

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ГЛАВНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

На правах рукописи

Тохчукова Сусанна Хасановна

**ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЦА НА РАТАН-600
В МНОГОАЗИМУТАЛЬНОМ РЕЖИМЕ**

(специальность 01.03.02 – астрофизика и радиоастрономия)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2002

Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории
Российской Академии наук.

Научный руководитель — доктор физико-математических наук
Богод В.М.

Официальные оппоненты — доктор физико-математических наук
Яснов Л.В.
кандидат физико-математических наук
Чариков Ю.Е.

Ведущая организация: Астрономический институт СПбГУ

Защита состоится "27" *декабря* 2002 г. в 11 часов 30 минут на
заседании диссертационного совета К002.120.01 в Главной
астрономической обсерватории Российской Академии Наук по адресу:
196140, Россия, Санкт- Петербург, Пулковское шоссе, 65/1, ГАО РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГАО РАН.

Автореферат разослан "26" *ноября* 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат физ.-мат. наук

Е.В.Милецкий

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы диссертации. Исследование природы вспышечной активности Солнца является актуальной проблемой современной астрофизики. Развитие наблюдательной техники и методики способствует получению новых данных о процессах, происходящих в атмосфере Солнца, и разработке эффективных методов прогнозирования мощных геоэффективных вспышек. Несмотря на большое количество запущенных в последние годы спутниковых обсерваторий от Skylab до Rhesi, наземные исследования в радиодиапазоне не потеряли свою значимость и в наши дни, так как они дают уникальную, не дублируемую другими методами информацию о магнитных структурах на уровнях хромосферы и нижней короны. Радио наблюдения на крупных инструментах с высоким пространственным разрешением (VLA и OVRO (США), Nobeyama (Япония), ССРТ и РАТАН-600 (Россия)) позволяют исследовать детальную структуру солнечных образований, и способны регистрировать весьма небольшие изменения параметров солнечной плазмы - магнитных полей, температуры и плотности, в области солнечной атмосферы, где развиваются предвспышечные явления и происходит накопление энергии, что недоступно при измерениях в других диапазонах. Однако каждый из этих инструментов имеет свои ограничения, определяющие его круг задач.

На сегодняшний день в мире не существует адекватного радиотелескопа (по спектральному разрешению и диапазону, чувствительности и точности поляризационных измерений) для изучения свойств плазмы на ранней стадии зарождения вспышек, поэтому наблюдательные данные о предвспышечных изменениях в активной области в радиодиапазоне часто неполны, трудно классифицируемы и порой противоречивы. Самый известный спектральный критерий возникновения протонных вспышек Танаки-Эноме подвергался многочисленным ре-визиям и имеет оправдываемость не более 70%.

Как показали практические наблюдения, радиотелескоп РАТАН-600 в сочетании с широкодиапазонным Панорамным Анализатором Спектра обладает уникальными параметрами (высокая чувствительность по потоку (несколько янских), высокая точность измерения степени поляризации ($< 0.03\%$), хорошее спектральное разрешение (5%) в широком диапазоне микроволн (от 1 до 30 см)), которые дают возможность изучения тонких спектрально-поляризационных изменений в магнитосферах активных областей Солнца на уровне, не доступном

для регистрации другими инструментами (ССРТ, Нобейма, VLA). Это способствовало достижению важных результатов в радионауках: развитию методов измерения магнитных полей на уровне хромосфера-корона; разработке концепции магнитосфер активных областей; обнаружению явления радиогрануляции; получению спектров отдельных компонент локальных источников радиоизлучения (пятенные источники, гало, протуберанцы), доказательству существования длительных нетепловых процессов в солнечной короне и циклотронных линий излучения; измерению магнитного поля в центре корональной дыры и др.

В то же время возможности радиотелескопа РАТАН-600 для исследования Солнца еще не до конца реализованы. Предусмотренный в проекте режим многократных наблюдений в азимутах был дважды опробован в ограниченном варианте, но из-за методических и технических трудностей регулярно не использовался. Наблюдения обычно проводились в транзитном режиме в меридиане, что ограничивало применение этого инструмента для исследования тонких особенностей радиоизлучения в спектре и поляризации предвспышечного состояния солнечной плазмы и их вариаций.

