

ШЕЙНЕР Ольга Александровна

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРОЦЕССОВ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЯВЛЕНИЯМ
СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

01.04.03 – радиофизика

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук

Нижний Новгород 2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский радиофизический институт» (ФГБНУ НИРФИ) Министерства образования и науки РФ

Научный консультант доктор физико-математических наук профессор
СНЕГИРЕВ Сергей Донатович

Официальные оппоненты: ЯСНОВ Леонид Васильевич,
доктор физико-математических наук
профессор, заведующий лабораторией
космического радиоизлучения научно-
исследовательского института Радиофизики
Санкт-Петербургского государственного
университета (НИИРФ СПбГУ)

ШАПОШНИКОВ Владимир Евгеньевич
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник, ученый секретарь
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института прикладной физики
Российской академии наук (ИПФ РАН)

АЛТЫНЦЕВ Александр Тимофеевич
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник, зам. директора
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института солнечно-земной
физики Сибирского отделения Российской
академии наук (ИСЗФ СО РАН)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В. Пушкина Российской академии наук
(ИЗМИРАН), Московская обл., г. Троицк.

Защита состоится 29 мая 2012 года в 14:00 на заседании диссертационного совета
Д 212.161.01 при федеральном государственном бюджетном научном
учреждении «Научно-исследовательский радиофизический институт»
Министерства образования и науки РФ (ФГБНУ НИРФИ) по адресу: 603950, г.
Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25/12а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ НИРФИ

Автореферат разослан 25 апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физ.-мат.наук



А.Н. Караштин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена исследованию вызывающих большой научный и прикладной интерес проявлений солнечной активности. Основу диссертации составили экспериментальные и статистические исследования микроволнового излучения Солнца, наблюдаемого на предвспышечной стадии и во время вспышек, явлений в радиоизлучении, предшествующих корональным выбросам массы. В значительной мере прогресс в результатах исследований определялся проведенными усовершенствованиями методов получения данных о характеристиках различных компонент радиоизлучения, использованием и обоснованием моделей солнечных структур и механизмов радиоизлучения в них, объясняющих наблюдаемые характеристики, а также современных сценариев развития солнечных явлений.

Результаты проведенных исследований использованы для развития на этой основе методов определения физических параметров в областях генерации радиоизлучения, методов диагностики и прогнозирования мощных солнечных вспышек и корональных выбросов массы по результатам наблюдений микроволнового излучения Солнца.

Актуальность темы и предмет исследования

Солнце является постоянным объектом научных исследований. Это связано как с тем, что Солнце – ближайшая к Земле звезда и на нем реализуются многие физические процессы, характерные для других плазменных сред и астрофизических объектов, так и с тем, что Солнце оказывает определяющее воздействие на многие околоземные и земные процессы. С описанием явлений на Солнце во многом связаны такие динамично развивающиеся области физики, как физика плазмы и магнитная гидродинамика, что стимулирует интерес исследователей к изучению процессов на Солнце.

Исследования Солнца ведутся во всем спектре электромагнитных волн, при этом исследования солнечного радиоизлучения занимают значительное и важное место. Отметим, что, поскольку энергия, выделяющаяся при радиоизлучении (около 10^{25} эрг/сутки спокойным Солнцем без учета всплесков) существенно меньше потока излучения в видимой области спектра ($\sim 10^{38}$ эрг/сутки), то ценность изучения радиоизлучения состоит, в первую очередь, не в оценке переносимой им энергии, а в возможности получения информации об условиях в источниках излучения и динамике происходящих в них процессов.

Проводя такие исследования, можно получить информацию из слоев солнечной атмосферы, зачастую недоступных другим методам наблюдений, в радиоизлучении находят отражение многие процессы, происходящие на всех высотах хромосферы и короны Солнца. Таким образом, радиоастрономические исследования дают возможность проводить комплексное изучение структур

атмосферы Солнца и процессов, охватывающих все ее слои. Решение подобных задач связано с такими проблемами как генерация, распространение, взаимодействие и трансформация электромагнитных волн, то есть рассматривается общность радиофизических закономерностей плазменной среды солнечных структур и происходящих в них процессов.

Экспериментальные результаты и теория радиоизлучения Солнца в настоящее время достигли уровня, при котором компоненты излучения получили не только качественное, но и количественное объяснение (например, см. монографии [1*–6*], обзоры [7*–12*] и публикации трудов конференций [13*–16*]).

Для современного этапа экспериментальных исследований радиоизлучения Солнца характерно использование имеющихся новых данных для получения информации о более тонких структурах солнечной атмосферы и связанных с ними явлениях активности (отдельных солнечных пятен, протуберанцев, петель, пор), происходящих в них процессах и физических параметрах областей излучения. При этом основное внимание до недавнего времени уделялось самим событиям, связанным с мощным энерговыделением (вспышкам и корональным выбросам массы), и структурам, охватывающим центры активности в целом.

В то же время изучение процессов, связанных с формированием условий, приводящих к последующим мощным солнечным событиям, является важным направлением современных исследований Солнца.

В настоящее время общепринятым считается, что корональные выбросы массы, эрупция волокон, вспышки – все это различные проявления одного физического процесса, который включает в себя разрушение коронального магнитного поля (например, см. [17*]). Очевидно, что процессы, отражающие эволюцию корональной магнитной топологии перед дестабилизацией, должны проявляться в различных диапазонах излучения, что и наблюдается как в фотосферной магнитной эволюции, эволюции волокон и протуберанцев, так и в H-альфа, рентгеновском и радио излучении [18*–28*].

Отражением таких процессов в радиоизлучении являются временные, спектральные и поляризационные особенности, возникающие в периоды активизации центров солнечной активности, на предвспышечных стадиях и стадиях формирования и начального распространения корональных выбросов массы.

Особенностью таких подготовительных процессов является то, что большинство из них связано с небольшими, относительно последующих событий, энергиями и, таким образом, представляет собой малые по величине сигналы на фоне больших сигналов от общего радиоизлучения Солнца. Это приводит к необходимости постановки экспериментов с реализацией предельных чувствительностей и точностей измерений, созданию специальных методик получения и обработки данных и их анализа.

Актуальными являются и вопросы геоэффективности происходящих на Солнце событий с мощным энерговыделением и прогноз наиболее важных из них.

Создание прогнозов геоэффективных явлений на Солнце, в том числе и на основе эффектов в радиоизлучении, также лежит в сфере изучения условий и физических процессов в различных структурах солнечной атмосферы на стадиях, предшествующих мощным солнечным событиям. Поскольку солнечные вспышки и корональные выбросы массы – энергетически наиболее мощные явления на Солнце, воздействия тех и других ассоциируются с геомагнитной активностью: авроральными явлениями, геомагнитными бурями, вызванными большими токами, текущими в земной магнитосфере. Мощные вспышки и корональные выбросы массы ассоциируются и с высокими потоками энергичных частиц (протонные события) в околоземном пространстве.

Таким образом, исследование явлений, предшествующих возникновению солнечных вспышек и корональных выбросов массы, направленное на понимание условий их возникновения, представляет важную актуальную задачу современных солнечных исследований.

Цель работы

Развитие радиофизических методов и определение параметров структур солнечной атмосферы и происходящих в них процессов на основе экспериментальных и теоретических исследований радиоизлучения Солнца в периоды, предшествующие событиям с мощным энерговыделением, развитие методов диагностики физических параметров областей излучения.

Научная новизна диссертационной работы определяется полученными оригинальными результатами и состоит в следующем.

1. Выполнен значительный объем работ по исследованию радиоастрономическими методами процессов на Солнце, предшествующих мощным событиям на Солнце – вспышкам и корональным выбросам массы:

- найдены проявления этих событий в радиодиапазоне в широком спектре микроволнового излучения, которые интерпретированы и классифицированы как микроволновые предвестники солнечных вспышек и корональных выбросов массы;
- проведены широкие экспериментальные исследования с использованием созданной к началу этих работ аппаратуры – спектрографов последовательного анализа в диапазоне 8–17 ГГц;
- проведены статистические исследования с использованием данных радиоастрономической станции НИРФИ «Зименки» и данных станций Мировой службы Солнца в радиодиапазоне, охватывающих сантиметровый и дециметровый диапазоны, в различные периоды трёх одиннадцатилетних циклов солнечной активности;

- исследованы спектрально-временные характеристики спорадической компоненты радиоизлучения на предшествующей мощным солнечным событиям стадии.
- 2. Разработаны новые методы диагностики параметров плазмы в областях слабого энерговыделения на основе спектральных данных радиоизлучения с высоким частотным разрешением и определения характеристик плазмы солнечных вспышек на основе совместных спектральных наблюдений с высоким временным разрешением в радио и рентгеновском диапазонах излучений.
- 3. Предложены на основании проведенных расчетов и имеющихся новых экспериментальных результатов усовершенствованные модели вспышечных петель.
- 4. Показано на основании модельных расчётов спектрально-поляризационных характеристик теплового циклотронного излучения корональной магнитной петли, что спектр излучения тонкой петли содержит циклотронные линии на длинах волн, соответствующих гармоникам электронной гирочастоты, отвечающих магнитному полю в горячей петле.
- 5. Развита метод прогноза мощных солнечных вспышек, использующий динамику изменений характера солнечного радиоизлучения за 1-3 дня до события – рост амплитуды долгопериодных ($T > 30$ минут) пульсаций радиоизлучения. Получен патент на изобретение этого метода, свидетельствующий о возможной практической реализации данного метода.
- 6. Разработан и развит ряд методов обработки и анализа экспериментальных спектрографических данных, позволивший обнаружить узкополосную компоненту радиоизлучения на стадиях предвестников и импульсной фазе всплесков, определять двухкомпонентный состав излучения и относительный вклад этих компонент.

