

На правах рукописи

Гусева Светлана Александровна

**ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ
ЦИКЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ
СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ**

01.03.03 – Физика Солнца

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении
науки Главной (Пулковской) астрономической обсерватории
Российской академии наук

Научные руководители:

доктор физико-математических наук НАГОВИЦЫН Юрий Анатольевич;
доктор физико-математических наук МАКАРОВ Валентин Иванович

Официальные оппоненты:

МОРДВИНОВ Александр Вениаминович,
доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией солнечной
активности Института солнечно-земной физики Сибирского отделения
Российской академии наук;

БОРОВИК Валерия Николаевна,
доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела
радиоастрономических исследований Главной (Пулковской) астрономической
обсерватории Российской академии наук

Ведущая организация:

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Защита диссертации состоится 15 марта 2013г. в 11 час. 00 мин. на заседании
диссертационного совета Д.002.120.01 на базе Главной (Пулковской)
астрономической обсерватории Российской академии наук (ГАО РАН)
по адресу: 196140, г. Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д. 65

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГАО РАН

Автореферат разослан _____ 2013г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Милецкий Евгений Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Корона – внешняя оболочка атмосферы Солнца. Её строение тесно связано с общей структурой солнечного магнитного поля (МП), которую до сих пор мы до конца не представляем. Одним из основных методов исследования структуры солнечной короны являются наблюдения в белом свете, свечение в котором обусловлено изотропным томпсоновским рассеянием фотосферного излучения Солнца на электронах короны. Наблюдения солнечной короны в белом свете с высоким разрешением показывают, что корона имеет сложную структуру, которая представляет собой множество лучей и арок. Геометрические параметры этих лучей (форма, их ориентация и расположение в пространстве) отражает топологию МП в верхних слоях атмосферы Солнца. Следовательно, исследование структуры солнечной короны в разные периоды солнечной активности (СА), представляет собой актуальную задачу.

В течение 100 лет солнечная корона изучалась только в моменты полных солнечных затмений, начиная с затмения 1842г., когда было доказано (О.В.Струве), что лучистое сияние, возникающее при полном закрытии солнечного диска Луной, принадлежит именно Солнцу, а не земной атмосфере, как полагали до тех пор. Всё более оснащённые наблюдения полных солнечных затмений постепенно развивали представление о тонкой структуре солнечной короны (А.К. Раньяр, А.П. Ганский, К.Д. Негамвала, В.Г. Вэсли, Е.Я. Бугославская и др.). Исследования корональной структуры показали, что все крупные детали в короне состоят из «элементарных» лучей, струй и дуг. Была предложена пространственная модель строения больших шлемовидных лучей (опахал, стримеров). Луч состоит из образованного замкнутыми силовыми линиями круглого основания и венчающего его тонкого лезвия из разомкнутых силовых линий; с ребра он похож на шлем, сбоку напоминает веер. Дальнейшие работы подтвердили связь шлемовидных лучей с токовыми слоями, разделяющими области противоположных полярностей коронального МП. Поскольку шлемовидные лучи оказываются связанными с секторными границами межпланетного МП, актуальны исследования внешней короны в белом свете, т.к. они могут быть использованы для определения полярности МП в произвольной точке межпланетного пространства. В соответствии с этим важно исследовать эволюцию шлемовидных лучей в течение нескольких оборотов Солнца, их распределение на разных высотах, в разные периоды СА. Сформированные синоптические карты расположения корональных лучей на разных высотах, представляют собой картину реального наблюдаемого нейтрального гелиослоя. Актуальность этой задачи не вызывает сомнений.

Одним из геометрических параметров корональных лучей является угол наклона луча к гелиоцентрическому радиальному направлению. Наблюдения полных солнечных затмений показали, что направление лучей существенно отличается от радиального, лучи отклоняются от картинной плоскости, причём угол отклонения возрастает с удалением от Солнца. Продолжение этих исследований (начатых Г.М. Никольский, А.Т. Несмянович и др.) остаётся актуальным, т.к. большой наблюдательный материал с космических аппаратов (КА), полученный с малым временным шагом (а не только с шагом «одно затмение в год»), даёт возможность получить представление о трёхмерной структуре лучей, принадлежащих разным областям на Солнце.

Кроме шлемовидных лучей над спокойными протуберанцами и прямых лучей над факельными площадками, для изучения общего МП Солнца большое значение имеют также полярные лучевые системы. Заметим, что наблюдение полярных «щёточек» было практически первым указанием на существование МП Солнца, а именно ему мы обязаны разнообразными явлениями СА.

Глобальное МП Солнца с некоторой степенью условности может быть представлено в виде низкоширотной компоненты, основной вклад в которую вносят солнечные пятна и активные области, и крупномасштабной компоненты, связанной с распределением по всей солнечной поверхности областей открытого магнитного потока – корональных дыр. Существует связь между ними: крупномасштабная компонента предвещает низкоширотную на половину 11-летнего цикла. К крупномасштабным структурам с открытым магнитным потоком принадлежат полярные области Солнца, где наблюдаются корональные лучевые системы или полярные «щёточки», фотосферные полярные факелы. По границам их располагаются высокоширотные протуберанцы, дрейф которых к полюсу вызывает яркое явление переползовки полярного МП, подробно изученное В.И. Макаровым. Актуальным остаётся вопрос, как соотносится полярное МП Солнца с другими компонентами МП.

Одним из важных параметров, характеризующих структуру и расположение систем полярных «щёточек», является так называемый параметр q . Попытки связать полярные лучи с силовыми линиями магнитного диполя общего МП Солнца, выходящими из его магнитных полюсов, делались неоднократно многими исследователями. Параметр q (введённый Ван де Хюльстом) – расстояние эффективных магнитных полюсов от центра диска до точки пересечения касательных к полярным лучам в короне. Изучение ежедневной эволюции параметра q в северном (N) и в южном (S) полушариях Солнца и сопоставление с дрейфом гелиографической широты высокоширотной зоны волокон за данный период является важным дополнительным исследованием для изучения общего МП Солнца.

