РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

На правах рукописи

УДК 524.38

БАРСУКОВА Елена Александровна

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ТРАНЗИЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ПЕКУЛЯРНЫХ НОВЫХ ЗВЕЗД

Специальность: 01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз – 2006

Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории Российской Академии Наук.

Научный руководитель:	кандидат физико - математических наук В.П. ГОРАНСКИЙ
Научный консультант:	доктор физико - математических наук, профессор С.Н. ФАБРИКА
Официальные оппоненты:	доктор физ.–мат. наук Н.Н. САМУСЬ
	кандидат физ.–мат. наук В.В. ШИМАНСКИЙ
Ведущая организация:	Главная астрономическая обсерватория РАН, г. Санкт-Петербург

Защита состоится 12 октября 2006г. в 9^{30} часов

на заседании Диссертационного совета Д 002.203.01 при Специальной астрофизической обсерватории РАН по адресу: 369167, КЧР, Нижний Архыз, САО РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан 31 августа 2006г.

Ученый секретарь Диссертационного совета
кандидат физ.–мат. наук _______________ Е.К. Майорова

Общая характеристика работы

Актуальность темы.
Диссертация посвящена исследованию четырех астрофизических объектов, испытавших вспышки с большим энерговыделением в оптической области спектра. Абсолютные величины M_V этих объектов в максимуме вспышек находятся в диапазоне от -6^m до -10^m. Два объекта исследования, CI Cam и V4641 Sgr, известны как рентгеновские транзиентные источники. V838 Mon и V4332 Sgr являются пекулярными новыми неизвестной пока природы, которые по своему энерговыделению близки к классическим новым. В пике вспышек светимость всех этих объектов превышала критическую эддингтоновскую светимость. Огромные (сверхкритические) светимости объединяют эти звезды в нашем исследовании. Понимание механизмов большого энерговыделения имеет существенное значение для астрофизики. В Лаборатории физики звезд САО РАН мы исследовали разные объекты со вспышками и большим энерговыделением. Для данной диссертации были выбраны объекты, уникальные для своего класса. Два из них оказались представителями нового класса астрофизических объектов.

Рентгеновские транзиентные источники – это объекты, появляющиеся на рентгеновском небе на некоторое время, а затем исчезающие. Появление такого источника чаще всего связано с эпизодом аккреции вещества на компактный или релятивистский объект: белый карлик, нейтронную звезду или черную дыру в двойных звездных системах. Исследования таких систем являются источником знаний о поведении вещества в экстремальных условиях, дают возможность проверить выводы и предсказания теории относительности и фундаментальные законы физики, а так же имеют практическое значение, связанное с освоением человеком космического пространства.

С появлением космических рентгеновских обсерваторий, ведущих обзор всего неба в реальном времени, регулярно делаются открытия транзиентных рентгеновских источников и рентгеновских новых звезд. Координаты областей локализации источников передаются на наземные оптические и радиообсерватории для последующего отождествления и исследования. Для успешного отождествления рентгеновских транзиентных источников, как правило, требуются срочные оптические наблюдения, пока вспышка продолжается. Сведения о массах релятивистских звезд получают из наземных наблюдений в оптическом диапазоне, когда объекты находятся в спокойном состоянии.

Опережающий поиск и исследование релятивистских звезд методами наземной оптической и радиоастрономии тоже актуален. Примером служит история исследования объектов нашей диссертации CI Cam и V4641 Sgr. Обе эти звезды были открыты и исследованы еще до того, как у них наблюдались вспышки рентгеновского излучения. Мощные вспышки этих звезд связывают с эпизодами сверхкритической аккреции на релятивистские компоненты (CI Cam – Хайнес и др. (2002), V4641 Sgr – Ревнивцев и др. (2002)). V4641 Sgr может быть объектом нового, наиболее многочисленного класса двойных систем, содержащих релятивистский компонент, – разделенных систем (Хьелминг и др., 2000). Из-за отсутствия непрерывной аккреционной активности они не проявляют или редко проявляют себя в рентгеновских лучах, и вероятность их открытия на орбитальных рентгеновских обсерваториях очень мала. Тем не менее появляются перспективы открытия и исследования таких систем традиционными методами оптической спектроскопии и фотометрии. Знания о V4641 Sgr дают возможность понять поведение одиночных черных дыр, которые еще никогда не наблюдались.

Исследования рентгеновских транзиентных источников методами оптической астрономии актуальны еще и потому, что дают возможность предсказывать появление рентгеновских вспышек. Так на основе фотометрии транзиентного источника BQ Cam (V0332+53) его рентгеновская вспышка 2004 г. была предсказана за 10 месяцев до этого события (Горанский и Барсукова, 2004).

