

Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории Российской Академии наук.

Официальные оппоненты: - доктор физ.-мат. наук А.В. Степанов
(КраО УАН, п. Научный),
- доктор физ.-мат. наук Г.П. Чернов
(ИЗМИРАН, г. Москва),
- доктор физ.-мат. наук И.Е. Погодин
(НИИФ СПбГУ, С.Петербург).

Ведущая организация: Институт солнечно-земной физики
СО РАН, г. Иркутск.

Защита состоится " 7 " апреля 1994 г. в 10 часов на заседании специализированного совета (шифр Д.003.35.01) при Специальной астрофизической обсерватории Российской Академии наук по адресу: 196140, г. Санкт-Петербург, Пулковое, СПбФ СО РАН, тел. (812)-12-34-038.

Отзыв на доклад в д/у учреждения, просим написать
имя ученого секретаря

С диссертацией можно ознакомиться
в Пулковской обсерватории

Доклад разослан " 7 " апреля 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного
канд. физ.-мат. наук

ОГЛАВЛЕНИЕ:

стр.

Общая характеристика работы	4
Введение	13
1. Развитие теории и практики применения радиотелескопов для наблюдений Солнца	15
1.1. Оптическое моделирование антенн СВЧ	15
1.2. Теория поляризационных измерений	18
1.3. Математическое обеспечение расчета диаграммы направленности БПР и РАТАН-600	23
1.4. Методика наблюдений Солнца и их первичной обработки	23
1.5. Каталог наблюдений Солнца на РАТАН-600	32
1.6. Программа развития наблюдений Солнца на РАТАН-600..	32
2. Гало и peculiarные источники как объекты активных областей на Солнце с нетепловыми процессами.....	34
2.1. Примеры типичной структуры микроволнового излучения активных областей	34
2.2. Основные наблюдательные характеристики пятенных источников	49
2.3. Основные наблюдательные характеристики peculiarных источников	51
2.4. Основные наблюдательные характеристики гало	54
2.5. Концепция магнитосферы активной области	56
3. Пространственная структура микроволновых вспышек	59
Заключение	62
Библиография	63
Литература	76

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Проблема физики активных областей Солнца имеет большое научное и практическое значения. Малое расстояние от Земли до Солнца обеспечивает получение большого объема информации о нем, как о типичном астрофизическом объекте - звезде, так и о естественной плазменной лаборатории, условия в которой недостижимы в земных экспериментах. Физика солнечной активности является основой для составления научно обоснованных прогнозов нарушений радиосвязи, вызванных солнечными вспышками, для прогнозирования радиационной обстановки в космосе, геофизических и других проявлений солнечно-земных связей. Радиоастрономические методы исследований дают не дублирующую другими методами информацию об условиях и процессах в солнечной атмосфере. В частности, наблюдения в микроволновом диапазоне длин волн активных областей (АО) Солнца позволяют измерять магнитные поля в короне активных областей, что недоступно другим методам наблюдений. Общеизвестно, что именно в этих областях разгравиваются процессы, приводящие к явлениям солнечных вспышек.

Солнечные вспышки представляют собой быстрое взрывное выделение энергии, накопленной, вероятно, в особых структурах магнитного поля в солнечной короне, и сопровождаются излучениями во всех диапазонах электромагнитного спектра и выбросом материи и высокоэнергетичных частиц в межпланетное пространство. В связи с этим весьма актуальными в солнечной физике являются исследования предшествующих процессов переноса и накопления энергии, что необходимо для разработки физически обоснованных методов прогноза солнечных вспышек. Радиоастрономические наблюдения АО дают возможность диагностировать эти процессы и, таким образом, получать незаменимую информацию о состоянии плазмы активных областей и происходящих здесь процессах трансформации и диссипации нетепловых видов энергии в тепловую в предвспышечные периоды их развития.

Исследования микроволнового излучения АО посвящено большое количество работ, но, несмотря на это, их природа до сих пор еще во многом остается неясной. Это связано, с одной стороны, со сложной многокомпонентной структурой микроволнового излучения АО, с другой стороны, с инструментальными ограничениями радиотелескопов, используемых в исследованиях АО. Получение детальных спектрально-поляризационных характеристик сидельных компонент структуры АО актуально для выявления действующих в них механизмов генерации радиоизлучения и, вместе с тем, для получения существенно более полной физической картины явлений солнечной активности. Основные усилия в данной работе направлены на детальное изучение структуры АО по результатам наблюдений с высоким спектральным, поляризационным и пространственным разрешением на основе наблюдений на радиотелескопах БПР, РАУАН-600, а также с использованием метода солнечных затмений, и на интерпретацию этих наблюдений.

Развитие методов обработки наблюдений, минимизирующих инструментальные погрешности и повышающих эффективность и качество работы инструмента, является актуальной проблемой при проведении любого физического эксперимента. Необходимым этапом здесь является исследование характеристик и особенностей самого инструмента. В нашем случае усилия были направлены на развитие теории АПП - антенн переменной геометрии -- (БПР и РАУАН-600) и на разработку методов проведения и обработки наблюдений Солнца на этих радиотелескопах.

Научная новизна работы. Представленный доклад отражает содержание 95 научных публикаций [1-95]. При этом были получены следующие новые результаты:

1. Методика.

1.1. Впервые методом оптического моделирования исследованы особенности диаграмм направленности АПП (общие характеристики и зависимость от закона облучения апертур) и выявлены некоторые новые, не известные ранее ее особенности. Создана упрощенная для

использования программы расчета диаграммы направленности АПП для реальных режимов работы антенны. Эта программа является штатной программой математического обеспечения РАТАН-600 и широко используется при интерпретации наблюдений как Солнца, так и других объектов.

1.2. Исследованы общие (и особенно специфические для антенн типа АПП) особенности поляризационных радиоастрономических измерений, при этом:

1.2а. Предложено простое и наглядное физическое объяснение возникновения паразитной круговой поляризации для антенн типа АПП. На его основе предложен метод расчетной коррекции паразитных эффектов при наблюдениях Солнца на БПР и РАТАН-600. Разработанная программа регулярно используется при обработке наблюдений по программе службы радиоизлучения Солнца на БПР.

1.2б. Впервые для произвольной антенны получены выражения для элементов матрицы Миллера, связывающей входные и выходные обобщенные параметры Стокса измеряемого сигнала для произвольного поляризационного базиса. Получены также выражения для преобразований этих элементов при переходе от одного поляризационного базиса к другому. Впервые сделан вывод о несовпадении матрицы Миллера радиотелескопа при его работе на прием и передачу. Показано, что измерение круговой поляризации сигнала весьма устойчиво к несовершенству изготовления первичных облучателей - разделителей право и лево поляризованных составляющих сигнала. Исправление основного эффекта - паразита, пропорционального интенсивности, является штатной процедурой математического обеспечения обработки наблюдений Солнца на РАТАН-600.

1.3. Усовершенствована разработанная пулковской группой методика радиоастрономических наблюдений солнечных затмений и их обработки. Создано и внедрено адекватное программное обеспечение предварительных расчетов эфемерид солнечных затмений и последующей обработки их радиоастрономических наблюдений для персональных компьютеров.

2. Структура Активных Областей (АО).

На основе наблюдений Солнца на БПР, РАТАН-600 и затменным методом, а также по данным кооперативных работ с крупнейшими радиотелескопами мира - CSRT, WSRT и ULA. детально исследованы и описаны наблюдательные характеристики (спектры, поляризация, размеры, высоты, время жизни, отождествления с оптическими образованиями, взаимное расположение в атмосфере Солнца) различных элементов структуры радиоизлучения большого числа АО. Проанализированы пятенные источники, флоккулярные повышения радиояркости, корональные петли, корональные лучи, гало, "пеккулярные" источники. Впервые получены также данные о радиоизлучении особого вида солнечной активности - полярных факелах. Создан каталог наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 за 1979 - 1989 г.г. на основе цифровой регистрации данных. Вышли из печати первые четыре тома каталога, еще шесть томов подготовлено к печати.

Из сопоставления данных наблюдений с теоретическими моделями радиоизлучения активных областей сделан вывод, что пятенные источники хорошо описываются механизмом теплового магнитно-тормозного излучения, разработанным В. В. Железняковым и Е. Я. Злотник, усовершенствованным Г. Б. Гельфрейхом и Е. И. Лусишвили, К. Александракисом, П. Нантосом, А. Крмгером и др. С другой стороны, показано, что наблюдательные характеристики гало и пеккулярных источников не могут быть описаны ни этим механизмом, ни тепловым тормозным излучением уплотнений короны над АО - второй составляющей теоретических моделей некоторых из упомянутых выше авторов, что и привело к постановке задачи о нетепловой природе этих источников.

3. Гало

На основе обобщения полученных данных сделан вывод, что гало является фундаментальным элементом структуры микроволнового излучения активных областей, поскольку оно наблюдается практически у каждой активной области, как сильно развитой, так и слабой.

в том числе у А0, состоящих только из флоккулов. В последнем случае пятенные источники отсутствуют, а гало по размерам и положению совпадает с флоккулярными повышениями радиояркости. Во всех случаях характерной особенностью спектра радиоизлучения гало является наличие максимума потока на дециметровых волнах (у слабых - в диапазоне 20-30 см, у сильных - в диапазоне 8-15 см), что требует для объяснения привлечения нетепловых механизмов генерации его радиоизлучения.

Показано, что наиболее вероятным механизмом излучения является гиротронное излучение субрелятивистских электронов со степенным распределением по энергии, удерживаемых в магнитосферах активных областей. Завал спектра гало на длинных волнах, т.е. факт, что $kT \ll E_{кин}$ этих электронов может быть объяснен рассеянием генерируемого излучения на волнах плазменной турбулентности, которая может возбуждаться той же самой нетепловой популяцией электронов. Рассеяние также объясняет факт высокой непрозрачности гало для излучения низлежащих пятенных и пекулярных источников (на волнах вблизи максимума спектра гало и более длинных).

В целом можно говорить о гало, как проявлении длительных, практически непрерывно идущих, нетепловых процессов в "радиационных поясах" магнитосфер активных областей, сопровождающихся ускорением частиц.

4. Пекулярные источники

На основе обобщения наблюдательных данных о т.н. называемых "пекулярных" источниках, открытых пулковской группой радиоастрономов, во вспышечно-активных областях сделан вывод, что уникальная совокупность их характеристик позволяет говорить о пекулярных источниках, как новом типе астрофизических объектов, наблюдаемых на Солнце. Это компактные (размеров около $20''$) весьма яркие ($T_b > 10^7$ К) источники, расположенные на небольшой высоте (10 тыс. км) над нейтральными линиями фотосферного магнитного поля в местах чистейшего сближения пятен разной

магнитной полярности (иногда теней пятен в общей полутени - дельта-конфигурация магнитного поля). Время жизни этих источников 1 - 5 суток, и появляются они в периоды мощной (протонной) вспышечной активности. Явление вспышки не приводит к их разрушению. Наблюдаются эти источники в диапазоне волн 2 - 4 см. Характерной особенностью спектра потоков пекулярных источников является резкий спектральный индекс ($\alpha \sim 10$) с максимумом потока на волнах 3 - 4 см. Такие особенности спектра имеет, например, гиротронное излучение горячих электронов ($T = 10^7 - 10^8$ К) с максвелловским распределением по скоростям в умеренных магнитных полях (100-300 Гс), что может рассматриваться как возможный вариант интерпретации наблюдений.

В целом можно говорить, что пекулярные источники выявляют места в солнечной короне с постоянным (вне вспышечным) мощным нетепловым энерговыделением, возможно, в виде длительно существующих токовых слоев, сопровождающихся нагревом короны до температур порядка 10^8 К.

5. Всплески

По материалам наблюдений на БНР, РАТАН-600, РИМБ, а также малых телескопах ГАС ГАО и в Тремдорфе (ФРГ) выполнен цикл работ по исследованию различных типов всплесков, как мест в активных областях с быстрым (вспышечным) нетепловым выделением энергии. Полученные новые наблюдательные данные (спектральная, полнота которых никогда ранее не достигалась) о пространственной структуре источников этих всплесков, ее динамике и колебаниях, позволили сделать вывод о необходимости существенного уточнения физической природы этих явлений.

Научное и практическое значение работ. Выявление в данной работе новые закономерности в свойствах диаграммы направленности АПП уже ряд лет используются при обработке наблюдений Солнца и других астрономических объектов на БНР и РАТАН-600. Применение полученных результатов исследования АПП повышает эффективность работы радиотелескопов БНР и РАТАН-600 и позволяет получать

более точную и полную наблюдательную информацию.

Найденные новые спектральные, поляризационные и пространственные характеристики отдельных компонент локальных источников существенно расширяют представления о плазменных структурах и физике процессов переноса и трансформации энергии в активных областях Солнца, дополняют имеющиеся результаты наблюдений и ставят новые проблемы, способствуя развитию теории излучения активных областей солнечной атмосферы. Найденные прямые доказательства существенной роли нетепловых процессов (гало, пекулярные источники), происходящих в стационарных фазах развития активных центров на Солнце, говорят об их более тесной, чем обычно принято считать, связи с нестационарными, всплывающими фазами развития. Эти факты могут быть использованы при разработке методов прогноза солнечных вспышек и существенны для построения моделей активных областей, а также понимания природы нагрева корональной плазмы.

Основные результаты работы, которые выносятся на защиту:

1. Результаты развития теории радиоастрономических антенн типа АПП и других методом оптического моделирования и расчетным методом, которые позволили:

- установить новые особенности общей структуры диаграмм АПП и исследовать их изменения в зависимости от закона облучения апертуры,

- описать элементы матрицы Мюллера произвольной антенны, связывающей входные и выходные сигналы, для произвольного поляризационного базиса и показать, что диаграммы антенны при её работе на прием и передачу в общем случае не совпадают,

- описать причину возникновения паразитной круговой поляризации АПП, как результата сканирования источника разнесенными в пространстве диаграммами для двух ортогональных круговых поляризаций,

- разработать и внедрить в практику методы расчетной коррекции паразитных поляризационных эффектов, абберационных

эффектов и внедрить в практику алгоритмы расчета диаграмм направленности АПП для реальных режимов работы антенн.

2. Методы наблюдений и их первичной обработки на малых антеннах (затменные наблюдения Солнца, служба Солнца на Гаванской Радиоастрономической Станции), на РИМБ'е (Радиоинтерферометр с малой базой, Мексика) и на РАТАН-600. Последнее позволило создать каталог наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 и принять участие в разработке новых методов использования РАТАН-600 (Программа "РАТАН-600 в 22-ом цикле солнечной активности").

3. Результаты исследования структуры микроволнового излучения активных областей на Солнце по наблюдениям с высоким пространственным разрешением на БПР, РАТАН-600, ССРТ, MSRT, ULA, а также затменным методом на малых антеннах (РТ-3, РТ-2.5) и РИМБ'е, анализ которых позволил:

- получить подробные спектрально-поляризационные и пространственные характеристики излучения отдельных структурных элементов активных областей,

- уточнить относительную роль и особенности проявления тепловых тормозного и магнито-тормозного механизмов генерации излучения при интерпретации наблюдений АО

- выявить фундаментальную компоненту структуры АО - гало - с нетепловым характером спектра, которая свидетельствует о непрерывных процессах ускорения частиц в этих областях,

- выработать концепцию нового типа астрофизических объектов на Солнце - "пекулярных источников" - которые свидетельствуют о мощном и длительном энерговыделении в активных областях с протонной всплывающей активностью,

- обосновать концепцию магнитоферы активной области, как части солнечной атмосферы (короны), где структура и физические процессы в плазме определяются продолжением магнитных фотосферных полей и потоками в окружающей плазме.

4. Результаты исследования на РАТАН-600 и РКИБ'e пространственной структуры некоторых типов микроволновых всплесков, оказавшиеся в существенном противоречии с рядом имевшихся теоретических и модельных представлений.

В итоге удалось обеспечить методически и решить крупную научную проблему диагностики длительных нетепловых процессов в атмосфере Солнца радиоастрономическими методами.

Апробация работы.

Результаты почти 30-ти летней работы автора, начиная с 1955г., докладывались практически на всех Всесоюзных и Межрегиональных радиоастрономических конференциях, Всесоюзных и Межрегиональных научных семинарах объединенной секции "Радиоизлучение Солнца" Научных Советов по Радиоастрономии и Физике Солнечно-Земных Связей, на консультативных совещаниях и симпозиумах КАПГ, на ряде других международных совещаний, проводившихся как в СССР, так и за рубежом. Всего опубликовано около 90 тезисов докладов, представлявшихся на этих совещаниях. В библиографическом списке (1-95) приведена только малая часть этих тезисов, важная для содержания данной работы.

Личный вклад автора.

По методике наблюдений и теории радиоастрономических антенн - основные идеи, вывод формул, постановка экспериментов, программная реализация. Большинство работ этой части выполнены без соавторов.

По астрофизическому анализу наблюдений Солнца - участие в наблюдениях, постановка программ наблюдений, разработка методов обработки и интерпретации, обработка и представление ряда результатов, выработка исходных предпосылок интерпретации.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы переноса и выделения энергии в солнечной короне, процессы формирования в ней различных структурных образований, в последнее время являются предметом пристального внимания многих исследователей. Термодинамически ясно, что излучение фотосферы с температурой около 6000K не может быть источником разных выделений энергии, движений и потоков плазмы, ускорения частиц, собственно нагрева короны до 10^6 K и выше. Неррадиационный перенос энергии осуществляется, по-видимому, потоком магнитно-гидродинамических волн и выносом магнитных полей из-под фотосферы в корону, а последующая диссипация этих нетепловых видов энергии в конечном счете и приводит к наблюдаемому разнообразию явлений в короне. С этой широкой точки зрения как радиоизлучение, так и ультрафиолетовое и рентгеновское излучения короны, являются по природе нетепловыми.

