7, 3.9 и 6.2 см). Для наблюдений используется двух- и трехзеркальная конфигурация антенны, это дает возможность наблюдать объекты широкого диапазона склонений – от -40° до 71° . Ниже приведены примеры полученных радиоспектров и интерактивной обработки наблюдательных данных (Рисунок 2.6-2.9).

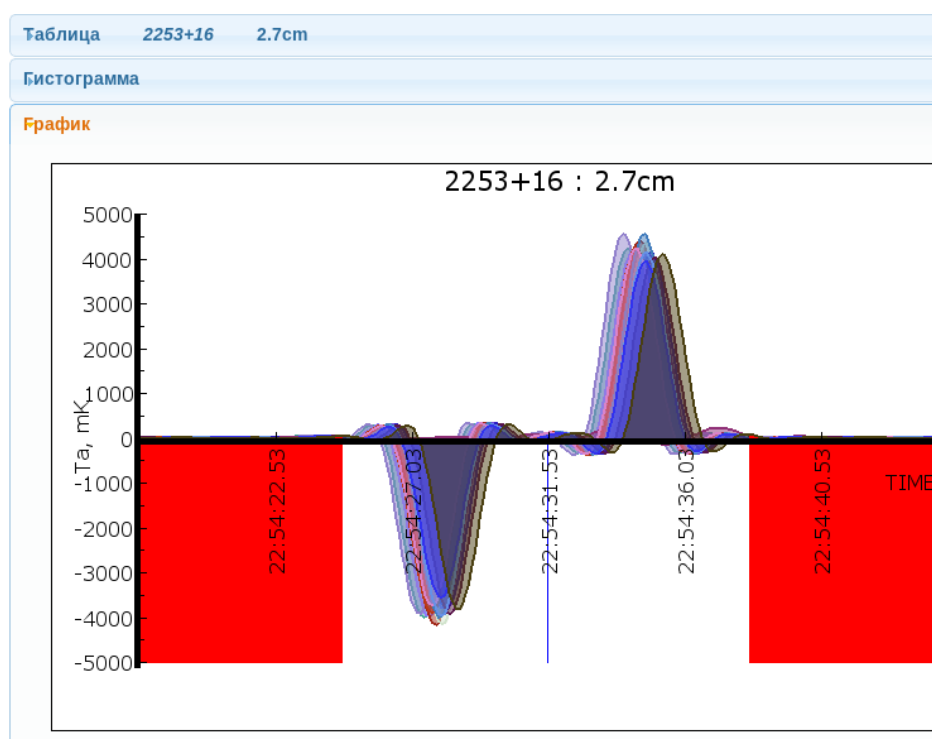


Рисунок 2.6 - Пример интерактивной обработки наблюдательных данных (Гаусс анализ на 2.7 см) для яркого блазара списка PLANCK 3C454.5

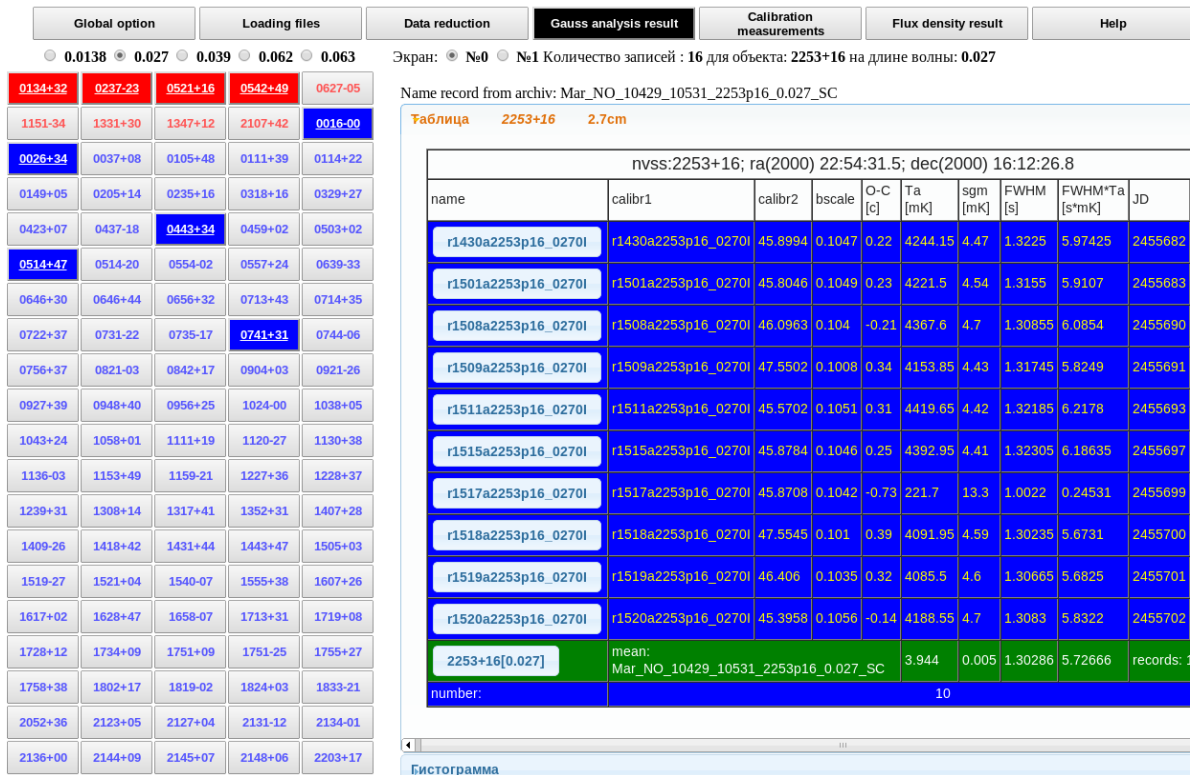


Рисунок 2.7 – Пример интерактивной обработки наблюдательных данных (получение антенных температур T_a) для яркого блазара списка PLANCK 3C454.5

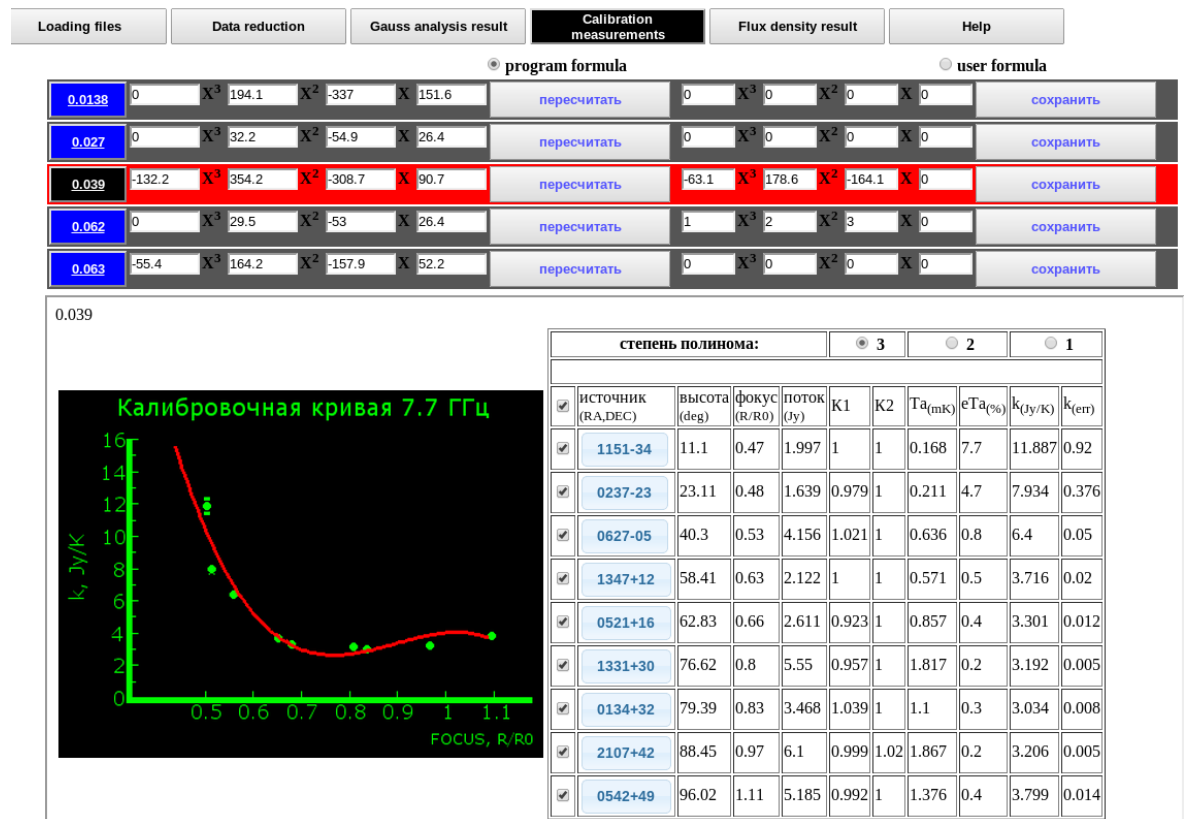


Рисунок 2.8 - Калибровочная кривая (для 7.7 ГГц), полученная интерактивно для расчета спектральной плотности потока. Кривая фактически отражает усредненную за время

цикла суммарную зависимость нестабильности атмосферного поглощения и эффективной площади от угла над горизонтом на соответствующих длинах волн.

