

Пузин Василий Борисович

**Фотометрические и спектрополяриметрические исследования
звезды FK Com и поиск кандидатов в звезды типа FK Com**

01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте астрономии Российской академии наук

Научный руководитель: **Саванов Игорь Спартакович**,
д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник,
руководитель группы отдела экспериментальной
астрономии Института астрономии РАН,
г. Москва

Официальные оппоненты: **Черепашук Анатолий Михайлович**
академик РАН, д.ф.-м.н., директор
Государственного астрономического института
имени П.К. Штернберга Московского
государственного университета имени М.В.
Ломоносова, г.Москва

Наговицын Юрий Анатольевич

д.ф.-м.н., зам. директора по научной работе
Главной (Пулковской) астрономической
обсерватории РАН, г. Санкт-Петербург

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Казанский (Приволжский)
федеральный университет», г. Казань

Защита состоится 21 июня 2017 года в 15 час. 00 мин. на заседании
диссертационного совета Д 002.280.01 на базе Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института астрономии Российской академии
наук по адресу: 119017, г. Москва, ул. Пятницкая 48.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института астрономии РАН
и на сайте <http://www.inasan.ru>.

Автореферат разослан _____ 2017 года.

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат физико-математических наук

Чупина Н. В.

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Исследования звездной активности и магнетизма принадлежат к одной из основных задач современной астрофизики. В последние десятилетия произошел значительный прогресс в получении наблюдательных данных высокого качества (высокоточные фотометрические наблюдения с поверхности Земли и с космическими телескопами, спектральные и спектрополяриметрические наблюдения с высоким отношением сигнала к шуму), а также в методах их обработки и интерпретации (методы восстановления карт поверхностных температурных неоднородностей из анализа кривых блеска, методы доплеровского и зееман-доплеровского картирования и др.).

Большинство явлений на Солнце связаны с активностью его магнитного поля, которое отвечает за турбулентность во внешней конвективной зоне, формирует пятна в фотосфере, высоко-корональные петли, флоккулы и факелы. Изучение солнечной активности является важным для понимания процессов образования и изменения магнитного поля Солнца. Исследование активности звезд, связанной с магнитным полем, позволяет тестировать теорию солнечного динамо с входными параметрами, не ограничиваясь только солнечными.

Активность, подобная солнечной, первоначально была обнаружена у красных карликовых звезд типа UV Кита (UV Ceti). Изменения кривой блеска вне затмений в двойных системах типа BY Дракона (BY Dra) Крон [19] объяснил наличием пятен на поверхности звезды. Позднее, в работах [5], [6], [9] было подтверждено наличие пятен у звезд типа RS CVn на основе анализа переменности кривых блеска.

В многочисленных работах на основании корреляции магнитной активности со скоростью вращения подтвердилась гипотеза, высказанная Скуманичем [22], о том, что вращение играет важную роль в генерации звездной активности. Было обнаружено, что холодные звезды с более быстрым вращением показывают более высокий уровень магнитной активности и являются лучшими кандидатами для изучения и тестирования звездного динамо. К таким объектам относятся следующие типы звезд:

- красные карлики спектрального класса M (M карлики);
- молодые одиночные звезды на стадии эволюции до Главной последовательности (ГП) (звезды типа T Tau);

- молодые одиночные звезды солнечного типа;
- тесные двойные системы с быстро вращающимся компонентом (звезды типа RS CVn, звезды типа BY Dra, звезды типа W UMa, звезды типа Алголь);
- одиночные быстро вращающиеся гиганты (звезды типа FK Com) и другие

Среди всего многообразия активных звезд, особый интерес представляют исследования звезд типа FK Com. Несмотря на уже имеющиеся результаты их наблюдений, эти объекты продолжают оставаться предметом многочисленных исследований, направленных на глубокое изучение природы их активности.

Во многом активность FK Com подобна активности звезд типа RS CVn. Фотометрическая переменность FK Com связана с вращательной модуляцией её излучения, обусловленной наличием на её поверхности холодных пятен. Именно исследования фотометрической переменности FK Com привели к открытию явления смены положений активных долгот - эффекта флип-флоп [10].

