

Горда Станислав Юрьевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ, ЭВОЛЮЦИОННОГО
СТАТУСА И КОНФИГУРАЦИИ
НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ЗАТМЕННЫХ
ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД МЕТОДАМИ
НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ АСТРОНОМИИ**

1.3.1 – физика космоса, астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина".

Официальные оппоненты:

Бердников Леонид Николаевич, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Государственного астрономического института им.П.К. Штернберга Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова.

Тарасов Анатолий Евгеньевич, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ФГБУН "Крымская астрофизическая обсерватория РАН".

Холтыгин Александр Федорович, д.ф.-м.н., профессор кафедры астрономии математико-механического факультета ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет".

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, п. Нижний Архыз.

Защита состоится «11» сентября 2023 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.1.032.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте астрономии Российской академии наук по адресу: 119017, г. Москва, ул. Пятницкая, д.48.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института астрономии РАН и на сайте http://www.inasan.ru/scientific_activities/diss_council/diss/.

Автореферат разослан «_____» _____ 2023 г.

Телефон для справок: +7 (495) 951-54-61

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.1.032.01,
к.ф.-м.н.

Наталья Викторовна Чупина

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Переменные звёзды играют весьма существенную роль в понимании строения и эволюции звезд и в тоже время являются важным инструментом их исследования. Определенная часть переменных звезд является двойными системами. Около ста миллиардов звезд составляют Нашу Галактику и более половины из них - это двойные и кратные системы. Среди них порядка 10% являются кратными системами [1, 2]. Эволюция достаточно тесных двойных звезд, вследствие взаимодействия компонентов, на определенном этапе их эволюционного развития идет по несколько иному сценарию, чем у одиночных звезд. В этом смысле они являются своеобразными лабораториями по изучению такого не свойственного одиночным звездам эволюционного развития.

К началу 70-х прошлого века было сформировано строгое определение тесной двойной системы [3], основанное на обмене веществом в процессе взаимодействия между компонентами. А, следовательно, влиянии одного компонента на эволюцию другого [4]. Была создана классификация ТДС по степени заполнения компонентами своих полостей Роша [5, 6], принятая, вместе с морфологической классификацией по типам кривых блеска, за основу классификации ТДС в Общем Каталоге Переменных Звезд (ОКПЗ, GCVS) [7, 8].

В результате был достигнут большой прогресс в понимании природы и эволюционного статуса большого числа типов тесных двойных систем. Особенно большие успехи были достигнуты в изучении систем с релятивистскими компонентами (компонентом). Природу таких явлений, связанных с выделением огромного количества энергии ($E = 10^{46}$ эрг), например, как Новые Звезды, удалось понять только после того, как было достигнуто понимание их принадлежности к ТДС, одним из компонентов которых является белый карлик, накапливающий вещество соседа - обычной звезды - до момента термоядерного взрыва на своей поверхности [9, 10, 11, 12]. Еще более грандиозное явление, как вспышка Сверхновой типа Ia , сопровождающаяся выделением энергии до ($E = 10^{51}$ эрг), связано с термоядерным взрывом, но уже всего белого карлика, тоже являющегося компонентом ТДС. Не так давно на основе вспышек Сверхновых типа Ia , зарегистрированных в других галактиках, находящихся на различных Z , был обнаружен эффект ускоренного расширения Вселенной [13, 14]. Обязательным наличием в качестве компонента ТДС белого карлика объясняется природа таких типов переменных

звезд, как катаклизмические переменные, карликовые новые, новоподобные звезды и др. Таким образом, тесные двойные системы являются своеобразными лабораториями, позволяющими изучать релятивистские объекты, которые трудно обнаружить из-за их низкой светимости в изолированном состоянии. В этом смысле проблема изучения тесных двойных звезд является весьма актуальной.

Циклическое движение компонентов двойных звезд по взаимным орбитам позволяет, вследствие эффекта Доплера, определять, посредством построения кривых лучевых скоростей, получаемых из спектральных наблюдений, амплитуду изменения лучевых скоростей компонентов, т.е. получить привязку к размерности скорости $[\text{км}\cdot\text{с}^{-1}]$ через значение мировой константы - скорости света. Таким образом, как уже отмечалось выше, исследование затменных переменных звезд, являющихся тесными двойными системами, позволяет определить, по крайней мере, значения масс и радиусов звезд, являющихся компонентами этих ТДС, а также размеры их орбит.

Большое значение для проверки тех и или иных эволюционных теорий звезд имеют эмпирические зависимости между физическими параметрами звезд, которые строятся на основе наблюдательных данных. Первые эмпирические зависимости, такие как Масса — Светимость были построены еще в первой половине прошлого века на основе данных, полученных при исследовании широких двойных звезд и некоторых ТДС [16, 17, 18, 19, 20]. На основе значительно более точных наблюдательных данных, позднее были получены более новые, улучшенные эмпирические зависимости Масса — Светимость, Масса — Радиус и Масса — Спектр (см., например, [21, 22]). Это также делает тему исследования затменных переменных звезд весьма актуальной, особенно в настоящее время.

Следует отметить, что наиболее полный обзор результатов исследований затменно-переменных звезд и методов их исследования, полученных в последнее время, приведен в двух-томной монографии А. М. Черепашука [23, 24].

С увеличением собирающей способности современных телескопов, развитием компьютерной техники, увеличением скорости вычислений, объемов используемой оперативной памяти, развитием техники программирования и внедрения, на основе этого, новых методов наблюдений и обработки полученного материала, в последнее время был достигнут огромный прогресс в исследовании практически любых астрономических объектов и затменных переменных звезд, в частности. Этому же способствовало и развитие светоприемной аппаратуры. Повсеместное оснащение телескопов почти идеальными приемниками излучения - ПЗС-

камерами, автоматизация процессов наблюдений, а также интернет или спутниковая связь значительно упростили процесс получения качественного наблюдательного материала, его точной привязки к стандартной шкале времени.

Сейчас появилась возможность даже на небольших обсерваториях, имеющих телескопы с оптикой малых и умеренных размеров, проводить астрономические исследования, которые еще 20 - 25 лет назад были возможны только на крупных телескопах. К тому же, на таких обсерваториях возможно проведение долговременного исследования какого-нибудь одного объекта, и получение наблюдательного материала большого объема, равномерно распределенного во времени.

В настоящее время с помощью автоматизированных телескопов созданы и представлены на сайтах сети интернет каталоги большого объема фотометрических и спектральных данных, например, проекты SDSS, ASAS [25, 26] и другие. По данным таких каталогов открыты десятки тысяч переменных звезд, но получить мониторинговую информацию по конкретному, избранному объекту зачастую не представляется возможным. В этой связи мониторинговые наблюдения на малых обсерваториях не потеряли своей актуальности до настоящего времени.

Длительные мониторинговые наблюдения позволяют обнаружить существенно новые особенности объектов (звезд), проявляющие себя на достаточно длительных интервалах времени. Например, исследование так называемых магнитных звезд, в частности изменений магнитной активности компонентов короткопериодических контактных тесных двойных систем типа W UMa возможно только при продолжительности мониторинга изменений блеска системы на временах порядка десятка(ов) лет [27]. Исследование изменения магнитной активности звезд важно в плане сопоставления с 11-летним циклом Солнечной активности для более полного понимания процессов пятенной активности Солнца.

Важную роль в формировании и эволюции структуры Галактики играют массивные звёзды, как образовавшиеся отдельно, так и входящие в состав ТДС. Наше понимание процессов их образования и ранних стадий эволюции по-прежнему неполно. Одна из причин состоит в том, что эволюция массивных звёзд происходит внутри газопылевой оболочки, которая не успевает рассеяться за время их формирования. Такие исследования для получения значимого результата требуют также длительного времени наблюдений.