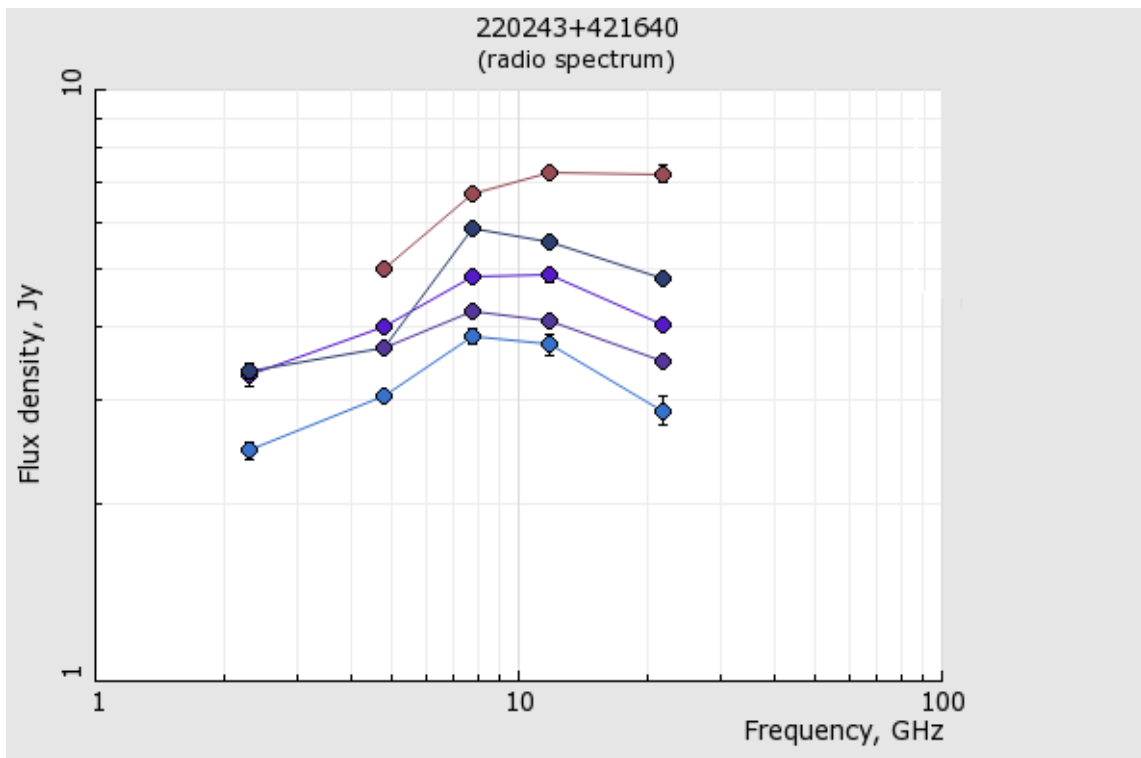
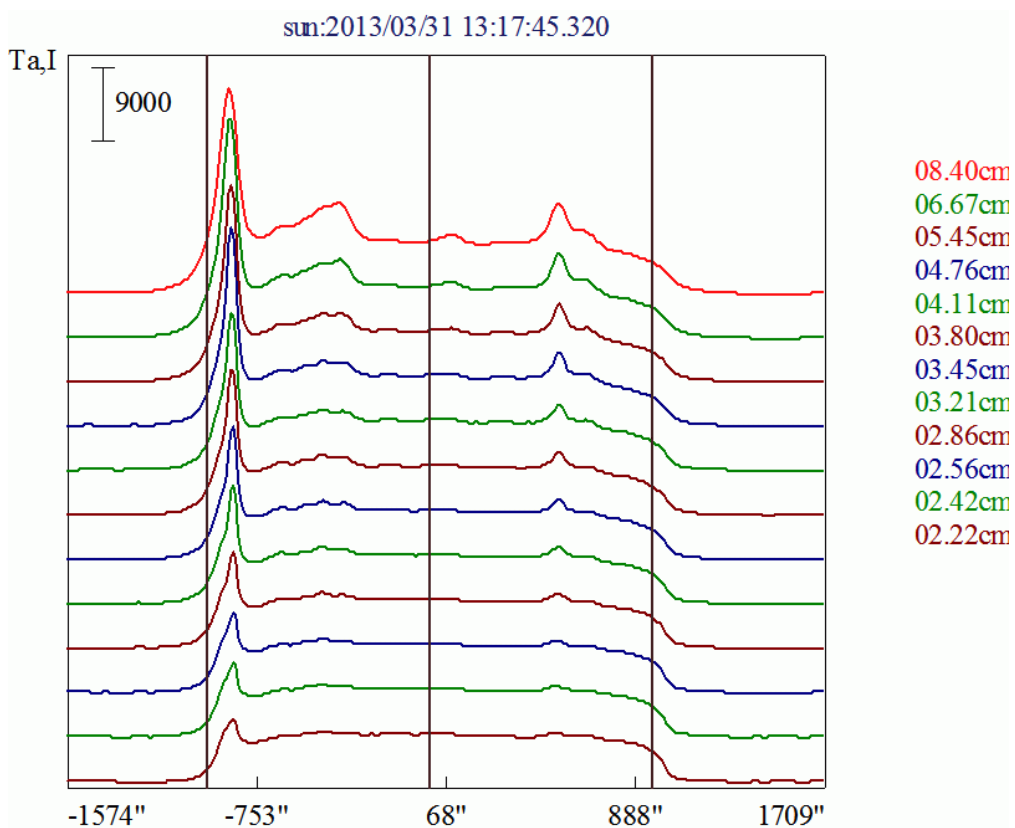


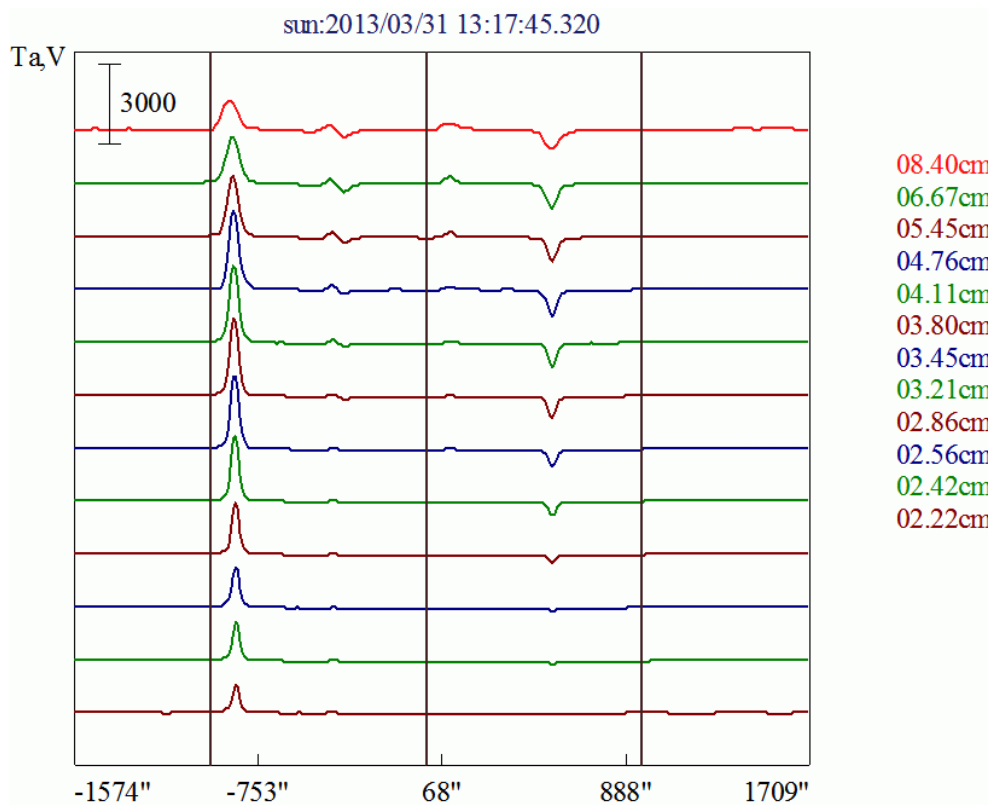
Рисунок 2.9 – Пример мгновенных радиоспектров для объекта VL Lac (из списка наблюдательной программы PLANCK), полученных на РАТАН-600 в период 2009-2013 гг.

Исследования Солнца. На следующем Рисунке 2.10 представлены примеры наблюдения по программам исследования Солнца (представлены сканы Солнца за 31 марта 2013 г.).

а)



б)



в)

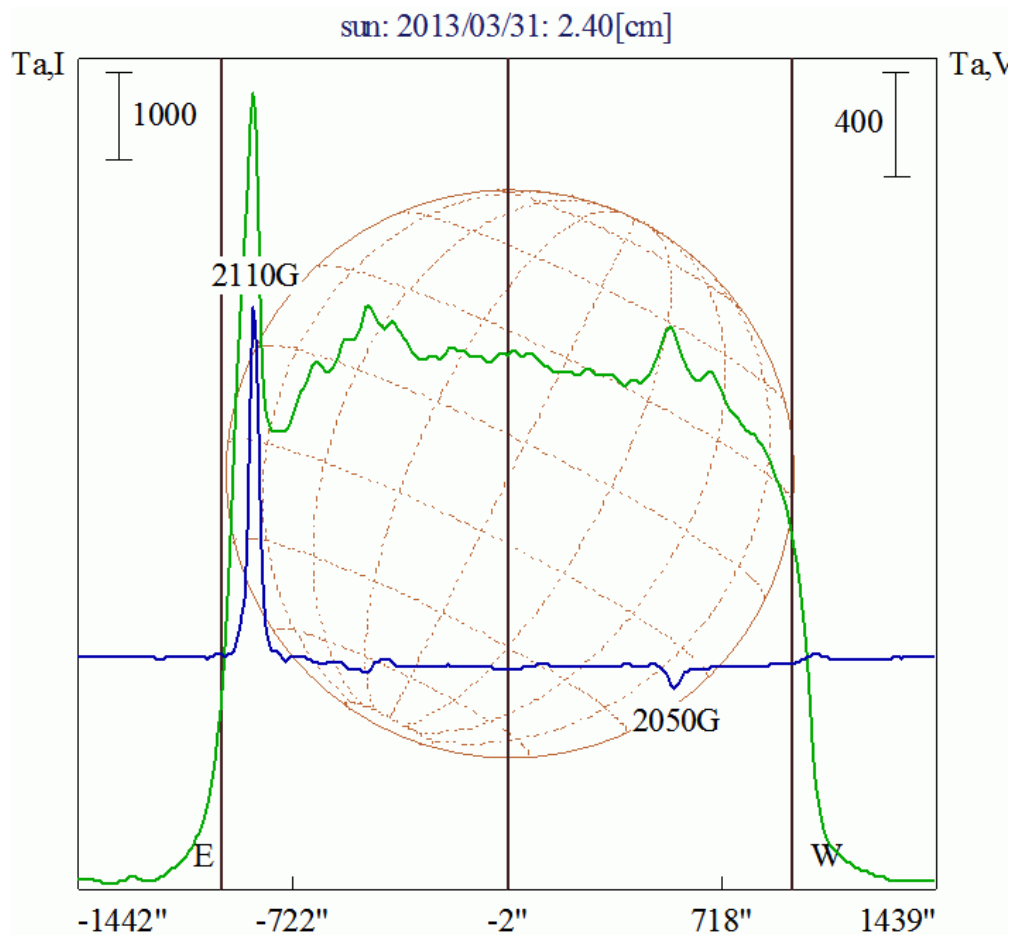


Рисунок 2.10 – Пример многочастотных сканов Солнца в интенсивности за 31 марта 2013 г. радиотелескопе РАТАН-600 на одном из азимутов: а) в интенсивности; б) в поляризации; в) интенсивность и поляризация наложены на диск Солнца; система предварительной оценки физических параметров наблюдаемых активных областей выдает автоматически напряженность магнитного поля

Наблюдения Солнца оперативно выставляются на сайтах Обсерватории для общего доступа (<http://www.sao.ru/hq/sun/>). Там же по кнопке **prognoz** можно перейти на страницу по прогнозу солнечной активности, которая в настоящее время работает в тестовом режиме.

