

УДК: 524.338.7

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКОЛОЗВЕЗДНЫХ
ОБОЛОЧЕК ЗВЕЗД С ПЕРЕМЕННОСТЬЮ ТИПА R
СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ

А.Э.РОЗЕНБУШ

Поступила 13 февраля 2000

Принята к печати 10 августа 2000

По спектральным наблюдениям R CrB в минимуме 1985г. прослежено преобразование линейчатого и молекулярного спектра звезды из абсорбционного в эмиссионный и впервые из сопоставления с кривыми блеска и показателей цвета сделан вывод, что быстрая вариация показателя цвета $U-B$ на $-0^m.6$ при падении блеска была вызвана исключительно этой трансформацией. Преобразование спектра может приводить к увеличению блеска звезды в фотометрических полосах UBV примерно на $1^m.4$, $0^m.75$ и до $0^m.75$, соответственно. Это снимает одно из основных возражений против использования представления об однородной сферической оболочке при интерпретации явления R Северной Корона. Спектральные наблюдения высокого разрешения SV Sge, звезды с переменностью типа R Северной Корона, показали наличие интенсивного околозвездного компонента в линиях D Na I с фиолетовым смещением, соответствующим 240 км/с, которое не связано с минимумами визуального блеска. Высказывается предположение, что поток вещества с подобной скоростью через околозвездные окрестности является причиной возбуждения не только широких эмиссий, наблюдаемых во время минимумов блеска при ослаблении фотосферного излучения, но и узких. В предположении, что минимум блеска связан с временным образованием еще одной сферической, экранирующей оболочки, определены некоторые характеристики перманентной оболочки. Оптическая и геометрическая толщины равны соответственно $0.2-0.7$ и не менее 0.4 собственного радиуса.

1. *Введение.* Глубокие продолжительные ослабления визуального блеска у звезд с переменностью типа R Северной Корона (RCB), вызванные конденсацией пыли на луче зрения, продолжительное время остаются феноменом со многими вопросами, включая даже просто геометрическую модель явления [1-4]. Основой современной рабочей модели является представление об облачной структуре околозвездной пылевой оболочки [2,3]. Существование этой перманентной оболочки поддерживается интенсивной потерей массы, в потоке которой постоянно образуются облака пыли. Если какое-либо облако образуется на луче зрения, то наблюдается минимум блеска характерной формы. Этим объяснялось отсутствие антикорреляции между изменением визуального и инфракрасного (ИК) блеска во время минимума. Отсутствие явного влияния перманентной оболочки, в которой преобразуется до 50% болометрической светимости звезды, на видимые характеристики звезды в максимуме блеска подкрепляло идею ее облачной структуры. Основная трудность, стоящая перед облачной моделью, заключается в необходимости конденсации пыли на удалении не более 2-3 звездных радиусов у звезды с

эффективной температурой около 7000 К (см. обзор [3]).

Недавно мы предложили связать минимум блеска с образованием еще одной пылевой сферической оболочки, объясняя этим отсутствие упомянутой антикорреляции [5]. Тогда ИК-поток новой, экранирующей оболочки временно компенсирует ИК-поток перманентной: обе оболочки образуются в одном и том же потоке вещества, но на разных уровнях и перерабатывают излучение одного и того же источника. Этим мы предлагаем вернуться к отклоненной почти 30 лет назад модели сферической оболочки, модифицировав ее.

Один из основных выводов данного исследования опирается на результаты наблюдений R CrB в минимуме 1985г., опубликованных нами ранее, которые дали некоторые сведения об условиях образования спектральных линий в атмосфере звезды [6]. Общее поведение спектра во время минимума в общих чертах было подобным предыдущим минимумам, и поэтому мы его не описывали. Но теперь мы находим необходимым вернуться к этим наблюдениям и сопоставить поведение спектра с фотометрическим поведением звезды, чтобы попытаться ответить на вопрос: что все-таки ответственно за изменение показателей цвета звезды во время минимума блеска? Последнее играет важную роль в выборе модельного подхода при интерпретации явления RCB [7]. Спектральные наблюдения высокого разрешения одной из звезд данного типа переменности в максимуме блеска обнаружили одну интересную характеристику околосредных окрестностей. Некоторые характеристики околосредных оболочек мы выведем, опираясь на опубликованные наблюдения других авторов.