В предыдущие 20-25 лет был достигнут большой прогресс в плане понимания и теоретического изучения процессов переноса вещества между компонентами ТДС. Так трехмерное моделирование данного процесса

показало наличие определенных газовых структур, которые могут изменяться во времени при образовании и развитии аккреционного диска вокруг одного из компонентов, о существовании которых не подозревали ранее [28].

В этой связи очень перспективен развитый сравнительно недавно, но уже повсеместно использующийся в изучении ТДС, метод Доплеровской звездной томографии [29, 30]. Источником информации здесь являются ряды спектральных данных изучаемых ТДС. Таким образом, особую актуальность применительно к решению задачи определения газовой структуры ТДС приобретают мониторинговые спектральные наблюдения отдельного объекта (ТДС).

У определенного числа тесных двойных систем были обнаружены близкие спутники, так называемые третьи тела. По существу, эти системы относятся к классу кратных систем. Такая конфигурация способна коренным образом влиять на эволюцию ТДС. Поэтому исследование таких систем является важной задачей. Определение фотометрических и позиционных характеристик третьих тел ТДС часто осуществляется методом спеклинтерферометрии [31, 32, 33], предложенным еще в середине 70-х годов прошлого века.

Таким образом, задача комплексного исследования тесных двойных систем с одновременным применением различных методов наблюдений с целью получения многопланового наблюдательного материала, например, фотометрического, спектрального, спеклинтерферометрического и т.д., а также использование современных методов его дальнейшей обработки с целью определения физических параметров, конфигурации или эволюционного статуса данной ТДС, сейчас становится вполне реализуемой.

В данной диссертационной работе приведены результаты исследования затменных переменных звезд, являющихся компонентами тесных двойных систем, некоторые особенности которых долгое время оставались не до конца ясными и спорными, главным образом, либо из-за отсутствия достаточного наблюдательного материала, полученного на длительном временном интервале, либо по причине его однотипности.

Соискателем (в дальнейшем автором) был поставлен ряд целей, достижение которых позволяет углубить наше понимание в строении и эволюции тесных двойных, а также молодых массивных, звезд и вещества, окружающего их.

Цели диссертационной работы

1. Разработать новый подход к применению процедуры коррекции коэффициентов линейной регрессии при наличии ошибок в аргументе.
2. Получить зависимости между фундаментальными физическими параметрами компонентов ТДС типа Разделенных Главной Последовательности (РГП) на основе применения разработанной процедуры коррекции.
3. Получить на основе фотометрических данных свидетельства наличия третьего тела в системе ТДС с массивными компонентами раннего спектрального класса SZ Cam, входящую в состав визуально-двойной системы ADS 2984 и являющуюся ярким членом рассеянного звездного скопления NGC 1502.
4. Определить параметры орбиты третьего тела, физические характеристики компонентов и расстояние до системы SZ Cam.
5. Найти параметры периодичности спектрально-двойной ТДС, являющейся компонентом визуально-двойной системы ADS 2984A.
6. Определить эволюционный статус ТДС с массивными компонентами раннего спектрального класса UU Cas на основе новых спектральных данных.
7. Установить наиболее вероятный механизм формирования газовых структур в системе ТДС UU Cas.
8. Получить свидетельства циклической активности магнитного поля компонентов двух короткопериодических контактных систем типа W UMa. Определить параметры периодичности пятенной активности этих систем.
9. Исследовать фотометрическую активность молодой массивной звезды V645 Cyg, а также звездные объекты ближайшей ее окрестности.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Предложен метод восстановления несмещенных оценок значений коэффициентов линейной регрессионной зависимости при наличии

шума в аргументе, использующий только один параметр λ , определяемый исключительно по имеющемуся набору наблюдательных данных и апробированный на основе проведенного численного эксперимента. Показано, что восстановление значения углового коэффициента линейной зависимости, найденного с применением стандартного метода наименьших квадратов, достигается с точностью не хуже 2% – 5% при наличии шума в аргументе с величиной дисперсии не более 5% от области определения функции.

2. Получены на основе данных каталога РГП систем, с использованием процедуры получения несмещенных оценок параметров, эмпирические зависимости между фундаментальными параметрами звезд «Масса — Светимость», «Масса — Радиус» и «Масса — Спектр» с учетом звезд малых масс.
3. Впервые на основе анализа полученных автором фотометрических данных на кривых блеска SZ Cas обнаружен эффект эллипсоидальности видимого в спектре яркого компонента третьего тела. Подтверждена, уже фотометрическим методом, двойственность третьего тела в системе SZ Cas и отсутствие затмений в тесной паре третьего тела. Впервые найдены значения всех шести элементов видимой относительной орбиты третьего тела на основе новых, полученных с участием автора, спеклинтерферометрических данных компонентов ADS 2984 и исследования изменений периода SZ Cas.
4. Впервые найдено значение периода южного компонента визуально-двойной звезды ADS 2984, которое со времени обнаружения спектральной двойственности этой ТДС не удавалось определить. Однозначно определен тип спектрально-двойной системы ADS 2984 A, как SB1. Уточнено значение периода осевого вращения видимого компонента, а также подтверждено наличие у него звездного ветра. Получена оценка массы невидимого в спектре, маломассивного компонента.
5. По оригинальным спектральным данным автора впервые найдено значение динамической массы вторичного компонента полуразделенной ТДС с массивными компонентами UU Cas, оказавшегося, в противоположность данным фотометрии, массивнее главного. Сделан вывод о новом эволюционном статусе системы UU Cas, согласно которому система находится в заключительной стадии первого обмена масс. Определены основные элементы структуры переноса

газовой составляющей от менее массивного донора к массивному аккретору, полученные по спектральным данным с использованием метода доплеровской томографии.

6. На основе оригинальных многолетних наблюдений автора обнаружены малоамплитудные циклические колебания внезатменного блеска и малоамплитудные колебания периода маломассивной, короткопериодической затменной переменной звезды AM Leo, относящейся к типу W UMa систем. Предложена интерпретация этих изменений в рамках модели периодического изменения магнитного поля конвективных оболочек компонентов системы, проявляющегося в изменении общего блеска системы из-за наличия пятен на поверхности компонентов, а также в изменении периода системы вследствие взаимодействия квадрупольного момента с изменяющимся магнитным полем (эффект Эпплгейта).
7. Открыта новая затменная переменная звезда типа W UMa GSC 3599-2569. На основе оригинальных многолетних наблюдений автора обнаружены малоамплитудные циклические колебания ее внезатменного блеска. Предложена интерпретация этих колебаний блеска в рамках модели изменения магнитной активности компонентов этой короткопериодической системы.
8. Сделан вывод об увеличении потока излучения от нагретых областей пылевых структур, окружающих молодую массивную звезду типа Ae/Be Хербига V645 Cyg, например, уменьшении плотности остатков пылевого кокона, сделанный на основе увеличения блеска и покраснения данного объекта, обнаруженных по результатам многолетних фотометрических наблюдений данной звезды автором.
9. Обнаружены в ближайшей окрестности молодой массивной звезды типа Ae/Be Хербига V645 Cyg пять новых переменных звезд с неправильным типом переменности, имеющими большие инфракрасные избытки цвета и, возможно, являющиеся молодыми объектами.
10. Обнаружена новая переменная звезда 3UC 281-20371. Установлено на основе анализа кривых блеска и определения физических параметров, что звезда является тесной двойной системой, вероятно, относящейся к типу пред-Алголей. В 2021 году она была занесена в Общий Каталог Переменных Звезд под обозначением V3157 Cyg.