3 Разработка методики анализа и борьбы с помехами на высокоскоростных системах сбора данных

Разработана методика анализа и борьбы с помехами на высокоскоростных системах сбора данных

Традиционные системы обработки сигналов, предназначенные для извлечения информации из поступающего сигнала, например согласованные фильтры, работают по принципу разомкнутого контура, т.е. на данном интервале времени для обработки сигнала используется тот же метод, что и на предшествующем интервале, независимо от результата, полученного на последнем. Иначе говоря, в основу традиционных методов обработки сигнала положено допущение о том, что искажение сигнала является известным и инвариантным во времени.

Применительно к радиоастрономии идея адаптивного фильтра заключается в том, что образец RFI сигнала, полученный отдельным независимым «каналом помехи» добавлен к дорожке штатного приёмника в противоположной фазе и равной амплитуде. Поскольку радиотелескоп и возможно вмешивающийся источник не постоянен, фаза и амплитуда сигнала с канала помехи должны быть постоянно адаптированы к изменяющейся амплитуде и фазе RFI сигнала.

Более подробно методика изложена в Приложение Б.

4 Разработка методики измерения собственного радиоизлучения земной атмосферы методом «вертикальных разрезов»

На радиотелескопе РАТАН-600 разработан и применяется метод исследования собственного радиоизлучения тропосферы методом вертикальных разрезов (МВР). Этот метод хорошо известен в радиоастрономии, например, нобелевские лауреаты Пензиас и Уилсон в 1964 году успешно применили его для оценки вклада атмосферы в общую шумовую температуру антенны, на которой они открыли космическое микроволновое излучение. Этот метод успешно применялся Жевакиным и др. для атмосферных радиоизмерений в СССР.

Метод состоит в том, чтобы измерять яркостную температуру всего слоя атмосферы на разных частотах (обычно от 1 до 30 ГГц). Эти измерения дают наблюдателю на телескопе возможность оценить поглощение космического излучения, падающего на телескоп, чтобы с высокой точностью измерить интенсивность того или иного космического источника.

На основе известных модельных расчетов атмосферного радиоизлучения можно с довольно высокой точностью (10%) оценить общее содержание водяного пара в тропосфере и содержание кислорода во всей атмосфере. Самой переменной является именно содержание воды в приземном слое атмосферы (тропосфере), но и оценки содержания кислорода тоже могут быть интересными для различных задач экологического мониторинга.

Более подробно методика изложена в Приложение В.

5 Проведение мероприятий по развитию УСУ в части модернизации приемно-измерительной аппаратуры для расширения наблюдательных возможностей

5.1. Модернизация Системы Сбора Данных и Управления радиометрического комплекса РАТАН-600 Облучателя № 1.

На РАТАН-600 разработана, изготовлена и внедрена в штатную эксплуатацию Система Сбора Данных и Управления (ССДиУ) нового поколения для проведения радиоастрономических наблюдений в континууме [16]. Здесь приводятся описание и результаты заключительного этапа работ - внедрение новой ССДиУ на облучателе №1 РАТАН-600.

Предварительно новая ССДиУ была внедрена в пробную, а затем и в штатную эксплуатацию на облучателях №2 и №3. При этом отработаны основные алгоритмы и методы обработки сигналов радиометров и проведения наблюдений, а также состав требуемого аппаратного и программного обеспечения. Аппаратурно-методическая часть работ, проведенных до данного завершающего этапа, отражена в [17], первые результаты радиоастрономических наблюдений с новой ССДиУ приняты в публикацию [18].

5.1.1. Актуальность

Облучатель №1 является одним из основных поставщиков наблюдательной радиоастрономической информации РАТАН-600. Наблюдения проводятся согласно программе, утвержденной программным комитетом, круглосуточно и круглогодично. Эти и другие обстоятельства предъявляют достаточно жесткие требования к системе сбора данных и управления радиометрами. ССДиУ облучателя №1 за длительный (более 30 лет) своего существования регулярно модернизировалась [19-25] в соответствии с новыми требованиями и новыми техническими средствами. Развивались методики подготовки и проведения наблюдений на РАТАН-600, регистрации и обработки наблюдательных данных.

Данная работа является очередным витком модернизации, и продиктована многими обстоятельствами, в числе которых: моральное и физическое устаревание предыдущей системы, развитие аппаратных и программных средств, требование повышения качества наблюдательных данных, долговременной стабильности работы радиометрического комплекса, развитие методик проведения наблюдений и обработки полученных данных, и др.

5.1.2. Аппаратная и программная основа новой ССДиУ

Исходной предпосылкой для возможности проведения данной работы явилась разработка и внедрение на ПАТАН-600 аппаратной основы ССДиУ нового поколения — встраиваемой радиометрической системы ER-DAS (Embedded Radiometric Data Acquisition System), подробно описанной в [16]. Архитектура ER-DAS представлена на Рисунке 5.1. Это «строительный блок» для построения распределенных, встраиваемых в радиометры и радиометрические комплексы многоканальных измерительных систем (ИС) и систем управления.

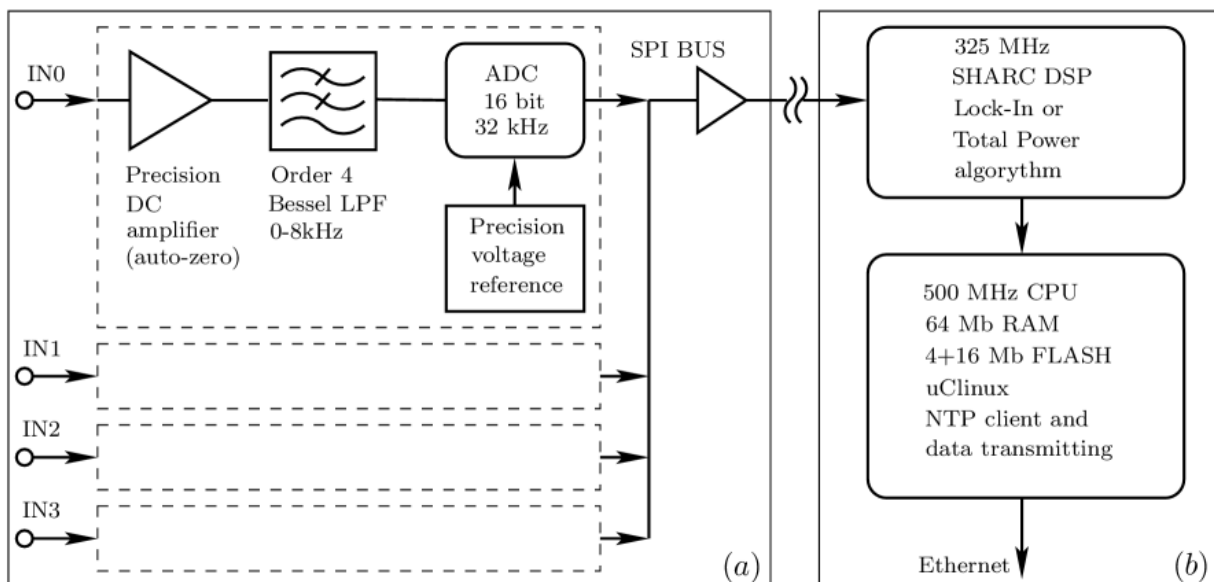


Рисунок 5.1 – Архитектура встраиваемой радиометрической системы ER_DAS: а) аналоговая подсистема; б) подсистема цифровой обработки сигналов

Система ER-DAS — четырехканальная, и способна принимать и обрабатывать достаточно высокоскоростные (32000 отсчетов в секунду) сигналы 4-х радиометров, а также управлять радиометрами путем выдачи на них сигналов модуляции, управления калибровкой и др. Система состоит из 2-х подсистем: прецизионной аналого-цифровой подсистемы и подсистемы ЦОС (Цифровой Обработки Сигналов). Аналого-цифровая подсистема предназначена для прецизионной аналоговой обработки сигналов радиометров и их скоростной оцифровки, а подсистема ЦОС производит высокоскоростную цифровую предварительную обработку сигналов модуляционных радиометров т. н. алгоритмом RDL (Radiometric Digital Lock-in — радиометрический цифровой синхронный детектор, см. [16]).

В состав подсистемы ЦОС системы ER-DAS входят встраиваемые микропроцессорные средства — 2 микропроцессора, один из которых является цифровым сигнальным процессором (ЦСП) и производит обработку сигналов радиометров в

масштабе реального времени, а второй микропроцессор является коммуникационным, для связи системы ER-DAS с внешним миром, передачи готовых данных, приема команд управления и сигналов точного времени по сети Ethernet. Работает коммуникационный процессор под управлением ОС Linux. Для обоих микропроцессоров на РАТАН-600 написано необходимое программное обеспечение, которое хранится в энергонезависимой памяти системы ER-DAS и автоматически загружается при подаче на систему электропитания.

Программирование и наладка системы ER-DAS, а также изготовление необходимого количества таких систем произведено в предыдущие годы. Это позволило разработать и внедрить новое программное обеспечение ССДиУ верхнего уровня, позволяющее объединить большое количество систем ER-DAS в единый наблюдательный/измерительный процесс. Ввод в строй нового ПО и нового оборудования позволил внедрить ССДиУ нового поколения на облучателях РАТАН-600 №2 и №3 сначала в пробную, а затем и в штатную эксплуатацию.

