

На правах рукописи



**Склянов Александр Сергеевич**

**ИЗУЧЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ПЕРИОДА СВЕРХГОРБОВ НА РАЗНЫХ  
СТАДИЯХ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ КАРЛИКОВЫХ НОВЫХ  
ЗВЕЗД**

01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Казань – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ).

**Научный руководитель:**

ПАВЛЕНКО Елена Петровна

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник отдела физики звёзд Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН» (ФГБУН КрАО РАН)

**Официальные оппоненты:**

САМУСЬ Николай Николаевич,

доктор физико-математических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник отдела нестационарных звезд и звездной спектроскопии  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт астрономии Российской академии наук» (ИНАСАН)

ЦВЕТКОВ Дмитрий Юрьевич,

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник Отдела физики эмиссионных звезд и галактик  
Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ГАИШ МГУ)

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (ФГАО УВО ЮФУ)

Защита состоится «17» июня 2022 г. в 12 ч. 45 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.120.01 Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской академии наук по адресу: 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д. 65, корп. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГАО РАН и на сайте ГАО РАН <http://www.gaoran.ru/>.

Автореферат разослан «17» мая 2022 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.120.01

кандидат физ.-мат. наук

Осипова А.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Катаклизмические переменные – это тип тесных двойных систем, состоящих из белого карлика (главного компонента) и проэволюционировавшей звезды главной последовательности (вторичный компонент), заполнившей свою полость Роша. Вещество со вторичного компонента перетекает на главный через внутреннюю точку Лагранжа, образуя аккреционный диск вокруг белого карлика. В случае наличия у белого карлика сильного магнитного поля, перетекающее вещество образует вблизи белого карлика аккреционные колонны, идущие вдоль магнитных линий на магнитные полюса [1].

Карликовые новые являются подтипом катаклизмических переменных. Данные системы характеризуются наличием периодических вспышек с амплитудой  $2 - 6^m$  с характерной продолжительностью от нескольких дней до нескольких недель. В качестве механизма возникновения данных вспышек принято считать появление тепловой неустойчивости в аккреционном диске, что приводит к росту вязкости и увеличению темпа падения вещества из аккреционного диска на белый карлик, высвобождая тем самым гравитационную энергию [1].

Применительно к карликовым новым типа SU UMa, тепловая неустойчивость описывает возникновение нормальных вспышек у данных систем, однако она не в состоянии объяснить такие явления как сверхвспышки и сверхгорбы.

Сверхвспышками у карликовых новых типа SU UMa называют значительно более продолжительные (в 5-10 раз) вспышки с большей амплитудой увеличения блеска, чем нормальные вспышки данной системы. Во время таких вспышек наблюдаются колебания блеска с периодом на несколько процентов превышающим орбитальный период системы ( $P_{sh} > P_{orb}$ ).

Изучение данных систем дает нам возможность получить информацию об эволюции процессов, происходящих в аккреционных дисках катаклизмических переменных.

Сложностью изучения данных объектов является необходимость получения длительных по времени и достаточными по точности рядов наблюдений, охватывающих значительную часть сверхцикла изучаемой системы. Поэтому, для изучения подобных систем часто привлекаются наблюдения, полученные на разных телескопах, что требует их последующего сведения и совместного анализа.

Перед диссертантом была поставлена задача подробного фотометрического изучения нескольких карликовых новых систем разных типов (типа SU UMa и WZ Sge) для изучения эволюции положительных и отрицательных сверхгорбов на разных стадиях вспышечной активности - во время сверхвспышек, повторных поярчаний (rebrightenings) и в спокойном состоянии между вспышками.

### **Актуальность работы**

Несмотря на более чем полувековое изучение поздней стадии эволюции тесных двойных систем – катаклизмических переменных – в исследовании этих звёзд остаётся много белых пятен. Одна из нерешённых проблем касается характера потери вещества (постоянное истечение вещества или переменное) вторичным компонентом системы, которое приводит к тепловой нестабильности аккреционных дисков и вспышке карликовой новой. Одним из индикаторов той или иной концепции может быть различное изменение радиуса аккреционного диска звёзд типа SU UMa между вспышками и сверхвспышками. Другая проблема – это определение ключевого параметра

системы – отношения масс компонентов. И хотя стандартная модель эволюции, связывающая отношение масс с орбитальным периодом системы, в среднем неплохо согласуется с наблюдениями, существующий разброс наблюдательных данных требует своего объяснения, как и то, что требуются новые наблюдения звёзд в большом диапазоне орбитальных периодов (типа SU UMa и WZ Sge) – от пробела в распределении орбитальных периодов (2-3 часа) до короткопериодической границы (~76 мин).

