

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

Государственный астрономический институт
имени П.К. Штернберга

На правах рукописи

Иконникова Наталия Петровна

Переменность и эволюция протопланетарных объектов

Специальность 01.03.02 – астрофизика и радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2009

Работа выполнена в отделе физики эмиссионных звезд и галактик Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук

Архипова
Вера Петровна
(ГАИШ МГУ)

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

Таранова
Ольга Георгиевна
(отдел радиоастрономии ГАИШ МГУ)

доктор физико-математических наук

Самусь
Николай Николаевич
(Институт астрономии РАН)

Ведущая организация:

Специальная астрофизическая обсерватория РАН
(САО РАН)

Защита диссертации состоится 10 декабря 2009 года в 14:00 на заседании Диссертационного совета по астрономии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, шифр Д 501.001.86.

Адрес: 119992, Москва, Университетский проспект, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ (Москва, Университетский проспект, 13)

Автореферат разослан 10 ноября 2009 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета

кандидат физико-математических наук



Алексеев С.О.

Общая характеристика работы

В работе представлены результаты многолетних фотометрических и спектральных наблюдений сверхгигантов с инфракрасными избытками – кандидатов в протопланетарные объекты (ППО). Это звезды, которые уже прекратили крупномасштабную потерю массы на асимптотической ветви гигантов (AGB), но еще не стали достаточно горячими, для того, чтобы ионизовать остатки околозвездных оболочек и проявиться как планетарные туманности (PN).

Актуальность темы.

Актуальность всестороннего изучения звезд на поздних стадиях эволюции связана с тем, что они являются поставщиками продуктов нуклеосинтеза в межзвездную среду и во многом определяют эволюцию галактик. Согласно современным представлениям, звезды промежуточных масс (от 1 до 8 масс Солнца на начальной главной последовательности) теряют большую часть своей массы, находясь на асимптотической ветви гигантов, а интенсивнее всего в конце этой стадии эволюции во время фазы "сверхветра". После прекращения мощного ветра у звезды остается вырожденное углеродно-кислородное (CO) ядро с массой 0.5-0.9 M_{\odot} , окруженное обширной газовой оболочкой, имитирующей характеристики сверхгиганта (светимость, ускорение силы тяжести). Источником энергии является горение водорода или гелия в слое. Звезда окружена также газопылевой оболочкой, которая постепенно расширяется и просветляется. Расчеты (Блекер, 1995б) показывают, что дальнейшая эволюция звезды проходит при постоянной болометрической светимости, звезда постепенно сжимается, а ее температура растет. Пылевая оболочка, образованная на стадии AGB, постепенно рассеивается и охлаждается, хотя еще долго будет проявлять себя в виде избытка излучения в далекой инфракрасной области.

Систематическое изучение звезд, находящихся в постасимптотической (post-AGB) стадии эволюции, началось в конце 80-х годов прошлого столетия после успешной миссии космической обсерватории IRAS в 1983 г. В результате обзора неба в далеком инфракрасном (ИК) диапазоне было обнаружено большое число объектов, имеющих избытки излучения в далекой ИК-области, среди которых были выявлены звезды на поздних стадиях эволюции.

За последние 20 лет в мире проведена огромная работа по изучению кандидатов в post-AGB звезды. Получены изображения с высоким

пространственным разрешением нескольких десятков объектов с помощью больших наземных телескопов и космического телескопа Хаббла (Уета и др., 2000; Мейкснер и др., 1999; Сахаи и др., 2007). Большое внимание уделяется наблюдениям в ИК-области, где излучают пылевые оболочки, а также в радиодиапазоне, где осуществляются переходы в СО-молекулах. Спектральные наблюдения с высоким разрешением многих десятков объектов позволили определить физические параметры и выявить особенности химического состава *post-AGB* звезд (Клочкова, 2006). Суарес и др. (2006) переопределены спектральные классы более 100 *post-AGB* объектов и составлен их спектральный атлас. Проведена каталогизация *post-AGB* объектов. В Торунском интернет-каталоге галактических *post-AGB* и подобных им объектов (Щерба и др., 2007) на сегодняшний день содержится 326 наиболее вероятных кандидатов в *post-AGB* звезды, большинство из которых мало изучено.