В период 1999-2002 гг был проведен комплекс работ по реализации нового режима наблюдений - режима многократного сканирования в азимутах в антенной системе "Южный сектор с Перископическим отражателем" (далее ЮП). Сейчас этот режим позволяет проводить квазисопровождение Солнца в течение 4- 4.5 часов с временным разрешением около 4 минут. В периоды, когда склонение Солнца принимает экстремальные значения, использование многоазимутальных наблюдений позволяет восстанавливать по одномерным проекциям ("сканам") двумерные изображения стабильных областей с пространственным разрешением до $17 \times 150''$ одновременно на 20 длинах волн в диапазоне от 1.74 до 15 см. Для реализации многоазимутального режима наблюдений были проведены методические исследования и разработано программное обеспечение, которое описано в данной работе. Внедрение нового режима наблюдений позволило исследовать динамику предвспышечного состояния активных областей Солнца, и в результате обнаружить несколько тонких спектрально- поляризационных особенностей микроволнового излучения локальных источников активных областей, в которых происходили мощные вспышки.

Основными целями работы являются:

- Внедрение в регулярное пользование режима многоазимутальных наблюдений Солнца на ЮП.
- Разработка программного обеспечения для обработки многоазимутальных наблюдений и многоволнового картографирования.
- Использование многоазимутального режима для исследования ранней стадии предвспышечного состояния солнечных активных областей.

Научная новизна работы. Внедрен в регулярное пользование новый режим многоазимутальных наблюдений Солнца, который впервые позволил исследовать на РАТАН-600 предвспышечную динамику структуры солнечных активных областей с временным разрешением до 4 минут в течение 4,5 часов.

Благодаря этому удалось обнаружить новые эффекты в поляризованном излучении в сантиметровом диапазоне, которые являются проявлениями в радиодиапазоне ранней подготовительной стадии солнечных вспышек. Получены новые данные о динамике предвспышечной фазы вспышечно-продуктивных активных областей (ВПАО). Статистическое исследование свойств этих эффектов в течение года регулярных наблюдений в многоазимутальном режиме позволило исследовать временные характеристики и диапазон частот, в котором наблюдаются обнаруженные эффекты.

Разработано новое программное обеспечение для анализа временных вариаций радиоизлучения по данным наблюдений в азимутах с использованием вейвлет - анализа, а также программное обеспечение для многоволнового картографирования, которое позволяет получать одновременные двумерные изображения солнечных активных областей на 15 длинах волн в диапазоне 2- 15 см, в интенсивности и круговой поляризации.

Научное и практическое значение.

1. Разработана и внедрена в практику регулярных наблюдений методика многократного сканирования радиоисточников в азимутах на Южном секторе с Плоским отражателем.

2. Получены новые данные о существовании ранней подготовительной стадии в предвспышечной фазе для мощных вспышечных событий. Данные могут быть использованы как для развития теории солнечных вспышек, так и для разработки метода их эффективного прогноза.
3. Разработано программное обеспечение по обработке многоазимутальных наблюдений (многоволновое картографирование, сопоставление с данными других обсерваторий), которое регулярно используется на РАТАН-600. Достигнута полная автоматизация первичной обработки данных наблюдений, что значительно сокращает время, необходимое для анализа данных. Для разработки ПО использовался общепринятый для солнечных наблюдений язык программирования IDL (с поддержкой Astrolib и формата SOHO FITS).
4. Разработана методика и программное обеспечение для анализа вариаций радиоизлучения по многоволновым многоазимутальным данным РАТАН-600 с применением вейвлет - анализа. Это позволило обнаружить квазипериодические колебания в деталях локальных радиоисточников на Солнце с периодами около 80, 50 и 30 минут. Дальнейшее исследование спектральных и временных свойств этих колебаний, а также развитие метода для исследования колебаний с меньшими периодами представляет несомненный интерес для физики Солнца.

