

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 39

ФЕВРАЛЬ, 1996

ВЫПУСК 1

УДК: 524.338.7

ОБЗОРЫ

## ПЕРЕМЕННЫЕ ТИПА R СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ: ОБЗОР ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.Э.РОЗЕНБУШ

Поступила 11 января 1996

Принята к печати 25 февраля 1996

Представлен обзор основных фотометрических, спектральных и поляриметрических наблюдательных данных для переменных типа R Северной Короны. Дается сопоставление некоторых свойств звезд этого типа с переменными других типов с признаками интенсивной потери массы.

1. *Введение.* Изучение переменных звезд дает ключ к пониманию эволюции звездного населения. Тип переменности часто бывает связан с критическими стадиями эволюции. Кратковременность стадии приводит к редкости объектов с таким типом переменности, что усложняет изучение таких звезд. В некоторой степени это можно компенсировать изучением подобного явления у звезд с другой эволюцией. Комбинируя знания о таких объектах, мы получим правильное представление о причинах и механизмах переменности.

Переменные звезды типа R Северной Короны относятся к таким объектам. Классификация звезды как переменной типа R Северной Короны основана на фотометрическом и спектральном признаках. Блеск характеризуется чередованием двух состояний: спокойного и активного. В спокойном состоянии - максимуме блеска - звезда показывает полуправильные пульсации блеска с амплитудой до  $0^m.4$  и периодом около 40 и более дней. В активном состоянии - минимуме блеска - яркость звезды может уменьшаться на  $0^m.5+8^m$ . Кривая блеска очень типична: сравнительно быстрое (за 20-50 дней) и плавное уменьшение видимого блеска, состояние минимального блеска разной продолжительности (до сотен дней) с некоторыми колебаниями яркости в этой фазе и более медленное (до сотни дней) восстановление спокойного состояния (рис. 1). Фотометрический признак дополняется спектральным: отсутствие или

слабость линий водорода на спектрограммах низкого разрешения, присутствие сильных линий атомарного углерода и полос Свана молекулы углерода  $C_2$  (сравнительно с нормальными звездами соответствующего спектрального класса). В активном состоянии спектр показывает радикальные изменения: абсорбционный спектр исчезает и появляются эмиссионные линии Ti II, Sc II, Sr II и других элементов и эмиссионная полоса молекулы CN. К особенностям этих звезд относят существование избытка инфракрасного излучения, связанного с перманентной околозвездной пылевой оболочкой с чернотельной температурой  $T_{\text{эф}}=500-900\text{K}$ . Последнее подтвердило гипотезу Лорета-О'Кифа [1,2] образования углеродной пыли в атмосферах звезд этого типа и экранировании ею звезды, что наблюдается как минимум блеска. Вынос пыли лучистым давлением в окрестности звезды означает окончание минимума. В

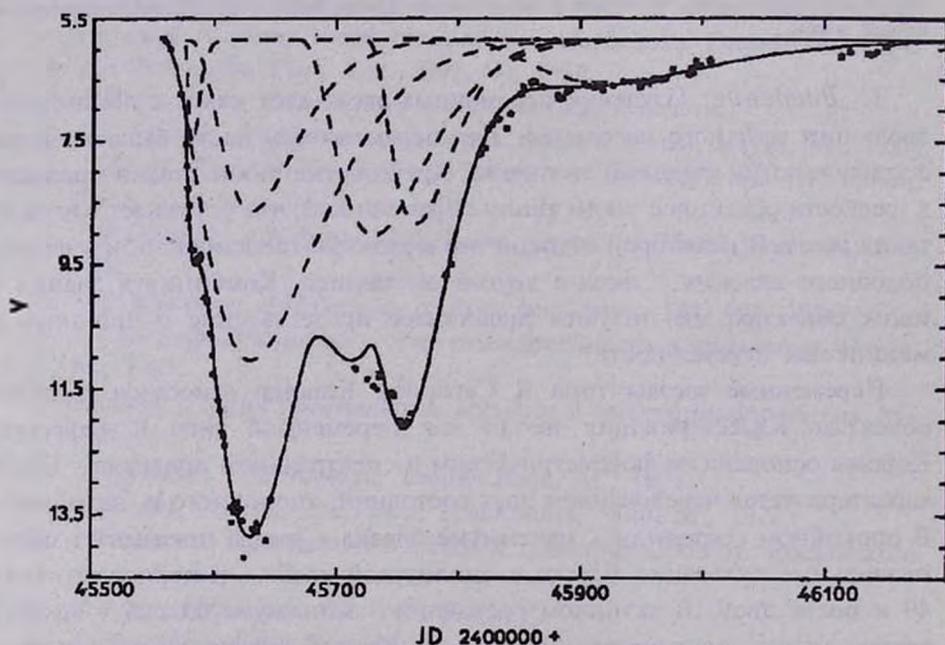


Рис. 1. Кривая блеска R CrV в минимуме 1983 г. Точки - фотоэлектрические наблюдения (для ссылок см. [135]). Сплошная линия - аппроксимация наблюдаемой кривой блеска с помощью формулы (2), штриховые линии - расчетные независимые события минимумов. Параметры следующие:  $m_{\text{max}}=5^m.85$ ;  $\Delta m=1.7, 5.2, 2.8, 3.2, 3, 0.7$ ;  $T=2445582, ..630, ..630, ..730, ..765, ..920$ ;  $T_0=7, 75, 50, 60, 40, 120$ .

максимуме блеска экранирующей пыли нет. Влияние околосредной перманентной пылевой оболочки на наблюдаемые характеристики центрального источника излучения, собственно звезды, пока не установлено.

В начале XX века этот тип переменности был представлен несколькими звездами. К настоящему времени их насчитывается около 30. Они являются холодными членами группы звезд с дефицитом водорода. Их обозначают HdC: звезды с дефицитом водорода и избытком углерода. Имеются и малопеременные HdC звезды. Остальные члены более обширной группы H-дефицитных звезд: гелиевые звезды с почти полным отсутствием водорода, гелиевые звезды с промежуточным содержанием водорода и с высоким ускорением силы тяжести [3]. Сюда относятся также четыре двойных системы, один из компонентов которых показывает дефицит водорода.

Некоторое представление об условиях наблюдений дает табл. 1: о диапазоне яркости звезд в максимуме и амплитуде минимумов блеска, о размещении на небесной сфере (по принадлежности к созвездию). Это определяет основные ограничения на получение полного и качественного наблюдательного материала для этой группы звезд. XX Sam не включена в эту таблицу, так как она не показывает характерной переменности и ее следует отнести к малопеременным членам группы HdC звезд. В табл. 1 приведены данные для наиболее изученных и активных звезд, среди которых выделяются R CrB и RY Sgr, имеющие наиболее обширный наблюдательный материал. Эти две звезды очень удачно дополняют друг друга. Первая может служить удобным объектом для установления закономерностей в ходе минимума, вторая - для выяснения условий для начала минимумов из-за своих четко выраженных пульсаций. Открытие RCB переменности у V854 Cep, третьей по яркости звезды этой группы, произошло недавно, но ее исследование уже дало очень важные результаты. FG Sge только недавно стала изучаться как RCB звезда и следует ожидать интересных результатов, связанных с эволюцией подобных объектов.

Обсуждению состояния знаний об этих переменных был посвящен Коллоквиум МАС No 87 в 1985г., показавший распространенность некоторых, казалось бы, уникальных свойств среди звезд широкого диапазона температур и светимостей. За последние десять лет появились новые данные и, как нам представляется, из поля зрения исследователей этих звезд выпал большой объем наблюдений, опубликованных в

Таблица 1

**НЕКОТОРЫЕ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕЗД С  
ПЕРЕМЕННОСТЬЮ ТИПА R СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ**

Назван. звезды	Блеск в макс. $V_{max}$	Глубина минимума $\Delta m$	$B-V$	Спектр. класс Sp	$M_v$	Литерат. ист.
1. UX Ant	12 <sup>m</sup> .0	5 <sup>m</sup> .4	0 <sup>m</sup> .55	-	-3 <sup>m</sup>	[4,5,6]
2. S Aps	9.8	5.6	1.23	R3	>1	[7,5]
3. U Aqr	11.0	>4	0.96	-	2.5	[5,8]
4. UV Cas	10.6	4.7	1.46	G4	-3	[5,9]
5. UW Cen	9.2	6.4	0.72	-	-3	[10,6]
6. DY Cen	12.2	>4	0.39	B	-	[7]
7. V854 Cen	7.2	7.5	0.50	-	-3	[11]
8. V CrA	10.2	8.2	0.79	R0	-5	[5,12]
9. WX CrA	11.4	>5	1.34	R5	>-1	[5,12]
10. R CrB	5.9	9	0.60	F8	-5	[12]
11. V482 Cyg	10.8	7	1.55	G4	-2.5	[13]
12. W Men	13.8	>4	0.44	F8	-5	[12,14]
13. Y Mus	10.3	1.6	0.93	-	>-3.7	[15]
14. RT Nor	10.7	5	1.06	R	0.6	[5,12]
15. RZ Nor	10.7	5.7	1.10	-	-0.5	[5,6,16]
16. V517 Oph	11	8.3	-	R0	-	[17]
17. SV Sge	10.8	>4	1.90	R2	-2.3	[5,15]
18. FG Sge	9.2	>5	1.8	-	-5	[18]
19. RY Sgr	6.5	9	0.65	G0	<-4	[12]
20. GU Sgr	10.1	3.7	1.17	R0	3	[19]
21. MV Sgr	12.7	3.6	0.26	B	-1.5	[5,12]
22. V348 Sgr	11.8	8.5	0.30	-	-5.5	[5,19]
23. V3795 Sgr	11.0	3.5	1.02	G	-	[19,20]
24. SU Tau	9.8	6.5	1.09	G0	-3	[5,12]
25. RS Tel	9.8	>3	0.81	R0	>2	[5,19]
26. HV 5637	15.8	-	1.37	-	-3	[14]
27. HV 12842	13.6	-	0.51	-	-5	[14]

русскоязычной литературе. Среди публикуемых обзоров по звездам типа R Северной Короны выделяются регулярные обзоры Фиста [14, 21, 22, 23], упомянем также обзор Килксенни [24]. По-прежнему важное место занимает наиболее полный обзор по звездам типа R Северной Короны, содержащийся в монографии Жиляева и др. [12]. Надеемся, что данный обзор будет полезным дополнением к материалам II международного коллоквиума по звездам с дефицитом водорода (1995г., Бамберг, Германия).

Несколько слов об используемой нами в дальнейшем терминологии. К переменности типа RCB уже некоторое время применяется термин "феномен RCB" [25,26]. Это удачный термин, так как переменность типа R Северной Короны в той или степени подобия показывают звезды очень различных эволюционных стадий: новые на переходной фазе вспышки [27,28]; сами переменные, включаемые в эту группу, имеют широкое распространение на диаграмме Герцшпрунга-Рессела [5]. Поэтому мы будем использовать его в некоторых общих случаях. Также будем иногда употреблять термин "классические" переменные типа RCB для обозначения группы из нескольких звезд: R CrB, RY Sgr и, возможно, SU Tau, обладающих очень близкими характеристиками: светимостями, температурами.

## 2. Фотометрия в спокойном состоянии. пульсации звезды.

К настоящему времени измерениями интенсивности излучения звезд типа R Северной Короны охвачен весь доступный оптический диапазон длин волн: ультрафиолетовый (УФ), видимый, инфракрасный (ИК). Фотометрия дала наибольший объем данных, с начала 60-ых годов начала выполняться фотоэлектрическая фотометрия [29], имеется и неопубликованная до сих пор фотометрия Смака для R CrB в минимуме блеска 1962г. [30]. Как мы уже упоминали, звезда имеет два состояния: спокойное и активное.

Фотометрия в спокойном состоянии дает представление о распределении энергии в спектре и в совокупности со спектральной классификацией она позволяет оценить межзвездное поглощение, а следовательно, и расстояние до звезды, а значит такую важную характеристику как светимость звезды. Привлекая данные поляриметрии можно выполнить такое исследование с большей уверенностью. Такой подход был применен Ефимовым [31] для определения абсолютной визуальной звездной величины  $M_v$  SU Tau. Впоследствии таким образом были оценены  $M_v$  для многих переменных типа RCB [5,8,15]. Суммирование этих результатов

и определений других авторов содержит табл.1.

Распространенность переменных типа RCB на диаграмме Герцшпрунга-Рессела (рис. 2) указывает на отсутствие единой эволюционной последовательности, приводящей к этой переменности. Скорее всего это звезды, находящиеся на разных эволюционных последовательностях, но проходящие позднюю стадию своей эволюции с интенсивной потерей массы вследствие пульсационной нестабильности или других причин, свойственных звездам небольшой массы. Дефицит водорода и избыток углерода в поверхностных слоях является следствием такой эволюции звезды.

В спокойном состоянии звезды также показывают переменность блеска - полуправильные пульсации блеска [32,33], которые сопровождаются пульсациями лучевых скоростей. Наиболее подробно пульсации изучены у RY Sgr. Было обнаружено одно важное для понимания феномена R

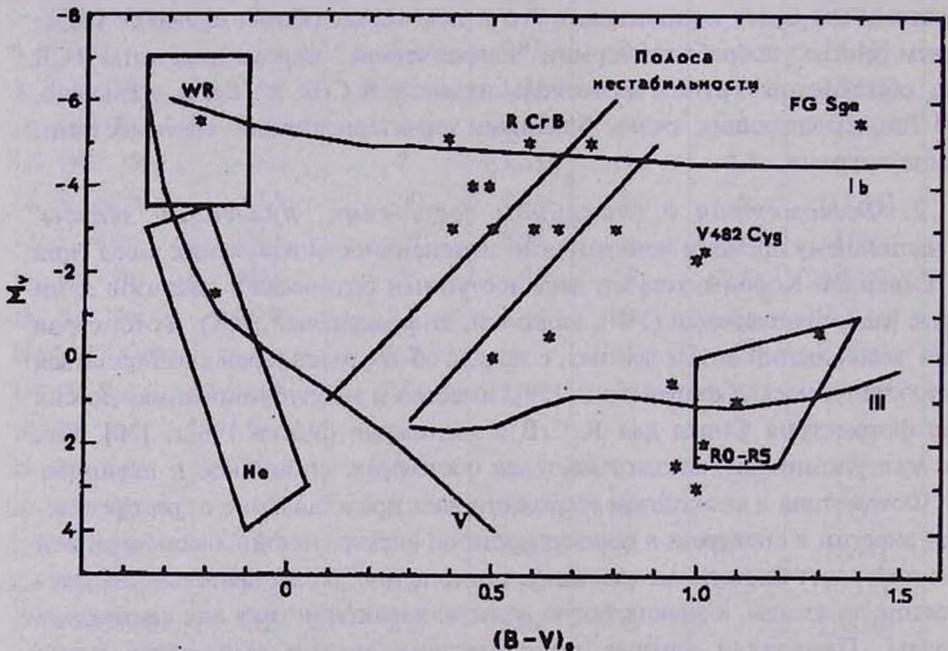


Рис. 2. Положение переменных с феноменом R Северной Короны на диаграмме Герцшпрунга-Рессела. Линии показывают последовательности сверхгигантов (Ib), гигантов (III) и карликов (V). Отмечены области локализации звезд Вольф-Райе (WR), гелиевых (He) и углеродных звезд ранних спектральных классов (R0-R5). Две параллельные линии ограничивают полосу нестабильности.