Актуальность фотометрического исследования сверхгигантов с ИК-избытками — кандидатов в протопланетарные объекты обусловлена прежде всего отсутствием в подавляющем большинстве случаев современных *UBV*-величин этих звезд.

Фотометрическая переменность протопланетарных объектов, обусловленная либо пульсациями, либо наличием второго компонента, либо проявлением переменного звездного ветра, а также эволюционными изменениями делает крайне актуальным мониторинг выборки звезд на временной шкале дни-месяцы-годы.

В настоящее время не существует теории пульсаций звезд на поздних стадиях эволюции. Трудность построения такой теории связана с тем, что для *AGB* и *post-AGB* звезд важными являются процессы конвекции и истечения вещества, которые трудно учитывать при расчетах. Пульсационные характеристики, полученные из наблюдений для как можно большего числа звезд, дают важную информацию для теоретиков.

Важнейшим параметром, определяющим эволюцию звезды на поздних стадиях, кроме ее массы, является темп потери массы звездой на асимптотической ветви гигантов (в виде сверхветра), а также в фазе перехода от *AGB* к *PN*. Спектральный и фотометрический мониторинг звезд, находящихся на разных стадиях *post-AGB* эволюции, позволит проследить изменение темпов потери массы по мере увеличения температуры звезды.

Биполярная структура некоторых планетарных и протопланетарных туманностей на современном этапе исследования объясняется присут-

ствием второго компонента в системе. Многолетние фотометрические и спектральные наблюдения необходимы для выявления возможной двойственности объектов.

Протопланетарные объекты представляют собой звезды с протяженными атмосферами, окруженные пылевыми оболочками, построенными в результате интенсивной потери массы звездой на предыдущих стадиях эволюции. Пылевые оболочки со временем рассеиваются, что отражается на видимости звезд в оптическом диапазоне. Длительные наблюдения протопланетарных объектов в однородной системе в нескольких фотометрических полосах помогут проследить эволюцию пылевой оболочки, окружающей звезду.

Согласно современным теоретическим расчетам, продолжительность *post-AGB* стадии эволюции зависит от массы звезды, а также от темпа потери массы на асимптотической ветви гигантов и может занимать от 100 до нескольких тысяч лет. Для наиболее массивных звезд эволюционные изменения можно проследить за время жизни исследователя или научного коллектива. Привлечение данных из исторических каталогов, а также измерение блеска звезд на пластинках из фототек (в частности, фототеки Службы неба ГАИШ) может расширить интервал, охваченный наблюдениями, до 150 лет. Сравнение наблюдений с теорией крайне важно для уточнения треков быстро эволюционирующих звезд.

Крайне важным является вопрос о формировании планетарной туманности. Основной сброс массы звезды в результате ее эволюции происходит на стадии асимптотической ветви гигантов. Начало *post-AGB* фазы определяется прекращением крупномасштабной потери массы, но затем, по мере увеличения температуры звезды, в результате все возрастающей роли светового давления, темп потери массы звездой увеличивается. Наблюдения горячих *post-AGB* звезд могут прояснить вопрос о том, когда начинается стадия сверхветра, каковы темпы потери массы в этой стадии. Наблюдательные проявления звездного ветра можно получить в результате как спектральных, так и фотометрических наблюдений.

Цель работы

Целью диссертационной работы является исследование природы нестационарности звезд в *post-AGB* стадии на разных этапах эволюционного трека. Для достижения цели диссертационной работы решаются следующие задачи:

- получение продолжительных рядов фотометрических наблюдений

в полосах UBV 13 сверхгигантов с ИК-избытками – кандидатов в протопланетарные объекты ;

- поиск фотометрической переменности звезд программы;
- изучение характера переменности ППО, в частности, поиск периодичности, выявление связи между показателями цвета и блеском;
- поиск эволюционных эффектов у более массивных ППО, а именно, трендов среднего блеска, систематического изменения спектрального класса и периодов пульсаций;
- исследование влияния околозвездной пыли на фотометрические характеристики звезд в стадии post-AGB.

