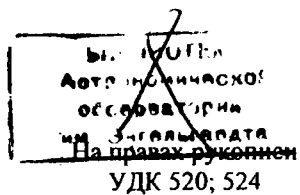


0-814031



Таранова Ольга Георгиевна

**ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕВЫХ ОБОЛОЧЕК В
ГАЛАКТИЧЕСКИХ И ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

Специальность 01.03.02 - астрофизика и радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Москва - 2001

Работа выполнена в отделе радиоастрономии Государственного
Астрономического Института им. П.К. Штернберга

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Самусь Николай Николаевич

доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН Слыш Вячеслав Иванович

доктор физико-математических наук,
профессор Чаругин Виктор Максимович

Ведущая организация:

Институт космических исследований РАН

Защита диссертации состоится 14 июля 2001 г. в 14 часов на
заседании диссертационного совета Д 053.05.51 Московского
государственного университета им. М.В. Ломоносова по адресу:
119899, Москва, Университетский просп. 13).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного
Астрономического Института им. П.К. Штернберга МГУ (119899, Москва,
Университетский просп. 13).

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ

Автореферат разослан 14 июля 2001 г.



Ученый секретарь
Диссертационного совета
кандидат физико-математических наук

Алексеев С. О.

Общая характеристика диссертации

Актуальность работы.

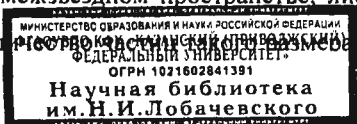
Исследование относительно горячих пылевых оболочек, связанных с астрофизическими объектами разных типов (таких как одиночные пекулярные звезды, ТДС разных типов, ядра сейфертовских галактик и т.д.) является актуальной задачей астрофизики.

Излучение пылевой оболочки - есть результат взаимодействия газопылевого окружения и центрального нагревающего источника, наблюдаемые фотометрические проявления которого, в свою очередь, зависят от состояния газопылевого окружения. Как правило, центральный источник и пылевые частицы имеют существенно разную температуру и, следовательно, их излучение проявляется в разных спектральных диапазонах. Например, спектральный диапазон, в котором проводятся основные наблюдения по теме, перекрывает область 1.25-5 мкм и, следовательно, на коротковолновый конец диапазона попадают источники с цветовой температурой ~ 3000 К, на длинноволновый - ~ 600 К.

Пылевые околозвездные оболочки привлекли к себе внимание астрономов в начале века вместе с осознанием факта, что между звездами в виде газовых и пылевых частиц присутствует значительное количество вещества. Трюмплер (1930) первый связал наблюдаемые избытки цвета звезд с межзвездным поглощением света. Основным резервуаром, из которого черпается межзвездное вещество, является газопылевая составляющая галактических и внегалактических объектов и, в частности, пылевые околозвездные оболочки, которые являются существенными компонентами межзвездной среды. Пыль - наиболее вероятный компонент планетного и органического материала. Эти частицы - звездное вещество, из которого мы и наша планета были сформированы. Молодые звездные объекты формируются в плотных пылевых

облаках. Относительно недавно были обнаружены диски вокруг новых звезд - возможно родоначальники планет, а также других систем типа солнечной.

В 60-е годы в теоретических и экспериментальных работах, связанных с вопросом о возникновении ядер конденсации пылевых межзвездных частиц, разрабатывались модели, которые предполагали образование ядер конденсации и самих пылевых частиц в атмосферах холодных звезд, с последующим выбросом их в пространство под действием светового давления. Начало основным работам в этом направлении было положено Хойлом и Викрамасингом (1962), которые рассмотрели вопрос об образовании графитовых частиц достаточно большого размера ($\sim 10^5$ см) и в достаточном количестве, чтобы можно было объяснить все межзвездное поглощение. Камийо (1963) показал теоретическую возможность образования жидких (или твердых) SiO_2 - частиц ($\sim 10^7$ см) в оболочках, окружающих долгопериодические переменные класса М. Процессы первичной конденсации вокруг М-звезд были рассмотрены также в работе Гайла и Сендмайера (1986), в которой авторы детализировали проблему и показали, что первичная конденсация для поздних М-звезд происходит при температуре газа ~ 800 К и ~ 600 К для ранних М-звезд с хромосферой. Начальным конденсатом в этих звездах является SiO_2 . Основными физическими процессами, приводящими к формированию частиц в звездных атмосферах и околозвездных газовых оболочках, являются: образование ядер частиц либо непосредственно при образовании молекул, либо путем конденсации на уже имеющихся ионах или молекулах; последующая конденсация на этих ядрах вследствие высокого парциального давления, превышающего давление насыщенного пара; выталкивание образовавшихся частиц световым давлением в межзвездное пространство. Эти условия выполняются в N и M-гигантах. Отмеченные процессы либо ведут к образованию малых частиц, служащих потом ядрами конденсации в межзвездном пространстве, либо непосредственно производят достаточное количество конденсационных ядер, так что они сами по себе способны



играть существенную роль в оптике межзвездного пространства. Вероятность того, что межзвездные частицы являются частицами, образованными в атмосферах звезд, имеет важное космогоническое значение, так как из этого следует, например, что частицы могут образовываться в галактиках, в которых мало (или вовсе нет) газа (Гринберг, 1970). В пользу гипотезы образования частиц в атмосферах звезд косвенно свидетельствуют и проведенные за последние десятилетия наблюдения звезд в ИК-диапазоне, на основе которых обнаружены пылевые оболочки вокруг звезд разных спектральных классов. На непосредственную связь параметров пылевых околозвездных оболочек с центральным источником (звездой) указывают ИК наблюдения послевспышечного излучения новых, нестационарных явлений в тесных двойных системах, связанных с выбросом вещества из звездных атмосфер, что в свою очередь приводит к наблюдаемым изменениям параметров околозвездных оболочек (Phillips et al., 1980).

В работе Ivezić и Elitzur (1997) подробно рассмотрено состояние вопроса исследования пылевых оболочек к середине 90-х годов и приводится обширная библиография. В этой работе, в частности, отмечается, что проблема переноса излучения пылью на разных длинах волн может быть решена лишь численными методами и попытки получить аналитическое приближение к полуаналитическому решению всегда предполагают серый случай и основываются на эддингтоновском приближении, при котором поле излучения изотропно. Впервые полное аппроксимационное решение было получено Рован-Робинсоном (1980) и основано на прямых итерациях уравнения переноса излучения. Модификации этого метода применялись до начала 90-х годов, в том числе и в данной работе. Дальнейший прогресс связан с именами Эгана и др. (1988), которые на основании описания алгоритма уравнения переноса излучения из работы Леунга (1976), создали программу CSDUST3 для численного решения этого уравнения, эта программа использовалась нами для расчета модели пылевой оболочки углеродной звезды RW LMi. С конца 90-х

годов решение задачи переноса излучения в пылевой оболочке проводится с использованием программы DUSTY (версия 2.0). Описание алгоритма, положенного в основу этой программы, приведено в работах (Mathis et al., 1977; Ivezić, Elitzur, 1997). Очевидно, что основой и предпосылкой развития вычислительных методов и теоретических исследований пылевого компонента в галактических и внегалактических объектах являются наблюдения.

Цель работы.

Основная цель работы состояла во всестороннем исследовании пылевых оболочек, связанных с галактическими и внегалактическими объектами, на основе многолетних и многоцветных наблюдений.

Направление и методы исследований.

Глубина и эффективность фундаментальных исследований в астрофизике во многом определяется состоянием наблюдательной базы, главным образом чувствительностью, в том числе, и в ближнем инфракрасном диапазоне 1-5 мкм. До середины 50-х годов исследование околозвездного окружения проводилось на основе наземных наблюдений в оптическом диапазоне, что позволяло исследовать, в лучшем случае, поглощение в околозвездных пылевых оболочках. Наличие плотной околозвездной оболочки зачастую делало вообще невозможным исследование звезды. Увидеть излучение самих пылевых околозвездных оболочек, максимум излучения которых приходится на инфракрасный диапазон ($\lambda > 1$ мкм), стало возможным лишь с середины 50-х годов, когда в астрономии стали применяться фотоприемники на базе PbS-фотосопротивления. С этого времени начинается бурное развитие наземной ИК-астрономии. С конца 60-х годов, с началом применения InSb фотоприемника для диапазона 1-5 мкм и GeGa болометра в диапазоне $\lambda > 5$ мкм, произошел революционный прорыв по чувствительности в ИК-астрономии. Наземные наблюдения в ИК-диапазоне (1-5 мкм) в последние годы активно

проводятся на многих обсерваториях, зачастую на специальных ИК-телескопах, однако длительные (несколько десятков лет) систематические ряды наблюдений астрофизических объектов все еще являются уникальными из-за технических трудностей, сопутствующих ИК-наблюдениям.

Создание и развитие отечественной ИК-астрономии начались в ГАИШ в 60 - 70-е годы и, в первую очередь, связаны с именем Мороза В.И. (см., например, 1970), чьи работы по исследованию атмосфер планет на базе их спектрофотометрических наблюдений в ИК-диапазоне, общепризнаны. Однако, после запуска КА "Марсов", "Венер" и т.д., интерес к наземной планетной астрономии упал и внимание сотрудников группы ИК-астрономии ГАИШ, в том числе и соискателя, было переключено на звездную астрономию. С этого времени нами начались разработки и изготовление новой аппаратуры для наземной звездной ИК-астрономии. Первая группа объектов, на которую было обращено наше внимание, естественно, были красные звезды - мириды и полуправильные переменные. В 1975 г. для восьми звезд данных типов нами были проведены спектральные наблюдения в диапазоне 0.6-2.5 мкм и фотометрические до 10 мкм. Оказалось, что у этих звезд пылевые оболочки, как правило, холодные (температура пылинок не более 300 К) и для их исследований необходимы систематические наблюдения с болометром, охлаждаемым гелием. Последнее обстоятельство и, связанные с ним технические и финансовые трудности использования и приобретения гелия, значительно ограничивали наши исследования.