В более узком смысле нетепловыми являются лишь излучения, генерируемые частицами с неравновесными (не максвелловскими) распределениями по скоростям. Для таких медленных и длительных процессов, как формирование и развитие активных областей на Солнце, обычно ожидается, что составляющая их плазма находится в термализованном состоянии, и, соответственно, диагностика такой плазмы базируется на использовании тепловых моделей и механизмов генерации радио и рентгеновского излучения. Такой подход широко распространен вплоть до настоящего времени. Между тем, для этого нет достаточных оснований, поскольку до сих пор детально не известны ни виды нетепловых энергий, ни пути их диссипации в тепловую энергию, а, следовательно, нет и ответа на вопрос, может ли корональная плазма при этом успевать термализоваться.

Микроволновое и рентгеновское излучения генерируются в одних и тех же областях солнечной короны, однако механизмы генерации этих излучений существенно различны, что связано с тем, что энергия радиоквантов составляет лишь малую долю от энергии излучающих частиц, в то время как рентгеновские кванты рождаются обычно при лобовых столкновениях частиц. Таким образом, получаемая

нами информация в этих диапазонах волн не является дублирующей. Это обстоятельство объясняет не ослабевающий интерес к исследованиям Солнца радиометодами, несмотря на успехи спутниковых наблюдений в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах. В частности, только радио наблюдения могут дать сведения о наличии, возможно, в небольшом количестве, надтепловых ускоренных электронов в солнечной короне, и, тем самым, диагностировать возможные пути преобразования здесь кинетических видов энергии в тепловую.

Изучению нетепловых источников микроволнового радиоизлучения в структуре активных областей на Солнце и посвящена данная работа.

Интерпретация основных наблюдательных фактов, имевшихся в шестидесятые годы, с радиоизлучением АО была основана на использовании тепловых тормозного и магнито-тормозного механизмов генерации радиоизлучения, как это было предложено Желзняковым [96], Какинухой и Сварупом [97] и обосновано модельными расчетами Злотник [98] и Лантосом [99]. Возникшие противоречия между этой интерпретацией и наблюдениями обсуждались Лившицем и др. [100], а Гельфрейх и др. [31] для устранения этих противоречий впервые предложили дополнительно включить в интерпретацию нетепловые механизмы, в частности, радиоизлучение релятивистских электронов, захваченных в ловушку, образованную уходящими в корону магнитными полями активных областей.

В семидесятые годы было получено много новых данных о структуре и источниках S-компонента, главным образом, пулковской группой радиоастрономов, по наблюдениям на радиотелескопах БПР, РАТАН-600 и затенным методом. В получении и обобщении этих наблюдений активное участие принимал и автор данной работы [28-76]. В эти и последующие годы самый интересный материал был получен также с использованием таких систем, как WSRT, ULA и др. В настоящее время общепринято представление о сложной многокомпонентной структуре микроволнового излучения активных областей, в которой различают пятенные источники, гало, флоккулярное радиоизлучение, источники, связанные с нейтральными

линии магнитного поля, пекулярные источники, корональные конденсации, арки, лучи и т.п.

Такая сложная структура микроволнового излучения АО обуславливает применение методов наблюдений, дающих высокое пространственное разрешение, что необходимо для разделения отдельных составляющих этой структуры и всей последующей интерпретации данных наблюдений. Эти обстоятельства определили интерес автора к теории и практике применения радиотелескопов БПР и РАТАН-600, на которых получен основной объем наблюдений. Результаты соответствующих исследований приведены в первой части данной работы. Во второй части приводятся результаты исследования различных параметров АО по наблюдениям на БПР, РАТАН-600, ССРТ, WSRT, ULA и затенным методом и дается их интерпретация. В третьей части кратко описываются результаты исследования некоторых микроволновых всплесков.

1. Развитие теории и практики применения радиотелескопов для наблюдений Солнца

1.1. Оптическое моделирование антенн СВЧ.

В работе [1] автором для исследования ДН (диаграммы направленности) антенн типа АПП был предложен метод оптического моделирования и были приведены первые практические результаты использования этого метода. Эта работа оказалась вообще одной из первых в СССР по применению этого метода для исследования СВЧ антенн [101], хотя за рубежом метод оптического моделирования уже получил некоторое развитие [102].

В работе [2] автор совместно с Гельфрейхом исследовал общие закономерности "ленточного" типа антенн, к которым принадлежит АПП. При этом были получены следующие результаты (для случая равномерного облучения апертур):

-Вертикальный размер главного лепестка ДН АПП при увеличении угла места наблюдений сужается обратно пропорционально "стрелке" раскрыва антенны;

-Горизонтальный размер главного лепестка ДН АПП в центральном сечении меняется мало на разных высотах наблюдения и определяется длиной хорды дуги апертуры;

-Боковые лепестки в центральном горизонтальном сечении ДН АПП сохраняют приблизительно одинаковое распределение интенсивности для различных углов места наблюдения (первый боковой лепесток возрастает по уровню всего на 2дБ от горизонта к зениту);

-При переходе от горизонта к зениту появляется характерная структура в ДН АПП с размерами, определяемыми стрелкой раскрыва. При этом сохраняется сгибающая этой структуры с размером, определяемым высотой отдельного элемента АПП;

-Наиболее яркие элементы структуры ДН АПП образуют "усы", угол между которыми равен центральному углу раскрыва антенны. В секторах выше и ниже главного лепестка, образованных этими усами, появляется шахматобразная сетка с колебаниями яркости между соседними экстремумами 2-3дБ. Чистые нули в минимумах имеются только в центральном горизонтальном сечении диаграммы;

-Минимумы между элементами структуры боковых лепестков образуют два семейства пересекающихся кривых;

-Основная часть энергии, излучаемая антенной типа АПП, содержится в боковых лепестках диаграммы;

-ДН произвольной ленточной антенны имеет хорошо выраженный главный лепесток, размеры которого в любом центральном сечении определяются размерами апертуры в соответствующем направлении;

-В боковых лепестках ДН ленточной антенны содержится основная часть энергии;

-Система боковых лепестков ленточных антенн весьма протяженна, а их размеры определяются общими размерами апертуры;

-На систему боковых лепестков таких антенн наложена сгибающая уровня их интенсивности с характерным размером, определяемым шириной ленты антенны.

В работах [5, 6] на усовершенствованной установке для оптического моделирования антенн СВЧ (фотоэлектрическая регистрация, аподизация апертуры) автор детально исследовал зависимость ДН АПП от закона облучения апертуры и получил характеристики ДН АПП для реальных режимов работы БПР и РАТАН-600, пригодные для обработки наблюдений на этих радиотелескопах. При этом получены следующие выводы:

-Показано, что главный лепесток ДН АПП хорошо выражен, а наиболее яркие элементы тонкой структуры боковых лепестков образуют секторы выше и ниже главного лепестка с угловым раствором, равным полярному углу апертуры, и характерный узор, в котором проявляется "усы", "шахматная сетка" и др. Этот узор наиболее выражен при равномерном облучении апертуры;

-При изменении закона облучения раскрыва АПП система боковых лепестков значительно изменяется. При спадающих к краям распределения поля тонкая структура боковых лепестков сглаживается, секторы сужаются. Когда края антенны облучаются сильнее, чем её центр, боковые лепестки усиливаются, образуя X-образную форму;

-Получены количественные данные, позволяющие проследить, как изменяется главный лепесток диаграммы, его вертикальный и горизонтальный размеры на различных уровнях, уровень боковых лепестков в зависимости от типа облучения;

-Для ряда высот наблюдения в интервале от горизонта до зенита получены графические изображения ДН АПП с использованием фильтров, имитирующих реально измеренные законы облучения апертур радиотелескопов БПР и РАТАН-600, и показано, что при небольших изменениях высоты установки антенны изменения её диаграммы сводятся к соответствующему сжатию или растяжению в вертикальном направлении, что может быть использовано для целей интерполяции диаграммы, заданной для дискретных значений высот;

-Измеренные методом оптического моделирования характеристики ДН АПП вполне удовлетворительно согласуются с полученными ранее экспериментальными [103] и расчетными [104], что в целом говорит о высоком уровне разработки теории инструмента.

Установка для оптического моделирования была использована автором совместно с Гельфрейхом [4] для моделирования радиоастрономических наблюдений на антенных системах со сложной формой апертуры и их последующей обработки с помощью предложенного Хёгбомом в 1974г. алгоритма CLEAN [105]. Основным выводом нашей работы было то, что при наблюдениях областей, состоящих из одного или нескольких компактных источников излучения, алгоритм CLEAN позволяет эффективно и быстро улучшать получаемые радиоизображения. Однако большие вычислительные трудности встретились при применении этого алгоритма для восстановления изображений протяженных областей. Как известно, предложенный в [105] алгоритм был основан в основном на интуиции наблюдателя. В дальнейшем появились как теоретические обоснования, так и соответствующее программное обеспечение этого алгоритма. Однако до сих пор "чистых" сложных изображений требует применения суперкомпьютеров.

Для Парийского и Стоцкого [106] автор выполнил также оптическое моделирование глобального радиотелескопа, подтверждающее расчеты ожидаемого вида диаграммы направленности такой системы.

1.2. Теория поляризационных измерений.

Измерение поляризационных характеристик космического радиоизлучения дает нам важнейшую информацию о природе исследуемых объектов. Достоверные сведения о поляризации принимаемого радиоизлучения в ряде случаев являются решающим аргументом в пользу того или иного механизма генерации радиоизлучения, в других случаях позволяют подробно исследовать величину и структуру магнитных полей в изучаемых областях. Измерение поляризации, однако, затруднено, с одной стороны, тем, что измеряемые сигналы обычно составляют малую долю от полной интенсивности принимаемого излучения, с другой, — с наличием паразитных поляризационных эффектов антенно-аппаратурного комплекса. В этих условиях особую важность приобретает исследование поляризационных характеристик радиотелескопов как приборов, служащих для приема и анализа поляризации принимаемого излучения.

В работе [8] автор предпринял попытку построить общую теорию радиоастрономических поляризационных измерений, как развитие аналогичных проблем, рассмотренных ранее Ко [107] и Есепкиной [108]. В отличие от упомянутых работ построение ведется для произвольного поляризационного базиса и используются обобщенные параметры Стокса.

Аналогично тому, как это было сделано Ко [107], получены в обобщенных параметрах Стокса выражения для отклика антенны радиотелескопа с произвольной поляризацией на волну также с произвольной поляризацией. В отличие от Ко, показано, что наиболее простые выражения, не зависящие от выбранного поляризационного базиса, получаются в случае, если поле излучения антенны и поле падающей волны описываются в естественных для каждого из обоих случаев правых системах координат. Иначе, как это пришлось сделать Ко даже для обычных параметров Стокса, приходится вводить разные определения параметров Стокса для антенны и источника излучения.

Связь регистрируемых (выходных) обобщенных параметров Стокса с обобщенными параметрами Стокса (входными) изучаемого космического источника описывается, как это было предложено Есепкиной [108], с помощью матрицы Миллера. Выражения для элементов этой матрицы выводятся при условии работы антенны на прием непосредственным применением выражения для отклика антенны на падающую волну, при этом впервые, в отличие от общепринятого мнения, обнаружено, что поляризационные диаграммы антенны (матрица Миллера) при работе на прием и передачу не совпадают, принципы известной теоремы взаимности при этом не нарушаются. Анализ выполнен для случая последовательного измерения обобщенных параметров Стокса для произвольного поляризационного базиса. При этом измерения должны быть выполнены для трех строго взаимосвязанных пар ортогональных поляризационных режимов работы антенны. Эти режимы устанавливаются при соответствующей настройке поляризационных облучателей радиотелескопа так, чтобы каждая из пар ортогональных режимов работы поляризационных облучателей была определенной комбинацией любой другой ортогональной пары режимов

работы облучателей. Практически это может оказаться трудноразрешимой проблемой. Если эта взаимосвязь режимов не удовлетворяется, то входные и выходные параметры Стокса измеряемого сигнала связываются более сложными выражениями.

При соблюдении последнего условия получены выражения, связывающие любые две пары ортогональных состояний поляризации электромагнитной волны для распределений поля в апертуре антенны, для поля излучения антенны в дальней зоне, для квадратичных по полю величин, описывающих работу антенны при приеме, для обобщенных параметров Стокса антенны в режиме приема и, наконец, для элементов матрицы Миллера радиотелескопа. Все связываемые упомянутыми выражениями величины являются двумерными функциями координат в апертуре или на небесной сфере, а коэффициенты, входящие в эти выражения, от координат не зависят.

В качестве иллюстрации применения полученных выражений рассмотрен вопрос об ошибках поляризационных измерений, возникающих при неточной настройке поляризационных облучателей радиотелескопа. Оказалось, что в практически важном случае измерения круговой поляризации (и при отсутствии в измеряемом сигнале линейной поляризации) эти неточности не приводят к появлению дополнительных паразитных сигналов по сравнению со случаем идеальной настройки облучателей. При измерении линейной поляризации (и при отсутствии в измеряемом сигнале круговой) для случая антенн с большой паразитной круговой поляризацией (как, например, у АПП) ошибки настройки поляризационных трактов могут привести к появлению дополнительного паразитного сигнала. Однако этот сигнал может быть исключен при обработке при выполнении необходимых дополнительных измерений.

Описанная выше теория получила дальнейшее развитие в работах Абрамова (см., например, [109,110]), который нашел ряд новых, замечательных и практически полезных свойств матрицы Миллера для радиотелескопов. В работе [9] сообщается о попытке автора применить полученные выводы для измерения линейной поляризации источников радиоизлучения на Солнце.

Уже в первых наблюдениях на БПР с антенной типа АПП Кузнецовой и Соболевой [111] была обнаружена сильная (десятки %) инструментальная круговая поляризация, происхождение которой теоретически было объяснено Есепкиной и др. [112]. Ввиду важности измерения круговой поляризации для изучения магнитных полей локальных источников на Солнце были предложены методы борьбы с инструментальными поляризационными эффектами. На БПР был успешно опробован Есепкиной и др. [113] "метод сеток", а Петеровой [114] был разработан полуэмпирический расчетный метод устранения паразитных эффектов на этапе обработки наблюдений. В обоих случаях было достигнуто уменьшение процента инструментальной поляризации более чем на порядок.

В работе [7] с привлечением идеи использования кругового поляризационного базиса для списания электромагнитных полей в апертуре антенны и в её дальней зоне автору удалось физически просто и наглядно объяснить происхождение инструментальной круговой поляризации, как эффекта сканирования источника разнесенными в пространстве правой и левой диаграммами направленности АПП. Показано, что при этом ДН АПП расщепляется на право и лево поляризованные составляющие, которые различаются, в линейном приближении, только положением в пространстве. В этом приближении получена простая формула для угла расщепления, который оказался зависящим только от угла места наблюдения. Именно отсутствие этого параметра в методе Петеровой [114] привело её к необходимости дополнительных эмпирических измерений. Для конкретных применений АПП для наблюдений Солнца (БПР или сектор главного зеркала РАТАН-600) вклад линейного члена является основным, что и позволяет снизить паразитную инструментальную поляризацию в десятки раз. Для уточнения предельных возможностей снижения паразитного кругового сигнала автором в [7] были выполнены расчеты диаграмм направленности АПП по полным формулам. Оказалось, что формы правой и левой ДН АПП, определяемые главным зеркалом, совпадают с точностью до долей процента, и при их совмещении пиковое значение разностной диаграммы в области главного лепестка оказалось не превышающим 1%.

Б то же время при наблюдениях Солнца в режиме южного сектора с перископом, при котором, согласно теории главного зеркала АПП, паразитные круговые поляризационные эффекты становятся нулевыми, при слабой солнечной активности нами отчетливо регистрировались паразитные сигналы сложной формы на уровне около 1% от сигнала спокойного Солнца (см., например, [20-24]), что привело автора к необходимости рассмотреть возможные эффекты вторичного зеркала АПП [9].

Электродинамические расчеты ДН АПП в рамках двухзеркальной модели были выполнены Бахваловым и др. [104]. В [9] нами сделан следующий шаг в приближении этой модели к реальным конструкциям АПП (БПР и РАТАН-600) - учтена несимметричность вторичного зеркала и его конструктивное исполнение [115]. Оказалось, что для области главного лепестка диаграммы направленности АПП влияние вторичного зеркала сводится к небольшому увеличению расстояния между правой и левой диаграммами, что сравнимо с влиянием не учитываемых в линейном приближении членов более высокого порядка теории главного зеркала АПП. На основе расчетов был определен суммарный поправочный коэффициент к формуле угла расщепления диаграммы АПП на круговые составляющие, величина которого оказалась в пределах 1.02-1.03. Вне главного лепестка ДН АПП влияние вторичного зеркала приводит к появлению слабых, но обширных по размеру областей возникновения паразитной антенной круговой поляризации, что и регистрируется только при наблюдениях протяженных неполяризованных источников (диск Солнца). Таким образом, возникает проблема выделения спокойного Солнца при обработке поляризационных записей слабых и мало поляризованных солнечных источников радиоизлучения (флоккулы и др.). Методы решения этой проблемы совершенно аналогичны проблеме выделения слабых источников на фоне спокойного Солнца в интенсивности. При успешном разрешении этой проблемы возможно измерение степеней круговой поляризации на уровне 0.1% и ниже.

Результатом исследований автора, изложенных в [7-9], явилось создание методики коррекции паразитных поляризационных эффектов при обработке наблюдений Солнца на АПП, о которой несколько слов

будет сказано ниже в подразделе "методика". В работе [7] автором также обращено внимание на то, что на высоких углах наблюдения источников для получения максимальной площади антенны (выигрыш до 30 %) выгоднее принимать поляризованную по кругу составляющую их излучения, а не линейную. Метод близкого сканирования правой и левой диаграмм АПП был предложен Парижским для высокоточных наблюдений при поиске мелкомасштабных флуктуаций 5К фона, при этом исключаются эффекты, связанные с излучением Земли и её атмосферы, и ослабляются шум фоновых источников. Этот же метод близкого сканирования для регистрации мелкомасштабных и малокогерентных деталей был применен автором совместно с Пиотровичем [80] для измерения параметров солнечной радиогрануляции на основе анализа "паразитных" круговых поляризационных сигналов при наблюдениях спокойного Солнца на Северном секторе РАТАН-600.