2. Наблюдения. В минимуме 1985г. R CrB ослабела всего лишь на $4^m.3$, что позволило нам на 60-см телескопе со спектрографом UAGS детально проследить изменение спектра от первых признаков ослабления блеска до наметившегося восстановления блеска. Наблюдениями охвачен спектральный диапазон от 330 до 670 нм с дисперсией 4.4-16.7 нм/мм.

Каких-либо заметных устойчивых изменений в линейчатом спектре, кроме небольших вариаций в центральной части профиля линий H и K Ca II, до падения блеска на $\Delta m \approx 1^m.6$ найдено не было. Дальнейшее ослабление блеска сопровождалось уменьшением интенсивности абсорбций и исчезло, в основном, при $\Delta m \approx 3^m$, уступив место эмиссиям. Эмиссии достигли максимальной интенсивности к моменту наибольшего ослабления блеска в данном минимуме $4^m.3$, следующий единственный спектр уже относится к началу восстановления нормального блеска, и он показал ослабление интенсивности эмиссий более резкое, чем ее рост при такой же разности блеска звезды.

Молекулярный спектр до ослабления $\Delta m \approx 1^m.4$ оставался абсорбционным, и интенсивность по сравнению с максимумом блеска не изменилась. При

$\Delta m \approx 1^m.5$ интенсивность уменьшилась, а при $m \approx 2^m.9$ появилась эмиссия в полосе молекулы C_2 $\lambda 563.5$ нм, в остальных полосах, в частности, на $\lambda 473.7$ нм, абсорбции только исчезли. Эмиссии CN $\lambda 388.2$ нм при этом

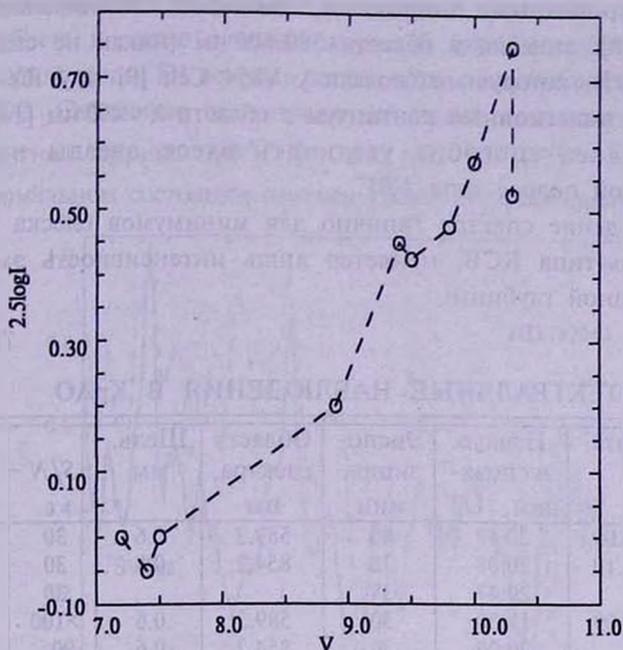


Рис. 1. Сопоставление изменения интенсивности $\log I$ молекулярной полосы C_2 $\lambda 473.7$ нм с блеском V у R Cr B в минимуме 1985 г. Интенсивность определялась как отношение "центральной" глубины полосы в минимуме и максимуме блеска.