Методы и подходы, используемые в диссертации

Использование экспериментальных данных в широком спектре микроволнового излучения, включая спектрографические данные на отдельных участках спектра.

Проведение статистических исследований, использующих данные Мировой Службы Солнца в радиодиапазоне, охватывающих значительные временные периоды (до 3-х циклов солнечной активности).

Использование современных методов обработки и анализа данных, их развитие и применение специально разработанных программ для решения задач поставленных исследований.

Применение современных компьютерных методов расчета для развития модельных представлений и их согласования с имеющимися экспериментальными данными. Привлечение развитых другими авторами современных моделей солнечных структур и сценариев развития солнечных событий.

Верификация полученных результатов с имеющимися данными в научной литературе и каталогах во всем спектре электромагнитного излучения.

Научное и практическое значение диссертационной работы

Для понимания природы таких сложных явлений как солнечная вспышка и корональные выбросы массы с многообразием условий их реализации, необходимо накопление информации о физических условиях, происходящих в солнечной атмосфере, как во время самой вспышки и регистрации выбросов, так и в периоды, предшествующие указанным явлениям. Задачи, рассмотренные в диссертации, являются вкладом в решение этой проблемы.

В частности, по данным микроволнового излучения Солнца, имеющего характерные времена жизни порядка единиц и десятков секунд, определены параметры вспыхивающей петли, на больших временных интервалах (от суток до десятков минут) выявлены свойства и параметры нестационарных явлений в радиоизлучении, предшествующих регистрации корональных выбросов массы и вспышек, предложены и рассчитаны модели микроволнового излучения на предвспыхивающей стадии.

Показана перспективность использования выявленных спектрально-временных характеристик отчетливых предвспыхивающих явлений с характерными временами несколько десятков минут до начала импульсной фазы всплеска для выяснения механизмов накопления и выделения энергии во вспышке и задач оперативного прогноза и диагностики параметров вспышек.

Разработанный метод диагностики физических параметров вспыхивающих петель может быть применен для получения новой информации о существующих вариациях основных параметров петель, а также при исследованиях конкретных вспыхивающих событий и условий их возникновения и развития.

Разработанный метод краткосрочного прогноза мощных солнечных вспышек по долгопериодным пульсациям радиоизлучения может быть внедрен и использован в задачах информационного обеспечения безопасности космических полетов и функционирования аппаратуры космических и летательных аппаратов, работы энергетических сетей, профилактической медицины и др.

Обоснованность научных положений и выводов, достоверность полученных результатов обусловлены:

- применением современных методик регистрации и обработки экспериментальных данных;
- сопоставлением результатов экспериментальных и статистических исследований с теоретическими представлениями и результатами других авторов, а также собственными проведёнными теоретическими обоснованиями и расчётами;
- использованием апробированных методов исследования;
- экспертными оценками при публикации основных результатов исследований в рецензируемых научных изданиях.

На защиту выносятся:

1. Результаты экспериментальных и наблюдательных исследований, разработки и усовершенствования радиофизических методов анализа спорадической компоненты микроволнового излучения Солнца, позволившие:
 - обнаружить узкополосную компоненту излучения на предвсплесковой и импульсной фазах микроволновых всплесков;
 - показать на основе предложенной методики использования временных рядов наблюдений на многих частотах соотношение компонент, обусловленных различными механизмами излучения, во всплесках;
 - определить по разработанной методике распределение спектрального индекса радиоизлучения и слабых магнитных полей на Солнце при использовании данных интегральных, поляризационных и дифференциальных параметров радиоизлучения при наблюдении затмений.
2. Результаты статистических исследований микроволнового излучения,
 - предшествующего солнечным вспышкам, приведшие к установлению временного интервала возникновения предвестников и особенностей динамики спектра излучения предвестника по мере его развития;
 - предшествующего корональным выбросам массы, приведшие к установлению неизвестных ранее соотношений между характеристиками такого излучения, параметрами последующих выбросов и их типом.
3. Результаты теоретических исследований физических процессов, связанных с генерацией электромагнитных волн, содержащие:
 - разработку модели возникновения эффекта увеличения амплитуд флуктуаций сантиметрового радиоизлучения локальных источников на Солнце, обусловленного изменяющимися физическими условиями в источнике при совместном действии тормозного и магнитотормозного механизмов излучения;
 - расчет и анализ спектрально-поляризационных характеристик теплового циклотронного излучения предвспышечных корональных петель при разных моделях магнитного поля;
 - усовершенствование модели структуры солнечной петли, обеспечивающей сценарий формирования и развития узкополосной компоненты излучения микроволновых предвестников.
4. Результаты развития методов диагностики параметров предвспышечной и вспышечной плазмы, позволившие:
 - разработать и применить метод диагностики параметров плазмы в областях слабого энерговыделения на основе спектральных данных радиоизлучения с высоким частотным разрешением;
 - реализовать метод определения характеристик плазмы солнечных вспышек на основе совместных спектральных наблюдений с высоким

временным разрешением в радио и рентгеновском диапазонах излучений;

- определить параметры энергичных электронов на Солнце по наблюдаемому радиоизлучению в дециметровом-метровом диапазонах и выдвинуть предположения об их источниках.

5. Результаты создания основ методов прогнозирования мощных явлений солнечной активности, заключающиеся:

- в развитии метода краткосрочного прогноза мощных солнечных вспышек на основе динамики долгопериодных пульсаций солнечного микроволнового радиоизлучения;
- в предложениях по возможному направлению краткосрочного на интервале 1-3 суток прогнозирования корональных выбросов массы на основе совокупности особенностей спектрально-временной динамики микроволнового излучения;
- в предложении метода оценки времени отрыва корональных выбросов массы от поверхности Солнца на основе использования совокупности данных микроволнового радиоизлучения предвестников;
- в экспериментальном обосновании метода сверхкраткосрочного прогноза (на интервале 120 минут) геоэффективных корональных выбросов массы на основе временной динамики интенсивности микроволнового излучения в широком спектральном интервале;
- в прогностических оценках геоэффективных проявлений солнечной активности по изучению взаимосвязей между различными геоэффективными возмущениями (естественными ионосферными возмущениями, возмущениями в параметрах околоземной плазмы) и характеристиками явлений солнечной активности.

Апробация работы

Основные результаты диссертации представлялись на ежегодных научных семинарах секции «Радиофизические исследования солнечной системы» научных советов РАН по проблемам «Радиоастрономия» и «Физика солнечно-земных связей» в период с 1981 по 1998 годы, докладывались на симпозиумах и совещаниях КАПГ (Рига, 1982; Самарканд, 1989), Рижских школах по физике космической плазмы (1980; 1982; 1984), Всесоюзных конференциях по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы (Звенигород, 1984; Одесса, 1985; Симферополь, 1988; Пущино, 1993; Н. Новгород, 1994), международных Волжских школах по физике космической плазмы (Н. Новгород, 1993; 1995; 1997), Международной научной конференции «Структура и динамика солнечной короны», посвященной памяти проф. Г.М.Никольского (Троицк, 1999), международной конференции «Солнце в максимуме активности и солнечно-звездные аналогии» (Санкт-Петербург, 2000), Конференции стран СНГ и Прибалтики «Активные процессы на Солнце и звездах» (Санкт-

Петербург, 2002), конференциях по физике солнечно-земных связей (Иркутск, 2001, 2004), конференции стран СНГ и Прибалтики «Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности» (Н.Новгород, 2003), Всероссийской астрономической конференции ВАК-2004 «Горизонты Вселенной» (Москва, 2004), Всероссийской конференции «Экспериментальные и теоретические исследования основ прогнозирования гелиогеофизической активности» (Троицк, 2005), I и II международных симпозиумах «Солнечные экстремальные события» (Москва, 2003; Нор Амберд, 2005), Международном симпозиуме «Международный гелиофизический год 2007. Новый взгляд на солнечно-земную физику» (Звенигород, 2007), Всероссийских конференциях «Физика плазмы в солнечной системе» (Москва, 2008, 2009, 2010, 2012), Всероссийских ежегодных конференциях по физике Солнца (С.-Петербург, 2009, 2010), научных конференциях по радиофизике (Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2009, 2010), конференциях Сообщества европейских солнечных радиоастрономов (Утрехт, 1993; Потсдам, 1994; Эспу-Хельсинки, 1998; Сабхал Мор Остайг, 2004; Иоаннина, 2007), Европейских конференциях по Солнечной физике (Дебрецен, 1990; Катания, 1993; Салоники, 1996; Флоренция, 1999; Прага, 2002), совещаниях международной рабочей группы по Космической погоде (Ноордвийк, 1999; Триест, 2004), 8-ом Международном симпозиуме по Солнечно-земной физике (Сендай, 1994), 24-ой конференции Международного астрономического союза «Солнце и Космическая погода» (Манчестер, 2000), 1-ой S-RAMP конференции (Саппоро, 2000), Международных конференциях по космическим лучам (Гамбург, 2001; Пекин, 2011), Второй европейской конференции «Солнечный цикл и Космическая погода» (Неаполь, 2001), 23 Генеральной ассамблее Международного союза по геодезии и геофизике (Саппоро, 2003), Второй европейской неделе по Космической погоде (Ноордвийк, 2005), Симпозиуме международного астрономического союза №226 «Корональные и звездные выбросы массы» (Пекин, 2004), на Генеральных ассамблеях COSPAR (Хьюстон, 2002; Париж, 2004; Монреаль, 2008), на Генеральных ассамблеях EGU (Ница, 2004; Вена, 2005; Вена, 2010), научной ассамблее Международной ассоциации по геомагнетизму и аэрономии (Тулуза, 2005), Астрофизическом коллоквиуме «Динамические процессы в солнечной атмосфере» (Хвар, 2006), а также регулярно докладывались на семинарах ФГБНУ НИРФИ.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 85 работ. Из них 26 статей – в рецензируемых отечественных журналах, в том числе 18 – в отечественных журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертационных работ, 13 статей в зарубежных журналах и 12 статей в научных периодических изданиях, включенных в международные системы цитирования, 4 препринта НИРФИ, 23 работы – публикации докладов в трудах

всероссийских и международных конференций, остальные – тезисы докладов всероссийских и международных конференций.