Научная новизна работы.

В ходе выполнения работы получен ряд новых результатов.

- Впервые для большинства объектов нашей программы получены и проанализированы обширные данные в трех фотометрических полосах U , B и V .
- Обнаружена переменность блеска 9 звезд, в их числе 5 желтых сверхгигантов с ИК-избытками – полуправильных переменных звезд IRAS 18095+2704=V887 Her, IRAS 19386+0155=V1648 Aql, IRAS 19500-1709=V5112 Sgr, IRAS 19114+0002=V1427 Aql, IRAS 19475+3119 и 4 горячих кандидатов в post-AGB звезды – IRAS 18062+2410=V886 Her, IRAS 19590-1249=V5555 Sgr, IRAS 19200+3457, IRAS 07171+1823, показавших неправильную переменность на коротких временных интервалах в несколько суток.
- Впервые сделан вывод о фотометрической переменности горячих протопланетарных объектов, и выявлена их связь с переменными центральными звездами молодых планетарных туманностей.
- Впервые сделан вывод о быстрой эволюции IRAS 18062+2410=V886 Her как возможной причине систематического ослабления блеска и изменения спектра звезды. V886 Her представляет собой второй пример объекта в post-AGB стадии (после SAO 244567), эволюция которого происходит стремительно в астрономическом масштабе.

Научная и практическая ценность работы.

Полученные многоцветные фотометрические наблюдения представляют собой ценный материал, который содержит большой объем информации по кандидатам в протопланетарные объекты. Результаты, полученные в диссертации, могут использоваться в дальнейшем для сравнения с новыми данными для выявления эволюционных изменений протопланетарных объектов.

Полученные в работе значения периодов и амплитуд колебаний желтых сверхгигантов с ИК-избытками могут быть использованы для проверки теории пульсационной неустойчивости звезд на продвинутых стадиях эволюции.

Выявленные нами эволюционные изменения V886 Her могут служить при тестировании эволюционных треков звезд в post-AGB стадии.

Фотометрические характеристики протопланетарных объектов могут быть использованы для уточнения их классификации в Общем каталоге переменных звезд.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Обнаружение переменности блеска 9 сверхгигантов с ИК-избытками: IRAS 07171+1823, V886 Her, V887 Her, V1427 Aql, IRAS 19200+3457, V1648 Aql, IRAS 19475+3119, V5112 Sgr, V5555 Sgr по результатам многолетних *UBV*-наблюдений.
2. Вывод о характере фотометрической переменности звезд в post-AGB стадии эволюции, сделанный на основании многолетних систематических *UBV*-наблюдений 13 сверхгигантов с ИК-избытками – кандидатов в протопланетарные объекты. Выявлено, что тип переменности зависит от эффективной температуры звезды, т.е. от положения звезды на горизонтальном эволюционном треке. В частности, для шести F-G сверхгигантов с ИК-избытками обнаружены полуправильные изменения блеска с характерными временами от 40 до 130 суток, причиной которых может быть пульсационная неустойчивость. Более горячие звезды – ранние B-сверхгиганты с ИК-избытками – показывают переменность блеска без выраженной периодичности с амплитудами от $0.^m1$ до $0.^m3$ в полосе *V* на временных интервалах от суток до нескольких суток и зависимостью показателей цвета от блеска, которую не удастся объяснить темпера-

турными изменениями. В качестве основной причины фотометрической переменности горячих протопланетарных объектов рассматривается нестабильный звездный ветер, в пользу чего свидетельствуют также результаты спектральных наблюдений.

3. Обнаружение вековых изменений блеска и спектра V886 Her по архивным данным и собственным наблюдениям. Сделан вывод о быстрой эволюции звезды в post-AGB стадии как возможной причине долговременной фотометрической и спектральной переменности объекта.