Северной Короны свойство: минимум блеска всегда начинается после максимума пульсации [34]. Этой закономерности подчиняются также другие звезды [35].

Была серия работ, показавших уменьшение  $38.6^d$  периода пульсаций RY Sgr со скоростью около  $5 \times 10^{-4}$  сут/цикл [36,37]. Сравнительно недавно к этому вопросу вернулись снова, но результат исследования был другой: средний период пульсаций за 90 лет не изменился [38]. Однако, по-видимому, реальные изменения есть и их можно представить кубическим уравнением [39]:

$$JD_{\text{max}} = 2433664 + 38.5736 \times n - (581 + 11) \times 10^{-6} \times n^2 + (594 \pm 50) \times 10^{-9} \times n^3, \quad (1)$$

из которого следует, что результирующее изменение периода пульсаций за 90 лет имеет нулевое значение.

Имеется свидетельство возникновения ударной волны в атмосфере RY Sgr: разрыв кривой лучевых скоростей, возникающий вблизи минимального радиуса звезды в данной пульсации и наблюдаемый как расщепление линий поглощения [40]. Амплитуда расщепления у линий с низким потенциалом возбуждения выше, чем с высоким потенциалом: 35 км/с и 20 км/с соответственно [41]. Наше исследование кривой блеска RY Sgr [42] позволяет допустить, что началом минимума можно считать момент наибольшего расщепления кривой лучевых скоростей, наступающего около максимума блеска в пульсации [41].

Пульсации звезды усложняют интерпретацию спектральных наблюдений высокого разрешения, особенно если они единичны. Впервые раздвоение линий у RY Sgr было отмечено Данцигером [43]; и только спустя длительное время была выяснена причина этого, как следствие пульсаций. Сильная линия Sc II  $\lambda$  4246 у R CrV выглядит двойной [44, 45]. Но последние авторы объясняют это хромосферной эмиссией, забывая о пульсациях звезды и возможности расщепления линий.

Пульсации RY Sgr в показателях цвета  $B-V$  и  $U-B$  повторяет также интенсивность молекулярных полос  $C_2$  и CN [46].

Пульсации лучевых скоростей у R CrV начал изучать Хербиг [47]: полная амплитуда колебаний лучевой скорости около 24 км/с, что дает колебания радиуса около  $30R_{\odot}$ , корреляция с блеском отсутствует. В настоящее время он располагает обширным неопубликованным материалом по многим звездам этого типа (частное сообщение Хербига для Лоусона и др. [41]). Систематические измерения лучевых скоростей R CrV выполнили Горыня и др. [48]: амплитуда небольшая (в 1990 г.

была около 11 км/с) и нестабильна (в 1991 г. она не превышала ошибок измерений). Положение усложняется мультипериодичностью пульсаций R CrB: выделяются периоды около  $27^d$ ,  $44^d$ ,  $52^d$  и  $56^d$  с амплитудами  $0^m.05+0^m.3$  [49,50] и дискуссия по ним не закончена.

Были исследования типа пульсаций у R CrB и RY Sgr. У первой они сходны с пульсациями классических цефеид [51] или переменных типа RV Tau [52], у второй имеется некоторое сходство с RV Tau [51].

В минимуме блеска пульсации сохраняются, усложняя форму кривой блеска. Сохранение пульсаций во время минимума отчетливо видно у RY Sgr в 1967-69 гг. [53]. На рис. 3 это видно по кривой лучевых скоростей. Хотя кривая пульсаций лучевых скоростей по эмиссионным линиям неполная, все же можно заметить, (1) что область, излучающая эмиссии, пульсирует с такой же амплитудой, что и абсорбции, но со сдвигом по фазе около  $+12^d$ , (2) что кривая пульсаций лучевой скорости эмиссий во время минимума смещена относительно абсорбций на  $-45$

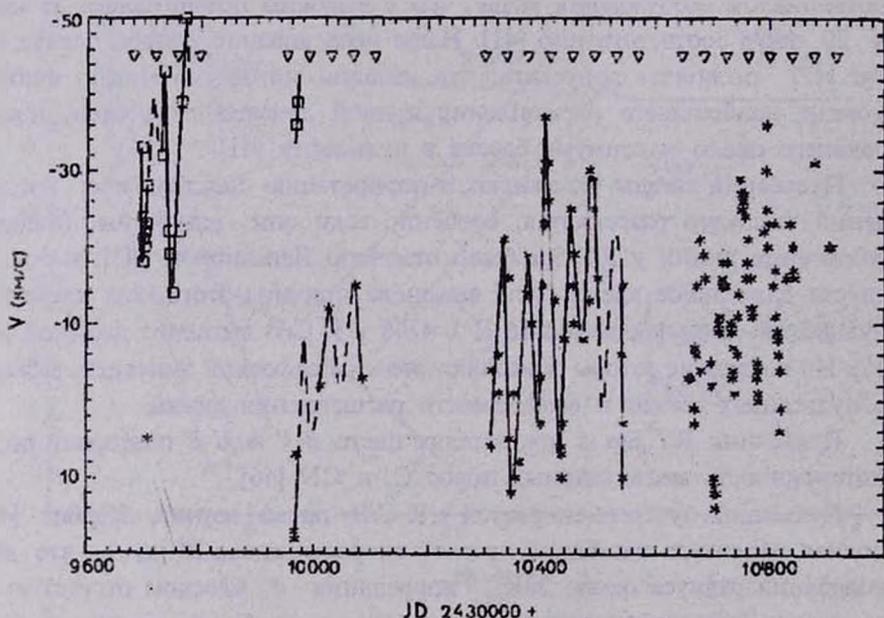


Рис. 3. Лучевые скорости RY Sgr во время минимума 1967 г. [53]. Квадраты - лучевые скорости по эмиссионным линиям, звездочки - по линиям поглощения. Треугольниками отмечены моменты максимумов пульсаций блеска.

км/с или около -25 км/с относительно пульсаций в максимуме; (3) что лучевые скорости абсорбций во время минимума, по-видимому, более положительны (до 20 км/с), чем в максимуме. Следует обратить внимание на различие средней лучевой скорости пульсаций  $V_r = -11.6$  км/с в 1970 г. по данным [53] и  $V_r = -21$  км/с в 1988 г. по данным [41]. Но необходимо помнить, что лучевые скорости в первом случае получены по линиям в диапазоне длин волн  $\lambda\lambda$  4000-4500 Å, тогда как во втором случае в области  $\lambda$  6000 Å. Имеется сообщение [54], что в УФ RY Sgr не показывает пульсации лучевой скорости. Возможно использование метода кросс-корреляции для определения лучевых скоростей по спектрам IUE привело к уменьшению амплитуды пульсаций. Это видно из рисунка 8 из работы [54]: в визуальной области амплитуда пульсаций лучевых скоростей в результате процедур вычислений уменьшилась в 1.2 раза. Уменьшится могла также фактическая амплитуда пульсаций лучевых скоростей, так как в этот интервал времени пульсации блеска были около  $0^m.2$  против обычно наблюдаемых  $0^m.4$ .

3. *Ультрафиолетовые наблюдения.* Отдельно можно выделить поведение звезд в УФ. Первые Уф аблюдения R CrB относятся к 1969г. [55]. В дальнейшем R CrB и RY Sgr неоднократно наблюдались со спутника IUE [54,56,57,58]. Основным результатом с точки зрения фотометрии было установление волновой зависимости экстинкции в области  $\lambda\lambda$  2200-2400 Å: пик находится на  $\lambda$  около 2400 Å. Отсюда сделали уточнение природы поглощающих частиц: аморфный углерод. Размер пылинок: 0.02-0.04 мкм.

Клейтон и др. [58] выполнили исследование УФ эмиссий у RY Sgr и приводят все записи IUE спектров, но непрерывный спектр не анализировали. Из анализа данных [58], представленных в графическом виде, мы можем заключить: 1) если амплитуда пульсаций визуального блеска около  $0^m.4$ , то в УФ она больше - около  $1^m$ ; 2) амплитуда падений блеска в области  $\lambda$  2400 Å во время минимума такая же как в визуальной области, 3) колебание визуального блеска с амплитудой около  $0^m.8$  между датами JD 2445797.6 и JD 2445809.8 соответствовало на  $\lambda$  2400 Å амплитуде около  $3^m$ . Если это так, то 3) может означать, что во время пульсаций происходит образование и разрушение зародышей пылинок: каждая новая пульсация может дать начало новому минимуму.

Свойство (2) может означать, что во время минимума происходит только рост пылинок, без значительного увеличения их плотности. Сог-

ласно [59] по мере роста размера графитовых пылинок эффективность поглощения на  $\lambda$  2200 Å не меняется, начиная с размера 0.01 мкм, вплоть до 1.0 мкм, а несколько даже уменьшается (на 10 %). Поглощение растет только в визуальном диапазоне. Увеличение плотности частиц пыли, следовательно, не превышает 3 раз: рост размера от 0.003 мкм до 0.01 мкм увеличивает поглощение в 3 раза, а максимальная амплитуда минимума требует, как известно, 8 раз.

В связи с последним интересно отметить, что имеется аналогия с поведением новых в УФ (см. ниже). R CrV имеет наблюдения за 30 дней перед началом визуального минимума, но это еще рано для появления полосы поглощения в области  $\lambda$  2400 Å, как следствия образования новой пыли. Переменная интенсивность этой полосы у RY Sgr свидетельствует о возможности образования новых зародышей пылинок в каждую пульсацию.

4. *Спектры звезд типа RCB.* Самыми горячими звездами с переменностью типа R Северной Короны являются V348 Sgr с эффективной температурой  $T_{\text{эф}}=20000$  К [60] и DY Cen с  $T_{\text{эф}}=19500$  К [61], которые исследованы методом моделей атмосфер. Первая показывает очень активную переменность, эту звезду классифицируют также как звезду Вольф-Райе углеродной последовательности WC12. Вторая мало активна.

Наиболее часто проводился спектральный анализ самой яркой и доступной для крупных телескопов звезды из-за ее положения в северном полушарии: R CrV [62, 63]. Вторая по яркости звезда, но находящаяся на южном небе, RY Sgr наблюдалась с этой целью только один раз [43]. Шенбернер [64] применил новую методику тонкого анализа к данным [43], новых наблюдений с тех пор не проводилось.

Самые холодные члены группы звезд с переменностью типа RCB не имеют столь детального исследования. Для них имеется в основном определение спектрального класса или оценки эффективной температуры по многоцветной широкополосной фотометрии [65] (табл. 1).

Со времени последнего полного обзора [66] основные данные не изменились. Становится ясно, что основным для понимания причин переменности типа RCB является факт избытка углерода, дефицит водорода имеет второстепенное значение. В этом нас убеждает пример V854 Cen и FG Sge (см. также раздел "Фотометрия в активном состоянии"). Эти звезды только недавно были классифицированы как

переменные типа RCB. Первая очень активна, демонстрирует эмиссии водорода в минимуме блеска, что никогда не наблюдалось у классических RCB звезд. Анализ химического состава этой звезды пока не проводился. Вторая к настоящему времени показала только два-три минимума блеска, обладает нормальным содержанием водорода (указаний на отклонение от нормального содержания не было), содержание углерода стало заметно меняться: появились полосы Свана молекулы углерода  $C_2$  [67,68]. Существует мнение, что дефицит водорода является следствием потери массы подобными звездами [69,70].

Содержание элементов, определенное методом моделей атмосфер, колеблется от  $\epsilon_H=0.20$ ,  $\epsilon_{H\alpha}=0.55$ ,  $\epsilon_C=0.25$  (по доле атомов) у V348 Sgr [60] или  $\epsilon_H=0.09$ ,  $\epsilon_{H\alpha}=0.9$ ,  $\epsilon_C=0.1$  у DY Cen [61] до примерного соотношения  $\epsilon_H=10^{-4}$ ,  $\epsilon_{H\alpha}=0.99$ ,  $\epsilon_C=0.01$  у R CrB и RY Sgr [66]. Другая оценка содержания углерода для V348 Sgr дает величину  $\epsilon_C=0.10$  [71].

Для создания условий образования углеродной пыли важно соотношение числа атомов углерода и кислорода. Ламберт [66] приводит величину 2:1 для R CrB. Сравнимая величина, по-видимому, у RY Sgr.

Встречаются звезды с уникальным содержанием некоторых элементов. U Aqr обладает чрезвычайно сильными линиями Sr II и Y II, сравнимыми по интенсивности с H и K Ca II [72].

Среди других особенностей можно отметить избыток лития Li в атмосфере R CrB:  $Li/H \leq 10^{-4}$  в отличие от космического  $10^{-9}$ . Правда такое соотношение может быть следствием дефицита водорода с коэффициентом около  $10^{-5}$ . Li не обнаружен у RY Sgr.

Параметры атмосфер классических переменных типа RCB: эффективная температура  $T_{\text{эф}}=7000$  К, ускорение силы тяжести  $\lg g=0.5+1.0$ , скорость микротурбулентности  $v_t=7+8$  км/с [66, 73]. Это значит, что они обладают размерами сверхгигантов. Прямые данные о размерах звезд дают измерения колебаний лучевых скоростей. Мы об этом уже упоминали выше. Измерения R CrB [48] и RY Sgr [41, 53] дали возможность непосредственно оценить размеры этих двух звезд при предположении, что амплитуда пульсаций такого же порядка как у пульсирующих сверхгигантов (10-15 % радиуса): около  $100R_{\odot}$  [74]. Близкую величину,  $85R_{\odot}$ , приводил Фист [21] для RY Sgr.