Загадка пекулярных красных новых звезд состоит в том, что они имеют спектры красных сверхгигантов классов K-M во вспышках и не проходят через небулярную стадию. Светимость этих объектов во вспышках значительно превышает критический эддингтоновский предел. Впервые такая звезда наблюдалась в галактике Андромеды в 1988 г. Это объект V1006/7, описанный одновременно как новая звезда и как переменный красный сверхгигант. Для того, чтобы понять природу этой звезды, Ибен и Тутуков (1992) построили модели вспышек в карликовых двойных системах с "холодным" маломассивным вырожденным карликом. Однако эта модель противоречит современным наблюдениям. Как оказалось, пекулярные красные новые звезды представляют собой новый и неизвестный ранее класс объектов астрофизики. Они не были предсказаны в теории звездной эволюции. До сих пор не построены модели, объясняющие этот феномен. Тыленда и др. (2005), изучавшие V4332 Sgr, придерживаются мнения, что до вспышки эта звезда была звездой солнечного типа, а вспышка была результатом столкновения или слияния звезд. Появление трех таких объектов за последние 15 лет наводит на мысль, что некоторые красные новые есть среди открытых ранее, но не подтвержденных по спектрам классических новых. Поэтому исследования трех известных объектов как во вспышках, так и в спокойном состоянии являются актуальными.

Цель диссертации. Исследование направлено на то, чтобы установить наблюдательными методами природу четырех объектов, которые испытали мощные вспышки. Цель исследования B[e]-звезды CI Cam – определение физических параметров и классификация звездных компонентов системы, выяснение природы B[e]-феномена. Наши наблюдения были направлены на изучение строения околозвездной оболочки и ее реакции на мощную рентгеновскую вспышку, на проверку известных гипотез о причине вспышки звезды.

V4641 Sgr – система с черной дырой в разделенной двойной системе со звездой спектрального класса B9–A0. Целью исследования было найти следы взаимодействия нормального компонента с черной дырой, в результате которого происходят вспышки. Была поставлена задача отнаблюдать систему в фазе нижнего соединения черной дыры, чтобы увидеть "на просвет" содержимое ее полости Роша.

Первая цель исследования пекулярных красных новых – установить, являются эти объекты одиночными или двойными звездами. Следующая цель – исследование компонентов систем и поиск следов взаимодействия между компонентами. Целью исследования спектра V838 Mon во вспышке было уточнение ее эволюционного статуса и сходства (или отличия) этой звезды от новоподобных звезд, находящихся в пост-AGB стадии эволюции, представителями которых являются FG Sge и объект Сакураи (V4334 Sgr). На основе архивных данных, современной фотометрии и спектроскопии были установлены изменения в спектральных распределениях энергии двух пекулярных новых, которые произошли в результате вспышек.

Научная новизна

1. Впервые определены орбитальный период P = 19.41 дня и элементы орбиты CI Cam. Спектральный класс и класс светимости B4 III-V главного компонента определен впервые по водородным линиям высоких порядков в синей области спектра. Ранее оценки спектрального класса делались только по распределению энергии в спектре и часто были ошибочными. Сделана динамическая оценка массы для B[e]-звезды в системе CI Cam $M(B[e]) > 12M_{\odot}$.

2. Впервые обнаружены такие особенности спектральных изменений CI Cam, как снижение интенсивности линий HeI после вспышки относительно уровня их интенсивности до вспышки, запаздывание пика вспышки запрещенной линии [N II] λ5755Å на 210 ±20 дней относительно пика вспышки в рентгеновском диапазоне и тот факт, что поток в этой линии оставался постоянным в течение вспышки.

3. Впервые исследовано взаимодействие релятивистского компонента V4641 Sgr с нормальной звездой методом спектроскопии в нижнем соединении релятивистского компонента. Это привело к открытию газового потока, направленного от наблюдателя, который интерпретируется как часть разреженного кеплеровского газового диска. Впервые определена масса кандидата в черные дыры по скорости газового потока на орбите вокруг него.

4. Впервые доказано, что пекулярная красная новая V838 Mon имеет нормальное, близкое к солнечному, содержание элементов. Поэтому пекулярные красные новые нельзя отнести к звездам, находящимся в пост-AGB стадии эволюции. Этот результат позволяет выделить три известные пекулярные красные новые звезды в новый, неизвестный ранее класс астрофизических объектов.

5. Впервые обнаружены линии лития в спектре V838 Mon.

6. Впервые показано, что до вспышки V838 Mon была горячей голубой звездой с показателем цвета $(B-V)_0 = -0^m.17 \pm 0^m.10$. Ранее считалось, что она была звездой класса F главной последовательности (Мунари и др., 2002 а), или звездой F0III-II (Мунари и др., 2002б). Впервые опубликовано предположение, основанное на изменениях в спектральном распределении энергии в результате вспышки, что взорвавшаяся звезда до вспышки была голубой звездой и имела такое же спектральное распределение энергии, как и ее компонент класса B3V. Теперь это положение общепризнано.