Кроме введения в строй аппаратной и программной частей собственно ССДиУ, на РАТАН-600 также разработаны и введены в штатную работу подсистемы координатно-временной поддержки проведения радиоастрономических наблюдений на базе GPS-приемников Trimble Resolution-T. Изготовлена и налажена необходимая аппаратура, написано оригинальное программное обеспечение приема сигналов точного времени и координат. Данная подсистема предназначалась для установки как на мобильных пунктах (облучателях РАТАН-600) так и стационарно, для синхронизации времени на всех рабочих станциях РАТАН-600. Три рабочих комплекта данной подсистемы установлены на облучателях №1, №2 и №3 и введены в штатную работу. Таким образом решена задача обеспечения точным (с точностью лучше 20-ти микросекунд) временем всех подсистем ССДиУ каждого приемного комплекса. Полученное от спутников точное время раздается посредством протокола NTP (Networked Time Protocol) как управляющим компьютерам всех ССДиУ так и отдельно всем ее составляющим (подсистемам ER-DAS). В результате, полученные радиометрические данные промаркированы точным временем.

Таким образом, создана аппаратная и программная основа для модернизации ССДиУ облучателя №1 РАТАН-600.

5.1.3. Модернизация ССДиУ облучателя №1

К моменту проведения данной работы все необходимое ПО и оборудование было налажено и введено в работу на других приемных комплексах РАТАН-600. ССДиУ нового поколения показала высокие технические и эксплуатационные качества, универсальность

и гибкость, точность измерений и надежность. Возникла необходимость внедрения данной системы и на приемном комплексе облучателя №1.

«Старая» архитектура ССДиУ облучателя №1 показана на Рисунке 5.2.

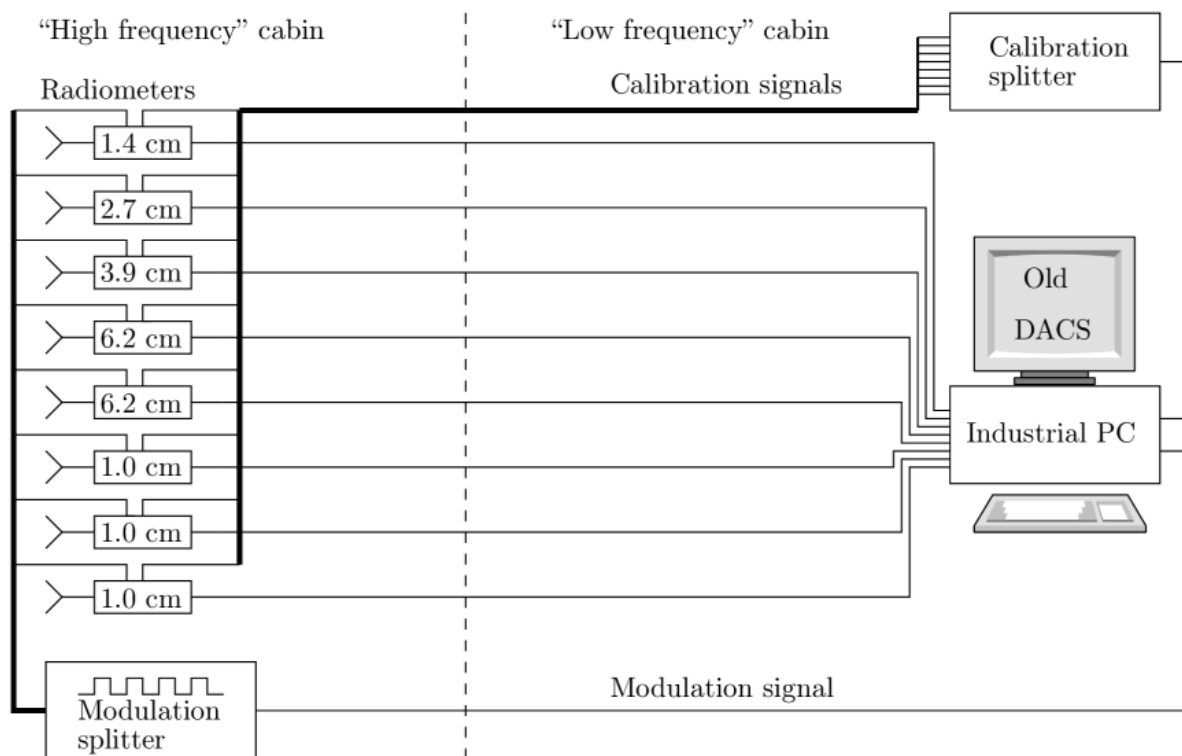


Рисунок 5.2 – Архитектура "старой" системы сбора данных и управления облучателя № 1.

Будучи прогрессивной на момент создания, она серьезно уступала новой ССДиУ, работавшей уже в составе приемных комплексов других облучателей РАТАН-600. В результате замены новая ССДиУ облучателя №1 приобрела вид, показанный на Рисунке 5.3.

После модернизации новая ССДиУ получила следующие преимущества по сравнению со «старой»:

- Оцифровка сигналов радиометров максимально приблизилась к источникам сигналов радиометров - к их детекторам. Ранее сигналы оцифровывались на расстоянии около 20 метров от детекторов с помощью АЦП, помещенного внутри компьютера (обладающего высоким уровнем собственных шумов). В новой архитектуре полностью исключены длинные линии передачи аналоговых сигналов радиометров к месту оцифровки.

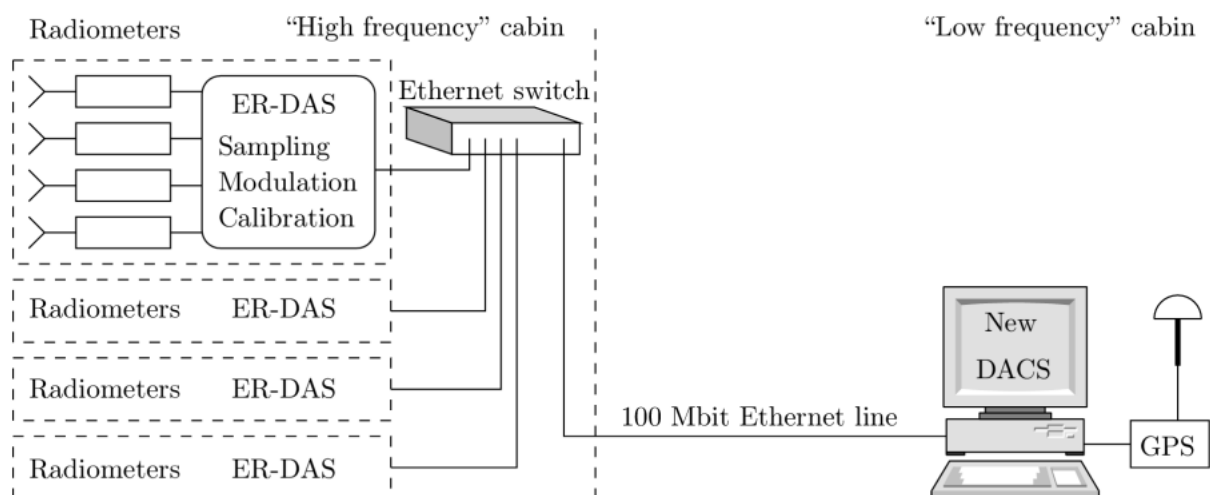


Рисунок 5.3 – Архитектура новой системы сбора данных и управления облучателя №1

- Прецизионная аналоговая обработка сигналов и Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) гальванически изолированы от «шумных» цифровых компьютерных систем, что повышает помехозащиту радиометрических сигналов.
- Новая система легко наращивается вводом в работу дополнительных подсистем ER-DAS, в то время как «старая» обладала ограниченным числом каналов АЦП.
- Сигналы управления радиометров вырабатываются в непосредственной близости к самим радиометрам. Исключены длинные линии передачи сигналов управления. Они заменены на единственный канал — линию связи Ethernet.
- В новой архитектуре регистрируется температура системы радиотелескоп + радиометр (см. [16]), в то время как «старая» система давала только дифференциальный сигнал модуляционного радиометра. Это расширяет спектр решаемых наблюдательных и измерительных задач радиометрического комплекса: наблюдения в режимах «полной мощности» и «модуляционном» одновременно. Сигнал модуляционного радиометра может всегда быть получен в пост-обработке наблюдательных данных.
- В «старой» схеме управления радиометрами также присутствовала т.н. подсистема «балансировки» радиометров (на Рисунке 5.2 она не показана). В новой архитектуре данная подсистема исключена полностью за счет применения метода ОЦСД (Отложенного Цифрового Синхронного Детектирования), состоящего в раздельной записи сигналов 2-х полупериодов модуляционного радиометра. Для радиометра с архитектурой, требующей «балансировки», эта операция теперь может быть выполнена программно, в пост-обработке. Исключение подсистем балансировки радиометров коснулось и самих радиометров: в процессе

модернизации из них удалена вся соответствующая аппаратура «балансировки». Это улучшило эксплуатационные характеристики радиометров и долговременную стабильность их работы.

- В новой системе есть свой собственный источник сигналов точного времени (GPS подсистема).

Модернизация ССДиУ облучателя №1 потребовала и модернизации всего приемного радиометрического комплекса, а именно - подсистем управления самих радиометров. Эти подсистемы существенно упростились, и было изготовлено и введено в работу новое соответствующее оборудование. Также, как упоминалось выше — полностью удалено оборудование «балансировки» радиометров как из самих радиометров так и из ССДиУ. Удалено из работы и соответствующее программное обеспечение.

5.1.4. Наблюдения с новой ССДиУ

В настоящее время радиометрический комплекс облучателя №1 РАТАН-600 работает по наблюдательной программе уже с новой системой сбора данных и управления. Как упоминалось выше — новая ССДиУ регистрирует сигналы отдельных полупериодов модуляции модуляционных радиометров, каковыми являются все радиометры континуума ратан-600 всех приемных комплексов (облучателей №1, №2 и №3). На Рисунке 5.4 приведен пример записи точечного радиоисточника новой системой. Зарегистрированные отдельно сигналы полупериодов модуляции (Рисунок 5.4а) дают информацию о температуре системы радиотелескоп + радиометр, которая ранее, при полностью дифференциальном методе приема, полностью терялась. После максимального улучшения отношения сигнал/шум (Рисунок 5.4б), сигналы отдельных полупериодов программно (в пост-обработке) вычитаются (Рис. Рисунок 5.4с) что дает сигнал модуляционного радиометра, в данном случае — радиометра с диаграммной модуляцией. При этом эффективно подавляются компоненты шума вида $1/f$, присутствующие в записи на Рисунке 5.4а. Вместе с тем, появившаяся новая информация о температуре системы позволяет контролировать состояние как радиотелескопа в целом, его отдельных составляющих шумовой температуры, так и радиометра в частности, производить его диагностику и измерять его собственную шумовую температуру. Благодаря этой информации на многих радиометрах РАТАН-600 уже обнаружены и устранены источники аномальных шумов.