К этим фундаментальным характеристикам следует добавить сведения о массах этих звезд. Теоретические оценки масс, основанные на расчетах эволюции, дают значения  $0.8-0.9M_{\odot}$  [82]. Ранее мы также сделали

оценку масс [5], исходя из предположения о равенстве скорости убегания для этих звезд смещению пульсаций лучевых скоростей узких эмиссионных линий в минимуме относительно пульсаций в максимуме (см. раздел 2). Теперь можем ее уточнить, используя новые уточненные значения для радиуса зоны конденсации пыли ( $6 R_*$ ) и радиуса звезды ( $100 R_*$ ):  $\leq 0.7 M_\odot$  для классических переменных типа RCB.

**5. Инфракрасные наблюдения.** Со времени первых инфракрасных наблюдений R CrB [75] и RY Sgr [76] накоплен обширный фотометрический материал (для ссылок см. [77]). Первые же наблюдения показали наличие избытка ИК излучения с максимумом в области длин волн  $\lambda$  3.5 мкм (фотометрическая полоса  $L$ ). К сожалению, начиная с 80-ых годов интенсивность публикаций данных ИК наблюдений значительно упала: для получения новых результатов необходимы длительные ряды наблюдений, которые существуют, но еще не опубликованы [17,23,78]. Но уже благодаря имеющимся публикациям можно исследовать переменность ИК избытка или околозвездной перманентной пылевой оболочки.

Масса оболочки для пылинок с размерами  $a=0.001+0.3$  мкм пропорциональна ИК избытку. Чернотельная температура избытка  $T_{\text{об}}=500+900\text{K}$  и выше, что зависит от температуры центральной звезды [75,76,79]. Для MV Sgr ИК избыток удастся объяснить даже двумя оболочками с  $T_{\text{об}}=1600\text{K}$  и  $500\text{K}$  [65, 80]. Помимо "горячей" оболочки, наблюдаемой у всех звезд с переменностью типа RCB, некоторые из них обладают также очень холодными оболочками, обнаруженными с помощью ИСЗ IRAS. Наиболее впечатляющая такая сферически симметричная оболочка обнаружена у R CrB [81]: протяженность 18 угловых минут или около 8 пк, температура 25-30 K, светимость  $28 L_\odot$ , светимостей Солнца или полная масса около  $0.3 M_\odot$ . Образование ее связывают с потерей поверхностных, богатых водородом, слоев звезды, поэтому ее называют реликтовой.

Переменность ИК блеска R CrB была отмечена в начале 70-ых годов и выявлена ее 1100-дневная периодичность [83,84]. Позднее нашли ее равной 1170 дням и выявили такой же период для визуального блеска [85]. Но более полная кривая ИК блеска с привлечением всех опубликованных наблюдений показывает нестабильность этих колебаний, по крайней мере, по фазе [42]. Плотные ряды наблюдений на некоторых участках кривой блеска в 70-ые годы позволили обнаружить эффект влияния визуального минимума на  $L$  блеск [42, 86]: через 60-120 дней

после его начала блеск в полосе  $L$  временно возрастал на  $0^m.1-0^m.3$ , возвращаясь к первоначальному тренду после окончания минимума. Это может означать, что масса экранирующего пылевого образования сопоставима с массой перманентной оболочки и что экранирующая пыль удаляется на расстояние оболочки только спустя некоторое время.

На связь инфракрасного блеска с визуальными ослаблениями у UW Cep обратил внимание Фист [17,23]: во время очередного визуального минимума происходило увеличение ИК блеска или он был большим.

Анализ ИК наблюдений звезд с RCB переменностью привел нас к выводу о существовании предельного ИК избытка, при превышении которого возможно начало минимума [87]. Это только одно из необходимых условий. В полосе  $L$  это соответствует появлению избытка излучения в  $1^m.2$ . А так как околозвездная пылевая оболочка должна подпитываться постоянной потерей массы этими звездами [88], то необходимый ИК избыток для звезды с абсолютной болометрической звездной величиной около  $-5^m$  и спектрального класса F8-G2 соответствует минимальному темпу потери массы  $4 \times 10^{-8}$  массы Солнца в год [87].

Переменность светимости перманентной околозвездной оболочки сопровождается колебаниями температуры пыли. В начале 70-ых годов, когда ИК переменность отличалась большей регулярностью и большей амплитудой, температура в ИК максимуме была около 950 К [89], а в ИК минимуме - 700 К [83,90]. Светимость и температура околозвездной пылевой оболочки в экстремумах удовлетворяют соотношению  $T_{\min} = (L_{\min} / L_{\max})^{1/4} T_{\max}$ , т.е. радиус оболочки не меняется.

Светимость околозвездной оболочки достигает 40% светимости звезды. Но до сих пор не обсуждался детально вопрос влияния столь значительно поглощения в пыли на наблюдаемые показатели цвета звезды.

У RY Sgr 38.6-дневные пульсации наблюдаются и в ИК диапазоне, что является следствием нагрева околозвездной пылевой оболочки непосредственно излучением пульсирующей звезды [22].

Предпринимался поиск молекулярных полос в ИК диапазоне: CO на  $\lambda$  2.3 мкм, силикатной в области 10 мкм [91], но ничего не обнаружено. В этой же работе приведен спектр R CrB низкого разрешения в области 8-13 мкм, на котором видна эмиссионная полоса карбида кремния SiC на  $\lambda$  12.2 мкм, но сами авторы [91] о ее присутствии ничего не сообщают. Время наблюдения этой эмиссии соответствует минимуму ИК избытка или минимальной массе околозвездной пылевой оболочки. Данных для

идентификации присутствия эмиссии в ИК максимуме нет. Отметим также возможное присутствие у многих звезд - членов группы переменных с феноменом RCB эмиссии на 5 мкм [92], которая может быть обусловлена молекулой  $C_2$ , тем более, что молекула CO, которая также может иметь полосу на этих  $\lambda$ , у R CrB отсутствует. Наиболее интенсивна 5 мкм эмиссия у RY Sgr, у самой R CrB она иногда может отсутствовать.

Проводился поиск линий углерода C I в субмиллиметровом диапазоне на  $\lambda$  610 мкм [93]. Линий не обнаружили.

6. *Радиоизлучение.* Предпринимались попытки зарегистрировать радиоизлучение у звезд с переменностью типа RCB: континуум в области 3.5 мм [94], эмиссии CO на 2.6 мм и HCN на 3.4 мм [95], мазерное излучение SiO на 7 мм [96]. Результат всегда был отрицательным.

7. *Поляриметрия в спокойном состоянии.* Поляризация звезд в спокойном состоянии считается межзвездного происхождения, о чем мы уже отмечали выше и что было использовано для оценок межзвездного поглощения и светимостей этих звезд. Но имеются наблюдения, позволяющие усомниться в правильности этого вывода.

Клейтон и др. [58] сообщали об изменении параметров поляризации излучения R CrB в максимуме блеска в 1991 г. с амплитудой около 0.4% в каждую пульсацию.

Наша попытка поиска изменения параметров поляризации у RY Sgr во время пульсаций в 1988 г. дала отрицательный результат [8,15].

8. *Оболочки вокруг звезд с переменностью типа RCB.* Описывая ИК наблюдения мы уже упоминали о существовании околозвездных оболочек.

Прямые снимки окрестностей горячих звезд с переменностью типа RCB указывают на существование ярких структурных образований, связанных, по-видимому, с самими переменными. Наблюдения UW Cep в ослабленном состоянии ( $\Delta m \approx 7^m$ ) показали наличие слабой туманности: четыре диаметрально противоположных выброса, размером около  $10''$  [97]. V348 Sgr окружена туманностями: внутренняя, диаметра  $1''$ , и внешняя, до  $7''$  [98], каждая из которых может давать свой вклад в околозвездную экстинкцию, искажая наблюдаемый показатель цвета. Имеются отличия форм туманностей в разных линиях спектра [97]. Хербиг [99] проводил прямые наблюдения R CrB в минимуме 1964 г., когда ее блеск был около  $14^m$ , с целью зарегистрировать туманность, но не

обнаружил. Основанием для этого поиска ему послужила регистрация запрещенных линий [OII]  $\lambda$  3727-3729Å в спектре звезды в минимуме 1948 г. Т.е. при расстоянии 1.5 кпк до R CrB, около этой переменной нет достаточно ярких в визуальном диапазоне спектра образований диаметром более 1500 а.е..

В связи с существованием реликтовой оболочки у R CrB представляет интерес туманность около FG Sge, идентифицируемая как 36" планетарная туманность PK 60-7<sup>o</sup>.1: какова будет дальнейшая ее эволюция? ИК избытка, т.е. пылевой околозвездной оболочки, до недавнего времени эта звезда не имела, он появился только во время первого RCB минимума 1992 г., но о дальнейшем его поведении ничего сказать нельзя.

Моделирование реликтовой оболочки R CrB [81, 100] привело к выводу, что для поддержания наблюдаемой температуры, кроме поля излучения самой R CrB, необходимы дополнительные источники нагрева пыли, в несколько раз более мощные, чем межзвездное поле излучения.

*9. Признаки быстрой эволюция переменных типа R Северной Короны.* Появление дефицита водорода у классических RCB звезд связывают с процессом потери массы. По-видимому, Пейн-Гапошкина [69] одной из первых высказала предположение, что потеря верхних, богатых водородом слоев привела к обнажению центрального ядра богатого тяжелыми элементами, добавив, что и структура звезды тоже связана с этим обстоятельством.

Выше мы упоминали о поисках эволюционных изменений у переменных типа R Северной Короны при исследовании пульсаций. С этой точки зрения заслуживают внимания и другие возможные вековые изменения наблюдаемых характеристик этих звезд. Редкость переменных типа RCB и высокий темп потери массы указывают на быстротечность этой стадии эволюции и возможность обнаружения эволюционных изменений наблюдаемых характеристик.

У V348 Sgr возможно имеются подобные изменения блеска [101], но интерпретация усложняется присутствием яркой эмиссионной туманности, которая может давать переменную околозвездную экстинкцию: за 80 лет произошло уменьшение яркости звезды с  $10^m.3$  до  $12^m.3$  [102].

UV Cen с JD 2436000 по JD 2448200 показывает увеличения яркости на  $0^m.4$ , как это следует из опубликованных рядов наблюдений [103,104].

Попытка выявить подобные изменения для переменной UV Cas,

прекратившей высокую RCB активность в начале XX века, дала отрицательный результат: изменения среднего блеска в спокойном состоянии более  $0^m.2$  отсутствуют [9].

Просмотр фотоархивов с изображением V854 Cep не показал блеска звезды более  $10^m$  с 1917 г. по 1937 г. [105,106]. Современная яркость в спокойном состоянии около  $7^m.2$ . Вопрос о причинах этой разницы не обсуждался: связано ли это с очень высокой активностью звезды (после 1986 г. она высокая) или с рассеянием плотной околозвездной поглощающей ( $\tau \approx 3$ ) оболочки, или еще с чем-то.

У самой R CrB за 200 лет наблюдений эволюционных изменений блеска не отмечено, но не было и сообщений о попытках такого поиска.

Выше мы упоминали о возможном уменьшении периода пульсаций RY Sgr, что укладывалось в рамки теоретических представлений [107] об эволюции этих звезд в область белых карликов через стадию гелиевой звезды.

Наиболее реальны эволюционные изменения в спектре. Особенно у недавно классифицированных как переменные типа RCB FG Sge и V854 Cep. Первая звезда вообще очень быстро эволюционирует и этой уникальностью привлекла внимание. Теперь она стала демонстрировать все признаки типа RCB: переменность блеска, появление углеродных деталей в спектре, инфракрасный избыток. Интересно, как поведет себя в дальнейшем содержание водорода, которое пока нормальное. Вторая звезда до открытия RCB переменности была отмечена только как "заподозренная в переменности".

Среди других косвенных признаков быстрых эволюционных изменений можно отметить наличие протяженных холодных пылевых околозвездных оболочек. У R CrB она простирается на 18 угловых минут, меньшие размеры имеет SU Tau [81, 108]. Они связываются с потерей массы в последние несколько десятков тысяч лет. RY Sgr, по-видимому, не имеет такой оболочки, что позволяет предложить такое распределение по продолжительности RCB переменности у этих звезд: R CrB, SU Tau, RY Sgr.

Рассматриваемые сценарии эволюции переменных типа R Северной Короны учитывают сходство этих звезд с планетарными туманностями [109]. Сравнение эволюционных сценариев: слияние двух белых карликов и финальная вспышка гелиевой оболочки одиночной post-AGB звезды, с наблюдениями провел Ренцини [110] и сделал вывод в пользу второго.

10. *Планетарные туманности с дефицитом водорода.* Первой попала в поле зрения исследователей V605 Aql ([111], там же ссылки), уникальная переменная: центральная звезда планетарной туманности (ПТ) A58, вспыхнувшая как новоподобная в 1919 г. и показавшая спектр углеродной звезды класса R0. В настоящее время обладает эллипсоидальной оболочкой с возможным экваториальным поясом, что типично для остатков новых. Эта оболочка ответственна за ИК избыток с  $T_{\text{об}}=170\text{K}$  [112].

Кроме этой ПТ выделены еще две водородо-дефицитные ПТ A30 и A78 [113], также с холодными ( $T_{\text{об}}=140\text{K}$ ) околозвездными оболочками, но, в отличие от A58, более протяженными [112].

11. *Феномен RCB у новых.* С 30-ых годов, после вспышки Новой Геркулеса 1934 (DQ Her), было обращено внимание на сходство кривой блеска звезды типа R Северной Короны и новой во время временного уменьшения блеска на переходной стадии и было высказано предположение об идентичности причин такого поведения [114, 115], так как к тому времени относится высказывание Лоретой [1] и О'Кифом [2] гипотезы о конденсации пыли в атмосфере R CгB и ослаблении ею излучения звезды. Фист [116] при дискуссии спектральных наблюдений Новой Стрельца 1954 сравнение проводил с R CгB.

Главная общая черта новых и звезд типа RCB - это потеря массы, но не непрерывная, а кратковременная, взрывная.

Взрыв новой приводит к сбросу верхних слоев активной звезды, захвату вещества из околозвездных, точнее околосистемных, окрестностей, так как новая - это двойная система с аккреционным диском и общим диском, находящимися в плоскости орбиты системы [117]. В результате это приводит к образованию главной оболочки, и при ее удалении на расстояние около  $4 \times 10^{14}$  см почти у всех новых происходит формирование пылевого экваториального кольца. Последнее, при ориентации пылевого кольца вдоль луча зрения, наблюдается как временное нарушение общего тренда падения блеска, или минимум блеска типа RCB, и приходится на переходную стадию вспышки [118].