7. Впервые описана переменность спектров V838 Mon в спокойном состоянии, а в синей области спектра отождествлены запрещенные эмиссии [Fe II], интенсивность которых быстро увеличивается.

8. Впервые описан и интерпретирован спектр V4332 Sgr в синем диапазоне. На основе уникальных фотоснимков московской коллекции и современной фотометрии и спектроскопии V4332 Sgr показано, что голубой компонент, наблюдавшийся в спектральном распределении энергии в 1980-86 годах до вспышки, теперь не виден в спектре. Так что и в этом случае произошел взрыв голубой звезды в двойной системе. Наши наблюдения опровергают предположение, что до вспышки V4332 Sgr была звездой солнечного типа.

Научная и практическая ценность. Наш длительный семилетний ряд спектроскопических наблюдений CI Cam имеет особую научную ценность, так как сопровождался многоцветной фотометрией. Это дает возможность фотометрической калибровки спектров и определения потоков в линиях в физических единицах. Наша спектроскопия CI Cam во вспышке наиболее полна и информативна на фоне всех мировых наблюдательных данных.

Открытие орбитального периода P = 19.41 дня и определение элементов орбиты, оценка массы главного компонента CI Cam и даже ограничение его размера высотой периастра орбиты дают прямую и уникальную информацию о звездах с B[e]-феноменом. Оценка массы компактного компонента, который с большой вероятностью является белым карликом, объясняет причину рентгеновской вспышки 1998 г. 19-дневный период подтвержден фотометрическим методом В.М. Ларионовым (Санкт-Петербургский университет) и В.И. Шенавриным (ГАИШ МГУ) на ВАК-2004 "Горизонты Вселенной" в Москве, а также в докладе С. Кларка (Открытый университет, UKL, Англия) на конференции "Звезды с B[e]-феноменом" в 2005 г. в Нидерландах. Наша фотометрия и лучевые скорости в табличном виде доступны в Интернете и используются в зарубежных публикациях. Спектроскопия CI Cam используется в производственной практике студентов Московского, Казанского и Санкт-Петербургского университетов.

Ценность примененного нами спектроскопического метода исследования содержимого полости Роша компактного компонента V4641 Sgr "на просвет" состоит в том, что он может быть применен к другим рентгеновским системам с большим наклонением орбиты.

Наше первое спектральное и фотометрическое исследование пекулярной красной новой V838 Mon (Горанский и др., 2002), широко цитируется в мировой литературе (15 цитирований в NASA ADS Abstract Service) и упоминается в ежегодном обзоре мировых достижений "Астрофизика в 2003 г." (Тримбл и Ашванден, 2004). Широко используются в мировых исследованиях опубликованные нами архивные и современные фотометрические данные по пекулярным красным новым. Принципиальное значение наших архивных изысканий для понимания природы этого феномена и важность результатов спектральных наблюдений на телескопе БТА отмечены оргкомитетом конференции на Ла Пальма (Испания) в 2006 г., и эта оценка отражена в трудах конференции. Особая ценность наших спектроскопических данных по красным новым состоит в том, что они анализируются в совокупности с архивной и современной многоцветной фотометрией.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Результаты семилетней спектроскопии рентгеновского транзиентного источника CI Cam во вспышке и в спокойном состоянии, полученные в САО РАН. Результаты исследования поведения спектра во вспышке: нарушение и последующее восстановление структуры стратифицированной оболочки, реак-

ция внешних слоев оболочки по линии [N II], ионизация окружающего газа вспышкой и выброс газа со скоростью 1200 км/с.

2. Определение орбиты компактного компонента в системе CI Cam с орбитальным периодом P = 19.41 ±0.02 дня и эксцентриситетом 0.62±0.07. Динамическая оценка массы для B[e]-звезды $M(B[e]) > 12M_{\odot}$. Определение спектрального класса главного компонента CI Cam B4 III-V по водородным линиям.

3. Классификация V4641 Sgr как разделенной системы, в спектре которой виден только один оптический компонент спектрального класса A0III. Обнаружение разреженного газового потока в системе. Определение по скорости движения вещества в разреженном потоке массы кандидата в черные дыры $7.1 \leq M_{BH} \leq 9.5M_{\odot}$.

4. Доказательство, что пекулярная красная новая V838 Mon – звезда с нормальным, близким к солнечному, содержанием элементов. Обнаружение в ее спектре сильной линии Li λ6707Å. Вывод, что до вспышки V838 Mon была широкой физической парой, состоящей из двух звезд класса B, одна из которых взорвалась.