Научная новизна

Предложен и апробирован метод коррекции коэффициентов линейной регрессии при наличии ошибок в аргументе, а также определены граничные условия его применения.

Впервые получены параметры фундаментальных зависимостей между физическими параметрами звезд, с использованием предложенного автором метода коррекции. Полученные соотношения используются в научных исследованиях различными авторами на протяжении последних 20-ти лет.

На основе новых фотометрических, спектральных и спеклинтерферометрических данных, полученных автором, либо с его участием, проведено комплексное исследование ряда тесных двойных систем, в результате которого были получены новые данные о физических параметрах, эволюционном статусе и структуре этих ТДС.

В процессе анализа полученных наблюдательных данных были открыты и исследованы две новые затменные переменные звезды, а также пять новых переменных звезд с неправильным типом изменения блеска. На основе наличия избытка цвета в ближней инфракрасной области сделано предположение, что это могут быть молодые звездные объекты.

Наряду с результатами спектральных и спеклинтерферометрических исследований впервые найдены свидетельства наличия третьего тела в системе ТДС SZ Cam по фотометрическим данным, выражающиеся в существовании малоамплитудной синусоидальной волны на кривой блеска SZ Cam, являющейся следствием эффекта эллипсоидальности главного компонента третьего тела. Показано, что отсутствие затмений в системе третьего тела, являющегося тоже тесной двойной системой, не предполагает наличие компланарности орбит компонентов SZ Cam и третьего тела.

Впервые с использованием новых спеклинтерферометрических данных определены все шесть элементов орбиты третьего тела в системе SZ Cam, на основе чего была получена оценка расстояния до звезды геометрическим методом, совпадающая с оценкой расстояния, определенно, по данным Gaia DR2, до рассеянного звездного скопления NGC 1502, к которому она принадлежит.

Предложенным автором методом построения кривых лучевых скоростей по линиям одного химического элемента впервые с момента открытия спектральной двойственности южного компонента ADS 2984A в 1924г. найдено значение периода этой ТДС.

На основе спектральных данных, полученных автором, найдены но-

вые значения масс компонентов тесной двойной системы с массивными компонентами ранних спектральных классов UU Cas. Показано, что система не является сверхмассивной, как считалось ранее на основе фотометрических данных, а отношение масс компонентов — обратное найденному ранее по результатам фотометрии. Сделан вывод о новом эволюционном статусе системы. Подтверждено наличие газовых структур из-за перетекания вещества с одного компонента на другой, в частности существование плотного газового диска вокруг более массивного компонента.

Впервые на основе данных многолетних фотометрических мониторингов двух короткопериодических тесных двойных систем типа W UMa AM Leo и GSC 3599–2569 найдены периоды малоамплитудных изменений внезатменного блеска этих систем, являющиеся причиной пятенной активности на поверхности компонентов и вызванные циклическими изменениями магнитного поля системы, аналогично процессу Солнечной активности.

Полученные в диссертации результаты важны для понимания формирования и эволюции ТДС, относящихся к разным типам. Основные результаты могут быть использованы для сравнения теоретических исследований с полученными наблюдательными данными.

Научная и практическая значимость

За последние годы, благодаря увеличению собирающей способности современных телескопов, внедрению новых методов наблюдений и обработки полученного материала, был достигнут огромный прогресс в исследовании переменных звезд и затменных переменных звезд, в частности. Благодаря появлению больших фотометрических и спектроскопических обзоров, представления о переменных звездах существенным образом изменились. Основной прогресс был достигнут в плане понимания эволюционных переходов из одного типа ТДС в другие. Поднятию интереса к исследованию переменных звезд способствовало также повсеместное оснащение телескопов почти идеальными приемниками излучения - ПЗС-камерами - и автоматизация процессов наблюдений. Благодаря чему появилась возможность комплексного исследования переменных звезд с применением различных методов наблюдений и обработки полученного наблюдательного материала.

Изучение переменных звезд имеет большое значение для астрономии в целом и для астрофизики в частности. Переменные звезды и затменно-переменные, в частности, представляют собой уникальные лаборатории по изучению астрофизики, динамики и фундаментальной физики.

Представленная работа включает в себя исследования по многим из перечисленных выше направлений. Разработанные автором методы, программное обеспечение могут применяться другими исследователями в области исследования переменных звезд. Полученные результаты (новые наблюдательные данные, параметры компонентов ТДС, определение эволюционного статуса и т.п.) способны стать отправной точкой для новых исследований.

Научная и практическая значимость диссертации заключается в комплексном использовании различных методов наблюдений и обработки полученного материала для исследования конкретных ТДС, что позволило получить новые научные результаты, практически не прибегая к использованию крупных телескопов. Возможность проведения длительных мониторингов отдельных объектов также способствовала получению абсолютно новых научных результатов, которые не могли быть получены при кратковременном изучении ТДС.

Личный вклад автора

Соискатель в равной степени с другими соавторами участвовал в постановке задач. Им разработано оригинальное программное обеспечение для анализа наблюдательных данных, проведено необходимое тестирование. Соискателем выполнены расчёты, проанализированы полученные результаты, сформулированы выводы.

В частности, соискателем:

1. Разработан и исследован метод коррекции коэффициентов линейной регрессии при наличии ошибок в аргументе с использованием только информации, содержащейся в данных.
2. Определены коэффициенты линейных эмпирических зависимостей между физическими параметрами звезд с применением метода коррекции при наличии ошибок в аргументе.
3. Предложена методика выявления малоамплитудных колебаний блеска на кривых блеска переменных звезд.
4. Предложен и апробирован метод определения элементов орбиты третьего тела в ТДС на основе данных спеклинтерферометрии и изменений периода затменной системы.
5. Получены оригинальные фотометрические, спектральные и спеклинтерферометрические данные ряда затменных переменных систем.

6. Впервые определены физические параметры открытых автором совместно с соавторами новых переменных звезд.
7. Предложен новый эволюционный статус затменной переменной звезды с массивными компонентами раннего спектрального класса UU Cas.

Достоверность представленных результатов

Достоверность представленных в диссертационной работе результатов исследования физических параметров, эволюционного статуса и структуры некоторых типов затменных переменных звезд подтверждается сравнением полученных данных с результатами других авторов и обсуждением полученных результатов на конференциях и семинарах. Результаты опубликованы в ведущих зарубежных и российских рецензируемых журналах.

Апробация работы Основные результаты опубликованы в рецензируемых журналах и представлены как на российских, так и на зарубежных конференциях и семинарах.

Основные результаты диссертации представлены в устных и стендовых докладах на следующих мероприятиях:

- 27-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 2-6 февраля 1998г., Екатеринбург.
- 29-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 31 января-4 февраля 2000г., Екатеринбург.
- Международная конференция "Переменные звезды – ключ к пониманию строения и эволюции Галактики посвященная 90-летию со дня рождения Б.В. Кукаркина. 25-29 октября 1999г., Россия, Москва, ГАИШ, МГУ.
- Международная конференция "The Joint European and National Astronomical Meeting (JENAM)-2000 29 мая - 3 июня 2000г., Россия, Москва, МГУ.
- Всероссийская Астрономическая Конференция - ВАК- 2001, 6-12 августа 2001г., Россия, Санкт-Петербург.
- 31-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 28 января - 1 февраля 2002г., Екатеринбург.