Список публикаций по теме диссертации

1. Архипова В.П., Иконникова Н.П. *UBV-фотометрия и спектр OY Gem (HD 51585) - звезды в предпланетарной стадии* // 1992, Письма в Астрономический Журнал, **18**, 1017-1027
2. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Носкова Р.И. *О переменности четырех желтых сверхгигантов – возможных протопланетарных объектов* // 1993, Письма в Астрономический Журнал, **19**, 436-442
3. Архипова В.П., Есипов В.Ф., Иконникова Н.П., Носкова Р.И. *Необычная переменность блеска и спектра эмиссионной звезды с ИК-избытком IRAS 18062+2410* // 1996, Письма в Астрономический Журнал, **22**, 526-531
4. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Носкова Р.И., Сокол Г.В., Есипов В.Ф., Клочкова В.Г. *IRAS 18062+2410 – ранняя стадия образования планетарной туманности* // 1999, Письма в Астрономический Журнал, **25**, 30-39
5. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Носкова Р.И., Сокол Г.В. *UBV-наблюдения сверхгигантов в постасимптотической стадии эволюции* // 2000, Письма в Астрономический Журнал, **26**, 705-714
6. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Носкова Р.И., Сокол Г.В., Шугаров С.Ю. *Изменения блеска кандидата в протопланетарные объекты HD 179821 в 1899-1999 гг.* // 2001, Письма в Астрономический Журнал, **27**, 187-193

7. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Носкова Р.И., Комиссарова Г.В., Ключкова В.Г., Есипов В.Ф. *Фотометрическая переменность и спектральные особенности протопланетарной туманности LS II+34°26=V1853 Суг* // 2001, Письма в Астрономический Журнал, **27**, 841-850
8. В.П.Архипова, Н.П.Иконникова, Р.И.Носкова, Г.В. Комиссарова *Фотометрическая переменность протопланетарной туманности LS IV-12°111* // 2002, Письма в Астрономический Журнал **28**, 298-301
9. Архипова В.П., Носкова Р.И., Иконникова Н.П., Комиссарова Г.В. *Кандидат в протопланетарные объекты IRAS 22223+4327 – пульсирующая переменная звезда* // 2003, Письма в Астрономический Журнал, **29**, 545-551
10. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Комиссарова Г.В., Носкова Р.И., Есипов В.Ф. *Фотометрическая переменность и спектр кандидата в post-AGB объекты IRAS 19200+3457* // 2004, Письма в Астрономический Журнал, **30**, 855-860
11. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Комиссарова Г.В., Есипов В.Ф. *Исследование сверхгиганта с ИК-избытком HD 331319* // 2006, Письма в Астрономический Журнал, **32**, 48-56
12. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Есипов В.Ф., Комиссарова Г.В. *Переменность блеска и спектра HD 51585 как проявление звездного ветра* // 2006, Письма в Астрономический Журнал, **32**, 662-671
13. Архипова В.П., Ключкова В.Г., Ченцов Е.Л., Комиссарова Г.В., Есипов В.Ф., Иконникова Н.П. *Спектроскопия и фотометрия кандидата в протопланетарные туманности StH α 62=IRAS 07171+1823* // 2006, Письма в Астрономический Журнал, **32**, 737-747
14. Arkhipova V. P., Ikonnikova N. P., Komissarova G. V., Noskova R.I. *The variability of hot protoplanetary objects and the stellar wind from central stars of planetary nebulae* // 2006, Planetary Nebulae in our Galaxy and Beyond, Proceedings of the International Astronomical Union, Symposium №234. Edited by Ian F. Corbett. Cambridge: Cambridge University Press, 357-358
15. Архипова В.П., Есипов В.Ф., Иконникова Н.П., Комиссарова Г.В., Носкова Р.И. *Переменность и быстрая эволюция протопланетар-*

ного объекта *IRAS 18062+2410=V886 Her* // 2007, Письма в Астрономический Журнал, **33**, 678-689

16. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Комиссарова Г.В., Татарников А.М., Юдин Б.Ф. *Фотометрическая переменность и эволюционный статус сверхгиганта с ИК-избытком HD 179821=V1427 Орла* // 2009, Письма в Астрономический Журнал, **35**, 846-861
17. Arkhipova V.P., Ikonnikova N.P., Komissarova G.V. *UBV-photometry of post-AGB star IRAS 22272+5435=V354 Lac in 1990-2008* // 2009 Variable stars, 29, №1
18. Архипова В.П., Иконникова Н.П., Комиссарова Г.В. *Пульсации и долговременная переменность блеска трех кандидатов в протопланетарные туманности* // 2010, Письма в Астрономический Журнал, **36**, (arXiv:0911.0268)

Все работы написаны в соавторстве. **Личный вклад автора** в совместные работы. Во всех работах, кроме 13, автор участвовал в фотометрических наблюдениях. В работах 1, 3, 7, 10, 11, 12, 13, 15, 16 автором была проведена обработка спектральных наблюдений, получены результаты. Автор внес равный вклад в интерпретацию результатов и основной вклад в написание статей в работах 8-12, 15-18.

Апробация результатов.

Результаты диссертации представлены

- на международных конференциях:
 - IAU Symposium No. 234: "Planetary Nebulae in our Galaxy and Beyond", April 2006, Waikoloa Beach, Big Island, Hawaii, USA
 - "B.V. Kukarkin Centenary Conference: Variable Stars, the Galactic Halo and Galaxy formation", October 2009, Zvenigorod, Russia
- на научной конференции Ломоносовские чтения-2009
- на семинарах:
 - отдела физики эмиссионных звезд и галактик ГАИШ МГУ
 - совета по звездной астрономии ГАИШ МГУ

Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы. Общий объем работы составляет 157 страниц, диссертация содержит 67 рисунков, 12 таблиц, список цитируемой литературы включает в себя 223 ссылки.

Содержание работы

Во **введении** показана актуальность проблемы, цель исследования и постановка задачи. Представлены основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту. Показаны их научная новизна и практическая ценность.

Первая глава диссертации посвящена теоретическому обоснованию существования звезд в post-AGB стадии эволюции и наблюдательным проявлениям кандидатов в звезды post-AGB.

В **разделе 1.1** дано описание теоретических расчетов треков звезд малых и средних масс с учетом потери массы на ветви красных гигантов, асимптотической ветви гигантов и стадии post-AGB, проведенных Блекером (1995а, 1995б).

Раздел 1.2 посвящен наблюдательным проявлениям звезд в post-AGB стадии. Особое внимание уделено миссии IRAS, которая послужила отправной точкой систематических исследований звезд промежуточных масс на поздних стадиях эволюции. Обсуждаются критерии отбора звезд в кандидаты в протопланетарные объекты на основании их ИК-свойств, особенностей химсостава звезд и их пылевых оболочек. Поскольку данная работа посвящена исследованию нестационарности post-AGB звезд, дано краткое описание типов переменности звезд на поздних стадиях эволюции.

Во **второй главе** приводится список 13 объектов исследования с обоснованием включения этих звезд в выборку кандидатов в звезды post-AGB стадии. Дается описание аппаратуры, с помощью которой проводились фотометрические и спектральные наблюдения, а также методики наблюдений и обработки данных.

Третья глава посвящена исследованию желтых сверхгигантов с ИК-избытками на основании фотометрических наблюдений. Для каждой из 7 звезд приводятся результаты многолетних наблюдений в трех фотометрических полосах U , B и V – кривые блеска и показателей цвета, диаграммы "цвет-величина", двухцветные диаграммы, даются оценки

избытков цвета. Для всех программных объектов проведен поиск периодичности. Для IRAS 19114+0002 приводятся также результаты спектральных наблюдений с низким разрешением в видимой и ближней ИК-областях. Практически для всех звезд прослежена фотометрическая история и проанализированы данные о спектральной классификации в прошлом. Сделан вывод о характере переменности F-G сверхгигантов с ИК-избытками.