Другим направлением исследований является изучение поведения полярного индекса P (введённого А.Т. Несмяновичем), который определяется как лимбовая протяжённость (в градусах) систем корональных «щёточек». Изучение индекса P представляется важным ввиду его непосредственной связи с крупномасштабным полярным магнитным потоком Солнца: он связан с площадью полярных корональных областей, исчезновение которых в максимуме приводит к переполюсовке. Таким образом, P -индекс является более естественным индексом полярного МП, чем, например, полярные факелы. Поэтому задача – сделать из его разрозненных оценок по затмениям среднегодовой ряд, пригодный для математических процедур, – имеет большое значение для исследования долговременной эволюции полярного МП Солнца.

Современная эпоха в изучении солнечной короны началась с изобретением Б.Лио в 1930 г. внезатменного коронографа. Стали доступны наблюдения вне затмений неоднородностей внутренней короны в эмиссионных линиях. Регулярные наблюдения корональных линий важны для расшифровки сложной структуры МП, поскольку излучение эмиссионной короны является чувствительным индикатором МП. Интенсивность линий усилена в объемах, где локализуются структуры с замкнутыми силовыми линиями. Исследования интенсивности и полуширины корональных линий с высотой и вдоль лимба представляют собой большой интерес для изучения физических процессов, происходящих в атмосфере Солнца. На их основании мы можем судить о распределении температуры и концентрации вещества в короне.

С запуском КА появилась возможность получать регулярные изображения солнечной короны на диске и лимбе Солнца с относительно высоким пространственным и временным разрешением, стали доступны наблюдения корональных структур в различных диапазонах солнечного спектра (видимого, УФ и в рентгене). Но и в наши дни, несмотря на развитие наблюдательной техники, наблюдение полного солнечного затмения остаётся актуальной задачей, т.к. наземные внезатменные коронографы позволяют наблюдать только внутреннюю корону, а затмевающие диски на коронографах КА не позволяют наблюдать корону до приблизительно двух радиусов Солнца ($R_{\odot}$). Следовательно, только полное солнечное затмение позволяет одновременно наблюдать и внутреннюю, и внешнюю структуру короны. Наблюдение полного солнечного затмения 29 марта 2006 г. происходило на Горной станции ГАО (близ г. Кисловодска) и стало уникальным и важным тем, что наблюдения производились на больших базовых, хорошо изученных солнечных телескопах.

В настоящее время, с развитием наблюдательной техники и телекоммуника-

ций, появилась возможность оперативно получать ежедневную информацию о солнечной короне и МП различной интенсивности и масштабов из космоса. Одновременно продолжают и патрульные (синоптические) наземные наблюдения.

В данной работе были запланированы:

- Продолжение классических исследований корональных структур на новом материале и с помощью новых компьютерных методов обработки;
- Реставрация архивных наблюдений полных солнечных затмений и объединение их с новыми данными наблюдений;
- Сопоставление нового наблюдательного материала с материалом, полученным по традиционным методам синоптических наблюдений.

Всё это даёт нам возможность интерпретации наблюдательного материала на длительном интервале, измеряемом двумя столетиями.

Изучение короны Солнца важно для нас не только в фундаментальном смысле понимания физики Солнца, но и вследствие того обстоятельства, что именно в короне происходит формирование гелиосферы, определяющей физику околосолнечного пространства вплоть до орбиты Земли и далее. Гелиосфера, как вытекает из ряда исследований, определяет и земной климат – длительные устойчивые тенденции погоды, вариации гелиосферных параметров способны заметно его изменять, и поэтому изучение поведения солнечной короны как пограничной области «Солнце (солнечные магнитные поля) – гелиосфера (межпланетное МП)» на длительных временах важно и с практической точки зрения.

Таким образом, исследование структуры солнечной короны в разные периоды СА представляет собой и традиционную, и актуальную в настоящее время задачу.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Основная цель данной диссертационной работы – исследование структуры солнечной короны в белом свете и в спектральных линиях на разных фазах развития цикла СА. Для этого решался ряд следующих задач.

1. Исследование структуры солнечной короны в белом свете:

- Построение единого электронного каталога схематических зарисовок структуры солнечной короны за последние 15 циклов СА по наблюдениям полных солнечных затмений;
- Феноменологическое изучение лучей в короне, которые наблюдаются на коронографе LASCO (Large Angle Spectrometric Coronagraph) КА SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), и сопоставление результатов с традиционной классификацией лучей, составленной по снимкам полных солнечных затмений;
- Изучение трёхмерной ориентации лучей в короне на расстоянии от 2 до 6 $R_{\odot}$

по наблюдениям широкоугольного спектрометрического коронографа LASCO C2 (SOHO) за 23-й цикл СА;

- Исследование зависимости между высотой и формой корональных шлемовидных лучей и величиной поперечного градиента фонового МП, а также формой протуберанцев на линии раздела полярностей (ЛРП) в основаниях лучей;
- Исследование эволюции больших шлемовидных лучей в течение нескольких оборотов Солнца на основе построения синоптических карт корональных лучей по снимкам КА SOHO (LASCO C2).

2. Исследование крупномасштабной полярной компоненты МП Солнца на основе корональных наблюдений:

- Получение длительного временного ряда P -индекса, характеризующего крупномасштабный полярный магнитный поток Солнца на основе наблюдений в течение последних более полутора столетий как на основе архивных данных, так и по данным КА SOHO (EIT);
- Изучение свойств эффективных магнитных полюсов Солнца (параметр q) по данным КА SOHO (EIT) за 23-й цикл СА.

3. Исследование спектральной короны по патрульным наблюдениям на Горной астрономической станции ГАО РАН:

- Проведение сравнительного анализа наблюдательных данных спектральной короны ГАС ГАО и данных, полученных в других обсерваториях: Норикура, Ломницки Штит, Пик дю Миди, Сакраменто Пик;
- Исследование широтно-временного распределения интенсивности спектральной короны в линиях $5303\text{\AA}$ и $6374\text{\AA}$ в ходе 22-го и 23-го циклов СА;
- Получение на большом материале зависимости изменения интенсивности корональных линий с высотой в областях Солнца с различной активностью;
- Проведение спектральных наблюдений солнечного затмения 29.03.2006 г. с целью исследования физических свойств короны.