На защиту выносятся:

1. Реализация и внедрение в регулярное пользование режима многоазимутальных наблюдений для изучения пространственной и временной структуры солнечного радиоизлучения в широком диапазоне длин волн.
2. Разработка программного обеспечения для многоволнового картографирования солнечных активных областей и детального анализа динамики структуры АО.
3. Разработка методики разделения двух активных широт на Солнце при наблюдениях на ЮП.

Ряд астрофизических результатов, полученных на основе многоазимутальных наблюдений:

4. Обнаружение эффекта предвспышечного микроволнового потемнения, который сопровождается узкополосной (5%) инверсией знака поляризации в микроволновом диапазоне.
5. Интерпретация наблюдаемого явления как признак постепенного (в течение трех дней) формирования холодного волокна в высотной структуре АО, дестабилизация которого произошла за два часа до вспышки, и, по-видимому, инициировала начало процессов мощного энерговыделения с корональным выбросом масс.
6. Обнаружение тонких спектральных эффектов в поляризованном излучении активных областей (коротковолновое увеличение поляризованного потока, появление частотной области с низкой степенью поляризации, многократными инверсиями поляризации по частоте и времени и т.д.), являющихся индикаторами предвспышечного состояния активных областей.

Дальнейшие исследования этих явлений могут быть использованы для разработки эффективных прогнозов вспышек и развития теории формирования плазменных структур, в которых происходит накопление и выделение энергии солнечных вспышек.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на XXVII Радиоастрономической конференции в Санкт-Петербурге, 1997 г.; XIV Конференции молодых европейских радиоастрономов КМЕРА - 1998, Пущино; CESRA workshop "Coronal Explosive Events", June 1998, Espoo, Finland, VII Российско-Финском симпозиуме в Санкт-Петербурге, 1999 г; Joint European and National Astronomical Meeting (JENAM) - 2000 в Москве, международной конференции "Солнце в максимуме активности и солнечно-земные аналогии" в Санкт-Петербурге, 2000 г; Всероссийской Астрономической Конференции (ВАК) - 2001, Solar Cycle and Space weather (SOLSPA) - 2001 европейской конференции в Италии, международной конференции "Солнечная активность и космические лучи после смены знака полярного магнитного поля Солнца", Санкт - Петербург, 2002, конференции стран СНГ и Прибалтики по активным процессам на Солнце и звездах, С-Петербург, 2002; 10th European Solar Physics Meeting (SPM) "Solar Variability: From Core to Outer Frontiers", в Праге, Чехия, 2002 г, российской конференции памяти А.А. Пистолькорса "Радиотелескопы РТ-2002", и на других конференциях, а также на радиоастрономических и астрофизических семинарах САО и ГАО.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, двух частей (часть I - методическая - 1 глава, часть II - результаты наблюдений - 2-ая и 3-ья главы), заключения, списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации 120 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована ее цель, новизна и научная значимость, указано, где диссертация прошла апробацию, а также приведено краткое изложение содержания диссертационной работы.

В первой главе описывается методика наблюдений в многоазимутальном режиме на ЮП и обосновывается необходимость улучшения комплексных параметров радиотелескопа для исследования радиоизлучения Солнца. В сочетании с Панорамным Анализатором Спектра (ПАС) [25] радиотелескоп является уникальным инструментом для солнечных исследований, позволяющим вести параллельный прием в широком диапазоне волн с 5%-ным спектральным разрешением, с высокой чувствительностью по потоку (несколько миллианских) и высокой точностью измерения степени поляризации (доли процента). Конструкция телескопа позволяет реализовать множество различных режимов наблюдений, включая несколько методов картографирования и квазисопровождения [24], в том числе в антенной системе ЮП. Однако до настоящего времени ЮП РАТАН-600 использовался, в основном, для получения одномерных сканов радиоисточников в режиме прохождения через меридиан.

Предпосылками для внедрения многоазимутального режима послужили:

- создание Панорамного Анализатора Спектра, перекрывающего широкий микроволновый диапазон с подробным спектральным анализом;
- полная автоматизация установки отражательных элементов южного сектора РАТАН-600 и перископического отражателя;
- установка на Облучатель N3 высокоточного цифрового привода с управлением от компьютера и достижение быстрой и точной установки его в определенный азимут;

- развитие вычислительной техники, используемой для сбора и обработки данных, которая расширила возможности для многократных наблюдений и быстрого многоволнового синтеза изображений.