Звезды типа FK Com впервые были выделены в качестве новой группы активных звезд в начале 80-х годов прошлого столетия в ряде исследований [2, 3, 4]. Они являются быстро вращающимися гигантами спектрального класса G-K. Несмотря на быстрое вращение (до 170 км с^{-1}), эти звезды не показывают существенных периодических изменений радиальной скорости. Переменность блеска звезд типа FK Com составляет около $0^m.1-0^m.3$. Другой тип активности звезд типа FK Com связан с переменностью хромосферных эмиссионных линий, а так же водородных линий бальмеровской серии. Природа объектов с такими свойствами остается до конца невыясненной. Гипотезы их образования предполагают проявления действия процессов, либо связанных со слиянием компонент в тесной двойной системе, либо с выносом углового момента из недр звезды или передачей момента вращения из околзвездного окружения (см. обсуждения в работах [7], [23]). Присутствие линии Li и наличие инфракрасного избытка в спектрах этих звезд не являются весомыми аргументами в пользу какой-либо гипотезы о происхождении звезд типа FK Com [7]. Несмотря на то, что звезды FK Com изучаются с помощью наземной фотометрии и спектроскопии, а также многочисленных космических наблюдений во всех диапазонах (от гамма- до радиодиапазона, вопрос об их эволюционном статусе до сих пор открыт.

Звезды типа FK Com являются крайне малочисленной группой переменных звезд. С уверенностью к ним относятся всего лишь три звезды: FK Com (прототип), V1794 Cyg (HD 199178) и ET Dra (BD+70 959). Другие звезды, ранее отнесенные к данной группе, либо имеют более медленное вращение и умеренную активность, либо обладают двойственностью, и поэтому были исключены из нее.

Сама FK Com (HD 117555) - одиночная звезда спектрального класса G5 III–G4 III с сильной хромосферной активностью [14, 15]. Это быстровращающийся гигант, значение проекции скорости его вращения на луч зрения составляет $v \sin i = 159\text{--}162 \text{ км с}^{-1}$. Установлено, что FK Com обладает сильным дифференциальным вращением, параметр дифференциального вращения равен $\Delta\Omega = 0.08 \text{ рад. сут}^{-1}$ (согласно закону дифференциального вращения $\Omega(\theta) = \Omega_3(1 - \alpha \sin^2 \theta)$, $\Delta\Omega = \Omega_3 - \Omega_{\pi} = \alpha\Omega_3$). Эффективная температура фотосферы звезды составляет $5000 \pm 270 \text{ К}$. Фотосфера покрыта холодными пятнами (областями) с температурой на $600\text{--}1200 \text{ К}$ ниже, чем у остальной поверхности. Радиус FK Com равен примерно $4 R_{\odot}$. Логарифм ускорения силы тяжести равен $\lg g = 3.5$. Среднее значение блеска звезды в фильтре V составляет $8^{\text{m}}.245$. Период вращения, установленный на основе анализа длинных рядов фотометрических наблюдений, имеет значение: $P = 2^{\text{d}}.4002466 + 0^{\text{d}}.0000056E$. Данные, приведенные выше, собраны по литературным источникам (см., например, [24]).

Фотометрическим исследованиям звезды FK Com посвящены многочисленные работы. На основании 25 летних фотометрических наблюдений было установлено изменение положения долготы активной области, примерно на 180 градусов, в дальнейшем названное эффектом “флип-флоп” [10]. Эффект переключения долгот активных областей также был обнаружен у другой звезды типа FK Com – V1794 Cyg, и у некоторых звезд других типов [11, 12]. В работах различных авторов были исследованы циклы активности FK Com, которые имели различные величины - от нескольких лет до десятилетия, но однозначных оценок величины циклов активности не было получено [20, 21].

В [18] впервые были проведены исследования магнитного поля звезды согласно которым было установлено, что величина продольной компоненты магнитного поля $\langle B_z \rangle$ изменяется с фазой вращения - максимум $\langle B_z \rangle = 272 \pm 24 \text{ Гс}$ зарегистрирован на фазе 0.08 , минимум $\langle B_z \rangle = 60 \pm 17 \text{ Гс}$ - на фазе 0.36 . Сопоставляя данный результат с анализом построенной ими карты поверхностных температурных неоднородностей, авторы [18] высказали

предположение о наличии на её поверхности активных областей разных полярностей – положительной, соответствующей фазе 0.3, и отрицательной, наблюдаемой на фазе 0.1.