Нами разработана и введена в практику методика программной «балансировки» радиометра на замену аппаратной балансировки, требующей большого количества

дополнительного оборудования, которое, к тому же, является потенциальным источником нестабильности в радиометре. Пример программной балансировки показан на Рисунке 5.5.

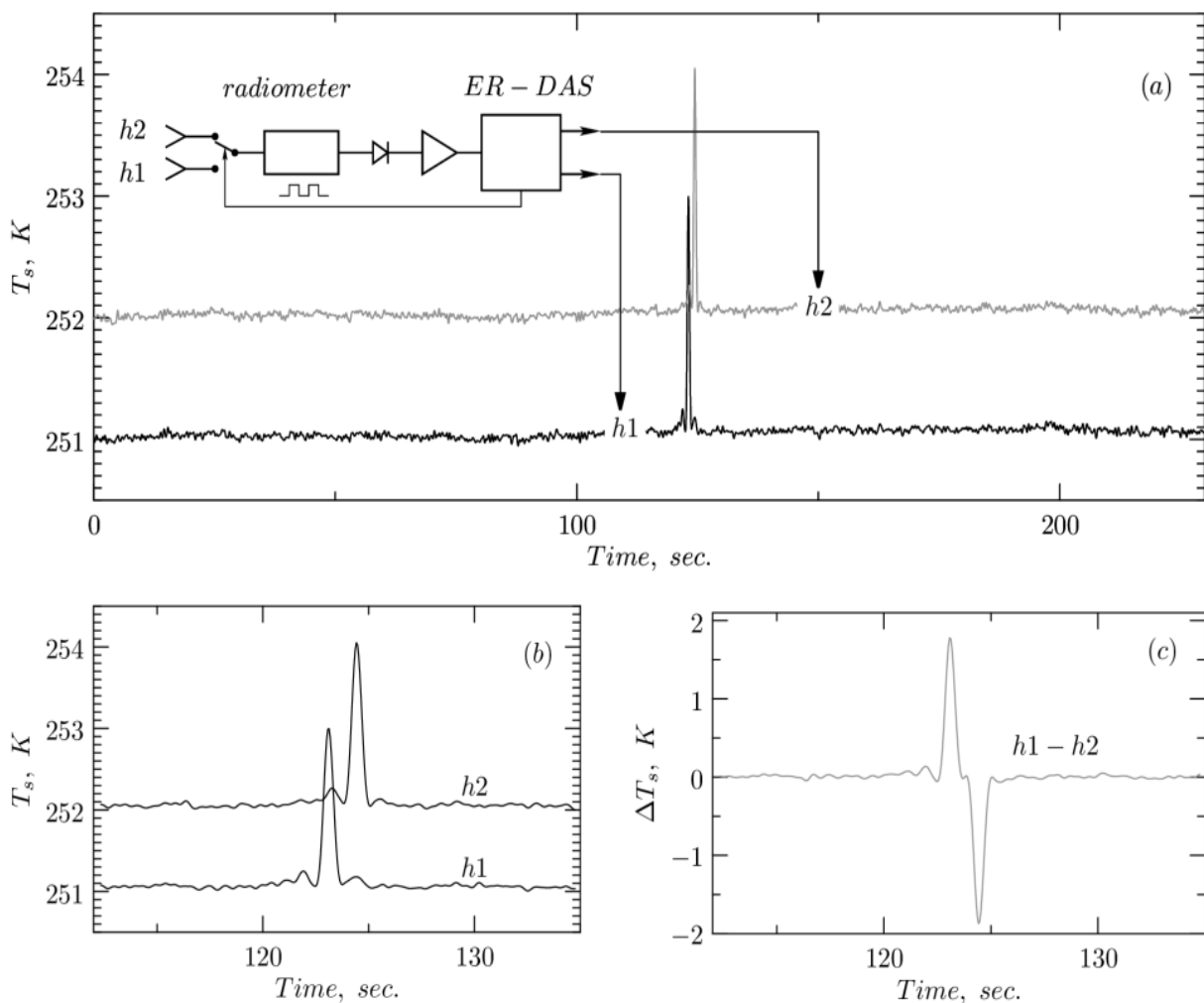
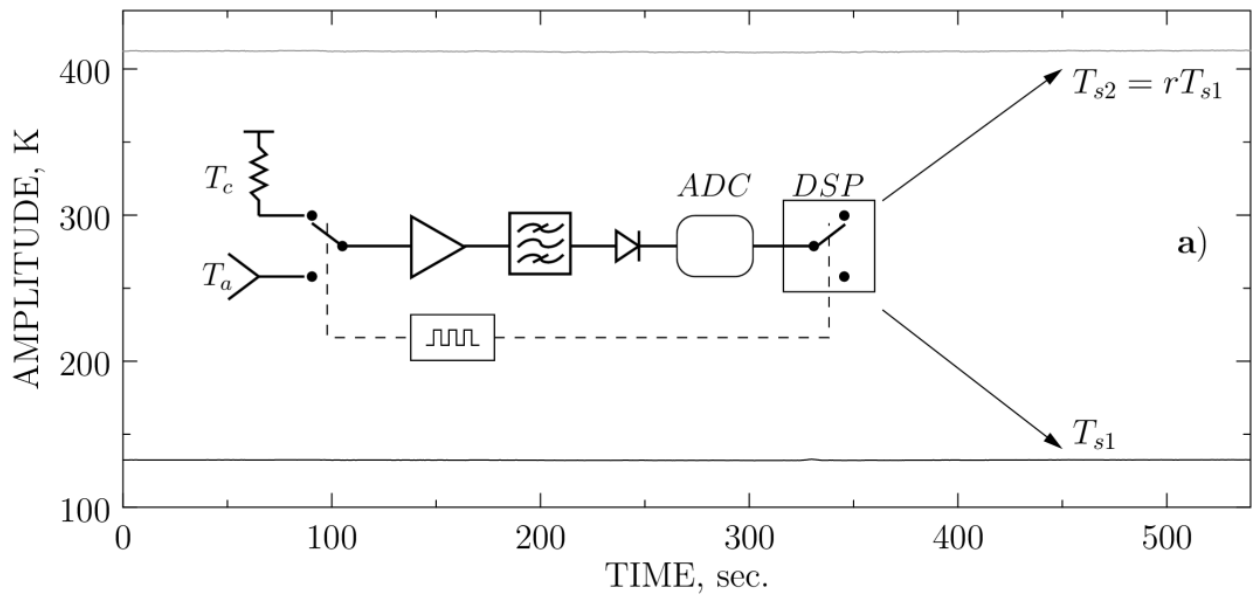


Рисунок 5.4 – Пример записи прохождения точечного радиоисточника через неподвижную диаграмму направленности РАТАН-600. Запись получена с помощью новой ССДиУ. Здесь а) исходные отдельные записи 2-х полупериодов модуляции модуляционного радиометра; б) выделены участки с радиоисточником, и к ним применена операция низкочастотной фильтрации для максимизации отношения сигнал/шум; в) результат работы радиометра с диаграммной модуляцией (разность сигналов предыдущего рисунка)

нестабильности в радиометре. Пример программной балансировки показан на Рисунке 5.5.



Software balancing: $\bar{r} = \overline{T_{s2}/T_{s1}}$; $T_{s2,balanced} = \frac{T_{s2}}{\bar{r}}$

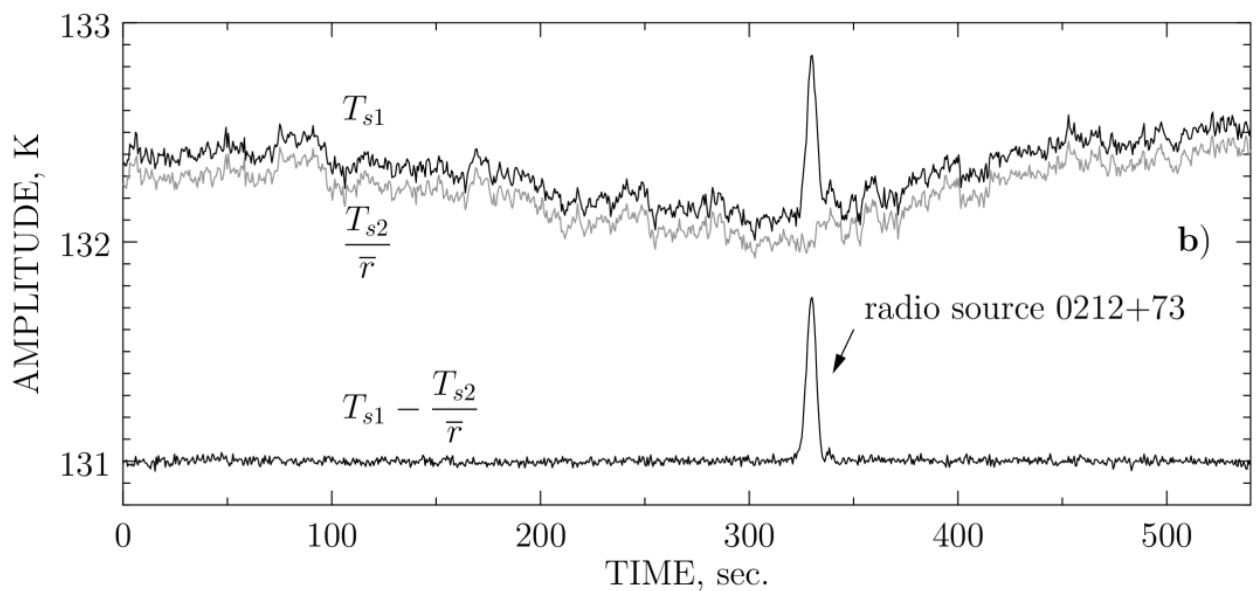


Рисунок 5.5 – Практическое применение методики программной балансировки Радиометра с добавлением Шума (РДШ) на РАТАН-600. Здесь а) исходные записи 2-х полупериодов РДШ (радиометр 6.2 см) при наблюдении точечного источника; б) программная балансировка и вычитание сигналов полупериодов. Внизу показана результирующая запись.