- 32-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 3-7 февраля 2003г. Екатеринбург, УрГУ.
- Восьмой съезд Астрономического общества и Международный симпозиум "Астрономия – 2005 - состояние и перспективы развития 1-6 июня 2005г., Россия, Москва, ГАИШ.
- Мемориальная конференция памяти Д.Я. Мартынова и П.П. Паренаго, 22-26 мая 2006г.б Россия, ГАИШ, Москва.
- 35-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 30 января - 3 февраля 2006г., Екатеринбург.
- Всероссийская астрономическая конференция "ВАК – 2007 17-22 сентября 2007г., Россия, Казань, КГУ.
- 37-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 28 янв.- 1 фев. 2008г. Екатеринбург.
- Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2010) "От эпохи Галилея до наших дней"Нижний Архыз: 13-18 сентября 2010г., Россия, Нижний Архыз, САО РАН.
- 40-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 31 янв.- 4 фев. 2011г. Екатеринбург.
- 41-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 30 янв.- 3 фев. 2012г. Екатеринбург.
- 42-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 28 янв.- 1 фев. 2013г. Екатеринбург.
- 43-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 3 — 7 февр. 2014 г. Екатеринбург.
- 44-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 2 — 6 февр. 2015 г. Екатеринбург.
- Международная конференция "Настоящее и будущее малых и средних телескопов, СМТ-2015 19-22 октября 2015 г., Россия, п.Нижний Архыз, САО РАН.
- 45-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса Екатеринбург, 1 — 5 февр. 2016 г. Екатеринбург.

- Всероссийская конференция "Современная звездная астрономия - 2016 Кисловодск, 8 -10 июня, 2016г.
- Международная конференция "Физика звёзд: от коллапса до коллапса САО РАН, пос. Нижний Архыз, Россия, 03-07 октября 2016 г.
- 46-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 30 января — 3 февр. 2017 г. Екатеринбург.
- Всероссийская конференция "Современная звездная астрономия -2017 14-16 июня 2017г, Екатеринбург.
- Всероссийская астрономическая конференция - ВАК-2017 "Астрономия: познание без границ 17-22 сентября 2017 г., Ялта, Крым.
- 47-я международная студенческая научная конференция "Физика космоса 29 января — 2 февр. 2018 г. Екатеринбург.
- Всероссийская конференция "Современная звездная астрономия Астрономия-2018, 22-26 октября 2018г., Москва, Россия
- Международная конференция "Physics of Magnetic Stars 1-5 октября 2018г., Россия, Нижний Архыз, САО РАН.
- 48-й международная студенческая научная конференция "Физика космоса 28 января — 1 февр. 2019 г. Екатеринбург
- Всероссийская конференция "Современная звездная астрономия" 7-11 октября 2019г., Россия, Нижний Архыз, САО РАН.
- 49-й международная студенческая научная конференция "Физика космоса 27-31 января 2020 г. Екатеринбург.
- Всероссийская конференция "Магнетизм и активность Солнца и звезд 31 августа – 3 сентября 2021 г., Россия, ФГБУН «КРАО РАН», п. Научный.
- Всероссийская с международным участием научная конференция студентов и молодых ученых, посвященная памяти П.Е. Захаровой "Астрономия и исследование космического пространства 1—5 февр. 2021 г., Россия, Екатеринбург.

- Всероссийская с международным участием научная конференция студентов и молодых ученых "Астрономия и исследование космического пространства 31 января — 4 февр. 2022 г., Россия, Екатеринбург.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и трех приложений. Число страниц в диссертации 303, рисунков 64, таблиц 48. Список литературы состоит из 254 наименований.

Содержание работы

Во Введении представлен краткий обзор содержания диссертации, объектов исследования, описана актуальность диссертационной работы, цели, задачи, новизна полученных результатов, их научная и практическая значимость. Представлена информация по апробации результатов, научным публикациям по результатам исследований соискателя и его вкладе.

В Главе 1 на основе данных каталога фотометрических, геометрических и абсолютных элементов 112 затменных переменных звезд типа РГП с известными элементами фотометрической и спектральной орбиты [34], а также некоторых спеклинтерферометрических данных для звезд малых масс [35], определены зависимости "Масса – Светимость" "Масса – Радиус" и "Масса – Спектр" [A1, A2]. Поскольку в логарифмическом масштабе искомые соотношения хорошо представляются линейными зависимостями, соответствующие параметры были найдены методом линейного регрессионного анализа с использованием процедуры коррекции полученных коэффициентов из-за наличия ошибок в аргументах [A1].

Подробно представлена разработанная в процессе выполнения данной работы процедура такой коррекции. Показано, что только на основе информации о величине отношения дисперсий ошибок функции к аргументу можно практически полностью скорректировать величину коэффициента наклона прямой, так, что "регрессионная вилка— несовпадение прямой и обратной линий регрессии ($y = y(x)$ и $x = x(y)$)" полностью исчезает. Иными словами реализовать случай, когда эти прямые практически накладываются одна на другую, чего не наблюдается, если коррекцию не применять.

Проведено сравнение, полученных коэффициентов найденных эмпирических зависимостей с их теоретическими оценками, вычисленными

на основе теории строения и эволюции звезд. Указано, что полученные в ходе выполнения данной работы зависимости используются в исследованиях различных авторов вплоть до настоящего времени.

В Главе 2 представлены результаты фотометрического, спектрального и спеклинтерферометрического исследования четырех тесных двойных систем с массивными компонентами раннего спектрального класса. Три из них являются компонентами иерархической кратной системы, известной как визуально-двойная звезда ADS 2984, являющейся членом рассеянного звездного скопления NGC 1502. На кривой блеска ТДС SZ Cam (ADS 2984B), полученной на интервале времени 1990-2008гг. методом сканирования изображений [A3, A13, B1, B2] в системе фильтров близкой к UBVR Моргана-Джонсона, впервые были обнаружены колебания блеска третьего тела, также являющегося тесной двойной системой. По форме кривой изменения блеска третьего тела было установлено, что в его системе затмения не наблюдаются, а колебания блеска обусловлены наличием приливной деформации компонентов (переменность типа ELL) [A13].

На основе данных спеклинтерферометрических наблюдений, выполненных на 6-м телескопе САО РАН, и полученной автором кривой изменения периода системы SZ Cam впервые были определены все элементы относительной орбиты третьего тела [A5, A6]. Из сравнения углового радиуса орбиты и его линейного значения, полученного из аппроксимации кривой изменения периода, найдено значение расстояния до системы SZ Cam $d = 1125 \pm 135$ парсека, которое практически точно совпадает со значением $R = 1171 \pm 18$ пк [A6, B13], полученным на основе измерения параллакса, по данным Gaia-DR3, а также со значением расстояния до скопления NGC 1502 [36].

В данной главе также приводятся параметры кривых лучевых скоростей компонентов SZ Cam и третьего тела, полученных на основе наблюдений автора и всех известных на тот момент данных из литературы. На основе которых получены новые значения масс и радиусов компонентов этой тесной двойной системы. Значительно уточнены параметры кривой лучевых скоростей третьего тела [A4, A7, A13].

Приводятся результаты обработки наблюдений спектральной двойной HD 25639 (ADS 2984A) В0 II–III, $m_v = 7^m.01$, являющейся совместно с визуальным компонентом ADS 2984B (SZ Cam) самыми яркими членами рассеянного звездного скопления NGC 1502. Используя спектральные данные, полученные на оптоволоконном эшелле спектрометре ($R = 15000$) 1.2-м телескопа астрономической обсерватории Уральского федерального университета [B17] совместно с данными других наблюда-

телей, впервые найдено значение периода ADS 2984A ($P_{orb} = 57.24 \pm 0.05$ сут) [A15, B28]. Несмотря на достаточно большое значение блеска звезды период орбитального движения на протяжении почти 50 лет ее исследования не удавалось определить. Как удалось установить причиной этого является наличие значительного звездного ветра, истекающего с поверхности этого голубого гиганта. Показано, что эта спектрально-двойная звезда относится к типу SB1. Определены параметры кривой лучевых скоростей видимого спектрального компонента $V_0 = -5.5 \pm 1.2$ км/с, $K = 41.5 \pm 1.7$ км/с. Получена оценка нижней границы массы невидимого спектрального компонента $\sim 5 M_\odot$ [A15].