4. Исследование солнечных протуберанцев по патрульным наблюдениям на Горной астрономической станции ГАО РАН:

- Создание электронного каталога параметров солнечных $H\alpha$ -протуберанцев по патрульным наблюдениям Горной станции ГАО РАН;
- Морфологические исследования приполярных протуберанцев, которые расположены на границах корональных дыр;
- Сравнение параметров протуберанцев (яркость, высота, протяжённость по лимбу Солнца) в хромосферных линиях $H\alpha$ ($\lambda=6563\text{\AA}$), $D3$ ($\lambda=5876\text{\AA}$) и $H\beta$ ($\lambda=4861\text{\AA}$).

НАУЧНАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ

В процессе работы автором созданы следующие новые информационные ресурсы, необходимые для исследований структуры солнечной короны.

1. В плане подготовительной работы созданы следующие каталоги:

- Электронный каталог изображений структуры солнечной короны по затменным наблюдениям Солнца с 1851 г. по 2012 г. Объединены и дополнены новыми наблюдательными данными все существующие каталоги полных солнечных затмений. Унифицированы все собранные и полученные схематические рисунки корональных структур.
- Каталог совмещённых ежедневных изображений внешней короны Солнца по данным КА SOHO (LASCO C2) с радиально направленными «лучами» расположенными над нейтральной линией спокойных протуберанцев и активных областей, которые были получены с помощью компьютерного моделирования оцифрованных синоптических *Ha*-карт за 23-й цикл СА.

На основе этих данных можно получить геометрические параметры корональных лучей, что позволит исследовать топологию МП в верхних слоях атмосферы Солнца.

- Каталог синоптических карт корональных лучей по наблюдениям КА SOHO (LASCO C2) для интервала высот 2.5 – 5 $R_{\odot}$ за 23-й цикл СА.

Синоптические карты расположения лучей полезно иметь как дополнительную информацию при составлении гелиосферных прогнозов, основанных на наблюдениях МП. По ним можно корректировать геометрию глобального гелиослоя. Эти карты являются достаточно информативным дополнением к традиционным картам широтной эволюции гелиослоя, т.к. дают представление о реальном расположении широты гелиослоя в зависимости от долготы.

2. В плане обеспечения научных исследований надёжной наблюдательной информацией созданы следующие ряды данных:

- Распределение углов отклонения корональных лучей от радиального направления по данным КА SOHO (LASCO C2) за 23-й цикл СА;
- Ряд данных полярного параметра q по ежедневным данным КА SOHO (EIT) и эволюции дрейфа гелиографической широты высокоширотной зоны волокон за 23-й цикл СА;
- Ряд данных полярного индекса I по данным КА SOHO (EIT) за период 1996 – 2011 гг.;
- Длительный временной ряд индекса крупномасштабного полярного МП Солнца (индекс I) в северном и южном полушариях Солнца на основе затменных на-

блюдений в течение последних 160 лет;

Длительный временной ряд индекса I важен для исследования долговременной эволюции крупномасштабного полярного МП Солнца.

В процессе работы созданы, кроме того, следующие базы данных:

- 1) База данных солнечных протуберанцев, наблюденных на Горной астрономической станции в линии $H\alpha$ с 1957 по 2007 гг. В этот электронный ряд входят данные, которые характеризуют площадь, высоту, яркость и протяжённость протуберанцев по лимбу Солнца.

Эти данные могут эффективно использоваться для анализа низко- и высокоширотной СА, а также уточнения деталей процесса смены знака крупномасштабного МП. Предлагается также использовать результаты работы для уточнения методов построения синоптических карт по патрульным наблюдениям протуберанцев, которые проводятся различными обсерваториями в течение более 140 лет.

- 2) База данных значений интенсивностей двух корональных линий $5303\text{\AA}$ (FeXIV) и $6374\text{\AA}$ (FeX), наблюденных на Горной астрономической станции с 1997 по 2012 гг. В этот электронный ряд входят данные интенсивности корональных линий, выраженные в миллионных долях интенсивности центра Солнца (в аб. ед.), измеренные на расстоянии $40''$ от фотосферы, через 5° по лимбу Солнца.

Создание этих информационных ресурсов было отмечено в числе других, как наиболее важный результат по версиям Научного совета по астрономии ОФН РАН, Междисциплинарного совета «Солнце – Земля» и Российской академии наук в 2008 г.

Результаты, полученные в диссертации, могут найти применение при исследованиях долговременных вариаций СА, при разработке методов её прогноза, при построении реалистичной теории динамики и эволюции МП Солнца, а также при решении целого ряда задач солнечно-земных связей.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

В работе впервые был получен и исследован длительный временной ряд индекса крупномасштабного полярного МП Солнца – индекса I . Кроме этого, выведен и знакопеременный ряд среднегодовых значений I -индекса с учётом знака поля вместе с моментами переполусовок (включая трёхкратные). Впервые предпринята попытка создания именно временного ряда крупномасштабного полярного МП, позволяющего применять к нему математические процедуры обработки временных рядов. До этого исследователи ограничивались получением набора значений I для отдельных полных солнечных затмений, разрозненных по времени.

Выполнен целый ряд оригинальных феноменологических исследований структуры и динамики солнечной короны. Уточнена феноменология явлений корональ-

ных лучей и лучевых систем, шлемовидных лучей, протуберанцев вблизи линии раздела полярностей МП, уточнён ряд изменений физических параметров солнечной короны.

Внесена новизна в методику построения синоптических *Ha*-карт. Используя дополнительную информацию о морфологии протуберанцев, можно трассировать отдельные участки границ корональных дыр. Отчётливо выделяется по формам и размерам особый тип слабых приполярных протуберанцев, расположенных вдоль границ корональных дыр. Такая дополнительная информация создаёт надёжность проведения нейтральной линии в приполярных широтах, когда на полюсах наблюдается большое количество протуберанцев.

Проведены спектральные наблюдения полного солнечного затмения 29.03.2006 г. на Малом коронографе, когда полоса полной фазы затмения проходила через Горную станцию ГАО РАН.

НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

1. На основе как оригинальных наблюдений, так и регистраций других наблюдателей на Горной станции ГАО РАН близ Кисловодска, а также материалов космического аппарата SOHO, автором созданы базы данных, характеризующие длительное поведение солнечных магнитных образований на корональных высотах:
 - База данных индексов интенсивности спектральных корональных линий $\lambda=5303\text{\AA}$ (FeXIV) и $\lambda=6374\text{\AA}$ (FeX), полученных в результате синоптических наблюдений с 1997 по 2012 гг.;
 - База данных солнечных протуберанцев (включающая параметры площади, высоты, яркости, протяжённости) в линии *Ha* с 1957 по 2007 гг.;
 - Каталог синоптических карт корональных лучей для интервала высот 2.5–5 радиусов Солнца за 23-й цикл СА.Уточнена феноменология явлений корональных лучей и лучевых систем, шлемовидных лучей, протуберанцев вблизи линии раздела полярностей МП, получен ряд физических параметров солнечной короны.
2. На основе собранной обширной коллекции исторических фотографий и зарисовок солнечной короны, наблюждённой во время полных солнечных затмений, рассчитаны значения *П*-индекса, описывающего полярные лучевые системы в северном и южном полушариях Солнца и связанного с крупномасштабным полярным магнитным потоком Солнца.
3. По затменным значениям *П*-индекса с привлечением данных о переполусовках полярного МП созданы временные ряды его среднегодовых значений в север-

ном и южном полушариях Солнца в период 1851 – 2011 гг. По P -индексу рассчитано временное изменение $N-S$ асимметрии полярного магнитного потока Солнца.

4. По широкому набору индексов, характеризующих как высокоширотную, так и низкоширотную активность, показано, что длительные изменения локальной продолжительности «11-летнего» цикла для различных компонент глобального МП Солнца происходят параллельно друг другу, так что можно говорить о едином для всего Солнца процессе изменения длительности цикла Швабе-Вольфа.

ПУБЛИКАЦИИ

Основной материал диссертации опубликован в коллективной монографии [20] и в 30 научных статьях, из них 4 статьи [19, 29–31] опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД

Во всех совместных работах по теме диссертации автору принадлежит равная с соавторами доля участия в формулировке задач, проведении расчётов и интерпретации полученных результатов.

Исследования, представленные в диссертации, автором выполнены как самостоятельно, так и в соавторстве с сотрудниками ГАС ГАО РАН, ГАО РАН, ИЗМИРАН. Во всех совместных работах автор принимал активное участие в постановке задач, в отборе наблюдательных данных для проведения исследований, а в работах [1–4, 11–13, 15–17, 22–25] представлен наблюдательный материал, лично полученный автором. С 1995г. автор является наблюдателем на внеатомном коронографе системы Лио, установленном на Горной астрономической станции ГАО РАН. На протяжении всего 23-го цикла автор вёл наблюдения по программе «служба Солнца» *Ha*-протуберанцев и до настоящего времени – спектральной солнечной короны в двух корональных линиях $\lambda=6374\text{\AA}$ и $\lambda=5303\text{\AA}$. Во всех работах [1–31] автор участвовал в обработке наблюдательных данных и в анализе полученных результатов.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка цитируемой литературы из 143 наименований и приложения. Общий объем диссертационной работы составляет 156 страниц, включая 65 рисунков и 3 таблицы.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Результаты исследований были доложены на научных семинарах ГАС ГАО, ГАО РАН, а также на Российских и Международных конференциях:

Конференция, посвященная 50-летию Горной Астрономической Станции ГАО РАН, «Новый цикл активности Солнца: наблюдательный и теоретический аспекты», ГАО РАН, Пулково, С.-Петербург, 24 – 29 июня 1998 г.;

Международная конференция «Солнце в максимуме активности и солнечно-звёздные аналоги», ГАО РАН, С.-Петербург, 17 – 22 сентября 2000 г.;

Международная конференция «Солнце в эпоху смены знака магнитного поля», ГАО РАН, Пулково, С.-Петербург, 28 мая – 1 июня 2001г.;

Международная конференция «Солнечная активность и космические лучи после смены знака магнитного поля Солнца», ГАО РАН, Пулково, С.-Петербург, 17 – 22 июня 2002 г.;

VII-я Пулковская международная конференция по физике Солнца «Климатические и экологические аспекты солнечной активности», ГАО РАН, Пулково, С.-Петербург, 7 – 11 июля 2003 г.;

IX-я Пулковская международная конференция по физике Солнца «Солнечная активность как фактор космической погоды», ГАО РАН, Пулково, С.-Петербург, 4 – 9 июля 2005 г.;

Всероссийская конференция «Многоволновые исследования Солнца и современные проблемы солнечной активности», п. Нижний Архыз, 28 сентября – 2 октября 2006 г.;

XI-я Пулковская международная конференция по физике Солнца «Физическая природа солнечной активности и прогнозирование её геофизических проявлений», ГАО РАН, Пулково, С.-Петербург, 2 – 7 июля 2007 г.;

Всероссийская конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2008», ГАО РАН, С.-Петербург, 7 – 12 июля 2008 г.;

Радиоастрономическая конференция «Повышение эффективности и модернизация радиотелескопов России», посвящена памяти профессора Н.А. Есепкиной, ГАО РАН, 22 – 27 сентября 2008 г.;

Международный семинар по физике Солнца «Синоптические наблюдения солнечной активности и прогноз её геоэффективных проявлений», посвященный 60-летию Горной Астрономической Станции Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН, Кисловодск, 30 сентября – 4 октября 2008 г.;

Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Год астрономии: солнечная и солнечно-земная физика – 2009», С.-Петербург, 5 – 11 июля 2009 г.;

Всероссийская астрономическая конференция «От эпохи Галилея до наших

дней», САО РАН, п. Нижний Архыз. 13 – 18 сентября 2010 г.;

Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2010», С.- Петербург, 3 – 9 октября 2010 г.;

Шестая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», ИКИ РАН, Москва, 14 – 18 февраля 2011 г.;

Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2011», С.- Петербург, 3 – 8 октября 2011 г.;

Седьмая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе» ИКИ РАН, Москва, 6 – 10 февраля 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, изложена её цель, показана новизна работы, научная и практическая значимость. Приведены основные результаты, представленные к защите.

Первая глава посвящена исследованию структуры солнечной короны в белом свете.

В § 1.1 представлен каталог схематических зарисовок структуры солнечной короны во время наблюдений полных солнечных затмений с 9-го по 24-й цикл СА. Проведена реставрация исторических наблюдений полных солнечных затмений и добавлены данные новых наблюдений. Полученные за 160 лет схематические зарисовки корональных структур на основе затменных наблюдений унифицированы и объединены в единый электронный каталог долговременных изменений структуры солнечной короны. Из 110 полных солнечных затмений, которые произошли в этот период, 85 вошли в каталог.