В главе приводится описание методических особенностей при работе с одномерной диаграммой и рассмотрено влияние различных ошибок, возникающих при реализации многоазимутального режима наблюдений.

Приведено описание различных программ математического обеспечения разработанных автором на языке программирования IDL, который широко используется для обработки солнечных данных во всем мире, а также на языке C++ в ОС Win32.

Необходимость разработки нового математического обеспечения для нового режима определяется тем, что для взаимной привязки азимутальных данных необходимо провести коррекцию ошибок, специфических для азимутальных наблюдений, а также для работы с большими массивами данных (61 (азимутов) $\times$ 36 (длин волн) $= 2196$ массивов одномерных изображений Солнца в день) необходимо автоматизировать всю первичную обработку, обеспечить удобство регулярного сопоставления сканов в азимутах по длине волны, автоматизировать подготовку данных для вейвлет - анализа и т.п. Современный уровень работы с данными солнечных наблюдений, получаемых как на РАТАН-600, так и на других инструментах, требует повышения качества изображений, представления данных в виде, удобном для восприятия и анализа, и обеспечения удобства пользования программным обеспечением. Кроме того, возросшие возможности вычислительной техники уже не накладывают ограничения на объем вычислений, необходимый для картографирования на ЮП.

Для эффективного отождествления данных, полученных в многоазимутальном режиме, разработана программа FITSRAT, которая позволяет просматривать одномерные и двумерные данные других обсерваторий, работающих в разных диапазонах (рентген, ультрафиолет, оптика, радио) в формате FITS, и определять простые параметры источников (потoki, координаты). Программа включает в себя функцию свертки карт с двумерной диаграммой РАТАН-600 с записью полученных одномерных сканов в формате стандартной программы обработки WorkScan[28], что дает возможность более детального сопоставления данных. Для исследования временных вариаций излучения солнеч-

ных структур методом вейвлет - анализа многоазимутальных данных ПАТАН-600 предназначена программа WEVERAT.

В этой же главе приводится подробное описание методики многоволнового картографирования солнечных активных областей из наблюдений на ЮП. Ранее методика восстановления двумерных изображений по проекциям была реализована другими авторами [26],[27], но используемое в то время программное обеспечение на сегодняшний день морально устарело. Последний пакет программ на языке FORTRAN в операционной системе ДОС был жестко привязан к старому формату наблюдений (который использовался до 1995 года), имел принципиальное ограничение на количество точек (что в свое время было оправдано целями экономии машинного времени при вычислениях), и мог обрабатывать за один раз только одну волну. Новый пакет программ (RAIS) [7] реализован в среде программирования IDL, с использованием стандартного формата FITS и библиотек Astrolib. Пакет совместим с программой WorkScan, имеет графический интерфейс, работает как в пакетном, так и в интерактивном режиме, и открыт для модификации пользователем. Установленный в настоящее время на Облучателе N3 солнечный многоволновый комплекс обеспечивает данные для построения одновременных карт на 15 длинах волн в диапазоне от 2 до 15 см. В программе RAIS реализована возможность строить карты всего диска Солнца одновременно на всех имеющихся длинах волн, с использованием в качестве входных данных наблюдений в режиме ЮП, а также в других режимах, в частности, в режиме "эстафета с зонированием" [8].

При одномерных наблюдениях Солнца часто возникает проблема разделения вклада излучения активных областей, находящихся в северном и южном полушариях, и одновременно попадающих в вертикальную диаграмму. Разработана методика разделения потоков путем сканирования активных широт на Солнце двумя разными квазилинейными участками вертикальной диаграммы направленности, которая решает эту задачу. Проведение многоазимутальных наблюдений попеременно с двумя значениями выноса ДНА по высоте дает возможность исследовать динамику областей, совпадающих по вертикали, что недоступно в режимах азимутального апертурного синтеза и при квазисопровождении с несмещенной вертикальной диаграммой.

