

На правах рукописи



Тлатова Ксения Андреевна

РЕКОНСТРУКЦИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ  
ПО ДАННЫМ ОЦИФРОВКИ ДЛИТЕЛЬНЫХ  
РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ

01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург — 2018

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,  
доцент Нагнибеда Валерий Георгиевич

Официальные оппоненты: Мордвинов Александр Вениаминович,  
доктор физико-математических наук,  
Институт солнечно-земной физики СО  
РАН, заведующий лабораторией солнечной  
активности,

RiehoKainen Alexandr, PhD (astronomy and  
solar physics), University of Turku (Finland),  
Department of Physics and Astronomy,  
university researcher

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт земного  
магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

Защита состоится “29” мая 2018 г. в 15 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета  
Д 212.232.15 при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 198504,  
г. Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., 28., ауд. 405 (Математико-  
механический факультет).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. М. Горького Санкт-  
Петербургского государственного университета по адресу: 199034, Санкт-Петербург,  
Университетская наб., 7/9 и на сайте:

<https://disser.spbu.ru/disser/soiskatelyu-uchjonoj-stepeni/dis-list/details/14/1621.html>

Автореферат разослан “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук



Миланова Ю. В.

Диссертация посвящена восстановлению информации о солнечной активности по результатам оцифровки исторических архивных наблюдательных данных за длительный период, изучению и анализу свойств активности по полученным данным.

### **Актуальность**

Вопросы о причинах долговременных вариаций солнечной активности, достоверности имеющихся рядов наблюдений, теоретические модели, описывающие переменность солнечной активности на длительных масштабах времени, являются наиболее актуальными в современной солнечной физике. Поскольку цикл активности имеет масштаб около десяти лет, его понимание требует долгосрочных наблюдений на масштабе времени порядка сотен лет. Долговременные синоптические наблюдения Солнца дают возможность узнать закономерности, которые достаточно отчетливо проявляются лишь на больших временных масштабах. Текущие события на Солнце могут быть достоверно оценены и осознаны, если их можно сравнить с данными предыдущих наблюдений. Поэтому синоптические наблюдения являются источниками данных для будущих исследований.

На сегодняшний день существует два основных типа долгосрочных рядов астрономических данных: табличные базы данных и фотографические архивы. В этой работе использовались данные фотографических архивов или зарисовок различных элементов солнечной активности, поскольку они имеют ряд преимуществ в сравнении с табличными архивами.

Несмотря на то, что долгосрочные табличные базы данных составлялись в течение довольно длительного периода времени, например, индексы солнечных пятен (числа Вольфа, числа групп), площади групп солнечных пятен, положения солнечных волокон и другие, все эти ряды не являются однородными и имеют ограниченный набор характеристик.

Фотографические архивы и зарисовки, в свою очередь, могут нести больше информации, в отличие от табличных данных. Индексы активности, полученные по данным фотографических архивов, могут быть верифицированы или пересчитаны, по новым методикам. С помощью фотоархивов можно просматривать и извлекать форму, интенсивность, площадь, длину, положение и другие параметры элементов солнечной активности, которых нет в табличных базах. Эту информацию можно использовать для анализа и изучения элементов солнечной активности, как пространственных объектов.

Одной из актуальных задач является реконструкция распределения магнитных полей Солнца до начала регулярных магнитографических наблюдений. Для реконструкции интенсивности магнитного поля на всей поверхности Солнца должны использоваться данные различных видов наблюдений, такие как измерения магнитных полей солнечных пятен, наблюдения ярких областей в линии CaIIK. Для определения полярности магнитного поля можно использовать данные о положении солнечных волокон и протуберанцев. Солнечные волокна расположены на линиях смены знака крупномасштабного магнитного поля [1, 3]. Информация об их положении позволяет восстановить конфигурацию полярности крупномасштабного магнитного поля за длительный интервал времени [3,4]. Комплексный подход, основанный на создании сводных карт солнечной активности, позволяет реконструировать распределение магнитных полей Солнца за длительный период и, на их основе, восстановить параметры солнечного ветра и гелиосферы.