В § 1.2 проведено сравнение структуры солнечной короны по затменным и внезатменным наблюдательным данным.

В п. 1.2.1 исследована морфология корональных лучей на ветви спада цикла СА. Изучена феноменология корональных лучей, наблюденных на коронографе LASCO C2 (KA SOHO), приведено обсуждение результатов в свете традиционной классификации этих структур по затменным наблюдениям. Проведенное сопоставление лучевой структуры короны в белом свете по внеатмосферным наблюдениям в сравнении с традиционными затменными наблюдениями показало, что по размерам и форме корональные лучи могут не соответствовать стандартной классификации лучей затменной белой короны по нескольким параметрам.

В п. 1.2.2 исследуется трёхмерная ориентация лучей в короне на расстоянии $2 - 6 R_{\odot}$ по данным телескопа LASCO C2. Описывается трёхмерное компьютерное моделирование корональных лучей Солнца, которое позволяет получать изображе-

ния, где хорошо видны эффекты проекции лучей, распространяющихся под разными углами к картинной плоскости и наглядно показывающее случаи выхода волокон на лимб под разными углами. Эти изображения показывают и изменения видимой длины луча в картинной плоскости в зависимости от расположения источника по отношению к центру диска Солнца как на видимой, так и на невидимой поверхности Солнца. Совмещение реального изображения внешней короны Солнца по данным КА SOHO (LASCO) и рассчитанного по синоптическим $H\alpha$ -картам даёт возможность определить расхождение наблюдаемого луча от радиального направления. В минимуме СА лучи имеют большой угол наклона к экватору (до 30°) и сосредоточены на низких широтах. На ветви подъема СА наблюдается дрейф лучей на более высокие широты, а угол наклона уменьшается до 13° (преобладает наклон к экватору). В максимуме СА углы меньше 7° , и увеличивается количество лучей с наклоном от экватора; на ветви спада СА углы наклона не превышают 10° , и наблюдается одинаковое количество лучей с наклоном к экватору и от него. В конце ветви спада СА наблюдается увеличение наклона (до 20°) и начало дрейфа лучей на низкие широты. Эти совмещённые изображения корональных лучей визуально показывают, к какому фотосферному и хромосферному образованию привязан данный луч.

В § 1.3 приведены результаты работ, в которых проводилось исследование больших шлемовидных лучей Солнца.

В п. 1.3.1 проведено исследование формы лимбовых структур плазмы в солнечной хромосфере (протуберанцев) и в короне (корональных лучей и арочных систем) на высотах до $6 R_\odot$, а также особенностей в распределении МП и нейтральных линий вблизи фотосферы Солнца за период 23-го цикла СА. В результате показано, что существует зависимость между высотой и формой корональных шлемовидных лучей и величиной поперечного градиента фонового МП, а также формой протуберанцев на ЛРП МП в основаниях корональных лучей.

В п. 1.3.2 приведен обзор работ, где для исследования эволюции больших шлемовидных лучей в течение нескольких оборотов Солнца строятся синоптические карты корональных лучей по снимкам КА SOHO (LASCO C2). Рассматривается методика построения синоптических карт корональных лучей для разных высот ($2.5 - 5 R_\odot$) за 23-й цикл СА. По полученным картам был проведён статистический анализ наклонов долгоживущих шлемовидных лучей в пространстве.

Если корональные лучи вытягиваются вдоль нейтрального гелиослоя, то синоптические карты расположения лучей представляют собой картину реального наблюдаемого нейтрального гелиослоя. По синоптическим картам корональных лучей можно корректировать геометрию глобального гелиослоя – в сторону реально наблюдавшегося слоя на предыдущих кэррингтоновских оборотах.

Во **второй главе** исследуется структура и расположение систем полярных лучей по данным полных солнечных затмений и внезатменных наблюдений КА.

В § 2.1 исследуется индекс P – протяжённость по лимбу (в градусах) систем полярных «щёточек» (plumes). Этот индекс, характеризующий развитость полярных корональных лучевых систем, представляется важным ввиду непосредственной связи с крупномасштабным полярным магнитным потоком Солнца.

В п. 2.1.1 проводятся вычисления полярного индекса P по данным полных солнечных затмений: используются фотографии и схематические зарисовки корональных структур, собранные за 15 циклов СА.

В п. 2.1.2 по данным КА SOHO (EIT) получен временной ряд P -индекса за период 1996 – 2011 гг.

В п. 2.1.3 путем синтеза полученных данных (набор значений P -индекса для отдельных полных солнечных затмений) с данными о моментах переполюсовок полярного МП созданы ряды среднегодовых значений P -индекса крупномасштабного полярного МП Солнца на основе наблюдений в течение последних более полутора столетий (1851 – 2011 гг.) в северном и южном полушариях Солнца, в том числе и в «знакопеременном» варианте, т.е. с учётом знака МП.

В п. 2.1.4 рассматриваются результаты использования временных рядов индекса P для исследования долговременной эволюции глобального МП Солнца, а также проведено исследование полученных рядов в контексте сравнения с другими индексами, характеризующими различные компоненты общего МП Солнца.

Изучены:

- Частотность различных глобальных конфигураций полюсов с точки зрения знака полярного МП;

- Долговременные изменения $N-S$ асимметрии полушарий для высокоширотного глобального МП Солнца. Исследуются изменения $N-S$ асимметрии различных индексов, характеризующих как низкоширотные (солнечные пятна – индекс площадей), так и высокоширотные (число полярных факелов, P -индекс) компоненты глобального МП Солнца;

- Длительность «11-летнего» цикла для индексов различных компонент глобального МП. С помощью вейвлет-преобразования получены вековые изменения продолжительности «11-летнего» цикла для всех компонент солнечного глобального МП. Вариации периодов для P -индекса достаточно хорошо соответствуют средним вариациям;

- Типичные значения локальных периодов «11-летнего» цикла. Строились гистограммы встречаемости значений локальных периодов «11-летнего» цикла для разных компонент общего МП. Показано, что типичные локальные периоды «11-

летних» циклических вариаций для низкоширотных и высокоширотных МП несколько различаются.