Во введении ко второй части приведен обзор разнообразных наблюдательных данных по радиоастрономическим исследованиям пред-

вспышечных явлений. Отмечено, что большинство наблюдений имели ограничения либо по временной динамике излучения, либо проводились на одной частоте или с узким перекрытием частотного диапазона, либо с недостаточным пространственным разрешением, либо с низкой точностью измерения степени поляризации, либо с низкой чувствительностью по потоку радиоизлучения и т.п. Несмотря на наличие в мире разнообразных радиотелескопов с высоким пространственным разрешением (от радиогелиографов - интерферометров до рефлекторных антенн), подробный анализ спектра реализуется лишь на двух телескопах – РАТАН-600 и OVRO, которые полностью перекрывают диапазон частот 1 - 18 ГГц. Последний анализирует этот диапазон частот последовательно, переходя от одной частоты к другой, и имеет узкие полосы анализа, что значительно понижает чувствительность измерения поляризации. Приходится констатировать, что сегодня в мире отсутствует радиоастрономический инструмент (или несколько инструментов), параметры которого были бы адекватны для исследования предвспышечной динамики магнитных структур на Солнце.

Вторая глава посвящена применению расширенных возможностей радиотелескопа к изучению предвспышечной динамики излучения активной области AR 8077. Хотя предвспышечные явления в спектрах активных областей регистрировались на РАТАН-600 и до реализации режима многоазимутальных наблюдений, однако при наблюдениях, проводимых один раз в день, установить достоверную связь между необычными явлениями в спектрах интенсивности и поляризации, и последующей вспышкой довольно трудно. Наблюдения с временным интервалом до 4 минут позволяют быть уверенными в наличии такой связи за счет неоднократных наблюдений одних и тех же эффектов и изучения их временных характеристик по отношению к моменту вспышки. Так, эффект предвспышечного микроволнового потемнения неоднократно регистрировался в многоволновых наблюдениях на РАТАНе перед мощными событиями на Солнце, генерирующими протоны высоких энергий. В главе рассматривается активная область AR 8077, которая произвела мощную протонную вспышку 14 июля 2000г. Она подробно исследовалась многими наземными и космическими обсерваториями, и получила название вспышки "Дня Бастилии".

Наблюдения на РАТАН-600 в широком диапазоне волн с подробным (5%) частотным анализом и с высокой чувствительностью по потоку излучения позволили зарегистрировать (по увеличению непрозрачно-

сти плазмы) процесс медленного накопления массы волокна, который проявляется как эффект предвспышечного микроволнового потемнения (интенсивности излучения). Важная информация в пользу гипотезы формирования волокна также получена из спектральных поляризационных наблюдений: в течение всего предвспышечного периода регистрировался эффект двойной смены знака круговой поляризации излучения в узкой полосе (5%) частот в середине сантиметрового диапазона (4-5 см). Объяснение эффекта двойной смены поляризации рассмотрено в модели, согласно которой в солнечной плазме с инверсией температуры по высоте, избыток излучения х-моды сменяется избытком излучения о-моды. Проведено сопоставление данных РАТАН-600 с данными радиогелиографа в Нобеяма и ССРТ (Иркутск) и получены независимые подтверждения наблюдаемых эффектов. Наблюдения позволили предложить сценарий развития предвспышечной ситуации, который состоит в том, что над линией раздела полярностей магнитного поля создаются условия для постепенного формирования холодного волокна. Накапливаясь в течение нескольких дней, и прогибая магнитные арки под собой, масса волокна достигает критической величины, когда тяжелое газовое облако разрушает магнитную структуру аркады. Это инициирует процесс аннигиляции магнитного поля на низких (фотосферных) уровнях, где начавшаяся вспышка видна в белом свете, и на высоких уровнях (в короне), где она наблюдается в рентгене, УФ и радиодиапазоне.

Третья глава посвящена результатам исследования в микроволновом диапазоне тонких спектральных особенностей поляризованного излучения вспышечно-продуктивных активных областей (ВПАО) на предвспышечной фазе с использованием нового режима многократных наблюдений на РАТАН-600 в азимутах.