В Главе 3 представлены результаты спектральных наблюдений UU Cas, ранее считавшейся одной из самых массивных ТДС, полученные автором на оптоволоконном эшелле-спектрометре высокого разрешения ($R = 15000$) 1.2-м телескопа Коуровской астрономической обсерватории Уральского федерального университета. Впервые найдены значения лучевых скоростей вторичного компонента, как оказалось, вопреки данным фотометрии, более массивным и менее ярким. Получено спектроскопическое отношение масс компонентов $q = M_1/M_2 = 0.54$, значение которого оказалось обратным фотометрическим определениям. Для значения угла наклона орбиты $i = 69^\circ$, приведенного в литературе, определены массы компонентов $M_1 = 9.5 M_\odot$, $M_2 = 17.7 M_\odot$, а также значение радиуса орбиты $A = 52.7 R_\odot$ [A16].

Представлены доказательства наличия диска вокруг массивного компонента и расширяющейся общей оболочки. В свете полученных данных сделан вывод о новом эволюционном статусе ТДС UU Cas. А именно, показано, что перенос вещества в системе осуществляется с первого более яркого и менее массивного компонента на второй менее яркий, но более массивный компонент, окруженный плотным газовым диском. Это свидетельствует о завершающей стадии первого обмена веществом в системе UU Cas, а не о ее начале, как считалось ранее, когда принятое значения отношения масс компонентов, найденное по данным фотометрии считалось прямо противоположным. Предположение о новом эволюционном статусе системы UU Cas было подтверждено в работах Менникента и др. [37] и Хадравы и др. [A21]. В последней были использованы все полученные на тот момент спектры UU Cas, в том числе и данные автора.

На основе данных Доплеровской томографии спектров UU Cas, полученных в результате выполнения данной работы, в профилях линии H_α были выделены три основных элемента газовой структуры переноса вещества в системе. Это непосредственно сам газовый поток через

точку Лагранжа L_1 с первого компонента (донора), заполняющего свою полость Роша, звездный ветер с поверхности аккретора, являющегося более горячей звездой и диффузный диск, окружающий менее массивный аккретор [A18].

Представлены результаты спектральных наблюдений затменной переменной звезды с массивными компонентами раннего спектрального класса $CC\ Cas$, впервые выполненные с применением ПЗС-приемника. Получены значения полуамплитуд кривых лучевых скоростей компонентов $K_1 = 123.9$ км/с и $K_2 = 292.4$ км/с [A9, A11]. Их величины сравнимы с приведенными в литературе. Найденное значение скорости центра масс системы $V_0 = -20.4$ км/с приблизительно на -10 км/с оказалась больше ранее опубликованных значений. Сделано заключение, что это может свидетельствовать в пользу высказанного в литературе предположения о наличии третьего тела в системе. Отмечено, что это второе исследование $CC\ Cas$, в котором измерены лучевые скорости вторичного компонента, причем в данном исследовании величина разброса точек на кривой лучевых скоростей получилась в 2.5 раза меньше, чем в предыдущем исследовании с использованием ретикона в качестве светоприемного устройства [38].

В Главе 4 приводятся результаты долговременного фотометрического мониторинга двух контактных тесных двойных систем типа $W\ UMa$ - $AM\ Leo$ и новой переменной $GSC\ 3599-2569$, открытой в 2013г. в ходе выполнения работы по фотометрическому мониторингу звезды $Ve\ Хербига\ V645\ Cyg$ (см. Главу 5).

В результате были обнаружены циклические колебания блеска малой амплитуды с периодами 7.6 ± 0.3 года у переменной $AM\ Leo$ и 3.3 ± 0.1 года у переменной $GSC\ 3599-2569$, не связанные с явлениями затмений и приливными деформациями компонентов. Сделано предположение о наличии второго, более длительного периода изменений внезатменного блеска этих звезд, аналогичное периоду изменения амплитуды 11-летнего Солнечного цикла. Сделан вывод, что механизмом, генерирующим такие колебания, может являться процесс изменения магнитного поля конвективных оболочек компонентов.

Определены, с использованием всех известных на момент выполнения исследования данных о моментах минимумов кривой блеска $AM\ Leo$, параметры световой кривой изменения периода, обусловленной вращением ее по совместной орбите с третьим телом. Найдено новое, относительно предыдущих определений, значение орбитального периода $P_{orb} = 50.5 \pm 0.5$ лет и эксцентриситета орбиты $e = 0.28 \pm 0.03$. По данным о моментах минимумов, полученных в последние 20 лет по фотометриче-

ским наблюдениям, выполненных на ПЗС-камерах, обнаружены малоамплитудные циклические колебания периода ТДС AM Leo практически с тем же значением периода осцилляций, что и внезапные изменения блеска. Сделано предположение, что механизмом таких изменений также может являться процесс изменения магнитного поля конвективных оболочек компонентов, приводящий к малоамплитудным периодическим изменениям периода (эффект Эпплгейта).

В Главе 5 представлены результаты многолетнего фотометрического и спектрального мониторинга молодой массивной звезды V645 Cyg, являющейся объектом Ве Хербига. Обнаружено значительное увеличение блеска звезды за последние двенадцать лет на полторы зв. вел. в фильтре I , на одну зв. вел. в фильтре R и на половину зв. вел. в фильтре V . Сделано предположение, что причиной поярчания звезды является уменьшение толщины или разрывы в газово-пылевом коконе, окружающем эту молодую звезду. Данное предположение основано на факте отсутствия корреляции между изменением блеска звезды в фильтре R и изменением эквивалентной ширины профиля линии H_{α} , что может служить основанием считать видимое увеличение блеска звезды следствием увеличивающейся в направлении на наблюдателя площади пылевой составляющей первоначального кокона, прогретого звездой (непрерывное излучение) [A22].

На основе анализа ПЗС-кадров в ближайшей окрестности V645 Cyg обнаружены пять переменных звезд неправильного типа с большим инфракрасным избытком цвета. Сделано предположение, что по крайней мере некоторые из них являются молодыми объектами типа V645 Cyg [A10].

Представлено исследование обнаруженной в ближайшей окрестности V645 Cyg новой переменной звезды 3UC 281-20371. На основании формы кривой блеска первоначально было сделано предположение, что звезда 3UC 281-20371 является затменно-переменной типа Алголя с полным затмением во вторичном минимуме [B19]. В результате решения кривых блеска, полученных в фильтрах V и R , были найдены относительные элементы орбиты этой ТДС [A8]. Сделана оценка значения фотометрического отношения масс компонентов. Высказано предположение, что звезда может быть отнесена к классу, так называемых, пред-Алголей и состоит из более массивного, горячего главного компонента, большего радиуса и холодного, меньшего по размерам и менее массивного компонента. Отмечено, что ТДС подобной конфигурации обнаружено очень мало.

В Заключении представлены основные результаты диссертационной работы и намечены направления дальнейшего развития исследова-

ний.

Соискатель выражает благодарность своим коллегам и соавторам М. А. Свечникову, П. Е. Захаровой, А. М. Соболеву, Д. А. Кононову, С. Ю. Парфенову, Ю. Ю. Балеге, А. Ф. Селезневу, Т. С. Полушиной за помощь, плодотворное сотрудничество, техническую и научную поддержку. Соискатель благодарит национальный комитет по тематике российских телескопов за предоставление наблюдательного времени на телескопах САО РАН, а также сотрудников САО РАН за помощь в получении и обработке наблюдательного материала. Отдельную благодарность автор выражает П. Хадраве за приглашение принять участие в составе его группы для совместной работы по спектральному исследованию UU Cas.