Личный вклад автора

Автору диссертации принадлежит определяющая роль в постановке задач, изложенных в диссертации, по изучению радиометодами предвспышечных процессов и процессов на стадии формирования и начального распространения корональных выбросов массы.

Значительная часть экспериментальных исследований выполнена при личном участии автора.

Автором проведена большая часть статистической обработки данных, используемых в диссертации.

Автор принимал участие в создании специализированной системы регистрации данных на спектрографах (УРЦД) и разработке программного обеспечения для системы обработки.

Расчеты, приведенные в диссертации, выполнены автором самостоятельно или в соавторстве (разделы 3.2–3.4, 4.4), что нашло отражение в ссылках на опубликованные работы. В тех случаях, когда упоминаются экспериментальные и теоретические результаты, полученные другими авторами, в диссертации приводятся соответствующие ссылки.

Учитывая то обстоятельство, что экспериментальные и статистические исследования с использованием значительного объема данных, получаемых на различных инструментах, как правило, невозможно провести единолично, большинство работ автора по теме диссертации написано в авторских коллективах.

Автору принадлежат:

- Усовершенствование модели структуры солнечной петли, обеспечивающей сценарий формирования и развития узкополосной компоненты излучения микроволновых предвестников.

- Метод диагностики параметров плазмы в областях слабого энерговыделения на основе спектральных данных радиоизлучения с высоким частотным разрешением.

- Метод оценки времени отрыва корональных выбросов массы (КВМ) от поверхности Солнца на основе использования совокупности данных микроволнового радиоизлучения предвестников.

- Экспериментальное обоснование метода сверхкраткосрочного прогноза (на интервале 120 минут) геоэффективных КВМ на основе временной динамики интенсивности микроволнового излучения в широком спектральном интервале.

- Изложенные в диссертации методы обработки и анализа данных наблюдений в широком спектральном интервале микроволнового излучения:

Участие соавторов в разработке методов и получении результатов на основе их применения равноправное.

Автору принадлежит определяющая роль в получении основных результатов, изложенных в диссертации.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из Введения, 5 глав, Заключения, Приложения и Списка использованной литературы из 528 наименований. Объем текста диссертации составляет 330 страниц, включая 145 рисунков и 20 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **Введении** обоснована актуальность исследований, сформулирована цель работы, кратко изложены основные результаты, отмечена их новизна, научная и практическая значимость. Дано краткое содержание диссертации.

В **главе 1** описано развитие методов обработки и анализа данных наблюдений в широком спектральном интервале микроволнового излучения. Материал изложен в нескольких разделах. В **разделе 1.1** приводятся принципы методики наблюдений особенностей в радиоизлучении, обладающих небольшими на фоне мощной континуальной составляющей интенсивностями, и требования к приемной аппаратуре. В 1.1.1 изложен способ обнаружения узкополосной ($\Delta f < f_{\text{ср}}$ спектрографа) компоненты излучения на предвсплесковой и импульсной фазах микроволнового всплеска, основанный на последовательном вычитании текущих спектров радиоизлучения. В 1.1.2 приведены условия применения способа в наблюдениях поляризованного излучения, основанные на отличии в степенях поляризации узкополосной компоненты и континуума: предполагается, что узкополосная компонента имеет пучковое происхождение, а континуум связан с излучением плазменной турбулентности вследствие развития конусной неустойчивости в области энергосвечения. С использованием предложенного в 1.1.1 способа выделения узкополосного излучения обнаружена поляризованная узкополосная компонента излучения. **Раздел 1.2** посвящен совершенствованию спектрально-временной обработки данных микроволнового излучения. В 1.2.1 проведен анализ общей динамики и поведения спектрального индекса радиоизлучения во всплесках, на основе которого обнаружен двухкомпонентный состав излучения. Характер изменения спектрального индекса в компонентах позволяет отнести первую из них к тепловому излучению вспышечной плазмы, а вторая может быть связана с излучением ускоренных во вспышке электронов. На основе решения согласованной задачи о выделении второй компоненты излучения и в предположении гиросинхротронного механизма излучения ускоренных на импульсной фазе электронов оценено их количество, хорошо согласующееся со значением, полученным по рентгеновским данным. **Раздел 1.3** посвящен разработке метода исследования временной и тонкой пространственной структуры солнечных образований на основе применения спектральных данных наблюдений солнечных затмений. Предложен метод определения спектрального индекса радиоизлучения и развит метод определения

магнитных полей солнечного флоккула. **Раздел 1.4** посвящен расширению возможностей использования данных мониторинга радиоизлучения Солнца в широком диапазоне длин волн для изучения динамики солнечной активности в периоды, предшествующие мощным энерговыделениям (корональным выбросам массы и вспышкам). Целью являлось рассмотрение методических особенностей обработки результатов наблюдений слабых проявлений солнечной активности и получение информации о предвсплесковой активности и её динамике в широком диапазоне радиоволн. Для этого предложен и развит спектральный подход к исследованиям предвсплесковых ситуаций, характеризующий развитие активности на большом масштабе высот солнечной атмосферы и позволяющий получать более полную информацию о динамике развития активности. **Раздел 1.5** содержит Выводы по главе 1.

В главе 2 приведены результаты экспериментальных исследований динамики мощных явлений солнечной активности, наблюдаемой в микроволновом диапазоне.

Раздел 2.1 посвящен исследованию предвестников микроволновых всплесков. Согласно определению [27*] предвестниками (precursors) часто называют группу явлений солнечной активности, происходящих на интервалах времени, более длинных, чем импульсная (flash) фаза, но более коротких, чем процесс эволюции активной области, и представляющих собой непрерывные изменения, переходящие во вспышку. Их относят к категории отчётливых (distinct) событий. В данном исследовании термин «предвестник» используется для описания явлений в радиоизлучении Солнца, предшествующих импульсной фазе микроволновых всплесков. В 2.1.1 дано состояние проблемы по изучению предвсплесковых явлений на дискретных частотах, приводится их классификация и основные параметры. В 2.1.2 приведен анализ данных наблюдений микроволновых предвестников, полученных на спектрографе 8–12 ГГц в экспериментах на РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории. Показано, что не менее 30% всплесков средней интенсивности связаны с предвестниками типа ступенчатого подъема излучения. По экспериментальным данным рассмотрена динамика формы спектра предвестников и характеристики волновых движений, существующих в солнечной атмосфере на стадии излучения континуума предвестника. Показано с применением спектрально-корреляционного анализа, что такие волновые движения соответствуют распространению возмущения из верхних слоёв атмосферы Солнца в нижние в периоды, предшествующие взрывной фазе. В статистическое исследование предвестников, результаты которого приведены в 2.1.3, вошли данные радиослужбы Солнца станции «Зименки» за более чем два одиннадцатилетних цикла солнечной активности (1970–1994 гг.). Проведено сравнение предвестников мощных солнечных микроволновых всплесков, связанных и не связанных с солнечными протонными событиями. Построены распределения числа предвестников в зависимости от времени их появления до начала

импульсной фазы микроволновых всплесков. Показано, что протонным событиям соответствуют предвспышечные явления в более широком диапазоне длин волн – они регистрируются не менее, чем на трёх частотах сантиметрового и дециметрового диапазонов, т.н. широкополосные предвестники. Наблюдается также существенное различие в среднем времени существования исследуемых предвестников, составляющее 30 и более минут для протонных событий в 80% случаев и не превышающее 20-ти минут для непотонных событий в 75% случаев. При этом прослеживается зависимость времени существования предвестников от балла протонности вспышечных событий. Приведены результаты статистических исследований зависимости характеристик предвестников от положения источника излучения на диске Солнца. Обнаружено снижение времени появления широкополосных предвестников для событий, происходящих близко к краю солнечного диска и за его лимбом – эффект «направленности» в излучении предвестников.

Раздел 2.2 посвящен исследованию спектрально-временных характеристик микроволнового излучения перед регистрацией корональных выбросов массы (КВМ). В 2.2.1 дано краткое описание экспериментальных данных о связи явлений, наблюдающихся в нижней короне, с корональными выбросами, впоследствии регистрируемыми на коронографах. Результатам исследования связи с корональными выбросами явлений, наблюдающихся в микроволновом диапазоне излучения Солнца, посвящен подраздел 2.2.2. При этом анализ проведен на временной шкале от нескольких суток до нескольких минут до регистрации корональных выбросов на коронографе SOHO LASCO. Исследование эволюции потока радиоизлучения в сантиметровом диапазоне, результаты которого приведены в 2.2.2.1, показало, что перед регистрацией корональных выбросов массы во время экстремальных событий января 2005 года обнаруживается рост амплитуды долгопериодных ($T > 20$ мин) пульсаций микроволнового излучения. Связь КВМ с явлениями, наблюдающимися в микроволновом диапазоне излучения Солнца за несколько часов до регистрации, рассмотрена в 2.2.2.2. По аналогии с определением явлений в радиоизлучении Солнца, предшествующих импульсной фазе микроволновых всплесков, как предвестников, для описания явлений в радиоизлучении Солнца, предшествующих значительному числу регистраций коронографами корональных выбросов массы, введён термин «радиопредвестники корональных выбросов массы», далее предвестники КВМ. Зачастую – это более мощные, уже всплесковые события, наблюдающиеся не только на фазе распространения корональных выбросов массы в солнечной атмосфере, но и на фазе их формирования, поскольку временной интервал анализа явлений в радиоизлучении больше оценки времени распространения корональных выбросов массы от поверхности Солнца до расстояния $\leq 2 R_{\odot}$, на котором корональные выбросы и регистрируются коронографом LASCO/C2. Анализ данных радиоизлучения Солнца за 1–2 часа до регистрации выбросов по наблюдениям