Исследование эволюции периодов положительных и отрицательных сверхгорбов, их появления и исчезновения на разных стадиях вспышечной активности позволяет нам изучать прецессионные процессы, происходящие в аккреционном диске, условия, необходимые для возникновения приливной и нодальной неустойчивостей. Анализ изменения сверхцикла системы и характерного времени между нормальными вспышками, позволяет нам получить представление о влиянии эволюции аккреционного диска на вспышечную активность карликовой новой.

### **Цель и задачи диссертационной работы**

Целью данной работы было подробное фотометрическое изучение нескольких карликовых новых систем путём получения данных об эволюции положительных и отрицательных сверхгорбов на разных стадиях вспышечной активности.

Перед соискателем были поставлены следующие задачи:

- 1) получение длительных фотометрических наблюдений долгопериодических систем типа SU UMa в пробеле периодов – NY Ser и MN Dra, и короткопериодической системы типа WZ Sge - ASASSN-14cv, которые охватывали бы разные стадии их вспышечной активности; определение

- характеристик вспышек;
- 2) вывод о наличии сверхгорбов (положительные или отрицательные) в аккреционном диске на разных стадиях активности (во вспышке, сверхвспышке, повторных поярчаниях, минимуме блеска), их характеристики и эволюция; вывод о наличии других периодичностей;
  - 3) Оценка отношения масс компонентов. Вывод о соответствии изменений периодов сверхгорбов существующим теориям приливной и тепловой неустойчивости.

### **Научная новизна**

Данная работа использует уникальные (новые) ряды наблюдений, бóльшая часть которых получена соискателем, охватывающие различные стадии вспышечной активности исследуемых карликовых новых звезд, что позволяет измерить характерное время возникновения и продолжительность нормальных вспышек, а также определить длину сверхцикла. Точность полученных данных позволяет обнаружить короткопериодические колебания блеска, измерить их моменты максимумов и определить периоды, что даёт возможность классифицировать данные колебания и использовать результат для определения физических параметров системы. Впервые получены оценки отношения масс для NY Ser и MN Dra. Впервые обнаружены отрицательные сверхгорбы у карликовой новой NY Ser.

### **Научная и практическая значимость**

Полученные результаты представляют собой подробные изучения эволюции периодов сверхгорбов на разных стадиях вспышечной активности. Эти данные могут использоваться как для развития или улучшения теории возникновения

нестабильностей в аккреционном диске в целом, так и для улучшения нашего представления об аккреционных процессах, происходящих на мало изученных стадиях вспышечной активности (ребрайтенинги у звезд типа WZ Sge, отрицательные сверхгорбы во время сверхвспышки). Также результаты данной работы могут улучшить наше понимание физики карликовых новых, попадающих в «пробел» периодов. Полученный материал может быть использован в процессе обучения студентов и аспирантов на кафедрах астрономии.

### **Методология и методы исследования**

Полученные на телескопах ПЗС-изображения проходили процесс стандартной обработки с применением калибровочных кадров (bias, dark, flat). Звездная величина исследуемой переменной измерялась методами относительной фотометрии. Моменты максимумов для всех ночей, где это было возможно, определялись при помощи комбинирования метода совмещения хорошо прописанного профиля сверхгорба с изучаемой кривой блеска и метода хорд. Частотный анализ проводился с использованием метода Стеллингверфа [2]. Для изучения эволюции сверхгорбов строились диаграммы O-C.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. У карликовой новой типа WZ Sge ASASSN-14cv было обнаружено восемь ребрайтенингов; получен средний период сверхгорбов для стадии ребрайтенингов  $0.^d06042(8)$ , совпадающий с периодом положительных сверхгорбов стадии В сверхвспышки  $0.^d06042(1)$ ; обнаружено глобальное уменьшение периода сверхгорбов в течение ребрайтенингов со скоростью  $P_{\text{dot}} = -1.1 \times 10^{-5}$ .