О времени появления пыли в главной оболочке новой можно судить по нескольким признакам, которые хорошо видны на примере N Ser 1970. Первое указание на начало пылеобразования дали ИК наблюдения: ИК избыток появился на 48 день после вспышки [119]. Следующий признак дали УФ наблюдения. Из данных [120] мы можем видеть, что

абсорбционная деталь на  $\lambda$  2460 А (эффективная длина волны одного из фильтров фотометра орбитальной обсерватории ОАО-А2) в распределении энергии в спектре новой появилась между 49.8 и 57.5 днями после вспышки. И последний по времени признак дала фотометрия в видимой области спектра. Резкое падение визуального блеска, связанное с образованием пылевого кольца и ориентацией его вдоль луча зрения, началось на 63 день вспышки.

Поляриметрия N Cas 1993, проведенная Ефимовым [121], показала появление поляризации при ослаблении блеска на 3<sup>m</sup> во время RCB минимума. Это можно считать четвертым признаком присутствия пыли в окрестностях новой.

Аналогичная последовательность появления признаков присутствия пыли должна быть и у других звезд, показывающих феномен R Северной Короны. Но возможность их обнаружения будет определяться соотношением масс образовавшейся и существующей пылевых оболочек. Т.е., у самой R CrV сначала мы видим визуальный минимум, затем появление собственной поляризации. Первые два признака заматы околозвездной пылевой оболочкой. Но мониторинг в УФ все же может дать ключ к пониманию феномена RCB у классических RCB переменных (см. раздел с УФ наблюдениями).

Другая общая деталь для новых и звезд типа RCB относится к спектральным особенностям [27,28]. На переходной стадии происходит развитие диффузно-искрового спектра с эмиссиями Fe II, Ti II, Cr II. У некоторых новых эмиссии имеют ослабленные красные компоненты или асимметричные профили с ослабленным красным крылом линий, т.е. пылевой диск, при его ориентации вдоль луча зрения, экранирует заднюю полусферу главной оболочки. Аналогичное поведение эмиссий наблюдается у звезд типа RCB (см. раздел "Спектральные изменения в активном состоянии").

12. *Фотометрия в активном состоянии.* Звезда с феноменом RCB обладает характерной кривой блеска, форма которой в каждом минимуме блеска не повторяется, сохраняя некоторые общие черты. Накопление наблюдательного материала по новым позволило получить нормализованную кривую блеска для минимума типа R Северной Короны в табличном виде [27, 28]. Одновременно к подобному результату пришел Ефимов [122], но нормализуя кривые блеска самой R CrV в трех типичных минимумах. В результате им была получена формула, описывающая

основные детали кривой блеска. В общем виде ее можно записать

$$m(t) = m_{\max} + \sum_i^n \Delta m_i \times (\tau_i + 1)^{2.7} \times \exp(-2.7 \times \tau_i), \quad (2)$$

где  $m(t)$  - блеск звезды в момент времени  $t$ ,  $m_{\max}$  - блеск звезды в максимуме,  $\Delta m_i$  - глубина  $i$ -ого минимума блеска,  $\tau_i = \frac{t - T_i}{T_{0i}}$  - параметр времени,  $T_i$  - момент минимального блеска в  $i$ -ом минимуме,  $T_{0i}$  - длительность спада блеска в  $i$ -ом минимуме,  $n$  - число составляющих в глобальном минимуме. Наблюдаемый глобальный минимум чаще представляет собой суперпозицию нескольких отдельных и независимых минимумов блеска с разными параметрами  $\Delta m$  и  $T_0$  (рис. 1) [123]. Это обстоятельство приводит к неповторимости кривых блеска во время глобальных минимумов и усложняет понимание переменности типа RCB. Цветовые изменения при применении этой формулы не описывает, только основные параметры минимума: глубину и продолжительность. Но располагая наблюденной кривой блеска в первой половине отдельного минимума, даже не полной, можно получить расчетную кривую блеска во второй половине очень близкую к реальной.

Из исследования кривых блеска R CrB и RY Sgr [42,123] с помощью формулы (2) был сделан вывод, что все развитие минимума: его длительность и глубина, зависит от условий, созданных в момент его начала, т.е. от пульсации, после которой начался процесс интенсивного пылеобразования. Начальный расчетный момент минимума наступает на 5-9 дни после максимума пульсации блеска, но с учетом признаков начала образования пыли у новых можно считать, что у классических RCB звезд процесс конденсации пыли запускается во время максимального расщепления линий абсорбции или возникновения ударной волны в атмосфере звезды. Кроме того, возможность повторного запуска этого процесса сохраняется длительное время и очередная первая же, реже вторая, пульсация дает начало новому независимому минимуму. В результате этого наблюдается глобальный минимум блеска, как сумма нескольких минимумов. Длительное сохранение условий для начала минимума означает, что это механизм длительного действия и его можно отождествить с вариациями темпа потери массы [42, 87]. Предпочтительного числа слагаемых в наблюдаемом минимуме нет, оно может достигать 8 и более.

Кривая блеска самой R CrB и некоторых других звезд с длительными рядами наблюдений неоднократно исследовалась с целью поиска периодичностей в наступлении минимумов. Начиная с исследования Штерне [124], многие сходятся во мнении, что переменность звезд типа RCB - идеальный случайный процесс [125,126,127]. Сообщения о периодичности в наступлении минимумов опровергались применением статистических критериев, например, подобный вывод для S Aps [128] был опровергнут исследованием [127]. В основе всех таких исследований лежал единый подход: минимумом считалось уменьшение блеска на одну звездную величину, подсчитывалось число минимумов в определенном интервале времени, промежутки времени между последовательными минимумами считались независимыми. Но сомнения о чисто случайном характере чередования активного и спокойного состояния у переменных типа RCB постоянно высказывались, одни без обоснования [129] или широкого обсуждения [21], другие высказывались в рамках исследования переменности звезд другого типа [130] или на основании существования связи начала минимума с определенной фазой пульсаций звезды [34].

Вывод о непуассоновском или неэкспоненциальном распределении интервалов времени между последовательными минимумами сделал Розенбуш [131, 132]. Но в основу исследования был положен другой подход: моментом начала минимума считался максимум пульсации блеска или ее номер в случае RY Sgr, после которой произошло падение блеска, так как пульсации являются запускающим механизмом [33,34]; отдельным минимумом считался мелкий минимум с глубиной около  $0^m.5$ ; отдельным минимумом считался также минимум, начавшийся на подъеме блеска из предыдущего минимума. Был получен вывод о равномерном распределении интервалов времени между последовательными минимумами на отрезке  $0+(1500-1800)$  дней для трех исследованных звезд - R CrB, RY Sgr и SU Tau. Но опять-таки этот вывод был поставлен под сомнение применением статистических критериев [133]. Т.е. традиционный подход к исследованию переменности звезд типа RCB заведомо ведет к выводу о чисто случайном характере переменности.

Непосредственный поиск периодичностей в кривых блеска звезд с переменностью типа RCB выполнила Хрузина [134]. Были найдены периоды активности у RY Sgr, R CrB, SU Tau, GU Sgr, S Aps и WX CrA: 50, 46, 32, 26, 27, 23 лет соответственно. Но они ничего не говорили о времени наступления очередного минимума, а только о большей или

меньшей активности звезды в данный момент.

Исходя из вывода о длительном сохранении условий для конденсации пыли в атмосфере переменной типа RCB была предпринята попытка поиска регулярностей в моментах первоначального возникновения этих условий, т.е. только в моментах первого ослабления блеска в данном глобальном минимуме, последующие уже не принимались во внимание. Результатом применения такого подхода явилось обнаружение 4200-дневной цикличности в активности R CrB, явно существующей с 60-ых годов, когда в первой половине этого цикла звезда показывает минимумы чаще и большей глубины [42]. Этот цикл возможно является гармоникой 46-летнего периода активности [134] и 1050-дневного периода ИК переменности. Последнее значение является возможным уточнением 1100-дневного периода [83,84] или 1170-дневного [85]. Обнаруженные регулярности являются не периодом в наступлении очередного минимума, но отражают цикличность в сложении нескольких вероятностных механизмов, создающих условия для конденсации пыли, и позволяют ожидать начала минимума на определенных фазах цикла. Регулярности в ИК переменности отражают вариации темпа потери массы [17,23,42,86,87]. Применение такого подхода к поиску регулярностей позволяет обнаружить еще один любопытный факт: до периода спокойствия 1925-1933 гг. R CrB имела средний интервал времени между минимумами около 744 дня, а после - 1098 дней и вдобавок появился 4200-дневный цикл. Вопрос об устойчивости последнего разрешится в ближайшее время: новый цикл должен был начаться в феврале этого (1995 г.), т.е. к сентябрю уже имеем задержку около 200 дней. Давно подмечено, что минимумы блеска у R CrB начинаются в неблагоприятное для наблюдений время: близко к сезону невидимости (табл. 3 из [126]).

У RY Sgr подобная регулярность отсутствует. Возможно, 38.6-дневные пульсации являются единственным механизмом, регулирующим темп потери массы. Номер запускающей пульсации определяется каким-то вероятностным законом [21], например, законом равномерного распределения вероятности на интервале 0+1800 дней [131,132]. Последнее одновременно означает, что должен существовать механизм, регулирующий темп потери массы RY Sgr подобно R CrB. UW Cen, возможно, имеет 3000-4000-дневную регулярность в чередовании активного и спокойного состояний.

Вся история поиска регулярностей в переменности у звезд типа R Северной Короны скорее свидетельствует о неустойчивости пульсаций этих звезд и быстротечности этой стадии эволюции, когда происходит постоянная перестройка звезды и параметры непрерывно меняются.

*UBV* фотометрия, а в последствии и в других фотометрических системах, дала информацию о вариациях показателей цвета в ходе минимума и от минимума к минимуму. Каждый минимум индивидуален. Сводка опубликованных *UBV* наблюдений R CrB во время минимумов дана в [135]. Среди разнообразия цветовых изменений удастся выделить общие тенденции и связать их с данными других методов исследований. Имеются общие для переменных с феноменом типа RCB зависимости между наблюдаемыми и фундаментальными характеристиками.

Скорость падения блеска  $\Phi$  в минимуме у данной звезды зависит от ее температуры [136] или нормального показателя цвета  $(B-V)_0$  [137]. Мы дополнили данные [137] очень горячей переменной V348 Sgr и новыми надежными данными о  $(B-V)_0$  [5] (рис. 4). Линия соответствует уравнению

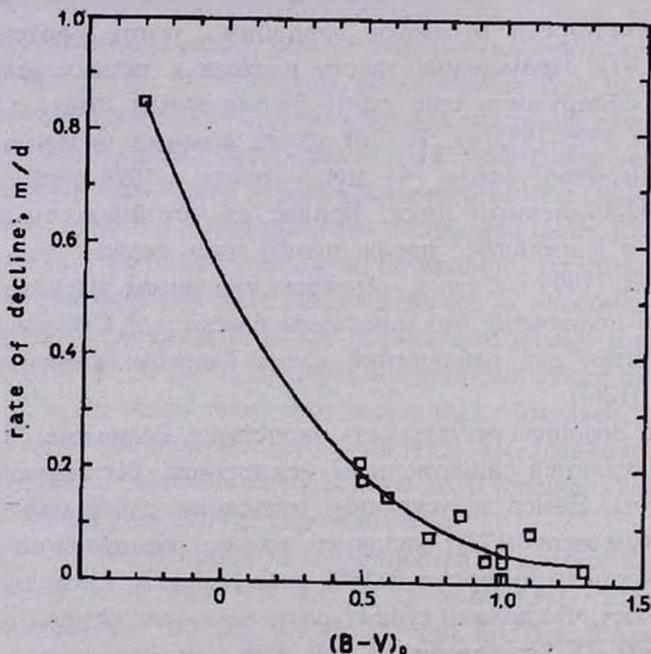


Рис. 4. Зависимость средней скорости падения блеска в минимуме от нормального показателя цвета  $(B-V)_0$ . Линия соответствует уравнению (3).

$$\Phi = 0.52 - 0.92(B-V)_0 + 0.53(B-V)_0^2 - 0.092(B-V)_0^3. \quad (3)$$

На скорость падения блеска во время минимума возможно оказывает влияние и содержание водорода в атмосфере звезды: скорость падения блеска выше при более высоком содержании водорода. В этом нас убеждает трудность с применением формулы (2) для аппроксимации минимумов V854 Cep и FG Sge: вход и выход представляются разными параметрами.

Сравнение абсолютных визуальных звездных величин и максимальных зарегистрированных глубин минимумов переменных (рис. 5) [5] позволило установить соотношение вида

$$\Delta m \cong 5.3 - 0.53 M_V. \quad (4)$$

V854 Cep удовлетворяет этой зависимости, не противоречит и FG Sge, но оценить максимальную глубину минимума затруднительно, так как велико влияние окружающей туманности и было только 2-3 минимума.

Была выявлена зависимость цветовых изменений в минимуме от скорости уменьшения блеска в данном минимуме [138,139] (рис. 6). Наблюдение новых минимумов подтверждает ее: скорость падения блеска определяется на интервале  $10^m-12^m$ , когда происходят наибольшие изменения показателей цвета. Сопоставление с данными поляриметрии

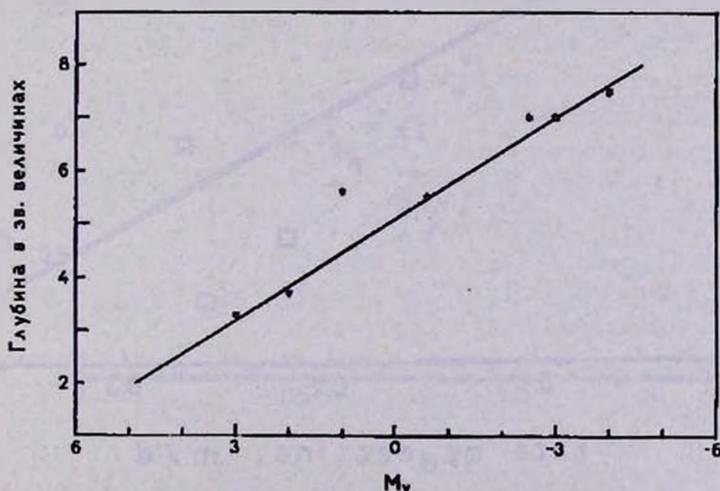


Рис. 5. Соотношение между максимальной глубиной минимумов и абсолютной визуальной звездной величиной у некоторых звезд с феноменом R Северной Короны.