1.3. Математическое обеспечение расчета диаграммы направленности БПР и РАТАН-600.

Ещё при выполнении одной из своих первых работ по обработке наблюдений локальных источников на Солнце - [30] в 1964г. автору пришлось заняться ручными расчетами ДН БПР для определения её размеров в нецентральных горизонтальных сечениях диаграммы. Это было необходимо для определения эффективных размеров источников на Солнце, большинство из которых при наблюдениях пересекали ДН БПР выше или ниже её центра, который обычно наводился на центр диска Солнца. Трудности таких ручных расчетов и привели автора к идее метода оптического моделирования антенн типа АПП. Историческая ограниченность этого метода, обусловленная, с одной стороны, широкой доступностью недавно изобретенных мощных когерентных излучателей света (лазеров), а, с другой стороны, ограниченность вычислительных возможностей имевшихся в то время компьютеров, при достаточно хорошо разработанной теории антенн СВЧ, была понятна автору изначально, что и определяло его стремление к вычислительным методам, как наиболее точным для решения профессиональных методических проблем обработки наблюдений Солнца. В защиту полученных методом оптического моделирования результатов (не только автора, но и всей мировой

практики) можно сказать, что имеется еще один трудно формализуемый фактор - способ восприятия человеческим мозгом визуальной (в нашем случае фотографической) информации - что и определяет неповторимую другими методами значимость этих результатов.

Однако желание контролировать и рассчитывать количественно теоретические параметры инструмента и развитие вычислительных средств привели к преимущественному использованию расчетных методов. С помощью первой своей компьютерной программы, которая, в силу поставленной задачи, оказалась весьма компактной и быстрой автор прежде всего проверил свои результаты оптического моделирования АПП при равномерном облучении апертуры. Оказалось, что расчетная и измеренная при оптическом моделировании ДН АПП совпадают с точностью до долей процента.

В дальнейшем эта программа была существенно развита в связи с решением описанных выше в [5-9] задач теории антенн типа АПП, развитием доступных автору вычислительных машин и, главным образом, со стремлением автора обеспечить расчет ДН АПП с максимальным учетом реального состояния антенны для последующего применения при обработке наблюдений космических источников. Последнее определило логику составления программ расчета диаграммы направленности БНР и РАТАН-600, не дублируемую параллельно развивавшимися расчетными программами, например, под руководством Есепкиной [104], или Гельфрейхом [116]. При разработке своих программ автор руководствовался общей электродинамической теорией АПП, приведенной, например, в [104, 112], вычисления фазы при выносах облучателя из фокуса делаются по формулам, полученным Стоцким [117], конструкция радиотелескопа учитывается по формулам Шиверса [120] для главного зеркала, особенности конструкции вторичного зеркала учитываются согласно [115].

В итоге автором создан комплекс программ DINA (DIAграмма Направленности), с помощью которого были определены основные теоретические параметры ДН БНР и РАТАН-600, составившие базу

для методического обеспечения обработки наблюдений Солнца на этих радиотелескопах. Отдельные или упрощенные части этого комплекса широко используются на РАТАН-600 как для обработки наблюдений, так и для моделирования различных нестандартных режимов использования этого радиотелескопа с целью поиска наиболее эффективных решений.

На рис.1, взятом из [24], для примера показаны расчетные с помощью DINA центральные горизонтальные сечения ДН РАТАН-600 в режиме южного сектора с перископом на всех волнах, на которых были выполнены наблюдения Солнца на ССПК (Солнечный Спектрально-Поляризационный Комплекс) в период с 1982г. по 1991г., и их взаимное расположение на небе. Правильность расчетов проверялась по наблюдениям опорных источников на том же комплексе ССПК. Ввиду невысокой чувствительности солнечных радиометров для наблюдений опорных источников в качестве таковых использовались в небольшом количестве только самые яркие из них (Краб, Луна, 3С-273, 3С-94, Лебедь-А), причем из-за невысокого соотношения сигнал/шум сопоставлялись только некоторые интегральные характеристики расчетной диаграммы и наблюдаемой: размеры в горизонтальном и вертикальном направлениях, вынос из фокуса первичных облучателей и соответствующая задержка во времени прохождения источника через диаграмму, величина абберационного лепестка. Привязка по потоку на коротких волнах, на которых вертикальный размер диаграммы меньше размеров Солнца, но больше размеров Краба, осуществлялась по интегральному потоку последнего. На длинных волнах потоком привязка делалась из сравнения интегралов под кривыми прохождения с интегральными потоками как Краба, так и самого Солнца по данным служб измерения абсолютных потоков Солнца. С учетом расчетных данных была разработана оригинальная методика оценки эффективной площади антенны по наблюдениям протяженных опорных источников (Краба).

В целом было установлено вполне удовлетворительное согласие расчетных ДН РАТАН-600, показанных, например, на рис.1, с наблюдениями опорных источников, а при обработке наблюдений Солнца на любых высотах предпочтение отдано использованию

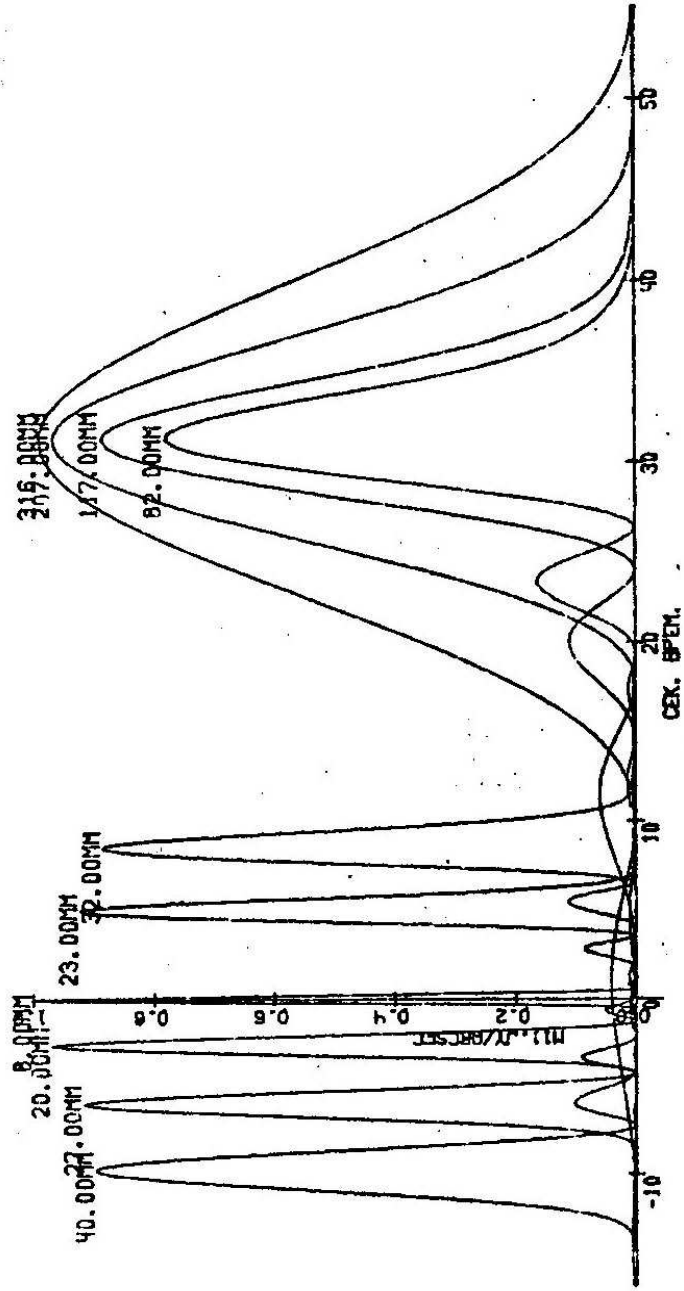


Рис. 1. Взаимное пространственное расположение диаграмм направленности радиотелескопа в горизонтальной плоскости.

Fig. 1. Mutual positions and central sections of the diagram patterns in horizontal plane.

расчетных параметров ДН РАТАН-600, таких как учет выноса из фокуса и размеры диаграммы. Гораздо более сильные аргументы в пользу правильности расчета ДН РАТАН-600 по разработанным автором программам были получены от наблюдателей, работающих с высоко чувствительными радиометрами радиотелескопа РАТАН-600 и имеющих возможности сопоставлений по много большей выборке опорных источников. Так, Соболевой и Темировой [118] при наблюдениях ярчайших точечных источников ЗС-84 и ЗС-273 было установлено соответствие расчетных и наблюдаемых кривых в области боковых лепестков с точностью до десятых долей процента. Аликберовым и др. [119] при разработке системы калибровочных источников для высокочувствительных широкополосных радиометров РАТАН-600 отмечено высокое соответствие наблюдаемых и расчетных по ДНА абберационных эффектов в широком интервале выносов из фокуса первичных облучателей. В итоге, для обработки наблюдений источников на высокочувствительных радиометрах РАТАН-600 принята, как и в случае наблюдений Солнца, логика широкого использования расчетных параметров антенны. Последнее реализовано Берходновским [121] включением программ автора расчета ДН РАТАН-600 в виде одного из стандартных модулей разработанного в [121] современного математического обеспечения обработки наблюдений источников на РАТАН-600.

Среди других использований разработок автора можно упомянуть расчеты Майсеровой небельной расфокусировки РАТАН-600 на волне 8см с целью достижения наиболее оптимального соотношения между эффективной площадью антенны и ее шумами из-за переоблучения. Расфокусировка достигается выносом первичного облучателя из фокуса вторичного зеркала. Программа, позволяющая рассчитывать соответствующие фазовые эффекты, представлена автором в [121]. Майсеровой в [122], с помощью этой программы и программы автора FREN расчета френелевской дифракции в области между вторичным и главным зеркалами РАТАН-600, было найдено оптимальное положение первичного облучателя, которое и было реализовано в экспериментах "Холод" с предельным охлаждением радиотелескопа. Расчетные абберационные искажения ДН РАТАН-600 были учтены Мингалевым и др. [123] и Пожоловым [124] при уточнении и использовании методики

наблюдений в режиме "скольжения".

1.4. Методика наблюдений Солнца и их первичной обработки.

Как можно видеть из изложенного выше, разработка автором программ расчета ДН АПП была неразрывно связана с развитием методики наблюдений Солнца на БНР и РАТАН-600. Поэтому в данном разделе нашей работы описанные уже методические вопросы больше упоминаться не будут. Большей проблемой при обработке наблюдений Солнца на СССР представляют абберационные лепестки диаграмм, уровень которых превышает 10% (см. рис.1), что приводит к неоднозначностям при анализе сложной структуры локальных источников, в составе которых может быть много деталей весьма разной интенсивности. Автором был предложен метод коррекции аббераций [14], целиком ориентированный на использовании расчетных диаграмм. Само восстановление изображений выполняется в Фурье-области по методу Брейсуэла. В результате многочастотные наблюдения, выполняемые с различными выносами из фокуса первичных облучателей, приводятся к единому фазовому центру и гауссовой безлесточковой диаграмме направленности, что существенно облегчает спектральный анализ сложных изображений. Дополнительно в Фурье-области производится исключение высокочастотных составляющих шума и исправление за постоянную времени регистрирующего устройства. Использование алгоритма БПФ для прямых и обратных преобразований существенно ускоряет вычисления. В настоящее время на РАТАН-600 успешно развиваются альтернативные методы многочастотных наблюдений Солнца с использованием облучателей с единым фазовым центром разработки Дикого и др. [125].

Представление о расщеплении в пространстве ДН АПП на правую и левую при наблюдениях круговой поляризации источников [7] реализовано автором в комплексе программ CORPOL коррекции паразитной круговой поляризации при наблюдениях Солнца на главном зеркале АПП. Эта программа использовалась для обработки первой серии наблюдений Солнца на РАТАН-600 в 1974-1975г.г., которые были выполнены на его северном секторе, для обработки ряда наблюдений на БНР [32], и включена Абрамович-Максимовым в виде

стандартного модуля математического обеспечения службы радионизлучения Солнца на БНР. Это МО вместе с некоторыми другими вопросами кратко описано Боровик и Петеровой в [126]. Последнее позволило впервые в мировой практике начать регулярную публикацию (в бюллетене "Солнечные данные") поляризационных изображений Солнца. Длительность этого ряда наблюдений сейчас около 8-ми лет.

К 1982г. автором совместно с Андриановым и Гельфрейхом [13] были разработаны основные принципы построения программ первичной обработки наблюдений Солнца на СССР РАТАН-600. Разработанный комплекс программ выполнял следующие функции: ввод и хранение данных наблюдений различных первичных форматов записи, их первичная обработка, сортировка данных по каналам, фильтрация данных и исправление антенных эффектов, формирование архива 2-го уровня, вывод информации на различные носители (магнитные ленты и диски, печать, графопостроитель). При разработке системы программ были реализованы следующие принципы: минимальное количество данных задания и почти произвольный порядок их следования, возможность наращивания, изменения состава обрабатываемых программ без перестройки структуры системы, распознавание "нестандартных" ситуаций в процессе обработки и принятие решений на программном уровне, исключение аварийного завершения задания, минимальная зависимость комплекса от вида операционной системы. Реально комплекс использовался с операционными системами ОС ЕС, DOS ЕС, DOS ACBT. Система программ состояла из мониторинг программы MONITOR-650 и шести разделов. Монитор обеспечивал ввод и анализ задания с последующим вызовом требуемого раздела. Автор частично участвовал в создании раздела СНК (чтение первичной ленты, обработка и исправление ошибок записи, поиск и обработка калибровок, компилирование и включение на МЛ журнала наблюдений, формирование архива-2) и полностью в создании разделов: SBR (исправление абберационных и поляризационных искажений записи с расчетом диаграмм направленности) и СГЛ (хранение и передача для работы в других разделах каталожных данных с параметрами антенны, комплекта радиометров, опорных источников и др.). Остальная часть работы по разделу СНК и по разделам комплекса REM, ARX, GRF, как и внедрение его в

эксплуатацию, принадлежат Андрианову, что подробно описано в его диссертации [127]. С помощью этого комплекса обработаны и переведены в формат хранения данных "архив-2" практически все цифровые наблюдения Солнца на ССПК РАТАН-600 за период с 1979г. по 1991г. (более двух тысяч наблюдений). Эта работа выполнена в основном Плотниковым, в результате созданным базовый архив наблюдений Солнца на РАТАН-600 [130]. В процессе выполнения этой работы Плотников по рекомендациям автора создал комплекс программ графического обеспечения этого архива, в том числе специальные режимы графического вывода этих данных, учитывающие требования типографии, для последующей публикации их в Мировом Центре Данных Б (Москва) в виде каталогов наблюдений Солнца на РАТАН-600 [21-24] (см. ниже).

Для обеспечения возможности быстрого изменения программы наблюдений Солнца в связи с его переменностью и для обмена данными с другими обсерваториями в периоды согласованных кооперативных наблюдений Солнца возникла необходимость в обеспечении оперативной обработки наблюдений на ССПК РАТАН-600 [15]. Это было реализовано на мини-ЭВМ "Электроника-100/И", с помощью которой осуществлялось непосредственное управление аппаратурой комплекса ССПК во время наблюдений. Для этого состав аппаратуры был дополнен графическим дисплеем "Альфа" и графопостроителем "Н-710". В соответствии с предложениями автора Петровым были внесены необходимые изменения в программы регистрации наблюдений, а сам комплекс оперативной обработки был развит Шатиловым, что представлено в их диссертациях [128,129].

С использованием языка Ассемблера Шатилову [29,131] на весьма ограниченной по возможностям мини-ЭВМ удалось реализовать при оперативной обработке наблюдений Солнца многие из упомянутых выше и других методических разработок автора. Из последних можно отметить: калибровку записей по антенной температуре центра диска спокойного Солнца на основе ранее полученной автором соответствующей базы данных, вписывание и выделение уровня спокойного Солнца на основе нормализованных наблюдений кривых спокойного Солнца с необходимыми изменением масштабов по обеим

координатам (соответствующая база данных была обеспечена Боровик [132]), определение абсолютного прямого восхождения центра диска Солнца по производным кривых прохождения его краёв через диаграмму РАТАН-600 на самых коротких волнах и др. В работе [15] Афанасьевой и Ипатовой совместно с автором показана возможность определения координат Солнца на РАТАН-600 методом производных на волне 8мм с точностью не хуже, чем при оптических астрометрических измерениях, но с более полным и однородным рядом измерений.

Разработанный комплекс оперативной обработки наблюдений Солнца на ССПК РАТАН-600 эксплуатировался с 1982г. по 1991г., что позволило провести большой ряд исследований Солнца и получить новые астрофизические результаты по широкому кругу источников солнечного радиоизлучения.

Большой опыт наблюдений Солнца автор получил, работая также на малых радиотелескопах. Так, совместно с Гельфрейхом [11] автор участвовал в создании методики наблюдений по программе служб радиоизлучения Солнца на Грозненской Радиоастрономической Станции на радиотелескопе РТ-5, в результате чего была обеспечена многолетняя стабильность измерений при высокой (1%) относительной точности и хорошей (3%) абсолютной точности. Наблюдения по этой методике на ГРС проводятся с 1969г. по настоящее время. В последнее время качество наблюдений несколько ухудшилось, что вызвано ухудшением финансовых условий как в САО РАН, так и на ГРС (Куба).

Специальная методика была разработана автором для наблюдений Солнца на Радиointерферометре с Малой Базой (РИМБ), который сейчас находится в Мехико. В результате на нем был выполнен цикл работ [83-86] с участием автора по исследованию флуктуаций солнечного радиоизлучения и некоторые другие.

Автор участвовал (а позднее и организовывал) в наблюдениях ряда солнечных затмений как на упомянутых выше радиотелескопах РТ-3 [68,69] и РИМБ [66,67], так и на ряде других. При этом для

получения наилучших результатов им были предложены оригинальные методики как собственно проведения наблюдений, так и их последующей обработки, последнее является развитием методики обработки, предложенной ранее Гельфрейхом [133]. В работе [17] сообщается о наиболее совершенных компьютерных вариантах расчета обстоятельств солнечных затмений и обработки их наблюдений. В результате методом солнечных затмений автором получены наилучшие по пространственному разрешению (до 3") данные о структуре радиоизлучения, активных областей на Солнце, что будет подробно описано ниже.