2. По наблюдениям карликовой новой NY Ser впервые была построена диаграмма хода O-C максимумов положительных сверхгорбов для сверхвспышки этой системы, имеющая 2 варианта интерпретации. Во время сверхвспышки была впервые выделена стадия роста положительных сверхгорбов (А), а также впервые обнаружены отрицательные сверхгорбы. Получены средние значения периодов сверхгорбов: на стадии А -  $P_{sh}=0.^d1091(1)$  (для var1) и  $P_{sh}=0.^d107$  (для var2); стадии В -  $0.^d10464(9)$ ; отрицательных сверхгорбов -  $0.^d0938(1)$ .

3. У карликовой новой MN Dra обнаружен циклический характер изменения периода отрицательных сверхгорбов от одной нормальной вспышки к другой: В спокойном состоянии период увеличивается, а во время самой вспышки - быстро уменьшается, что соответствует циклическому изменению радиуса аккреционного диска [3]. Такое поведение находится в согласии с теорией приливно-тепловой неустойчивости аккреционного диска [4].

4. Получены оценки отношения масс: для NY Ser –  $q=0.404(25)$  (для 1-го варианта интерпретации диаграммы O-C – var1) и  $q=0.308(27)$  (для 2-го варианта интерпретации диаграммы O-C – var2); для MN Dra -  $q=0.327(5)$ .

### **Достоверность и апробация работы**

Представленные результаты имеют достаточную достоверность и обоснованность, определяемую большим объемом полученного уникального наблюдательного материала на значительном промежутке времени. Полученные результаты находятся в согласии с результатами других авторов, полученных для подобных объектов.

Основные результаты и выводы данной работы представлялись на следующих конференциях:

«Физика Космоса» (с. Слобода, Россия, 2010)

«Астрономия на стыке наук - Астрофизика, Космология и Гравитация, Радиоастрономия, Космомикрофизика, Астробиология» (Одесса, Украина, 2010)

«17-th European White Dwarf Workshop» (Tubingen, Germany, 2010)

«Golden age of cataclysmic variables and related objects – IV» (Palermo, Italy, 2017)

«Итоговая научная конференция КФУ» (Казань, Россия, 2018)

«Итоговая научная конференция КФУ» (Казань, Россия, 2020)

«Итоговая научная конференция КФУ» (Казань, Россия, 2021)

«Физика Космоса» (с. Слобода, Россия, 2021)

Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2021 "Астрономия в эпоху многоканальных исследований" (Москва, 2021)

### **Структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объём работы составляет 137 страниц, из них 116 страниц текста, включая 46 рисунков, 4 таблицы (не считая таблиц, вынесенных в Приложение). Список используемой литературы включает в себя 121 ссылку на 14 страницах. Приложение занимает 7 страниц общего объема диссертации.

### **СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**Во введении** дана общая характеристика диссертационной работы, показана актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи исследования. Представлены основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту. Показана их научная новизна и практическая значимость. Приведены

списки конференций и научных статей, подтверждающих достоверность и достаточную апробацию.

**В первой главе** приводится обзор современного представления о катаклизмических переменных звездах, использованных методик ведения наблюдений и анализа данных. **В разделе 1.1** описываются основные особенности карликовых новых звезд типа SU UMa, дается определение понятиям «сверхгорбы» и «сверхцикл». **Раздел 1.2** посвящен карликовым новым типа WZ Sge, наблюдаемым характеристикам сверхвспышек у данной подгруппы звезд. Вводятся понятия «ранние сверхгорбы» и дается современное теоретическое представление о данном явлении. Дается определение «повторным поярчаниям (ребрайтенингам)» и приводится их морфологическая классификация. **В разделе 1.3** представлены актуальные теории возникновения сверхвспышек и сверхгорбов. **Раздел 1.3.1** посвящен модели теплового ограниченного цикла. Дается теоретическое объяснение феноменов сверхвспышки и сверхгорбов, рассматриваются сильные и слабые стороны данной модели. **В разделе 1.3.2** рассматривается модель усиленной передачи массы, её теоретическое описание, сильные и слабые стороны данной модели. **Раздел 1.3.3** посвящен рассмотрению модели приливно-тепловой неустойчивости аккреционного диска. Дается подробное описание теоретической основы данной модели. **В разделе 1.4** представлена классификация стадий эволюции периода положительных сверхгорбов во время сверхвспышки. Дается описание каждой из стадий эволюции периода сверхгорбов и приводится формула, описывающая апсидальную прецессию аккреционного диска. **Раздел 1.5** посвящен отрицательным сверхгорбам. Дается определение данного феномена, его связь с нодальной прецессией аккреционного диска. Рассматриваются основные теории, описывающие