До середины 80-х годов наиболее информативным и оперативным прибором для нас оказался, разработанный и изготовленный в ГАИШ, "двухканальный" фотометр с двумя фотоприемниками: PbS-фотосопротивлением, охлаждаемым твердой углекислотой (ЖНК-фотометрия) и фотоумножителем (UBVR-фотометрия). Эпизодически нами проводились наблюдения с PbS-фотосопротивлением, охлажденным жидким азотом (L-

фотометрия) и устанавливаемым на тот же "двухканальный" фотометр, а также с GeGa-боллометром, охлаждаемым жидким гелием (MNQ-фотометрия).

С весны 1984 г. в ГАИШ (при участии соискателя на разных этапах работы) разработан и изготовлен ИК-фотометр с InSb-фотоприемником излучения. Фотометр работает в JHKLM-системе, близкой к стандартной джонсоновской системе. Фотометрическая чувствительность данного фотометра, при наблюдениях на том же телескопе (Крым, 125 см рефлектор), оказалась на несколько порядков выше, чем у предыдущего с PbS-фотоспротивлением и, поэтому список исследуемых объектов был существенно расширен.

К наиболее перспективным для ИК-наблюдений нами были отнесены, кроме одиночных пекулярных звезд, тесные (взаимодействующие) двойные системы - ТДС, исследования которых в ИК-диапазоне, если и проводились к началу наших наблюдений, то эпизодически. Инфракрасные исследования ТДС могут дать надежную информацию, не только об их звездных компонентах, но и о положении, размере, плотности и температуре пылевого и газового компонентов. Перенос массы – важная детерминанта эволюции ТДС. На ее наличие в этих системах указывают эмиссионные линии; искажения кривой блеска, вызванные поглощением и рассеянием в газовых потоках; поляризация; изменения в орбитальном периоде. Наблюдения в ИК-диапазоне также обнаруживают искажения континуума из-за излучения газопылевых компонентов. Для звезд с высокими собственными скоростями потери массы, тесные компоненты могут изменить скорость потери массы (СПМ), скорость истечения или образования частиц, которые могут снова изменить характеристики инфракрасного излучения и привести к пониманию основных механизмов самих процессов потери массы для звезд с высокими скоростями потери массы.

К концу 70-х годов наш основной список включал следующие типы астрофизических объектов:

I. Тесные двойные системы (под термином ТДС подразумеваются двойные системы, которые находятся на стадии эволюции, при которой происходит обмен веществом между компонентами системы и, следовательно, в системе и вокруг нее существует околозвездное вещество в том числе и в виде пылевых оболочек/облаков). В том числе:

а) Звезды типа W Ser (серпентиды) и алголи. Серпентиды – ТДС, которые находятся в быстрой фазе переноса масс и кажутся естественным продолжением алголей, но с более длинными орбитальными периодами. Алголи – ТДС (полуконтактные) в 1-ой фазе переноса масс, менее массивный компонент – звезда более позднего спектрального класса. До наших наблюдений в ИК-диапазоне совершенно не исследованные.

б) Звезды типа Z And (разнородная группа ТДС, состоящая из горячей звезды и звезды позднего спектрального класса, суммарный блеск которых испытывает неправильные изменения с амплитудой до 4^m):

- без пылевых оболочек или с холодными пылевыми оболочками (S - тип);
- с горячими пылевыми оболочками (D - тип);

Эти ТДС до 1978 г. (начало наших исследований) эпизодически наблюдались в ИК-диапазоне (см., например: Swings, 1970; Gillet et al, 1971; Swings, Allen, 1972; Allen, 1973; Woolf, 1973; Szcody, 1977). В работе Свингса и Аллена (1972) все известные к тому времени симбиотические системы, по распределению энергии в ИК-диапазоне, были разделены на две группы: симбиотические системы S-типа (без пылевых оболочек) и D-типа (с пылевыми оболочками).

II. Долгопериодические двойные с компонентами поздних спектральных классов, у которых можно ожидать потерю массы даже в отсутствии близкого компонента. Эти системы также практически не наблюдались в ИК-диапазоне.

III. Одиночные звезды (уникальный объект FG Sge - ядро планетарной туманности, в то время еще не испытывавший катастрофических изменений 1992 г.; полуправильные переменные, мириды и т.д.). ИК-наблюдения FG Sge до начала наших наблюдений (1985 г)- проводились трижды: в 1970 г. Жиллеттом и др. в фильтрах L и N (1971), Свингсом и Алленом в 1971 г. (1972) в фильтрах H, K и L и в тех же фильтрах Алленом в 1972 г. (1973).

IV. Рентгеновская новая (двойная) XTE J1118+480, открытая в марте 2000 г. Ремиллардом и др. (2000) в процессе эксперимента RXTE All-Sky Monitor.

V. Внегалактические объекты: сейфертовские галактики (NGC 4151 и NGC 1068) с целью изучения динамики и структуры межзвездного вещества в них. Первые ИК наблюдения галактики, на основании которых был сделан вывод о ее ИК-переменности были проведены Фитчем и др. (1967), Пенстон и др. (1974) наблюдали галактику в фильтрах H, K и L и подтвердили ее ИК переменность. До 1985 г. ИК-наблюдения галактики носили эпизодический характер.

Обоснованность научных положений и **достоверность** проведенных исследований обусловлена современными аппаратурой, методиками обработки данных наблюдений, методами расчета моделей пылевых оболочек. Оценки параметров звезд разных типов переменности (в том числе и ТДС), активных ядер галактик и т.д., погруженных в структурированные пылевые оболочки разной оптической толщины, позволили получить научные результаты на мировом уровне. Это подтверждается публикацией результатов исследований в ведущих отечественных и зарубежных журналах и их высокой цитируемостью.

На защиту выносятся.

1. Законченный цикл работ по поиску и исследованиям пылевых оболочек в галактических и внегалактических объектах, включающих звезды разных типов переменности, в том числе, двойные системы [ТДС типа W Ser

(серпентиды), типа Z And (классические и новые симбиотические системы), долгопериодические системы и сейфертовские галактики.

2. Результаты многолетних (около 25 лет) фотометрических, в инфракрасном (частично и в оптическом) диапазоне, наблюдений около пятидесяти астрофизических объектов. Полученная база данных наблюдений является основной и неотъемлемой частью работы. Для всех объектов длительные ряды ИК-наблюдений получены впервые.
3. Результаты оценок параметров пылевых оболочек на основе наблюдений и моделирования оптических, физических и динамических параметров пылевых околозвездных оболочек/облаков, с использованием полученной информации о распределениях энергии в их спектрах и современных данных об оптических характеристиках околозвездных пылинок. Для части объектов пылевые оболочки/облака обнаружены впервые.
4. Определены параметры звездного ветра и оценена скорость потери массы у звезд, находящихся на разных стадиях эволюционного развития, что имеет фундаментальное значение для понимания их эволюции, механизмов сброса оболочки и формирования межзвездной среды. Разработаны вычислительные методы моделирования излучения звезд окруженных пылевыми оболочками.
5. Результаты оценок параметров звезд разных типов переменности и звездных компонент двойных систем избранных типов на основе наблюдений и моделирования физических и оптических параметров самих переменных звезд, определение эволюционного статуса звезд с пылевыми оболочками, проведение сравнительного анализа. Определены и уточнены параметры кривых изменения блеска и цвета звезд разных типов переменности в разных спектральных диапазонах и периоды переменных источников.
6. Результаты оценок параметров рентгеновской новой (двойной) XTE J1118+480, открытой в марте 2000 г. Ремиллардом и др. (2000) в процессе

эксперимента RXTE All-Sky Monitor, на основе данных JNKL – фотометрии, полученных в апреле-июле 2000 г.

7. Результаты оценок параметров центральных областей сейфертовской галактики NGC 4151 на разных фазах активности ее ядра на основе моделирования наблюдаемых динамических и структурных особенностей галактики, проявляющихся в излучении в широком спектральном диапазоне 0.36-3.5 мкм.
8. Разработанные при участии автора методики ИК-наблюдений, учета ИК-прозрачности, стандартизации фотометрической системы и т.д. Результаты исследований ИК-прозрачности в Крыму на протяжении ~ 25 лет.

Научная новизна работы.

Содержание настоящего исследования представляет собой законченный этап работ по поиску и исследованию относительно горячих пылевых оболочек, выполненный на основе ~ 25 летних оригинальных наблюдений около пятидесяти галактических и внегалактических источников, проведенных соискателем в широком спектральном диапазоне (0.36-5 мкм). Впервые исследованы физические, динамические и структурные параметры таких разных по своей природе объектов, как тесные двойные системы с орбитальными периодами от нескольких до тысяч дней, пекулярные звезды, внегалактические объекты и т. д. Выявлено, что примерно половина исследуемых объектов погружена в пылевые оболочки разной оптической толщины, как правило нестационарные и структурированные.

- Получены уникальные многолетние ряды инфракрасных и оптических фотометрических наблюдений почти для полусотни астрофизических объектов, в частности, для всех типов объектов, доступных для наблюдений в ИК-диапазоне с 125 см телескопом в Крыму, таких как ТДС типа W Ser (серпентиды), типа Z And (классические и новоподобные симбиотические

системы), долгопериодических алголей, сейфертовских галактик и т.д.; проведен их анализ и интерпретация.