Таким образом, задача изучения долговременных вариаций солнечной активности и солнечного магнетизма приводит к необходимости обработки большого объема наблюдательных данных, представленных на всех солнечных широтах.

## Цель и задачи работы

Целью диссертационной работы является создание баз данных пространственных и фотометрических свойств элементов солнечной активности по данным ежедневных наблюдений за период около 100 лет. Создание новых индексов солнечной активности, на основе полученных данных и их анализ.

Для достижения поставленной цели, в работе выполняются следующие задачи:

- Оцифровка отсканированных ежедневных зарисовок магнитных полей солнечных пятен обсерватории Маунт Вилсон за период 1917-2016 гг. Создание каталога характеристик ядер пятен и пор, включающего в себя гелиографические координаты, площадь, напряженность магнитного поля и другие параметры.
- Выделение волокон на ежедневных изображениях Солнца в линии H-альфа, полученных в обсерватории Кодайканал за период 1915-2002 гг. и создание каталога их характеристик.
- Создание каталога солнечных протуберанцев по данным зарисовок ежедневных визуальных наблюдений сети солнечных спектроскопов 1922-1934 гг.
- Выделение протуберанцев на фотопластинках обсерватории Кодайканал в линии CaHK за период 1910-1954 гг.
- Изучение свойств солнечных пятен и магнитных биполей по данным оцифровки наблюдений магнитных полей пятен за период 15-24 циклы активности.
- Сравнительный анализ свойств солнечных волокон и протуберанцев за период около 100 лет.
- Создание сводных ежедневных и синоптических карт солнечной активности.

## Научная новизна работы

- Созданы уникальные базы данных характеристик различных элементов солнечной активности: ядер солнечных пятен, волокон и протуберанцев, охватывающие период около 100 лет. В том числе выполнена оцифровка магнитных полей солнечных пятен по данным обсерватории Маунт Вилсон за период 1917-2016 гг.; солнечных протуберанцев по данным визуальных наблюдений за период 1922-1934 гг. (16-й цикл активности); протуберанцев на ежедневных наблюдениях в линии CaIIK обсерватории Кодайканал за период 1910-1954 гг.; солнечных волокон на изображениях в линии H-альфа обсерватории Кодайканал за период 1912–2002 гг.
- Выполнен отдельный анализ ядер ведущей и хвостовой полярности за период 1917-2016 гг. Выявлено, что средние напряженности магнитного поля хвостового ядра примерно на 15-18% меньше, чем ведущего ядра. Установлена связь между площадью и магнитным полем отдельно для ядер ведущей и хвостовой полярности. Зависимость между напряженностью магнитного поля и логарифмом площади для ядер ведущей полярности имеет более крутой наклон и более высокий коэффициент корреляции, чем для ядер хвостовой полярности.
- По данным магнитометрических измерений в ядрах пятен ведущей и хвостовой полярности обнаружено существование двух видов (популяций) солнечных ядер с различным характерным магнитным полем. Разделение между ними происходит на значениях напряженности магнитного поля 1000-1500 Гс. Наличие двух видов (популяций) может быть связано с различием свойств пор (более слабых полей) и ядер солнечных пятен (более сильных полей).
- Рассмотрены свойства магнитных биполей по данным наблюдений магнитных полей пятен в 15-24 циклах активности. Установлено, что зависимость углов наклона магнитной оси

биполей к экватору («тильт-угол») от широты меняется не монотонно, а имеет максимум на широтах около  $\sim 30^\circ$ .