механизмы, которые могут приводить к наклону аккреционного диска у карликовых новых систем. В разделе 1.6 рассматривается связь между отношением масс компонентов и избытком периода. Вводится понятие «избыток периода  $\varepsilon$ », приводятся формулы расчета отношения масс  $q(\varepsilon)$ . Раздел 1.7 посвящен полученным наблюдениям, их обработке и анализу. В разделе 1.7.1 дается краткое описание использованных для наблюдений телескопов и использованных фильтров. Перечисляются получаемые калибровочные кадры и их физический смысл. Приводятся основные принципы подбора экспозиции и звезд сравнения. Раздел 1.7.2 посвящен обработке полученных ПЗС кадров. Дается описание процедуры калибровки изображений, факторов, влияющих на точность измерений звездной величины. Приводятся графики зависимости точности измерения от звездной величины объекта для двух разных телескопов. Раздел 1.7.3 посвящен частотному анализу полученных данных. Приводится описание процедуры подготовки данных для частотного анализа.

Вторая глава посвящена эволюции сверхгорбов карликовой новой звезды типа WZ Sge ASASSN-14cv на стадии повторных поярчаний (ребрайтингов). Раздел 2.1 посвящен наблюдениям данного объекта и включает в себя описание использованных телескопов и их ПЗС матриц, фильтров и звезд сравнения. Приведена карта сравнения для звезды ASASSN-14cv. В разделе 2.2 приведен анализ полученных кривых блеска. Дается описание наблюдавшихся на данном отрезке времени вспышках, указаны их амплитуды и характерное время между ними. Для тех вспышек, где это было возможно, указан тип «inside-out» или «outside-in». Показано наличие короткопериодических колебаний блеска на разных стадиях вспышечной активности с указанием их амплитуд. Представлены результаты частотного анализа с указанием наиболее значимого периода и фазовая кривая с ним. Даны результаты наблюдений через 245 дней

после начала сверхвспышки с описанием. **Раздел 2.3** посвящен диаграмме О-С. Представлена таблица со всеми измеренными моментами максимумов блеска сверхгорбов и построенная по ним диаграмма О-С. Приведен анализ полученной диаграммы и возможные интерпретации полученных периодов. Дана уточненная диаграмма О-С для интерпретации двумя периодами. **В разделе 2.4** приводятся обсуждения полученных результатов и сравнение с работами других авторов. **В разделе 2.5** представлены выводы по данному объекту и указан личный вклад соискателя в изучение данного объекта. Дано заключение к главе 2.

**В третьей главе** описываются результаты изучения долгопериодических катаклизмических переменных в пробеле периодов MN Dra, NY Ser и V1006 Cyg. **В разделе 3.1** рассматривается карликовая новая NY Ser, её вспышечная активность и мульти периодические процессы на разных стадиях в 2014 и 2016 гг. Описывается история обнаружения и изучения данного объекта в более ранних работах. **В разделе 3.1.1** описываются полученные наблюдения и их редукция. Дано описание использованных телескопов и ПЗС матриц, фильтров и звезд сравнения. **В разделе 3.1.2** представлены вспышечные кривые блеска для 2014 и 2016 гг. Дано описание полученных кривых блеска. **Раздел 3.1.3** посвящен вспышечной активности, циклам и сверхциклам. Приведено описание характеристик вспышек: амплитуда, продолжительность и характерный промежуток между вспышками. Дана оценка величине сверхцикла системы. **В разделе 3.1.4** дается описание сверхвспышки 2014 года. Приведены значения амплитуды, продолжительности и скорости ослабления блеска. **Раздел 3.1.5** посвящен короткопериодическим колебаниям блеска на разных фазах развития нормальных вспышек и в неактивном состоянии. Показаны примеры индивидуальных кривых блеска на разных стадиях вспышечной активности,