- Впервые на основе многолетних наблюдений проведены поиск и исследование пылевых оболочек в двойных системах. У целого ряда объектов впервые были обнаружены относительно горячие пылевые оболочки (например, у серпентиды RX Cas, у нескольких классических симбиотически звезд, у уникального объекта FG Sge до ИК-вспышки осенью 1992 г. и т.д.).
- Для симбиотических систем (CN Cyg, V1016 Cyg, HM Sge и т.д.) были прослежены несколько эпизодов конденсации пылинок в их оболочках и оценена роль горячего компонента в формировании пылевых оболочек. Для некоторых объектов получены данные о возможном сорте пылинок в оболочках.
- На основе наблюдений детально исследована природа переменности целого ряда объектов, в том числе звездных компонентов ТДС, нескольких десятков полуправильных переменных. В частности, по изменениям ИК-блеска установлено, что холодным компонентом в симбиотических новых V1016 Cyg и HM Sge и, возможно, CN Cyg являются мириды. Определенно установлена эллипсоидальность компонентов в системе RX Cas (прототип звезд типа W Ser) и эллипсоидальность холодного компонента в симбиотической системе CI Cyg.
- На основе модельных расчетов излучения пылевых оболочек нами выяснено, каким образом меняются основные характеристики пылевых оболочек исследуемых объектов (оптическая толщина, размеры, светимость, полное число пылинок в оболочке и их полная масса, скорость потери массы).
- В окружении ретгеновской новой (двойной) ХТЕ J1118+4800 обнаружена пылевая оболочка, оценены ее параметры и расстояние до двойной.

- Впервые получен и проанализирован почти 15 – ти летний цикл ИК-наблюдений ядра сейфертовской галактики NGC 4151 и двухлетний - NGC 1068. Координированные оптические и ИК-наблюдения NGC 4151 позволили впервые исследовать динамические и структурные особенности центральных областей галактики.

Практическая значимость и реализация результатов.

Полученные соискателем многолетние ряды оптических и инфракрасных фотометрических наблюдений содержат уникальные данные почти для полусотни астрофизических объектов и используются при анализе спектрального распределения в излучении объектов на разных фазах их эволюции; при оценках динамических и структурных параметров тесных двойных систем без пылевых оболочек и окруженных газопылевыми оболочками; при комплексном анализе излучения сейфертовских галактик на разных фазах активности их ядер. Статистический анализ многолетних наблюдений звезд разных типов переменности может быть в дальнейшем использован для сравнительного анализа с другими типами астрофизических объектов. Полученные в диссертации выводы, наряду с разработанными методиками фотометрических ИК-наблюдений и их интерпретации, могут быть использованы в астрономии и других областях науки, например, при исследованиях верхней атмосферы Земли, Солнца, в планетной астрономии, при исследованиях искусственных спутников Земли и т.д. Несомненная ценность работы состоит в создании и пополнении базы данных ИК-наблюдений астрофизических объектов. Разработанные методики и найденные технические решения могут быть внедрены при создании ИК-фотометров на других обсерваториях. В 1996-98 гг. работа по исследованию пылевых околозвездных оболочек была поддержана грантом РФФИ N 96-02-16353. С 1996 г. работа поддерживается грантом "Пыль в околозвездной среде" по

проекту ГНТП России «Фундаментальные космические исследования (раздел "Астрономия")» и с 2000 г. частично грантом РФФИ N 00-02-16272.

В 80-х годах на основе методов ИК-астрономии совместно со «Всесоюзным научно-исследовательским институтом ядерной геофизики и геохимии (ВНИИЯГГ)» проводились работы по обнаружению месторождений радона и метана.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации докладывались на семинарах ГАИШ МГУ, ИКИ РАН, ИНАСАН, КраО АН СССР, ГАО РАН, С. Петербургского университета, на всесоюзных конференциях: «Переменные звезды» (Одесса, май 1980 и апрель 1987; Москва, 1999); на Ломоносовских чтениях (ГАИШ, 1980, 1987 и 1999); на всесоюзных конференциях «Инфракрасная и субмиллиметровая астрономия» (Тарту, февраль 1985) и «Стандартные звезды» (Бюракань, 1987); на совещании «Неустойчивые стадии звездной эволюции» (Варшава 1986); на совещании рабочей группы «Межзвездная среда» (Астросовет 1987); на коллоквиуме МАС N103 «Симбиотические явления» (Польша, Торунь 1987); на конференции Астрономического Общества (Москва, 1996); на международной конференции «Астрофизика на рубеже веков» (Пушино, 1997); на совместном европейском и национальном астрономическом совещании (JENAM99) (Тулуза, Франция, 1999); на международной конференции памяти Б.В.Кукаркина «Переменные звезды - ключ к пониманию строения и эволюции Галактики» (Москва, 1999).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано семьдесят пять работ в ведущих отечественных и иностранных астрономических журналах, сделано более десяти научных докладов на международных конференциях.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка статей соискателя по теме диссертации, включающего 75 наименований, списка литературы, включающего 227 наименований и приложения, содержащего в табличной форме данные инфракрасной и оптической фотометрии исследуемых соискателем астрофизических объектов. Содержание диссертации изложено на 356 страницах, включая 25 страниц приложения, содержит 55 таблиц, иллюстрирована 79 рисунками.

Краткое содержание диссертации

Во **введении** кратко определен объект исследований, сформулирована актуальность темы; ее состояние в настоящее время; существующие трудности в разрешении проблемы; изложена суть поставленной научной задачи; цель исследования, его новизна; изложены основные положения, которые соискатель выносит на защиту.

В **первой** главе приводится краткое описание ИК-комплекса ГАИШ, используемого автором при наблюдениях. Отмечается, что комплекс соответствует мировому уровню и по своим пороговым параметрам является единственным в России и в странах СНГ. Описывается методика ИК-наблюдений и учета ИК-прозрачности. Проведена оценка ИК-прозрачности в Крыму и ее изменений за 25 лет. Проведена привязка используемой JNKLM-системы к стандартной джонсоновской фотометрической системе. Приведен список исследуемых объектов и их стандартов. Даются общие представления о проблеме исследований.

Во **второй** главе приводятся данные статистического анализа всего массива наблюдений по каждому объекту, который позволил исследовать средние фотометрические особенности 43 звезд разных типов переменности;

оценить физические параметры звездных источников и по их излучению в диапазоне 2.2 - 5 мкм разделить на несколько групп:

- Группа звезд, которые окружены оптически толстыми пылевыми оболочками с температурами 350 К и выше. Всего около семи объектов, в том числе, углеродная звезда RW LMi симбиотические новые HM Sge и V1016 Cyg и т.д.
- Звезды, у которых существуют пылевые оболочки с температурой 300 К и выше, но их оптические толщины на $\lambda = 1.25$ мкм не превышают 0.5. В эту группу попадают такие разные по своей природе переменности объекты, как симбиотические звезды TX CVn, CN Cyg и UV Aur, уникальный объект V407 Cyg, несколько мирид и полуправильных переменных.
- Звезды, у которых не обнаружено признаков излучения пылевых оболочек с температурой выше 250 К. Сюда относятся, в частности, все исследуемые классические симбиотические звезды, серпентиды, звезды ϵ и ζ Aur и т.д.

Проведены оценки средних параметров звезд и их околос звездных пылевых оболочек.

В третьей главе приведены результаты анализа многолетних наблюдений наиболее характерных объектов из первой и второй групп. В частности:

1. установлено, что пекулярные объекты V1016 Cyg и HM Sge являются симбиотическими системами, холодными компонентами которых являются пульсирующие мириды. Определены периоды пульсаций мирид в системах V1016 Cyg и HM Sge (470 ± 5) сут. (для V1016 Cyg) и (535 ± 5) сут. (для HM Sge). Для V1016 Cyg можно отметить периодическую составляющую с характерным временем ~ 1900 сут; показано, что рассеяние пылевых оболочек, в которые были погружены оба компонента систем до вспышки горячего источника соответственно в 1964 г. и 1975 г., продолжалось до конца 1999 г.; установлено, что закономерности в долговременных изменениях блеска и цвета HM Sge и V1016 Cyg похожи (уменьшение ИК-блеска систем сопровождается их покраснением), однако в случае HM Sge амплитуды этих изменений почти в

два раза больше. Показано, что в обеих симбиотических новых примерно через 8 лет после вспышки горячего компонента их пылевые оболочки достигли максимальной плотности и затем начали рассеиваться, хотя и в настоящее время их пылевые оболочки остаются оптически толстыми. Сделан вывод, что в пылевых оболочках V1016 Cyg и HM Sge пылинки по своим оптическим свойствам похожи на загрязненные силикаты. Показано, что наблюдаемые фотометрические особенности обеих симбиотических новых в ближнем ИК-диапазоне в основном связаны с изменениями температуры фотосферы их мирид от 2400 К до 3000 К и оптической толщины пылевых оболочек от 1 до 3 на длине волны 1.25 мкм, при неизменной температуре пылевых частиц. В среднем пылевая оболочка вокруг симбиотической новой HM Sge почти в два раза плотнее, чем у V1016 Cyg; показано, что наблюдаемые значения показателей цвета в ближнем ИК-диапазоне для обеих симбиотических новых уменьшаясь, стремятся к типичным для мирид значениям. Отмечается, что мириды в системе V1016 Cyg несколько холоднее ($\sim 2800 - 2900$ К), чем в системе HM Sge ($\sim 2600 - 2700$ К.). При увеличении температуры мириды плотность пылевых оболочек уменьшается. Получены оценки абсолютных болометрических величин: $(-5^m.1 \pm 0^m.15)$ для V1016 Cyg и $(5^m.27 \pm 0^m.17)$ для HM Sge; расстояний соответственно 2.75 ± 0.2 (0.6) кпк и 1.75 ± 0.15 (0.4); светимостей и радиусов их холодных компонентов (мирид) [$8.6 \cdot 10^3 L_{\odot}$ и $500 R_{\odot}$ для V1016 Cyg] и [$1 \cdot 10^4 L_{\odot}$ и $540 R_{\odot}$ для HM Sge]. При температурах фотосфер мирид в исследуемых системах ~ 2700 К, а пылевых оболочек ~ 600 К, радиусы их пылевых оболочек составляют $1400 R_{\odot}$ и $1500 R_{\odot}$; массы $(3 - 3.3) \cdot 10^{-3} M_{\odot}$ и $(4 - 8) \cdot 10^{-3} M_{\odot}$. Отмечается схожесть исследуемых симбиотических новых, но из двух систем V1016 Cyg более медленная: ее ИК-блеск растет с меньшей скоростью, скорость рассеяния пылевой оболочки почти в 25 раз меньше, чем у HM Sge.