1.5. Каталог наблюдений Солнца на РАТАН-600.

Одним из важных результатов работы астронома-наблюдателя является создание каталогов выполненных им наблюдений. Большие усилия автора были направлены на организацию издания каталогов - результатов наблюдений Солнца на РАТАН-600. В результате через Мировой Центр Данных Б в Москве удалось выпустить в свет 4 тома [21-24] этого каталога, еще 6 томов подготовлены к изданию, и только финансовые трудности задерживают их выход в свет. Разумеется, представленные в каталоге результаты наблюдений Солнца являются плодом работы большого коллектива, что лишь частично отражено в списке авторов этого каталога [21-24].

1.6. Программа развития наблюдений Солнца на РАТАН-600.

Солнечный Спектрально-Поляризационный Комплекс РАТАН-600 был создан под руководством и при непосредственном участии Богода [134] и эксплуатировался с 1974г. по 1991г. Накопленный на нем опыт работы позволил в 1988г. Богоду, Гельфрейху, автору и Пустильнику [25] предложить проект модернизации солнечных наблюдений на РАТАН-600 для повышения эффективности наблюдений и обеспечения конкурентно способности радиотелескопа, в частности, в связи с подготовкой в ряде обсерваторий мира к наблюдениям максимума 22-го цикла солнечной активности. Этот проект включал в себя три подпроекта: создание радиогелиографа на основе радиодетектора типа U1 для двумерного картографирования Солнца с

разрешением до 10 с дуги; создание Панорамного Анализатора Спектра с полным перекрытием рабочего диапазона радиотелескопа от 1см до 30см с возможностью детального анализа (с шагом по частоте 1МГц) отдельных его участков для исследования спектров активных областей; модернизация существующего многочастотного ССПК для слежения за Солнцем в режиме многих азимутов в антенной системе Чувственного Сектора с Плоским перископическим отражателем для исследований структуры и динамики активных областей.

Эта программа модернизации под названием "РАТАН-600 в 22-ом цикле солнечной активности" получила в 1989г. финансовую поддержку от Президиума АН, и под руководством Богода и Гельфрейха работы были начаты по всем трем направлениям. Однако из-за общих экономических трудностей в стране в 1991г. финансирование было прекращено, вследствие чего работы по полной программе были остановлены. Удалось реализовать лишь часть проекта по перекрытию частотного диапазона от 1 до 18 ГГц на многих частотах и с быстродействием 1-3мкс/канал.

Наблюдения на новом Панорамном Анализаторе Спектра начались на РАТАН-600 в декабре 1991г. и с тех пор проводятся регулярно. За этот период были выполнены наблюдения в рамках ряда международных программ изучения 22-го цикла солнечной активности (MAX-91, STEP, FLARES-22 и др.) и накоплен большой наблюдательный материал. Первые результаты докладывались на международных совещаниях и опубликованы в ведущих журналах мира. Итоги этой работы описаны в диссертации Богода [134].

2. Гало и peculiarные источники как объекты активных областей на Солнце с тепловыми процессами

Данный раздел основан на работах автора [18-76] по изучению структуры микроволнового излучения активных областей на Солнце и интерпретации данных наблюдений. Из большого количества исследованных автором областей отобрано несколько, по нашему мнению, характерных случаев, которые будут описаны в первом подразделе. В следующих подразделах будут описаны обобщенные наблюдательные характеристики различных типов структуры активных областей и дана их интерпретация.

2.1. Примеры типичной структуры микроволнового излучения активных областей

На рис. 2, взятом из [19], приведены одномерные изображения активной области, связанной с группой пятен № 193, по наблюдениям на коротких сантиметровых волнах на РРТЕН-600 с разрешением от 18" до 36" 2-го мая 1979г., когда эта группа пятен находилась вблизи центра солнечного диска. Эта биполярная группа состояла из двух хорошо развитых головного и хвостового пятен примерно одинаковой площади и нескольких пор между ними. Площадь всей группы была 880 м.д.п., а площадь каждого из пятен превышала 400 м.д.п. Как видно на записях интенсивности, источник состоит из нескольких компонент: протяженной компоненты (гало), совпадающей по размерам и положению с активной областью в целом, и двух компактных деталей, совпадающих с соответствующими пятнами.

Максимум одномерной яркости гало по положению совпадает с линией раздела полярностей магнитного поля на фотосфере, вблизи которой расположено несколько пор. В распределении радиояркости гало имеются некоторые нерегулярности (<10%), хорошо повторяющиеся на всех пяти волнах. При приведении к одному масштабу по потоку кривые яркости гало на волнах от 2.0 до 3.2 см практически совпадают, что говорит о плоском спектре гало в этом диапазоне (тепловое тормозное излучение оптически тонкого источника), но на волне 4.0 см одномерная яркость гало примерно на 30% выше, что

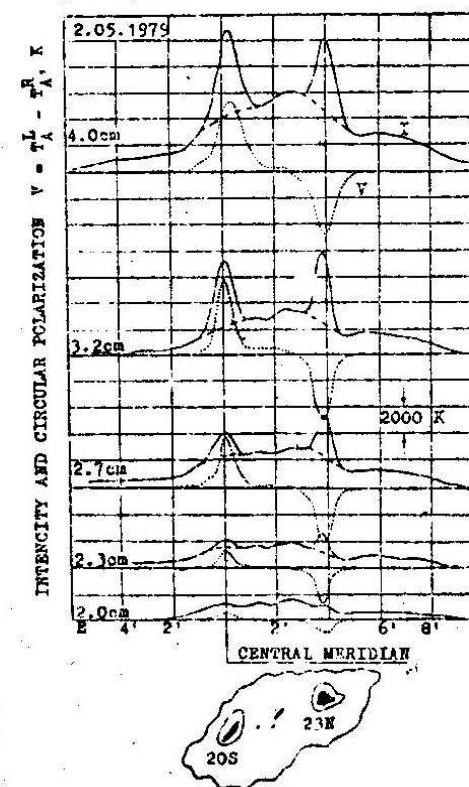


Рис. 2.
Группа пятен № 193 по наблюдениям на РРТЕН-600 2 мая 1979г.

Работа [18] посвящена описанию одного из методов измерений магнитного поля над пятнами в солнечной короне, в разработке которого принял участие и автор. Этот метод основывается на описанном выше эмпирическом факте резкого роста с длиной волны потока интенсивности излучения пятенных источников или потока поляризованной по кругу составляющей их излучения. Экстраполяция наблюдаемых спектров в сторону коротких волн позволяет определить некоторое критическое значение волны, на которой величина излучения становится нулевой и затем, в соответствии с интерпретацией, сопоставить этой волне магнитное поле 3-ей гармоники гирочастоты. Найденное таким образом магнитное поле уникальным образом характеризует соответствующий пятенный радиоисточник. Оказалось, что в среднем радиозначения магнитного поля всего на 20% ниже измеренных на уровне фотосферы. Для случая, приведенного на рис.2, радиоизмерения дают значения 1930 Гс и 1700 Гс, а оптические - соответственно, 2300 Гс и 2000 Гс. Точность измерения данным методом напряженности магнитного поля в солнечной короне над пятнами, определяемая спектральным разрешением наблюдений, в настоящее время с использованием Панорамного Анализатора Спектра на РАТАН-600 составляет около 3% [20].

Рис.2 иллюстрирует еще один наблюдательный факт - соотношение вкладов в полное микроволновое излучение активных областей гало и пятенных источников. В данном случае на волне 2.0 см вклад пятенных источников составляет менее 1%, а на волне 4.0 см этот вклад около 30%. В случае мощных активных областей на волнах 2-4 см поток пятенных источников может составлять 50% и более от полного потока области, что будет проиллюстрировано ниже.

На рис.3, взятых также из [19], показаны одномерные изображения активной области, связанной с группой пятен No 70, по наблюдениям на коротких сантиметровых волнах на РАТАН-600 27-го июля 1972г., когда эта группа пятен находилась на восточном лимбе Солнца в момент ее восхода (её широта и долгота, считаемая от центрального меридиана, в момент наблюдений на РАТАН-600 были равны N16 E90). Эта группа фактически состояла из одного пятна N-полярности площадью 140 м.д.п., как это было

измерено на следующий день по оптическим наблюдениям. Такое расположение активной области позволяет рассмотреть её высотную структуру.

Как видно из регистрации интенсивности, на волне 4.0 см область радиоизлучения имела сложную структуру, простиравшуюся до высоты более, чем 100 тыс. км. Напротив, поляризационные записи на волнах 4.0 и 3.2 см показывают узкий источник, по положению совпадающий с точностью до 2" с солнечным лимбом, и, следовательно, с указанной точностью имеющий нулевую высоту над пятном. Малое значение поляризованного потока и невозможность выделить соответствующую деталь на записях интенсивности говорят о высокой, близкой к 100%, степени поляризации этой детали. Отсутствие поляризованного сигнала этой детали на волнах 2.7 см и более коротких может быть связано с расположением уровней 3-ей гармоники гирочастоты на этих волнах в холодной хромосфере или с поглощением сигнала в окружающих слоях солнечной атмосферы.

Из сравнения величин магнитного поля на уровне фотосферы (1700 Гс) и в области генерации радиоизлучения на 3-ей гармонике гирочастоты на волне 3.2 см (1200 Гс) и наблюдаемой нулевой разности высот этих уровней с учетом ошибок измерений можно оценить высотный градиент магнитного поля над пятном не ниже, чем 0.3 Гс/км.

На рис.4 [36,44] показан еще один пример наблюдения активной области на РАТАН-600 на западном лимбе Солнца 19 ноября 1980г. через несколько часов после захода пятен за лимб. Соответствующая группа пятен No 548 была хорошо развита, а в её радиоизображениях по наблюдениям в предыдущие дни в диапазоне 2-4 см хорошо выделялось несколько ярких пятенных источников и протяженное гало с характеристиками, близкими к показанным на рис.2 типичным характеристикам. Особенностью регистраций, полученных 19 ноября, является отсутствие "засветки" яркими пятенными источниками, что ещё раз говорит о чрезвычайно малой высоте областей генерации их излучения (<2000 км), кроме того, одновременно с наблюдениями на РАТАН-600 на Горной Астрономической Станции ГИО РАН были получены

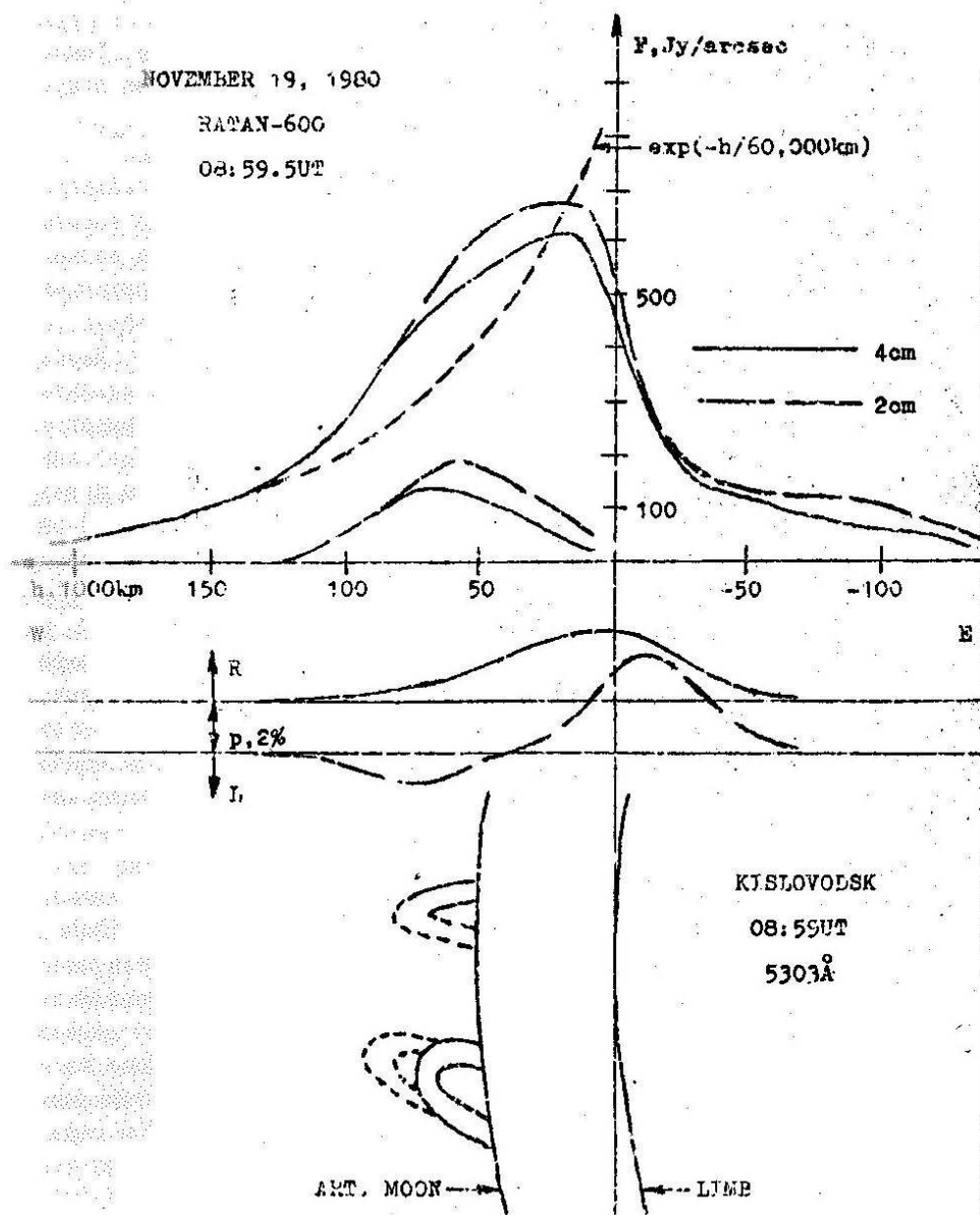


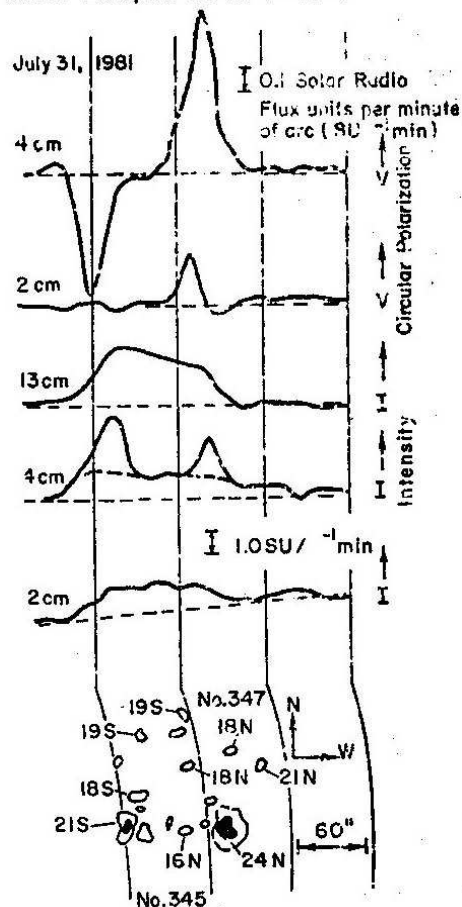
Рис. 4.

Группа пятен No 548 по наблюдениям на RATAN-600 19 ноября 1980г.

слишком солнечной короны в зеленой корональной линии, показывавшие расположенные за лимбом над активной областью корональные петли, простиравшиеся до высоты около 100 тыс. км. Как видно из рис. 4, поток радиационного излучения с удалением от лимба экспоненциально спадает до высот более 200 тыс. км, что говорит, что корональная плазма над активной областью находится в гидростатическом равновесии, при этом шкала высот соответствует температуре около 1.5 млн. К. С корональными петлями связан дополнительный источник радиационного излучения, поток которого составляет менее 10% от экспоненциального фона. Этот источник имеет оптическую толщину около единицы (поток на волне 4 см заметно меньше, чем на волне 2 см), что можно объяснить только низкой (менее 100 тыс. К) температурой области генерации его излучения и что резко контрастирует с температурой плазмы петель, дающих оптическое излучение (более 2 млн. К).

На рис. 5 [75] показаны одномоментные радиоизображения активной области, связанной с группами пятен No 345 и No 347, по наблюдениям солнечного затмения 31 июля 1981г. на волнах 2, 4 и 13 см вместе с фотографическими изображениями. Радиоизображения получены с разрешением около 10" на всех волнах. Структура источников радиационного излучения на волнах 2 и 4 см, как видно, аналогична типичной, показанной на рис. 2. Здесь легко выделяется гало, одинаковое по параметрам на обеих коротких волнах, и два компактных и сильно поляризованных источника, соответствующие двум хорошо развитым пятнам. Некоторые различия пятенных источников отражают различия соответствующих пятен. На волне 13 см наблюдается только бесструктурное гало, по форме подобное коротковолновым изображениям, но в 3 раза более мощное по потоку. Средняя яркостная температура этой области около 3 млн. К на волне 13 см. Рис. 5 иллюстрирует два важных наблюдательных факта, которые необходимо учитывать при выборе механизмов излучения гало на дециметровых волнах: существенный избыток излучения гало на волне 13 см по сравнению с более короткими волнами и его высокая непрозрачность на этой волне, приводящая к полной экранировке излучения от диспергированных пятенных источников.

Solar Eclipse Observations



Sunspot Groups Number 345 and 347
Total sunspot area is 230 millionths of the solar hemisphere.
A. N. Kozhavin

Рис. 5.

Группы пятен No 345 и No 347 по наблюдениям солнечного затмения 31 июля 1981г.