В диссертации представлены результаты исследований, выполненные на основе оригинальных данных (полученных соискателем на протяжении последних лет), и литературных источников для активной звезды FK Com, а также результаты анализа данных для кандидатов в звезды типа FK Com, полученных по высокоточным фотометрическим наблюдениям на космическом телескопе Кеплер.

Цели диссертационной работы

1. Провести новые фотометрические наблюдения звезды FK Com на телескопах Звенигородской, Терскольской и Коуровской обсерваториях. Создать архив всех фотометрических данных, доступных на момент выполнения работы.
2. Используя методы восстановления распределения температурных неоднородностей на поверхности звезды по фотометрическим данным, получить данные о распределении долгот активных областей за период имеющихся наблюдений. Из анализа полученных карт распределения запятненных областей и фотометрических рядов определить и проанализировать изменение площадей холодных областей, миграцию активных областей по долготе, изменения амплитуды переменности блеска и среднего значения блеска звезды. Установить циклы активности звезды.
3. Провести спектрополяриметрические наблюдения на Основном звездном спектрографе БТА 6-метровом телескопа САО РАН. Получить значения продольной компоненты магнитного поля $\langle B_z \rangle$ и проанализировать полученные данные.
4. Из доступных данных наблюдений космического телескопа Кеплер отобрать кандидатов в звезды типа FKCom по значениям периода вращения, амплитуды переменности, температуры и ускорения свободного падения. Проанализировать фотометрическую переменность и установить величину дифференциального вращения, долготы активных областей, наличие эффекта флип-флоп, циклы активности.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты анализа полного набора имеющихся фотометрических данных для FK Com (нового наблюдательного материала в 2013-2015 годах и данных литературных источников), выполненного по единой методике. Результаты анализа временных рядов для блеска звезды в фильтрах U, B и V, амплитуды переменности блеска, суммарной площади пятен на поверхности звезды и среднего значения блеска каждого из рассматриваемого нами сетов наблюдений.
2. Вывод о существовании двух систем активных областей на поверхности FK Com, сделанный на основе анализа определений положений активных областей на её поверхности. При этом установлено, что положения каждой из этих систем претерпевают циклические изменения. Характерное время изменения положения первой из систем составляет порядка 3330 суток (9.12 года). Изменения положений второй активной области носят сложный характер, наилучшим образом они объясняются комбинацией времен переменности в 4140 суток (11.3 года) и 730 суток (2 года). В итоге было выделено 15 событий, рассматриваемых нами как переключение между системами активных областей.
3. Результаты определений величины доли поверхности звезды FK Com, покрытой пятнами - в среднем она составляет 17% от полной видимой поверхности звезды и меняется в пределах от 9% до 25%.
4. Результаты спектрополяриметрических наблюдений, на основании которых получены оценки величин продольной компоненты магнитного поля FK Com в 2012-2015 гг. и которые интерпретируются в рамках предположения о вековых изменениях среднего значения продольной компоненты магнитного поля звезды.
5. На основании анализа данных наблюдений космического телескопа Кеплер установлены четыре кандидата в звезды типа FK Com. Результаты определений значений дифференциального вращения, долгот активных областей, наличия эффекта флип-флоп и циклов активности для этих объектов.

Научная новизна

1. Получены новые фотометрические данные для звезды FK Com. Однородная методика анализа обобщенного массива данных позволила уточнить характер изменений положения холодных областей на поверхности звезды и эффекта флип-флоп. Уточнены циклы активности звезды на основании анализа увеличенного во временном отношении массива данных.
2. По новым спектрополяриметрическим данным сделано предположение о вековых изменениях продольной компоненты магнитного поля $\langle B_z \rangle$ звезды FK Com.
3. Новые данные о фотометрической и спектрополяриметрической переменности FK Com могут быть использованы для выбора и ограничения различных теоретических моделей, характеризующих магнитную активность звезд, в том числе, объясняющих эффект переключения долгот и наблюдаемые циклы активности. Большой оригинальный массив фотометрических наблюдений будет пополняться и использоваться в дальнейших исследованиях.
4. В результате проведенного по единой методике анализа фотометрических данных из архива космического телескопа Кеплер найдены 4 кандидата в звезды типа FK Com.