2. Показано, что в течение 1979—1982 гг. излучение системы TX CVn в диапазоне 0.36-2.2 мкм заметно менялось. Оптический блеск уменьшался,

объект при этом становился краснее. В 1981 г. (локальный минимум блеска) излучение системы TX CVn с ошибкой ± 1 подкласс можно было представить как сумму излучений нормального гиганта K5 и звезды главной последовательности B9. В остальное время в оптическом диапазоне наблюдалось избыточное излучение, принадлежащее горячему пятну. Расстояние до TX CVn, вычисленное по потоку гиганта K5 в фильтре K, составляет ~ 1.1 кпк. Поиск периодической составляющей в колебаниях J-блеска по данным наблюдений 1878-2000 г. показывает, что возможно такая составляющая присутствует и $P(J) \approx 1920$ сут, ее амплитуда не превышает значений $\Delta J \sim 0.2$ и элементы $J(\text{MAX}) = 2445517 + 1920(\pm 20)$ E. По характеру изменений ИК-блеска и цвета этот период может отражать орбитальное движение двойной системы, однако этот вывод требует уточнения. На 10 мкм обнаружено значительное избыточное излучение, превышающее излучение холодного компонента (гиганта K5) в ~ 20 раз. Светимость, средняя температура и масса пылевой оболочки, определенный по избыточным KLN-потокам, составляют $\sim 25 L_{\odot}$ при $r = 1$ кпк ; ~ 600 K при $Q(\lambda) \sim \lambda^{-2}$ и $\sim 10^{-8} M_{\odot}$ при $a = 5 \cdot 10^{-6}$ см. Светимость компонентов в системе TX CVn L(K5III) $\sim 200L_{\odot}$ и L(B8V) $\sim 100L_{\odot}$. Показано, что пылевая оболочка на $\sim 60\%$ нагревается излучением горячей звезды и на $\sim 40\%$ — холодной. Даже по отношению к излучению горячего компонента она является оптически тонкой ($\tau \sim 0.15$). Тем не менее присутствие пыли в подобной системе, какой она является в настоящий момент времени, является необычным явлением. Скорее всего ее образование связано с нестационарными процессами, происходящими в этой системе. Значения показателей цвета K-L, как правило, значительно превышают их значения для нормальных звезд всех классов и также свидетельствуют о присутствии достаточно горячей пылевой оболочки в системе TX CVn. Отмечается, что наличие пылевой оболочки в системе TX CVn, означает, что двойная находится на такой эволюционной стадии, когда она теряет свою массу, со скоростью превышающей их значения для

одиночных холодных звезд. Возможно холодный компонент системы близок к заполнению своей полости Роша (или уже заполняет ее).

3. Установлено, что характер изменений блеска и цвета CN Cyg в 1978-2000 гг. в ИК-диапазоне в целом не противоречит модели излучения источника, окруженного пылевой оболочкой с переменной оптической толщиной. Изменения спектрального класса холодной звезды происходили в пределах M5III – M7 III. Спектральный класс гиганта M5 наблюдался в период фазы максимальной активности горячего источника системы, а M7 – в период почти полного отсутствия следов его излучения в оптическом диапазоне. Показано, что излучение CN Cyg в диапазоне 0.6—1.1 мкм (где в основном излучает холодная звезда) в спокойной и активной фазах соответствуют излучению гиганта с $Sp \sim M6$. Определение спектрального класса холодного компонента системы CN Cyg по индексам поглощения и континуума показало, что в наблюдаемые фазы активности спектральный класс холодного компонента системы остается постоянным с точностью ~ 0.4 подкласса и классифицируется как $M(6.9 \pm 0.4)$ III. В диапазоне < 0.8 мкм в излучении CN Cyg заметен вклад более горячего источника: в спокойной фазе его спектральный класс $\sim M5$, в активной $\leq M4$. Из анализа спектральных и многоцветных фотометрических наблюдений CN Cyg в 1975 и 1988 гг. оценен сорт пылевых частиц в пылевой оболочке, которая образовалась в системе в 1987 г. Найдено, что эти частицы по своим оптическим свойствам близки к межзвездным. Радиус пылевой оболочки в 1988 г. составлял $\sim 20 R$ холодного компонента, масса оболочки $\sim 1.3 \cdot 10^{-4} M_{\odot}$. Изменения светимости холодного гиганта наблюдались в пределах $(6300 - 9100) L_{\odot}$, радиуса – примерно на 30%. Подтверждено наличие периода $(1800 - 2000)$ суток, как в оптическом, так и в ИК-диапазонах. Признаки излучения горячего источника в системе CN Cyg на протяжении 1978 – 1998 гг. наблюдались постоянно, за исключением нескольких сот дней в 1987 – 1989 гг. В спектральном диапазоне 0.36 – 5 мкм с 1978 по 1999 г. наблюдалась тенденция к систематическому покраснению системы с одновременным

падением ее блеска в диапазоне 0.36 – 2.2 мкм и увеличением – на 3.5 мкм и 5 мкм, что указывает на систематическое увеличение оптической толщины пылевой оболочки на протяжении почти 20 лет. Установлено, что “активизация” холодных источников в 1986 – 1989 гг. почти совпала по времени с исчезновением признаков излучения горячего источника; Установлено, что пылевая оболочка SN Cyg не является сферически-симметричной и оптическая толщина пылевой оболочки на луче зрения в несколько раз меньше ее значений в излучении и средние значения составляют $\tau_{\text{вн}}(L) \sim 0.06$ и $\tau_{\text{вм}}(L) \sim 0.16$. Показано, что отношение светимостей пылевой оболочки и холодного гиганта менялось от 0.08 до 0.5, т.е. в излучающей области оболочки могло поглощаться до 50% излучения холодной звезды. Изменения температуры пылинок в излучающей оболочке составляли (550 – 750) К, радиуса – более чем в 2 раза. Расширение излучающей пылевой оболочки с 1979 г. по 1988 г. происходило с ускорением, начальная скорость (1979 г.) ~ 8 км / с., в максимуме (1987 – 1989 гг.) ~ 180 км / с. С 1988 г. радиус излучения пылевой оболочки начал уменьшаться со скоростью ~ 45 км / с. (в начале) и ~ 3 км / с. (с 1996 г. по 1998 г.). Масса излучающей пылевой оболочки с 1979 г. до 1996 г. увеличилась примерно в 27 раз (в 1979 г. масса излучающей пылевой оболочки составляла $\sim 1.4 \cdot 10^{-7} M_{\odot}$, в 1988 г. – $\sim 3.8 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$) и затем к 1999 г. уменьшилась почти в 7 раз. Показано, что скорость потери массы холодной звездой с 1979 г. по 1989 г. увеличивалась и в 1988 г. составила $\sim 3.5 \cdot 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$. В последующие годы (вплоть до лета 1999 г.) сама оболочка начала терять массу со скоростью, превышающей скорость потери массы холодной звездой. Максимальный сброс вещества в оболочку произошел после фазы оптической активности 1978 – 1985 г. При отношении газ/пыль в оболочке ~ 100 , масса сброшенного вещества в 1988 г. составила $\sim 4 \cdot 10^{-4} M_{\odot}$.

4. Впервые получены и проанализированы многолетние ряды ИК-наблюдений для двух углеродных симбиотических систем NQ Gem и UV Aur. Для первой из них установлено, что по своим фотометрическим параметрам холодный

компонент системы напоминает нормальный гигант M5 без пылевой оболочки, температура частиц в которой была бы более 500 К. Показано, что излучение двойной системы UV Aur в диапазоне 0.45-5 мкм можно представить излучением звезды близкой к нормальному гиганту M5, окруженному пылевой оболочкой с температурой частиц (графитовых) ~ 750 К и $A'(V) \sim 2^m$. Радиус пылевой оболочки $\sim 9000R_{\odot}$, ее светимость $\sim 230L_{\odot}$ и масса $\sim 8.5 \cdot 10^{-8}M_{\odot}$.