отдельных событий на станции Службы Солнца в радиодиапазоне «Зимёнки» приведен в 2.2.2.3 и показано, что наиболее характерные времена отставания регистрации КВМ от наблюдений спорадической компоненты составляет от 20-ти до 60-ти минут. Результаты статистических исследований, проведенных по данным мониторинга солнечной активности в радиодиапазоне на станции Службы Солнца «Зимёнки», обсуждаются в 2.2.2.4. В частности, показано, что большинство событий формирования корональных выбросов массы сопровождается нестационарными явлениями в радиодиапазоне (около 80% в 1998 и 88% в 1999 гг. от общего числа случаев в выборке), а частота появления событий спорадического радиоизлучения примерно в 4 раза выше для интервалов времени, связанных с существованием корональных выбросов, чем при их отсутствии. Приведенные в 2.2.2.5 результаты статистических исследований связи спорадического микроволнового излучения и корональных выбросов массы на основе данных мировой службы Солнца подтверждают выводы о существовании предвестников КВМ на двухчасовом интервале перед регистрацией выбросов на коронографе. В 2.2.2.6 статистическими исследованиями выявлено, что на выбранном для исследований временном интервале до регистрации корональных выбросов на коронографе LASCO/C2 (не более 120 мин) в значительном числе случаев (до 60%) наблюдаются микроволновые предвестники различных типов (в соответствии с международной классификацией радиовсплесков), которые могут содержать как импульсную, так и постепенную компоненты излучения или их сочетание, установлены соотношения между характеристиками радиопредвестников и наблюдаемыми параметрами последующих корональных выбросов массы, выявлена статистическая зависимость между спектральными характеристиками предвестников КВМ и угловым раскрывом, а также начальной скоростью последующих корональных выбросов массы, возникающих на видимой части солнечного диска. На основании проведенных исследований в 2.2.2.7 предложен экспериментальный способ определения времени отрыва корональных выбросов массы по радиоданным, связанный с наличием широкополосных импульсных радиопредвестников. В 2.2.2.8 отдельно подробно рассмотрены микроволновые предвестники корональных выбросов массы типа гало. Показано, что перед такими выбросами, возникшими на видимой стороне солнечного диска, наблюдаются постепенные (типов *GRF* или *R*) широкополосные микроволновые предвестники КВМ, которые появляются во всём диапазоне частот на временном интервале от 60 до 20 мин до регистрации корональных выбросов массы на коронографе; радиопредвестники демонстрируют быстрое увеличение интенсивности с последующим плавным её уменьшением, которое не завершается с началом регистрации выброса на LASCO/C2. Особенности в микроволновом излучении на интервалах времени меньше 25 мин до регистрации корональных выбросов обсуждаются в 2.2.2.8: на длинах волн 3 и 10 см наблюдаются периодические (с $T \sim 6\text{--}22$ сек) колебания интенсивности. Кроме

того, после регистрации коронального выброса на коронографе (т.е. после прохождения им высот солнечной атмосферы, где радиоизлучение на этих длинах волн формируется) в большинстве рассматриваемых случаев такие колебания в излучении λ 3 см исчезают и значительно ослабевают в излучении λ 10 см.

Раздел 2.3. содержит Выводы по главе 2.

Глава 3 посвящена развитию физических представлений о параметрах и динамике явлений солнечной активности в микроволновом диапазоне. В **разделе 3.1** на основе модельных представлений показана эффективность использования наблюдений дифференциальной спектральной характеристики потока микроволнового излучения Солнца (разности интенсивностей на двух близких длинах волн – наклона спектра) для исследований ряда динамических процессов на Солнце (3.1.1) и рассмотрен возможный механизм возникновения эффекта увеличения амплитуд флуктуаций сантиметрового излучения локальных источников на Солнце, обусловленный изменяющимися физическими условиями в источнике при совместном действии тормозного и магнитотормозного механизмов излучения (3.1.2). В **разделе 3.2** обсуждаются спектрально-поляризационные особенности теплового циклотронного излучения солнечных корональных петель в предвысшечный период. В 3.2.1 приведены численные расчёты спектральных и поляризационных характеристик циклотронного излучения горизонтального участка горячих корональных магнитных петель. Влияние спирального магнитного поля на ожидаемую тонкую структуру микроволнового излучения рассмотрено в 3.2.2. Расчётами подтверждена возможность смены знака круговой поляризации микроволнового излучения по диапазону и по гелиографической долготе в случае, если существенный вклад в излучение активных областей вносят корональные магнитные петли. В **разделе 3.3** проведены модельные расчёты ожидаемых спектрально-поляризационных характеристик теплового циклотронного излучения корональной магнитной петли, где в качестве приближения выбрана модель горячего тора. В 3.3.1 рассмотрена модель тора, когда магнитное поле активной области задаётся полем бесконечного тока, и силовые линии в атмосфере Солнца представляют собой полуокружности. В 3.3.2 приведены характеристики теплового циклотронного излучения малых ($R_0=8\cdot 10^8$ см, $a=10^8$ см) и больших ($R_0=5\cdot 10^9$ см, $a=5\cdot 10^8$ см) петель магнитного поля, расположенных на разных гелиографических долготах: распределения яркостной температуры вдоль петель (3.3.2.1), спектры яркостной температуры (3.3.2.2). Поскольку разрешающая способность существующих антенн невелика, для сравнения с реально наблюдаемыми источниками необходимо иметь интегральные характеристики, описывающие излучение всей петли или значительной её части: результаты расчётов потоков излучения в зависимости от величины электронной концентрации в петле, магнитного поля, толщины петли и расположения петли на диске Солнца (гелиографической долготы) приведены в 3.3.2.3. Одним из наиболее интересных эффектов, который

выявлен при расчётах, является изменение знака поляризации по диапазону. Для оценки возможности интерпретации реально наблюдаемых случаев инверсии поляризации микроволнового излучения локальных источников, связанных с активными областями, проведено сравнение ожидаемого распределения поляризации по источнику в зависимости от длины волны с результатами наблюдений на РАТАН-600 активной области AR 7962 12–14 мая 1996 года. В 3.3.3 и 3.3.4 обсуждаются модель петли и особенности спектра излучения корональной петли. В **разделе 3.4** рассмотрены возможные механизмы возникновения элементарных вспышечных событий в солнечном микроволновом излучении. Развита модель генерации узкополосной компоненты радиоизлучения на основе известной модели вспышечной магнитной петли с распространяющимися тепловыми фронтами и плазменного квазилинейного механизма генерации вблизи фронтов. Предложена модель генерации микроволнового предвестника ступенчатого типа. Излучение обусловлено плазменной турбулентностью, вызванной малой высыпающей порцией надтепловых электронов, продолжающих существовать в течение длительного времени в вершине корональной магнитной петли. Проведено сравнение эффективности генерации радиоизлучения в рамках предложенного плазменного и обычно применяемого гиросинхротронного механизма. Рассчитаны параметры обеих моделей для различных петель. Из приведенного анализа следует, что плазменный механизм излучения может рассматриваться как альтернативный для объяснения солнечного радиоизлучения, по крайней мере, до частот 10 ГГц. Наблюдаемая частотная зависимость длительности «ступенчатых» предвестников служит подтверждением гипотезы о плазменном механизме излучения. **Раздел 3.5.** содержит Выводы по главе 3.

Глава 4 посвящена вопросам развития методов диагностики параметров солнечной плазмы. В **разделе 4.1** содержатся результаты оценки роли энергичных электронов на импульсной фазе микроволновых всплесков: количество релятивистских частиц хорошо согласуется с числом ускоренных электронов в слабых вспышечных событиях, полученным по рентгеновским данным. В **Разделе 4.2** рассматриваются положения методики диагностики таких параметров вспышечных петель, как концентрация и масштабы неоднородности плазмы в области источника излучения, а также поперечный размер области энерговыделения по наблюдениям «плазменной линии» — узкополосной, дрейфующей по частоте компоненты излучения. В **Разделе 4.3** по данным о поляризационной структуре слабых микроволновых событий типа «ступеньки» в рамках плазменной модели генерации оценена величина магнитного поля в области источника излучения, а также ширина углового спектра плазменных волн, связанных с развитием конусной неустойчивости. В **Разделе 4.4** приведена реализация метода диагностики плазмы солнечных вспышек на основе совместных спектральных наблюдений мощной вспышки с высоким временным разрешением в радио и рентгеновском диапазонах излучений. Оценены

плотность окружающей среды, показатель степени функции инжекции нетепловых электронов, общее число электронов в микроволновом источнике, магнитное поле в области источника. В **Разделе 4.5** обсуждаются возможности диагностики физических условий в корональной петле по полной информации о спектре и поляризации микроволнового излучения источника и деталям распределений радиояркости, полученным в моделях (**Раздел 3.3**). В **Разделе 4.6** рассмотрена возможность выявления источников энергичных электронов на Солнце и определения их параметров по наблюдаемому радиоизлучению в дециметровом-метровом диапазонах на основе использования радиопроявлений электронных пучков в виде всплесков III типа и излучения I типа и типа «спайк», являющимися областями ускорения электронов. **Раздел 4.7.** содержит Выводы по главе 4.