5. Результаты спектроскопии пекулярной красной новой V4332 Sgr. Вывод, что до вспышки система V4332 Sgr состояла из двух звездных компонентов: голубого и красного, и что в 1994 г. произошел взрыв голубого компонента.

Апробация результатов

Результаты нашей работы докладывались на научных семинарах САО РАН и на следующих конференциях:

1. **Переменные звезды – ключ к пониманию строения и эволюции Галактики**. Международная конференция, посвященная 90-летию со дня рождения Б.В. Кукаркина (Москва, 1999).
2. **Физика катаклизмических переменных и сходных с ними объектов**. Международная конференция, посвященная 65-летию со дня рождения Клауса Бауэрмана (Геттинген, Германия, 2001).
3. **Вспышки классических новых звезд**. Международная конференция (Сиджес, Испания, 2002).
4. **Новые взгляды на микроквазары**. 4-й симпозиум по микроквазарам (Каргезе, Корсика, Франция, 2002).
5. **10-я открытая конференция молодых ученых по астрономии и космической физике** (Киев, Украина, 2003).

6. **Горизонты Вселенной**. Всероссийская астрономическая конференция ВАК–2004 (Москва, 2004).

7. **Звезды с B[e]-феноменом**. Симпозиум (остров Влиеланд, Нидерланды, 2005).

8. **Природа V838 Mon и ее светового эха**. Конференция (остров Ла Пальма, Канарские острова, Испания, 2006).

Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации 165 страниц, 36 рисунков и 10 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 165 ссылок.

Во введении дана общая характеристика работы, в таблице исследуемых объектов приводится их номенклатура, точные координаты и пределы переменности в звездных величинах, а также спектральные классы. Обсуждается актуальность темы, цель диссертации, научная новизна, научная и практическая ценность. Изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту. Приводится список научных мероприятий, на которых осуществлялась апробация результатов диссертации. Дается список работ, в которых опубликованы результаты диссертационного исследования.

В конце введения в п.2 дается краткое описание стандартной методики обработки спектральных наблюдений. Описана первичная обработка кадров ПЗС, спектральные измерения и отождествление спектров на персональных ЭВМ на основе баз данных по атомным спектрам из Интернета, а также перевод эмиссионных спектров в энергетические единицы с помощью фотометрии. Приведены точности фотометрических и спектральных измерений.

В главе 1 описаны спектральные и фотометрические исследования рентгеновского транзиентного источника и B[e]-звезды CI Cam. В начале главы дается описание B[e]-феномена и краткое описание истории исследования звезды по литературным источникам. В пункте 1 описаны наблюдения CI Cam во вспышке 1998 года на БТА, полученные со спектрографом СП-124 в фокусе Нэсмита. Семилетний мониторинг в спокойном состоянии проводился в основном на 1-м телескопе Цейсса САО со спектрографом UAGS. Получены спектры среднего разрешения 4-10Å. Приводится таблица всех спектральных наблюдений CI Cam, включающая даты получения спектров, спектральный диапазон и спектральное разрешение.

В п. 1 и 2 исследованы поведение эмиссионных линий в спектре CI Cam и изменения их параметров во вспышке и в спокойном состоянии. Обнаружены свидетельства выброса вещества при вспышке со скоростью 1200 км/с.

В п.3 описана методика определения спектрального класса и класса светимости главного компонента CI Cam – B-звезды по ширине абсорбционных крыльев водородных линий. Хайнес и др. (2002) заметили абсорбционные крылья в линиях водорода H_δ и H_ϵ и предположили, что это фотосферные абсорбционные линии B-звезды. Ширина этих крыльев 25Å противоречит классификации звезды в упомянутой работе как сверхгиганта. Для проведения диагностики мы использовали спектры, полученные на БТА в синей области с высоким отношением сигнал/шум. Обнаружено, что вклад эмиссионных компонентов резко уменьшается с увеличением номера линии, так что возможна диагностика спектрального класса по полной ширине абсорбционного компонента FWZI. Для калибровки использовались две базы данных для нормальных звездных спектров, имеющиеся в Интернете. В результате получен спектральный класс CI Cam B4 III-V. Расстояние до звезды, определяемое по спектру, составляет 1.1–1.9 кпк.

В п.4 определены орбитальные элементы CI Cam по кривой лучевых скоростей слабой эмиссионной линии He II λ4686Å. Компактный компонент движется по эллиптической орбите с эксцентриситетом $e = 0.62 \pm 0.07$ с периодом 19.407 $\pm$0.020 дня. Этот период проявляется также в наших фотометрических наблюдениях как волна с амплитудой $0^m.032$ в полосе V. Функция масс компактного компонента 12 $M_\odot$ является нижним пределом массы B-звезды. При наклонении орбиты $i > 38^o$ компактный компонент является белым карликом, при меньшем наклонении он может быть и нейтронной звездой. Наши наблюдения свидетельствуют в пользу гипотезы, что причиной вспышки CI Cam 1998 г. является термоядерный взрыв на поверхности белого карлика (сценарий классических новых).