позволило объяснить найденную зависимость как следствие образования пылинок разных размеров в разных минимумах: чем больше размер образующихся пылинок, тем больше скорость уменьшения блеска [139]. Деление минимумов на "красные" и "голубые" согласно работе [140] имеет эту причину, но наш результат, по-видимому, им остался неизвестен, и поэтому объяснение было дано в рамках затмения диска звезды пылевым облаком.

Суперпозиция нескольких отдельных минимумов приводит к сложному поведению наблюдаемого показателя цвета. В начальной стадии

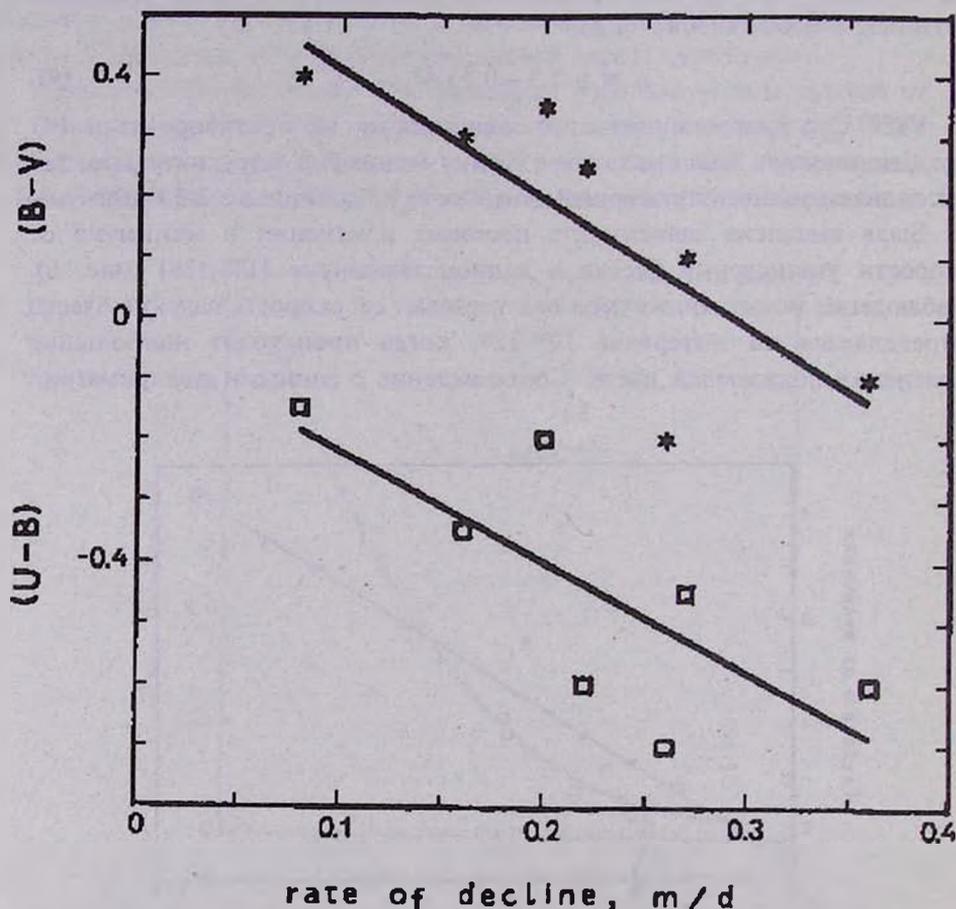


Рис. 6. Зависимость амплитуды изменения показателей цвета  $U-B$  и  $B-V$  от скорости падения блеска у R CrB.

минимума, в пределах 10-20 дней, главную роль играет один минимум, поэтому удалось выделить вышеприведенную зависимость. В дальнейшем поведение цветов усложняется и пока выявлены только общие тенденции, безотносительно к каким-либо другим параметрам звезды. Смена падения

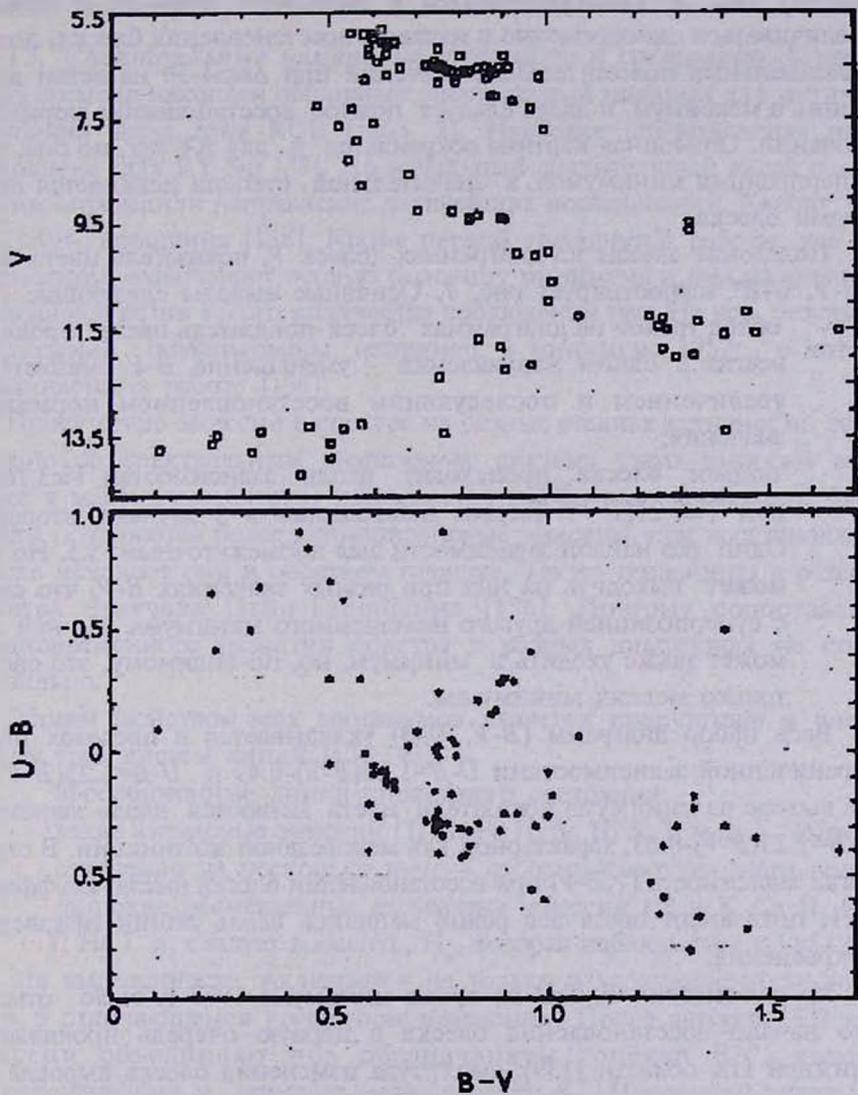


Рис. 7. R CrB на диаграммах "V, B-V" и "U-B, B-V" в минимуме 1983г.

яркости на ее увеличение приводит к покраснению показателей цвета, повторное падение блеска вновь ведет к уменьшению показателей цвета. В отдельном минимуме глубиной более  $4^m$  это выглядит следующим образом. Показатели цвета начинают меняться (увеличиваться или уменьшаться) при уменьшении блеска на  $2-3^m$  в соответствии с зависимостью рис. 6, стабилизируются в диапазоне  $\Delta m \approx 4-5^m$  и начинают увеличиваться одновременно с началом восстановления блеска, достигая максимальных положительных значений при  $\Delta m \approx 4-5^m$  на ветви возвращения в максимум, и далее следует полное восстановление нормальных значений. Описанная картина сохраняется и для RY Sgt, но она, кроме суперпозиции минимумов, в значительной степени искажается пульсациями блеска.

Поведение звезды на диаграммах "блеск  $V$ , показатель цвета  $B-V$ " и " $B-V$ ,  $U-B$ " иллюстрирует рис. 7. Основные выводы следующие [135]:

- обход треков на диаграммах "блеск-показатель цвета" происходит всегда в одном направлении - уменьшение  $B-V$  сменяется его увеличением и последующим восстановлением нормального значения;
- подъем блеска происходит вдоль зависимостей  $V \approx 3.16(B-V)$  или  $V \approx 7.21(B-V)$ . Первая наблюдалась в 5 случаях, вторая в 4. Один раз наклон зависимости был промежуточным: 5.5. Но звезда может выходить на них при разных значениях  $B-V$ , что связано с суперпозицией другого независимого минимума. По ней звезда может также уходить в минимум, но, по-видимому, это свойство только мелких минимумов.

Весь набор диаграмм ( $B-V$ ,  $U-B$ ) укладывается в пределах полосы, ограниченной зависимостями  $U-B=1.23(B-V)-0.49$  и  $U-B=1.23(B-V)-1.16$ . На выходе из минимума показатели цвета меняются вдоль зависимости  $U-B=1.23(B-V)-0.63$ , характерной для межзвездной экстинкции. В случаях, когда зависимость ( $V, B-V$ ) при восстановлении блеска имела коэффициент 7.21, показатели цвета все равно менялись вдоль линии межзвездного покраснения.

Из фотометрии R CgV во время минимума 1977 г. было отмечено, что начало восстановления блеска в первую очередь проявляется в ближней ИК области [139]: амплитуда изменения блеска выросла от  $0^m$  в полосе  $U$  до  $0^m.6$  в области  $\lambda 8000\text{Å}$ , и снова упала до нуля к полосе  $J$ , где начал сказываться вклад околосредней оболочки при ослаблении

центрального источника на  $8^m$ . Это означает также увеличение показателей цвета звезды.

Изменения линейчатого спектра от абсорбционного к эмиссионному у R CrB во время минимумов визуального блеска дают, по-видимому, постоянный вклад в показатели цвета  $B-V$  и  $U-B$ :  $-0^m.25$  и  $-0^m.10$ , соответственно [139].

13. *Спектральные изменения в активном состоянии.* К настоящему времени накоплен обширный спектральный материал для активного состояния звезд типа RCB (табл. 2). Наиболее впечатляющая работа выполнена для RY Sgr [53]. Но начальный значительный вклад сделали и этим определили направление дальнейших исследований Хербиг [142] и Пейн-Гапошкина [136]. Кроме первой упомянутой работы, все они, в основном, охватывают первую половину минимума и сам минимум, на восходящей ветви такого количества наблюдений нет. Не все результаты наблюдений опубликованы, например, в минимуме 1952г., о котором упоминается в работе [136].

Присутствие эмиссий в спектре на разных стадиях активности звезды связано со спектральным диапазоном: система узких эмиссий всегда (даже в максимуме блеска) наблюдается в УФ, при ослаблении блеска звезды появляются более длинноволновые эмиссии, при восстановлении блеска исчезают они в обратном порядке. Такую тенденцию в развитии спектра отмечала Пейн-Гапошкина [136]. Поэтому сопоставление одновременного развития спектра в разных диапазонах не совсем правильно.

Общим свойством всех минимумов является присутствие в спектре звезды трех систем линий [136,143]:

- абсорбционные линии спокойного состояния;
- узкие атомарные эмиссии (Ti II, Fe II, Sc II, Sr II и др.), имеющие смещение на несколько км/с в сторону коротких длин волн;
- широкие несмещенные атомарные эмиссии (H и K Ca II, D Na I, He I и, следует добавить, H $_{\alpha}$ , которая наблюдается у V854 Cen).

Эта выделенность заключается не только в характеристиках линий, но и в отличающемся временном поведении. После авторов [53] узкие эмиссии объединяют под обозначением "спектр E1", который короткоживущий и уступает место спектру E2. Последний включает в себя яркие линии Sc II и Ti II, в основном этот тип спектра образован линиями низкого возбуждения. Некоторое суммирование характерного

**МИНИМУМЫ БЛЕСКА ИЗБРАННЫХ ЗВЕЗД ТИПА RCB,  
ИМЕЮЩИЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ**

Звезда	Год минимума	Литература
R CrB	1923	[141]
	1948	[142]
	1952	[136]
	1960	[136]
	1962	[30]
	1964	[30,143]
	1969	[144]
	1972	[30,145,146]
	1975	[147]
	1977	[138,148]
	1983	[148]
	1985	[149,150]
	1988	[43,140]
RY Sgr	1967	[53]
	1977	[151]
	1993	[152,153]
V854 Cen	1988	[106]
	1991	[154]
	1992	[155]

развития эмиссионного спектра можно найти в работе [58]. Суперпозиция нескольких ослаблений блеска, наблюдаемая как глобальный минимум сложной формы, также приводит к усложнению наблюдаемой картины развития спектра. Пейн-Гапошкина [136] первой попыталась разделить поведение спектра в минимуме 1960г. на три составляющих, соответствующих трем выделенным ею минимумам блеска. Но отметила лишь, что широкие эмиссии появляются во время первого падения блеска и почти не меняются во время всего минимума, исчезая по мере

восстановления нормального блеска. Узкие эмиссии наиболее интенсивны во время начального появления и слабеют со временем.

Общая тенденция спектральных изменений такова:

Абсорбционный спектр не меняется при падении блеска на 1-2<sup>m</sup>, затем начинается его ослабление - вуалирование (термин ввел Хербиг [142]). Переход от абсорбции к эмиссии происходит постепенно. Нет однозначного развития эмиссионного спектра с блеском в разных минимумах. Пейн-Галошкина [136] высказала мнение о зависимости интенсивности узкого эмиссионного спектра скорее от интервала времени после начала падения блеска в минимуме, чем от величины ослабления блеска звезды. Эмиссии, повидимому, появляются независимо от глубины минимума и от величины ослабления в данном минимуме: Гринстейн [144] отметил слабые эмиссии Ti II, Sc II и Sr II в неглубоком (1.8<sup>m</sup>) минимуме 1969г.. Полной повторяемости в развитии спектров нет: эмиссия Fe II была сильной в минимуме 1960 г. и очень слаба в 1948г. у R CrB. Была слабой или отсутствовала она в минимумах 1977, 1983 и 1985гг. (наблюдения автора).

Сначала появляются слабые узкие эмиссионные ядра в H и K Ca II, затем широкие эмиссии H и K Ca II, D Na I и He I  $\lambda$  3889 и многочисленные узкие эмиссионные линии нейтральных и ионизованных металлов: Mn II, Cr II, Sr II, Sc II, Ti II и т.п.. В некоторых минимумах наблюдаются эмиссии молекулы C<sub>2</sub>. Эмиссия молекулы CN наблюдается постоянно. Была зарегистрирована неотожествленная до сих пор эмиссионная деталь на  $\lambda < 4000 \text{ \AA}$ : впервые у RY Sgr в 1967 г. [53] и 1993г. [152], у R CrB в 1977г. [92,148] и 1985г. [149]. Широкие эмиссии D NaI присутствуют на оригинальных спектрограммах как широкая подложка узких эмиссий (см. например, [140]).