Многолетние фотометрические наблюдения программных звезд позволили выявить полуправильные изменения их блеска с периодами от 40 до 130 суток, а также проследить долговременные тренды блеска и показателей цвета, обусловленные изменением параметров звезд и/или окружающих их оболочек.

Объект с не вполне определенным эволюционным статусом V1427 Aql показал бимодальные колебания с периодами $P_0=203^d$ и $P_1=141^d$, значительно превышающими периоды пульсаций других поздних F-сверхгигантов из нашей выборки. Этот факт, а также характер долговременной переменности и повышенная интенсивность триплета OI $\lambda 7773 \text{ \AA}$ ($W_\lambda=2.7 \text{ \AA}$) являются указанием на высокую светимость объекта, и, возможно, перемещает звезду из post-AGB звезд в массивные сверхгиганты.

Анализ фотометрического поведения остальных шести звезд из нашей выборки позволил сделать следующие выводы о характере переменности F-G сверхгигантов с инфракрасными избытками – кандидатов в протопланетарные объекты.

1. Переменность желтых сверхгигантов в post-AGB стадии эволюции характеризуются полуправильными малоамплитудными ($0.^m1 < \Delta V < 0.^m5$) колебаниями с продолжительностью циклов от 40 до 130 суток в зависимости от спектрального класса. Более холодные звезды показывают переменность с большими периодами и амплитудами и с более регулярной периодичностью.
2. Для двух звезд – V1648 Aql и V354 Lac – обнаружены колебания на двух близких частотах, явившиеся причиной амплитудной модуляции их кривых блеска.
3. В качестве основной причины квазипериодической переменности звезд в широком диапазоне эффективных температур от 5600 до 8000 К рассматриваются пульсации, природа которых (радиальные или нерадиальные) пока не ясна. В пользу пульсационной неустойчивости могут свидетельствовать: корреляция показателей цвета

с блеском (звезды становятся более голубыми при поярчании), ход на двухцветной диаграмме $U-B$, $B-V$, указывающий на изменение температуры во время колебаний для большинства звезд, а также тот факт, что более горячие звезды имеют менее продолжительные циклы колебаний.

4. Полуправильная переменность в отдельных случаях сопровождается нестабильностью, связанной с другими механизмами, возможно, присутствием нестационарного звездного ветра, что определяет для некоторых звезд неоднозначную связь блеска и показателей цвета во время колебаний, а для IRAS 19475+3119 ход на двухцветной диаграмме, который не удастся объяснить температурными изменениями.
5. Для V887 Her, V1648 Aql и V5112 Sgr были выявлены долговременные тренды блеска и (для V1648 Aql и V5112 Sgr) показателей цвета.

- В случае V887 Her повышение блеска при, в общем, неизменных средних показателях цвета мы попытались объяснить эволюцией окружающей звезду пылевой оболочки – просветлением и/или разрушением крупных пылевых частиц, вызывающих неселективное поглощение света в оболочке.
- Систематическое покраснение при поярчании V1648 Aql, возможно, вызвано эпизодом усиленной потери массы, в результате которого увеличилась толщина газовой оболочки звезды, вследствие чего излучение в непрерывном спектре стало приходить от более высоких и холодных слоев фотосферы.
- V5112 Sgr, заподозренная ранее в спектральной двойственности, испытала в 1999 г. ослабление блеска, которое может быть интерпретировано как затмение в двойной системе.

В четвертой главе приводятся результаты фотометрических и спектральных наблюдений горячих протопланетарных объектов. Для шести звезд программы получены кривые блеска и показателей цвета, проанализированы двухцветные диаграммы и диаграммы "цвет-величина", получены оценки поглощения света. Проанализированы эмиссионные спектры объектов, определены эквивалентные ширины и абсолютные интенсивности эмиссионных линий. Для IRAS 06556+1623 и IRAS 18062+2410

прослежена эволюция спектров на протяжении более десятка лет. Выявлены общие свойства фотометрического поведения горячих протопланетарных объектов. Сделан вывод о возможных причинах их переменности, прослежена связь между горячими протопланетарными объектами и "холодными" центральными звездами молодых планетарных туманностей.