Наиболее развитые активные области имеют и наиболее сложную структуру микроволнового излучения. На рис.6 показаны результаты затменных наблюдений активной области, связанной с группой пятен No 105 (7 марта 1970г.) на волнах 3.1, 4.5 и 10.0 см [56,69-71]. На коротких волнах хорошо выделяются несколько поляризованных компактных источников (a, b, c, d, e) в области теней пятен группы, четыре из которых являются обычными пятенными источниками, совпадая по положению и размерам с соответствующими тенями пятен. Наиболее яркий источник d, однако, просецируется на область челути наибольшего пятна, где наблюдается закрепление магнитного поля S-полярности, противоположной основному полю N-полярности. Это первый обнаруженный автором пример особого типа источников, впоследствии названных "пеккулярными". Они наблюдаются в развитых группах пятен в периоды мощной (протонной) всплывочной активности и обычно ассоциируются с нейтральными линиями магнитного поля в области наиболее тесного контакта противоположных полярностей магнитного поля. Все эти особенности имела и показанная на рис.6 группа пятен No 105. На волне 10.0 см распределение радиояркости, как видно из рис.6, резко отличается от такового на более коротких волнах. Здесь наблюдается только мощное бесструктурное гало с размером, близким к размеру всей активной области. Отсутствие компактных пятенных источников и пеккулярного источника на этой волне можно связать с сильной непрозрачностью материи гало, приведшей к полной экранировке этих низкорасположенных деталей коротковолновой структуры активной области. Напротив, на коротких волнах материя гало прозрачна, а само оно надежно регистрируется, хотя и имеет меньшую яркость.

При наблюдениях солнечного затмения 7 марта 1970г. на волне 4.5см автору совместно с Петеровой и др. [69] удалось реализовать весьма высокую разрешающую способность около 4"-5", что позволило впервые обнаружить некоторые тонкие особенности распределений радиояркости пятенных источников. Так, было показано, что эти распределения имеют кольцеобразную форму, причем степень поляризации на краях достигает 100%. По положению области радиоклучения совпадают с тенями пятен с точностью 1"-2", что приводит к оценке высоты области генерации радиоклучения менее

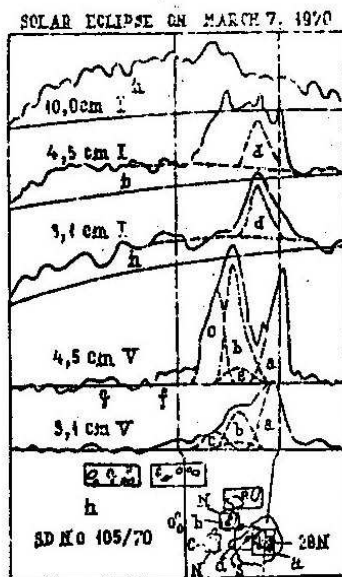


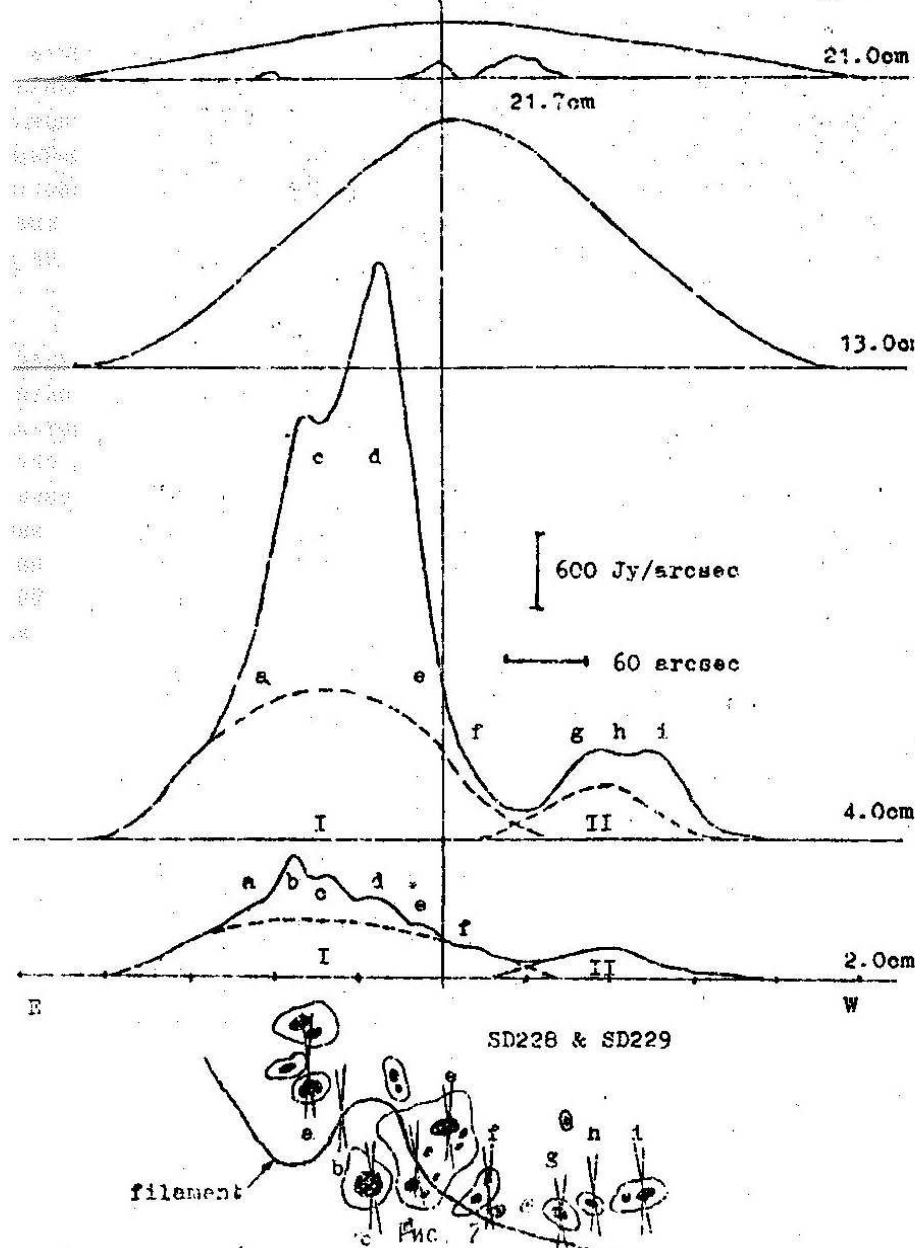
Рис. 6.

Группа пятен No 105 по наблюдениям солнечного затмения
7 марта 1970г.

1000 км над тенями пятен. Эти особенности легко можно объяснить в рамках теории генерации излучения на низких гармониках гирзастоты, что было сделано автором совместно с Гельфрейхом в работах [70,71], а в работе [135] Гельфрейх и Лубинев выполнили соответствующие модельные расчеты, показавшие кольцеобразность или подковообразность формы пятенных источников. Позднее аналогичные результаты были получены, например, Лангом и Вильсоном по наблюдениям Солнца на VLA [136].

На рис.7 приведен еще один пример наблюдений мощного комплекса активности, изучавшегося в июле 1982г. (группа пятен No 228 + No 229) на РАТАН-600 и VLA [48,49,51,53]. На коротких сантиметровых волнах (2-4 см) на фоне двух протяженных гало (I и II) наблюдаются девять компактных источников, обозначенных буквами от а до i. Отношения этих источников с оптическими образованиями показаны вытянутыми крестиками на основе наблюдений с разными позиционными углами диаграммы направленности РАТАН-600. Видно, что семь из этих источников совпадает с пятнами, а два из них (b и d) - с разными участками волокна, пересекавшего активную область. Источник b имел плоский спектр и наблюдался только 15-го июля 1982г., т.е. его время жизни было менее суток (но не менее 2-х часов наблюдений на РАТАН-600 в этот день). Наиболее мощный на волне 4.0 см источник d имел время жизни около 7-ми дней, а его период существования совпал с периодом мощной протонной всплешечной активности обсуждаемого комплекса пятен. Этот рекуррентный источник по положению совпадает с областью дельта-конфигурации магнитного поля пятна, его яркостная температура достигала 10^7 К на волне 4.0 см, а на волнах 2.0-2.3 см его спектр потоков имел наклон $n=10$.

На волнах 13 и 21 см по наблюдениям на РАТАН-600 комплекс активности представляет собой широкое, протяженностью около $8''$, бесструктурное образование, перекрывающее всю активную область, с максимумом одномерной яркости, попадающий на область хитума между гало I и гало II изображений на коротких сантиметровых волнах. Можно было бы думать, что компактные детали на 13 и 21 см не регистрируются из-за значительного падения разрешающей



Группы пятен № 228 + № 229 по наблюдениям 15 июля 1982г.
на RATAN-600 и VLA

способности RATAN-600 на этих волнах - размер диаграммы RATAN-600 на волне 21 см в наших наблюдениях был около 3". Однако одновременные наблюдения на VLA с разрешением 3"x4" выявляют на близкой волне 21.7 см несколько компактных деталей, ни одна из которых не совпадает с наблюдаемыми на коротких сантиметровых волнах, с другой стороны, суммарный поток этих деталей составляет всего несколько процентов от потока, измеренного на RATAN-600 на волне 21 см. Таким образом гало мощной активной области имеет максимум потока в диапазоне волн 10-15 см и весьма непрозрачно на этих волнах для излучения расположенных ниже пятенных и пеккулярных источников. Небольшие вкрапления в структуру дециметрового гало источников малых угловых размеров не связаны с этими низкорасположенными особенностями коротковолновой структуры активных областей.

В качестве последнего примера на рис.8 показаны результаты наблюдений на RATAN-600 11 сентября 1985г. весьма слабой активной области (флоккулярное поле площадью 1100 кв.д.п.) согласно работе [58]. В этой области не было ни пятен, ни пор; соответственно, во всем диапазоне от 2.0 см до 30.6 см на RATAN-600 было зарегистрировано только небольшое повышение радиояркости с максимальным потоком около 1 с.е.п. на волне 20.7 см. Важно, что это значение потока уверенно превышает ошибки измерений и примерно в 2 раза превышает наблюдаемые значения потока на более коротких волнах (2-8 см). В работе [38] были исследованы несколько таких флоккулярных повышений радиояркости (гало), и особенностей спектров всех этих областей явилось наличие максимума потока на волнах 20-30 см, что требует для объяснения, как и в случае мощных активных областей, привлечения дополнительных к тепловому механизму генерации радиоизлучения. Наблюдательными отличиями этих областей являются смещение максимума потока в сторону более длинных дециметровых волн и небольшая его величина. Яркостьная температура срежения гало слабых активных областей на этих волнах, однако, достигает значений 2-3 млн К.

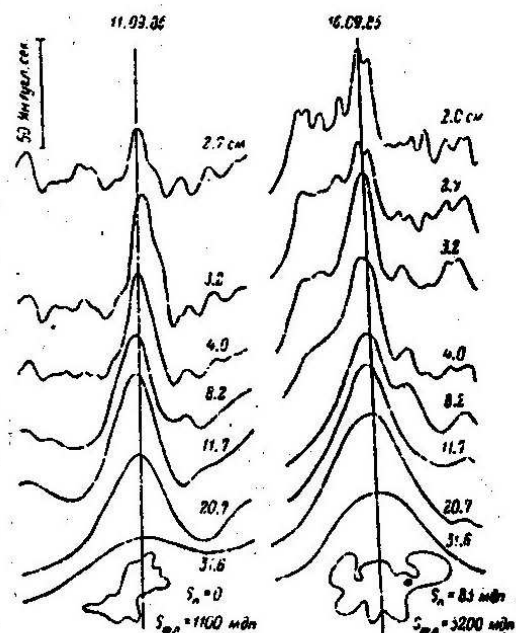


Рис. 8.

Флюктуальное поле по наблюдениям на РАТАН-600 11 сентября 1985г.

2.2. Основные наблюдательные характеристики пятенных источников

Приведенные выше примеры анализа микроволновой структуры излучения активных областей вместе с более полным их изложением в работах автора [18-76] позволяют нам сформулировать основные наблюдательные характеристики различных структурных составляющих этих областей. В данном подразделе описываются типичные характеристики ядер, т.е. источников, отождествляемых с солнечными пятнами, и приводится интерпретация наблюдений.

Ядра (пятенные источники) проявляются как узкие, яркие ($T_b > 10^6$ K), высокой степени круговой поляризации ($p=50-100\%$), детали структуры активных областей, отвечающие каждому достаточно крупному солнечному пятну ($S > 50$ м.д.п.). Знак поляризации обычно соответствует преобладанию генерации необыкновенной волны в магнитных полях этих пятен. Размеры радиоядер АО в диапазоне 2-6 см равны или меньше размеров теней тех же пятен. Из координатных сопоставлений следует, что высоты генерации излучения ядер над пятнами малы и обычно не превышают $h=1000$ км. Пятна малой площади и поры, по-видимому, не сопровождаются отдельными яркими источниками радиоизлучения. Наблюдаемые характеристики радиоядер АО однозначно свидетельствуют о преобладающей роли здесь магнитно-тормозного теплового механизма генерации излучения на второй - четвертой гармониках гирочастоты электронов. Так, наблюдения согласуются с представлением о том, что над пятнами на малых высотах формируется весьма узкая (толщиной менее 1000 км) область перехода от хромосферных значений температуры (10^4 K) к корональным ($T > 10^6$ K). Яркий источник магнитно-тормозного радиоизлучения на данной волне над пятном возникает, как только области с необходимыми значениями магнитного поля ($H=1000-2000$ Гс) оказываются в пределах или выше этой переходной области. Малая высота и толщина этой области приводят к тому, что весьма резкий рост потока с длиной волны в спектре радиоядер занимает диапазон длин волн шириной менее октавы, в этом же диапазоне наблюдается и наиболее высокая (до 100%) степень круговой поляризации радиоизлучения ядер АО. Максимальный поток радиоизлучения

достигается на волнах 4-5 см, на более длинных волнах поток и степень поляризации резко уменьшаются, что связано с расположением соответствующих гирорезонансных уровней в более или менее изотермичной корональной области.

Модельные расчеты показывают, что яркие пятенные источники с богатой тонкой структурой должны наблюдаться и на волнах 10-20 см, что расходится с данными наблюдений. Это расхождение можно объяснить при учете того факта, что генерируемое над пятнами радиоизлучение распространяется к наблюдателю через вещество, заключенное в корональных магнитных полях активных областей и обладающее высокой непрозрачностью на волнах 10 - 20 см. Эта особенность подробнее будет обсуждаться ниже. На коротких сантиметровых волнах вещество магнитосферы прозрачно для проходящего радиоизлучения, но обладает высокой магнитной активностью, приводящей к известным наблюдательным фактам инверсии знака круговой поляризации в области квазипоперечного к направлению магнитного поля распространения радиоволн.

Наблюдения с наиболее высоким пространственным разрешением, выполненные нами затменным методом, а также наблюдения на WSRT и ULA, в диапазоне волн 2 - 6 см показывают богатую тонкую структуру двумерных распределений радиояркости пятенных источников, подтверждаемую модельными расчетами гирорезонансного механизма радиоизлучения. Основными особенностями этих распределений являются кольцообразность или подковообразность их формы и наиболее высокие значения степени поляризации на краях источников. Эти особенности связаны с тем, что находящаяся в горячей короне часть 3-го гирорезонансного уровня геометрически более протяженна, чем соответствующая часть 2-го гирорезонансного уровня. Спектральные наблюдения на коротких сантиметровых волнах позволили определять для пятен радиозначения их магнитного поля, оказавшиеся в среднем всего на 20% ниже измеряемых оптическими методами.

2.3. Основные наблюдательные характеристики пекулярных источников

В структуре ряда вспыхивающе-активных областей на коротких сантиметровых волнах в диапазоне 2-4 см нам удалось выделить компактные пекулярные радиоисточники, излучение которых доминирует над излучением остальных деталей этих областей. "Пекулярность" этих источников состоит в том, что их трудно интерпретировать как обычные ранее выделенные компоненты радиоизлучения активных областей. По своему положению пекулярные радиоисточники проецируются на линию раздела полярностей фотосферного магнитного поля в районе наиболее тесного расположения теней пятен с различными знаками магнитного поля. Эти тени, расположенные обычно в одной общей полутени, представляют собой основания вновь всплывшей эрки магнитного поля.

Активные области, с которыми связаны эти источники, отличаются мощной (протонной) вспыхивающей активностью и дельта-конфигурацией магнитного поля пятен. Характерные размеры пекулярных источников 10" - 30", что соответствует линейному размеру порядка 10^4 км. Наиболее вероятно, что области генерации радиоизлучения пекулярных источников связаны с вершинами компактных корональных арок в районе взаимодействия старого и нового магнитных потоков. Это подтверждается затменными наблюдениями 31 июля 1981 г., когда изучалась заливовая корональная конденсация над вспыхивающе-активной областью [73]. В этой работе отмечено, что пекулярный радиоисточник ложится точно в основание петлевой структуры и совпадает с наиболее яркой и компактной петлей, вершина которой расположена на высоте 12000 км. Характерные времена жизни пекулярных радиоисточников составляют несколько дней, причем они обычно возникают за 1-3 дня до мощных вспышек и после них не разрушаются.

Особенностью рассматриваемых источников является довольно высокие значения их яркостных температур, достигающие 10^7 К на волне 4 см. Следует учесть, что эти низко расположенные источники наблюдаются сквозь материю магнитосферы активной области, которая может обладать высокой непрозрачностью, поэтому

реальная яркостная температура излучения пекулярных источников может быть много выше, возможно, порядка 10^8 К. Максимальные значения спектра потоков этих источников достигаются на волнах 3 - 4 см, а спектральный индекс на более коротких волнах может достигать значения 10 и более. Степень круговой поляризации излучения 10 - 30%, что ниже типичных значений для пятнистых источников.

Перечисленная выше совокупность наблюдательных характеристик пекулярных источников является уникальной, что позволяет нам относительно этих источников выдвинуть концепцию нового типа астрофизических объектов на Солнце.

