

объектов малоизученным остаётся сам переход к этой стадии. Неясно и с какими процессами связано окончание LBV фазы. Кроме того, недавние исследования показали, что прародителями некоторых гамма-всплесков являются объекты, похожие на LBV звёзды. Вероятно, что LBV фаза в жизни массивных звёзд может быть как промежуточной, так и финальной. Исследуя Галактические O-звёзды, звёзды WR и LBV, мы получаем возможность проверить справедливость существующих эволюционных теорий.

Диссертация посвящена детальному исследованию массивных звёзд на разных стадиях эволюции методами спектроскопии и численного моделирования атмосфер. Из-за сложности оценок расстояний до массивных звёзд высокой светимости внутри Галактики, для исследования выбраны внегалактические объекты и Галактические, принадлежащие звёздной ассоциации Cygnus OB2, расстояние до которой измерено различными методами. Понимание физики и эволюции массивных звёзд высокой светимости создает фундамент для понимания физики звёзд в целом.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы и содержит 172 страницы текста, 55 рисунков, 24 таблицы и 257 цитируемых источников.

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели и задачи исследования, описывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Перечислены выносимые на защиту результаты со степенью их апробации и приведен список публикаций по теме диссертации с указанием личного вклада автора. Вторая часть Введения содержит краткое описание структуры диссертации.

Первую главу составляет описание истории представлений об эволюции массивных звёзд и современного состояния этой области астрофизики, описание методов численного моделирования атмосфер горячих звёзд, а также кода CMFGEN, который использовался автором как основной инструмент для определения параметров атмосфер массивных звёзд.

Вторая глава посвящена исследованию пяти звёзд из ассоциации Cyg OB2 со слабыми ветрами. По спектрам, полученным на БТА с помощью спектрографов NES и SCORPIO, определены параметры атмосфер выбранных звёзд, в том числе оценен темп потери массы. По положению звёзд на диаграммах сделаны оценки эволюционных масс и возрастов данных объектов. В итоге автор подтверждает гипотезу о каскадном процессе звездообразования в ассоциации, выдвинутую ранее.

Третья глава содержит результаты исследования двух сверхгигантов Cyg OB2 №7 (O3 If*) и Cyg OB2 №11 (O5.5 Ifc). На основе уникального по спектральному разрешению спектра сверхгиганта №7, полученного на БТА на спектрографе NES, и спектров с Российско-Турецкого телескопа, полученных по заявке диссертантки, обнаружено наличие в спектре звезды №7 групп линий, указывающих на разный темп потери вещества, что предположительно связано с неоднородностью ветра, вызванной вращением. Автор делает вывод, что Cyg OB2 №7 является еще одной

горячей звездой, у которой обнаружена зависимость плотности ветра от широты. Для Cyg OB2 №11 автор находит, что содержание азота в её атмосфере ниже, чем у нормальных O-звёзд, а содержание углерода примерно солнечное, и делает вывод, что в атмосфере звезды №11 скорее всего подавлен механизм выноса продуктов CNO цикла из ядра на поверхность звезды.

Четвертая глава посвящена исследованию переменности звезды Романо (GR290 или V532 (M33)). В данной главе наглядно продемонстрировано изменение структуры ветра между 2002 и 2014 годом в период, охватывающий два максимума (2005 и 2011 года) и три минимума блеска (2002, 2007 и 2014 года). Опираясь на результаты численного моделирования, автор показывает, что звезда Романо находится на стадии перехода из области LBV звёзд к стадии звезды Вольфа-Райе.

Пятая глава рассказывает о двух звёздах Вольфа-Райе азотной последовательности – WR156, принадлежащей нашей Галактике, и FSZ35 из галактики M33. Автором проведена спектральная классификация FSZ35 и показано, что она относится к звёздам WN8h. Для WR156 автор оценивает долю водорода в атмосфере и показывает, что она является самой богатой водородом звездой типа WN8 в Галактике. Скорость ветра WR156 ниже, чем у других звёзд типа WN8h, и по этому параметру WR156 лежит между пост-LBV звездой Романо и звёздами типа WN8h. Автор заключает, что WR156 относительно недавно перешла в область звёзд азотной последовательности (WN) и является менее проэволюционировавшей по сравнению с FSZ35.