5. Впервые получены и интерпретированы многолетние ИК-кривые блеска уникальной углеродной звезды RW LMi (=CIT 6). Показано, что в диапазоне 0.45-5 мкм ее излучение удовлетворительно аппроксимируется излучением звезды, близкой к нормальному гиганту M5, окруженному пылевой оболочкой с температурой частиц (графитовых) ~ 1000 К и $A'(V)$ не менее 10^m . Радиус пылевой оболочки $\sim 8500R_{\odot}$, ее светимость $\sim 630L_{\odot}$ и масса $\sim 30 \cdot 10^{-8}M_{\odot}$. Если в диапазоне 1.25-5 мкм в основном излучает оптически толстая пылевая оболочка, то наблюдаемые изменения блеска и показателей цвета можно объяснить увеличением ее температуры в максимуме блеска на несколько десятков градусов с одновременным увеличением радиуса в $\sim 1.2 - 1.5$ раза, что, вероятно отражает пульсации центральной звезды с периодом 626 сут.

6. Построена детальная модель пылевой оболочки RW LMi, состоящей из двух сортов сферических пылинок (AC и SiC) с радиусами 0.10 мкм. Модель, наилучшим образом описывающая данные наблюдений (дополненные средними значениями потоков для более длинноволнового излучения, измеренных другими авторами и аппаратурой спутника IRAS), имеет следующие параметры: светимость звезды $\sim 9380 L_{\odot}$, расстояние ~ 360 пк, температура фотосферы ~ 2700 К, радиус $\sim 450 R_{\odot}$, радиус внутренней границы оболочки в единицах радиуса звезды ~ 5.0 , температура пылинок на этой границе ~ 1300 К, относительная доля пылинок из SiC ~ 0.03 , показатель степени в законе изменения концентрации пыли ~ 2 , оптическая толщина оболочки на длине волны 11.3 мкм $\tau_{11} = 0.58$. Оптическая толщина оболочки в видимом диапазоне спектра на $\lambda = 0.5$ мкм равна 66.0. Отмечается, что

ближнем ИК-диапазоне имеется большой избыток наблюдаемого излучения по сравнению с моделью, что может быть следствием нарушения сферической симметрии оболочки. В среднем и далеком ИК-диапазонах наблюдения представляются моделью достаточно хорошо. Так как в этой области сосредоточена основная часть излучаемой энергии, то можно считать, что параметры модели близки к реальным параметрам пылевой оболочки RW LMi. Оценены параметры звездного ветра RW LMi: $\Gamma = 3.9$, $V_D = 4.1$ км/с, $\psi = 0.00203$, $\dot{M}_d = 2.1 \cdot 10^{-8} M_\odot/\text{год}$ и $\dot{M} = 10.4 \cdot 10^{-6} M_\odot/\text{год}$. Сравнение найденных параметров с данными для других углеродных мирид показывает, что RW LMi принадлежит к группе объектов с наибольшим темпом потери массы.

7. С привлечением данных о распределениях энергии в среднем ИК-диапазоне 7.7–22.7 мкм, измеренных спектрометрами низкого разрешения спутника IRAS и орбитальной обсерватории ISO построена детальная модель стационарной, сферически-симметричной протяженной пылевой оболочки симбиотической новой HM Sge для двух крайних случаев нагрева – только излучением холодного компонента и суммарным излучением обоих компонентов. Оказалось, что более близкой к реальности является модель с одним центральным источником – миридой и, следовательно, излучение горячего компонента в значительной степени перерабатывается окружающей газовой средой и непосредственно мало влияет на спектр симбиотической новой в ИК-диапазоне. Установлено, что среднее распределение энергии в спектре по данным IRAS (относящимся к 1983 г.) заметно отличается от спектра, полученного ISO 1 октября 1996 г. Высказано предположение, что наблюдаемая эволюция спектра оболочки отражает увеличение концентрации и уменьшение температуры пылинок вблизи внутренней границы оболочки, связанные с уменьшением светимости и ростом температуры горячего компонента. Получены оценки полного темпа потери массы, скорости расширения газа на внешней границе оболочки и верхнего предела массы центрального источника излучения.

8. Показано, что для V1016 Cyg, как и в случае симбиотической новой HM Sge, более близкой к реальности является модель с одним центральным источником – миридой. Подтверждено, что излучение горячего компонента в значительной степени перерабатывается окружающей газовой средой и непосредственно мало влияет на спектр симбиотических новых в ИК-диапазоне. Оценены параметры пылевой оболочки и звездного ветра V1016 Cyg, путем применения новых алгоритмов и программ расчета переноса излучения и динамики пыли к анализу независимых наблюдательных данных.

9. Рассчитана модель стационарной, сферически-симметричной протяженной пылевой оболочки для симбиотической звезды CN Cyg (с привлечением данных о распределениях энергии в среднем ИК-диапазоне 7–23 мкм и значений потоков в далеком ИК-диапазоне, измеренных аппаратурой спутника IRAS и орбитальной обсерватории ISO). Подтверждено существование горячей пылевой оболочки звезды, обнаруженной ранее по наблюдениям в ближнем ИК-диапазоне, оптическая толщина которой, по-видимому, увеличивается со временем. Показано, что за 14 лет, прошедших между временем работы космических аппаратов IRAS и ISO, наблюдаемая эволюция спектра оболочки в среднем ИК-диапазоне говорит об увеличении концентрации пылинок. За это время оптическая толщина оболочки в видимом диапазоне возросла почти в два раза, вызвав соответствующее увеличение темпа потери массы красного гиганта. Горячий компонент системы CN Cyg расположен внутри границы оболочки, на которой происходит конденсация пыли, и его активность не связана с газовой-пылевым звездным ветром красного гиганта.

В четвертой главе приведены результаты анализа многолетних наблюдений наиболее характерных объектов из третьей группы (см. главу II) и рентгеновской новой XTE J1118+4800.

Серпентиды (сильно взаимодействующей двойных типа W Ser: RX Cas, KX And и V367 Cyg) и алголь TX UMa. Для этих объектов впервые получены

длительные ряды наблюдений в ИК-диапазоне и проведен их анализ, из которого, в частности, следует:

1. Классификация звездных компонентов серпентиды RX Cas и алголя TX UMa, проведенная по оптической и инфракрасной фотометрии на разных фазах орбитального движения, в целом совпадает с классификацией двойных, полученной другими авторами. Физическая переменность RX Cas с периодом 516.06 суток проявляется в изменениях амплитуды JL-блеска в пределах $\pm 0^m.1$ и эти изменения можно объяснить колебаниями температуры G-гиганта в пределах (± 200 K). Классификация звездных компонентов серпентиды KX And, основанная на JHKLM-фотометрии позволяет заключить, что компонентами двойной являются яркий гигант K0 и звезда B0 начальной ГП (в дальнейшем подтверждено Харманеком). Звездными компонентами двойной V367 Cyg по нашей классификации могут быть два гиганта B0 и B0.5. Показано, что изменения блеска холодного компонента системы RX Cas при орбитальном движении в основном являются следствием его эллипсоидальности, причем холодный компонент близок к заполнению своей приливной полости Роша (или заполняет ее) и отношение масс компонентов в системе, при любых разумных значениях параметров, не менее 10. Незначительный M-избыток в излучении алголя TX UMa может объясняться излучением ионизованной оболочки с объемной мерой эмиссии около $2.7 \cdot 10^{-57} \text{ см}^{-3}$.

2. Доказано, что наблюдаемые LM-избытки в системе RX Cas обусловлены излучением пылевой околозвездной оболочкой, светимость которой $\sim 3 \cdot 10^{33}$ эрг/с., радиус $\sim 4.6 \cdot 10^{14}$ см, оптическая толщина на λ 1.25 мкм $\sim 10^{-3}$ и масса $\sim 10^{23}$ г.

3. Показано, что LM-избытки в системах KX And и V367 Cyg могут принадлежать ионизованным дискообразным оболочкам, меры эмиссий которых составляют $6 \cdot 10^{59} \text{ см}^{-3}$ (KX And) и $8 \cdot 10^{59} \text{ см}^{-3}$ (V367 Cyg). Признаков излучения пылевых оболочек с $T_d > 500$ K в этих системах не обнаружено.

Для долгопериодических двойных (ζ Aur, ϵ Aur, VV Cep, ZZ CMi и WY Gem):

1. Установлено, что колебания ИК (JHKLM) блеска исследуемых долгопериодических переменных (исключая ϵ Aur) за время нашего мониторинга происходили в пределах $0^m.10 - 0^m.15$ и не намного превышали ошибки наблюдений (две-три сотых звездной величины). Показано, что на двухцветной диаграмме J-K и K-L ζ Aur расположена вблизи ветви нормальных сверхгигантов (K5-M1); VV Cep попадает в область сверхгигантов K5-M1.5; ZZ CMi расположена вблизи нормальных гигантов M4.5-M5; WY Gem попадает на ветвь сверхгигантов M2-M2.5; у перечисленных переменных избыточного ИК-излучения на 3.5 мкм (и на 5 мкм тоже) не обнаружено. Обнаружен возможный период в ИК-излучении WY Gem, который составляет ~ 430 сут и его элементы: $JD(\max) = 2450907(\pm 10) + 430(\pm 7)$ E. Амплитуда этих периодических пульсаций в фильтре J составляет около $0^m.1$, а показатель цвета J-K от максимума к минимуму J-блеска уменьшается на несколько сотых звездной величины, т.е. холодная звезда в максимуме J-блеска примерно на 100 K горячее, чем в минимуме J-блеска и холодная звезда в системе WY Gem вероятно испытывает температурные пульсации с $\Delta T \sim 100$ K и периодом ~ 430 сут.