Научная и практическая значимость

1. По единой методике проведен анализ всего доступного к настоящему времени массива данных фотометрических наблюдений FK Com, построены карты поверхностных температурных неоднородностей этой звезды.
2. Анализ результатов определений положений активных областей на поверхности FK Com привел к заключению, о существовании двух систем активных областей на её поверхности. Установлено, что положения каждой из этих систем претерпевают циклические изменения.
3. Проанализированы временные ряды блеска FK Com в фильтрах U, B и V, амплитуды переменности блеска, суммарной площади пятен на поверхности звезды и среднего значения блеска каждого из рассматриваемого нами сетов. На основе проведенного анализа для существенно увеличенного набора фотометрических данных определены значения величин длительности циклов активности FK Com.

4. Получены новые спектрополяриметрические данные, на основании которых сделаны оценки величин продольной компоненты магнитного поля $\langle B_z \rangle$. Высказано предположение о существовании вековых изменений среднего значения продольной компоненты магнитного поля звезды FK Com.
5. На основании анализа данных наблюдений космического телескопа Кеплер найдены кандидаты в звезды типа FK Com. Для этих кандидатов вычислены значения дифференциального вращения и определены долготы холодных областей, а также обнаружено наличие эффекта флип-флоп и выявлены циклы активности, характерные для звезд типа FK Com.

Степень достоверности и апробация работы

Фотометрические данные использованные в диссертационной работе собраны из литературных источников, а новые выполнены на обсерваториях - пик Терскол (Терскольский филиал ИНАСАН), Звенигородской обсерватория (ЗО ИНАСАН), Коуровской астрономической обсерватории УрФУ. Спектрополяриметрические данные, используемые в диссертации, получены на ОЗСП 6-м телескопа БТА САО РАН, оснащенном высокочувствительной ПЗС-камерой. Спектры обрабатывались с помощью стандартного пакета программ, разработанного и используемого в САО РАН. Данные для поиска и установления кандидатов в звезды типа FK Com взяты из общедоступного архива наблюдений космического телескопа Кеплер MAST.

По результатам исследований опубликовано 3 работы в рецензируемых изданиях рекомендованных ВАК. Результаты, представленные в диссертации, были доложены на 10 научных конференциях:

1. Конкурс молодых ученых. ИНАСАН. «Пятенная активность звезд типа FK Comae». Ноябрь, 2013 г.
2. 43-я студенческая научная конференция «Физика Космоса». Коуровская обсерватория. «Фотометрические и спектральные наблюдения переменных звезд типа FK Com». Февраль, 2014 г.
3. XI Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». ИКИ РАН. «Применение архива наблюдений космического телескопа Кеплер для астрофизических задач по поиску переменных звезд типа FK Com». Апрель, 2014 г.

4. Международная конференция, посвященная 175-летию Пулковской обсерватории «Звёздные атмосферы: фундаментальные параметры звезд, химический состав и магнитные поля». ГАО РАН. «Спектральные и фотометрические исследования и поиск звезд типа FK Com». Июнь, 2014 г.
5. Международная конференция «Physics and Evolution of Magnetic and Related Stars». SAO RAS. «Measurement of magnetic field of FK Com». Август, 2014г.
6. Конкурс молодых ученых. ИНАСАН. «Исследование и поиск звезд типа FK Com». Ноябрь, 2014 г.
7. 44-я студенческая научная конференция «Физика Космоса». Коуровская обсерватория. «Фотометрические исследования звезд типа FK Com». Февраль, 2015 г.
8. XIII Конференция молодых ученых, посвященная дню космонавтики «Фундаментальные и прикладные космические исследования». ИКИ РАН. «Фотометрическая активность и магнитное поле звезды FK Com – анализ данных 2013-2015 годов». Апрель, 2016 г.
9. Международная астрономическая конференция «Stars: from collapse to collapse». SAO RAS. «Activity of the star FK Com: analysis of photometric and spectropolarimetric data of 2012-2016». Октябрь, 2016 г.
10. Конкурс молодых ученых. ИНАСАН. «Поиск кандидатов в звезды типа FK Com по наблюдениям космического телескопа Кеплер. II. Аналоги звезды HD 199178». Октябрь, 2016 г.