Методика программной «балансировки» радиометров применялась в проекте Planck [26] для балансировки смещений 3-4 К, в то время как в нашей работе балансировка выполняется для смещений 300 К и более. В работе [26] авторами отмечается, что методика работает хорошо в случае, когда все систематические и

случайные смещения, вносимые измерительной системой радиометра известны с точностью не хуже 8%. В нашей случае присутствует только известное постоянное систематическое смещение, которое учтено и не влияет на работу метода. Это достигнуто благодаря конструкции прецизионной аналоговой части измерительной системы ER-DAS [16].

Выполнением данной работы завершена модернизация систем сбора данных и управления всех радиометрических комплексов континуума РАТАН-600, включающих на сегодняшний день 28 радиометров. Аппаратная и программная компоненты ССДиУ всех радиометрических комплексов континуума полностью унифицированы, что важно как для проведения наблюдений так и для эксплуатации систем. ССДиУ облучателя №1 введена в штатную эксплуатацию и работает круглосуточно согласно наблюдательной программе радиотелескопа РАТАН-600.

5.2. Интерактивная база наблюдательных данных объектов VL Lac.

При решении разнообразных задач астрофизики радиотелескоп РАТАН-600 является оптимальным инструментом, обеспечивая возможность получения мгновенных широкодиапазонных спектров для массовых списков объектов. Наблюдения реализуются с использованием двух- и трехзеркальной конфигурации телескопа. Это позволяет перекрыть широкий диапазон склонений — от -40° до $+88^\circ$. При использовании трехзеркальной конфигурации максимальный наблюдательный список составляет порядка 100 объектов в сутки. Это дает возможность организовать наблюдения больших списков объектов, оценивать и отбирать наиболее перспективные. Современный уровень приемной аппаратуры обеспечивается сверхмалозащумящими усилителями на транзисторах с высокой подвижностью электронов (НЕМТ), микрокриогенными системами с замкнутым гелиевым циклом, цифровыми сигнальными процессорами в системе регистрации данных. В 2012-2013 гг. проводятся систематические наблюдения объектов АЯГ с использованием неохлаждаемого приемного комплекса радиометров «ЭРИДАН» сантиметрового диапазона - 1.4, 2.7 и 6.2 см. Сбор данных обеспечивается путем отдельной регистрации сигналов обоих полупериодов модуляции: Рисунок 5.6 – пример такой записи. При последующей обработке записи полупериодов вычитаются (двухлучевой прием сигнала точечных источников) или рассматриваются как два независимых радиометра для сильных протяженных источников.

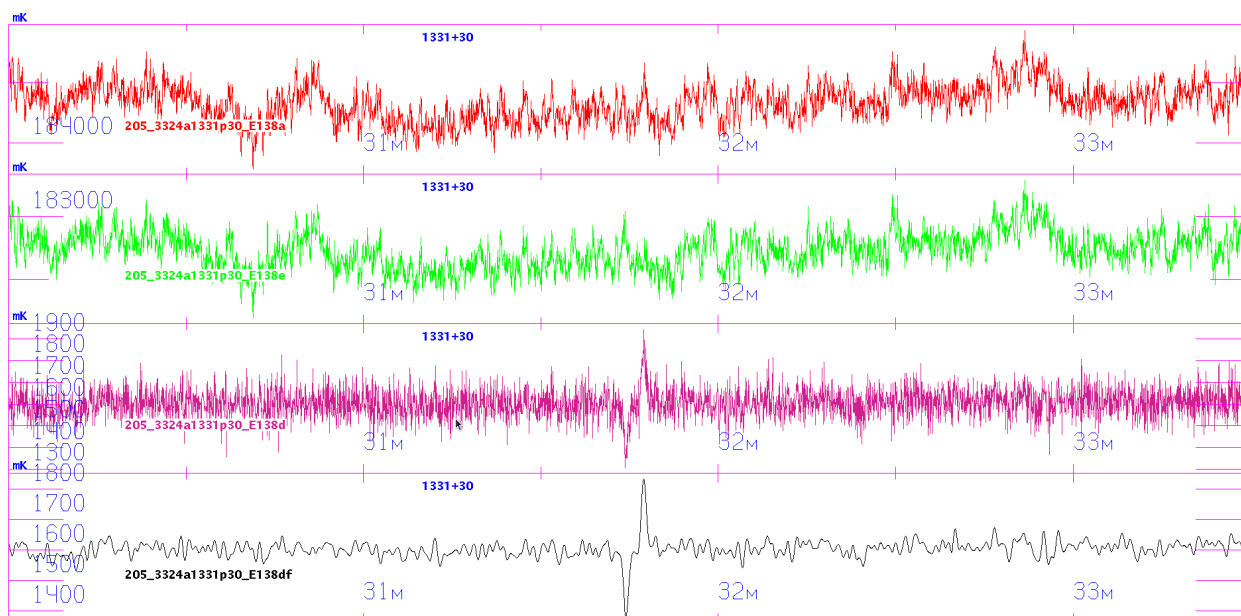


Рисунок 5.6 – оцифрованная запись регистрации приемного комплекса «ЭРИДАН» (объект ЗС286, 1.38 см): две верхние картинki – запись полупериодов модуляции, третья – результат вычитания сигналов обоих полупериодов, четвертая - последующее использование фильтра Баттерворта. По оси X – звездное время [hh:mm:ss], по оси Y – антенная температура [mK]

В сложившейся автоматизированной системе наблюдений, регистрации и архивации потока данных важно предельно быстро и эффективно производить обработку цифрового сигнала. Это диктуется необходимостью оперативно составлять стратегию наблюдений и прогнозировать активность объектов. В связи с этим реализована автоматизированная система потоковой многочастотной обработки выходных данных радиометров континуума ПАТАН-600 (Удовицкий 2012) вторичного зеркала облучателя N1 и N2 (Рисунок 5.7). Система использует модули штатного пакета обработки наблюдений ПАТАН-600 - FADPS (Verkhodanov 1997) в среде Linux. Алгоритмы реализованы на языках: C++, PHP, с использованием СУБД MySQL и включают требуемые методы цифровой обработки сигналов, получение многочастотных (1-30 ГГц) радиоспектров и их анализ. Система содержит базу данных калибровочных источников: значения плотностей потоков, коэффициенты на поляризацию и размер. Алгоритм обработки наблюдательных данных включает в себя стандартные методы: фильтрация, вычитание линейных составляющих фона, гаусс-анализ. Для фильтрации сигнала используется фильтр Баттерворта, амплитудно-частотная характеристика которого максимально гладкая на частотах полосы пропускания и снижается практически до нуля на частотах полосы подавления.

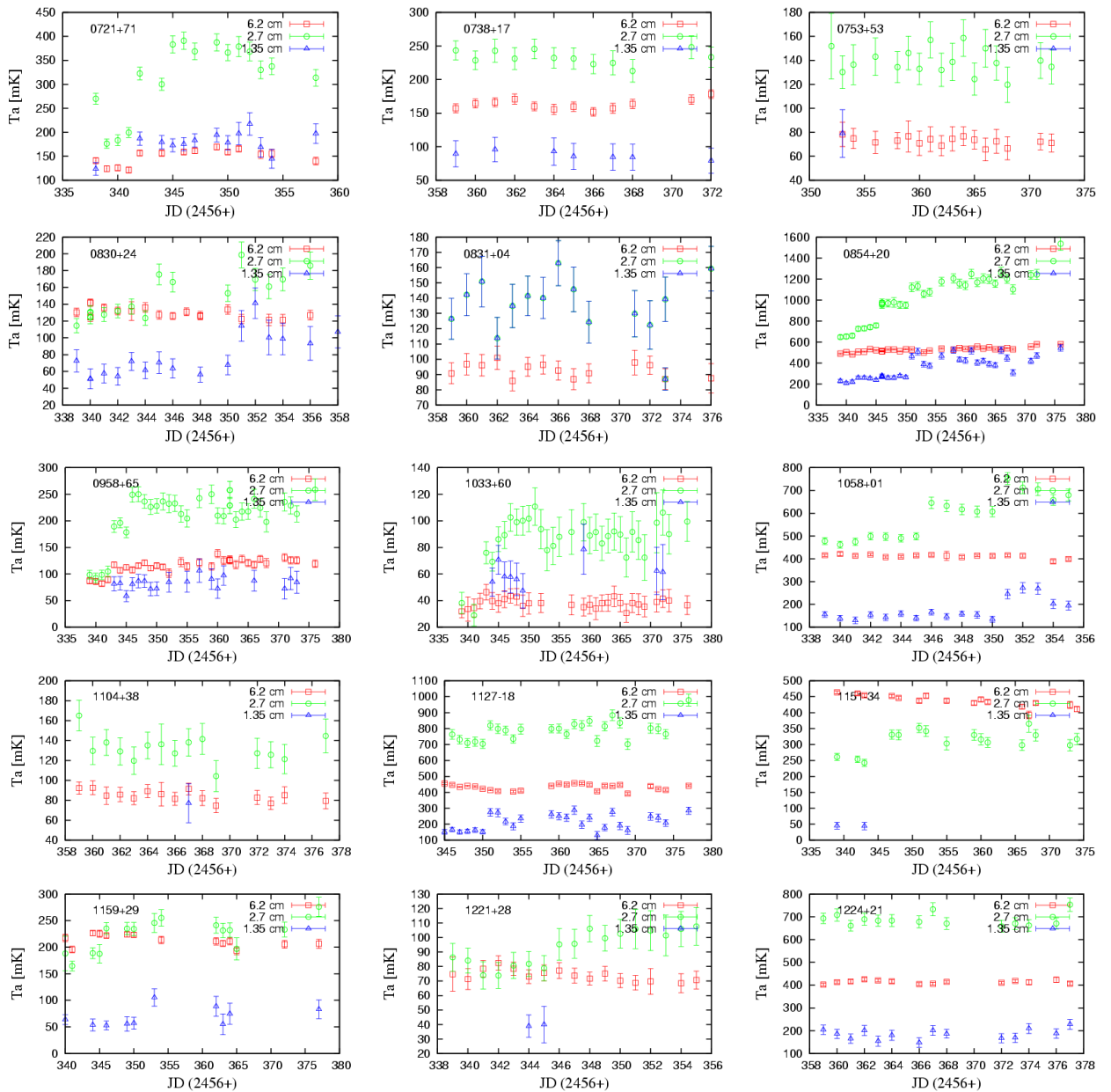


Рисунок 5.7 – пример ежедневных наблюдений (февраль-март 2013 гг.) блазаров с использованием неохлаждаемого приемного комплекса радиометров «ЭРИДАН» - 1.4, 2.7 и 6.2 см. Ось X – дата наблюдений [JD], ось Y – измеренное значение антенной температуры [mK]. Автоматизированная система наблюдений и обработки позволяет отслеживать состояние антенны, приемной аппаратуры и активности объектов исследования

По результатам наблюдений 2006-2013 гг. создана интерактивная база наблюдательных данных "RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lac objects" Version 1.0 (www.sao.ru/blcat/), в настоящий момент состоящая из 140 объектов (Рисунок 5.8). В системе содержится многочастотная информация о спектральном поведении объектов BL Lac, радиоспектры и кривые блеска плотностей потоков на разные эпохи наблюдений.