уровне блеска еще не было. Следующая спектрограмма, которая показывает дальнейшее усиление молекулярных эмиссий, относится к $m \approx 3^m.4$. Полоса C_2 $\lambda 438.2$ нм не выделяется на фоне многочисленных интенсивных эмиссионных линий в этом участке спектра. Наибольшей интенсивности

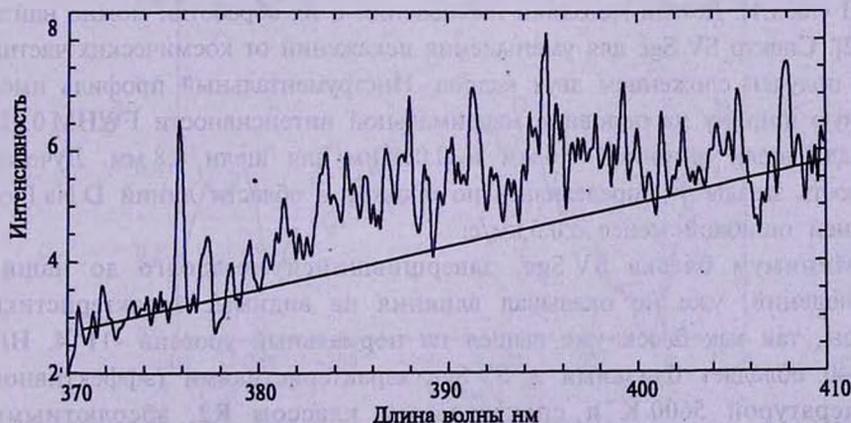


Рис. 2. Участок спектра R Cr B в минимуме 1985 г. с идентифицированной эмиссионной полосой в области $\lambda < 400$ нм. Показан уровень континуума. На полосу наложены многочисленные линейчатые эмиссии.

эмиссии достигли к минимальному блеску ($\Delta m = 4.3$). Затем они начали быстро ослабевать (рис.1), подобно линейчатому эмиссионному спектру.

Кроме полос молекулы C_2 , спектр изобиловал известными, но неидентифицированными широкими эмиссиями, наблюдавшимися у других звезд [8]: эмиссия в области 580-600 нм (никак не связанная с линиями D Na I), которую наблюдали у V854 Cen [9] и у RY Sgr [10]. Присутствовал эмиссионный континуум в области $\lambda < 400$ нм [11] (рис.2); подобная полоса способна увеличить блеск звезды на $0^m.2$ в фотометрической полосе типа *UBV*.

Такое поведение спектра типично для минимумов блеска звезды с переменностью типа RCB, меняется лишь интенсивность эмиссий в минимумах разной глубины.

Таблица 1

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В КраО

Звезда	Дата	Начало экспозиции, UT	Экспозиция, мин	Область спектра, нм	Щель, мм	S/N	V_p , км/с
SV Sge	23.09	20:48	40	589.3	0.6	30	3.2
	01.10	20:08	38	854.2	0.8	30	0.7
HD 182040	23.09	20:47	38			30	
		18:30	30	589.3	0.6	>100	-40.4
		20:00	20	854.2	0.6	90	

Наблюдения другого рода, предоставившие информацию о структуре околосредних окрестностей, были выполнены осенью 1999г. Участки спектров в области линий D Na I и одной из линий ИК-триплета Ca II λ 854.2 нм для SV Sge, звезды с переменностью типа RCB, и HD 182040, малопеременной углеродной звезды с дефицитом водорода, были получены в Крымской астрофизической обсерватории в фокусе Куде 2.6-м телескопа ЗТШ (табл.1). Детали методики наблюдений и их обработки можно найти в [12]. Спектр SV Sge для уменьшения искажений от космических частиц был получен сложением двух кадров. Инструментальный профиль имел полную ширину на половине максимальной интенсивности FWHM 0.028 нм для щели шириной 0.6 мм и 0.038 нм для щели 0.8 мм. Лучевая скорость звезды V_p определялась по спектру в области линий D Na I со средней ошибкой менее ± 0.5 км/с.