Личный вклад соискателя

Диссертационная работа и положения, выносимые на защиту, представляют результаты исследований автора работы. Автор работы принимал активное участие в постановке целей и задач проведенных исследований. Новые наблюдательные данные получены лично автором или при его непосредственном участии. Работа по обработке наблюдений, анализу полученных данных, интерпретации полученных результатов выполнена автором или при его активном участии. Доклады на конференциях и публикации были подготовлены самостоятельно или на равных правах с другими соавторами.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и 3 приложений. Число страниц в диссертации 106, рисунков 12, таблиц 7. Список литературы состоит из 133 наименований. Приложения занимают 18 страниц и содержат 2 таблицы и 1 рисунок.

Содержание работы

Во **ВВЕДЕНИИ** приводится краткое описание методов исследования магнито-активных звезд и параметров пятен на их поверхности. Описаны свойства исследуемой звезды FK Com и двух представителей звезд типа FK Com (V1794 Cyg и ET Dra). Приводится обоснование актуальности диссертационной работы, сформулированы цели исследований, научная новизна, значимость работы и достоверность полученных результатов. Приведены положения, выносимые на защиту, апробация результатов и список публикаций по теме диссертации. Кратко изложено содержание диссертационной работы.

ГЛАВА 1 диссертации посвящена анализу полного массива фотометрических данных хромосферно-активной звезды FK Com. В период с 2013 года по 2015 год получены новые фотометрические наблюдения с использованием телескопов Цейсс-600 обсерватории пик Терскол и Звенигородской обсерватории (ТФ ИНАСАН, ЗО ИНАСАН), Veloce RH 200 (ЗО ИНАСАН), Мастер-II (Коуровская АО УрФУ) в фильтрах В, V, R системы Джонсона-Моргана. Собранные данные образуют каталог фотометрических наблюдений FK Com в период с - 07.05.1966 по 27.10.2015 в фильтрах U,B,V,R (соответственно 2650, 3773, 7070 и 2064 измерений). Наблюдения, выполненные в рамках данного исследования, начаты с 28.06.2013.

Все имеющиеся фотометрические данные для FK Com были разбиты на 218 сетов таким образом, что в течение каждого интервала форма кривой блеска не менялась, а на соответствующей фазовой кривой по возможности отсутствовали пробелы данных. Для каждой полученной кривой блеска была решена обратная задача восстановления крупномасштабных температурных неоднородностей на поверхности звезды.

Установлена величина доли видимой поверхности звезды FK Com, покрытой пятнами – в среднем она составляет 17% и меняется в пределах от 9% до 25%.

Рассмотрены временные ряды для блеска звезды в фильтрах U, B и V, амплитуды переменности блеска, суммарной площади пятен на видимой поверхности звезды S_p и среднего значения блеска каждого из рассматриваемого нами сетов.

Амплитудные спектры для перечисленных параметров, характеризующих переменность звезды, имеют широкие пики для нескольких наборов характерных времен переменности. Пики в 400, 900, 1600, 2100 и 2650 суток прослеживаются для данных о запятненности звезды, но отсутствуют в изменениях амплитуды переменности блеска. Наиболее выраженная переменность соответствует периодам в 2100 и 2650 суток (5.7 и 7.3 года).

Положения активных долгот имеют сложный характер. Обнаружено существование двух систем активных областей на поверхности FK Com (А и Б). Период изменения системы А = 3330 суток (9.12 года). Система Б имеет более сложный характер, и описывается комбинацией периодов период изменения 4140 суток (11.3 года) и 730 суток (2 года). Выделено 15 событий флип-флоп в отличие от 18 в [8, 15, 16, 17]. Предлагается признать существование флип-флоп только в случаях переключения между системами активных областей. Анализ переменности переключения активных долгот не выявил явно выраженных значений характерных времен переменности флип-флопа, что согласуется с выводом из работы [8]. Препятствиями к обнаружению цикличности являются большая скважность наблюдений и высокая вероятность того, что эволюция пятен может происходить на короткой шкале времен.

В **ГЛАВЕ 2** представлены результаты спектрополяриметрических наблюдений звезды FK Com, проведенных в 2012, 2014 и 2015 гг. Ранее такие наблюдения проводились только в 2008 году авторами [18]. Наши новые спектрополяриметрические наблюдательные данные получены на телескопе БТА САО РАН, с использованием Основного звездного спектрографа (ОЗСП) с анализатором круговой поляризации с $\lambda/4$ пластинкой ($R \approx 15000$, диапазон 4420-4970 Å). Наблюдения были выполнены 05.2012, 05.2014, 05.2015. Величина продольной компоненты магнитного поля $\langle B_z \rangle$ определялась регрессионным методом [1].