Глава 5 посвящена созданию основ методов прогноза мощных явлений солнечной активности и их геоэффективных проявлений. Обсуждается современное состояние проблемы создания методов краткосрочного прогнозирования геоэффективных явлений на Солнце. Обращается внимание на возможность использования данных наблюдений долгопериодных с $T \geq 20$ мин пульсаций солнечного радиоизлучения для целей прогнозирования протонных вспышек на Солнце, которые впервые были обнаружены перед мощными событиями августа 1972 г. В **разделе 5.1** приведены научно-методические основы прогнозирования геоэффективных солнечных вспышек по наблюдениям динамики долгопериодных пульсаций солнечного микроволнового радиоизлучения и описана методика краткосрочного прогноза мощных солнечных вспышек. Исследования проведены на основе использования данных наблюдений на специально разработанном комплексе радиотелескопов трехсантиметрового диапазона, регистрирующем интенсивность и наклон спектра излучения. При проведении анализа статистических характеристик распределений долгопериодных пульсаций рассматривались данные отдельных интервалов наблюдений 1977–1980 гг., проводившихся на радиотелескопе РТ-2Ф НИРФИ в ГАС ГАО АН СССР. Для создания алгоритма прогноза мощных солнечных вспышек определены основные исходные параметры: указан исходный уровень амплитуды долгопериодных пульсаций радиоизлучения, доказана достоверность обнаруженного эффекта и задано пороговое значение амплитуды пульсаций. Установлено, что с 5-процентным уровнем значимости исходный уровень амплитуд не зависит от погодных условий и слабой вспышечной активности. Доказана с 10-процентным уровнем значимости статистическая достоверность факта увеличения амплитуды долгопериодных пульсаций радиоизлучения Солнца перед протонной вспышкой и спад после нее. В 5.1.3 предлагается правило, позволяющее прогнозировать факт протонной вспышки по характеристикам долгопериодных пульсаций радиоизлучения. Проведен анализ имеющихся наблюдений с использованием таблиц сопряженности. Показано, что предложенное прогностическое правило имеет

статистически значимое превышение оправдываемости над «слепым» прогнозом. Проведены экзаменационные испытания и проверка эффективности предложенной методики прогнозирования по данным долгопериодных пульсаций наклона спектра потока солнечного радиоизлучения за 1977–1980 годы. Показано, что возможности применения метода краткосрочного прогнозирования могут быть расширены при использовании наблюдений на станции Службы Солнца в радиодиапазоне без изменения методики ежедневных наблюдений потоков радиоизлучения Солнца (по данным РАС НИРФИ «Зименки»). В **разделе 5.2** предложено развитие возможного направления краткосрочного на интервале от 1 до 3 суток прогноза корональных выбросов массы – мощных энерговыделений на Солнце. Основой послужила совокупность полученных результатов исследования особенностей спектрально-временной динамики микроволнового излучения, наблюдаемых на этом интервале перед регистрацией корональных выбросов (**Раздел 2.2**). В **разделе 5.3** даны основные сведения об использовании параметров солнечного микроволнового излучения для прогноза геоэффективных проявлений солнечной активности. Наряду с указанием на выявленное отличие во временах существования широкополосных предвестников протонных и непротонных всплесков в микроволновом диапазоне, что предполагает возможность использования данных радиоизлучения слабой солнечной активности для целей сверхкраткосрочного прогнозирования, дано экспериментальное обоснование метода сверхкраткосрочного (на интервале 120 минут) прогноза геоэффективности корональных выбросов массы на основе временной динамики интенсивности микроволнового излучения в широком спектральном интервале. В **Разделе 5.4** обсуждается связь явлений солнечной активности с характеристиками естественных ионосферных возмущений. Установлено наличие синхронных характерных периодов 2–4 года параметров F-рассеяния и потоков солнечного радиоизлучения на 10,7 см по результатам анализа материалов тридцатилетних наблюдений в РАС НИРФИ «Зименки». Проанализирована связь между корональными выбросами массы и критической частотой отражения радиосигнала при зондировании ионосферы f_0F2 . Выявлена корреляция во времени периодов существования корональных выбросов массы и отрицательных «выбросов» в значениях второй производной Δf_0F2 . **Раздел 5.5** посвящен анализу проявления в магнитном поле Земли явлений солнечной активности. На примере вспышки 14 июля 2000 г. по данным H -компоненты магнитного поля Земли (станция Москва) показан рост за 2 дня до протонной вспышки на Солнце амплитуд спектральных составляющих долгопериодных ($T > 20$ мин) пульсаций, а затем и общий подъем уровня всех спектральных составляющих. **Раздел 5.6** содержит Выводы по главе 5.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

В **Приложении** приведено описание автоматизированной системы сбора и обработки больших массивов данных, полученных на спектрографах последовательного анализа с высоким временным разрешением за длительные

периоды, позволяющая решать задачи ввода, накопления информации, проводить анализ временных и частотных характеристик наблюдаемых сигналов. Система, разработанная с участием автора, обеспечивает обработку большого объема информации, полученной на спектрографах и использованной в проведенных исследованиях.

Основные результаты диссертационной работы

1. На основе проведенного цикла экспериментальных исследований и совершенствования методов регистрации и обработки наблюдательных данных получен ряд новых результатов по закономерностям в структуре и динамике солнечного радиоизлучения, предшествующего вспышечным событиям:
 - выявлена узкополосная структура микроволнового радиоизлучения на стадиях предвестника и восходящей фазе микроволнового всплеска с параметрами: $\Delta f \sim 2 \div 3$ ГГц, скорость положительного частотного дрейфа $\nu_{др} \sim 1 \div 2$ ГГц/с. Степень круговой поляризации излучения узкополосной компоненты предвестника достигает $\sim 20\%$, снижаясь затем до необнаружимого уровня $< 10\%$;
 - показано существование волновых движений с периодами 9 – 18 с на стадии предвестников микроволновых всплесков, направленных из верхних слоёв атмосферы Солнца в нижние;
 - выявлено на стадии, предшествующей микроволновому всплеску, наличие особенностей излучения «ступенчатого» типа с характерным временем жизни от 30 до 100 с, находящих объяснение в излучении надтепловых частиц в корональных петлях после первичного энерговыделения.
2. В результате исследований с использованием данных, охватывающих XXI–XXIII циклы солнечной активности, установлены соотношения между спорадической компонентой микроволнового излучения на стадии, предшествующей корональным выбросам массы, и их параметрами, заключающиеся:
 - в существовании статистической зависимости между спектральными характеристиками предвестников КВМ, наблюдающихся на интервале 120 минут до регистрации коронального выброса, и угловым раскрытием, а также начальной скоростью последующих корональных выбросов массы, возникающих на видимой части солнечного диска;
 - в выявлении свойств предвестников КВМ с превалирующей дециметровой компонентой излучения (как и в случаях наличия только этой компоненты), заключающиеся в том, что значительное большинство из последующих корональных выбросов массы имеют угловую ширину менее 75° , а превалирующая дециметровая компонента предвестников

корональных выбросов массы свидетельствует о невысокой начальной скорости выбросов ($V < 600$ км/с);

- в разделении времён существования предвестников на интервале 120 минут до регистрации коронального выброса: постепенные (RF , GRF) широкополосные предвестники наблюдаются на меньших интервалах времени, чем импульсные (S , C).

3. Установлен спектрально-временной характер микроволнового излучения для обладающих наибольшей потенциальной геоэффективностью корональных выбросов массы типов гало, частичное гало и петли:

- получено, что спорадическое радиоизлучение на интервале 120 минут до регистрации коронального выброса массы наблюдается в 4 раза чаще в периоды, предшествующие регистрации корональных выбросов, чем в периоды их отсутствия;
- указанным типам корональных выбросов предшествуют широкополосные (с $\Delta f \sim f_{cp}$) радиопредвестники.

4. Проведены расчёты теплового циклотронного излучения горячих корональных петель при разных моделях магнитного поля. Показано при анализе спектрально-поляризационных характеристик теплового циклотронного излучения корональных петель:

- спектр излучения тонкой петли содержит циклотронные линии на длинах волн, соответствующих гармоникам электронной гирочастоты, отвечающих магнитному полю в горячей петле; спектр относительно толстой петли имеет один обобщённый максимум, смещённый в сторону длинных волн от максимума фонового источника;
- при определённых соотношениях между параметрами петли и окружающей короны в некотором интервале частот преобладающим становится излучение обыкновенной волны, что приводит к эффекту инверсии поляризации по диапазону;
- в излучении горячей корональной петли со спиральным магнитным полем в некоторых частотных интервалах проявляется тонкая структура спектра.

5. Предложено усовершенствование модели структуры солнечной петли, обеспечивающей сценарий формирования и развития узкополосной компоненты излучения микроволновых предвестников. Источник излучения (надтепловые электроны, захваченные в петле) располагается в области фронтов горячей плазмы, медленно расширяющейся (скорость фронта много меньше характерной скорости электронов горячей плазмы) вдоль вспывшей петли от области энергосвободения. В предположении определяющей роли квазилинейных эффектов область ленгмюровской турбулентности (источника всплеска), возбуждаемой пучком убегающих электронов, оказывается в значительной степени прижатой к тепловому

фронту, который медленно движется вместе с ним вдоль петли из короны в хромосферу и вызывает частотный дрейф излучения.