Минимум блеска SV Sge, завершившийся незадолго до наших наблюдений, уже не оказывал влияния на видимые характеристики звезды, так как блеск уже вышел на нормальный уровень $-11^m.4$. HD 182040 обладает близкими к SV Sge характеристиками (эффективной температурой 5600 К и спектральным классом R2, абсолютными звездными величинами $-2 + -4^m$), но без признаков интенсивной потери массы, и поэтому может служить стандартом при выявлении спектральных

деталей, связанных с околозвездной оболочкой.

Сравнение спектров SV Sge и HD 182040 в области дублета натрия обнаружило присутствие околозвездных компонентов в линиях дублета (рис.3). Подтверждает такую интерпретацию и сравнение профилей обеих линий дублета в шкале лучевых скоростей (рис.3); к счастью смещение околозвездной линии D1 не столь велико, чтобы она наложилась на звездную линию D2. Смещение околозвездных линий соответствует -240 км/с. Эквивалентная ширина $EW(D1) \approx 0.033$ нм, $EW(D2) \approx 0.059$ нм. У V854 Cep в нормальном состоянии отмечен узкий околозвездный компонент со

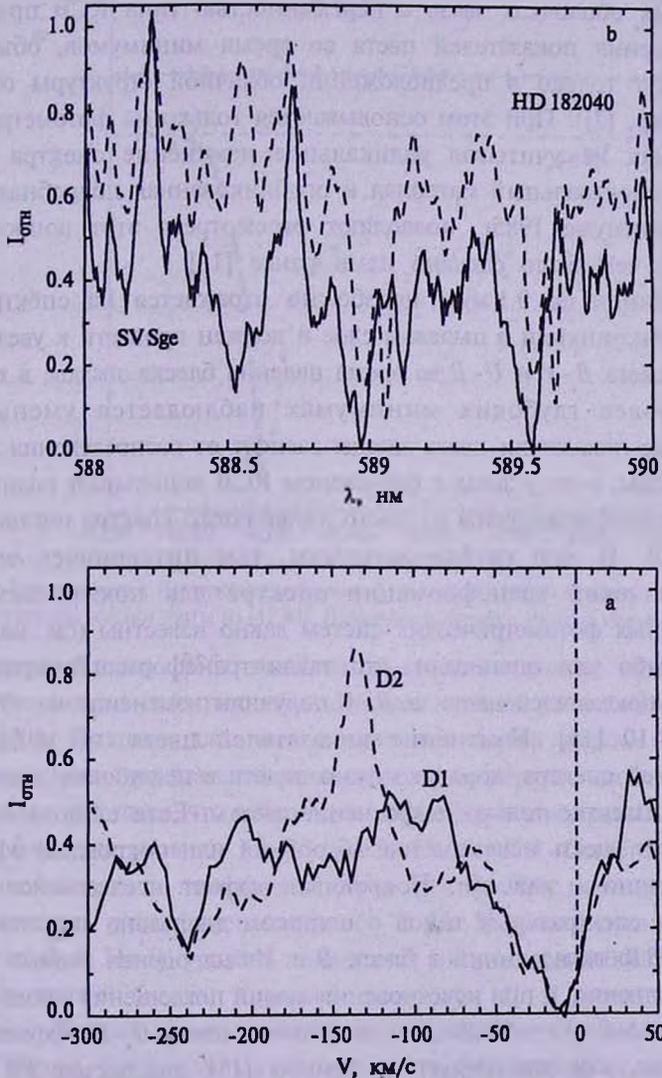


Рис.3. Участок спектра SV Sge в области линий D1 и D2 Na I в шкале скорости (а) и он же в сравнении с HD 182040 в шкале длин волн, скорректированной за лучевые скорости звезд (б). Отметим интенсивные межзвездные компоненты D Na I с красным смещением у HD 182040.

скоростью -209 км/с [13]. Интенсивная околосредная абсорбция (-168 км/с) зафиксирована у DY Per в максимуме блеска [14].