В главе 2 изложены результаты спектроскопического исследования V4641 Sgr в спокойном состоянии. Спектр звезды, полученный в 1996 г. на БТА, соответствует спектральному классу A0III. В спектре нет каких-либо эмиссионных деталей, которые бы свидетельствовали об аккреции в системе, о наличии звездного ветра с нормальной звезды, или существовании аккреционного диска.

Мы провели специальные наблюдения V4641 Sgr на БТА со спектрографом UAGS около фазы нижнего соединения черной дыры, чтобы рассмотреть ее окрестности на просвет на фоне звездного диска нормального компонента. В красном крыле абсорбционной линии H_α обнаружена депрессия с эквивалентной шириной EW = 0.5Å. Движение поглощающего свет газового потока направлено от наблюдателя. В то же время в голубом крыле линии не было никаких следов поглощения, которые можно ожидать в случае существования аккреционного потока через точку Лагранжа L_1 системы.

В п.2 в предположении, что разреженный газ находится на кеплеровской орбите вокруг черной дыры в плоскости орбиты, мы оцениваем массу черной дыры по максимальной скорости газового потока, которая составляет $7.1 \leq M_{BH} \leq 9.5 M_\odot$. Эта оценка подтверждает модель Ороса и др. (2001) системы V4641 Sgr.

В главе 3 изложены основные результаты нашего исследования пекулярной красной новой V838 Mon (N Mon 2002), показаны кривые блеска и спектры новой во вспышке и в спокойном состоянии. В преамбуле к главе дан краткий обзор мировых достижений и нашего вклада в исследования этой звезды.

В п.1 описаны спектроскопические наблюдения V838 Mon, которые получены в предмаксимальной стадии, около максимума блеска и на спаде вспышки. Спектроскопический материал получен на 1-м телескопе САО РАН со спектрографом UAGS. В предмаксимальной стадии наблюдался спектр сверхгиганта класса K с сильными абсорбционными линиями. Некоторые сильные линии имели профили типа P Cyg. Мы показали, что фотосферный спектр V838 Mon хорошо коррелирует со спектром нормальной звезды класса K0 HD 23524, в нем присутствуют те же детали и с теми же отношениями эквивалентных ширин. Сделан вывод, что V838 Mon имеет нормальное, близкое к солнечному содержание химических элементов, и потому не входит в группу новоподобных объектов в поздней стадии эволюции пост-AGB, представителями которой являются FG Sge и V4334 Sgr (объект Сакураи). Вывод о нормальном содержании химических элементов был позднее подтвержден количественным анализом в работе Киппера и др. (2004). Мы впервые описали сильную линию Li I λ 6707Å и отождествили еще одну линию λ 6103.6Å этого элемента. Присутствие лития в спектре звезды свидетельствует о том, что эта звезда молодая и находится на ранней стадии эволюции.

Описаны спектральные изменения, которые происходили в ходе вспышки. Скорость расширения оболочки достигла $-180 \div -200$ км/с. Эта скорость на порядок меньше, чем у средней классической новой. Отмечается, что звезда не прошла через небулярную стадию, которая обычно наблюдается у классических новых.

В п.2 описаны наши спектральные наблюдения V838 Mon после окончания вспышки в оптическом диапазоне спектра. Спектры с разрешением 2–5Å получены на БТА со спектрографами UAGS и SCORPIO. Звезда спектрально - двойная и состоит из компонента класса B3V (Мунари и др., 2002a) и экстремально холодного и единственного в своем роде "коричневого" L-сверхгиганта (Эванс и др., 2003). "Коричневый" сверхгигант является остатком новой и ярко светит в инфракрасном диапазоне. Фотометрия показала его повторное поярчание, максимальная амлитуда которого наблюдалась в ИК лучах. В наших спектрах мы отождествили полосы молекул TiO, VO, AlO, BaO, YO, ScO, ZrO, три первых молекулы были отождествлены в ИК лучах ранее другими исследователями. В кантах полос поглощения TiO видны яркие детали, похожие на эмиссионные линии. Это явление объясняется как эффект блокировки излучения молекулярными полосами (бланкетинг- эффект). Обнаружена спектральная переменность сверхгиганта за 10 месяцев 2004 г. По спектру L-сверхгигант относится к кислородной ветви холодных звезд.