- Обнаружено, различие в зависимости угла наклона биполей от широты для четных и нечетных циклов. Показано, что нечетные циклы имеют положительное смещение тилт-углов вблизи экватора (как в северном полушарии), тогда как для четных циклов смещение отрицательно.
- Показано, что в распределении числа биполей в зависимости от длины магнитной оси  $l$  существует вторичный максимум для длин  $l \sim 85$  Мм. Возможно, это связано с влиянием супергрануляции на расположение ядер в биполярных группах.
- Распределение протуберанцев с высотой в целом описывается логнормальным распределением с максимумом вблизи 15-20 Мм. Вместе с тем существует второй локальный максимум в распределении на высотах около 50-65 Мм. Эта величина близка в удвоенному размеру солнечных супергранул.
- Выполнен сравнительный анализ солнечных волокон в циклах 15-23. Для цикла 19, в котором наблюдалась наибольшая солнечная активность, относительное число волокон вблизи экватора оказалось наименьшим. Для менее активных циклов относительное число волокон на разных широтах имеет более равномерное распределение.

### **Научная и практическая значимость работы**

Ценность результатов диссертации складывается из нескольких факторов.

Во-первых, были созданы каталоги характеристик и базы данных форм различных элементов солнечной активности, таких как ядра солнечных пятен, волокон и протуберанцев.

Во-вторых, получены новые данные о долговременных вариациях солнечной активности, включающие изменения характеристик ядер солнечных пятен, ведущей и хвостовой

полярности, солнечных биполей, протуберанцев и волокон на больших интервалах времени.

В-третьих, данные оцифровки долговременных наблюдений и прежде всего информация о форме объектов, представленная в виде контуров, может быть использована для реконструкции ежедневных и синоптических сводных карт солнечной активности.

Новые данные будут востребованы для реконструкции распределения магнитных полей Солнца за длительный период. Это позволит, восстановить проявления солнечной активности, эффективно влияющие на параметры космической погоды и изучить солнечно-земные связи, в том числе, и влияние на изменение климата Земли.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Новые каталоги и базы данных, созданные по результатам оцифровки долговременных архивов наблюдений солнечной активности, в том числе измерения магнитных полей ядер солнечных пятен, солнечных волокон и протуберанцев, охватывающие период около 100 лет.

2. Раздельный анализ магнитных характеристик солнечных пятен ведущей и хвостовой полярности на основе данных наблюдений 15-24-х циклов активности. Для двух типов ядер установлены зависимости магнитного поля от их площади.

3. Различие зависимости углов наклона магнитных биполей для четных и нечетных циклов.

4. Существование второго локального максимума в распределении высот протуберанцев.

### **Достоверность результатов**

Достоверность полученных данных оцифровки наблюдений в диссертации подтверждена сравнением с другими известными наборами данных. Данные хорошо согласуются между собой.



## **Личный вклад автора**

Во всех исследованиях, изложенных в работе, автор принимал активное участие в постановке задач, решении методических вопросов, обработке и анализе данных, обсуждении, интерпретации полученных результатов и написании статей. Автор проделал основную работу по оцифровке данных наблюдений долговременных архивов наблюдений и созданию расширенной базы данных.

## **Апробация работы**

Основные результаты и выводы, приведённые в диссертации, докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях: на семинарах кафедры астрофизики СПбГУ, а также на 18 научных конференциях и съездах: COSPAR Symposium “Cosmic magnetic fields legacy of A.V. Severny” (RI “Crimean Astrophysical Observatory”, Nauchny, Crimea, 2013); Ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе" (ИКИ РАН, Москва, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018); 40th COSPAR Scientific Assembly (Moscow, Russia, August 2014); Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца, "Солнечная и солнечно-земная физика", (ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2014, 2016, 2017); International students conference “Science and Progress” (St. Petersburg State University, Saint-Petersburg-Peterhof, 2016); Working Meeting on Promoting the Use of Vector Synoptic Maps in Modeling of Solar, Heliospheric and Space-Weather Phenomena (Oulu, Finland, 2017); Space Weather of the Heliosphere: Processes and Forecasts Proceedings IAU Symposium No. 335 (Exeter University, Exeter, Great Britain, 2017); Всероссийская астрономическая конференция, “Астрономия: Познание без границ” (Ялта, 2017); Our mysterious Sun: “magnetic coupling between solar interior and Atmosphere” (Tbilisi, Georgia, 2017); "Helicity Thinkshop 3" (University of Tokyo, Tokyo, Japan, 2017); ISSI–Team meeting (Bern, Switzerland, 2017); Long-Term Datasets for the Understanding of Solar and Stellar Magnetic Cycles IAU Symposium No. 340 (Jaipur, India, 2018).