2. Показано, что наблюдаемые колебания ИК-блеска и цвета самой долгопериодической затменной двойной ϵ Aur во время и вне затмения (исключая изменения ИК-блеска на нисходящей и восходящей ветвях) не превышали значений $0^m.10 - 0^m.15$. Отмечено, что в затмении J-блеск достиг минимума вблизи фазы 0.99, на фазе ~ 1.01 наблюдался локальный максимум и возможно эти колебания отражают периодические (~ 400 сут) изменения ИК-блеска одного из компонентов системы. Излучение двойной в спектральном диапазоне 0.7- 2.2 мкм (фильтры R, J, H и K) как вне затмения, так и в затмении с ошибкой менее 10% по потоку можно описать излучением нормального сверхгиганта F0; нейтральное ослабление в затмении (в среднем) в этом

диапазоне соответствует $0^m.70 \pm 0^m.02$, т.е. в затмении экранируется около половины видимого диска сверхгиганта. Обнаружено избыточное излучение на $\lambda = 3.5$ мкм и цветовая температура источника избыточного излучения составляет 1000-1100 К. Его светимость, L_2 (1000 К) $\sim 110 L_0$, радиус $R_2 \sim 350 R_0$. Данные наблюдений двойной со спутниковой обсерватории ISO подтверждают существование чернотельного источника с $T \sim 1000$ К, его излучение видно до 10 мкм; излучение на 20 мкм принадлежит более холодному источнику ($T < 400$ К).

Для симбиотических звезд S-типа (CI Cyg, Z And, AX Per, AG Dra, BF Cyg, V 443 Her, YY Her, V1329 Cyg и FG Ser):

1. Установлена переменность CI Cyg в области длин волн 0.7—3.5 мкм с амплитудой колебаний в фильтре J, равной $0^m.3$. Показано, что она связана с переменностью холодного компонента. Газовая оболочка, окружающая горячий компонент и дающая основной вклад в рекомбинационное излучение CI Cyg ($\sim 70\%$), компактна ($R = 10^{13}$ см) и маломассивна ($M = 5 \cdot 10^{-8} M_0$). При $p_{\text{газ}} \sim R^{-4}$ показатель степени увеличивается с расстоянием от горячей звезды, что, по-видимому, связано с меньшей скоростью газа в ее внешних слоях. Оболочка, окружающая всю систему CI Cyg ($R = 10^{15}$ см) и полностью объясняющая ее оптический спектр, имеет массу меньше $5 \cdot 10^{-5} M_0$ с ρ_c ($R = 10^{15}$ см) $< 10^6 \text{ см}^{-3}$. Скорость потери массы системой CI Cyg не превышает $10^{-6} M_0/\text{год}$, что недостаточно для объяснения существующей светимости горячей звезды просто аккрецией на нее вещества, истекающего из красного гиганта. Боллометрическая светимость горячей звезды $\sim (7-700) \cdot 10^{36}$ эрг/с. Доказано, что наблюдаемую ИК-переменность CI Cyg можно объяснить переменностью холодного компонента, вследствие его эллипсоидальности при орбитальном движении с периодом 855.25 сут вместе с квазипериодическими изменениями ($P=37.69$ сут) температуры холодного компонента примерно на 150 К и радиуса в пределах 15%, возможно вследствие периодических всплываний горячих пятен на поверхность фотосферы холодного гиганта (Анти и др., 1984). В области 10

мкм обнаружен ИК-избыток, связанный с тепловым излучением пыли, существующей в системе CI Cyg.

2. Показано, что ИК-блеск Z And испытывал малые ($\Delta J \sim 0^m.3$) флюктуации, не коррелирующие с колебаниями ультрафиолетового излучения. В области 10 мкм обнаружен переменный ИК-избыток, величина которого также не связана с величиной ультрафиолетового излучения Z And. В 1978 - 1980 гг., когда Z And находилась в спокойном состоянии ($V \approx \text{const}$), наблюдались колебания ее ультрафиолетового излучения, совпадающих по фазе и величине периода с колебаниями блеска звезды в активном состоянии. Колебания УФ-блеска Z And вероятно связаны с колебаниями величины скорости потери массы горячей звездой. Колебания УФ-блеска Z And вероятно связаны с колебаниями величины скорости потери массы горячей звездой. Оптическое излучение горячих источников Z And в спокойном состоянии обусловлено в основном излучением горячего газа. Оболочка, вносящая основной вклад в ультрафиолетовое излучение Z And, представляет собой компактное ($R < 10^{15}$ см), плотное ($n_e > 4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$), маломассивное ($M < 5 \cdot 10^{-7} M_\odot$) и прозрачное в L_c газовое образование. Скорость потери массы горячей звездой не превышает $5 \cdot 10^{-7} M_\odot/\text{год}$. Средний спектральный класс гиганта, определенный по показателям цвета $(R-J)_x$ и $(J-K)_x$ соответствует M2 и M0. Установлено, что значительные колебания величины ИК-избытка на 10 мкм объясняются образованием и исчезновением пыли в системе Z And. Оболочка, окружающая всю систему Z And ($R \leq 10^{15}$ см) и полностью объясняющая ее оптический спектр, имеет массу $\leq 2 \cdot 10^{-6} M_\odot$. Скорость потери массы системой Z And не превышает $5 \cdot 10^{-7} M_\odot/\text{год}$.

3. Установлено, что в излучении симбиотических звезд AX Per, AG Dra, BF Cyg, V 443 Her и YY Her отсутствуют колебания ИК-блеска, превышающих $0^m.3$. В то же время значительные колебания УФ-излучения наблюдались у звезд AX Per и AG Dra, что, по-видимому, говорит об отсутствии связи между колебаниями горячей звезды и состоянием холодного компонента. Наличие

колебаний в оптическом блеске AX Per и AG Dra на временной шкале менее двух лет приводит к компактным ($\sim 5 \cdot 10^{13}$ см) размерам газовых оболочек, вносящих основной вклад в рекомбинационное излучение. Плотность в них превышает 10^8 см⁻³, а их масса меньше $5 \cdot 10^{-7} M_{\odot}$. Классификация красных гигантов AX Per, AG Dra и BF Cyg по показателю цвета (R-J), довольно хорошо совпадает с классификацией, проведенной по оптическим спектрам.

4. Показано, что изменения оптического блеска V1329 Cyg согласуются с периодом 950.07 дней. Колебания ИК-блеска достигают ~ 0.7 в фильтре J. Холодный компонент в системе V1329 Cyg классифицируется как гигант M6. Расстояние до V1329 Cyg, оцененное по потоку на 1.25 мкм, составляет ~ 9.7 кпк.

5. Установлено, что у пяти симбиотических звезд (Z And, AG Dra, CI Cyg, V443 Her и BF Cyg), существуют ИК-избытки на длине волны 10 мкм, связанные с излучением пылевых околозвездных оболочек, которые имеют похожие физические параметры: температуры не превышают 500 К, радиусы (2-15) 10^{15} см, светимости (4-50) 10^{34} эрг/с и массы пылевых оболочек (1-10) $\cdot 10^{-8} M_{\odot}$.

Для уникального объекта FG Sge до ИК-вспышки осенью 1992 г.:

1. Установлено, что за семь лет до катаклизма спектральный класс FG Sge в 1985 г. соответствовал $G(1 \pm 0.5) I$, радиус звезды был $95 R_{\odot}$, светимость $\sim 8.9 \cdot 10^3 L_{\odot}$ при $r = 4.1$ кпк. Показано, что 115-дневные колебания ИК-блеска FG Sge в этот период являлись в основном следствием изменений температуры звездной фотосферы. По распределению энергии в спектрах FG Sge в диапазоне 1.25 - 3.5 мкм вблизи минимума и максимума 115-дневных колебаний звезда классифицируется как G2 I и F 5 I соответственно. Светимость FG Sge в максимуме 115-дневного цикла была почти в 2 раза больше, чем в минимуме. Изменения радиуса при этом не превышают 10%. По характеру переменности ИК-блеска FG Sge в 1985 г. напоминала переменные типа δ Ser или SRd.

2. Наблюдения блеска FG Sge в ИК-диапазоне в 1985-1989 гг. хорошо коррелировали с UBV-данными. По данным ИК- и UBV-фотометрии

распределение энергии в спектре FG Sge в 1985-1989 гг. соответствовало сверхгиганту спектрального класса F8 - G1. Фотометрические характеристики FG Sge в 1985-1989 гг. напоминали свойства звезд типа RV Tau.

3. Вокруг звезды за несколько лет до катаклизма обнаружена слабая «горячая» пылевая оболочка ($T \sim 1000$ K), с массой $\sim 10^{-10} M_{\odot}$. В видимой области спектра ее оптическая толщина оценивалась величиной $\sim 10^{-3}$.

4. Вполне возможно, что в конце 80-х годов эволюция звезды в сторону красных гигантов на диаграмме температура - светимость заканчивалась или уже закончилась, охлаждение прекратилось и последующее поведение звезды будет связано с новым этапом ее эволюции - ростом эффективной температуры и движением влево по диаграмме.

Получены оперативные данные JHKL - фотометрии рентгеновской новой (двойной) XTE J1118+480, открытой в марте 2000 г. Ремиллардом и др. (2000) в процессе эксперимента RXTE All-Sky Monitor и на их основе сделаны следующие выводы:

- Установлено, что в излучении двойной в диапазоне 1.65-3.5 мкм существует значительный ИК-избыток, который возможно связан с тепловым излучением пылевой оболочки/облака; в диапазоне 1.25-1.65 мкм наблюдается, скорее всего, тот же источник, что и в диапазоне 0.115-0.8 мкм (115-800 нм) - аккреционный диск, нагретый черной дырой (Хесвелл и др., 2000); оценено расстояние до рентгеновской двойной (по наблюдаемому интегральному потоку от пылевой оболочки), оно составляет $\sim (0.6-3)$ кпк; показано, что средняя оптическая толщина пылевой оболочки к излучению аккреционного диска в апреле 2000 г. составляла около 0.06.