Последняя **Шестая глава** представляет исследование гипергиганта Cyg OB2 №12, одной из самых массивных звёзд в Галактике, которая на диаграмме Герцшпрунга-Рассела располагается выше предела Хэмприс-Давидсона и на основе этого включена в список Галактических звёзд LBV. В отличие от предыдущих глав, в которых определялись параметры массивных звёзд на той или иной эволюционной стадии, основной целью данной главы является понимание природы сильного межзвёздного покраснения, которое наблюдается в направлении звезды №12. В результате проведённого в этой главе исследования построена карта межзвёздного покраснения в области звезды №12 и найдено, что покраснение возрастает при приближении к гипергиганту. Самыми поглощёнными звёздами в ассоциации Cyg OB2 после звезды №12 являются соседние с ней звёзды, отстоящие от неё на 15 угловых секунд. Сделан вывод, что избыток поглощения связан с околзвёздной оболочкой.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Работа написана очень хорошим научным языком и прекрасно оформлена. Однако, я могу сделать несколько замечаний, главным образом, редакционного характера:

- Страница 52 – написано «согласуются с теоретическими оценками \dot{M}_{vink} . Теоретические оценки \dot{M}_{vink} рассчитаны по формуле«...» выведенной

Й.Винком на основе эмпирических зависимостей». Раз зависимость эмпирическая, то оценки не могут быть теоретическими. Лучше было бы написать «согласуются с оценками, полученными на основе эмпирической зависимости...».

- Страница 58 – опечатка название в название телескопа, вместо «SUBARU» написано «SUBARY».
- Страница 83, таблица 3.7 – в первой колонке к номерам звёзд из каталога Генри Дрейпера следует добавить буквы HD для ясности, в пятой колонке для оценок темп потери массы вместо стандартной записи « $\cdot 10^{-6}$ » используется запись «e-6», принятая в компьютерных вычислениях.
- На странице 85 критерий Колмогорова-Смирнова не вполне корректно назван «методом Колмогорова-Смирнова».
- Страница 90, рисунок 4.2 – в легенде рисунка почему-то удвоены символы, соответствующие разным источникам данных.
На той же странице вместо «Хадельбергском архиве» следует писать «Гейдельбергском архиве».
- На странице 100 в подписи к рисунку 4.6 пропущено слово «спектры».
- На странице 114 допущена ошибка в названии обсерватории Маунт-Вилсон, написано через о.
- В тексте диссертации ссылки на источники выделены синим цветом, что удобно. Однако так выделены почему-то не все ссылки (см. к примеру стр. 99).

Указанные неточности не умаляют достоинств диссертационной работы и не влияют на результаты, выносимые на защиту.

Результаты включенные в диссертацию прошли надлежащую апробацию на 6 российских и 11 международных конференциях с личным участием автора и опубликованы в 12 статьях в высокорейтинговых, рецензируемых изданиях. Результаты данной работы могут быть использованы во многих астрономических центрах, изучающих вопросы физики и эволюции звёзд САО РАН, ГАИШ, ИНАСАН, ГАО РАН, ИА СПГУ, КФУ, КрАО и др.

Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

Считаем, что диссертация ``Спектроскопические проявления эволюции массивных звёзд" является законченным научным исследованием, обеспечивающим дальнейшее развитие теории физики и эволюции звёзд, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Марьева Ольга Викторовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная

автономия.

Отзыв на диссертационную работу Марьевой О.В. обсужден и одобрен на научном собрании астрофизических подразделений ГАО РАН от 21 сентября 2016 года (протокол N 6).

Отзыв составил

доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник ГАО РАН

Михаил Александрович Погодин

Подпись Погодина М.А. подтверждаю:
ученый секретарь ГАОРАН,
кандидат физико-математических наук



Борисевич Татьяна Петровна

196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе 65/1,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
Российской академии наук,
email: mar@gao.spb.ru; тел.+7(812)363-7207