Никогда не наблюдаются в эмиссии в визуальной области спектра линии C I и Mg II, но интенсивности абсорбций ослаблены. Не наблюдаются эмиссии в бальмеровских линиях водорода у классических RCB переменных, только у V854 Cen присутствует широкая эмиссия H<sub>α</sub>.

Мы уже упоминали об эмиссии He I  $\lambda$  3889. Среди других линий гелия наблюдались эмиссии на  $\lambda$  10830 (см. ниже),  $\lambda$  7065,  $\lambda$  7281,  $\lambda$  6678,  $\lambda$  3187; необъяснимо отсутствие эмиссии  $\lambda$  5876 [143].

Отдельный интерес представляет поведение профилей широких эмиссий на протяжении всего минимума и сравнение со структурой этих линий в максимуме. Наиболее качественный материал имеется для

D Na I у R CrB [44, 45] и V854 Cep [154, 155]. В максимуме блеска наблюдаются узкие абсорбционные компоненты на  $-22$  км/с у R CrB и  $-209$  км/с у V854 Cep, причем у первой спектральное разрешение позволяет идентифицировать их как двойные или как одиночные с узкой эмиссией в ядре [45]. Эти абсорбции связывают с межзвездной или околозвездной средой, но по нашему мнению происхождение связано скорее всего только с околозвездной, так как обе звезды имеют незначительное межзвездное покраснение: менее  $0^m.08$  [74, 156]. В минимуме блеска эмиссии простираются на  $\pm 250$  км/с у R CrB и  $\pm 470$  км/с у V854 Cep. У последней звезды на эмиссию D Na I наложено несколько абсорбционных компонент со смещением от 0 км/с до  $(-59)+(-83)$  км/с и узкая эмиссия на  $-26$  км/с. Широкая эмиссия сохраняется до предмаксимального состояния. На широкую эмиссию  $H_\alpha$  наложена только несмещенная узкая эмиссия, т.е. имеется некоторое отличие от D Na I: меньшее число компонент. Начальное развитие эмиссии в  $H_\alpha$  можно проследить по спектрам, полученным Лоусоном [154]: с момента появления широкой эмиссии на нее наложена несмещенная узкая абсорбция, уменьшающая свою интенсивность. Эмиссия D Na I у R CrB имеет профиль P Cyg, причем смещение широкой абсорбции увеличилось по мере восстановления блеска звезды [45].

Имеется единственное сообщение о красном смещении широкой эмиссии в линиях D Na I у RY Sgr [151]. Но имеются два довода против такого заключения:

- исходная спектрограмма не содержит непрерывного спектра из-за недоэкспонирования;
- широкая эмиссия смещена относительно узкой эмиссии D Na I, которая кроме характерного синего смещения еще отслеживает пульсации звезды (см. дискуссию о пульсациях RY Sgr в разделе "Фотометрия в спокойном состоянии").

Происхождение узкого эмиссионного спектра пытаются традиционно приписать хромосфере, наблюдаемой по аналогии с солнечным затмением. Пейн-Гапошкина [136], исследуя поведение эмиссионного спектра R CrB в минимуме 1960 г. и исходя из этого предположения, оценила параметры области излучения, т.е. хромосферы. В последующем это предположение легло в основу всех моделей, объясняющих переменность типа RCB. Среди других источников эмиссии называют газ, нагретый ударной волной, и звездный ветер [58]. Относительно широких эмиссий

считается, что они излучаются околозвездной оболочкой [22], как и предполагала Пейн-Галошкина [136] и допускала, что плотность в этой области не очень низкая: плотность ионов более  $10^6 \text{ см}^{-3}$ . Этот вывод имеет подтверждение из спектрополяриметрии V854 Cep [157] и из интерпретации происхождения эмиссий, полученной из анализа данных для новых [148].

Но возможны и другие источники свечения эмиссий, не связанные с хромосферой [74]. Подобное явление наблюдается для околосолнечных комет. Комета Икейя-Секи 1965 VIII на расстоянии 14 радиусов Солнца показала богатый эмиссионный спектр из линий нейтральных атомов Fe I, Ni I, Mn I и ионизованного кальция H и K Ca II [158]. Появление эмиссий молекул и исчезновение эмиссий металлов происходит в зависимости от расстояния кометы от Солнца. Молекулярная эмиссия  $\text{C}_2$  исчезает на близких расстояниях, эмиссии CN наблюдались всегда. Механизм свечения - резонансная флуоресценция в поле солнечной радиации с дилуцией.

Явление, аналогичное звездам типа RCB: большая интенсивность синих компонент эмиссионных линий по сравнению с красными, наблюдается у новых во время переходной фазы вспышки, когда происходит образование пылевого кольца. Отсюда следует заключение, что узкие эмиссии возникают в верхних слоях экранирующей оболочки [28]. Поэтому они имеют синее смещение: красные крылья профилей этих линий ослаблены двойной толщиной пылевой оболочки. Широкие эмиссии линий  $\text{H}_\alpha$ , D Na I и H и K Ca II возникают без связи с экранирующей оболочкой. Область их излучения должна иметь размер, превосходящий размер поглощающей оболочки, чтобы последняя не оказывала на профили этих эмиссий значительного влияния. По этой же причине излучение в этих линиях и эмиссионных полосах  $\text{C}_2$  у V854 Cep во время минимума блеска не поляризовано в отличие от континуума [157].

В работе [57] приходят к заключению, что область излучения эмиссий [C II]  $\lambda$  1335, Mg II  $\lambda$  2800 и, возможно, [C III]  $\lambda$  1909 находится выше затмевающей среды. Но следует помнить, что этот вывод основан на данных для минимума 1982г., имеющего глубину около  $0^m.5$ , и поэтому мог незначительно сказаться на параметрах звезды.

Профиль P Cug у линии He I  $\lambda$  10830 свидетельствует о потере массы.

Синий компонент имеет смещение соответствующее скорости 240 км/с [159]. Присутствие этой эмиссии позволило оценить плотность атомов ( $>10^{12}\text{см}^{-3}$ ) и температуру в области ее образования ( $\approx 20000\text{ K}$ ). Наблюдается она только в активном состоянии: Зирин [160] не зарегистрировал эмиссию He I  $\lambda$  10830, когда R CrB была в максимуме блеска.

В очень глубоких минимумах ( $\Delta m \approx 7-8^m$ ) у R CrB наблюдаются запрещенные линии [O II]  $\lambda$  3726-3729 [142]. Пейн-Гапошкина [136] их не наблюдала ( $\Delta m \approx 6^m$ ). Первый автор связал их происхождение с областью низкой плотности вокруг R CrB, которую он же пытался детектировать с помощью прямых снимков [99]. Подобная туманность была зарегистрирована вокруг V348 Sgr, горячего члена группы звезд типа RCB, показывающей во время минимума блеска многочисленные запрещенные линии [N II], [S II] и [O II]. Размер туманности 8-11" [161].

14. *Поляриметрия в активном состоянии.* Основной вклад в поляриметрию R CrB в активном состоянии внес Ефимов [25, 122, 162, 163], к сожалению эти данные остались неизвестны для многих исследователей [164]. Для других переменных имеются эпизодические наблюдения, охватывающие ослабления блеска до 2-3<sup>m</sup>, когда собственная поляризация еще не обнаруживается: SU Tau [31, 165], V482 Cyg [15]. Для RY Sgr имеются наблюдения только для начальной и заключительных фаз минимума 1967 г., но собственная поляризация была зарегистрирована [166].

Для степени поляризации R CrB в минимуме 1977г. Ефимовым [25] была установлена зависимость от величины ослабления блеска вида:

$$P_{\lambda} = 0.02 \times 10^{0.4\Delta m_{\lambda}} \quad (5)$$

или

$$P_{\lambda} = 0.02 \times I_{\lambda}^{-1}, \quad (5a)$$

где  $P_{\lambda}$  - степень поляризации на длине волны  $\lambda$ ,  $\Delta m_{\lambda}$  - ослабление блеска,  $I_{\lambda}$  - интенсивность излучения звезды на  $\lambda$  в долях интенсивности в нормальном состоянии. Сравнение с наблюдениями других минимумов на рис.8 подтверждает подобную зависимость как первое приближение: каждый минимум имеет свой коэффициент пропорциональности. Уменьшение поляризации на выходе из минимума происходит с меньшим коэффициентом, чем ее увеличение. Суперпозиция минимумов в глобальном минимуме приводит к смещению зависимостей  $P(m)$ , что

хорошо видно для минимума 1977г..

Упомянутый в [25] поворот плоскости поляризации со временем в фазе минимального блеска скорее всего может быть вызван эффектом некорректного учета межзвездной поляризации. В сложных минимумах 1972 и 1977 г. такого поворота не было. Следовательно, в минимуме 1988г. плоскость поляризации также была постоянной и межзвездная поляризация может иметь параметры, отличающиеся от принимаемых Ефимовым [25]:  $P_p = 0.2\%$ ,  $\Theta = 120^\circ$ . Из-за присутствия в околос звездных окрестностях трех пылевых образований: реликтовой и перманентной оболочек и оболочки, которая образуется только во время минимума блеска, наблюдаемая поляризация R CrV может иметь четыре составляющих: две постоянных и две переменных. Одна из постоянных имеет межзвездное происхождение, вторая обусловлена реликтовой оболочкой. Одна из переменных составляющих обусловлена перманентной

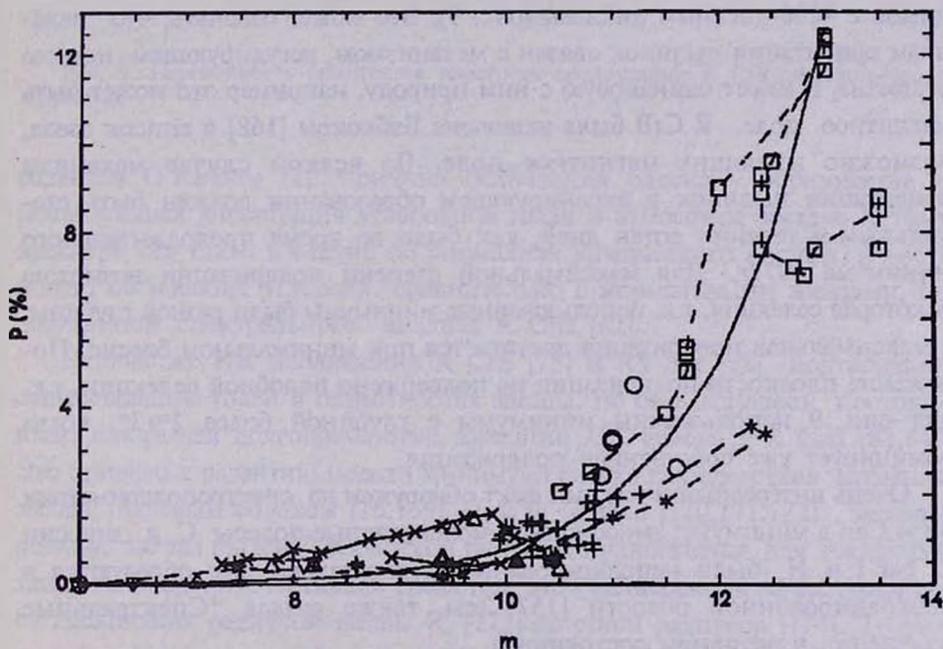


Рис. 8. Зависимость степени поляризации  $P$  (%) от блеска R CrV во время минимумов 1972г. - звездочки, 1974г. - кружки, 1976г. - треугольники вниз, 1977г. - квадраты, 1983г. - треугольники вверх, 1985г. - косые палочки, 1988г. - прямые палочки. Сплошная кривая линии - зависимость вида (5), сплошная ломаная линия - минимум 1985 г., штриховые ломаные линии - минимумы 1972г. и 1977г..

оболочкой, меняющей свою массу, и именно она может быть ответственна за изменение параметров поляризации в максимуме блеска, обнаруженное авторами [58]; вторая - возникнет только во время минимума блеска.

Вывод Стэнфорда и др. [157] о существовании предпочтительного направления выброса пылевых облаков, вызывающих минимум блеска, основан на случае селекции наблюдений, встречающемся для редких событий. Наблюдения этих авторов относятся к неглубокому минимуму блеска 1986г. с глубиной около  $1^m.5$ , когда вклад собственной поляризации был незначителен и угол плоскости поляризации соответствует переходным значениям, которые совпали со значениями для глубокого минимума 1972г. [167]. Наблюдения новых минимумов дали значительно отличающиеся данные для ориентации плоскости поляризации. Как оказалось, эта ориентация имеет периодическую составляющую.

В связи с обнаружением цикличности в наступлении минимумов можно обратить внимание на переменность ориентации плоскости поляризации в минимумах с глубиной более  $4^m$  во временной шкале, сравнимой с 4200-дневным циклом, (рис. 9). Это может означать, что механизм ориентации пылинок связан с механизмом, регулирующем потерю вещества, и имеет одинаковую с ним природу, например это может быть магнитное поле. R CrB была включена Бэбкоком [168] в список звезд, возможно имеющих магнитное поле. Во всяком случае механизм ориентации пылинок в экранирующем образовании должен быть стабильным в течении сотен дней, как было во время продолжительного минимума 1977г.. Для максимальной степени поляризации возможна некоторая селекция, т.к. использованные минимумы были разной глубины, а максимальная поляризация достигается при минимальном блеске. Положение плоскости поляризации не подвержено подобной селекции, т.к. для рис. 9 использованы минимумы с глубиной более  $2^m+3^m$ , когда доминирует уже собственная поляризация.

Очень интересный и важный факт обнаружен из спектрополяриметрии V854 Cen в минимуме: эмиссионные молекулярные полосы  $C_2$  и эмиссии D Na I и  $H_\alpha$  были неполяризованы, следовательно они образуются в неэкранированной области [157] (см. также раздел "Спектральные изменения в активном состоянии").