Публикации по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

- [A1] *Gorda S. Yu., Svecnikov M. A.* Определение эмпирических зависимостей масса-светимость и масса-радиус для звезд главной последовательности - компонентов затменных двойных систем // *Астрономический Журнал.* — 1998. — Т.75. — С.896-902.
- [A2] *Gorda S. Yu., Svecnikov M. A.* Эмпирические зависимости L-M, R-M, and $M-T_{eff}$ для звезд главной последовательности компонентов ТДС и звезд малых масс // *Астрономический Журнал.* — 1999. — Т. 76. — С. 598-603.
- [A3] *Gorda S. Yu.* UBVR-Photometry of the Eclipsing Binary SZ Cam // *Information Bulletin on Variable Stars.* — 2000.— N^o 4839. — Pp. 1-4.
- [A4] *Gorda S. Yu.* Confirmation of a Double Nature of the Third Body in SZ Cam // *Information Bulletin on Variable Stars.* — 2002.— N^o 5345. — Pp. 1-4.
- [A5] *Gorda S. Yu., Balega Yu. Yu., Pluzhnik E. A. and Shkhagosheva Z. U* Visual orbit of the third body on the eclipsing binary SZ Cam // *Astronomical and Astrophysical Transactions.* — 2007. — V. 26. — Pp. 145-146.

- [A6] *Gorda S. Yu., Balega Yu. Yu., Pluzhnik E. A. and Shkhagosheva Z. U* Parameters of the apparent relative orbit of the third body in the SZ Cam system. // *Astrophysical Bulletin*. — 2007. V. 62. — Pp. 352-359.
- [A7] *Горда С. Ю.* Новая спектрофотометрия SZ Cam (проблема третьего компонента). // *Письма в Астрономический Журнал*. — 2008. — Т. 34. — С. 351-361.
- [A8] *Gorda S. Yu., Sobolev A. M.* First solution of the light curve of the new variable star 3UC 281-20371. // *Information Bulletin on Variable Stars*. — 2012. — N^o 6036. — Pp. 1-5.
- [A9] *Gorda S. Yu.* CCD spectrophotometry of CC Cas. I. Radial velocity curves. // *Astrophysical Bulletin*. — 2013. — V. 68. — Pp. 101-106.
- [A10] *Sobolev A. M., Gorda S. Yu. and Davydova O. A.* Discovery of irregular variability of five stars in the vicinity of the young stellar object V645 Cygni. // *Information Bulletin on Variable Stars*. — 2013. — N^o 6061. Pp. 1-6.
- [A11] *Gorda S. Yu.* 30 years of observations of eclipsing variable stars. // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. — 2014. — V. 28. — Pp. 245-248.
- [A12] *Gorda S. Yu., Lyaptsev A. P. and Sobolev A. M.* Spot activity of the new W UMA-type variable GSC3599-2569 // *Astrophysical Bulletin*. — 2015. — V. 70. — Pp. 109-116.
- [A13] *Горда С. Ю.* Результаты долговременного мониторинга кратной системы SZ Cam // *Письма в Астрономический Журнал*. — 2015. — Т. 41. — С. 303-316.
- [A14] *Gorda S. Yu.* Spectrometric and photometric study of the eclipsing variable AM Leo // *Astrophysical Bulletin*. — 2016. — V. 71. — Pp. 64-74.
- [A15] *Горда С. Ю.* Кривая лучевых скоростей спектрально-двойной HD 25639 (ADS 2984A). // *Письма в Астрономический Журнал*. — 2016. — Т. 42 — С. 762-772.
- [A16] *Gorda S. Yu.* Eclipsing binary UU Cas: Radial-velocity curves. // *Astrophysical Bulletin*. — 2017. — V. 72. — Pp. 321-329.

- [A17] *Gorda S. Yu., Matveeva E. A.* New Light-Time Curve of Eclipsing Binary AM Leo. // Information Bulletin on Variable Stars. — 2017. — № 6227. — Pp. 1-6.
- [A18] *Kononov D. A., Gorda S. Yu. and Parfenov S. Yu.* On the Gas Dynamic Features of the Interacting Binary System UU Cas. // Astrophysical Journal. — 2019. — V. 883. — Pp. 186-196.
- [A19] *Горда С. Ю.* Цикличность изменений внезатменного блеска и периода тесной двойной системы типа W UMa AM Leo. // *Астрономический Журнал*. — 2020. — Т. 97. — С. 924-938.
- [A20] *Gorda S. and Vatolin Y.* Possible Periodic Spot Activity of the New W UMa-type Variable GSC 3599-2569. // *Peremennye Zvezdy (Variable Stars)*. — 2021.— V. 41. — Pp. 19-26.
- [A21] *Hadrava P., Cabezas M., Djurasevich G., Garces J., Gorda S. Yu., Jurkovich M. I., Korchakova D., Markov H., Mennickent R. E., Petrovich J., Vince I., and Zharikov S.* Spectroscopy of the massive interacting binary UU Cassiopeiae. // *Astronomy and Astrophysics*.— 2022.— V. 663. — A8(15).
- [A22] *Gorda S. Yu., Bisyarina A. P., Sobolev A. M. and Parfenov S. Yu.* Long-term brightness and color variations of the young variable star V645 Cyg. // *Peremennye Zvezdy (Variable Stars)*. — 2022. — V. 42 — N 11. — Pp. 87-105.

Другие публикации автора по теме диссертации

- [B1] *Горда С. Ю.* Применение метода сканирования для наблюдений переменных звезд в визуально-двойных системах // *Астрономо-геодезические исследования: Динамические и физические характеристики небесных тел. Сб. науч. тр. Свердловск: УрГУ* — 1988. — С. 131-139.
- [B2] *Горда С. Ю.* К вопросу о точности сканерной фотометрии (численный эксперимент). // *Астрономо-геодезические исследования: Физика и динамика звездных систем. Сб. науч. тр. Свердловск: УрГУ* — 1991. — С. 119-130.
- [B3] *Горда С. Ю., Свечников М. А.* Эмпирические зависимости "масса-светимость" и "масса-радиус" для звезд главной последовательности - компонентов затменных двойных систем // *Физика космоса:*

тез. докл. и сообщ. 27-й междунар. студ. науч. конф., 2-6 фев. 1998г. Екатеринбург: УрГУ, 1998. С. 36.