Отметим асимметрию и отрицательное смещение (около -12 км/с) звездных линий D Na I у SV Sge. Аналогичное смещение отмечено у S Aps, R CrB, V482 Cyg, RZ Nor (всех звезд с соответствующими наблюдениями) (для ссылок см. [12]).

3. Обсуждение.

а) *Вариации показателей цвета и спектр звезды в минимумах блеска.*

Одним из аргументов против однородного распределения пыли в околосредных оболочках звезд с переменностью типа RCB приводится факт уменьшения показателей цвета во время минимумов, объяснение которого ищут только в предположении облачной структуры оболочки (см., например, [7]). При этом основываются только на фотометрических данных, никак не учитывая радикальное изменение спектра звезды. Имеющиеся спектральный материал и опубликованная подробная кривая блеска в минимуме 1985г. позволяют рассмотреть этот вопрос более обоснованно, чем было сделано нами ранее [15].

Рост пылинок до 0.1 мкм неизбежно отражается на спектральной зависимости экстинкции в пылевом слое и должен привести к увеличению показателей цвета $B-V$ и $U-B$ во время падения блеска звезды, в то время как в наиболее глубоких минимумах наблюдается уменьшение. Неискаженные показатели цвета звезды зависят от распределения энергии в спектре звезды, а он у звезд с феноменом RCB испытывает радикальные изменения: трансформируется из чисто линейчатого спектра поглощения в эмиссионный. И чем глубже минимум, тем интенсивнее эмиссии. Последствия такой трансформации спектра для показателей цвета широкополосных фотометрических систем давно известны (см. например, [16]). Мы грубо уже оценивали, что такая трансформация приводит к уменьшению показателей цвета: в $B-V$ получили изменение на $-0^m.25$ и в $U-B$ на $-0^m.10$ [15]. Изменение показателей цвета, не искаженное трансформацией спектра, хорошо можно видеть в неглубоких минимумах, для которых известно только покраснение звезды. Если следовать [17], то сначала следует учесть исчезновение абсорбций или покровный эффект, а затем аналогично - эмиссии. Покровный эффект исследовался у ряда звезд средних спектральных типов в широком диапазоне спектра [18,19]. Для звезды F8 Ib вклад линий в блеск B и V был оценен равным $0^m.45$ и $0^m.17$, соответственно, и при исчезновении линий поглощения звезда должна поглотить на $\Delta(B-V) = -0^m.28$. Для показателя цвета $U-B$ эффект может быть и больше, как это следует из данных [18]: для звезды F8 Ib доля энергии, задержанной линиями поглощения в области 360 нм достигает 60% (расчет изменения блеска не проводился).