Высокая яркостная температура говорит о том, что пекулярные источники являются областями длительного выделения энергии, приходящей, возможно, из подфотосферных слоев. Связь с усложненными магнитными структурами дает свидетельства того, что это выделение энергии связано с процессами пересоединения магнитных силовых линий, приводящих к нагреву плазмы и ускорению частиц. Важной особенностью этих процессов является их относительная стабильность и длительность в течение нескольких дней. В этом смысле эти процессы отличаются от солнечных вспышек, имея с ними ряд других похожих особенностей.

Для объяснения необычных параметров в пекулярных источниках можно предположить, что они представляют собой магнито-термозное (гиротропное) излучение из области анодального энерговыделения, содержащей субрелятивистскую плазму с температурой $T = 10^7 - 10^8$ К и концентрацией электронов порядка 10^{10} куб.см в умеренных магнитных полях. Такие условия ожидаются в моделях высокотемпературных токовых слоев, разрабатываемых Сивовым [137]. Расчеты по формулам, приведенным в работе Далика и Марко [138] для гиротропного механизма генерации излучения гармониками вращающимися электронами, дают значения магнитного поля 200-400 Гс, что хорошо согласуется с ожидаемыми значениями для упомянутых моделей токовых слоев. Этот вариант интерпретации представляется нам сейчас наиболее вероятным по сравнению с

другими, проанализированными автором совместно с Катрушиным и Гельфрейком в работах [56, 57].

В любом случае, однако, можно заключить, что рассматриваемые пекулярные источники диагностируют расположенные в короне на высотах порядка 10 тыс. км области весьма высокого энерговыделения, существующие сравнительно устойчиво в течение нескольких дней и которые можно связать с процессом пересоединения магнитных силовых линий в токовом слое. Его неустойчивости и разрывы представляют собой вспышки различной мощности, причем мощные вспышки обычно не приводят к разрушению предполагаемого токового слоя, а его постепенное исчезновение в дальнейшем не сопровождается значительными вспышками. Раннее выявление пекулярного источника в структуре радиоизлучения активной области может использоваться в качестве прогностического критерия при разработках физически обоснованных методов прогнозирования мощных вспышек на Солнце.

Наблюдения в диапазоне 6 см на радиотелескопах эпертурного синтеза WSRT и ULA выявляют в структуре активных областей ряд компактных источников, часть из которых хорошо отождествляется с пятнами, а другая часть наиболее ярких из них с нейтральными линиями магнитного поля на уровне фотосферы (Алиссандраис и Кунду [139], Вебб и др. [140], Ланг и др. [141]), подобно описанным выше пекулярным источникам. В совместной работе [61] нами проанализированы наблюдения активной области с умеренной вспышечной активностью, выполненные в мае 1980г. на RATAN-300 на волнах 2-4 см и на WSRT на волне 6 см. Оказалось, что спектры источников, связанных с нейтральными линиями магнитного поля, весьма подобны спектрам пекулярных источников, но со сдвигом максимума потока к волне 6 см. Наблюдаемые характеристики этих источников удалось удовлетворительно объяснить гиротропным излучением субрелятивистских электронов со степенным распределением по энергиям в магнитных полях напряженностью 150 - 200 Гс.

В целом, как отмечено в [61], обнаруженные нами пекулярные источники в диапазоне волн 2-4 см и наблюдаемые на волне 6 см источники, связанные с нейтральными линиями, имеют, вероятно, по своей природе лишь количественное различие (уровень вспыхивающей активности, величина магнитного поля в токовом слое, как возможном месте генерации радиоизлучения этих источников, и др.). Можно предположить, что в структуре активных областей с ещё более слабой вспыхивающей активностью и даже при её отсутствии могут существовать аналогичные области генерации радиоизлучения, но со сдвигом в более длинноволновый диапазон излучений. Можно также предположить, что эти компактные области пересоединения магнитных силовых линий в солнечной короне являются именно теми местами, где повышенное энерговыделение приводит к длительной генерации нетепловых частиц, постоянно заполняющих магнитосферу активной области, проявляющуюся в наблюдениях, как гало, описанию типичных характеристик которого и их интерпретации посвящен следующий подраздел нашей работы. Обнаружение таких источников на волнах 10-20 см является важной наблюдательной проблемой, которая, вероятно, осложнена экранировкой излучения этих источников непрозрачной материей гало.

2.4. Основные наблюдательные характеристики гало

Приведенные в разделе 2.1 примеры наблюдений активных областей показывают, что гало является фундаментальным элементом структуры радиоизлучений различных АО от самых слабых до самых мощных. По размерам и положению гало примерно совпадает с размерами и положением соответствующих групп пятен, протяженность по высоте может достигать более 200 тыс. км. Такие геометрические характеристики позволяют связать область генерации радиоизлучения гало с областью общего повышения температуры и плотности в короне над АО, т.е. с корональной конденсацией или магнитосферой АО.

Характерной особенностью спектра радиоизлучения гало является наличие максимума потока на волнах дециметрового диапазона (10 - 30 см), что наблюдается даже у активных областей, не содержащих пятен и пор, - флюктуальных площадок. В целом в спектре

потока гало можно выделить три основных участка: примерно плоский участок или спадающий, подобно спектру потоков спокойного Солнца, в коротковолновом сантиметровом диапазоне (2-5 см); участок роста потока от точки перегиба в спектре (3-8 см) до точки максимума потока (10-30 см); ширина этого участка может составлять 2-3 октавы, спектральная плотность потока возрастает от 2-х до 10-ти раз, характерные значения спектрального индекса заключены в пределах 0.5 - 2; и, наконец, участок завала в спектре на более длинных волнах. Здесь встречаются значения спектрального индекса в пределах от -1 до -3, в последнем случае имеет место также и завал в спектре яркостных температур [90, 91]. Величина максимума потоков и значение длины волны максимума варьируют для различных АО с тенденцией уменьшения максимума и смещения его в сторону более длинных волн для более слабых АО.

В дециметровом диапазоне радиоизлучения гало доминирует над радиоизлучением других элементов структуры АО. То же самое имеет место в сантиметровом диапазоне для слаборазвитых активных областей. В случае высокоразвитых АО в сантиметровом диапазоне становится значительным вклад в полный поток пятенных и пекулярных источников, имеющих спектры с максимумом потока на волнах 3 - 5 см. Вследствие этого интегральный спектр АО в диапазоне 3 - 10 см уплощается. Этот факт хорошо известен и используется, в частности, для прогнозирования мощных солнечных вспышек (Танака и Эноме [142]).

Степень круговой поляризации излучения гало на сантиметровых волнах составляет 1 - 5 %, что соответствует значениям магнитного поля 10 - 50 Гс в случае тепловой тормозной природы происхождения круговой поляризации. В дециметровом диапазоне для крупных АО распределение поляризации обычно биполярно, при этом в центре источника степень поляризации составляет 1 % и менее, а на его краях может достигать 10 - 30 %. Для слабых АО на дециметровых волнах распределение степени круговой поляризации может быть укиполярным, достигая значений 20 - 40 %.

Важной наблюдательной характеристикой радиоизлучения гало

является наличие верхнего предела на максимальные значения яркостной температуры. Эти значения заключены в пределах от 10^6 К до 10^7 К, никогда не превышая последнюю величину. Таким образом наблюдаемые максимальные значения яркостной температуры близки к значению электронной температуры короны или в 2 - 3 раза выше последней. Наконец, к наблюдаемым особенностям материи области генерации радиоизлучения гало можно отнести её весьма высокую непрозрачность на дециметровых волнах. Это следует из факта отсутствия или весьма слабоконтрастного проявления низкорасположенных пятенных и полярных источников, а также весьма высокой гладкости распределений радиояркости по АО в этом диапазоне.

Предлагаемая нами интерпретация наблюдаемых характеристик радиоизлучения гало основывается на отмеченной выше возможности выделения трех характерных участков в спектрах их излучения. Плоский или спадающий с длиной волны коротковолновый участок вполне объясняется в рамках теплового тормозного механизма генерации радиоизлучения. Соответствующая модель подобна моделям генерации радиоизлучения спокойного Солнца с необходимыми модификациями распределений температуры и плотности с высотой. Эти модификации можно сделать зависящими только от одного параметра, как это было предложено Рейнерсом [143]. В предположении постоянства теплового потока в переходной области между хромосферой и короной и при статическом равновесии вещества короны удается аналитически проинтегрировать соответствующее уравнение переноса излучения. При этом оказывается, что яркостная температура определяется только температурой короны:

$$T_b = T_{кор} * (t_{пер} + t_{кор})$$

здесь $t_{пер}$ - эффективная оптическая толщина переходной области,
 $t_{кор}$ - оптическая толщина короны.

На коротких, сантиметровых волнах основной вклад в яркостную температуру дает переходный слой, т.е. $t_{пер} > t_{кор}$, на более

длинных волнах соотношение между этими оптическими толщинами обратное. Это соотношение зависит также от параметра, определяющего мощность активной области. Однако оказывается, что во всем диапазоне волн 2-30 см оптическая толщина короны меньше единицы. Таким образом тепловое тормозное излучение корональной конденсации с повышенными здесь значениями температуры и плотности не может объяснить наблюдаемое на длинных волнах яркостные температуры и высокую непрозрачность вещества короны АО.

Избыточное радиоизлучение со спектром потоков, растущим с длиной волны в этом диапазоне, можно объяснить привлечением нетепловых механизмов генерации радиоизлучения. Наиболее вероятным является магнитно-тормозное излучение субрелятивистских электронов со степенным распределением по энергиям. Ультрарелятивистский случай исключается из-за эффекта Раина-Цитовича подавления излучения фоновой тепловой плазмой. Показатель энергетического спектра электронов около 3 для типичного значения i наклона спектра потоков. Расчеты показывают, что для получения наблюдаемых значений потока количества нетепловых электронов должно составлять 10^{-4} - 10^{-5} доли от числа фоновых тепловых электронов, при этом плотность энергии нетепловых электронов составляет 10^{-2} - 10^{-3} от плотности энергии тепловой плазмы.

Завал в спектре излучения нетепловой популяции электронов на самых длинных волнах можно объяснить рассеянием радиоволн на волнах плазменной турбулентности, которая может возбуждаться той же популяцией электронов. В этом случае максимум потока достигается на волне, на которой $\text{trass} * t_{полл} = 1$, где trass - оптическая толща области генерации радиоизлучения по рассеянию, а $t_{полл}$ - то же по поглощению. Типичные значения яркостной температуры гало на волне 2 см порядка 10^4 К, что при $T_{кор} = 2 \times 10^6$ К соответствует $t_{полл} = 5 \times 10^{-3}$ на этой волне и $t_{полл} = 1/5$ на типичной волне максимума потока 12 см. Таким образом на этой волне $\text{trass} = 5$. Расчеты показывают, что такое значение оптической толщи по рассеянию можно получить при плотности энергии плазменных волн порядка 10^{-5} - 10^{-6} от

плотности энергии тепловой плазмы и что составляет около 0,1% от плотности энергии нетепловых электронов. Коэффициент рассеяния на волнах плазменной турбулентности возрастает пропорционально третьей или четвертой степени длины волны радиоизлучения, что и приводит к эффективному снижению яркости свечения гало на более длинных волнах. При оптической толще по рассеянию $\tau_{\text{расс}} > 1$ происходит такое сильное ослабление проходящего излучения, что объясняет высокую непрозрачность на длинных волнах материи гало для излучения низкорасположенных пятенных и пекулярных источников.

Хотя изложенная здесь интерпретация наблюдательных фактов о радиоизлучении гало, вероятно, не является единственно возможной, сами эти факты несомненно демонстрируют процессы длительного (дни и недели) выделения нетепловой энергии в короне активных областей, сопровождающиеся ускорением электронов и широко распространенные у самых различных по развитию АО, от самых слабых до самых мощных.

2.5. Концепция магнитосферы активной области

Выше мы неоднократно употребляли термин "магнитосфера активной области", имея в виду аналогии с магнитосферой Земли. Имеет смысл несколько подробнее остановиться на этом понятии.

Те преимущества, которые нам дают микроволновые наблюдения с высоким пространственным и спектральным разрешением в изучении корональных магнитных полей, корональных структур и локализации областей выделения нетепловой энергии, позволяют нам исследовать процессы в солнечной короне, контролируемые магнитными полями. Эти магнитные поля, являясь продолжением фотосферных магнитных структур, в то же время подвержены воздействию окружающей корональной плазмы. Эта ситуация подобна ситуации в окружающем Землю и другие планеты с собственным магнитным полем космическом пространстве. Хорошо известными фактами являются здесь деформации собственных магнитных структур планет потоками солнечного ветра и ускорение частиц, приводящее к появлению радиационных поясов и связанных с этим явлений. В случае солнечных активных областей мы

имеем локальные усиления магнитных полей на уровне фотосферы, вызываемые фотосферными или подфотосферными локальными токами. Корональные магнитные поля, которые мы исследуем радиоастрономическими методами, являются продолжением этих магнитных структур, что, в частности, подтверждается модельными расчетами этих полей. Корональные лучи, наблюдаемые оптическими и радио-методами, являются хорошей аналогией хвоста земной магнитосферы. Дециметровое гало, которое наиболее вероятно объясняется ускоренными электронами, захваченными в ловушку, образованную замкнутыми магнитными арками, может рассматриваться, как аналогия радиационных поясов Земли. Солнечные пятна могут являться аналогами магнитных полюсов Земли и по аналогии здесь мы можем ожидать обнаружения явлений, похожих на высыпания частиц, полярные сияния и т.д. Сказанное и является основанием для введения концепции магнитосферы активной области.

3. Пространственная структура микроволновых всплесков.

Имеющиеся в настоящее время теоретические представления о физических условиях в областях генерации солнечных микроволновых всплесков основаны главным образом на весьма большом материале об их временных профилях на разных частотах, получаемом по наблюдениям полного потока радиоизлучения Солнца на малых зеркалах станций службы радиоизлучения Солнца [144, 145]. В то же время имеющиеся отрывочные наблюдательные данные о пространственной структуре соответствующих областей радиоизлучения и их динамике часто полностью противоречат этим представлениям. Отрывочность наблюдений всплесков на РАТАН-600 связана с плохим временным разрешением этого радиотелескопа, однако его высокое пространственное разрешение и спектральная широкодиапазонность позволили в ряде случаев получить новые данные о пространственной структуре источников всплесков на большом числе частот микроволнового диапазона. В работах [87-95] обсуждаются несколько таких наблюдений, которые мы здесь кратко опишем.

Корональный миллиметровый источник наблюдался 22 сентября 1980 г. на РАТАН-600 на волнах 2-4 см и в Матсахови (Финляндия) на волне 8 мм [88]. Предыдущие наблюдения таких расположенных высоко в короне источников в миллиметровом диапазоне интерпретировались как тепловое излучение оптически толстых, плотных и холодных областей (10^4 К). Наблюдения на РАТАН-600 позволили впервые показать, что спектр яркостных температур такого источника пропорционален квадрату длины волны во всем диапазоне 8 мм - 4 см, что соответствует случаю горячей (10^7 К) и оптически тонкой области с плотностью около 10^{10} /куб.см. Размеры этой области около 50" и не зависят от длины волны, высота над фотосферой не менее 30 тыс. км. Измерения степени поляризации дают в среднем оценку величины магнитного поля в этой области около 300 Гс. Временная шкала явления (несколько часов) трудно совместима с предположением о длительном сохранении энергии в области источника, выделенной во время главной вспышки, более вероятным кажется предположение о последовательном снабжении энергией в течение после- или между- всплывочного развития корональных петель.

Всплеск типа медленного подъема и спада наблюдался 13 мая 1985 г. на РАТАН-600 на десяти частотах в диапазоне от 8 мм до 31.6 см и был зарегистрирован на радиотелескопах Обсерватории Солнечной Радиоастрономии в Трэнсдорфе (Германия) на пяти частотах в диапазоне 3.2 - 20 см [9, 11]. Длительность всего события была около 2.5 часов, наблюдения на РАТАН-600 были выполнены через 10 минут после начала события. Всплеск произошел в активной области No 31 по нумерации бюллетеня "Солнечные данные". Наблюдения 12 и 14 мая показывают, что соответствующая область радиоизлучения состояла из двух компонент: узкого источника, связанного с ведущим пятном группы пятен, и широкого источника (гало), связанного со всей областью. Радиои изображения, полученные 13 мая на РАТАН-600, показывают изолированный компактный (20") источник всплеска, расположенный в хвостовой части группы пятен в месте с усложненной магнитной структурой мелких пятен и пор. Этот источник, однако, излучал только малую часть микроволнового излучения всего события, причем наблюдался он только на коротких

волнах 0.8-3.2 см с максимальным значением потока 1.6 с.е.п. на волне 2.0 см. Яркость пятенного источника и гало были сильно повышены и они давали основную часть излучения всплеска. Ранние интерферометрические наблюдения Кунду [146] показали, что источники всплесков типа медленного подъема и спада имеют малые угловые размеры ($< 1'$). Из настоящих наблюдений мы видим, что кроме слабого компактного источника всплеска все явление занимает большой объем как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, сильно увеличивая яркость свечения пятенного источника и гало, составляющих структуру активной области.

Простой импульсный всплеск наблюдался на РАТАН-600 30 июля 1988 г. на шести волнах в диапазоне 2.3 - 31.6 см и был зарегистрирован многими станциями мировой сети служб радиоизлучения Солнца, в том числе на волнах 2.0, 3.2 и 5.1 см на ГАС ГАО РАН [94, 95]. В тот день на РАТАН-600 было выполнено 11 наблюдений Солнца с интервалом около 15 минут между наблюдениями. В одном из наблюдений была зафиксирована импульсная фаза всплеска, а в двух последующих послевсплесковое свечение. Остальные наблюдения позволили изучить структуру активной области (No 149 + No 152) в спокойном состоянии. По записям ГАС ГАО видно, что фаза роста потока всплеска была длительностью всего около 20 секунд, наблюдения на РАТАН-600 были выполнены на фазе быстрого падения потока всплеска через 40 секунд после момента максимума потока на сантиметровых волнах. В этот момент явление всплеска наблюдалось на РАТАН-600 на всех волнах с максимальным значением потока на волне 4 см, что согласуется с интегральными измерениями потока Солнца, послевсплесковое свечение в последующем было зарегистрировано только на дециметровых волнах, что также согласуется с интегральными измерениями.