В пятой главе сведены результаты анализа наблюдений внегалактических объектов: сейфертовских галактик NGC 4151 и NGC 1068. Впервые на протяжении почти 15 лет в широком спектральном диапазоне (0.36-3.5 мкм) прослежена фаза активности ядра сейфертовской галактики NGC 4151 от ее

начала в 1985 г. и возможного окончания в 2000 г. Получены следующие основные результаты:

1. Впервые проведена многолетняя (1985-2000 гг.) ИК-фотометрия сейфертовской галактики NGC 4151 и прослежен цикл нарастания и спада активности ядра галактики в ИК-диапазоне.
2. Впервые проведены многолетние координированные оптические и ИК наблюдения переменности ядра сейфертовской галактики NGC 4151.
3. В течение нового цикла активности ядра галактики, начавшегося после глубокого минимума 1984-88 гг. и характеризующегося большой амплитудой изменений блеска ($\Delta U \sim 2^m.5$, $\Delta K \sim 1^m$), JHKL-блеск достиг максимума в марте-апреле 1996 г., увеличившись, например, в фильтре J почти на 1^m , по сравнению с 1985-1986 г.г. По оценкам цветовых температур в диапазоне 1.25-1.65 мкм, при уярчении происходило охлаждение на несколько сот градусов. Характерный размер излучающей в ближнем ИК-диапазоне области галактики составлял (3-30) $10^5 R_{\odot}$. Светимость (ядра?), оцененная по нашим наблюдениям $\sim (4-12) 10^9 L_{\odot}$.
4. Подтверждена и уточнена корреляция оптической и ИК переменности, выделено излучение переменного источника в широком спектральном диапазоне 0.36-3.5 мкм;
5. Установлено, что в максимуме блеска галактики (1995-96 гг.) излучают, по крайней мере, три переменных источника:
 - компактный горячий (радиус $\sim 7 \cdot 10^{14}$ см, температура ~ 30000 К, светимость $L(0.36-3.5) \sim 2.4 \cdot 10^{44}$ эрг/с);
 - промежуточный ($\sim 3 \cdot 10^{15}$ см, ~ 7000 К, $L(0.36-3.5) \sim 3 \cdot 10^{43}$ эрг/с)
 - холодный ($\sim 4 \cdot 10^{16}$ см, ~ 1500 К, $L(0.36-3.5) \sim 1 \cdot 10^{43}$ эрг/с).
6. Отмечается, что вклад переменного источника очень мал в UVB в минимуме блеска (1985-88 гг.) и почти полностью отсутствует в JHKL.
7. Показано, что в 1997-1998 г. "горячий" источник похож на звезду 09.5, но его светимость в 1998 г. на 15-20% меньше. Распределение энергии в опектре

излучения “промежуточного” источника в 1998 г. хорошо аппроксимируется излучением звезды K3, а “холодного” компонента – чернотельным излучением с температурой ~ 800 К. Светимость “холодного” компонента в 1998 г. упала на 20-25 %. Темп падения светимости “холодного” переменного источника NGC 4151 составлял, ($\Delta L_c \sim 4 \cdot 10^{42}$ эрг/с. за 2 года).

8. Найдено, что в наблюдаемом максимуме блеска переменного источника 1995-98 гг. изменения ИК-потоков достигали трех раз в фильтре J и уменьшались с ростом длины волны. В изменениях ИК-потоков заметна (особенно на λ 2.2 мкм) периодическая составляющая с характерным временем около 1000 суток.

9. Подтверждено, что “холодным” компонентом переменного источника галактики является пылевая оболочка, нагреваемая центральным “горячим” источником, ее средняя оптическая толщина к излучению этого источника не превышает 0.15.

10. Рассмотрена эмпирическая модель, согласно которой в период активности ядра галактики в 1995-98 гг., на расстоянии нескольких парсек от него, происходит нагрев вещества и в ближнем ИК-диапазоне наблюдается свечение пылевых частиц при температуре 600-800 К. При этом излучение в фильтрах K и L интерпретируется как тепловое переизлучение пылью ультрафиолетового излучения областей близких к центральному источнику. Масса светящейся пыли составляет 5-20 M_{\odot} . При отношении газ/пыль ~ 500 масса вещества достигает $\sim 10^4 M_{\odot}$ на расстоянии несколько парсек от ядра галактики NGC 4151.

11. В максимуме активности ядра галактики 1989-1998 гг. обнаружена зависимость величины запаздывания ИК переменности от длины волны. Запаздывания на длинах волн 1.25 мкм (фильтр J) и 1.65 мкм (фильтр H) около 6 и 8 дней, тогда как на 3.5 мкм около 97 дней. Излучение в фильтрах K и L (2.2 и 3.5 мкм) интерпретируется как тепловое переизлучение пылью ультрафиолетового излучения областей близких к центральному источнику и

на основе численного моделирования сделано заключение, что эмиссионная область в виде тонкого кольца видимого почти плашмя лучше соответствует наблюдательным данным, чем модель сильно наклоненного к лучу зрения кольца или сферического слоя. Эффективный радиус кольца зависит от длины волны, чем и объясняется большее запаздывание на длине волны 3.5 мкм по сравнению с 2.2 мкм.

12. Переменное излучение в фильтрах J (1.25 мкм) и H (1.65 мкм), по-видимому, определяется излучением не только пыли, но и излучением аккреционного диска (АД), причем компонент, связанный с излучением АД является доминирующим.

13. Исследовано излучение постоянной компоненты галактики NGC 4151 в широком спектральном диапазоне (0.36-3.5 мкм) и оценен вклад излучения отдельных ее составляющих - звезд классов G8 и M6 (80%), ионизованного газа, горячей и холодной пыли.

В заключении подведены итоги работы и сформулированы основные выводы по результатам исследований. В приложении в виде таблиц приведены результаты фотометрических наблюдений исследуемых объектов.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах

1. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. ИК-переменность звезд HM Sge и V1016 Cyg. Письма в АЖ, 6, N 8, 495, 1980.
2. Есипов В.Ф., Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Спектральные и фотометрические наблюдения объекта He2-442. Письма в АЖ, 6, 614, 1980.
3. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Синхронные наблюдения SN Cyg на 0.36 и 2.2 мкм. АЦ, N 1185, 4-7, 1981.
4. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Колебания УФ-блеска Z And в 1978-1981 г.г. АЦ, N 1188, 1981.
5. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. V1357 Cyg. Оптическая и ИК-фотометрия в июле-августе 1981 г. АЦ, N 1205, 1981.
6. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Фотометрия симбиотических звезд в системе UBVRJHKL MN. 1. CI Лебедя. Астрон. ж., 58, 1051, 1981.
7. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Фотометрия симбиотических звезд в системе UBVRJHKL MN. 2. Z Андромеды. Астрон. ж., 58, 1249, 1981.
8. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Фотометрия симбиотических звезд в системе UBVRJHKL MN. 3. AG Dra, BF Cyg, AX Per, V443 Her, YY Her. Астрон. ж., 59, 101, 1982.
9. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Инфракрасные наблюдения HM Стрелы. Письма АЖ, 8, 90, 1982.
10. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Широкополосная фотометрия SN Лебедя. Письма АЖ, 8, 722, 1982.
11. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. UBVRJHK-фотометрия RX Cas вблизи вторичного минимума. Письма в АЖ, 9, 5, 1982.
12. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Блеск SN Cyg продолжает увеличиваться. АЦ, N 1219, 1982.

- 13.Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Инфракрасные наблюдения переменных звезд. 2. Спектрофотометрия СН Лебедя. ПЗ, 21, 6, 1983.
- 14.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Оптическая и инфракрасная фотометрия ТХ Гончих Псов. Письма АЖ, 9, 36, 1983.
- 15.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Инфракрасные избытки в симбиотических системах. Письма АЖ, 9, 618, 1983.
- 16.Taranova O.G., Yudin B.F. V1016 Cyg and HM Sge: binary stellar systems. Astron. Astrophys., 117, 209, 1983.
- 17.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Очередной максимум УФ-блеска Z And. АЦ, N 1256, 1983.
- 18.Наджип А.Э., Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Фотометрия Новой Лисички в августе-сентябре 1984 г. АЦ, N 1348, 1984.
- 19.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Очередной минимум блеска Z And. АЦ, N 1325, 1984.
- 20.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Пылевые оболочки в пекулярных объектах ТХ CVn и СН Cyg. Астрон. ж., 61, 510, 1984.
- 21.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Предварительные результаты наблюдений He2-442A и He2-442B. АЦ, N 1322, 1984.
- 22.Ipatov A.P., Taranova O.G., Yudin B.F. Photometric and spectrophotometric observations of СН Cyg in the period 1978-1982. Astron. Astrophys., 135, 325, 1984.
- 23.Таранова О.Г., Шенаврин В.И., Наджип А.Э. Излучение RX Cas инфракрасной области спектра. АЦ, N 1370, 1985.
- 24.Ipatov A.P., Taranova O.G., Yudin B.F. HM Sge and V1016 Cyg in 1982-1985: unforeseen variations in the IR spectrum of V1016 Cyg. Astron. Astrophys., 142, 85, 1985.
- 25.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Фотометрические наблюдения He2-442A и He2-442B. АЦ, N 1372, 1985.
- 26.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Симбиотическая звезда AS296: оптическая и инфракрасная фотометрия в 1982-1983 г.г. Письма АЖ, 11, 55, 1985.