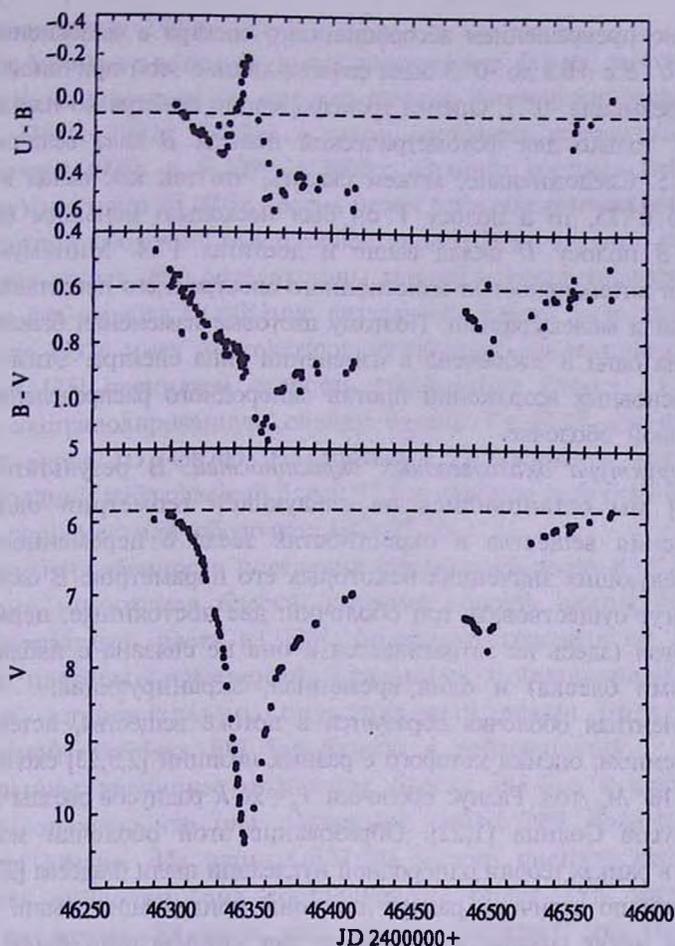


Рис.4. Кривые блеска V и показателей цвета $B-V$ и $U-B$ у R Cr B в минимуме 1985г. Данные и все необходимые ссылки взяты из [41,42]. Штриховые линии - уровень нормальных значений.

Минимум блеска 1985г. выделяется среди остальных плавной кривой блеска, что можно связать с образованием одного пылевого слоя на луче зрения [20]. Поэтому для него достаточно полно можно восстановить картину изменения показателей цвета с преобразованием линейчатого спектра.

Выше мы получили, что реперными точками для спектральных изменений является блеск на уровнях $1.4 - 1^m.6$, $2.9 - 3^m.4$ и $4^m.3$. Остается сопоставить их с кривой блеска и показателей цвета (рис.4). При падении блеска до I уровня началось резкое уменьшение $U-B$. На II уровне произошло резкое увеличение $B-V$. На III уровне приходится минимальный блеск, поворотная точка для кривой блеска, и резкий экстремум $U-B$, поведение $B-V$ не изменилось. Первый уровень можно также привязать к изменению скорости падения блеска. Следовательно, поведение эмиссионного спектра наиболее представлено показателем $U-B$ и в меньшей степени $B-V$. Отсюда делаем обратное заключение: изменение показателей цвета в существенной степени

обусловлено превращением абсорбционного спектра в эмиссионный, и вся вариация $U-B$ с $+0.3$ до $-0^m.3$ была связана лишь с этой причиной. Вариация $B-V$ не превысила $-0^m.1$. Оценка трансформации спектра по нашим данным для 1985г. только для фотометрической полосы B дала величину вклада около $0^m.75$. Следовательно, можем сказать, что так как вклад в полосу B был около $0^m.75$, то в полосу V он был несколько меньшим (см. начало раздела). В полосу U вклад выше и достигал $1^m.4$. Минимумы блеска отличаются интенсивностью эмиссионного спектра и его представителем: линейчатый и молекулярный. Поэтому цветовые изменения бывают разные, но причина одна и заключена в изменении типа спектра. Этим снимается одно из основных возражений против однородного распределения пыли в околосредной оболочке.

б) *Структура околосредных окрестностей.* В результате поисков [1,5,21,22] мы остановились на следующей геометрии однородного распределения вещества в окрестностях звезд с переменностью типа RCB и следующих значениях некоторых его параметров. В окрестностях звезды могут существовать три оболочки: две постоянные, перманентная и реликтовая (здесь не затрагивается и она не связана с наблюдаемыми минимумами блеска) и одна временная, экранирующая.

Перманентная оболочка образуется в потоке вещества, истекающего с высоким темпом, оценки которого с разных позиций [2,5,23] сходятся около величины $10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$. Радиус оболочки $r_p \approx 26 R$ радиусов звезды или около 2340 радиусов Солнца [1,22]. Образование этой оболочки может быть объяснено в рамках теории однородной нуклеации пыли Фадеева [23], которая дает близкий по величине радиус для зоны конденсации пыли.

Иногда могут создаваться условия для конденсации пыли на более близких к звезде расстояниях и образования экранирующей оболочки с радиусом $r_s \approx 4 - 10 R$ [1,22]. Массу оболочки мы оценили около $10^{-7} M_{\odot}$ [5]. Именно эта оболочка ответственна за минимумы визуального блеска.