Индекс Π показал как отличающиеся от других индексов активности свойства: поведение векового цикла, N – S асимметрии полушарий, – так и общие: длительный ход локальных периодов цикла. Последнее заключение важно для нас в смысле свидетельства надёжности фазовых характеристик ряда, полученного из разрозненных наблюдений.

В § 2.2 проведено исследование параметра q (расстояние эффективных магнитных полюсов Солнца от центра диска Солнца до точки пересечения касательных, построенных к основаниям полярных корональных лучей) по данным КА ЕИТ (SOHO) за 23-й цикл СА. Показано, что параметр q по УФ данным, как и по снимкам полных солнечных затмений, изменяется в течение цикла СА. В период максимума СА среднее расстояние от N и S эффективного полюса до центра диска, имеет значение: $q_N = 0.37 R_\odot$; $q_S = 0.39 R_\odot$ (для полностью дипольного поля $q = 0.33 R_\odot$), а в 2004 г. параметр q достигает своего максимального значения: $q_N = 0.65 R_\odot$; $q_S = 0.73 R_\odot$. Максимальное значение параметра ($q_{\max}$) попадает не точно на минимум СА, и если $q_{\max}$ предвещает его на 1–2 года по разрозненным наблюдениям полных солнечных затмений в различных циклах СА, то в 23-м цикле по космическим наблюдениям мы получили опережение на 4–5 лет.

Проведено сравнение параметра q с дрейфом гелиографической широты высокоширотной зоны волокон, т.е. с дрейфом нейтральной линии. Показано, что в период переполусовки наблюдаются относительно большие флуктуации параметра q как в N , так и в S полушариях Солнца.

В **третьей главе** изложены результаты работ, в которых исследуется структура солнечной короны в спектральных линиях. Оригинальные исследования в этой главе проводились по наблюдениям, участие в которых автор принимал лично.

В § 3.1 во-первых, проведено сравнение временных изменений эмиссионной короны, полученной на ГАС ГАО за 4 цикла СА, с данными эмиссионной короны других обсерваторий – Норикуры (Япония), Пик дю Миди (Франция), Сакраменто Пик (США, шт. Нью-Мексико), Ломницкого Штита (Словакия). Сравнительный анализ показывает значительно большую корреляцию интенсивности короны Кисловодского ряда с активностью солнечных пятен, чем ряды, созданные на основе корональных наблюдений других обсерваторий. Таким образом, ряд корональных наблюдений ГАС ГАО, на наш взгляд, характеризуется наиболее регулярными наблюдениями короны, а также наибольшей стабильностью систем наблюдений и обработки.

Далее, исследуется широтное распределение эмиссионной короны в ходе 22-го и

23-го циклов СА. По результатам распределения интенсивности короны в линиях $5303\text{\AA}$ и $6374\text{\AA}$ по гелиографической широте выявлены характерные черты топологии МП в разных по типу циклах СА. Отметим явно выраженные закономерности в картине распределения короны:

1. Двухвершинность интенсивности эмиссионной короны в фазе максимума (это обстоятельство впервые отмечено М. Н. Гневнышевым);

2. Монотонный дрейф к полюсам приполярной границы красной короны ($\lambda=6374\text{\AA}$) имеет вид двух отдельных «шлейфов», для которых общий период существования на полюсах составляет 4 – 5 лет;

3. Широтный дрейф границы корональной интенсивности к полюсу опережает широтный дрейф нейтральной ЛРП МП Солнца для короны с интенсивностью 10 аб. ед. на 2 года, а для границы интенсивности 20 аб. ед. – на год;

4. Наблюдаемый провал в значениях интенсивности приполярной красной короны сопоставлен с аналогичным графиком зелёной короны. В результате обнаружено, что в эпоху максимума цикла СА флуктуации яркости короны в данных линиях имеют противофазное изменение, причём интенсивность короны $\lambda=5303\text{\AA}$ совпадает с депрессией широтной короны $\lambda=6374\text{\AA}$ как для долговременных: 2 – 3 года, – так и для полугодовых периодов.

В § 3.2 проведено исследование изменения интенсивности корональных линий с высотой в областях Солнца с различной активностью.

В п. 3.2.1 исследуется изменение интенсивности зелёной корональной линии ($\lambda=5303\text{\AA}$) с высотой. Показано, что в период спада СА для спокойных и полярных областей кривая зависимости интенсивности линии $5303\text{\AA}$ от высоты имеет крутой спад до $h \approx 30''$ (22 тыс. км), а для активных областей солнечного лимба спад интенсивности длится до $h \approx 120\text{--}170''$ (90–123 тыс. км).

П. 3.2.2: проведённое исследование красной корональной линии ($\lambda=6374\text{\AA}$) в период минимума СА показало, что как для активных областей (факельные площадки вблизи лимба Солнца), так и для спокойных областей Солнца аппроксимирующие кривые изменения интенсивности с высотой имеют логарифмический вид.

В § 3.3 приведены методы и результаты наблюдения на ГАС ГАО полного солнечного затмения 29 марта 2006г. Автор работы проводил наблюдения затмения на Малом коронографе ГАС в красном спектре. Одновременно сотрудники ИЗМИРАН вели наблюдения на Большом коронографе ГАС в зелёном спектре.

Были построены профили корональных линий $6374\text{\AA}$ до высот $250''$ ($1/4R_{\odot}$) от лимба Солнца. Исследование профилей корональной линии $6374\text{\AA}$ показало, что до высоты $130''$ не наблюдается определенной зависимости полуширины линии от высоты. При высотах больше $135''$ полуширина красной линии увеличивается. Были

найжены следующие физические параметры:

– Среднее значение кинетической температуры (T_D):

$$T_D(6374\text{\AA}) = 2.15 \cdot 10^6 \text{ K}; \quad T_D(5303\text{\AA}) = 3.30 \cdot 10^6 \text{ K}.$$

– Расширение линий в короне обусловлено турбулентными движениями со скоростью (V_t): $V_t(6374\text{\AA}) = 18.51 \text{ км/с}$; $V_t(5303\text{\AA}) = 19.71 \text{ км/с}$.

– Лучевые скорости $V_{\text{луч}}(6374\text{\AA})$ лежат в пределах $\pm 13.9 \text{ км/с}$.