Полученные на РАТАН-600 изображения показывают сложную многокомпонентную пространственную структуру всплеска как на сантиметровых волнах, так и на дециметровых. Однако имеются существенные различия изображений в этих диапазонах. В сантиметровом диапазоне явление всплеска было сосредоточено в пределах комплекса активности No 149 + No 152 и состояло из трех

различных компонент. На дециметровых волнах явление всплеска схватило практически все видимое полушарие Солнца, приведя к уярчению и другие удаленные активные области. Описанная сложная картина события импульсного всплеска и её динамика находятся в разительном противоречии с интегральными характеристиками всплеска, которые отличаются весьма сглаженными временными профилями и простыми спектральными кривыми потоков с одним максимумом. На основании этих интегральных данных нетрудно было бы представить явление всплеска, как однократную инжекцию ускоренных электронов в стационарную (!) магнитную ловушку. Динамика интегральных спектров этого всплеска вполне соответствует более коротким временам жизни более высокоэнергичных частиц.

Приведенные в данном разделе примеры наблюдений на РАТАН-600 некоторых типов всплесков показывают, что, несмотря на эпизодичность этих наблюдений, получаемая из них информация о спектрально-пространственной структуре источников всплесков является существенно новой и ставит проблему уточнения или даже пересмотра имеющихся теоретических и модельных представлений об этих всплесках.

Заключение

Рассмотрение автором вопросы теории и практики применения радиотелескопов для наблюдений Солнца обеспечили методическую базу в решении крупной научной проблемы диагностики длительных нетепловых процессов в солнечной атмосфере. В результате удалось в структуре микроволнового излучения активных областей выявить два типа объектов с нетепловыми процессами выделения энергии: **гало**, являющееся аналогом земной магнитосферы, и представляющее собой длительно существующую магнитную ловушку, заполненную ускоренными частицами и сильно турбулизованной плазмой (задачей дальнейших исследований здесь является выявление мест и механизмов выделения нетепловых видов энергии); **покулярные источники**, представляющие собой, вероятно, токовые слои, в которых происходит длительное выгорание излишков магнитной

энергии, сопровождающееся пересоединением магнитных силовых линий и упрощением их структуры. Дальнейшие исследования здесь могут быть направлены как на уточнение происходящих процессов, так и на установление их роли и связи со всей в целом структурой и динамикой активных областей.

БИБЛИОГРАФИЯ

Оптическое моделирование антенн СВЧ

1. Коржавин А.Н. Оптическое моделирование диаграмм антенн с отражателем переменного профиля (АПП). III Всесоюзная конференция молодых астрономов, посвященная 50-летию Октября. КраО, Научный, 5-10 июля 1967г. Тезисы докладов, 1967, с.8.
2. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н. Оптическое моделирование антенн СВЧ с отражателем переменного профиля. Радиотехника и Электроника, 1968, 13, No 7, 1176-1189.
3. Коржавин А.Н., Спитковский В.М. Оптическое моделирование диаграмм направленности антенны переменного профиля (АПП), работающей в режиме диафрагмы Гартмана. Изв. ВУЗ'ов, Радиофизика, 1973, 16, No 5, с.661-664.
4. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н. Оптическое моделирование радиоастрономических наблюдений на антенных системах со сложной формой апертуры. Изв. ВУЗ'ов, Радиофизика, 1976, 19, No 11, с.1690-1695.
5. Коржавин А.Н. Исследование методом оптического моделирования зависимости диаграммы направленности АПП от закона облучения апертуры. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1977, 9, 63-70.
6. Коржавин А.Н. Диаграммы АПП для реальных режимов работы. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1977, 9, 71-86.

Поляризационные измерения

7. Коржавин А.Н. К вопросу об измерении круговой поляризации на АПП. Сообщения САО, 1976, No 16, с.43-62.
8. Коржавин А.Н. К теории радиоастрономических поляризационных измерений. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1979, 11, 145-169.
9. Коржавин А.Н. Поляризационные эффекты вторичного зеркала АПП. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1979, 11, 170-181.
10. Коржавин А.Н. Попытка измерения линейной поляризации излучения локальных источников по наблюдениям на РАТАН-600. XIII Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям Солнечной Системы, Киев, 20-23 апреля 1981г. 1981, Киев, Наукова Думка, Тезисы докладов, с.13.

Методика обработки

11. Гельфрейх Г.Б., Киненес Х.А., Коржавин А.Н., Перес Х., Сантос Х., Сид М.А. Служба радиоизлучения Солнца на волне 4.6 см на Гаванской Радиоастрономической Станции. Солнечные данные, 1974, No 9, с.90-97.
12. Коржавин А.Н. Расчет aberrаций вторичного зеркала антенны переменной профиля. XIV Всесоюзная радиоастрономическая конференция по аппаратуре, антеннам и методам, Ереван, 28-30 октября 1982г. 1982, Радиоастрономическая аппаратура, антенны и методы. Ереван, Тезисы докладов, с.212.
13. Андрианов С.А., Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н. Комплекс программ первичной обработки солнечных наблюдений на РАТАН-600. XIV Всесоюзная радиоастрономическая конференция по аппаратуре, антеннам и методам, Ереван, 28-30 октября 1982г. 1982, Радиоастрономическая аппаратура, антенны и методы, Ереван, Тезисы докладов, с.386-387.

14. Коржавин А.Н. Коррекция aberrаций при обработке наблюдений Солнца на РАТАН-600. XIV Всесоюзная радиоастрономическая конференция по аппаратуре, антеннам и методам, Ереван, 28-30 октября 1982г. 1982, Радиоастрономическая аппаратура, антенны и методы. Ереван, Тезисы докладов, с.388-389.
15. Коржавин А.Н., Петров З.Е., Шатилов В.А. Оперативная обработка наблюдений Солнца и опорных источников на РАТАН-600. XVII Всесоюзная конференция "Радиоастрономическая аппаратура" Ереван, 10-12 октября 1985г. 1985, Ереван, Тезисы докладов, с.34.
16. Афанасьева П.М., Илатова И.А., Коржавин А.Н. О возможности определения прямых восхождений Солнца на РАТАН-600. Труды 23-ей Всесоюзной конференции по астрометрии, 1985.
17. Korzhavin A.N. Computer Aided Solar Eclipse Circumstances and Treatments. IAU Colloquium No 144, Solar Coronal Structures, Tatranska Lomnica, Slovak Republic, September 20-24, 1993, Program and Abstracts, p.129.

Измерение магнитного поля

18. Богод В.М., Болдырев С.И., Илатова И.А., Коржавин А.Н. Первые оценки величины магнитного поля малококонтрастных образований на Солнце по наблюдениям на РАТАН - 600. X Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы, Иркутск, 10-13 октября 1977г. 1977, Иркутск, Тезисы докладов, с.16-19.
19. Akhmedov Sh.B., Gelfreikh G.B., Bogod V.M., Korzhavin A.N. The Measurement of Magnetic Fields in the Solar Atmosphere

above Sunspots Using Gyroresonance Emission. Solar Physics, 1982, 79, No 1, 41-58.

20. U. M. Bogod, U. N. Borovik, U. I. Saraimov, G. B. Gelfreikh, A. N. Korzhavin. Magnetic Fields in the Solar Corona as Found from High Spectral Polarization and Spatial Resolution Radio Observations with RATAN-600 Radio Telescope. To be published in the Proceedings of the IAU Colloquium No. 144, 1994.

Каталог

21. Андрианов С.А., Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Болдырев С.И., Боровик В.Н., Гельфрейх Г.Б., Зуева В.А., Коржавин А.Н., Петров З.Е., Плотников В.М., Плотникова Г.Б., Чех С.А. Результаты наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне волн 2-4 см в период Года Солнечного Максимума. Т.1. Данные наблюдений 15 декабря 1979 - 3 апреля 1980. Материалы мирового центра данных Б. Москва, 1990, с.1-176.
22. Андрианов С.А., Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Болдырев С.И., Боровик В.Н., Гельфрейх Г.Б., Зуева В.А., Коржавин А.Н., Петров З.Е., Плотников В.М., Плотникова Г.Б., Чех С.А. Результаты наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне волн 2-4 см в период Года Солнечного Максимума. Т.2. Данные наблюдений 5 апрел: 1980 - 12 сентября 1980. Материалы мирового центра данных Б. Москва, 1990, с.1-186.
23. Андрианов С.А., Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Болдырев С.И., Боровик В.Н., Гельфрейх Г.Б., Зуева В.А., Коржавин А.Н., Петров З.Е., Плотников В.М., Плотникова Г.Б., Чех С.А. Результаты наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне волн 2-4 см в период Года Солнечного Максимума. Т.3. Данные наблюдений 13 сентября 1980 - 28 января 1981. Материалы мирового центра данных Б. Москва, 1990, с.1-182.
24. Богод В.М., Болдырев С.И., Зуева В.А., Коржавин А.Н., Петров З.Е., Плотников В.М., Фатилов В.А. Результаты

наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне волн 0.8 - 31.6 см. 1984г. Материалы мирового центра данных Б. Москва, 1992, с.1-186.

Программа развития РАТАН-600

25. Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н., Пустильник Л.А. Предложения по использованию радиотелескопа РАТАН-600 в программах 22-го цикла солнечной активности. Препринт САО АН СССР № 22, Н.Архыз, 1988, с.1-22.
26. Богод В.М., Коржавин А.Н., Гельфрейх Г.Б. Опыт наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 и перспективы их развития в 22-м цикле солнечной активности. Солнечно-земная физика, 5-ый симпозиум КАПГ, Самарканд, 2 - 6 октября 1989 года, Москва, 1989, с.40-41.
27. Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н. Основные принципы работы радиогелиографа РАТАН-600 с облучателем тип U1. 22-я Всесоюзная конференция "Радиотелескопы и интерферометри", Ереван, 15-17 мая 1990г. Тезисы докладов, с.90-91.

Активные области (БПР. РАТАН-600)

28. Боровик В.Н., Коржавин А.Н., Петерова Н.Г. О наблюдениях радиоисточника, связанного с быстроразвивающейся группой пятен на Солнце. Солнечные данные, 1965, No 10, с.67-71.
29. Ахмедов Ш.Б., Боровик В.Н., Коржавин А.Н., Нагнибеда В.Г., Петерова Н.Г., Спитковский В.М. Некоторые результаты наблюдений радиоизлучения Солнца на БПР в мае-июне 1965г. Солнечные данные, 1966, No 2, с.62-68.
30. Коржавин А.Н., Петерова Н.Г. О размерах локальных источников радиоизлучения на Солнце на волне 4.5 см. АЗ. 1968, 17, с.36-44.

31. Гельфрейх Г.Б., Ахмедов Ш.Б., Боровик В.Н., Гольнев В.Я., Коржавин А.Н., Нагнибеда В.Г., Петерова Н.Г. Исследование локальных источников радиоизлучения Солнца в сантиметровом диапазоне. Изв. ГАО, 1970, No 185, с.167-182.
32. Богод В.М., Коржавин А.Н. О некоторых особенностях излучения локальных источников на Солнце в диапазоне 2.3 - 2.7 см. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1975, 7, с.121-133.
33. Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Боровик В.Н., Гельфрейх Г.Б., Ихсанова В.Н., Коржавин А.Н., Петерова Н.Г. Спектральные особенности локального источника радиоизлучения, связанного с августовской группой пятен 1972 года. Солнечные данные, 1975, No 11, с.97-104.
34. Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Болдырев С.И., Гельфрейх Г.Б., Ипатова И.А., Коржавин А.Н. Динамика развития структуры локальных источников радиоизлучения групп солнечных пятен. Физика солнечных пятен, Сб. под ред. Степанова В.Е. М., Наука, 1976, с.153-156.
35. Парийский Ю.Н., Корольков Д.В., Шиврис О.Н., Кайдановский Н.И., Есепкина Н.А., Зверев Ю.К., Стоцкий А.А., Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Болдырев С.И., Гельфрейх Г.Б., Ипатова И.А., Коржавин А.Н., Романцов В.И. Наблюдения Солнца на радиотелескопе РАТАН-600. Первые результаты. АИ, 1976, 53, No 5, с.1017-1026.
36. Коржавин А.Н., Макаров В.И., Михайлуца В.П., Рыбкина Г.Б. Совместные оптические и радионаблюдения залимбовой корональной конденсации 19 ноября 1980г. XIII Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям Солнечной Системы, Киев, 20-23 апреля 1981г. Киев, Наукова Думка, Тезисы, с.11.
37. Kruger A., Furstenberg F., Hildebrandt J., Akhmedov Sh.B., Bogod U.M., Korzhavin A.N. On the Height Scale of Magnetic

- Fields above Sunspots Derived from RATAN-600 Observations and Model Calculations. XI Консультация по физике Солнца, Дебрецен, 12 - 16 сентября 1983 года, Венгрия. Publ. of Debrecen Heliophysical Observatory, 1983, 5, 619-629.
38. Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., Хильдебрандт И., Коржавин А.Н., Крюгер А. Типы источников S-компонента солнечного радиоизлучения и их связь со вспышечной активностью групп пятен. Солнечные данные, 1985, No 5, с.68-72.
 39. Kruger A., Hildebrandt J., Bogod U.M., Korzhavin A.N., Akhmedov Sh. B., Gelfreikh G. B. A Study of RATAN - 600 Observations of Solar S-Component Sources. Solar Physics, 1986, 105, 111-121.
 40. Akhmedov Sh.B., Bogod U.M., Borovik U.N., Gelfreikh G.B., Dikij U.N., Korzhavin A.N., Shatilov U.A. Local Source Components of Solar Microwave Radiation: a Comparison of ULA, WSRT and RATAN-600 Data. Solar Maximum Analysis. Additional Issue, Eds. Stepanov U. E., Obridko U. N., Smolkov G.Ya., Nauka, Novosibirsk, 1988, p.76-79.
 41. Богод В.М., Комаров В.В., Коржавин А.Н., Опейкина Л.В., Шатилов В.А., Боровик В.Н., Гельфрейх Г.Б. Наблюдения на РАТАН-600 активных областей на Солнце в период работы КА "ФОБОС-1" в июле-августе 1988г. Солнечно-земная физика, 5-ый симпозиум КАПГ. Самарканд, 2 - 6 октября 1989 года. Москва, 1989, с.64-65.
 42. Kruger A., Bogod U.M., Korzhavin A.N., Gelfreikh G.B. Some Results of Cooperative Investigations on Solar Radio Emission with RATAN-600. Astronomische Nachrichten, 1990, v.311, 401-404.
 43. Коржавин А.Н., Лубышев Б.И. Структура активной области по наблюдениям на РАТАН-600. Исследования по геомагнетизму, космосу и физике Солнца, Новосибирск, Наука, 1994, No 122.

44. Korzhavin A.N., Bogod U.M., Borovik V.N., G.B. Gelfreikh, Makarov U.I. Coronal Loops and Proinences as Observed on RATAN-600. Proceedings of Second SOHO Workshop. To be published in the Space Sciences Reviews, 1994.
45. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н. Изменения структуры локального источника активной области, предшествовавшие протонной вспышке 30 апреля 1976 года. IX Консультация по физике Солнца КАНПГ, Польша, Вроцлав, 25-30 сентября 1978. Тезисы, 1978, с.21.
46. Коржавин А.Н. К интерпретации спектра излучения некоторых деталей ЛП на Солнце в сантиметровом диапазоне. Семинар секции "Радиоизлучение Солнца", Kislovodsk, 18-23 октября 1978г. 1978, Kislovodsk. Тезисы докладов, с.26.
47. Korzhavin A.N. Nonthermal Sources of the Solar Radio Emission S - Component. Solar Maximum Analysis Workshop, June 17-21, 1985, Irkutsk, USSR. 1985, Irkutsk, Abstracts of papers. 11.
48. Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Боровик В.Н., Вильсон Р.Ф., Гельфрейх Г.Б., Дикий В.Н., Коржавин А.Н., Ланг К.Р., Петров З.Е. Структура активных областей на Солнце по наблюдениям на VLA и RATAN-600 в июле 1982г. Часть I: AR 3804. Препринт САО, 1985, No 191, Л., с.1-58.
49. Akhmedov Sh.B., Borovik V.N., Gelfreikh G.B., Bogod U.M., Korzhavin A. N., Petrov Z. E., Dikij V. N., Lang K.R., Willison R.F. The Structure of a Solar Active Region from RATAN-600 and Very Large Array Observations. Astroph. Journal, 1986, 301, 460-464.
50. Akhmedov Sh.B., Bogod U.M., Borovik V.N., Gelfreikh G.B., Korzhavin A.N. On the Search of Current Sheets in the Solar Atmosphere Using Radio Observations. Solar Maximum Analysis, Stepanov U.E., Doridko V.N. (eds), UNU Science Press, 1987, p.51-56.

51. Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Боровик В.Н., Вильсон Р.Ф., Гельфрейх Г.Б., Дикий В.Н., Коржавин А.Н., Ланг К.Р., Петров З.Е. Структура активных областей на Солнце по наблюдениям на VLA и RATAN-600 в июле 1982г. Часть I: AR 3804. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.25, 1987, с.195-134.
52. Kruger A., Hildebrandt J., Mann G., Borovik V. N., Korzhavin A.N. On Model Calculations of the S-component Inside and Outside of Sunspots. Proceedings of 10-th ERAK, August 24-29, 1987, Prague, CSSR. Vel. i. The Sun, Eds. Nejma L., Sobotka M., 1988, p.271-274.
53. Ахмедов Ш.Б., Боровик В.Н., Гельфрейх Г.Б., Богод В.М., Коржавин А.Н., Петров З.Е., Хофман А., Бахман Г. Кооперативные магнитографические и радиоастрономические исследования активной солнечной области AR3804 в июле 1982 года. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1989, т.28, с.111-122.
54. Боровик В.Н., Ватрушин С.М., Коржавин А.Н. Радиохарактеристики активной области, связанной с протонной вспышкой 24 апреля 1985 года по наблюдениям на RATAN-600. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1989, т.28, с.123-131.
55. Боровик В.Н., Драке Н.А., Коржавин А.Н., Плотников В.М. Эволюция и структура вспышечно-активной области NR16631 (февраль 1980г.) по наблюдениям на RATAN-600. Кинематика и физика небесных тел. 1981, т.5, с.63-67.
56. Ватрушин С.М., Коржавин А.Н. Некулярные радиисточники во вспышечно-активных областях на Солнце и их возможная связь с токовыми слоями. Физика солнечной плазмы. Труды 6-го семинара рабочей группы "Специальные теоретические и экспериментальные исследования солнечной плазмы". 1989, Наука, М., с.100-106.