## Публикации по результатам работы

Основные результаты работы по теме диссертации отражены в 12 публикациях, из которых: 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 4 входят в список Web of Science, а также 8 работ опубликовано в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Tlatova, K. Long-term variations of sunspot magnetic fields and properties of dipolar in the period 1918 - 2014 / K.Tlatova, V.Vasilieva, A.Pevtsov // *Geomagnetism and Aeronomy*. - 2015. - V.55. - P.896-901.
2. Tlatova, K.A. Reconstruction of a Hundred years series of solar filaments from daily observational data / K.A.Tlatova, V.V.Vasilieva, A.G.Tlatov // *Geomagnetism and Aeronomy*. - 2017. - V.57. - P.825-828.
3. Tlatova, K.A. Prominence characteristics in 16th activity cycle / K.A.Tlatova, V.G.Nagnibeda // *Geomagnetism and Aeronomy*. - 2017. - V.57. - P.829-834.
4. Tlatov, A., Tlatova, K. Properties of sunspot umbrae of leading and trailing polarity in 1917-2013 / A.Tlatov, K.Tlatova, V.Vasil'eva, A.Pevtsov, K.Mursula // *Advances in Space Research*. - 2014. - V.55. - P.835-842.

В статьях 1-4 соискатель принимал участие в постановке задач. Выполнил основную часть работы по обработке данных. Внес значительный вклад в анализ полученных данных и интерпретацию полученных результатов.

Статьи в сборниках трудов конференций:

5. Тлатова, К.А. Магнитные поля солнечных пятен по данным наблюдений в период 1917-2013 гг. / К.А.Тлатова, В.В.Васильева, А.Г.Тлатов // *Известия Крымской астрофизической обсерватории*. - 2013. - Т.9 4. - С.76-84.
6. Tlatova, K. Long-term variation of statistical properties of sunspot field strengths and their relation to the characteristics of solar cycles in 1917-2013 / K.Tlatova, A.Pevtsov, A.Tlatov, V.Vasilieva, M.Kalevi //

40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014. in Moscow, Russia. - 2014. - Abstract E2.2-58-14.

7. Васильева, В.В, Свойства магнитных биполей в 15–24 циклах активности / В.В.Васильева, К.А.Тлатова // Труды XVIII Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика 2014», 20–24 октября 2014 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург. – 2014. - С.67–70.

8. Тлатова, К.А, Свойства протуберанцев в 16-м цикле активности / К.А.Тлатова // Труды XX Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика 2016», 10–14 октября 2016 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург. – 2016. - С.309–312.

9. Тлатова, К.А. Реконструкция столетнего ряда солнечных волокон по данным ежедневных наблюдений. / К.А.Тлатова, В.В.Васильева, А.Г.Тлатов // Труды XX Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика 2016», 10–14 октября 2016 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург. – 2016. - С.313–316.

10. Смирнова, В.В Обработка данных радиотелескопа рт-7,5 мгу им. Н.э. Баумана для использования в моделировании миллиметрового излучения активных областей солнечной хромосферы / В.В.Смирнова, М.А.Лукичева, К.А.Тлатова, В.С.Рыжов, И.Живанович, В.Г.Нагнибеда // Труды XXI Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика 2017», 9–13 октября 2017 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург. – 2017. - С.293–296.