По данным зелёной линии $V_{\text{луч}}(5303\text{\AA})$ составляют от -11.3 до $+6.2 \text{ км/с}$.

Построены зависимости изменений с высотой значений интенсивности, кинетической температуры, турбулентных и лучевых скоростей. Полученные полуширины линии над активной областью показали наибольшие температуры и турбулентные скорости.

В четвертой главе исследуются параметры солнечных протуберанцев в спектральных линиях $H\alpha(\lambda=6563\text{\AA})$, $D3(\lambda=5876\text{\AA})$, $H\beta(\lambda=4861\text{\AA})$. Исследования проводились по наблюдениям, участие в которых автор принимал лично.

В § 4.1 оцифрованы и представлены в электронном виде ежедневные данные по солнечным протуберанцам в линии $H\alpha$, наблюденных на Горной астрономической станции ГАО РАН за 5 циклов СА. Представлены характеристики этого ряда, а также проведён анализ долговременных распределений параметров протуберанцев: количество (n), протяженность по лимбу ($\Delta\phi$), площадь (S), высота (h). Показано, что основные параметры ряда протуберанцев, такие как n , S и h – имеют разный характер зависимости распределения от широты. Распределение протуберанцев имеют некоторую N – S и E – W асимметрию.

В § 4.2 исследуется структура хромосферных линий $H\alpha$, $H\beta$ и $D3$, наблюденных с шагом 1° по лимбу Солнца. Проведён сравнительный анализ спектральных наблюдений протуберанцев в линиях $H\alpha$, $H\beta$ и $D3$ в течение минимума СА. Показано, что в спектре протуберанцев наблюдаются некоторые различия по высоте хромосферных линий $H\alpha$, $H\beta$ и $D3$, по протяжённости по лимбу Солнца, а также в структуре линий. Структура спектральных линий $H\alpha$ и $D3$ имеет часто разорванный, клочкообразный вид. Излучение протуберанцев в линии $H\beta$ достигает меньшей высоты по сравнению с излучением в других линиях.

В § 4.3 проведено морфологическое исследование приполярных протуберанцев. Показано, что по форме и размеру отчётливо выделяется особый тип слабых протуберанцев, расположенных вдоль границ корональных дыр. Обычно эти образования выглядят как цепочки струек и выступов. Дополнительная информация по морфологии протуберанцев повышает надёжность в проведении нейтральной линии в приполярных широтах, когда на полюсах наблюдается большое количество протуберанцев.

Такую особенность некоторых циклов отмечал В.И. Макаров, когда он анализировал наблюдения обсерватории Кодайканал при построении синоптических *Ha*-карт 16 и 17 циклов СА.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы по каждой из четырёх глав.

В **Приложении** приведён каталог схематических зарисовок структуры солнечной короны во время наблюдений полных солнечных затмений за 160 лет с таблицей Кэррингтоновских оборотов и долгот восточного и западного лимбов на момент затмения Солнца.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Гусева С.А., Фатьянов М.П.* К вопросу о методике построения синоптических *H*-альфа карт: использование патрульных наблюдений слабых приполярных протуберанцев как трассеров границ корональных дыр // Труды конф. «Новый цикл солнечной активности наблюдательный и теоретический аспекты», ГАО РАН, С.-Петербург. 1998. С. 237–239.
2. *Давыдова Е.И., Давыдов В.В., Гусева С.А.* Результаты анализа ежедневных данных наблюдения солнечной активности на ГАС ГАО РАН // Труды конф. «Новый цикл солнечной активности наблюдательный и теоретический аспекты», ГАО РАН, С.-Петербург. 1998. С. 241–244.
3. *Тлатов А.Г., Гусева С.А., Ким Гун-Дер* Сравнительный анализ наблюдений спектральной короны на Кисловодской Станции в период 1957–2000 гг. // Труды конф. «Солнце в эпоху смены знака магнитного поля», ГАО РАН, С.-Петербург. 2001. С. 385–390.
4. *Гусева С.А., Фатьянов М.П.* Распределение эмиссионной короны по широте в ходе 22-го и на подъеме 23-го цикла активности // Труды конф. «Солнце в эпоху смены знака магнитного поля», ГАО РАН, С.-Петербург. 2001. С. 41.
5. *Гусева С.А., Фатьянов М.П.* Морфология корональных лучей на спаде активности (SOHO/LASCO, 2002 год) // Труды конф. «Солнечная активность и космические лучи после смены знака полярного магнитного поля Солнца», ГАО РАН, С.-Петербург. 2002. С. 171–176.
6. *Гусева С.А., Фатьянов М.П.* Построение синоптических карт корональных лучей по снимкам космического телескопа LASCO // Труды конф. «Климатические и экологические аспекты солнечной активности», ГАО РАН, С.-Петербург. 2003. С. 121–125.