В синей области спектра, где вклад холодного сверхгиганта очень мал, мы обнаружили полосу поглощения TiO (λ4421Å), которая перекрывает непрерывный спектр горячей звезды. Это доказывает, что компоненты составляют физическую пару. Мы отождествили интеркомбинационную эмиссию MgI $\lambda 4571$Å на нулевой скорости, которая свидетельствует о присутствии в системе или в ее окрестностях холодного разреженного газа. В конце 2005 г. мы обнаружили в синей области спектра запрещенные эмиссии [Fe II], интенсивность которых быстро увеличивается. Предполагается, что усиление спектра [Fe II] связано с тем, что газ, выброшенный во вспышке 2002 г., поступает в окрестности спутника - звезды класса B3V.

Пункт 3 посвящен анализу наших спектроскопических данных в совокупности с данными архивной и современной многоцветной фотометрии. Для того, чтобы понять причину вспышки, мы сравнили спектральные распределения энергии V838 Mon до и после вспышки. Чтобы разделить вклад горячего и холодного компонентов в фотометрических полосах, были использованы спектры, полученные на БТА. Уже в первых работах мы показали, что до вспышки на месте V838 Mon была видна голубая звезда, распределение энергии которой в широком диапазоне длин волн от полосы B до ИК полосы K соответствует спектру B3V. В распределении энергии после вспышки виден дефицит энергии голубой звезды. Яркость голубого компонента B3V стала на 1 звездную величину меньше суммарной яркости компонентов до вспышки. Из этого следует, что компонент, испытавший вспышку, до вспышки имел такое же спектральное распределение энергии, как и его спутник класса B3V, и был ярче, чем тот компонент B3V, который мы наблюдаем в настоящее время. По нашей оценке это была такая же B-звезда, которая была в 1.36 ± 0.03 раза ярче, чем ее компонент класса B3V.

В п.4 содержится анализ и оценка всех известных гипотез о причинах вспышек пекулярных красных новых звезд на основе полученных нами фактов.

В главе 4 приведены результаты спектрального исследования пекулярной красной новой звезды V4332 Sgr (N Sgr 1994 No.1) в 2005 г., через 11 лет после вспышки. В преамбуле к главе дан краткий обзор предыдущих исследований. В п.1 описаны спектроскопические наблюдения V4332 Sgr в синем диапазоне спектра $\lambda 3880$–5600Å на БТА со спектрографом SCORPIO. Объект очень слаб, в полосе B его блеск равен $19^m.5$. Поэтому он не был еще исследован в синем диапазоне.

Спектр V4332 Sgr уникален. Мы смогли интерпретировать его по описаниям спектров холодных звезд Меррила (1959), и наши отождествления основных деталей подтверждены в новой работе Кимсвенджера (2006). В синей части спектра видны резонансные эмиссии Al I, Ca I, Mn I, Cr I, Sr I и одновременно узкие молекулярные эмиссии AlO, TiO, и VO. Излучение молекул сосредоточено в кантах молекулярных полос. Многочисленные эмиссии Cr I видны на лучевой скорости объекта –70 км/с. В то же время в спектре не найдено типичных линий нейтрального железа Fe I, хотя некоторые слабые линии этого элемента многократно усилены. Эмиссии Fe I и Fe II наблюдались сразу после вспышки в работе Мартини и др. (1999). В нашем диапазоне есть эмиссии Rb I и интеркомбинационная линия Mg I λ4571Å. Эмиссия Mg I наблюдается только при наличии большого объема разреженного газа (Меррил, 1959). В спектре кроме линий разреженного газа виден континуум звезды класса M7 с молекулярными полосами поглощения TiO.

В п.2 приводятся результаты анализа нашей спектроскопии V4332 Sgr в совокупности с архивной и современной фотометрией. Кроме данных цифровых обзоров неба, мы использовали глубокие снимки этой области неба, полученные в ГАИШ МГУ в 1980–1986 годах в фильтрах BV. Мы доказали, что в то время спектр V4332 Sgr содержал два компонента, голубой и красный. Спектроскопия БТА и многоцветная фотометрия, выполненная в САО РАН, показывают, что красный компонент класса M7 еще виден, а голубой компонент исчез из спектрального распределения энергии. Так что и в случае V4332 Sgr произошел взрыв голубой звезды в двойной системе.

В заключении диссертации рассматриваются перспективы исследований по нашей тематике. Здесь же мы благодарим исследователей и специалистов, а также научные организации, которые внесли ценный вклад в настоящую работу.

Публикации по теме диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 18 работах общим объемом 109 страниц, все работы написаны совместно с другими авторами.

1. Barsukova E.A., Fabrika S.N., Pustilnik S.A., Ugryumov A.V. Optical monitoring of CI Cam after the X-ray burst on April 1, 1998.