Выполненный нами анализ солнечных активных областей по данным NOAA SEC (см. [http : //www.sel.noaa.gov/weekly/](http://www.sel.noaa.gov/weekly/)) показал, что все активные области можно распределить на три класса: стабильные, умеренной активности, и вспышечно- продуктивные (ВПАО). Стабильные области не производят никаких вспышек за все время их нахождения на диске. Умеренно активные области обычно производят много слабых вспышек и 1–2 мощные вспышки класса М. И наконец ВПАО, которые составляют лишь 5 % от всего количества активных областей (анализ проводился в год максимума солнечной активности), но производят около 95 % всех мощных вспышек с рентгеновским баллом М

и X. Причем каждая ВПАО обычно генерирует не менее трех вспышек класса M и X.

Стабильные АО имеют простую стабильную структуру магнитных полей на уровне фотосферы, и монотонные спектры потока интенсивности и поляризации радиоизлучения в микроволновом диапазоне, с максимумом около 4 - 5 см. Поведение этих спектров определяется совместным действием тепловых механизмов (тормозного излучения - bremsstrahlung и циклотронного излучения на первых 3 - 4 гармониках гирочастоты) [29]. Циклотронное излучение, приходящее от активной области, имеет круговую поляризацию, соответствующую избытку излучения необыкновенной волны, а знак поляризации определяется полярностью магнитного поля доминирующего пятна.

Пока не обнаружено особых изменений в спектрах умеренно активных областей, что может указывать также на стабильную структуру магнитного поля, изредка нарушаемую слабыми вспышками.

Вспышечно-продуктивные активные области имеют нестабильные и неоднородные спектры поляризованного излучения. Обнаружены следующие новые эффекты в микроволновом излучении на ранней стадии предвспышечной фазы во вспышечно-продуктивных активных областях:

- эффект коротковолновой инверсии знака круговой поляризации в активных областях,
- эффект коротковолнового увеличения потока поляризованного излучения,
- эффект многократной инверсии знака круговой поляризации по частоте и по времени.

По наблюдениям на РАТАН-600 проведено статистическое исследование на регулярных 10-месячных наблюдениях в течение 2001г., которое показало, что более 85% ВПАО имели спектрально-поляризационные эффекты в радиоизлучении на интервалах от нескольких часов до 3-4 суток. Исследованы спектральные и временные характеристики обнаруженных поляризационных эффектов. Эти явления характеризуются широким диапазоном потоков радиоизлучения (0.05-10 с.е.п.), относительно узким диапазоном длин волн (2-5 см), и регистрируются в интервале времени от нескольких часов до нескольких дней перед

мощной вспышкой, а также во время вспышки. Предложены некоторые предварительные интерпретации наблюдаемых эффектов. Дальнейшее изучение обнаруженных проявлений вспышечной плазмы может быть использовано для проверки существующих моделей солнечной вспышки, уточнения сценариев вспышек и будут полезны при разработке новых эффективных критериев прогноза вспышечной активности.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработана методика наблюдений в многоазимутальном режиме, что значительно повысило эффективность использования РАТАН-600 для исследования Солнца.
2. Разработан и внедрен комплекс программ по многоволновому картографированию и анализу переменности солнечного радиоизлучения.
3. Расширено существующее программное обеспечение для обработки данных наблюдений Солнца в целях автоматизации первичной обработки, и эффективного сопоставления с данными других инструментов.
4. Обнаружен эффект предвспышечного микроволнового потемнения, который сопровождается узкополосной (5%) инверсией знака поляризации в средней части диапазона и дана его интерпретация.
5. Обнаружены новые явления в спектрах круговой поляризации на ранней стадии в предвспышечной фазе вспышечно-продуктивных активных областей и определены их спектральные и временные характеристики.

Личный вклад автора. Автор принимал участие в постановке задач, в проведении наблюдений, а также в обсуждении и интерпретации результатов. Описываемые в работе методики, а также большинство программ, использованных в работе, разработаны автором. Обработка данных, как правило, полностью или частично проведена автором.