Уменьшение $\langle B_z \rangle$ зарегистрированное в 2012 году может быть аналогично зарегистрированным изменениям ранее в работе Кочухова [13] для другой хромосферно-активной звезды II Peg вековым изменениям $\langle B_z \rangle$. Причина изменения $\langle B_z \rangle$ от 2008 к 2012 году может быть связана с усилением и приобретением доминирующей роли пятна отрицательной полярности и, как

следствие, в целом более симметричного распределения магнитных областей, как предполагалось в работе [18].

Оценки величины $\langle B_z \rangle$ выполненные в 2014 и 2015 году согласуются с интерпретацией поведения параметра $\langle B_z \rangle$ в рамках предположения о существовании вековых изменений среднего значения продольной компоненты магнитного поля звезды FK Com.

ГЛАВА 3 посвящена поиску и установлению кандидатов в звезды типа FK Com по данным наблюдений с космическим телескопом Кеплер. Космические обсерватории дают уникальный наблюдательный материал для широкого круга исследований активности звезд. В частности, помимо исследований систем с экзопланетами и свойств самих экзопланет, данные наблюдений с космическим телескопом Кеплер можно использовать для определения периодов вращения, циклов активности и других параметров характеризующих магнитную активность звезд.

Для поиска возможных кандидатов в звезды типа FK Com из более чем 40000 звезд были выбраны 4 объекта. В среднем, для каждой звезды отобрано порядка 64000 единичных измерений за период наблюдений около 1470 суток (≈ 4 года).

Построенные амплитудные спектры переменности блеска для исследуемых кандидатов имеют сложный характер. Множество пиков возможно связано с наличием дифференциального вращения у исследуемых звезд. Изменения периодов переменности блеска могут соответствовать изменениям и эволюции активных областей, лежащих на различных широтах. Период, который соответствует максимальной амплитуде, был интерпретирован, как период вращения звезды на широте с наибольшей запятненностью. Были полученные оценки параметра дифференциального вращения $\Delta\Omega$.

Для оценок положения активных долгот применился упрощенный подход – положения оценивались по положению минимума на кривой блеска. Такой метод менее точен, но все же позволяет качественно оценить положения активных долгот. Для всех исследуемых звезд положение активных долгот не являются постоянным. Прослеживается наличие эффекта флип-флоп. Характерные времена изменений положений активных долгот лежат в интервале от 200 суток (0.54 года) до 1500 суток (порядка 4 лет), что сопоставимо с данными для FK Com, для которой интервалы времени переключения активных долгот составляет от 0.8 до 4.4 лет.

Исключение из наблюдательных данных телескопа Кеплер долговременных трендов инструментального происхождения не позволяет выполнить анализ долговременной переменности блеска на временном промежутке в несколько лет. Оценка периода цикла активности проводилась по изучению амплитудного спектра мощности изменений не самого блеска, а амплитуды переменности блеска для каждого сета, охватывающего один период вращения звезды. Установленные таким образом периоды циклов активности лежат в интервале от 140 до 1125 суток, что сопоставимо с характерными временами циклов активности для FK Com.

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

В **ПРИЛОЖЕНИИ** приведены таблицы данных и рисунки использованные в работе.

Основные результаты диссертации:

1. На базе расширенного набора фотометрических данных по единой методике были проанализированы все доступные наблюдательные данные (литературные источники и наш новый наблюдательный материал 2013-2015 годов), построены карты поверхностных температурных неоднородностей звезды. Проведен анализ временных рядов для блеска звезды в фильтрах U, B и V; амплитуды переменности блеска; суммарной площади пятен на поверхности звезды и среднего значения блеска каждого из рассматриваемого нами сетов наблюдений. На основе анализа увеличенного набора фотометрических данных получены значения величин циклов активности звезды FK Com.
2. На основе анализа определений положений активных областей на поверхности FK Com сделан вывод о существовании двух систем активных областей на её поверхности. Установлено, что положения каждой из этих систем претерпевают циклические изменения. Характерное время изменения положения первой из систем составляет порядка 3330 суток (9.12 года). Изменения положений второй активной области наилучшим образом объясняются комбинацией времен переменности в 4140 суток (11.3 года) и 730 суток (2 года). В итоге было выделено 15 событий, рассматриваемых как переключение между системами активных областей.
3. Выполнены определения величины доли поверхности звезды FK Com, покрытой пятнами, которая в среднем составляет 17% от полной видимой поверхности объекта и меняется в пределах от 9% до 25%.