6. Разработан и применен метод диагностики параметров плазмы в областях слабого энерговыделения на основе спектральных данных радиоизлучения с высоким частотным разрешением. Параметры плазмы оцениваются по наблюдениям «плазменной линии» – узкополосной, дрейфующей по частоте компоненты излучения. По данным о поляризационной структуре слабых микроволновых событий типа ступеньки в рамках плазменной модели генерации оценены концентрация $N_0 \sim 10^{12} \div 2,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$; масштаб неоднородности плазмы в области источника $L_{\text{N0||}} \sim 3 \cdot 10^8 \text{ см}$; поперечный размер области энерговыделения $L_{\perp} \leq 10^8 \text{ см}$; магнитное поле в области источника $B \equiv 200 \div 300 \text{ Гс}$; ширина углового спектра плазменных волн, связанных с развитием конусной неустойчивости, $30^\circ < \theta < 90^\circ$.
7. Реализована методика оценки параметров ускоренных частиц по наблюдаемому радиоизлучению в дециметровом-метровом диапазонах. Так, для модели экспоненциального распределения плотности в атмосфере Солнца величина плотности электронов в области ускорения составляет $n_a \leq 3,4 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$, а стандартные модели солнечной короны, такие как Баумбаха-Аллена или атмосферы в гидростатическом равновесии с тепловой проводимостью дают высоту области ускорения $240 \cdot 10^8 \text{ см}$ и $229 \cdot 10^8 \text{ см}$, соответственно.
8. Развита метод краткосрочного прогноза мощных солнечных вспышек на основе динамики долгопериодных пульсаций солнечного микроволнового радиоизлучения. Реализованы основные положения создания метода: определен пороговый уровень амплитуды пульсаций, проведена проверка достоверности эффекта, на обучающей выборке предложен вариант алгоритма прогноза. Общая оправдываемость предложенного алгоритма прогноза составляет 83%, предупрежденность наличия протонной вспышки 78,5%. Проведены экзаменационные испытания на контрольной выборке. При этом показатели составили следующие величины: общая оправдываемость прогноза 93%, предупрежденность наличия протонной вспышки 90%, ошибка риска метода (пропуска цели) – 0,1, ошибка страховки метода (ложной тревоги) – 0,07.

Совокупность полученных в диссертации результатов можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в экспериментальных и теоретических радиофизических исследованиях, направленных на изучение нестационарных процессов на Солнце, предшествующих мощным энерговыделениям, развитие методов диагностики плазмы и прогнозирования мощных явлений на Солнце.

Цитируемая литература

- 1*. Железняков В.В. Радиоизлучение Солнца и планет. М.: Наука, 1964. 560 с.
- 2*. Железняков В.В. Излучение в астрофизической плазме. М.: Янус-К, 1997. 528 с.
- 3*. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. М.: Наука, 1984. 392 с.
- 4*. Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы: в 8-ми томах. Т. VIII. Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце–Земля. М., 2008.
- 5*. Плазменная гелиогеофизика. В 2 т. / Под ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 672 с.
- 6*. Howard T. Coronal Mass Ejections. An Introduction. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, 2011. 244 p.
- 7*. Мелроуз Д.Б. О плазменном механизме излучения и его роли в происхождении солнечных всплесков // Изв. вузов. Радиофизика. 1977. Т. 20, № 9. С. 1369–1378.
- 8*. Злотник Е.Я. Определение магнитных полей в солнечной короне радиометодами // Изв. вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37, № 7. С. 821–835.
- 9*. Bastian T.S., Benz A.O., Gary D.E. Radio emission from solar flares // An. Rev. Astron. Astrophys. 1998. V. 36. P. 131–188.
- 10*. Флейшман Г.Д., Мельников В.Ф. Солнечные миллисекундные радиоспайки // Успехи физ. наук. 1998. Т. 168. С. 1265–1301.
- 11*. Зайцев В.В. Степанов А.В. Корональные магнитные арки // Успехи физ. наук. 2008. Т. 178, № 11. С. 1165–1204.
- 12*. Benz A.O. Flare Observations // Living Rev. Solar Phys. 2008. V. 5. P. 1. <http://www.livingreviews.org/lrsp-2008-1>
- 13*. «SOLSPA: The Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference»' ESA Space Sci. Proceed. 2002. V. 477. Vico Equense, Italy, 24–29 September.
- 14*. «Solar Physics with the Nobeyama Radioheliograph», Proceedings of Nobeyama Symposium 2004, NSRO Report No. 1.
- 15*. «Coronal and Stellar Mass Ejections» Proceedings IAU, Symposium No. 226 (IAUS-226). K.P. Dere, J. Wang & Y. Yan, eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- 16*. Proceedings IAU Symposium No. 257. N. Gopalswamy and D. Webb, eds. 2008.
- 17*. Lin J., Soon W., Baliunas S.L. Theories of solar eruptions: a review // New Astron. Rev. 2003. V. 47. P. 53–84.
- 18*. Ugarte-Urra I., Warren H.P., Winebarger A.R. The magnetiv topology of Coronal Mass Ejection sources // Astrophys. J. 2007. V. 662. P. 1293–1301.
- 19*. Chifor C., Mason H.E., Tripathi D., Isobe H., Asai A. The early phases of a solar prominence eruption and associated flare: a multi-wavelength analysis // Astron. Astrophys. 2006. V. 458. P. 965–973.

- 20*. Schmieder B., van Driel-Gesztelyi L., Delann'ee C., Simnett G.M., Wilk J.E. The Relationship between CMEs and Prominence Eruptions // Recent insights into the physics of the Sun and heliosphere: Highlights from SOHO and other Space Missions. IAU Symp. 203. 2001. San Francisco, CA:ASP. P. 310–313.
- 21*. Kahler S.W. Solar flares and coronal mass ejections // Annu. Rev. Astron. Astrophys. 1992. V. 30. P. 113–141.
- 22*. Simnett G.M., Harrison R.A. The onset of coronal mass ejections // Solar Phys. 1985. V. 99. P. 291–311.
- 23*. Munro R.H., Gosling J.T., Hildner E., MacQueen R.M., Poland A.I., Ross C.L. The association of coronal mass ejection transients with other forms of solar activity. // Solar Phys. 1979. V. 61. P. 201–215.
- 24*. Bao X., Zhang H., Lin J., Jiang Yu., Li L. Evolution of coronal mass ejections in the early stage // Adv. Space Res. 2007. V. 39. P. 1847–1852.
- 25*. Kai K. Radioheliographic observations // Proc. Astron. Soc. Australia. 1969. V. 1, No. 1. P. 186–190.
- 26*. Kai K., Nakajima H., Kosugi T. Radio observations of small activity prior to main energy release in solar flares // Publ. Astron. Soc. Japan. 1983. V. 35, No. 2. P. 285–297.
- 27*. Martin S.F. Preflare conditions, changes and events // Solar Phys. 1980. V. 68, No. 2. P. 217–236.
- 28*. Kundu M.R. A high spatial resolution study of microwave flare precursors // Adv. Space Res. 1986. V. 6, No. 6. P. 93–96.

Список основных работ автора по теме диссертации

1. Гельфрейх Г.Б., Снегирев С.Д., Фридман В.М., Шейнер О.А. Исследование магнитных полей солнечного флоккула по радиоастрономическим наблюдениям // Изв. вузов. Радиофизика. 1975. Т. 18, № 12. С.1764–1769.
2. Фридман В.М., Шейнер О.А., Тихомиров Ю.В. О методике определения и величинах спектрального индекса радиоизлучения отдельных областей Солнца по наблюдениям затмения 7 марта 1970 г. // Изв. вузов. Радиофизика. 1979. Т. 22, № 9. С. 1042–1049.
3. Левин Б.Н., Фридман В.М., Шейнер О.А. Узкополосная компонента излучения на импульсной фазе микроволнового всплеска // Изв. вузов. Радиофизика. 1989. Т. 32, № 4. С. 516–519.
4. Левин Б.Н., Фридман В.М., Шейнер О.А. Величина магнитного поля в области слабого энерговыделения в солнечной короне // Изв. вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37, № 7. С. 874–882.
5. Sheiner O.A., Durasova M.S. Solar microwave precursors and coronal mass ejection: possible connection // Изв. Вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37, № 7. С. 883–886.
6. Дурасова М.С., Подстригач Т.С., Фридман В.М., Шейнер О.А. Исследование предвспышечных ситуаций по спектральным данным потоков

радиоизлучения Солнца за 1970-1994 г. // Изв. вузов. Радиофизика. 1996. Т. 39, № 11-12. С. 1425-1435.

7. Каверин Н.С., Миронов М.А., Моисеев И.Г., Снегирев С.Д., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Цветков Л.И., Шейнер О.А. Совместные (НИРФИ-КраО) исследования спектральных и флуктуационных характеристик явлений солнечной активности в микроволновом диапазоне // Изв. КраО. 1998. Т. 94. С. 82–97.

8. Выборнов Ф.И., Зырянова М.С., Митякова Э.Е., Рахлин А.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. О связи проявлений солнечной активности с характеристиками естественных ионосферных возмущений // Геомагнетизм и аэронавигация. 2001. Т. 41, № 2. С. 215–217.

9. Бархатов Н.А., Зырянова М.С., Иванов К.Г., Фридман В.М., Шейнер О.А. Установления солнечных источников геоэффективных возмущений с использованием МГД-моделирования // Геомагнетизм и аэронавигация. 2002. Т. 42, № 5. С. 594–600.

10. Липатов Б.Н., Мельников В.Ф., Подстригач Т.С., Снегирев С.Д., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Результаты исследований нестационарных процессов на Солнце радиоастрономическими методами // Изв. вузов. Радиофизика. 2002. Т. 45, № 2. С. 83–100.

11. Фридман В.М. Шейнер О.А., Тихомиров Ю.В. Спектрально-временная динамика предвестников корональных выбросов массы типа “Гало” // Изв. РАН. Сер. Физическая. 2006. Т. 70, № 10. С.1487–1489.

12. Злотник Е.Я., Кальтман Т.И., Шейнер О.А. Тепловое циклотронное излучение горячих корональных петель и особенности поляризационной структуры источников солнечного микроволнового излучения. I. Яркая температура // Письма в Астроном. журн. 2007. Т. 33, № 3. С. 196–209.

13. Злотник Е.Я., Кальтман Т.И., Шейнер О.А. Тепловое циклотронное излучение горячих корональных петель и особенности поляризационной структуры источников солнечного микроволнового излучения. II. Интегральные характеристики // Письма в Астроном. журн. 2007. Т. 33, № 5. С. 371-384.