Основные публикации по теме диссертации:

К первой главе:

- [1] Богод В.М., Гараимов В.И., Тохчукова С.Х., Шатилов В.А.: Повышение точности поляризационных наблюдений на РАТАН-600 // "Проблемы современной радиоастрономии", Тезисы докладов XXVII радиоастрономической конференции, С.Петербург, 1997, Т.3, с.40-41.
- [2] Опейкина Л.В., Богод В.М., Гребинский А.С., Тохчукова С.Х., Гельфрейх Г.Б., Расчеты многолепестковых диаграмм в различных режимах работы радиогелиографа РАТАН-600 // "Проблемы современной радиоастрономии", Тезисы докладов XXVII радиоастрономической конференции, С.Петербург, 1997, Т.3, с.46-47.
- [3] V.B. Khaikin, E.K. Majorova, I.G.Efimov, O.A. Victorov, V.M. Bogod, S.Kh.Tokhchukova. Long time tracking of the Sun with RATAN-600 in Radio Schmidt mode //Proc. VII Russian-Finnish Symposium on Radioastronomy, Saint Petersburg, June 28-July 3, 1999. pp.125-128.
- [4] O.A.Golubchina, G.Zhekanis, V.Bogod, T.Plyaskina, N.Komar, V.Garaimov, S.Tokhchukova, The possibility of quick processes research on the Sun in quasitracking regime with radiotelescope RATAN-600, preprint SAO N134, St.Petersburg, 2000
- [5] С.Х.Тохчукова, В.М.Богод, В.И.Гараимов, В.Б.Хайкин, Майорова Е.К., Пробные наблюдения в режиме многоволнового азимутального апертурного синтеза на РАТАН-600 // "Солнце в максимуме активности и солнечно-земные аналогии", Тезисы докладов международной конференции, С.Петербург, Пулково, сентябрь 2000, с.223-224.
- [6] В.М.Богод, Н.П.Комар, С.Х.Тохчукова, В.Б.Хайкин, Южный сектор с Перископом РАТАН-600-оптимальный инструмент для мониторинга предвспышечной плазмы // Тезисы докладов ВАК, С.Петербург, 6-12 августа 2001, с.19.
- [7] С.Х. Тохчукова, Реализация метода многоазимутальных наблюдений Солнца на РАТАН-600" // Препринт САО РАН, Нижний Архыз, 2002, N174, с.1-27.

- [8] O.A.Golubchina, G.V.Zhekanis, V.M.Bogod, S.Kh.Tokhchukova "The construction of two-dimensional image of the Sun with radio telescope RATAN-600" // Proc. 10th. European Solar Physics Meeting, 'Solar Variability: From Core to Outer Frontiers', Prague, Czech Republic, 9-14 September 2002 (ESA SP-506, December 2002) pp.939-942.
- [9] В.М.Богод, Г.В.Жеканис, М.Г.Мингалиев, С.Х.Тохчукова, В.Б.Хайкин, Многоазимутальный режим наблюдений на Южном секторе РАТАН-600 с Перископическим отражателем // Сб. тезисов докладов российской конференции "Радиотелескопы РТ-2002", С.Петербург, 9 - 11 октября 2002, с.24.
- [10] Гельфрейх Г.Б., Наговицын Ю.А., Богод В.М., Тохчукова С.Х., Ниндос А., Гречнев В.В., Сыч Р., Анализ структуры КПК отдельных компонент активных областей Солнца, Тезисы конференции стран СНГ и Прибалтики "Активные процессы на Солнце и звездах", С.Петербург, 1-6 июля 2002 г, стр.16.

Ко второй главе:

- [11] С.Х.Тохчукова, В.М.Богод, А.С.Гребинский, Микроволновое потемнение активных областей перед протонными вспышками // "Солнце в максимуме активности и солнечно-земные аналогии", Тезисы докладов международной конференции, С.Петербург, Пулково, сентябрь 2000, с.140-142.
- [12] С.Х.Тохчукова, В.М.Богод, А.С.Гребинский, Наблюдение эффекта предвспышечного микроволнового потемнения на примере активной области 14 июля 2000 г // Тезисы докладов ВАК, С.Петербург, 6-12 августа 2001, с.176.
- [13] Tokhchukova S., Microwave darkening of solar active regions before flares // SOLSPA 2001 Euroconference abstract book, p.42.
- [14] Tokhchukova S., Bogod V., Detection of the long-term microwave "darkening" before the July 14, 2000 flare // Solar Physics, (SOLA H1394), January 2003 issue, 212/1, 12p.