11. Тлатова, К.А. Реконструкция столетних рядов солнечной активности / К.А.Тлатова, В.Васильева, Н.Н.Скорбеж, А.Г.Тлатов // Труды XXI Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика 2017», 9–13 октября 2017 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург. 2017. - С.327–332.

12. Тлатова, К.А. Длина магнитной оси биполей солнечных пятен / К.А.Тлатова, А.Г.Тлатов // Труды XXI Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика 2017», 10–14 октября 2017 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург. – 2017. - С.333–336.

## Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, 5-и глав, заключения, списка использованной литературы (171 наименование) и одного приложения. Ее объем составляет 166 страниц, включая приложения, список литературы, 74 рисунков и 8 таблиц.

*Во введении* обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы основные цели и задачи исследования, представлена научная новизна работы, показана научно-практическая значимость, достоверность и ценность полученных результатов. Представлены выносимые на защиту научные положения и их апробация докладами и публикациями. Изложено краткое содержание работы.

*Первая глава* “Долговременные наблюдательные программы исследования солнечной активности” содержит обзор долговременных наблюдательных программ солнечной активности: солнечных пятен, магнитометрических измерений напряженности магнитных полей солнечных пятен; наблюдений протуберанцев; наблюдений солнечных волокон; наблюдений в линиях CaIIK и H-альфа. Рассмотрены основные методы и приемы использовавшихся визуальных и фотографических наблюдений.

*Во второй главе* “Обработка наблюдений магнитных полей солнечных пятен” рассматриваются результаты, оцифровки магнитных полей солнечных пятен по данным обсерватории Маунт Вилсон в период с 1917 по 2016 гг. и выполнен анализ этих данных.

*В разделе 2.1* описаны методы наблюдений магнитных полей пятен в обсерватории Маунт Вилсон, конструктивные изменения в

телескопе и методике наблюдений, произошедшие за период наблюдений [5, 6].

В *разделе 2.2.* описана методика оцифровки зарисовок ежедневных наблюдений магнитных полей ядер солнечных пятен. Всего в период 1917-2016 гг., обработано около  $20 \cdot 10^3$  ежедневных зарисовок солнечных пятен, ядер и пор с измеренными магнитными полями. Общее число оцифрованных измерений отдельных ядер и пор составило  $436 \cdot 10^3$  из них  $425 \cdot 10^3$  с измеренными магнитными полями. Для каждого измерения оцифровывались интенсивность магнитного поля, площадь, форма и гелиографические координаты. На сегодняшний день эта база данных измерений магнитных полей пятен является наиболее длинной и полной.

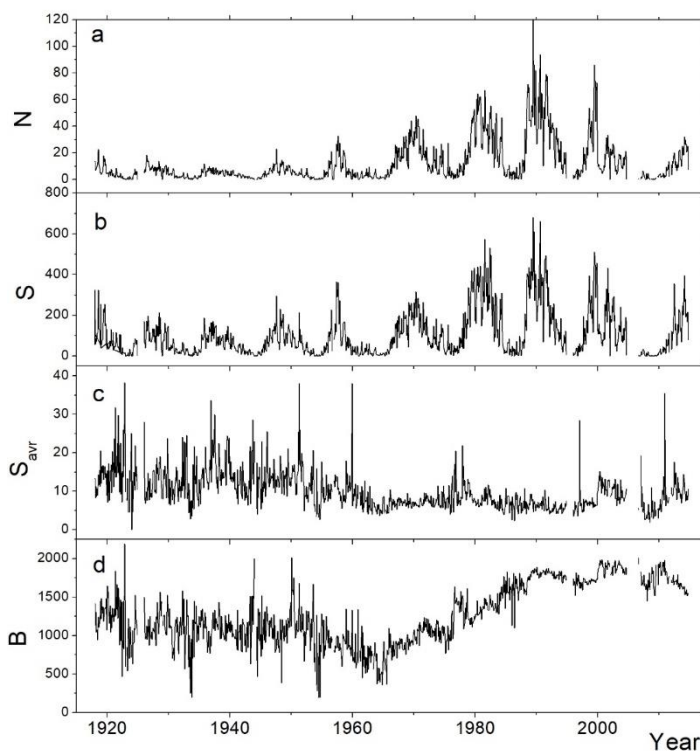
На рисунке 1 показаны изменения во времени основных характеристик полученного ряда, таких как количество проводимых измерений магнитных полей, суммарные и средние площади измеренных объектов, средние интенсивности измеренных магнитных полей. Видно, что система наблюдений изменялась (Рис. 1а): до середины 1950-х годов, когда среднемесячное число измерений (ядер и пор) составляло около пяти измерений в день. Начиная с середины 1960-х годов, среднемесячное число измерений увеличилось до 20-25 измерений в день, а максимальное число составляло около 115 измерений в день.