SAO Bull. V.45, p.145–151, 1998.

2. Barsukova E., Fabrika S.. Spectral monitoring of the rapid X-ray transient CI Cam. "Переменные звезды – ключ к пониманию строения и эволюции Галактики". Сборник трудов. Ред. Н.Н.Самусь, А.В.Миронов. Нижний Архыз. с.154–158. 2000.

3. Hynes R.I., Clark J.S., Barsukova E.A., Callanan P.J., Charles P.A., Collier Cameron A., Fabrika S.N., Garcia M.R., Haswell C.A., Horne K., Miroshnichenko A., Negueruela I., Reig P., Welch W.F., Witherick D.K. Spectroscopic observations of the candidate sgB[e]/X-ray binary CI Camelopardalis. Astron. and Astrophys. V.392, No.3, p.991–1013, 2002.

4. Barsukova E.A., Borisov N.V., Fabrika S.N., Goranskij V.P., Metlova N.V. Spectral and photometric evolution of the B[e]/X-ray transient CI Camelopardalis after its outburst in 1998. ASP Conf. Series V.261, p.463–464, 2002.

5. Барсукова Е.А., Борисов Н.В., Горанский В.П., Лютый В.М., Метлова Н.В. Фотометрическое и спектральное исследование B[e]-звезды и рентгеновского транзиентного источника CI Жирафа. Астрон. журнал, т.79, No.4, с.309–327, 2002.

6. Barsukova E.A., Borisov N.V., Goranskii V.P., Kusakin A.V., Metlova N.V., Shugarov S.Yu. Nova Monocerotis 2002 (V838 Mon) in the early stages of its outburst. AIP Conf. Proc. V.637, p.303–307, 2002.

7. Горанский В.П., Кусакин А.В., Метлова Н.В., Шугаров С.Ю., Барсукова Е.А., Борисов Н.В. Новая Единорога 2002 г. (V838 Mon) на ранних стадиях вспышки. Письма в Астрон. журнал т. 28, No. 10, с.764–774, 2002.

8. Goranskij V.P., Barsukova E.A., Burenkov A.N., Monin D.N. Rarefied gaseous disk around black hole in the system of V 4641 Sgr. "New Views on Microquasars". Ed-s P.Durouchox, V.Fuchs, J.Rodriguez. Center of Space Physics. Kolkata, India. p.382–384. 2003.

9. Горанский В.П., Барсукова Е.А., Буренков А.Н. Фотометрия и спектроскопия системы V4641 Стрельца в спокойном состоянии. Астрон. журнал, т.80, No.9, с.805–815, 2003.

10. Goranskij V.P., Shugarov S.Yu., Barsukova E.A., Kroll P. V838 Mon before and after its outburst. Inform. Bull. Var. Stars No.5511, p.1–4, 2004.

11. Горанский В.П., Барсукова Е.А., Борисов Н.В., Метлова Н.В., Шугаров С.Ю. Пекулярные новые звезды с красными спектрами K–M во вспышках. ВАК–2004. Тезисы докладов. Труды ГАИШ т.75, с.138–139, 2004 (http://jet.sao.ru/ ~bars/rednovae.htm).

12. Барсукова Е.А., Борисов Н.В., Буренков А.Н., Горанский В.П.,

Метлова Н.В. Спектральные и фотометрические наблюдения рентгеновского транзиента и B[e]-звезды CI Жирафа в 1998–2004 г. ВАК-2004. Труды ГАИШ т.75, с.147, 2004.
(http://jet.sao.ru/∼bars/vac2004r.htm).

13. Barsukova E.A., Borisov N.V., Burenkov A.N., Klochkova V.G., Goranskij, V.P., Metlova N.V. The orbital period of CI Cam (XTE J0421+560). Astronomer's Tel. No.416, 2005.
(http://jet.sao.ru/∼bars/orbit-ce.htm).

14. Barsukova E.A., Borisov N.V., Burenkov A.N., Goranskij V.P., Klochkova V.G., Metlova N.V. The orbital period of the B[e]/ X-ray binary CI Cam. Workshop on Stars with the B[e] phenomenon, 10-16 July, 2005. Island of Vlieland, The Netherlands. Abstracts-Posters, p. 42, 2005.

15. Барсукова Е.А., Борисов Н.В., Буренков А.Н., Горанский В.П., Клочкова В.Г., Метлова Н.В. Результаты фотометрических и спектральных наблюдений CI Жирафа в 1998–2005 гг. Астрон. журнал, т.83, No.8, с.745–760, 2006.

16. Barsukova E., Goranskij V., Abolmasov P. and Fabrika S. Rapid strengthening of iron forbidden lines in the spectrum of V838 Mon. Astronomer's Tel. No.803, 2006.