демонстрирующих короткопериодические колебания блеска. Приведены амплитуды данных колебаний. Показаны результаты частотного анализа для участков нормальных вспышек и спокойного состояния. Дано значение наиболее вероятного периода и построена фазовая кривая с ним. **В разделе 3.1.6** рассматривается анализ эволюции сверхгорбов во время сверхвспышки 2014 г. Представлены индивидуальные кривые блеска во время сверхвспышки, показывающие наличие короткопериодических колебаний блеска. Даны результаты частотного анализа данных, с интерпретацией полученных периодов. Представлена таблица с моментами максимумов сверхгорбов и построенная по ним диаграмма О-С. Показаны два варианта интерпретации диаграммы О-С с объяснением всех обнаруженных периодов. **Раздел 3.1.7** представляет собой обсуждение полученных результатов. **В разделе 3.1.8** дается оценка отношения масс системы по его зависимости от избытка периода для обоих вариантов интерпретации диаграммы О-С. **Раздел 3.1.9** посвящен сравнению полученных значений отношения масс с работами других авторов. **В разделе 3.1.10** обобщены полученные результаты и описан личный вклад соискателя в данную работу. **Раздел 3.2** посвящен изучению изменений периода отрицательных сверхгорбов карликовой новой типа SU UMa MN Dra в 2009 - 2017 гг. Дана история обнаружения и изучения данного объекта в более ранних работах. **В разделе 3.2.1** представлено изучение периодических процессов на разных стадиях вспышечной активности MN Dra в 2009 году. Дано описание использовавшихся телескопов и их ПЗС матриц. Приведены диаграммы О-С для положительных сверхгорбов во сверхвспышке и для отрицательных сверхгорбов во время нормальных вспышек и спокойного состояния. Даны полученные результаты и личный вклад соискателя в данную работу. **Раздел 3.2.2** посвящен изучению изменений периода отрицательных сверхгорбов

карликовой новой типа SU UMa MN Dra в 2012 - 2017 гг. Дано описание использованных телескопов и их ПЗС матриц, фильтров и звезд сравнения. В разделе 3.2.3 рассматриваются вспышечные кривые блеска 2012 и 2017 гг. Приведены характеристики зарегистрированных вспышек: амплитуда, продолжительность и характерное время между вспышками. Дана оценка величине сверхцикла системы. Раздел 3.2.4 посвящен индивидуальным кривым блеска на разных стадиях вспышечной активности. Даны характеристики наблюдаемых короткопериодических колебаний. В разделе 3.2.5 описаны методы частотного анализа. Раздел 3.2.6 посвящен частотному анализу данных для участков сверхвспышек 2012 и 2017 гг. Отмечены наиболее значимые периоды, приведена таблица с моментами максимумов положительных сверхгорбов. В разделе 3.2.7 даны результаты частотного анализа данных для участков спокойного состояния и нормальных вспышек 2012 и 2017 гг. Отмечены наиболее значимые периоды, приведена таблица с моментами максимумов отрицательных сверхгорбов. Приведены диаграммы O-C для отрицательных сверхгорбов. Дано описание полученных диаграмм и сравнение результатов с работами других авторов и теорией. В разделе 3.2.8 рассматривается вопрос о выделении стадии роста положительных сверхгорбов и проблема экстремально резкого уменьшения  $P_{dot}$ , которая наблюдалась в более ранних работах. Дано описание проблемы и её объяснение. Раздел 3.2.9 посвящен первому обнаружению стадии роста сверхгорбов (стадии A) у MN Dra и оценке отношения масс. В разделе 3.2.10 приведены полученные результаты, описан личный вклад соискателя в данную работу. В разделе 3.3 представлено изучение долгопериодической SU UMa карликовой новой V1006 Cyg. Показана её вспышечная активность и периодичность на разных стадиях вспышечной активности. Дано описание использованных телескопов и

фильтров. Приведены характеристики наблюдаемых вспышек: амплитуды, продолжительности и характерное время между вспышками. Приведен частотный анализ короткопериодических колебаний и дана оценка отношению масс в системе. Представлены полученные результаты и личный вклад соискателя в данную работу. Дано заключение к главе 3.