- 27.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Спорадическое образование пылевой оболочки в системе V1016 Лебеда в 1983 г. Астрон. ж., 63, 317, 1986.
- 28.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Фотометрия симбиотической звезды V1329 Лебеда. Астрон. ж., 63, 151, 1986.
- 29.Таранова О.Г. Инфракрасные наблюдения WY Gem и ZZ CMi. АЦ, N 1467, 7-8, 1986.
- 30.Таранова О.Г. Инфракрасная фотометрия TX UMa. АЦ, N 1462, 4, 1986.
- 31.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Фотометрические наблюдения симбиотических звезд. АЦ, N 1454, 7-8, 1986.
- 32.Таранова О.Г. Поиск периодов ИК-переменности симбиотических звезд. АЦ, N 1473,7, 1986.
- 33.Таранова О.Г. Инфракрасная фотометрия FG Sge. Астрофизика. 25, 453, 1986.
- 34.Таранова О.Г. Инфракрасная фотометрия двух углеродных звезд. Астрофизика. 27, 29-40, 1987.
- 35.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. AS 501: инфракрасная фотометрия. АЦ, N 1501, 7-8, 1987.62.
- 36.Таранова О.Г. О природе ИК-переменности CI Cyg. Письма в АЖ, 13, 423, 1987.
- 37.Таранова О.Г. Инфракрасная переменность FG Sge. Письма в АЖ, 13, 891, 1987.
- 38.Таранова О.Г. Об отношении масс в системе RX Кассиопеи. Письма в АЖ, 13, 502-507, 1987.
- 39.Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Спектральная классификация холодных компонентов симбиотических звезд. Астрон. ж. 64, 867, 1987.
- 40.Taranova O.G., Yudin B.F. Properties of cool components in S-type symbiotic stars. Proc. IAU Coll. No. 103, p.37, 1988.

41. Taranova O.G., Yudin B.F. Photometric observations of CN Cyg in the period 1978-1987. Dust matter condensation in its circumstellar envelope during 1985;1987. *Astrophys. and Space Sci.*, 146, 33, 1988.
42. Есипов В.Ф., Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Спектральные и фотометрические наблюдения V407 Лебеда и AS338. *Астрофизика* 29, 286, 1988.
43. Таранова О.Г. JHKLM величины 22 стандартных звезд. *Бюл. Абаст. астрофиз. обсерват.*, 67, 19-20, 1989.
44. Таранова О.Г. Инфракрасная прозрачность земной атмосферы на Крымской станции ГАИШ. *Бюл. Абаст. астрофиз. обсерват.*, 67, 73-76, 1989.
45. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Спектральная классификация холодного компонента в системе CN Лебеда. *Письма в АЖ*. т.15, N 11, 1020-1027, 1989
46. Архипова В.П., Таранова О.Г. Многоцветная фотометрия FG Sge в 1985-1989 г.г. *Письма в АЖ*, 16, 808-816, 1990.
47. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Начало новой фазы активности в системе CN Лебеда. *АЦ*, N 1544, 40, 1990.
48. Taranova O.G., Yudin B.F. IR observations of the symbiotic nova HM Sge. *Proc. IAU Coll. N 122*, 435, 1990
49. Таранова О.Г. Переменность холодного компонента в системе CN Лебеда. *Письма в АЖ*. т. 16, N 11, 253-259, 1990
50. Таранова О.Г. Пылевая оболочка в системе CN Лебеда. *Письма в АЖ*. т.17, N 3, 1991.
51. Таранова О.Г., Торговкина Е.И. JHKLM фотометрия звезд типа RV. *АЦ*, N 1547, 1991.
52. Таранова О.Г., Торговкина Е.И. Инфракрасные избытки в излучении полуправильных переменных. *АЦ*, N 1548, 13-14, 1991.
53. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф. Глубокий минимум в ИК-блеске симбиотической звезды CN Лебеда. *Астрон. Ж.* 69, 262, 1992.

54. Munari U., Yudin B.F., Taranova O.G., Massone G., Marang F., Roberts G., Winkler H., Whitelock P.A. UBVRJHKL photometric catalogue of symbiotic stars. *Astron and Astrophys Suppl. Ser.*, 93, 383, 1992.
55. Taranova O.G., Yudin B.F. The extremely deep minimum in the IR brightness of the symbiotic star CH Cygni, accompanied by activity of its hot component. *Astron. and Astrophys.* 257, 615, 1992.
56. Yudin B.F., Munari U., Taranova O.G., Dalmeri I. 1978-1993 UBVRJHKL photometry of very slow nova and symbiotic Mira HM Sagittae. I. The data. *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 105, 169, 1994.
57. Таранова О.Г., Юдин Б.Ф., Колотилов Е.А. Фотометрия СН Лебеда в 1991-1994 г.г. Оптическая активность на фоне пониженного блеска. *Письма АЖ* 21, 529, 1995.
58. Таранова О.Г. Поиск пылевых оболочек в серпентидях. *АЦ*, N 1557, 1996.
59. Таранова О.Г., Шенаврин В.И., Наджип А.Э. Инфракрасные наблюдения NGC 4151. *АЦ*, N 1557, 1996.
60. Таранова О.Г. Поиск пылевых оболочек в серпентидях и сходных объектах. II. V367 Cyg и KX And. *Письма в АЖ*, 23, 11, 810, 1997.
61. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Поиск пылевых оболочек в серпентидях и сходных объектах. I. RX Cas и TX UMa. *Письма в АЖ*, 23, 11, 803, 1997
62. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. NGC 4151: инфракрасная переменность. *Письма в АЖ*, 23, 11, 815, 1997.
63. Таранова О.Г., Шенаврин В.И., Лютый В.М. Переменность ядра NGC 4151 в UVV и JHKL: новый цикл активности. *Письма в АЖ*, 24, 4, 243, 1998.
64. Богданов М.Б., Таранова О.Г. Пылевая оболочка углеродной звезды RW LMI. *Астрон. Ж*, 76, 10, 780-787, 1999.
65. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. ИК-фотометрия трех углеродных звезд. *Письма в АЖ*, 25, 11, 860-868, 1999.

66. Окнянский В.Л., Лютый В.М., Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Корреляция оптической и инфракрасной переменности NGC 4151 в течение тридцати лет: изменение размеров ИК-источника. Письма в АЖ, 25, 8, 563-575, 1999.
67. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. ИК-переменность сейфертовской галактики NGC 4151 в 1995-1999. АЖ, 76, 729-737, 1999.
68. Taranova O.G., Shenavrin V.I. Nuclear Variability of NGC 4151 in JHKL: 1985-1999. JENAM 99, 7-11 sept.1999, Toulouse, France. Устный доклад.
69. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Инфракрасная фотометрия симбиотических новых V1016 Cyg и HM Sge B 1978 – 1999 гг. Письма в АЖ, 26, 9, 695-704, 2000.
70. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Мультицветная фотометрия SN Лебеда, 1978 - 1998 гг. Астрон. Ж, 77, 10, 780-787, 2000.
71. О. Г. Таранова Инфракрасная фотометрия избранных типов переменных звезд В 1978 - 1999 гг. Письма в АЖ, 26, 8, 563-575 стр, 2000.
72. Таранова и Шенаврин (Taranova O.G., Shenavrin V.I.) IUA Circular № 7407, 2000.
73. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Инфракрасная фотометрия рентгеновской двойной XTE J1118+480 в апреле 2000 г. Письма в АЖ, 27, 1, 1-7, 2001.
74. Таранова О.Г., Шенаврин В.И. Инфракрасная фотометрия пяти долгопериодических двойных. Письма в АЖ, 27, 4, 295-304, 2001.
75. Богданов М.Б., Таранова О.Г. Пылевая оболочка симбиотической новой HM Sge. Астрон. Ж, 78, 1, 52-59, 2001.

Цитируемая литература (выборка)

1. Trumpler R.J. *Lick Observ. Bull.*, 14, 154, 1930.
2. Hoyle F., Wickramasinghe N.C., *MNRAS*, 124, 417, 1962.
3. Gail H.-P., Seldmayer E. *Astron. and Astrophys.*, 166, 225, 1986.
4. Гринберг М. *Межзвездная пыль*, изд-во Мир, Москва, 1970.
5. Phillips J.P., Selby M.J. Wade R., Margo C.S. *Infrared observ of binary stars-I. MNRAS*, 190, 337, 1980.
6. Ivezić Z., Elitzur M. *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 1997. V. 287. P. 799.
7. Rowan-Robinson M., Harris S. *MNRAS*, 200, 197, 1982.
8. Egan M.P., Leung C.M., Spagna G.F. *Comput. Phys. Commun.* 1988. V.48. P.271.
9. Leung C.M. *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.* 1976. V.16. P.559
10. Mathis J.S. Rimpl W., Nordsieck K. H. *Astrophys. J.* 1977. V.17. P. 25.
11. Мороз В.И. *Физика планет*, изд-во Мир, Москва, 1970.
12. Kamijo F. *PASJ*, 15, 440, 1963.
13. Gillet F. C., Knacke R. F., Stein W. A. *Astrophys. J.*, 163, 41, 1971.
14. Swings J. R., Allen D. A. *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 84, 523, 1972.
15. Allen D. A. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 161, 145, 1973.
16. Woolf N. I. *Astrophys. J.*, 1973, 185, 229.
17. Szody P. *Astrophys. J.*, 1977, 217, 140.
18. Swings P. *Symbiotic stars and related peculiar objects.— In: Spectroscopic Astrophysics. Univ. Calif. Press, 1970. p. 189.*

Типография ордена «Знак почета» издательства МГУ
119899, Москва, Воробьевы горы.
Заказ № 1167 Тираж 100 экз.

10²