Установлено, что горячие кандидаты в протопланетарные объекты – ранние В-сверхгиганты с инфракрасными избытками с температурами от 19000 до 28000 К – испытывают нестабильность от ночи к ночи с характерными временами несколько суток, максимальными амплитудами от $0.^m2$ до $0.^m4$ и зависимостью показателей цвета от величины, которую не удается объяснить температурными изменениями. Нами было высказано предположение о том, что основной причиной фотометрической переменности горячих протопланетарных объектов является нестабильный звездный ветер. Спектральные данные – переменная интенсивность эмиссионных линий и профили типа P Cyg у линий H I и He I в спектрах этих звезд – согласуются с этим предположением.

Пятая глава посвящена наблюдательным проявлениям быстрой эволюции двух объектов в post-AGB стадии – SAO 244567 и IRAS 18062+2410.

Согласно теории эволюции звезд промежуточных масс (от 1 до $8 M_{\odot}$ на начальной главной последовательности), продолжительность post-AGB стадии зависит от начальной массы звезды, истории потери массы звездой на асимптотической ветви гигантов и массы ядра будущей планетарной туманности. Блекер (1995б) показал, что при определенном наборе этих параметров существует возможность очень быстрой, за время менее 1000 лет, эволюции звезды от вершины AGB до начала стадии планетарной туманности.

Среди протопланетарных объектов – будущих планетарных туманностей есть несколько звезд, эволюция которых происходит стремительно в астрономическом масштабе. Так, считается, что IRAS 17119-5926=SAO 244567=V839 Ara за 20 лет прошла путь от звезды В1-В2 с эмиссионными линиями водорода в спектре до центральной звезды планетарной туманности с температурой около 40000 К (Партасарати и др., 1995).

В Каталоге Хенайза (1976) звезда имеет обозначение Hen 3-1357 и спектральный тип В или А с эмиссией H α . По спектру, полученному в 1971 г., Партасарати и др. (1995) приписали звезде спектральный класс В1 или В2 и I или II класс светимости и, соответственно, температуру $T_{eff}=21000$ К. В 1990 г. объект уже имел спектр типичный для плане-

тарной туманности, возбуждаемой звездой с температурой $T_{eff}=40000$ К (Партасарати и др., 1995).

Претерпел изменение и блеск звезды. В конце XIX века на фотографическом снимке SAO 244567 имела блеск $m_{pg} = 8.^m9$ (1895-1900, The Cape photographic Durchmusterung), тогда как в 1980 г. она уже была слабее на 2^m : $B = 10.^m91$ (Kozok, 1985). Как и ожидается, во время эволюции звезды при постоянной болометрической светимости в область более горячих звезд блеск в оптическом диапазоне падает, поскольку максимум излучения смещается в коротковолновую область.

Эволюционные изменения другого объекта – IRAS 18062+2410 – были выявлены нами на основании анализа сведений о звезде в исторических каталогах (BD, HD и других), оценок блеска звезды на пластинках Московского архива ГАИШ и современных фотометрических и спектральных наблюдений.

На рис. 1 собраны оценки блеска звезды по перечисленным выше атласам и каталогам, по нашим измерениям на пластинках Службы неба ГАИШ и среднегодовые величины в полосах B и V по UBV -наблюдениям с 1995 по 2006 г.