В **заключении** приводятся результаты, выносимые соискателем на защиту.

**Приложение** содержит журналы наблюдений для звезд ASASSN-14cv, NY Ser и MN Dra. В таблицах приведены названия телескопов, начало и конец наблюдений, фотометрическая система и качество изображений.

#### **Публикации по теме диссертации**

1. Pavlenko E., Kato T., Andreev M. ... **Sklyanov A.** et al. MN Dra—In-the-Gap Dwarf Nova With Negative Superhumps // 17th European White Dwarf Workshop. AIP Conference Proceedings. – 2010. – V. 1273. – I. 1. – P. 320–323.
2. Kato T., Dubovsky P. A., Kudzej I., ... **Sklyanov A.** et al. Survey of period variations of superhumps in SU UMa-type dwarf novae. VI. The sixth year (2013-2014) // Publications of the Astronomical Society of Japan. – 2014. – V. 66. – I. 5. – ID 90. – P. 1–71.
3. **Sklyanov A. S.**, Pavlenko E. P., Antonyuk O. I. et al. Superhump evolution of WZ Sge-type dwarf nova ASASSN-14cv at rebrightening stage // Astrophysical Bulletin. – 2016. – V. 71. – I. 3. – P. 293-301. (**Склянов А. С.**, Павленко Е. П., Антонюк О. И. и др. Эволюция сверхгорбов карликовой новой звезды типа WZ Sge ASASSN-14cv на стадии повторных поярчаний // *Астрофизический бюллетень*. – 2016. – Т. 71. – № 3. – С. 317–326)
4. **Sklyanov, A. S.**; Pavlenko, E. P.; Antonyuk, O. I. et al. NY Ser: Outburst Activity and Multiperiodic Processes in its Various Stages During 2014 and 2016 //

Astrophysics. – 2018. – V. 61. – I. 1. – P. 64-82.

5. Pavlenko E. P., Shugarov S. Yu., Simon A. O., ... **Sklyanov A. S.** et al. Long-period SU UMa dwarf nova V1006 Cygni: outburst activity and variability at different brightness states in 2015 — 2017 // Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. – 2018. – V. 48. – № 2. – P. 339-355.

6. **Sklyanov A. S.**, Pavlenko E. P., Antonyuk K. A. et al. Variations in the Period of Negative Superhumps in SU UMa-Type Dwarf Novae. I. MN Dra (2012-2017) // Astrophysics. – 2020. – V. 63. – I. 2. – P. 200–216.

### **Личный вклад автора**

Результаты данной работы были основаны на наблюдениях, проведенных в 2012-2017 гг. Из 341 использованных ночей наблюдений соискателем лично были проведены наблюдения в течение 126 ночей. Значительная часть фотометрической обработки проводилась соискателем лично. Определение моментов максимумов, частотный анализ и построение диаграмм О-С по данным, приведенным в тексте диссертации, полностью проводилось соискателем лично.

В работах 1-6 автором лично проведена и обработана часть наблюдений. В работах 3, 4, 6 – определение моментов максимумов, частотный анализ и диаграммы О-С полностью проводились соискателем. В работах 3, 4, 6 соискатель участвовал в постановке задачи, анализе полученных результатов и написании текста статей.

### **Цитируемая литература**

[1] Warner B. Systematics of Surperoutbursts in Dwarf Novae // *Astrophysics and Space Science*. – 1995. – V. 226. – I. 2. – P. 187–211.

[2] Stellingwerf R. F. Period determination using phase dispersion minimization // *The Astrophysical Journal*. – 1978. – V. 224. – P. 953–960.

[3] Larwood J. On the precession of accretion discs in X-ray binaries // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 1998. – V. 299. – I. 2. – P. L32–L36.

[4] Osaki Y. A model for the superoutburst phenomenon of SU Ursae Majoris stars // *Publications of the Astronomical Society of Japan*. – 1989. – V. 41. – P. 1005–1033.