14. Кальтман Т.И., Злотник Е.Я., Шейнер О.А. Инверсия поляризации циклотронного излучения в горячей корональной петле // Астрофизический бюллетень. 2008. Т.63, № 2. С.166-179.

15. Фридман В.М., Шейнер О.А. Явления в микроволновом солнечном излучении, наблюдаемые во время образования и начального распространения корональных выбросов масс // Изв. вузов. Радиофизика. 2010. Т. 53, № 5-6. С. 1–18.

16. Смирнова А.С., Снегирев С.Д., Шейнер О.А. О возможностях использования наблюдений магнитного поля Земли в прогнозе солнечной вспышечной активности // Вестник ННГУ. 2011. №5(3). С. 152–159.

17. Фридман В.М., Шейнер О.А. Характер микроволнового солнечного излучения, наблюдаемого на стадии формирования и начального

распространения геоэффективных корональных выбросов массы // Изв. вузов. Радиофизика. 2011. Т. 54, № 10. С. 727-740.

18. Пат. 2009136134/28. РФ Способ краткосрочного прогноза мощных солнечных вспышек / Снегирев С.Д., Фридман В.М., Шейнер О.А. Опубл. 27.05.2011. Бюл. № 15.

19. Шейнер О.А., Фридман В.М., Семенова С.В. О некоторых особенностях см радиоизлучения в применении к возможностям краткосрочного прогнозирования активности локальных областей на Солнце // Phys. Solar. 1981. No. 17. P. 127-134.

20. Levin B.N., Fridman V.M., Sheiner O.A. Microwave spectrum analysis as flare plasma diagnostic // Extended abstracts Solar-Terrestrial Prediction Workshop, October 16-20, 1989, Leurs, Australia, S-32-9-33

21. Durasova M.S., Fridman V.M., Podstrigach T.S., Sheiner O.A. Dynamics of the solar radio spectra in pre-flare periods related with proton events // Astronom. Nachrichten. 1990. V. 311, No. 6. P. 383-384.

22. Kurt V.G., Sheiner O.A. Solar flare 5.11.81 (08:33 UT): dynamics of the process according to combined observations in radio and X-ray ranges // Publ. Debrecen Heliophys. Observatory. 1990. V. 7. P. 208-210.

23. Fridman V.M., Levin B.N., Sheiner O.A. Microwave spectrum analysis as solar energy release diagnostics // Space Sci. Rev. 1994. V. 68. p. 255-257.

24. Fridman V.M., Sheiner O.A. Discrete energy release in microwave emission in the preflare stage // Space Sci. Rev. 1994. V. 68. P. 253-254.

25. Zlotnik E.Ya., Sheiner O.A. Thermal Cyclotron Radiation from a Hot Coronal Loop with Helical Magnetic Field // Space Sci. Rev. 1994. V. 68. P. 225-231.

26. Levin B.N., Fridman V.M., Sheiner O.A. Efficiency for Electron Acceleration in Solar Energy Release Region as Estimated in Context of Plasma Mechanism of Radio Emission // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1994. V. 90. P. 713-717.

27. Fridman V.M., Sheiner O.A. The spectrographic results of solar bursts over data August 1989, 14-17GHz range // Ann. Geophys. Space Plan. Sci. 1989. V.12, suppl.III, pt. III. P. 688.

28. Benz A.O., Lin R.P., Sheiner O.A., Krucker S., Fainberg J. The source Regions of Impulsive Solar Electrons Events // Solar Phys. 2001. V. 203. P. 131-144.

29. Snegirev S.D., Fridman V.M., Sheiner O.A. Role of the Radiophysical Research Institute (NIRFI) for promoting and teaching science in Russia // Adv. Geosci. 2005. V. 3. P. 41-46.

30. Zlotnik E.Ya., Kaltman T.I., Sheyner O.A. Influence of coronal loops on radio sources associated with solar active regions // Central European Astrophys. Bulletin. 2007. V. 31, No. 1. P.195-208.

31. Fridman V.M., Sheiner O.A. Spectral-Temporal Peculiarities of the Microwave Emission Preceding Geoeffective Coronal Mass Ejections // Geomagnetism and Aeronomy. 2009. V. 49, No. 8. P. 1133-1136.

32. Fridman V.M., Sheiner O.A. Preflare Solar Radio Activity and Relation to Solar Proton Importance // Proc. 8th Int. Symp. Solar Terr. Phys. Part I June 5-10, 1994, Sendai, Japan. P. 7.
33. Kobrin M.M., Pakhomov V.V., Snegirev S.D., Fridman V.M., Sheiner O.A. An investigation of the relationship between long-period pulsations of cm radio emission and solar proton flares forecasts // STPW'96. Proc. of a Workshop (Hitachi, Japan, 23-27 January 1996), 1997, RCW Tokyo. P.200-204.
34. Durasova M.S., Fridman V.M., Sheiner O.A. The Precursors of the CME Onset in Solar Radio Emission // The 9th European Meeting on Solar Physics (Ed. A. Wilson, ESA SP-448, 1999). P. 979-982.
35. Fridman V.M., Sheiner O.A. Plasma Mechanism in Solar Flare Radiation on the Base of Microwave Observations // The 9th European Meeting on Solar Physics (Ed. A. Wilson, ESA SP-448, 1999). P. 815-817.
36. Vybornov F.I., Mityakova E.E., Rakhlin A.V., Fridman V.M., Sheiner O.A., Zyryanova M.S. Manifestation of Solar Activity in Ionospheric Disturbances Parameters // The 9th European Meeting on Solar Physics (Ed. A. Wilson, ESA SP-448, 1999). P. 1009-1014.
37. Avdyushin S., Belov A., Dmitriev A., Galeev A., Ivanov V., Kononovich E., Kuznetsov V., Obridko V., Oraevsky V., Panasyuk M., Pissarenko N., Podgorny A., Polyakov S., Ponyavin D., Popov G., Sheiner O., Stozhkov Yu., Svidsky P., Troshichev O., Vanyan L., Vlasov V., Zelenyi L. Russian Space Weather Initiatives // Proceeding of ESA Workshop on Space Weather, WPP-155, 1999. P. 185-196.
38. Fridman V.M., Sheiner O.A. Efficiency of Short-term Prediction for the Main Solar Flares on the Basis of Long-period Pulsations of Microwave Radio Emission // Proc. ESA Workshop on Space Weather, WPP-155, 1999. P. 369-370.
39. Sheiner O.A., Fridman V.M., Durasova M.S. Characteristics of nonstationary solar radio emission corresponding to CMEs formation in solar atmosphere // Proc. Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference, 24-29 September 2001, Vico Equense, Italy. Editor: Huguette Sawaya-Lacoste. ESA SP-477, Noordwijk: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-749-6, 2002. P. 373-376.
40. Sheiner O.A., Fridman V.M., Krupenya N.D., Mityakova E.E., Rakhlin A.V. Effect of solar activity on the Earth's environment // Proc. Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference, 24-29 September 2001, Vico Equense, Italy. Editor: Huguette Sawaya-Lacoste. ESA SP-477, Noordwijk: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-749-6, 2002. P. 479-481.
41. Sheiner O.A., Fridman V.M. Quasi-periodic components of solar microwave emission preceding CME onset on 19 October, 2001 // Coronal and Stellar Mass Ejections: Proceedings IAU, Symposium No. 226 (IAUS-226). K.P. Dere, J. Wang & Y. Yan, eds. – Cambridge: Cambridge University Press, 2005. P. 235-237.
42. Sheiner O.A., Fridman V.M. Spectral features in solar microwave emission preceding CME onset // Coronal and Stellar Mass Ejections: Proceedings IAU,

Symposium No. 226 (IAUS-226). K.P. Dere, J. Wang & Y. Yan, eds. – Cambridge: Cambridge University Press, 2005. P. 233-234.

43. Durasova M.S., Fridman V.M., Podstrigach T.S., Sheiner O.A., Snegirev S.D., Tikhomirov Yu.V. Dynamic of electromagnetic emission during the period of Solar Extreme Events // Proc. 2nd Int. Symposium SEE-2005, Nor Amberd, Armenia (26-30 September 2005): - Yerevan: 2006. P. 51-54. (ISBN 99941-0-165-X)

44. Кобрин М.М., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. О предвестниках солнечных всплесков в диапазоне 8-12 ГГц // Астроном. циркуляр. 1985. № 1375. С. 2.

45. Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. О некоторых характеристиках предвестников солнечных импульсных микроволновых всплесков в диапазоне 8-12 ГГц // Солнечные данные. 1987. № 2. С. 70-76.

46. Левин Б.Н., Фридман В.М., Шейнер О.А. Об обнаружении узкополосной компоненты на импульсной фазе солнечного микроволнового всплеска // Астрон. циркуляр. 1988. № 1528. С. 26.

47. Дурасова М.С., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Особенности спорадического радиоизлучения Солнца в периоды, предшествующие регистрации корональных выбросов массы, по данным мировой службы Солнца за 1998 и 2003г.г. // Солнечно-земная физика. Вып.8. Новосибирск: СО РАН, 2005. С. 30-32. (ISSN 0135-3748).

48. Снегирев С.Д., Фридман В.М., Шейнер О.А. О флуктуациях магнитного поля Земли, предшествующих крупным солнечным вспышкам // Солнечно-земная физика. Вып.8. Новосибирск: СО РАН, 2005. С. 27-29. (ISSN 0135-3748).

49. Бархатов Н.А., Жулина Е.Г., Королев А.В., Рахлин А.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Поиск проявлений геоэффективности CMEs // Сб. Солнечно-земная физика. Вып.8. Новосибирск: СО РАН, 2005. С. 200-201. (ISSN 0135-3748).