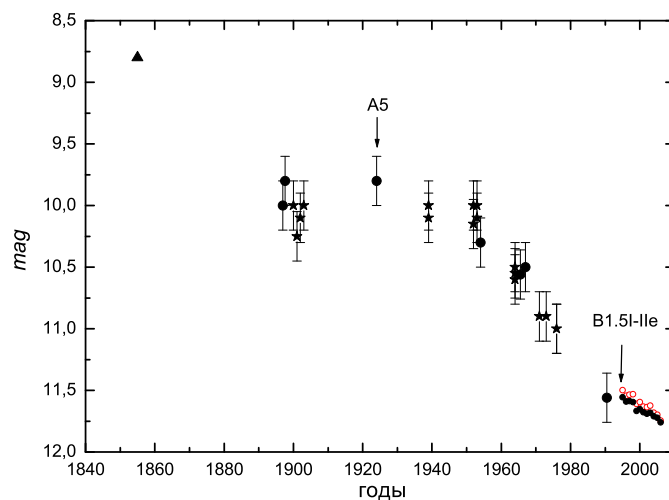


Рис. 1: Изменение фотографического и визуального блеска IRAS 18062+2410 за период 1855-2006 гг. Черные кружки – блеск звезды в фотографических лучах из каталогов и атласов, звездочки – измерения блеска звезды на пластинках Службы неба ГАИШ, черные точки – наши наблюдения в B -лучах, открытые кружки – наши наблюдения в V -лучах, треугольник относится к оценке визуального блеска звезды в каталоге BD.

Изменение блеска V886 Her, в общем, согласуется с изменением спектрального класса звезды от A5 в эпоху каталога HD до B1.5 в современную эпоху, если предположить, что причиной является эволюция звезды при постоянной болометрической светимости в область горячих звезд.

Спектральные наблюдения с низким разрешением, проведенные нами с 1995 по 2006 гг., выявили систематический рост эквивалентных ширин эмиссионных линий $H\alpha$, $H\beta$, $[NII] \lambda 6584 \text{ \AA}$, $OI \lambda 8446 \text{ \AA}$, $[OII] \lambda 7320 - 7330 \text{ \AA}$. Поток в линии $H\beta$ возрос более чем в два раза, уровень континуума в оптическом диапазоне понизился. Указанные спектральные изменения могут быть вызваны ростом степени ионизации газовой оболочки вследствие увеличения температуры ионизирующей звезды. Эффективная температура звезды в настоящее время составляет $\sim 21000 \text{ K}$. При скорости увеличения ее температуры $\sim 200 \text{ K}$ в год можно ожидать, что звезда через 100 лет достигнет температуры 40000 K и станет ядром планетарной туманности.

Сравнение наблюдательных данных с теоретическими эволюционными треками звезд в постасимптотической стадии дало оценку современной массы звезды $M \sim 0.70 M_{\odot}$.

В **приложении** приведены результаты спектральных наблюдений с низким разрешением в ближнем ИК-диапазоне желтых сверхгигантов из нашей выборки. Обсуждаются возможности использования некоторых абсорбционных линий для оценки эффективной температуры и светимости звезд.

Список литературы

Блекер (T. Blöcker), *Astron. Astrophys.* **297**, 727 (1995a)

Блекер (T. Blöcker), *Astron. Astrophys.* **299**, 755 (1995b)

Клочкова В.Г. *Специальная астрофизическая обсерватория РАН: 40 лет: юбилейный сборник* / отв. ред. Ю.Ю.Балега, Нижний Архыз (2006)

Козок (J.R. Kozok), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **62**, 7 (1985)

Мейкснер и др. (M. Meixner, T. Ueta, A. Dayal et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **122**, 221 (1999)

Партасарати и др. (M. Parthasarathy, P. García-Lario, D. De Martino),

Astron. Astrophys. **300**, L25 (1995)

Сахай и др. (R. Sahai, M. Morris, C. Sánchez Contreras and M. Claussen),
Astron. J. **134**, 2200 (2007)

Суарес и др. (O. Suárez, P. García-Lario, A. Manchado, M. Manteiga, A.
Ulla and S.R. Pottasch), Astron. Astrophys. **458**, 173 (2006)

Щерба и др. (R. Szczerba, N. Siodmiak, G. Stasinska and J. Borkowski),
Astron. Astrophys. **469**, 799 (2007)