- [B4] *Горда С. Ю., Свечников М. А.* Эмпирические зависимости L-M, R-M, и M- T_{eff} для звезд главной последовательности компонентов ТДС и звезд малых масс // Физика космоса: тез. докл. и сообщ. 28-й междунар. студ. науч. конф., 1-5 фев. 1999г. Екатеринбург: УрГУ, 1999. С. 41.
- [B5] *Горда С. Ю., Свечников М. А.* Эмпирические зависимости "Масса-Светимость" "Масса-Радиус" и "Масса-Эффективная температура" для звезд главной последовательности - компонентов затменных двойных систем, включая маломассивные звезды // Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей затменных переменных звезд типа РГП и некоторые результаты его статистической обработки: сб. ст. Екатеринбург: УрГУ, 1999. С. 58-65.
- [B6] *Горда С. Ю.* Полная кривая блеска SZ Cam (ADS 2984B) // Физика космоса: тез. докл. науч. конф. Екатеринбург: УрГУ, 2000. С. 114.
- [B7] *Горда С. Ю.* Точная фотометрия переменных компонентов в визуально-двойных системах (SZ Cam, AM Leo) // Переменные звезды - ключ к пониманию строения и эволюции Галактики: сб. тр. Междунар. конф. памяти Б.В. Кукаркина. М.: Н. Архыз, 2000. С. 127-131.
- [B8] *Gorda S. Yu.* UBVR-photometry of the eclipsing binary SZ Cam (UBVR-фотометрия затменной двойной SZ Cam) // The Joint European and National Astronomical Meeting (JENAM)-2000: book of abstr. М.: МГУ, 2000. P. 75.
- [B9] *Горда С. Ю.* Некоторые результаты спектрофотометрического исследования SZ Cam // Всероссийская Астрономическая Конференция: тез. докл. СПб.: НИИХ СПбГУ, 2001. С. 49.
- [B10] *Горда С. Ю.* Подтверждение двойственности третьего тела в системе SZ Cam // Физика космоса: тез. докл. науч. конф. Екатеринбург: УрГУ, 2002. С. 57.
- [B11] *Горда С. Ю., Балега Ю. Ю., Шхагошева З. У.* Спеклинтерферометрическая орбита третьего тела в системе Sz Cam // Физика космоса: тез. докл. науч. конф. Екатеринбург: УрГУ, 2003. С. 268.

- [B12] *Горда С. Ю.* О природе третьего компонента в спектре SZ Cam // *Астрономия - 2005: состояние и перспективы развития: тез. докл. восьмого съезда Астрономич. об-ва и Междунар. симп. (Тр. ГА-ИШ)*. М.: изд-во МГУ, 2005. Т. 78. С. 75.
- [B13] *Горда С. Ю.* Оценки расстояния до SZ Cam и массы третьего тела // *Физика космоса: тез. докл. науч. конф.* Екатеринбург: УрГУ, 2006. С. 267.
- [B14] *Горда С. Ю.* Точная ПЗС-фотометрия AM Leo // *ВАК - 2007: тр. Всерос. астрономич. конф.* Казань: КГУ, 2007. С. 225-227.
- [B15] *Горда С. Ю.* Спектрофотометрия SZ Cam на 1 и 6-м телескопах САО РАН // *Физика космоса: тез. докл. науч. конф.* Екатеринбург: УрГУ, 2008. С. 278.
- [B16] *Горда С. Ю., Калинин А. А.* О моделировании линий гелия в спектре затменной двойной SZ Cam // *От эпохи Галилея до наших дней: тез. докл. Всерос. астрономич. конф. (ВАК-2010)*. Нижний Архыз: САО РАН, 2010. С. 91.
- [B17] *Горда С. Ю., Захарова П. Е., Крушинский В. В., Кузнецов Э. Д.* 1.2-м альт-азимутальный телескоп Коуровской обсерватории. // *Физика космоса: Тр. 40-й международ. студ. науч. конф.* Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2011. С. 110-112.
- [B18] *Горда С. Ю., Соболев А. М.* Новая переменная с полным затмением // *Физика космоса: Тр. 40-й международ. студ. науч. конф.* Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2011. С. 314.
- [B19] *Gorda S. and Sobolev A.* ЗУС 281-203711: a New Variable with Total Eclipses. // *Peremennye Zvezdy Prilozhenie.* — 2011. — V. 11. — Рр. 19.
- [B20] *Горда С. Ю.* Решение сканерной кривой блеска SZ Cam // *Физика космоса: тез. докл. науч. конф.* Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 259.
- [B21] *Горда С. Ю.* ПЗС-спектрофотометрия SS Cas на оптоволоконном эшелле-спектрометре 1.2м телескопа ФО УрФУ // *Физика космоса: тез. докл. науч. конф.* Екатеринбург: УрГУ, 2013. С. 153.

- [B22] *Горда С. Ю., Соболев А. М., Давыдова О. А.* Открытие переменности блеска неправильного типа у вероятных молодых звездных объектов в окрестности V645 Sgr // *Физика космоса: тез. докл. науч. конф.* Екатеринбург: УрГУ, 2013. С. 180.
- [B23] *Горда С. Ю.* 30 лет наблюдений затменно-переменных звезд // *Физика космоса: тез. докл. науч. конф.* Екатеринбург: УрГУ, 2013. С. 267.
- [B24] *Горда С. Ю.* Спектрофотометрия высокого разрешения AM Leo на 1.2м телескопе АО УрФУ // *Физика Космоса: Тр. 43-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 3. - 7 февр. 2014 г.* Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. С. 220.
- [B25] *Горда С. Ю., Ляпцев А. П., Соболев А. М.* Исследование новой переменной типа W UMa // *Физика Космоса: Тр. 43-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 3. - 7 февр. 2014 г.* Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. С. 190.
- [B26] *Горда С. Ю., Захарова П. Е., Кузнецов Э. Д.* Основные спектральные исследования, выполненные в течение первых пяти лет работы 1.2м альт-азимутального телескопа Коуровской астрономической обсерватории Уральского федерального университета // *Международная конференция, "Настоящее и будущее малых и средних телескопов СМТ-2015, 19-22 октября 2015 г., п.Нижний Архыз, САО РАН,* С. 40-42.
- [B27] *Gorda S. Yu.* VizieR Online Data Catalog: Long-term monitoring of SZ Cam (Gorda+, 2015) // *VizieR Online Data Catalog.* — 2015. — V. 41. — Pp.276-288. Originally published in *Astronomy Letters*
- [B28] *Горда С. Ю.* Первая кривая лучевых скоростей ADS 2984A // *Физика Космоса: Тр. 45-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 1 - 5 февр. 2016 г.* Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. С. 245.
- [B29] *Горда С. Ю., Полушина Т. С.* ПЗС-мониторинг массивной тесной двойной звезды UU Cas // *Физика Космоса: Тр. 46-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 30 января - 3 февр. 2017 г.* Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. С. 244.
- [B30] *Горда С. Ю., Матвеева Е. А.* Новая световая кривая изменения периода затменной переменной AM Leo // *Физика Космоса: Тр.*

47-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 29 января - 2 февр. 2018 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. С. 245-246.

- [B31] *Горда С. Ю.* Возможная цикличность пятенной активности AM Leo // Современная звездная астрономия. Том 1, Астрономия-2018 (XIII съезд международной организации "Астрономическое Общество сборник трудов, Москва: ИЗМИРАН, 2018, 126-129.
- [B32] *Пахомов Ю. И., Горда С. Ю.* Калибровка BVRI-фотометра телескопа АстроСиб-500RC Коуровской обсерватории // Научные труды Института астрономии РАН. Т. 4. с.68-72 М.: Изд-во Янус-К, 2019, 420 с.
- [B33] *Горда С. Ю., Полушина Т. С.* Массивная затменная переменная UU Cas - в свете новых данных // Физика Космоса: Тр. 49-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 27-31 января 2020 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. С. 157-158.
- [B34] *Кононов Д. А., Горда С. Ю., Парфенов С. Ю.* О структуре течения в массивной взаимодействующей двойной системе UU Cas // Физика Космоса: Тр. 49-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 27-31 января 2020 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. С. 170-171.
- [B35] *Горда С. Ю.* Цикличность изменений магнитного поля затменной переменной AM Leo // Астрономия и исследование космического пространства: Всероссийская с международным участием научная конференция студентов и молодых ученых, посвященная памяти Полины Евгеньевны Захаровой (Екатеринбург, Россия, 1-5 февр. 2021 г.) сборник научных трудов. - Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. С. 103-106.
- [B36] *Горда С. Ю., Ватолин Я. Ю.* Возможная цикличность пятенной активности новой переменной типа W UMA GSC 3599-2569 // Астрономия и исследование космического пространства: Всероссийская с международным участием научная конференция студентов и молодых ученых (Екатеринбург, Россия, 31 января — 4 февр. 2022 г.) сборник научных трудов. - Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. С. 105-108.