К третьей главе:

- [15] R. Jain, N. Mehta, H.O. vats, M.R. Deshpande, S.K., Mathew, H. Chandra, V. Bogod, S. Nagai, S. Sharma, E. Sagawa, S.Tokhchukova, K.N. Iyer, R. Oza and S. Rathore, The Solar activity in NOAA Active Region No. 8038 during 10-13 May, 1997, in Proc. 31st ESLAB Symp. on Correlated Phenomena at the Sun, in the Heliosphere and in Geospace, ESA-SP 415, pp. 145-153.
- [16] Тохчукова С.Х., О возможности предсказания солнечных протонных событий по широкодиапазонным спектрально-поляризационным наблюдениям // "Радиоастрономия в космосе", Тезисы докладов школы-семинара молодых радиоастрономов, Пущино, 1998, с.29.
- [17] Tokhchukova S., Garaimov V., Bogod V. About a possibility of solar proton events predication using wide range microwave spectral and polarization radio observation // В сб.: Солнечно-земная физика. Труды VII симпозиума по солнечно-земной физике России и стран СНГ. - Троицк, 1999. С. 373-376.
- [18] В.Н.Боровик, В.Г.Медарь, С.Х.Тохчукова, Микроволновые радионаблюдения на РАТАН-600 вспышечно-активных областей на Солнце, связанных с выбросом корональной массы // Труды международной конференции "Солнце в эпоху смены знака магнитного поля", 28 мая - 1 июня 2001, С.Петербург, с.65-72.
- [19] N.G. Peterova, B.I.Ryabov, S.Kh.Tokhchukova, A peculiar microwave source in the structure of the NOAA 8108 AR from observations with RATAN-600 // Bul.Spec.Astroph.Obs.,2001 #51, pp. 106-111
- [20] Богод В.М., Тохчукова С.Х., Поляризационная структура вспышечно-продуктивных активных областей в сантиметровом диапазоне волн // Тезисы докладов конференции стран СНГ и Прибалтики "Активные процессы на Солнце и звездах", С.Петербург, 1-6 июля 2002 г, с.14.
- [21] V.M.Bogod, S.Kh.Tokhchukova, Spectral-polarization behaviour of solar active regions producing powerful flares, Proc. 10th. European Solar Physics Meeting, 'Solar Variability: From Core to Outer Frontiers', Prague, Czech Republic, 9-14 September 2002 (ESA SP-506, December 2002), pp. 279-282.

- [22] В.М.Богод, С.Х. Тохчукова, Особенности микроволнового излучения активных областей генерирующих мощные солнечные вспышки // 2002, принято в ПАЖ, 11с.
- [23] Bogod V., Tokhchukova S., About microwave emission of flare productive active regions // Труды международной конференции "Солнечная активность и космические лучи после смены знака полярного магнитного поля Солнца", Санкт - Петербург, 2002, 7с.

Цитируемая литература:

- [24] Парийский Ю.Н., Шиврис О.Н., Методы радиоастрономического использования РАТАН- 600 // Астрофизические исследования (Изв. ГАО), 1972, # 188, с.3-11.
- [25] Богод В.М., Ватрушин С.М., Абрамов-Максимов В.Е., Цветков С.В., Дикий В.Н., Панорамный радиометрический анализатор спектра диапазона 3,5 ГГц - 18 ГГц с цифровой обработкой информации // 1993, Препринт САО # 84
- [26] Минченко Б.С. Кандидатская диссертация. ГАО АН СССР, 1979.
- [27] A.Nindos, C.E.Aliandrakis, G.B.Gelfreikh, V.N.Borovik, A.N.Korzhavin, V.M.Bogod, Two-dimensional mapping of the sun with the RATAN-600 // Solar Physics, 1996, #165, 41-59
- [28] Гараимов В.И., Обработка массивов одномерных векторов данных в ОС Windows. Программа Work Scan- версия 2.3 // Препринт САО #127Т, Нижний Архыз, 1997.
- [29] Железняков В.В., Радиоизлучение Солнца и планет. М., Наука, 1964, 560с.