15. *Причины и моделирование переменности типа R Северной Короны.* Основу всех существующих моделей переменности типа R Северной Короны составляет гипотеза, выдвинутая Лоретой [1] и

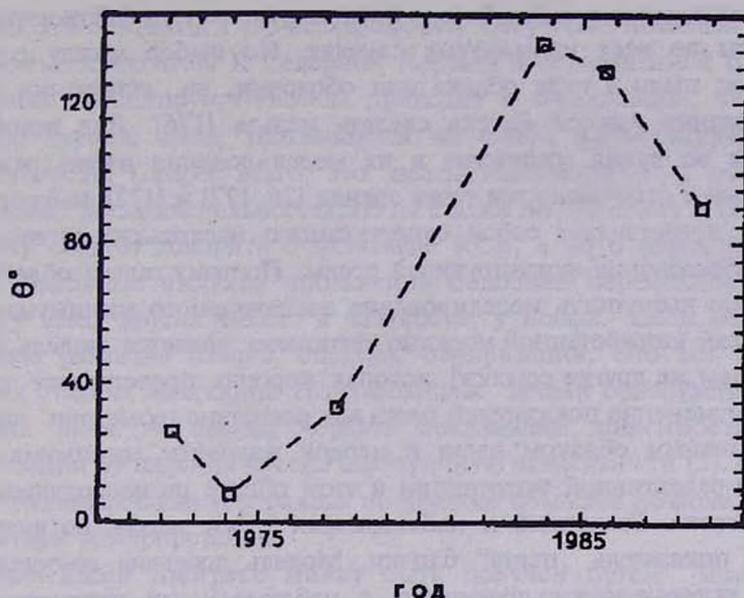


Рис. 9. Переменность ориентации плоскости поляризации R CrB от минимума к минимуму.

развита О'Кифом [2]: причина ослабления блеска - образование и последующая диссипация углеродной пыли в атмосфере звезды. К тому времени уже было известно об аномалиях химического состава, в частности, об избытке углерода сравнительно с нормальными звездами, по результатам спектрального анализа R CrB [62].

Первые же ИК наблюдения R CrB [75] и RY Sgr [76] подтвердили существование пыли в окрестностях звезды, но оно оказалось постоянным, показывая долговременные вариации ИК блеска у R CrB [83,84]. Это привело к развитию модели минимума блеска как следствия затмения звезды пылевым облаком [26,169]. Другая модель [170,171,172]: экранирование звезды пылевой оболочкой почти не привлекается для интерпретации наблюдений. Активная среда при этом размещается на расстояниях от нескольких радиусов звезды R, [173] до сотен радиусов [174]. Теория конденсации углеродной пыли [175] не позволяет размещать пыль ближе  $20R$ . Это находит косвенную поддержку в интерпретации эмиссионного спектра, появляющегося в минимуме, как результате затмения фотосферы звезды пылевым облаком (под хромосферой или выше) [136].

Моделирование кривых блеска в минимуме дает удовлетворительные результаты во всех упомянутых случаях. Но выбор между разными подходами: пыль в виде облака или оболочки, на основании только моделирования кривой блеска сделать нельзя [176]. Для понимания процессов во время минимума и их моделирования важен результат, полученный с отличающихся точек зрения [26, 177] и [123]: наблюдаемый минимум представляет собой суперпозицию нескольких независимых случаев образования экранирующей среды. Поэтому задача облегчается: необходимо выполнить моделирование элементарного минимума.

Наиболее разработанной моделью феномена является модель Пугача [26, 177, там же другие ссылки], которая хорошо представляет кривую блеска и изменение показателей цвета как следствие геометрии затмения звезды плотным облаком пыли в первой половине минимума и как следствие селективной экстинкции в этом облаке на восходящей ветви кривой блеска. Расчетный и наблюдаемый треки звезды на диаграмме "блеск - показатель цвета" близки. Модель доведена до численных величин, которые можно сравнивать с наблюдаемыми параметрами. И здесь она сталкивается с некоторыми трудностями. Одной из них является следующий факт. Минимум блеска представляет собой суперпозицию нескольких независимых случаев образования пылевого облака на луче зрения без какого-либо предпочтительного их числа. Длительность минимума может достигать сотен дней: все это время вокруг звезды должны следовательно образовываться пылевые облака, увеличивая ИК избыток. Интервал времени между минимумами, т.е. пылевые облака не образуются, превышает их длительность. Но ИК кривая блеска не показывает подобных изменений.

Удовлетворительное объяснение визуальной кривой блеска во время минимума, исходя из изменяющихся оптических свойств пылинок при их образовании и росте, приводит Ефимов (1988), но расчетный трек звезды на диаграмме "блеск - показатель цвета" во время минимума имеет направление обхода противоположное наблюдаемому.

Эти два примера демонстрируют, что построение правильной модели феномена R Северной Короны требует получения максимально полной картины процессов, происходящих в окрестностях звезды: геометрии явления, знания поведения звезды в различных диапазонах спектра и не опираться при моделировании только на один объект.

16. *Заключение.* Сложность феномена R Северной Короны требует

комплексного подхода к его исследованию. Отсутствие локализации звезд с переменностью типа R Северной Короны в определенной области на диаграмме Герцшпрунга-Рассела приводит к заключению, что нет отдельной группы звезд, находящихся на одной эволюционной последовательности. Скорее всего, это звезды находящиеся на разных эволюционных последовательностях, но на стадии интенсивной потери массы. Поэтому следует говорить о феномене RCB, а не о переменных типа RCB. Отдельные стороны проявления подобной переменности можно найти у звезд других типов, в частности, у новых. Здесь мы находим подобное развитие блеска, спектра, поляризации. Это все звезды на поздних стадиях эволюции. Но некоторые детали обнаруживаются и у молодых звезд. Ае звезды Херbiga показывают зависимость степени поляризации от падения блеска аналогичную зависимости (5). Сопоставление подобных свойств у разных по природе объектов позволит избежать ошибочной интерпретации.

Дальнейший прогресс может быть получен путем мониторинга спектральных линий, наблюдаемых в минимуме как широкие эмиссии: H и K Ca II, D Na I, H<sub>α</sub>. Относительно эмиссий H и K Ca II нам представляется, что они не относятся к широким эмиссиям: скорее всего происходит уменьшение интенсивности этих линий, а не заполнение эмиссией. Этот процесс может иметь отношение и к другим линиям. Спектральный мониторинг на спаде блеска даст ответ на этот вопрос. Сравнение развития разных линий поможет уточнить геометрическую картину явления. Необходимо выяснить причину раздвоения линии Sc II λ 4246 в максимуме блеска: расщепление вследствие пульсаций или наложение перманентно существующей хромосферной или другой эмиссии.

При анализе широких эмиссий важно учесть все возможные источники эмиссий. Например, профиль линии K Ca II искажается эмиссией Ti II λ 3932.01 (34), которая отсутствует в списках отождествления эмиссий в спектре R CrV [136, 142], но отчетливо видна на профиле этой линии из работы [143]. Важно разделить условия образования линий: абсорбций в максимуме и абсорбций в минимуме, которые накладываются на эмиссии; широких эмиссий и узких эмиссий.

Для получения цельной и полной картины феномена R CrV важно выделить из многокомпонентного минимума отдельные составляющие в фотометрическом, поляризационном и спектральном поведении. Таким

образом удастся получить полное и правильное представление об “элементарном” минимуме. Дальнейшее моделирование феномена R Северной Короны должно будет проводиться для этого идеального случая, когда поведение блеска приближенно задается формулой (2), изменения показателей цвета происходят в зависимости от скорости падения блеска. По крайней мере уже сейчас можно сказать, что задача существенно упростится: фаза минимального блеска “С”, которую пытались моделировать в работе [178], сводится тогда к переходу от образования пылевого слоя к его диссипации.

Даже повторные наблюдения позволят избежать ошибочных выводов, как произошло с заключением [164] о существовании выделенного направления в выбросах пыли.

Существующие модели феномена R Северной Короны часто основаны только на фотометрическом поведении этих звезд. Спектральные вариации всегда пытаются объяснить в рамках хромосферного спектра, другие возможные источники эмиссий почти не упоминаются. Выбор между моделями пылевого облака или пылевой оболочки может быть сделан только с привлечением всей совокупности наблюдаемых свойств. И важный результат для этого выбора могут дать УФ наблюдения, точнее фотометрия в этой области спектра, т.к. углеродные пылинки имеют пик эффективности поглощения на длинах волн около 2400 Å. Очень удобными объектами для построения модели феномена RCB являются R CrV и RY Sgr. Первая может служить для изучения процессов сопровождающих это явление, которое мало искажено пульсациями звезды. Вторая поможет понять причины, приводящие к минимуму, и сделать уверенный выбор между моделями феномена: облако или оболочка. Некоторую дискуссию по этому поводу с выводом в пользу модели пылевой оболочки можно найти в [179].

Главная астрономическая обсерватория  
НАН Украины, Киев

THE R CORONAE BOREALIS TYPE VARIABLES:  
REVIEW OF OBSERVATIONS

A.E.ROSENBUSH

Review of main photometric, spectroscopic, and polarimetric observations for the R Coronae Borealis type variable stars is presented. The comparison of some properties of this type stars with other type variables with indications of an intensive mass loss is presented.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *E.Loreta*, *Astron.Nachrichten*, **254**, 151, 1934.
2. *J.A.O'Keefe*, *Astrophys.J*, **90**, 294, 1939.
3. *J.S.Drilling*, *Hydrogen Deficient Stars and Related Objects*, IAU Coll., No 87, Reidel, Dordrecht, 9, 1986.
4. *D.Kilkenny*, *J.E.Westerhuys*, *Observatory*, **110**, 90, 1990.
5. *А.Э.Розенбуш*, *Кинематика и физика небесных тел*, **5**, No 1, 84, 1989.
6. *L.A.Milone*, *E.R.Minniti*, *S.Paolantonio*, *Inf.Bull.Var.Stars*, No 3526, 1990.
7. *B.F.Marino*, *W.S.G.Walker*, *Circ.Var.Star Sec.*, *Roy.Astron.Soc.N.Z.*, No 184, 1971.
8. *A.E.Rosenbush*, *V.K.Rosenbush*, *Inf.Bull.Var.Stars*, No 3439, 1990.
9. *А.Э.Розенбуш*, *Переменные звезды*, **23**, 255, 1993.
10. *B.F.Marino*, *South Stars*, **26**, 211, 1976.
11. *W.A.Lawson*, *P.L.Cottrell*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **240**, 689, 1989.
12. *Б.Е.Жилев*, *М.Я.Орлов*, *А.Ф.Пугач*, *М.Г.Родригес*, *А.Г.Тоточава*, *Звезды типа R Северной Короны*. Наукова думка, Киев, 1978.
13. *А.Э.Розенбуш*, *Бюлл.инстит.астрофиз. АН Тад.ССР*, No 78, 47, 1989.
14. *M.W.Feast*, *Changing Trends in Variable Star Research*, IAU Coll., No 46, Univ.Waikato, 246, 1979.
15. *A.E.Rosenbush*, *Astron.Nachrichten*, **316**, 213, 1995.
16. *P.L.Cottrell*, *W.A.Lawson*, *A.C.Gilmore*, *P.A.Kilmartin*, *F.Bateson*, *Circ.IAU*, No 5000, 1990.
17. *M.W.Feast*, *South.Afric.Astron.Observ. Report*, 1990.
18. *R.P.S.Stone*, *R.P.Kraft*, *Ch.F.Prosser*, *PublAstron.Soc.Pacif.*, **105**, 755, 1993.
19. *J.S.Drilling*, *P.W.Hill*, *Hydrogen Deficient Stars and Related Objects*, IAU Coll., No 87, Reidel, Dordrecht, 499, 1986.
20. *W.Buscombe*, *B.E.Foster*, *MK Spectral Classification*, Evanston, 1990.

21. *M.W.Feast*, Variable Stars and Stellar Evolution, IAU Symp., No 67, Reidel, Dordrecht 129, 1975.
22. *M.W.Feast*, Hydrogen Deficient Stars and Related Objects, IAU Coll., No 87, Reidel, Dordrecht, 151, 1986.
23. *M.W.Feast*, Astron.Soc.Pacif., Conf.Ser., 11, 538, 1990.
24. *D.Kilkenny*, 1.European Meeting of the AAVSO: International Cooperation and Coordination in Variable Stars Research, 205, 1992.
25. *Ю.С.Ефимов*, Астрон.ж., 67, 494, 1990.
26. *А.Ф.Пугов*, Астрон.ж., 61, 491, 1984.
27. *А.Э.Розенбуш*, Перемен.звезды, 22, 877, 1988.
28. *А.Э.Розенбуш*, Кинематика и физика небесных тел, 4, No 5, 33, 1988.
29. *Н.А.Мискин*, Перемен.звезды, 15, 315, 1964.
30. *N.K.Rao*, Th.D., Univ.California, Santa Cruz, 1974.
31. *В.Т.Дорошенко*, *Ю.С.Ефимов*, *А.Э.Розенбуш*, *В.Ю.Теребиж*, *В.И.Шенаврин*, Астрофизика, 14, 5, 1978.
32. *L.Jacchia*, Publ.Osserv.Astron.Univ.Bologna, 2, 173, 1933.
33. *W.A.Lawson*, *P.L.Cottrell*, *P.A.Kilmartin*, *A.C.Gilmore*, Mon. Notic. Roy. Aston.Soc., 247, 91, 1990.
34. *A.F.Pugach*, Inf.Bull.Var.Stars, No 1277, 1977.
35. *W.A.Lawson*, Astron.Soc.Pacif., Conf.Ser., 30, 357, 1992.
36. *H.G.Marraco*, *G.Milesi*, Boll.Asoc.Argentina Astron., No 25, 32, 1980.
37. *D.Kilkenny*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 200, 1019, 1982.
38. *F.Lombard*, *C.Koen*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 263, 309, 1993.
39. *W.A.Lawson*, *P.L.Cottrell*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 231, 609, 1988.
40. *P.L.Cottrell*, *D.L.Lambert*, Observatory, 102, 149, 1982.
41. *W.A.Lawson*, *P.L.Cottrell*, *M.Clark*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 251, 687, 1991.
42. *A.E.Rosenbush*, (in preparation), 1995.
43. *I.J.Danziger*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 130, 199, 1965.
44. *P.C.Kennan*, *J.L.Greenstein*, Contr.Perkins Obs.Series, 11, 197, 1963.
45. *D.L.Lambert*, *N.K.Rao*, *S.Grighar*, J.Astrophys.Astron., 11, 475, 1990.
46. *T.Lloyd Evans*, Mon.Notic.roy.Astron.Soc., 219, 191, 1986.
47. *G.H.Herbig*, Observatory, 73, 71, 1953.
48. *Н.А.Горыня*, *А.С.Пасторгуев*, *Н.Н.Самусь*, Письма в Астрон.ж., 18, 375, 1992.
49. *J.D.Fernie*, Publ.Astron.Soc.Pacif., 101, 166, 1989.
50. *W.A.Lawson*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 253, 625, 1991.
51. *Р.И.Гончарова*, Фотометрические и поляризметрические исследования небесных тел, Наукова думка, Киев, 102, 1985.
52. *J.D.Fernie*, *V.Sherwood*, *D.L.Du Puy*, Astrophys.J, 172, 383, 1972.