При необходимости можно производить расчеты спектрального индекса и амплитуды переменности на частотах РАТАН-600.



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

BLcat Version 1.0, February 2013

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

Column description
Help

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

Export:
schedule (.csi)

Enter number select all	RATAN data	Source name Alias + -	Ra (J2000.0) + -	Dec (J2000.0) + -	Redshift + -	Rmag + -	Log ν_{peak}	Flux density 1.4 GHz (Jy) + -	SED class	Blazar type	Selected type	Reference
1 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	NRAO 5	00:06:13	-06:23:36	0.347	17.8	12.75	2.051	LBL	FSRQ	RBL	5
2 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	MS 0011.7+0837	00:14:19	08:54:04	0.162	15.8	16.74	-	HBL	Blazar~un.type	XBL	2
3 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	PKS 0019+058	00:22:32	06:08:05	-	18.9	13.19	0.34	LBL	BL~Lac	RBL	7
4 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	RXS J0325.2+1515	00:35:14	15:15:04	1.28	16.7	15.8	0.018	IBL	BL~Lac	XBL	12,24
5 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	PKS 0047+023	00:49:43	02:37:04	-	18.9	13.56	0.425	LBL	BL~Lac	RBL	8
6 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	PKS 0048-097	00:50:41	-09:29:06	0.2	15.7	14.3	0.814	LBL	BL~Lac	RBL	5,23
7 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	PKS0118-272	01:20:31	-27:01:24	-	15.5	13.9	0.934	0	BL~Lac	RBL	23,33
8 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	MS 0122.1+0903	01:24:44	09:18:49	0.339	18.5	15.53	-	IBL	BL~Lac	XBL	2
9 <input type="checkbox"/>	Data Explorer	PKS 0138-097	01:41:25	-09:28:43	0.733	17.2	13.4	0.657	LBL	BL~Lac	RBL	5

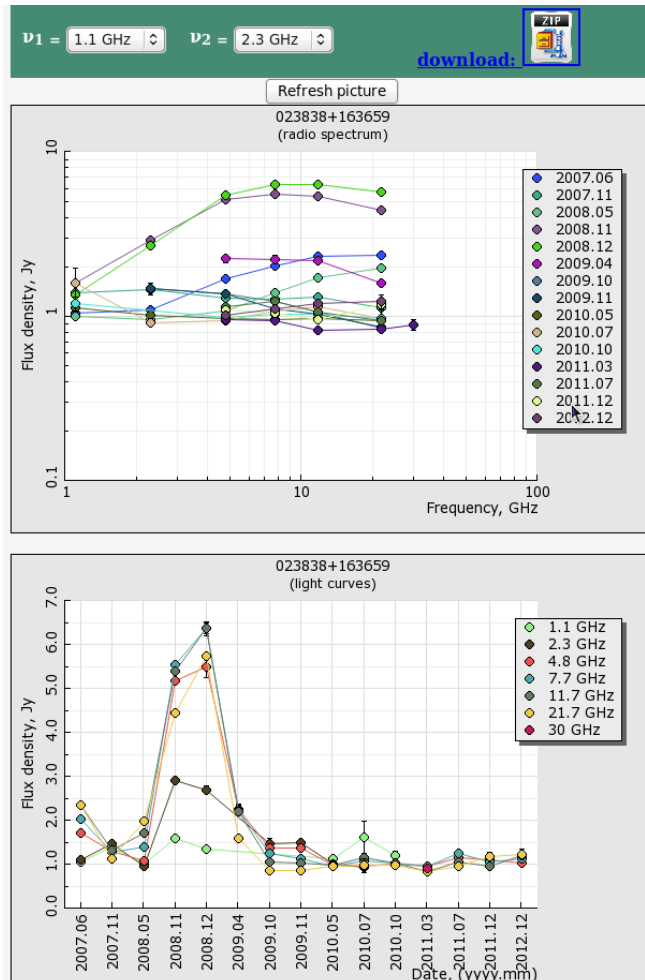


Рисунок 5.8 - пример базы наблюдательных данных "RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lac objects" Version 1.0. Система содержит результаты многолетних многочастотных наблюдений объектов BLOs и позволяет производить простые расчеты параметров радиоспектров.

5.3. Приобретение оборудования.

Заключен договор на поставку одного частотного канала криогенного двухчастотного радиометра (диапазон частот 18.5 – 21.5 ГГц, центральная частота 20 ГГц) для радиотелескопа РАТАН-600 с Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ). На Рисунке 5.9 представлена блок-схема входных частей этого радиометра. На приобретение данного прибора была израсходована сумма 1000000.0 (один миллион) рублей из средств финансирования государственного контракта 14.518.11.7054. 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 один комплект МКС CRYOTIGER доставлен для его окончательного агрегатирования с приемником. Следующий этап – создание второго частотного канала (центральная частота – 30 ГГц).

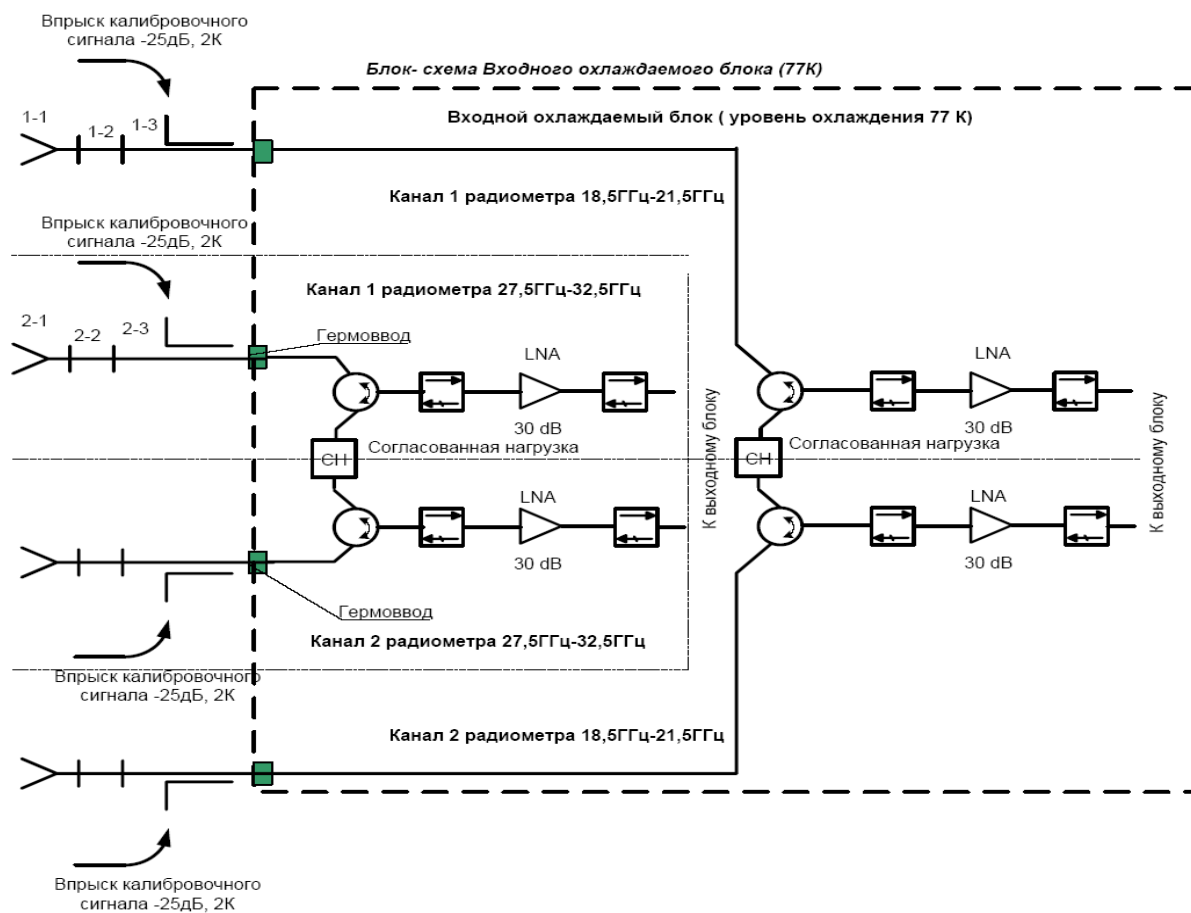


Рисунок 5.9 – Блок-схема входных частей двухчастотного блока

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

Заключение.

Принимая во внимание приведенные выше материалы и результаты работы УСУ РАТАН-600 в ходе проведения, как этапа 2, 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 проведено исследование Солнца в период года максимума с использованием УСУ; обеспечено проведение исследований для сторонних организаций с использованием; разработана методика анализа и борьбы с помехами на высокоскоростных системах сбора данных; разработана методика измерения собственного радиоизлучения земной атмосферы методом «вертикальных разрезов»; проведены мероприятия по развитию УСУ в части модернизации приемно-измерительной аппаратуры для расширения наблюдательных возможностей.