4. Проведены спектрополяриметрические наблюдения, на основании которых получены оценки величин продольной компоненты магнитного поля FK Com в 2012-2015 гг. Эти оценки интерпретируются в рамках предположения о вековых изменениях среднего значения продольной компоненты магнитного поля FK Com.
5. На основании анализа данных наблюдений космического телескопа Кеплер установлены четыре кандидата в звезды типа FK Com. Для выявленных кандидатов получены значения величин дифференциального вращения, долгот холодных областей, а также выявлено наличие эффекта флип-флоп и получены оценки величин циклов активности.

Публикации по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

- [A1] Пузин В.Б., Саванов И.С., Дмитриенко Е.С. О возможности установления кандидатов в звезды типа FK Com по наблюдениям с космическим телескопом Кеплер // *Астрономический журнал*. – 2014. – Т. 91. – № 7. – С. 550-557.
- [A2] Пузин В.Б., Саванов И.С., Романюк И.И., Семенко Е.А., Дмитриенко Е.С. Изучение магнитного поля FK Com // *Астрофизический бюллетень*. – 2014. – Т. 69. – № 3. – С. 341-344.
- [A3] Пузин В.Б., Саванов И.С., Дмитриенко Е.С., Романюк И.И., Семенко Е.А., Якунин И.А., Бурданов А.Ю. Пятна и циклы активности звезды FK Com – анализ данных 2013-2015 гг. // *Астрофизический бюллетень*. – 2016. – Т. 71. – № 2. – С. 204-214.

Цитируемая литература:

1. Bagnulo S., Szeifert T., Wade G.A., Landstreet J.D., Mathys G. Measuring magnetic fields of early-type stars with FORS1 at the VLT // *Astronomy and Astrophysics*. - 2002. - T. 389. - стр. 191-201.
2. Bopp B.W. H α Observations of FK Comae // *Bulletin of the American Astronomical Society*. - 1981. - T. 13. - стр. 872.
3. Bopp B.W., Rucinski S.M. The Rapidly Rotating Giants of the FK Comae Type // *Fundamental Problems in the Theory of Stellar Evolution, Proceedings of IAU Symposium No. 93*. - 1981. - стр. 177.
4. Bopp B.W., Stencel R.E. The FK Comae stars // *Astrophysical Journal*. - 1981. - 2: T. 247. - стр. L131-L134.
5. Catalano S., Rodonò M. Sulle variazioni della curva di luce del sistema RS CVn // *Memorie della Società Astronomia Italiana*. - 1967. - T. 38. - стр. 395.
6. Chugainov P.F. On the Variability of HD 234677 // *Information Bulletin on Variable Stars*. - 1966. - 122.
7. Costa A.D., Canto Martins B.L., Bravo J.P., Paz-Chinchón F., das Chagas M.L., Leão I.C., Pereira de Oliveira G., Rodrigues da Silva R., Roque S., de Oliveira, L.L.A., Freire da Silva D., De Medeiros J.R. Kepler Rapidly Rotating Giant Stars // *The Astrophysical Journal Letters*. - 2015. - 2: T. 807. - стр. L21.
8. Hackman T., Pelt J., Mantere M.J., Jetsu L., Korhonen H., Granzer T., Kajatkari P., Lehtinen J., Strassmeier K.G. Flip-flops of FK Comae Berenices // *Astronomy & Astrophysics*. - 2013. - id.A40: T. 553. - стр. 1-13.
9. Hoffmeister C. Analyse der Lichtkurven von vier RW Aurigae-Sternen // *Veroeffentlichungen der Sternwarte in Sonneberg*. - 1965. - 3: T. 6. - стр. 97-122.
10. Jetsu L., Pelt J., Tuominen I. SPOT and flare activity of FK Comae Berenices: Long-term photometry // *Astronomy and Astrophysics*. - 1993. - 2: T. 278. - стр. 449-462.
11. Jetsu L., Pelt J., Tuominen I., Time series analysis of V 1794 Cygni long-term photometry // *Astronomy and Astrophysics*. - 1999. - T. 351. - стр. 212-224.
12. Jetsu L. The active longitudes of λ Andromedae, σ Geminorum, II Pegasi and V 711 Tauri // *Astronomy and Astrophysics*. - 1996. - T. 314. - стр. 153-164.
13. Kochukhov O., Mantere M.J., Hackman T., Ilyin I. Magnetic field topology of the RS CVn star II Pegasi // *Astronomy & Astrophysics*. - 2013. - id.A84: T. 550. - стр. 1-19.