53. *J.B.Alexander, P.J.Andrews, R.M.Catchpole, M.W.Feast, T.Lloyd Evans, J.M.Menzies, P.N.J.Wisse, M.Wisse*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **158**, 305, 1972.
54. *G.C.Clayton, W.A.Lawson, P.L.Cottrell, B.A.Whitney, S.A.Stanford, F. de Ruyter*, *Astrophys.J*, **432**, 785, 1994.
55. *K.S.Krishna Swamy*, *Observatory*, **97**, 144, 1977.
56. *A.V.Holm, C.-C.Wu, L.R.Doherty*, *Bull.Amer.Astron.Assoc.*, **13**, 523, 1981.
57. *A.V.Holm, J.Hecht, C.-C.Wu, B.Donn*, *Publ.Astron.Soc.Pacif.*, **99**, 497, 1987.
58. *G.C.Clayton, B.A.Whitney, S.A.Stanford, J.S.Drilling*, *Astrophys.J*, **397**, 652, 1992.
59. *B.T.Draine, H.M.Lee*, *Astrophys.J*, **285**, 89, 1984.
60. *U.Leuenhagen, W.-R.Hamann*, *Astron.Astrophys.*, **283**, 567, 1994.
61. *C.S.Jeffery, U.Heber*, *Astron.Astrophys.*, **270**, 167, 1993.
62. *L.Berman*, *Astrophys.J*, **81**, 369, 1935.
63. *P.L.Cottrell, D.L.Lambert*, *Astrophys.J*, **261**, 595, 1982.
64. *D.Schoenberner*, *Astron.Astrophys.*, **44**, 383, 1975.
65. *D.Kilkenny, D.C.B.Whittet*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **208**, 25, 1984.
66. *D.L.Lambert*, *Hydrogen Deficient Stars and Related Objects*, *IAU Coll.*, No 87, Reidel, Dordrecht, 127, 1986.
67. *T.Kipper, M.Kipper*, *Astron.Astrophys.*, **276**, 389, 1993.
68. *T.Iijima, F.Strafella*, *Inf.Bull.Var.Stars*, No 3959, 1993.
69. *C.Payne-Gaposchkin*, *Ann.Rev.Astron.Astrophys.*, **16**, 1, 1978.
70. *G.C.Augason*, *Mass Loss Red Giants*, *Proc.Conf.*, Los Angeles, June 20-21, 1984, Dordrecht, **265**, 1985.
71. *C.S.Jeffery*, *Astron.Astrophys.*, **297**, 779, 1995.
72. *H.E.Bond, R.E.Luck, M.J.Newman*, *Astrophys.J*, **233**, 205, 1979.
73. *K.R.Pollard, P.L.Cottrell, W.A.Lawson*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **268**, 544, 1994.
74. *A.E.Rosenbush*, *Astron.Nachrichten*, **316**, 281, 1995.
75. *W.A.Stein, J.E.Gaustad, F.C.Gillett, P.E.Knacke*, *Astrophys.J*, **155**, L3, 1969.
76. *T.A.Lee, M.W.Feast*, *Astrophys.J*, **157**, L173, 1969.
77. *D.Y.Gezeri, M.Schmitz, P.S.Pitts, J.M.Mead*, *Catalog of Infrared Observations*, *NASA Ref.Publ.*, No 1294, 1993.
78. *I.S.Glass, W.A.Lawson, C.D.Laney*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **270**, 347, 1994.
79. *M.W.Feast, I.S.Glass*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **161**, 293, 1973.
80. *H.J.Walker*, *Astron.Astrophys.*, **152**, 58, 1985.
81. *F.C.Gillett, D.E.Backman, C.Beichman, G.Neugebauer*, *Astrophys.J*, **310**,

- 842, 1986.
82. *A.Weiss*, *Astron.Astrophys.*, **185**, 178, 1987.
  83. *R.M.Humphreys, E.F.Ney*, *Astrophys.J*, **190**, 339, 1974.
  84. *D.W.Strecker*, *Astron.J*, **80**, 451, 1975.
  85. *A.V.Raveendran, B.N.Ashoka, N.K.Rao*, *Hydrogen Deficient Stars and Related Objects*, IAU Coll., No 87, Reidel, Dordrecht, 191, 1986.
  86. *А.Э.Розенбуш*, *Астрон.циркуляр*, No 1343, 6, 1984.
  87. *А.Э.Розенбуш*, *Астрон.ж.*, 1995, (представлена).
  88. *В.Б.Ильин, Н.В.Вошинников*, *Астрон.ж.*, **70**, 721, 1993.
  89. *J.A.Hackwell*, *Astron.Astrophys.*, **21**, 239, 1972.
  90. *Т.С.Хрузина*, *Астрон.циркуляр*, No 1150, 3, 1981.
  91. *R.Treffers, N.J.Wolf, W.Fink, H.P.Larson*, *Astrophys.J*, **207**, 680, 1976.
  92. *А.Э.Розенбуш*, *Астрон.циркуляр*, No 1131, 1, 1980.
  93. *C.A.Beichman, J.Keene, T.G.Phillips, P.J.Huggins, H.A.Wootten, C.Masson, M.A.Freking*, *Astrophys.J*, **273**, 633, 1983.
  94. *R.W.Hobbs, P.Marionni*, *Astrophys.J*, **167**, 85, 1971.
  95. *W.J.Wilson, P.R.Schwarz, E.E.Epstein*, *Astrophys.J*, **183**, 871, 1973.
  96. *J.H.Spencer, A.Winnberg, F.M.Olson, P.R.Schwartz, H.E.Matthews, D.Downes*, *Astron.J*, **86**, 392, 1981.
  97. *D.L.Pollacco, P.W.Hill, L.Houziaux, J.Manfroid*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **248**, 1p, 1991.
  98. *G.H.Herbig*, *Astrophys.J*, **127**, 312, 1958.
  99. *G.H.Herbig*, *Mem.Soc.Roy.Sci.Liege*, **17**, 353, 1969.
  100. *K.N.Nagendra, C.M.Leung*, *Bull.Amer.Astron.Soc.*, **22**, 1248, 1990.
  101. *L.Houziaux, P.Bouchet, A.Heck, J.Manfroid*, *Quart.J.Roy. Astron.Soc.*, **28**, 231, 1987.
  102. *D.L.Pollacco, C.N.Tadhunter, P.W.Hill*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **245**, 204, 1990.
  103. *F.M.Bateson*, *Publ.Var.Star Sec.*, *Roy.Astron.Soc.N.Z.*, No 6, 39, 1978.
  104. *W.S.G.Walker, B.F.Marino, J.C.D.Herdman*, *South Stars*, **34**, 293, 1991.
  105. *R.H.McNaught, G.Dawes*, *Inf.Bull.Var.Stars*, No 2928, 1986.
  106. *D.Kilkenny, F.Marang*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **238**, 1p, 1989.
  107. *D.Schoenberner*, *Astron.Astrophys.*, **57**, 437, 1977.
  108. *N.K.Rao, K.Nandy*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **222**, 357, 1986.
  109. *I.Jr.Iben*, *Astrophys.J*, **277**, 333, 1984.
  110. *A.Renzini*, *Astron.Soc.Pacif., Conf.Ser.*, **11**, 549, 1990.
  111. *D.L.Pollacco, W.A.Lawson, R.E.S.Clegg, P.W.Hill*, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, **257**, 33p, 1992.
  112. *W.C.Seitter*, *Messenger*, No 50, 14, 1987.
  113. *J.B.Karel, W.A.Feibelman*, *Astrophys.J*, **282**, 719, 1984.

114. *D. McLaughlin*, Publ. Amer. Astron. Soc., **8**, 145, 1935.
115. *W. P. Bidelman*, Trans. IAU, **8**, 852, 1954.
116. *M. W. Feast*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **115**, 461, 1955.
117. *В. Г. Горбацкий*, Новоподобные и новые звезды, Наука, М., 1974.
118. *А. Э. Розенбуш*, Астрон. ж., 1996, (представлена).
119. *R. M. Mitchell, G. Robinson, A. R. Hyland, G. Neugebauer*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **216**, 1057, 1985.
120. *J. S. Gallagher, A. D. Code*, Astrophys. J., **189**, 303, 1974.
121. *Ю. С. Ефимов*, 1994, Частное сообщение.
122. *Ю. С. Ефимов*, Астрон. ж., **65**, 979, 1988.
123. *А. Э. Розенбуш*, Письма в Астрон. ж., **18**, 158, 1992.
124. *T. E. Sterne*, Harvard Bull., No 896, 17, 1934.
125. *P. Tempesti, R. De Santis*, Mem. Soc. Astron. Ital., **46**, 451, 1975.
126. *I. D. Howarth*, Acta Astron., **27**, 65, 1977.
127. *J. S. B. Dick, H. J. Walker*, Astron. Astrophys., **252**, 701, 1991.
128. *B. H. J. Waters*, Circ. Var. Star Sect., Roy. Astron. Soc. N. Z., No 119, 1966.
129. *L. Detre*, Non-Periodic Phenomenon in Variable Stars, Academic Press, Budapest, **3**, 1969.
130. *C. Koen, F. Lombard*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **263**, 287, 1993.
131. *А. Э. Розенбуш*, Астрометрия и Астрофизика, **47**, 17, 1982.
132. *A. E. Rosenbush*, Hydrogen Deficient Stars and Related Objects, IAU Coll., No 87, Reidel, Dordrecht, **173**, 1986.
133. *G. C. Clayton, B. A. Whitney, J. A. Mattei*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **105**, 832, 1993.
134. *Т. С. Хрузина*, Астрон. циркуляр, No 1098, 1, 1980.
135. *Ю. С. Ефимов, А. Э. Розенбуш*, (в подготовке).
136. *S. Payne-Gaposchkin*, Astrophys. J., **138**, 320, 1963.
137. *А. Ф. Пугач*, Перемен. звезды, **20**, 391, 1977.
138. *А. Э. Розенбуш*, Автореферат дис., канд. физ.-мат. наук, Одесса, 1981.
139. *А. Э. Розенбуш*, Кинематика и физика небесных тел, **2**, No 5, 29, 1986.
140. *P. L. Cottrell, W. A. Lawson, M. Buchhorn*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **244**, 149, 1990.
141. *A. H. Joy, M. L. Humason*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **35**, 325, 1923.
142. *G. H. Herbig*, Astrophys. J., **110**, 143, 1949.
143. *N. K. Rao*, in: "Effects of Mass Loss on Stellar Evolution", IAU Coll., No 59, Reidel, Dordrecht, **469**, 1981.
144. *J. R. Greenstein*, Circ. IAU, No 2158, 1969.
145. *J. M. Pasachoff*, Circ. IAU, No 2403, 1972.
146. *N. K. Rao, R. Vasundhara, B. N. Ashoka*, Hydrogen Deficient Stars and Related Objects, IAU Coll., No 87, Reidel, Dordrecht, **185**, 1986.

147. *J.M.Pasachoff*, Bull.Amer.Astron.Soc., 9, 118, 1977.
148. *А.Э.Розенбуш*, Кинематика и физика небесных тел, 2, No 6, 83, 1986.
149. *А.Э.Розенбуш*, не опубликовано.
150. *N.K.Rao, S.Giridhar, B.N.Ashoka*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 244, 29, 1990.
151. *F.Spite, M.Spite*, Astron.Astrophys., 80, 61, 1979.
152. *M.Asplund*, Astron.Astrophys., 294, 3, 763, 1995.
153. *A.D.Vanture, G.Wallerstein*, Publ.Astron.Soc.Pacif., 107, 244, 1995.
154. *W.A.Lawson*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 258, 33p, 1992.
155. *N.K.Rao, D.L.Lambert*, Astron.J, 105, 1915, 1993.
156. *А.Э.Розенбуш*, Астрометрия и астрофизика, вып. 47, 17, 1982.
157. *B.A.Whitney, G.C.Clayton, R.E.Schulte-Ladbeck, M.R.Meade*, Astron.J, 103, 1652, 1992.
158. *C.Arpiigny*, Astron.Soc.Pacif.,Conf.Ser., 81, 362, 1995.
159. *M.Querci, F.Querci*, Astron.Astrophys., 70, L45, 1978.
160. *H.Zirin*, Astrophys.J, 260, 655, 1982.
161. *N.K.Rao, K.Nandy*, 4th Eur.IUE Conf.Proc., 363, 1984.
162. *Ю.С.Ефимов*, Изв.Крым.астрофиз.обсерв., 61, 110, 1980.
163. *Ю.С.Ефимов*, Изв.Крым.астрофиз.обсерв., 62, 17, 1980.
164. *S.A.Stanford, G.C.Clayton, M.R.Meade, K.H.Nordsieck, B.A.Whitney, M.A.Murison, M.A.Nook, C.M.Anderson*, Astrophys.J, 325, L9, 1988.
165. *М.Я.Орлов, М.Г.Подпугес*, Астрон.циркуляр, No 969, 1, 1977.
166. *K.Serkowski, A.Kruszewski*, Astrophys.J, 155, L15, 1969.
167. *G.V.Coyne, S.J.Shawl*, Astrophys.J., 186, 961, 1973.
168. *H.M.Babcock*, Astrophys.J.Suppl.Ser., 3, 141, 1958.
169. *W.J.Forrest, F.C.Gillett, W.A.Stein*, Astrophys.J, 178, L129, 1972.
170. *A.Galatola, Th.D.*, Univ.Pennsylvania, 1969.
171. *I.Krelowsky*, Variable Stars and Stellar Evolution, IAU Symp., No 67, Reidel, Dordrecht, 149, 1975.
172. *В.А.Окорокоев*, Научные информации Астросовета, No 57, 3, 1984.
173. *C.Heinrich, A.Goeres, E.Sedlmayr*, Astron.Gesellschaft, Abstract Ser., 10, 161, 1994.
174. *L.Hartmann, J.P.Apruzese*, Astrophys.J, 203, 610, 1976.
175. *Yu.A.Fadeyev*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 233, 65, 1988.
176. *В.А.Окорокоев, В.П.Федрушков*, Астрон.циркуляр, No 1551, 13, 1992.
177. *А.Ф.Пугач, Г.У.Ковальчук*, Астрон.ж., 71, 250, 1994.
178. *A.Goeres, E.Sedlmayr*, Astron. and Astrophys., 265, 216, 1992.
179. *A.E.Rosenbush*, Astron.Soc.Pacif., Conf.Ser., 1996, in press.