Подготовлен отчет о результатах наблюдений на РАТАН-600 во втором полугодии 2012 г., который будет представлен на заседании КТБТ 18 апреля 2013 г. Проведена техническая экспертиза заявок на наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600 (второе полугодие 2013 г.) и представлены на рассмотрение КТБТ.

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>.

Обеспечены наблюдения на УСУ РАТАН-600 в соответствии с расписанием (Приложение А, <http://www.sao.ru/ratan/schedule/2013/half1.html>).

Проведена модернизация приемно-измерительных комплексов Облучателя 1 (внедрение новой системы сбора и регистрации данных, новые схемные решения радиометров), что существенно повысило надежность работы всей системы и упростило процесс проведения наблюдений. Создана интерактивная база наблюдательных данных объектов VL Lac, которая позволяет проводить оперативную оценку активности исследуемых объектов, что весьма важно для оповещения других инструментов по программам ТОО.

Подготовлены научные статьи, по результатам научных исследований и разработке новой аппаратуры и методик представлены доклады на конференциях.

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

Список использованной литературы

1. Флейшман Г.Д., Мельников В.Ф. Солнечные миллисекундные радиоспайки // Успехи Физических наук. Т.168, № 12, С. 1265-1301, 1998
2. N. S. Meshalkina, A. T. Altyntsev, R. A. Sych, et al On the wave mode of subsecond pulses in the cm-range // Solar Physics, v. 221, p. 85-99, 2004
3. N. S. Meshalkina, A. T. Altyntsev, D. A. Zhdanov, et al Study of Flare Energy Release Using Events with Numerous Type III-like Bursts in Microwaves // Solar Physics, V. 280, P.537-549, 2012
4. G.D. Fleishman Effect of Random Inhomogeneities on Electron Cyclotron Maser Emission // The Astrophysical Journal, V. 601, P. 559-564, 2004
5. Богод В.М., Алесин А.М., Перваков А.А. Радиотелескоп РАТАН -600 в 24 цикле солнечной активности. II Многооктавный спектрально-поляризационный комплекс высокого разрешения РАТАН -600 для солнечных исследований // Астрофизический Бюллетень. Том 66, вып. 2, С. 223-233, 2011
6. D. Zhdanov. V. Zandanov Spectropolarimeter 4-8 GHz. First results // Central European Astrophysical Bulletin. V 35, P. 233-,228, 2011
7. P. Boerner, C. Edwards, J. Lemen et al Initial Calibration of the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on the Solar Dynamics Observatory (SDO) // Solar Phys., V. 275, P. 41-66, 2012
8. R. P Lin, B. R Dennis, G. J. Hurford et al The Reuven Ramaty High-Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) // Solar Phys. V. 210, P. 3–32, 2002
9. C Meegan,., G Lichti,., P. N Bhat et al The Fermi Gamma-ray Burst Monitor// Astrophys. J. V. 702, P. 791–804, 2009
10. L.K. Kashapova, G.V. Rudenko, S.K. Tokhchukova, et al On the possible mechanisms of energy release in C-class flares // Central European Astrophysical Bulletin. в печати, 2013
11. Massaro E., Giommi P., Leto C., et al., A&A 495, 691 (2009).
12. Padovani P., Giommi P., Rau A., MNRAS 422, 48 (2012).
13. Fosatti G., Maraschi L., Celotti A., et al., MNRAS 299, 433 (1998).
14. Mingaliev M.G., Sotnikova Yu.V., Torniainen I., Tornikoski M., Udovitskiy R.Yu., A&A 544, 25 (2012).
15. De Vries W.H., Barthel P.D., & O’Dea Ch.P., A&A, 321, 105 (1997).
16. 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.
17. Берлин, А. Б.; Парийский, Ю. Н.; Нижельский, Н. А.; Мингалиев, М. Г.; Цыбулев, П. Г.; Кратов, Д. В.; Удовицкий, Р. Ю.; Смирнов, В. В. & Пилипенко, А. Матричная Радиометрическая Система для РАТАН-600 МАРС-3 *Астрофизический Бюллетень*, 2012, 67(3), 354-366.
 18. Парийский, Ю. Н.; Бурсов, Н. Н.; Берлин, А. Б.; Мингалиев, М. Г.; Нижельский, Н. А.; Цыбулев, П. Г. & Семенова, Т. А. Пробный обзор околоразенитной области неба на частоте 30 ГГц с новой 32-элементной матрицей радиометров РАТАН-600 *Астрофизический Бюллетень*, 2013, в печати.
 19. Черненко, В. Н. Комплекс средств развития многоуровневой территориально-распределенной системы сбора и обработки данных радиотелескопа РАТАН-600 Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН, 1996. Кандидатская диссертация.
 20. Черненко, В. Н.; Верходанов, О. В.; Витковский, В. В.; Малькова, Г. А.; Мингалиев, М. Г.; Пляскина, Т. А.; Трушкин, С. А. & Цыбулев, П. Г. MCOSS-U - мобильная многопользовательская система поддержки наблюдения на радиометрах непрерывного спектра радиотелескопа РАТАН-600 Внутренний отчет САО АН СССР, SAO RAS, 1995, 251, 10 — 24.
 21. Черненко, В. Н. & Цыбулев, П. Г. Многопользовательская система сбора наблюдательных данных для радиометров непрерывного спектра на РАТАН-600 Сб. тезисов докл. 26-й радиоастрономической конференции, 1995, 389 — 390.
 22. Столяров, В. А. & Цыбулев, П. Г. Методика и программное обеспечение обработки данных цифровых систем помехоподавления на РАТАН-600 Сб. тезисов докл. 27-й радиоастрономической конференции, 1997, 182 — 183.
 23. Жеканис, Г. В.; Кононов, В. К.; Мингалиев, М. Г. & Цыбулев, П. Г. Проект комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 Тез. докл. Конф. РТ-2002, 2002, 47.
 24. Жеканис, Г. В.; Кононов, В. К.; Мингалиев, М. Г. & Цыбулев, П. Г. Концепция USS-комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 Препр. Спец. астрофиз. obs., SAO RAS, 2002, 167, 27
 25. Цыбулев, П. Г.; Берлин, А. Б.; Нижельский, Н. А.; Мингалиев, М. Г. & Кратов, Д. В. Противопомеховая активность на радиотелескопе РАТАН-600 *Астрофизический бюллетень*, 2007, 62, 208-217.

26. Mennella, A.; Bersanelli, M.; Seiffert, M.; D.Kettle; Roddis, N.; A.Wilkinson & Meinhold, P. Offset balancing in pseudo-correlation radiometers for CMB measurements *Astronomy and Astrophysics*, 2003, 410, 1089-1100.

**РАСПИСАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАТАН-600
с 1 января по 30 июня 2013 г.**

	Северный сектор	Юг + плоский	Южный сектор
Я Н В А Р Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-31): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-31): Исследования Солнца¹ (1 азимут в день)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(14-31): Исследование центральных областей ядер активных галактик, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФРГ)</p> <p>(14-31): 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) (САО РАН)</p>	<p>Облучатель 1</p> <p>(02-13): Многоволновое исследование GPS-источников и кандидатов, Сотникова Ю.В. (САО РАН)</p> <p>(02-13): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p> <p>(02-13): Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae, Муфaхаров Т.В. (САО РА)</p>
Ф Е В Р А Л Ь	<p>Облучатель 2</p> <p>(01-05): Генетический Код Вселенной, Парийский Ю.Н. (САО РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия) (САО РАН)</p> <p>(06-10): Резервное время, Мингалиев М. (САО РАН)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(11-28): Многоволновое исследование GPS-источников и кандидатов, Сотникова Ю.В. (САО РАН)</p> <p>(11-28): Мониторинг радиопеременности микроквazarов, Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-05): Исследования Солнца¹ (1 азимут в день)</p> <p>(06-28): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p> <p>Облучатель 1</p> <p>(01-05): Исследование центральных областей ядер активных галактик, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФРГ)</p> <p>(01-05): 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>(06-10): Резервное время, Мингалиев М. (САО РАН)</p>	
М А Р Т	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-31): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p> <p>(01-31): Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae, Муфaхаров Т.В. (САО РАН)</p> <p>(01-31): Мониторинг</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-31): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p> <p>(10-31): Измерение параметров антенной системы, Богод В.М. (САО РАН)</p>	

	радиопеременности микровязаров, Трушкин С.А. (CAO РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)		
А П Р Е Л Ь	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-14): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6)</p> <p>(01-14): Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6) (01-31): Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae, Муфхаров Т.В. (CAO РАН)</p> <p>(01-14): Мониторинг радиопеременности микровязаров, Трушкин С.А. (CAO РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p> <p>(15-26): Техническое время, Миленко В.С., Яковенко С.В. (CAO РАН)</p> <p>(27-30): Исследование центральных областей ядер активных галактик, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФРГ)</p> <p>(27-30): Мониторинг радиопеременности микровязаров (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105), 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> <p>Облучатель 2</p> <p>(13-23): Юстировка, антенные измерения, Берлизев И.В., Жаров В.И., Трушкин С.А. (CAO РАН)</p> <p>Облучатель 3</p> <p>(24-30): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p>	<p>(01-12): Техническое время, Миленко В.С., Яковенко С.В. (CAO РАН)</p>
М А Й	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-12): Исследование центральных областей ядер активных галактик, Ковалев Ю.Ю. (АКЦ ФИАН; NRAO, NASA GSFC, США; MPIfR, ФРГ)</p> <p>(13-31): Исследование переменности активных галактических ядер, Горшков А.Г. (ГАИШ МГУ)</p> <p>(01-31): Мониторинг радиопеременности микровязаров (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105), Трушкин С.А. (CAO РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-31): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p>	

И Ю Н Ь	<p>Облучатель 1</p> <p>(01-30): Исследование переменности активных галактических ядер, Горшков А.Г. (ГАИШ МГУ)</p> <p>(01-30): Мониторинг радиопеременности микрокварзаров (J1819-254, 1825-14, J911+04, J1915+105), Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France)</p>	<p>Облучатель 3</p> <p>(01-30): Исследования Солнца¹ (много-азимутальные наблюдения, +- 2h от меридиана)</p> <p>(10-30): Измерение параметров антенной системы, Богод В.М. (САО РАН)</p>	
----------------------------	---	--	--

1 - Динамические 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)

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.