17. Goranskij V., Barsukova E.A. Historical light curves of peculiar novae V838 Mon and V4332 Sgr. Conference on "The nature of V838 Mon and its light echo". Programme, abstracts, and list of participants. 16–19 May 2006, La Palma, Canary Islands, Spain. P.23. 2006.

18. Barsukova E., Goranskij V. Comparative analysis of blue spectra of the peculiar novae V838 Mon and V4332 Sgr in the quiet state after their outbursts. Conference on "The nature of V838 Mon and its light echo". Programme, abstracts, and list of participants. 16–19 May 2006, La Palma, Canary Islands, Spain. P.26. 2006.

Личный вклад автора. Автору принадлежит постановка задач, обоснование программ спектральных наблюдений на БТА и на 1-м телескопе САО, участие в наблюдениях на БТА, вся обработка и первичный анализ спектров средней дисперсии, полученных в САО. ПЗС UBVRI-фотометрия выполнена в САО РАН и на Крымской станции ГАИШ МГУ совместно с В.П. Горанским. Наблюдения интерпретировались совместно с С.Н. Фабрикой или В.П. Горанским.

Цитируемая литература

1. Горанский и Барсукова, 2004 – V.P. Goranskij, E.A. Barsukova,

Astronomer's Tel. No. 245.

2. Ибен и Тутуков, 1992 – I. Iben, Jr., A.V. Tutukov, Astrophys. J. **389**, 369.

3. Кимсвенджер, 2006 – S. Kimeswenger, Astron. Nachr. **327**, 44.

4. Киппер и др., 2004 – T. Kipper, V.G. Klochkova, K. Annuk, A. Hirv, I. Kolka, L. Leedjarv, A. Puss, P. Skoda, M. Slechta, Astron. Astrophys. **416**, 1107.

5. Меррил, 1959 – П. Меррил. *Линии химических элементов в астрономических спектрах.* ИЛ. М.

6. Мунари и др., 2002а – U. Munari, S. Desidera, A. Henden, IAU Circ. No. 8005.

7. Мунари и др., 2002б – U. Munari, A. Henden, S. Kiyota, D. Laney, F. Marang, T. Zwitter, R.L.M. Corradi, S. Desidera, P.M. Marrese, E. Giro, F. Boshi, M.B. Schwartz, Astron. Astrophys. **389**, L51.

8. Орос и др., 2001 – J. Orosz, E. Kuulkers, M. van der Klis, J.E. McClintock, M.R. Garcia, P.J. Callanan, C.D. Bailyn, R.K. Jain, R.A. Remillard, Astrophys.J. **555**, 489.

9. Ревнивцев и др., 2002 – M. Revnivtsev, R. Sunyaev, M. Gilfanov and E. Churazov, Astron. Astrophys. **385**, 904.

10. Горанский и др., 2002 – V.P. Goranskii, A.V. Kusakin, N.V. Metlova, S.Yu. Shugarov, E.A. Barsukova, N.V. Borisov, Astronomy Letters, **28**, 691.

11. Тримбл и Ашванден, 2004 – V. Trimble and M.J. Aschwanden, Publ. Astron. Soc. Pacific **116**, 218.

12. Тыленда и др., 2005 – R. Tylenda, L.A. Crause, S.K. Gorny, M.R. Schmidt, Astron. Astrophys. **439**, 651.

13. Хайнес и др., 2002 – R.I. Hynes, J.S. Clark, E.A. Barsukova, P.J. Callanan, P.A. Charles, A. Collier Cameron, S.N. Fabrika, M.R. Garcia, C.A. Haswell, K. Horne, A. Miroshnichenko, I. Negueruela, P. Reig, W.F. Welch, D.K. Witherick, Astron. Astrophys. **392**, 991.

14. Хьелминг и др., 2000 – R.M. Hjellming, M.P. Rupen, R.W. Hunstead, D. Campbell-Wilson, A.J. Mjoduszewski, B.M. Gaensler, D.A. Smith, R.J. Sault, R.P. Fender, R.E. Spencer, C.J. de la Force, A.M.S. Richards, S.T. Garrington, S.A. Trushkin, F.D. Ghigo, E.B. Waltman, M. McCollough, Astrophys. J. **544**, 977.

15. Эванс и др., 2003 – A. Evans, T.R. Geballe, M.T. Rushton, B. Smalley, J.Th. van Loon, S.P.S. Eyres, V.H. Tyne, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **343**, 1054.

Барсукова Е.А.

Бесплатно

Е.А. Барсукова

Исследование рентгеновских транзиентных источников
и пекулярных новых звезд

Зак. N173c Уч. изд. л. – 1.0 Тираж 100

Специальная астрофизическая обсерватория РАН