57. Korzhavin A.N., Gelfreikh G.B., Uatrushin S.M. Peculiar Sources of Solar Radio Emission and their Possible Interpretation. Solar Magnetic Fields and Corona, 1989, Nauka, Novosibirsk, v.2, 119-124.
58. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н., Ипатов А.П., Чатилов В.А. Спектральные особенности радиоизлучения слабых активных областей по наблюдениям на RATAN-600. Астрофиз. исслед. (Кав. САО), 1990, т.29, 3-11.
59. Коржавин А.Н., Петерова Н.Г. Об особенностях поляризации межпланетного излучения в локальных источниках на Солнце. Межрегиональная конференция по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы, Нижний Новгород, 14-18 сентября 1992г., Тезисы докладов, М., 1992, с.14.
60. А.Н. Коржавин, В.Н. Боровик, Г.Б. Гельфрейх. Микроволновые радиоисточники, связанные с солнечными пятнами с магнитной дельта-конфигурацией. XXV Радиоастрономическая конференция, Пукино, 20-24 сентября 1993г. Тезисы докладов, Пукино, 1993, с.135-136.
61. Alissandrakis C. E., Gelfreikh G. B., Borovik V. N., Korzhavin A. N., Bogod U. M., Nindos A., Kundu M. R. Spectral Observations of Active Region Sources with RATAN-600 and WSRT. Astron. Astroph., v.270, 509-515, 1993.
62. Sych R.A., Uralov A.M., Korzhavin A.N. Radio Observation of Compact Solar Sources Located between Sunspots. Solar Physics, 1993, v.144, p.53-68.
63. Gelfreikh G.B., Korzhavin A.N., Nagelis J., Ryabov B.I. Active Region with a Microwave Interspot Component. Presented to the "Solar Physics", 1993.
64. Коржавин А.Н., Петерова Н.Г. К исследованию "гало" в структуре локального источника радиоизлучения на Солнце. Препринт САО, 1992, АМ, 1992.

Активные области (затмения Солнца)

65. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н. Результаты наблюдения солнечного затмения 20 мая 1966 года на волне 4.0 см. Радиоастрономические наблюдения солнечного затмения 20 мая 1966 года. Сб. под ред. Гельфрейха Г.Б. и Петеровой Н.Г., 1972, М., Наука, с.127-129.
66. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н., Шемякин Г.Ф. Результаты поляризационных наблюдений солнечного затмения 20 мая 1966 года на волнах 2.0 и 4.9 см. Радиоастрономические наблюдения солнечного затмения 20 мая 1966 года. Сб. под ред. Гельфрейха Г.Б. и Петеровой Н.Г., 1972, М., Наука, с.50-57.
67. Korzhavin A.N., Arreola J.I., Casselyn Leon V., Timofeyeva G.M. Radio Observations of the 24 of December 1973 Solar Eclipse. Boletin del Instituto de Tonantzintla, 1974, 1, No 2, p.55-71.
68. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н., Перес Х., Петерова Н.Г., Сид М.А. Результаты поляризационных наблюдений солнечного затмения 11 сентября 1969 года на волне 4.5 см в Гаване. Солнечные данные, 1974, No 9, с.93-100.
69. Киненес Х.А., Коржавин А.Н., Петерова Н.Г., Сантос Х. Наблюдения солнечного затмения 7 марта 1970 года на поляриметре ГРС на волне 4.5 см. Солнечные данные, 1975, No 3, с.87-96.
70. Коржавин А.Н. Структура локальных источников радиоизлучения на Солнце по затменным наблюдениям в диапазоне 4 см. Наблюдательные проблемы астрономии. Материалы Пятой Всесоюзной астрономической конференции, посвященной 250-летию АН СССР и 135-летию Главной астрономической обсерватории в Пулково, 1-4 октября 1974г. 1976, Ленинград, Наука, с.12.
71. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н. Особенности солнечной короны над пятнами по данным затменных наблюдений в сантиметровом диапазоне волн. Физика солнечных пятен. Сб. под ред. Степанова В.Е., М., Наука, 1976, с.34-100.

72. Еришненко В.И., Коржавин А.Н. Поляризационные наблюдения солнечного затмения 25 апреля 1976 года на волне 4,9 см. X Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы, Иркутск, 10-13 октября 1977г. 1977, Иркутск, Тезисы докладов, с.56.
73. Ахмедов Ч.Б., Богод В.М., Боровик В.Н., Гельфрейх Г.Б., Дикий В.Н., Коржавин А.Н., Корольков Д.В., Пустильник Л.А., Сорель В.Е. Результаты наблюдений солнечного затмения 31 июля 1981 года на волнах 2, 4, 13 и 28 см. Исследования по геомагнетизму, астрономии и физике Солнца, 1982, т.62, с.172-180.
74. Korzhavin A.N., Bogod V.M., Vatrushin S.M., Pervakov A.A., Erechnev U.U., Traskov T.A., Abramov-Maksimov U.E., Belov K.V. Fine Coronal Structure of Solar Active Regions from Multi-Frequency Microwave Observations of the July 11, 1991, Solar Eclipse in Mexico. IAU Colloquium No 144, Solar Coronal Structures, Tatranske Lomnica, Slovak Republic. September 20-24, 1993, Program and Abstracts, p.128.

Магнитосфера активных областей

75. Abramov - Maksimov U. E., Borovik V. N., Bogod V. M., Gelfreikh G.B., Garainov U.I., Korzhavin A.N. Magnetosphere of the Active Region Based on Multifrequency Solar Observations with New Panoramic Spectra Analyser on RATAN-600. XXIV General Assembly of the URSI, Kyoto, Japan, August 25 - September 2, 1993. Abstracts booklet, Kyoto, 1993, p.458.
76. В.С.Абрамов-Максимов, В.Н.Боровик, В.М.Богод, Г.Б.Гельфрейх, Е.И.Гарайков, А.Н.Коржавин, Магнитосфера активной области на основе многоволновых наблюдений Солнца на РАТАН-600 с панорамным анализатором спектра. XXV Радиоастрономическая конференция, Пущино, 20-24 сентября 1993г. Тезисы докладов, Пущино, 1993, с.138.

Спокойное Солнце

77. Гельфрейх Г.Б., Коржавин А.Н. Распределение яркости на лимбе в полярной зоне диска Солнца на волне 4,0 см по наблюдениям солнечного затмения 9 мая 1967 года. Солнечные пятна, 1963, № 11, с.102-112.
78. Коржавин А.Н. Некоторые результаты расчета распределения радиояркости спокойного Солнца в сантиметровом диапазоне с учетом рефракции радиоволн в солнечной атмосфере. Совещание секции "Радиосвечение Солнца", Рига, 13-18 октября 1975г. 1975, Рига, с.9-10.
79. Коржавин А.Н. Распределение радиояркости спокойного Солнца вблизи лимба в сантиметровом диапазоне. Наблюдательные проблемы астрономии. Материалы Пятой всесоюзной астрономической конференции, посвященной 250-летию АН СССР и 135-летию Главной астрономической обсерватории в Пулкове, 1 - 4 октября 1974г. 1976, Ленинград, Наука, с.13-14.

Грануляция, полярные факелы

80. Коржавин А.Н., Пиотровиц В.В. Использование диаграммных поляризационных эффектов АПП для сканирования диаграмм направленности антенны. XIV Всесоюзная радиоастрономическая конференция по аппаратуре, антеннам и методам, Ереван, 28-30 октября 1982г. 1982, Радиоастрономическая аппаратура, антенны и методы. Ереван. Тезисы докладов, с.382.
91. Gelfreikh G.B., Bogod V.M., Korzhavin A.N., Kononovich E.U., Smirnova U.U., Startseva S.V., Pietrovich U.U. Solar Radio Granulation at Microwaves and its Optical Identification. Sun and Planetary System. Proceedings of the VI European Regional Meeting in Astronomy, Dubrovnik, Yugoslavia, 19 - 23 Oct. 1981. Eds. Friske W., Teleki G., U.Reidel P.C. Holland, 1982, p.109-112.

82. Макаров В.И., Макарова В.В., Богод В.М., Коржавин А.Н., Спейкина Л.В., Шатилев В.А. Полярные факелы на Солнце в белом свете и в радиодиапазоне. Солнечные данные, 1991, №9, с. 87-90.

Флуктуации

83. Гельфрейх Г.Б., Деревянко О.Г., Коржавин А.Н., Стасюк Н.П. Периодические флуктуации потоков локальных источников радиоизлучения Солнца. Солнечные данные, 1969, № 9, с. 88-94.
84. Берлин Б.А., Гельфрейх Г.Б., Занданов В.Г., Коржавин А.Н., Трескова Л.Е. Предварительные результаты исследования спектра флуктуаций радиоизлучения Солнца с почти непрерывным перекрытием суточного интервала. Изв. ВУЗ'ов, Радиофизика, 1973, 16, № 9, с. 1366-1368.
85. Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Дравских З.В., Кобрин М.М., Коржавин А.Н., Лебедев Е.И., Прокофьева Н.А., Подстригач Г.С., Тимофеева Г.М., Тимофеев Б.В., Снегирев С.Д., Фомичев Г.В., Мровский Ю.Ф. О наблюдениях флуктуаций солнечного радиоизлучения на четырех частотах сантиметрового диапазона. Солнечные данные, 1977, № 4, с. 62-69.
86. Гельфрейх Г.Б., Занданов В.Г., Коржавин А.Н. Особенности развития флуктуаций солнечных локальных радиоисточников в связи с развитием групп пятен. Письма в АЖ, 1979, 5, № 1, с. 42-45.

Всплески

87. Богод В.М., Коржавин А.Н., Ахмедов Ш.Б., Хилдебрандт Ж., Кругер А. On the Question of Long Lasting Microwave Emission far from the Solar Limb. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 1986, v.15, p.717-720.

88. Borovik V.M., Gelfreikh G.B., Bogod V.M., Korzhavin A.N., Kruger A., Hildebrandt J., Urpo S. The Spectrum of Coronal Sources at Millimetre and Centimetre Waves. Solar Physics, 1983, v.124, 157-166.
89. Borovik V.M., Vatrushin S.M., Korzhavin A.N., Dikij V.N., Aurass H., Kruger A. On the Question of Pre-flare Emission of Large Solar Events. Solar Magnetic Fields and Corona, 1989, Nauka, Novosibirsk, v.2, 304-307.
90. Akhmedov Sh.B., Korzhavin A.N., Shatilov V.A., Aurass H., Hildebrandt J., Kruger A. RATAN-600 Observations of a Gradual Rise and Fall of Bursts: the Event of 13.05.1985. Solar Magnetic Fields and Corona, 1989, Nauka, Novosibirsk, v.2, 316-319.
91. Bogod V.M., Korzhavin A.N., Akhmedov Sh.B., Aurass H., Hildebrandt J., Kruger A. On the Complex Spatial Structure of a Gradual Microwave Burst. Solar Physics, 1990, v.129, 351-361.
92. Mendoza-Torres E. J., Korzhavin A. N., Bravo S., Perez-Enriquez R. Large Scale Quasi-periodic Displacement of a Solar Burst Source Recorded at a Small Baseline Radio Interferometer at Wavelength 4.0 cm. 1992. IAU Colloquium No. 141, "The Magnetic and Velocity Fields of Solar Active Regions". Programme and Abstracts, September 8-12, 1992, Beijing, China, p.92.
93. Mendoza-Torres J. E., Korzhavin A. N. Observation of a Quasiperiodic Burst with a Small Base Radio Interferometer. Preprint No 85SP5, 1992. Special Astrophysical Observatory, St. Petersburg Branch, p.1-19.
94. Mendoza-Torres J. E., Korzhavin A. N. Polarization Oscillations of a Burst Source Radiation from RATAN-600 Observations. Солнечные данные, № 6, 1992, с. 73-79.

85. Мендоса-Торрес Х.Э., Коржавин А.Н. Наблюдение многокомпонентного всплеска на РИТАН-600. Солнечные данные, No 12, 1992, с.59-67.

ЛИТЕРАТУРА

90. Железняков В.В., 1962, АЖ, т.39, с.5.
91. Kakinuma T., Swager G., 1962, Astroph.J., v.136, p.975.
92. Злотник Е.Я., 1968, АЖ, т.45, с.310, 1969, АЖ, т.45, с.585.
99. Lantes P., 1960, Ann. d'Astrophys., v.31, p.105.
100. Лившиц М.А., Обридко В.Н., Никельнер С.Б., 1966 АЖ, т.43, с.4135.
101. Бахрах Л.Д., Владимирова О.Н., Курочкин А.П., Соболев Г.А., Фридрих Г.К., 1967, в сб. Антенны, ред. Чистильков А.А. No 2, с.33.
102. Ingalls A.L., 1966, IEEE Trans.Ant.Propag., v.AP-14, p.2.
103. Хайкин С.Э., Кайдановский Н.А., Есепкина Н.А., 1960, Изв. ГАО, No 164, с.3-28.
104. Бахвалов Н.С., Васильева Л.Г., Есепкина Н.А. и др., 1973, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.5, с.135-149.
105. Hogben J.A., 1974, Astron. Astrophys. Suppl., v.15, p.417.
106. Марийский М.Н., Стоцкий А.А., 1972, Изв. ГАО, No 188, с.195.
107. Ко Н.С., 1962, Proc.IRE, v.50, p.1950-1952, 1961, IEEE Trans. Ant.Propag., v.AP-9, p.581-582.

108. Есепкина Н.А., 1971, Изв. ВУЗов, Радиофизика, т.14, с.673-679, 1972, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.4, с.157-169.
109. Абрамов В.И., 1985, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.20, с.117-130.
110. Абрамов В.И., 1984, Препринт НИРФИ, Горький, No 182, с.1-23.
111. Кузнецова Г.В., Соболева Н.С., 1964, Изв. ГАО, No 172, с.123.
112. Есепкина Н.А., Кайдановский Н.А., Кузнецов Б.Г., Кузнецова Г.В., Хайкин С.Э., 1961, Радиотехника и Электроника, т.6, с.1947.
113. Есепкина Н.А., Соболева Н.С., Тимофеева Г.М., 1968, Солнечные данные, No 0, с.86.
114. Гельфрейх Г.Б., Петерова Н.Г., 1970, АЖ, т.47, с.839.
115. Амстиславский А.З., Капылов А.И., Проскушкин М.И., 1972, Изв. ГАО, No 188, с.89-100.
116. Гельфрейх Г.Б., 1977, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.9, с.89.
117. Стоцкий А.А., 1972, Изв. ГАО, No 188, с.63-76.
118. Соболева Н.С., Темирова А.В., 1984, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.18, с.117-124.
119. Алиакберов К.Д., Мингалев М.Г., Наугольная М.Н., Трушкин С.А., Шарипова Л.М., Вкупова С.Н., 1985, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.19, с.60-65.
120. Шиврис О.Н., Постоевко Ю.К., Трунов В.В., 1963, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.17, с.84-90.
121. Берходанов О.В., 1992, Препринт САО РАН, Н.Арханг., No 25, с.1-103.

122. Майорова Е.К., 1982, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.16, с.75-82.
123. Мингалиев М.Г., Петров З.Е., Филиппенко В.И., Черков Л.Н., 1985, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.19, с.78-81.
124. Пожаров А.А., 1985, Вестник ЛГУ. Дел. № 6040-85, ВИНТИ, с. 1-12.
125. Богод В.М., Дикий В.Н., Корольков Д.В., Сорель В.Е., 1983, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.17, с.124-130.
126. Боровик В.Н., Петрова Н.Г., 1987, Солнечные данные, № 1, с.65-70.
127. Андрианов С.А., 1988, Кандидатская диссертация.
128. Петров З.Е., 1986, Кандидатская диссертация.
129. Матилон В.А., 1992, Кандидатская диссертация.
130. Плотников В.М., 1991, Н.Архиз, Препринт САО, № 58, с.1-21.
131. Матилон В.А., 1987, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.25, с.168-175.
132. Борзеник В.И., 1981, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), т.13, с.17-37.
133. Гальфрейх Г.Б., 1974, Докторская диссертация.
134. Богод В.М., 1993, Докторская диссертация.
135. Гальфрейх Г.Б., Лубышев Б.И., 1979, ИЖ, т.86, с.562.
135. Lang K.R., Willson R.F., 1982, ApJ, v.255, p.L111.

137. Somov B.V., 1985, Astron. & Astrophys., v.163, p.210-218.
138. Dulk G.A., Marsh K.A., 1982, Aph. J., v.259, p.350-358.
139. Alissandrakis C.E., Kundu M.R., 1982, Aph. J., v.253, L49-52.
140. Webb D.F., Davis J.M., Kundu M.R., Velusamy T., 1985, Solar Physics, v.85, p.267-283.
141. Lang K.R., Willson R.F., Gaizauskas U., 1983, Aph. J., v.267, p.455-464.
142. Taraka H., Enome S., 1975, Solar Phys., v.40, p.123.
143. Reimers B., 1971, Astron. Astroph., v.10, p.182, v.14, p.198.
144. Железняков В.В., 1964, Радиоизлучение Солнца и планет, М., Наука.
145. Крюгер А., 1984, Солнечная радиоастрономия и радиопизика, М., Мир.
146. Kundu M.R., 1965, Solar Radio Astronomy, Interscience Publ., New York.