В *разделе 2.3* представлен сравнительный анализ ядер ведущей и хвостовой полярности. Ядра ведущей полярности имеют, как правило, более крупный размер и более сильную напряженность поля, чем ядра хвостовой полярности.

Средние напряженности магнитного поля хвостового ядра примерно на 15-18% меньше, чем ведущего ядра. Это различие может быть объяснено известным свойством активных солнечных областей: ведущая полярность более организована и компактна, а хвостовая полярность рассредоточена. Однако результаты, представленные в этой работе, дают твердую статистику в поддержку этих известных свойств. Ранее такая статистика не представлялась. Получена связь

между площадью и магнитным полем отдельно для ядер ведущей и хвостовой полярности.

В линейном приближении такую связь можно выразить для ведущего ядра:  $B_L = 1057 + 679 \cdot \log(S)$  (коэффициент корреляции  $r = 0.5$ ), а для хвостового ядра:  $B_T = 1151 + 476 \cdot \log(S)$  ( $r = 0.3$ ).



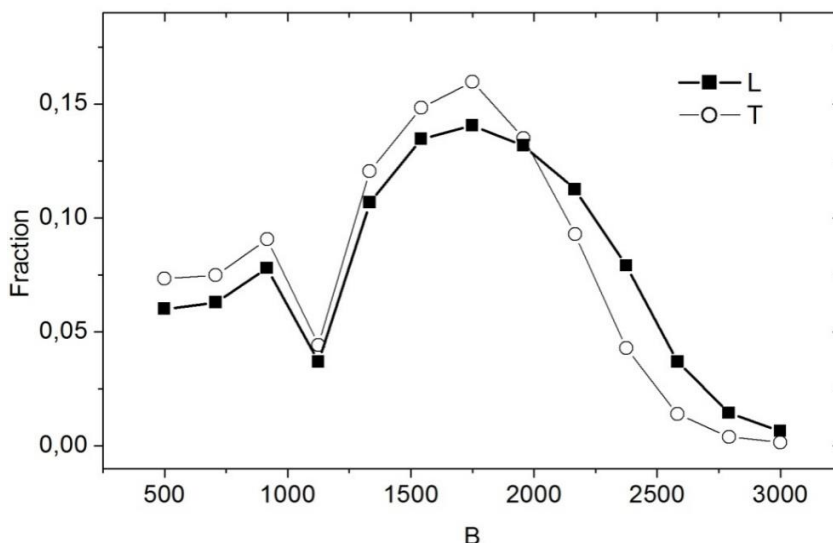
**Рис. 1.** Среднемесячные значения (а) количества измеренных ядер и пор за день; (б) суммарная площадь измеренных ядер и пор в единицах миллионных долей солнечного диска (мдп); (с) средняя площадь ядер в единицах мдп, (д) средняя интенсивность магнитного поля ядер в Гауссах.