14. Korhonen H., Berdyugina S.V., Hackman T., Duemmler R., Ilyin I.V., Tuominen I., Study of FK Comae Berenices. I. Surface images for 1994 and 1995 // *Astronomy and Astrophysics*. - 1999. - T. 346. - ctp. 101-110.
15. Korhonen H., Berdyugina S.V., Hackman T., Ilyin I.V., Strassmeier K.G., Tuominen I. Study of FK Comae Berenices. V. Spot evolution and detection of surface differential rotation // *Astronomy and Astrophysics*. - 2007. - 2: T. 476. - ctp. 881-891.
16. Korhonen H., Berdyugina S.V., Tuominen I. Spots on FK Com: active longitudes and "flip-flops" // *Astronomische Nachrichten*. - 2004. - 5: T. 325. - ctp. 402-407.
17. Korhonen H., Berdyugina S.V., Tuominen I., Study of FK Comae Berenices. IV. Active longitudes and the "flip-flop" phenomenon // *Astronomy and Astrophysics*. - 2002. - T. 390. - ctp. 179-185.
18. Korhonen H., Hubrig S., Berdyugina S.V., Granzer Th., Hackman T., Schöller M., Strassmeier K.G., Weber M. First measurement of the magnetic field on FK Com and its relation to the contemporaneous star-spot locations // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. - 2009. - 1: T. 395. - ctp. 282-289.
19. Kron Gerald E., The Probable Detecting of Surface Spots on AR Lacertae B // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. - 1947. - 350: T. 59. - ctp. 261.
20. Oláh K., Kolláth Z., Granzer T., Strassmeier K.G., Lanza A.F., Järvinen S., Korhonen H., Baliunas S.L., Soon W., Messina S., Cutispoto G., Multiple and changing cycles of active stars. II. Results // *Astronomy and Astrophysics*. - 2009. - 2: T. 501. - ctp. 703-713.
21. Oláh K., Korhonen H., Kővári Zs., Forgács-Dajka E., Strassmeier K.G., Study of FK Comae Berenices. VI. Spot motions, phase jumps and a flip-flop from time-series modelling // *Astronomy and Astrophysics*. - 2006. - 1: T. 452. - ctp. 303-309.
22. Skumanich A. Time Scales for CA II Emission Decay, Rotational Braking, and Lithium Depletion // *Astrophysical Journal*. - 1972. - T. 171. - ctp. 565.
23. Tutukov A.V., Fedorova A.V. Possible scenarios for the formation of Ap/Bp stars // *Astronomy Reports*. - 2010. - 2: T. 54. - ctp. 156-162.
24. Vida K., Korhonen H., Ilyin I.V., Oláh K., Andersen M.I., Hackman T., Study of FK Comae Berenices. VII. Correlating photospheric and chromospheric activity // *Astronomy & Astrophysics*. - 2015. - A64: T. 580. - ctp. 1-14.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.ф.-м.н. Саванову Игорю Спартаковичу за руководство на всех этапах работы, за помощь в постановке задачи и ее реализации, ценные замечания и полезные советы.

Автор также выражает благодарность соавторам опубликованных работ по теме диссертации (Дмитриенко Е.С. (главы 1-3), Романюку И.И., Семенко Е.А., Якунину И.А. (глава 2), Бурданову А.Ю. (глава 1)),

сотрудникам ИНАСАН за ценные научные и методические указания,

Национальному комитету по тематике российских телескопов (НКТРТ, ранее КТБТ) за предоставленное наблюдательное время,

сотрудникам обсерваторий САО РАН, ТФ ИНАСАН, ЗО ИНАСАН, Коуровской АО УрФУ, помогавшим в организации наблюдений,

команде космического телескопа Кеплер и команде архива MAST за возможность использования данных наблюдений.