7. Гусева С.А. Изучение свойств эффективных магнитных полюсов Солнца по данным ЕИТ (SOHO) за 1999–2004 гг. // Труды конф. «Солнечная активность как фактор космической погоды», ГАО РАН, С.-Петербург. 2005. С. 331–336.
8. Гусева С.А., Шрамко А.Д. Трёхмерное моделирование корональных лучей Солнца // Труды конф. «Солнечная активность как фактор космической погоды», ГАО РАН, С.-Петербург. 2005. С. 345–350.
9. Шрамко А.Д., Гусева С.А. Исследование быстропротекающих процессов в хромосфере и короне Солнца в аномальный 2003 год // Труды конф. «Солнечная активность как фактор космической погоды», ГАО РАН, С.-Пб. 2005. С. 605–612.
10. Гусева С. А. Шрамко А.Д. Исследование долгоживущих лучей в короне Солнца по снимкам космического телескопа LASCO C2 // Труды конф. «Солнечная активность как фактор космической погоды», ГАО РАН. С.-Пб. 2005. С. 337–344.
11. Гусева С.А., Ким Гун-Дер, Тлатов А.Г. Банк данных солнечных протуберанцев по данным наблюдений на Горной Станции ГАО в период 1957–2006 гг. // Труды конф. «Многоволновые исследования Солнца и современные проблемы солнечной активности», САО РАН, п. Нижний Архыз. 2007. С. 269–278.
12. Гусева С.А., Ким Гун-Дер, Тлатов А.Г., Платов Ю.В., Филиппов Б.П. Спектральные наблюдения солнечного затмения 29.03.2006 в линиях 6374 Å и 5303 Å // Труды конф. «Многоволновые исследования Солнца и современные проблемы солнечной активности», САО РАН, п. Нижний Архыз. 2007. С. 279–295.
13. Гусева С.А., Ким Гун-Дер, Тлатов А.Г. Результаты наблюдения полного солнечного затмения 29.03.2006 в корональной линии 6374Å на Кисловодской Горной Станции // Труды конф. «Физическая природа солнечной активности и прогнозирование её геофизических проявлений», ГАО РАН, С.-Петербург. 2007. С. 121–126.
14. Гусева С.А., Наговицын Ю.А. К описанию крупномасштабного полярного магнитного потока Солнца // Труды конф. «Физическая природа солнечной активности и прогнозирование её геофизических проявлений», ГАО РАН, С.-Петербург. 2007. С. 127–130.
15. Гусева С.А., Шрамко А.Д. Исследование корональной линии 5303 Å на разной высоте от лимба Солнца в период спада солнечной активности // Труды конф. «Физическая природа солнечной активности и прогнозирование её геофизических проявлений», ГАО РАН, С.-Петербург. 2007. С. 131–134.
16. Шрамко А.Д., Гусева С.А. Сравнительный анализ данных солнечного затмения 29 марта 2006 года в сантиметровом радиодиапазоне с наблюдениями эмиссионных линий // Труды конф. «Физическая природа солнечной активности и прогнозирование её геофизических проявлений», ГАО РАН, С.-Петербург.

2007. С. 365–368.

17. Гусева С.А., Шрамко А.Д. Лимбовые корональные лучи как предикторы гелиомагнитной картины на диске Солнца // Труды конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2008», ГАО РАН, С.-Петербург. 2008. С. 71–74.
18. Шрамко А.Д., Гусева С.А. Исследование излучения корональных дыр в период минимума солнечной активности // Труды конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2008», ГАО РАН, С.-Петербург. 2008. С. 393–396.
19. Наговицын Ю.А., Милецкий Е.В., Иванов В.Г., Гусева С.А. Реконструкция физических параметров космической погоды на 400 – летней шкале // **Космические исследования**. 2008. Т. 46. № 4. С. 291–302.
20. Наговицын Ю.А., Гусева С.А., Иванов В.Г., Макарова В.В., Милецкий Е.В., Наговицына Е.Ю. Физические параметры солнечной активности и космической погоды в XVII–XX веках // Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце–Земля, отв. ред. Жеребцов Г.А., М.: ИСЗФ СО РАН РАН; ИФЗ РАН. 2008. Т.8. С.41–48.
21. Наговицын Ю.А., Волобуев Д.М., Гусева С.А., Иванов В.Г., Макарова В.В., Милецкий Е.В., Наговицына Е.Ю. Активность Солнца и солнечно-земные связи в долговременных тенденциях космической погоды: проблема «космический климат» // в кн. «Астрономические исследования в Пулковке сегодня»: Сб. статей под ред. А.В.Степанова, С.-Петербург: ВВМ. 2009. С.144–159.
22. Тлатов А.Г., Наговицын Ю.А., Васильева В.В., Гусева С.А., Давыдов В.В., Ким Гун-Дер, Макарова В.В., Наговицына Е.Ю., Поляков Е.В., Степанова Т.А., Тавастшерна К.С., Фатьянов М.П., Шрамко А.Д. Результаты синоптических наблюдений солнечной активности на Кисловодской Горной Станции ГАО РАН // в кн. «Астрономические исследования в Пулковке сегодня»: Сб. статей под ред. А.В. Степанова, С.-Петербург: ВВМ. 2009. С. 219–234.
23. Гусева С.А., Шрамко А.Д. Исследование корональной линии 6374 Å в период минимума солнечной активности // Труды конф. «Год астрономии: солнечная и солнечно-земная физика–2009», ГАО РАН, С.-Петербург. 2009. С. 147–148.
24. Гусева С.А., Шрамко А.Д. Исследование солнечных протуберанцев в спектральных линиях 6563 Å, 5876 Å, 4861 Å // Труды конф. «Год астрономии: солнечная и солнечно-земная физика–2009», ГАО РАН, С.-Петербург. 2009. С. 149–150.
25. Гусева С.А., Шрамко А.Д. Сравнение спектральных и фильтровых наблюдений Солнца в линии 6563 Å // Труды конф. «Год астрономии: солнечная и солнечно-земная физика–2009», ГАО РАН, С.-Петербург. 2009. С. 151–152.
26. Шрамко А.Д., Гусева С.А. Морфология солнечных радиовсплесков и их источники // Труды конф. «Год астрономии: солнечная и солнечно-земная физика–

- 2009», ГАО РАН, С.-Петербург. 2009. С. 469–170.
27. Шрамко А.Д., Гусева С.А. Исследование радиоизлучения корональных дыр в минимуме активности Солнца по частному затмению 01.08.2008 на ГАС ГАО РАН // Труды конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2010», ГАО РАН, С.-Петербург. 2010. С. 459–462.
28. Шрамко А.Д., Гусева С.А. Солнечные локальные источники в радиодиапазоне по частному затмению 04.01.2011 на ГАС ГАО РАН // Труды конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2011», ГАО РАН, С.-Петербург. 2011. С. 217–220.
29. Шрамко А.Д., Гусева С.А. Особенности радиоизлучения корональных дыр по затменным и внезатменным наблюдениям в период минимума солнечной активности // **Геомагнетизм и аэрономия**. 2012. Т. 52. № 2. С. 154–162.
30. Гусева С.А., Наговицын Ю.А. Изменения крупномасштабного полярного магнитного потока Солнца: среднегодовой ряд P - индекса в 1858–2006 гг // **Геомагнетизм и аэрономия**. 2012. Т. 52. № 4. С. 456–462.
31. Shramko A. D. and Guseva S. A. Studying Local Sources in the Radio Range Based on the Partial Solar Eclipse of January 4, 2011, at the Mountain Astronomical Station, Central Astronomical Observatory, Russian Academy of Sciences // **Geomagnetism and Aeronomy**. 2012. V. 52. № 7. P. 913–920.