По данным магнитометрических измерений в ядрах пятен ведущей и хвостовой полярности обнаружено существование двух видов солнечных ядер с различным характерным магнитным полем. Разделение между ними можно провести для интенсивности магнитного поля  $B \sim 1000-1500$  Гс. Два вида могут быть связаны с существованием пор (более слабых полей) и ядер солнечных пятен (более сильных полей).

В *разделе 2.4* рассмотрены свойства солнечных биполей в 15-24 циклах активности. Всего по данным оцифровки было выделено около  $5 \cdot 10^3$  пар магнитных биполей. Рассмотрены свойства биполей в

зависимости от широты и длины магнитной оси. Обнаружено различие углов наклона магнитной оси (тильт-углов) для четных и нечетных циклов.

Показано, что нечетные циклы имеют положительное смещение тилт-углов вблизи экватора (как в северном полушарии), тогда как для четных циклов смещение тилт-углов отрицательно (как в южном полушарии).



**Рис. 2.** Гистограмма распределения числа ядер в зависимости от напряженности магнитного поля ядер и полярности ведущей (L) и хвостовой (T). Видно существование двух видов (популяций) ядер ( $B < 1100$  Гс и  $B > 1100$  Гс)

**Третья глава** “Оцифровка солнечных протуберанцев” посвящена созданию каталога солнечных протуберанцев за первую половину 20-го века. Вместе с данными Кисловодской Горной станции ГАО (1957-2017) новые каталоги протуберанцев охватывают период более 100 лет.

В разделе 3.1 описана оцифровка солнечных протуберанцев по данным международной наблюдательной сети визуальных солнечных спектрометров в период 1922-1934 гг (16-й цикл активности). Всего выделено более  $51 \cdot 10^3$  протуберанцев для  $5 \cdot 10^3$  наблюдательных дней. По данным оцифровки выполнен анализ свойств протуберанцев. Распределение протуберанцев с высотой в целом описывается логнормальным распределением с максимумом вблизи

15-20 Мм. Вместе с тем, существует второй локальный максимум в распределении на высотах около 50-65 Мм. Эта величина близка к удвоенному размеру солнечных супергранул.

В *разделе 3.2* описано выделение протуберанцев на фотопластинках ежедневных наблюдений в линии CaIIK обсерватории Кодайканал. Всего за период 1910-1954 гг. было выделено более  $90 \cdot 10^3$  протуберанцев.

В *разделе 3.3* определена скорость дрейфа высокоширотных протуберанцев (протуберанцы полярного венца) для 13-24-х циклов солнечной активности, выполнен сравнительный анализ в зависимости от полушарий и амплитуды активности солнечных циклов. Оказалось, что скорость дрейфа полярных протуберанцев не однозначно связана с амплитудой цикла солнечных пятен. Так, траектория дрейфа в координатах широта-время полярных протуберанцев для цикла 19 находится между циклами 20 и 24.

В *четвертой главе* “Оцифровка солнечных волокон на изображениях полного диска Солнца” представлены результаты выделения солнечных волокон на изображениях в линии H-альфа обсерватории Кодайканал и результаты анализа их свойств.

В *разделе 4.1* описаны методы наблюдений солнечных волокон и их свойства.

В *разделе 4.2* представлены методы выделения волокон на ежедневных изображениях Солнца в линии H-альфа и описание созданного ряда. Всего за период 1912–2002 гг. было выделено более  $326 \cdot 10^3$  волокон на  $24 \cdot 10^3$  изображениях обсерватории Кодайканал. В отличие от работы [2], где выделение волокон проводилось на синоптических картах, наши данные, реконструированные по данным обработки ежедневных изображений, позволили более подробно изучить свойства волокон в солнечном цикле.

В *разделе 4.3* представлены результаты анализа свойств солнечных волокон, по данным их отождествления на изображениях. Выполнен сравнительный анализ индексов активности волокон в 15-23 циклах активности. Индексы длины и площади волокон за рассмотренный период достигали максимума в 19-м цикле



активности. Для цикла 19, в котором наблюдалась наибольшая солнечная активность, относительное число волокон вблизи экватора было наименьшим. Наоборот, для слабых циклов активности, например, 15 или 20 цикла относительное число волокон на низких и высоких широтах имеет более равномерное распределение.