50. Фридман В.М., Шейнер О.А. Спектрально-временные особенности микроволнового излучения, предшествующего геоэффективным корональным выбросам масс // Солнечно-земная физика. Вып.12. Т. 1. Новосибирск: СО РАН, 2008 С. 79-82. (ISSN 0135-3748).

51. Фридман В.М., Шейнер О.А. Узкополосные явления в диапазоне 17-14 ГГц во время солнечных всплесков // Проблемы соврем. Радиоастрономии. XXVII Всесоюзная радиоастроном. конф. С.-Петербург: ИПА РАН, 1997. С. 114-115.

52. Дурасова М.С., Фридман В.М., Шейнер О.А. Явления в радиодиапазоне, связанные с ЕР-транзидентами // Проблемы соврем. Радиоастрономии. XXVII Всесоюзная радиоастроном. конф. С.-Петербург: ИПА РАН, 1997. С. 66-67.

53. Дурасова М.С., Фридман В.М., Шейнер О.А. О характере явлений в радиодиапазоне, предшествующих корональным выбросам масс (CME), ассоциируемым со вспышечными событиями // Достижения и проблемы солнечной радиоастрономии. Труды научной конф. 6-9 окт. 1998 г., С.-Петербург, НИИ радиофизики СПбГУ. С. 65-68. ISBN 5-7997-0096-1

54. Ерухимов Л.М., Фридман В.М., Шейнер О.А. Об эффекте усиления отраженного сигнала при радиолокации Солнца // Достижения и проблемы солнечной радиоастрономии. Труды научной конф. 6-9 окт. 1998 г., С.-Петербург, НИИ радиопизики СПбГУ. С. 146.

55. Дурасова М.С., Фридман В.М., Шейнер О.А. Явления в радиодиапазоне, предшествующие регистрации вспышечных корональных выбросов массы по данным станции Зименки // VII Симп. по солнечно-земной физике России и стран СНГ. 15-18 дек. Научный Совет по проблеме "Физика солнечно-земных связей". М., 1998. С. 18.

56. Выборнов Ф.И., Зырянова М.С., Митякова Э.Е., Рахлин А.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. О связи проявлений солнечной активности с характеристиками естественных ионосферных возмущений // VII Симп. по солнечно-земной физике России и стран СНГ. 15-18 дек. Научный Совет по проблеме "Физика солнечно-земных связей" М., 1998. С. 100-101.

57. Дурасова М.С., Фридман В.М., Шейнер О.А. Сравнение характеристик нестационарного радиоизлучения, связанного с формированием СМЕ и солнечных вспышек // Сб. докл. межд. конфер. "Солнце в максимуме активности и солнечно-звездные аналогии" Пулково, Санкт-Петербург, 17-22 сентября 2000 г.

58. Бархатов Н.А., Иванов К.Г., Мельник А.Н., Шейнер О.А. МГД моделирование источников геоэффективных возмущений в солнечном ветре // Сб. докл. межд. конф. "Солнце в максимуме солнечной активности и солнечно-звездные аналогии", ГАО РАН, Пулково, СПб, 17-22 сентября, С. 233-235.

59. Дурасова М.С., Фридман В.М., Шейнер О.А. О радиопредвестниках ЕР-транзита 30 марта 1980 года // Физика Солнца и космическая электродинамика. Труды ГАИШ. 2001. Т. LXXI. С. 173-176. ISSN 0371-6791. ISBN 5-8037-0083-5.

60. Выборнов Ф.И., Зырянова М.С., Митякова Э.Е., Рахлин А.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Характеристики F-рассеяния среднеширотной ионосферы как факторы космической погоды // Труды конф. по физике солнечно-земных связей, Иркутск, 24-29 сентября 2001г., сб. Солнечно-земная физика. 2002. Вып. 2(115). С. 284-287.

61. Снегирев С.Д., Фридман В.М., Шейнер О.А. О состоянии разработки метода краткосрочного прогнозирования мощных солнечных вспышек по долгопериодным пульсациям солнечного радиоизлучения // Труды конф. по физике солнечно-земных связей, Иркутск, 24-29 сентября 2001г., сб. Солнечно-земная физика. 2002. Вып. 2(115). С. 21-25.

62. Гнездилов А.А., Горгуца Р.В., Соболев Д.Е., Фридман В.М., Черток И.М., Шейнер О.А., Подстригач Т.С. Особенности солнечного эруптивного события 19 октября 2001 года // Труды научной конф. стран СНГ и Прибалтики "Активные процессы на Солнце и звездах", Санкт-Петербург, 1-6 июля 2002 г. ISBN 5-7997-0454-9, Санкт-Петербург, НИИРФ СПбГУ. С. 24-27.

63. Дурасова М.С., Фридман В.М., Шейнер О.А. К вопросу об оценке возможной геоэффективности корональных выбросов массы по их проявлениям в радиодиапазоне на стадии формирования // Труды научной конф. стран СНГ и Прибалтики "Активные процессы на Солнце и звездах", Санкт-Петербург, 1-6 июля 2002 г. ISBN 5-7997-0454-9, Санкт-Петербург, НИИРФ СПбГУ. С. 199-201.

64. Подстригач Т.С., Фридман В.М., Шейнер О.А. Характеристики микроволнового излучения Солнца в периоды наблюдений корональных выбросов массы в июле – августе 2002 года // Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности. Конф. стран СНГ и Прибалтики (Н.Новгород, 2-7 июня 2003 г.): Сб. докладов в двух томах. Т.1. С. 169-171.

65. Злотник Е.Я., Шейнер О.А. О поляризации теплового микроволнового излучения сложных структур корональных петель // Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности. Конф. стран СНГ и Прибалтики (Н.Новгород, 2-7 июня 2003 г.): Сб. докладов в двух томах. Т. 1. С. 308-311.

66. Бархатов Н.А., Жулина Е.Г., Королев А.В., Рахлин А.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Проявления геоэффективности CME's в параметрах околосолнечной плазмы // Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности. Конф. стран СНГ и Прибалтики (Н.Новгород, 2-7 июня 2003 г.): Сб. докладов в двух томах. Т.1. С. 442-447.

67. Левин Б.Н., Фридман В.М., Шейнер О.А. О пределах применимости методики определения параметров вспышечных петель по спектральным измерениям в микроволновом диапазоне с высоким временным и частотным разрешением // Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности. Конф. стран СНГ и Прибалтики (Н.Новгород, 2-7 июня 2003 г.): Сб. докладов в двух томах. Т. 1. С. 152-155.

68. Снегирев С.Д., Фридман В.М., Шейнер О.А., Мальцева Н.В. Рост долгопериодных пульсаций магнитного поля Земли в периоды, предшествующие мощным солнечным вспышкам // Экспериментальные и теоретические исследования основ прогнозирования гелиогеофизической активности. Труды Всерос. конф., Троицк (10-15 октября 2005г.). Троицк: ИЗМИРАН. 2006. С. 305-310. ISBN 5-9651-0221-6.

69. Смирнова А.С., Снегирев С.Д., Шейнер О.А. Долгопериодные пульсации геомагнитного поля как предвестники крупных солнечных вспышек // Труды XI конф. молодых ученых " Гелио- и геофизические исследования", БШФФ-2009. Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2009. С. 290-292. (ISSN 0135-3748).

70. Смирнова А.С., Снегирев С.Д., Шейнер О.А. Об усилении долгопериодных пульсаций геомагнитного поля накануне геоэффективных солнечных вспышек // Труды Всерос. ежегодной конф. по физике Солнца "Солнечная и солнечно-земная физика – 2010", ГАО РАН, Пулково, Санкт-Петербург, 3-9 октября 2010.

71. Беллюстин Н.С., Тельных А.А., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А., Шемагина О.В., Яхно В.Г. Нейроноподобный метод прогнозирования мощных вспышек рентгеновского излучения Солнца // Труды

второй Всерос. конф. «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях» 18–21 июня 2011 г.

72. Семенова С.В., Фридман В.М., Шейнер О.А., Аверьянихина Е.А., Паупере М.Э. Некоторые вопросы создания методики краткосрочного прогнозирования протонных вспышек по наблюдениям долгопериодных пульсаций солнечного радиоизлучения: Препринт № 228 НИРФИ. Горький, 1987.

73. Дурасова М.С., Подстригач Т.С., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Исследования предвсплесковой солнечной активности по данным радиослужбы Солнца: 1. Методические особенности. 2. Каталог предвсплесковых событий: Препринт № 419 НИРФИ. Нижний Новгород, 1996.

74. Дурасова М.С., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Каталог явлений солнечной активности за 1998г., предшествующих регистрации КВМ по данным мировой службы Солнца в радиодиапазоне: Препринт № 483 НИРФИ. Нижний Новгород, 2003.

75. Дурасова М.С., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Каталог явлений солнечной активности, предшествующих регистрации КВМ по данным мировой службы Солнца в радиодиапазоне за 2003г.: Препринт № 496 НИРФИ. Нижний Новгород, 2004.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность своим учителям профессорам М. М. Кобрину и Л. М. Ерухимову, огромную признательность соавторам В. М. Фридману, С. Д. Снегиреву, Е. Я. Злотник, Б. Н. Левину, Ю. В. Тихомирову, В. Г. Курт, И. М. Чертоку, А. В. Рахлину, М. С. Дурасовой, Т. С. Подстригачу, принимавшим участие в выполнении работ, результаты которых составили основу данной диссертации.

ШЕЙНЕР
Ольга Александровна

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ,
ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЯВЛЕНИЯМ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико–математических наук

Подписано в печать 27.02.2012 г. Формат 60×90/16.
Бумага писчая. Усл. п. л. 2.
Тираж 100. Заказ 5616

Отпечатано в ФГБНУ НИРФИ
603950, г. Нижний Новгород, ул. Б.Печерская, 25/12а