Цитируемая литература

1. Бэттен А. Двойные и кратные звезды. // *Изд. Мир : Москва.* — 1976. — 322 с.
2. Tokovinin A. A. MSC - a catalogue of physical multiple stars.// *Astronomy and Astrophysics Supplement series.* — 1997. — V. 124. — Pp. 75-84.
3. Paczynski B. Evolutionary aspects of Wolf-Rayet stars. *IAU Symposium N 49 on Wolf-Rayet and high-temperature stars (Edited by M. K. V. Vappu and Jorge Sahade) Dordrecht, D. Reidel Pub. Co.* — 1973. — N.49. — Pp. 143-162.
4. Масевич А. Г. и Тутуков А. В. Эволюция звезд: теория и наблюдения. // *Изд. Наука: Москва.* — 1988. — 82 с.
5. Kopal Z. Dynamics of close binary systems. // *Astrophysics and Space Science Library, Dordrecht: Reidel.* — 1978. — V.68. — 513 p.
6. Свечников М. А. и Снежко Л. И. Характеристики и эволюция тесных двойных систем. Явления нестационарности и звездная эволюция. // *Изд. Наука, Главная редакция физико-математической литературы: Москва.* — 1974. — С. 181-228.
7. Холопов П. Н., Самусь Н. Н., Горанский В. П. и др. Общий Каталог Переменных Звезд Т.1 // *Изд. Наука: Москва.* — 1985. — 376 с.
8. Самусь Н. Н., Казаровец Е. В., Дурлевич О. В. и др. Общий каталог переменных звезд: версия ОКПЗ 5.1 // *Астрономический Журнал.* — 2017. — Т. 94. — С. 87-96.
9. Walker M. F. Nova DQ Herculis (1934): an eclipsing binary with very short period. // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific.* — 1954. — V.66. — Pp. 230-232.
10. Greenstein J. L. and Kraft R. P. The binary system Nova DQ Herculis. I. The spectrum and radial velocity during the eclipse cycle. // *Astrophysical Journal.* — 1959. — V.130. — Pp. 99-109.
11. Kraft R. P. Are all Novae binary stars? // *Astronomical Society of the Pacific Leaflets.* — 1964. — V.9. — Pp. 137-144.
12. Starrfield S. G. The rate of mass exchange in DQ Herculis. // *Astrophysical Journal.* — 1970. — V.161. — Pp. 361-363.
13. Riess A. G. Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant. // *Astronomical Journal.* — 1998. — V.116. — Pp. 1009-1038.
14. Perlmutter S. Measurements of Ω and Λ from 42 high redshift supernovae. // *Astrophysical Journal.* — 1999. — V.517. —

- Рр. 565-586.
15. Масевич А. Г. Отв. ред. Двойные звезды. // Сб. науч. трудов. Изд. Космоинформ: Москва. — 1997. — 264 с.
 16. Hertzprung E. On the relation between mass and absolute brightness of components of double stars. // *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*. — 1923. — V.2. — Pp. 15-17.
 17. Russell H. N., Adams W. S. and Joy A. H. A comparison of spectroscopic and dynamical parallaxes. // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. — 1923. — V.35. — Pp. 189—193.
 18. McLaughlin D. B. The masses and luminosities of eclipsing binaries (abstract). // *Popular Astronomy*. — 1927. — V.35. — P. 489.
 19. McLaughlin D. B. The masses and luminosities of the eclipsing binaries. // *Astronomical Journal*. — 1927. — V.38. — Pp. 21-26.
 20. Kuiper G. P. The empirical Mass-Luminosity relation. // *Astrophysical Journal*. — 1938. — V.88. — Pp. 472-507.
 21. Griffiths S. C., Hicks R. B. and Milone E. F. A re-examination of mass-luminosity relations from binary-star data. // *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*. — 1988. — V.82. — Pp. 1-12.
 22. Demircan O. and Kahraman G. Stellar Mass / Luminosity and Mass / Radius Relations. // *Astrophysics and Space Science*. — 1991. — V.181. — Pp. 313-322.
 23. Черепашук А. М. Тесные Двойные Звезды. Часть I. // Изд. ФИЗМАТЛИТ: Москва. — 2013. — 560 с.
 24. Черепашук А. М. Тесные Двойные Звезды. Часть II. // Изд. ФИЗМАТЛИТ: Москва. — 2013. — 572 с.
 25. Yor D G., Adelman J., Anderson, John E. and et al. The Sloan Digital Sky Survey: technical summary. // *The Astronomical Journal*. — 2000. — V.120. — Pp. 1579-1587.
 26. Paczynski B., Szczygiel D., Pilecki B. and Pojmanski G. Eclipsing binaries in the All Sky Automated Survey catalogue. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2006. — V.368. — Pp. 1311-1318.
 27. Mullan D. J. On the possibility of magnetic starspots on the primary components of W Ursae Majoris type binaries. // *Astrophysical Journal*. — 1975. — V. 198. — Pp. 563-573.
 28. Бусикало Д. В., Боярчук А. А., Жилкин А. Г. Газодинамика тесных двойных звезд. // Изд. ФИЗМАТЛИТ: Москва. — 2013. — 632 с.
 29. Penny L. R., Vagnuolo W. G. and Gies D. R. Doppler tomography of O-type binaries: The physical properties of seven systems. // *Space*

- Science Reviews*. — 1993. — V. 66. — Pp. 323-326.
30. *Kaitchuck R. H., Schlegel E. M., Honeycutt R. K. and et al.* Doppler emission line tomography of cataclysmic variables. // *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*. — 1994. — V. 56. — Pp. 287-291.
 31. *Labeyrie A.* Speckle interferometry observations at Mount Palomar. // *Nouvelle Revue d'Optique*. — 1974. — V. 5. — Pp. 141-151.
 32. *McAlister H. A.* Speckle interferometric measurements of binary stars. I. // *Astrophysical Journal*. — 1977. — V. 215. — Pp. 159-165.
 33. *McAlister H. A.* Speckle interferometry of spectroscopic binaries . // *Bulletin of the American Astronomical Society*. — 1977. — V. 9. — Pp. 599-599.
 34. *Свечников М. А., Перевозкина Е. Л.* Каталог фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд Ч.1.(РГП и ~ KW системы) // Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей затменных переменных звезд типа РГП и некоторые результаты его статистической обработки сб. тр. *Изд. Уральского университета: Екатеринбург*. — 1999. — С. 1-30.
 35. *Henry T. J., McCarthy D. W., Donald W. Jr.* The Mass-Luminosity Relation for Stars of Mass 1.0 to 0.08 M (solar) // *Astronomical Journal*. —, 1993. — V .106. Pp. 773-789.
 36. *Cantat-Gaudin T., Anders F., Castro-Ginard A. and et al.* Painting a portrait of the Galactic disc with its stellar clusters. // *Astronomy and Astrophysics*. — 2020. — V. 640. — Pp. A1(17).
 37. *Mennickent R. E., Djurasevich G., Vince I. and et al.* New insights on the massive interacting binary UU Cassiopeiae. // *Astronomy and Astrophysics*. — 2020. — V. 642. — id.A211, 9 pp.
 38. *Hill G., Hilditch R.W., Aikman G.C.L. and Khalessheh B.* Studies of early-type variable stars. VIII. The massive binary system CC Cassiopeiae. // *Astronomy and Astrophysics*. — 1994. — V. 282. — Pp. 455-466.