**Глава пять** “Создание сводных карт солнечной активности” посвящена описанию и методам создания сводных ежедневных и синоптических карт солнечной активности. На этих картах могут быть представлены различные виды наблюдений: солнечные пятна по данным обработки фотопластинок в “белом” свете Гринвичской обсерватории и ГАС ГАО РАН, магнитные поля солнечных ядер, солнечная корона, протуберанцы, флоккулы, по данным наблюдений в линии CaHK, волокна, выделенные на изображениях в линии H-альфа и другие виды активности.

Полученные нами сводные данные о солнечной активности, а также характеристики элементов солнечной активности опубликованы в сети Интернет [www.observethesun.com](http://www.observethesun.com) и могут быть использованы для изучения активности, как отдельных дней, так и синоптических оборотов, а также для построения и анализа индексов активности за длительные интервалы времени.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Выполнена оцифровка измерений магнитных полей солнечных пятен обсерватории Маунт Вилсон за период 1917 по 2016 гг.

Проведена оцифровка солнечных протуберанцев по данным визуальных наблюдений протуберанцев за период 1922-1934 гг. (16-й цикл активности) и по данным ежедневных наблюдений в линии CaHK обсерватории Кодайканал за период 1910-1954 гг. (15-18-й циклы активности).

Выполнена оцифровка солнечных волокон на ежедневных изображениях Солнца в линии H-альфа обсерватории Кодайканал за период 1912–2002 гг.

По данным оцифровки магнитных полей солнечных пятен, выполнен разделный анализ ядер ведущей и хвостовой полярности,

установлены отличия в магнитных свойствах этих типов пятен. По данным оцифровки, создана база данных магнитных биполей и изучены их свойства.

Проведен анализ свойств протуберанцев. Установлено, что в распределение высот протуберанцев присутствуют два локальных максимума.

Выполнен анализ волокон в 15-24 циклах активности. Показано, что относительное распределение волокон по широте меняется от цикла к циклу. В 19-м цикле активности относительное число волокон на низких широтах было минимальным, по сравнению с другими циклами активности.

## Литература

1. Babcock, H.W. The Sun's Magnetic Field, 1952-1954 / H.W.Babcock, H.D.Babcock // *Astrophysical Journal*. - 1955. - V.121. - P.349-366.
2. Chatterjee,S. Long-term Study of the Solar Filaments from the Synoptic Maps as Derived from H-alpha Spectroheliograms of the Kodaikanal Observatory / S.Chatterjee, M.Hegde, D.Banerjee, B.Ravindra // *The Astrophysical Journal*. - 2017. – V.849. –P.44-52.
3. McIntosh, P.S. Solar magnetic fields derived from hydrogen alpha filtergrams / P.S. McIntosh // *Reviews of Geophysics and Space Physics*. – 1972. - V.10. - P.837 – 846.
4. Makarov, V.I.Poleward migration of the magnetic neutral line and the reversal of the polar fields on the sun. II - Period 1904-1940 / V.I.Makarov, K.R.Sivaraman // *Solar Physics*. - 1983. - V.85. - P.227-233.
5. Pevtsov, A.A. Long-term Trends in Sunspot Magnetic Fields. / A.A.Pevtsov, Y.A.Nagovitsyn, A.G.Tlatov, A.L.Rybak // *The Astrophysical Journal Letters*. - 2011. - V.742. - L36. -41.
6. Pevtsov, A.A. Cyclic and Long-Term Variation of Sunspot Magnetic Fields / A.A.Pevtsov, L.Bertello, A.G.Tlatov, A.Kilcik, Y.A.Nagovitsyn, E.W.Cliver // *Solar Physics*. - 2014. - V.289. - P.593-602.