в) *Оптическая толщина перманентной оболочки.* Образование перманентной и экранирующей пылевых оболочек в одном потоке вещества позволяет допустить одинаковые оптические свойства пылинок. Оптическая толщина τ пылевой оболочки, согласно определению, пропорциональна плотности пылинок на луче зрения, которая имеет обратную квадратичную зависимость от радиуса оболочки, поэтому будем иметь соотношение $\tau_p/\tau_s = (r_s/r_p)^2$. Тогда, полагая, что максимальной глубине минимума $\Delta m = 1.086\tau \approx 8^m$ соответствует $r_s \approx 4 - 10 R$, находим $\tau_p \approx 0.2 + 1.2$. С другой стороны известно, что перманентная оболочка переизлучает до 50% болометрической светимости собственно звезды [24]. Если допустим, что оболочка только переизлучает, то имеем еще одну косвенную близкую оценку $\tau_p \approx 0.7$.

Более прямую оценку нам предоставляет FG Sge, с 1992г. демонстрирующая переменность типа RCB, что позволяет сопоставить параметры

звезды до и после 1992г. [25-28].

Кривая блеска в минимуме имеет характерную форму, и стабилизация блеска после минимума может означать полную диссипацию экранирующей оболочки. После 1992г. FG Sge в таком состоянии находилась в конце 1997г. - начале 1998г. и в 1999 и 2000гг. Отличие среднего блеска в эти периоды от известного до 1992г. уровня может быть обусловлено поглощением в перманентной оболочке. Будем ориентироваться на первый период, так как пока только для него опубликованы данные многоцветной фотометрии, и в другие два периода ослабление визуального блеска было даже больше.

Блеск до 1992г. имел многолетнюю устойчивую тенденцию к падению. Из данных [25] оцениваем скорость уменьшения блеска $3 \times 10^{-5} m/d$ и получаем экстраполированную оценку блеска $V = 9^m.24$ для спокойного состояния около JD 2450700. Из данных [27] оцениваем для этого же времени средний наблюдаемый блеск $9^m.5$ и находим величину ослабления блеска в перманентной оболочке $\Delta V \approx 0^m.26$.

Известные особенности поведения показателей цвета $B-V$ и $U-B$ вне и во время минимумов блеска, которые хорошо видны на сводной кривой показателей цвета из [28], позволяют говорить об отсутствии заметных цветовых изменений, связанных с появлением пылевой оболочки, следовательно, спектральный закон поглощения в перманентной оболочке FG Sge близок к нейтральному.

Полученная величина ослабления блеска FG Sge в перманентной оболочке означает, что она поглощает около 20% болометрической светимости звезды. Из данных [27,28] можно оценить интегральную светимость оболочки, она составляет не более 25% интегральной светимости звезды. Близость двух оценок означает, что поглощенная энергия полностью переизлучается в ИК-диапазоне.

Одним из аргументов [24] в пользу облачной модели было отсутствие изменений визуального блеска в ответ на увеличение ИК-блеска, когда ИК-светимость оболочки увеличилась с 17% болометрической светимости звезды до 42%. Но это поведение можно объяснить и в рамках однородной оболочки.

Оптическая толщина пылевого слоя τ в общем виде может быть записана как

$$\tau = \pi a^2 \times Q_{ext} \times d \times n \quad (1)$$

или

$$\tau \propto d \times n, \quad (1a)$$

где a - радиус пылинки, Q_{ext} - планковский средний фактор эффективности экстинкции, d - геометрическая толщина слоя, n - объемная плотность пылинок.

Светимости пылевой оболочки L в общем виде имеет выражение

$$L = N \times 4\pi \times a^2 \times Q_{em} \times T^4 \quad (2)$$

или

$$L \propto N \propto d \times r_p^2 \times n, \quad (2a)$$

где N - полное число пылинок в оболочке, Q_{em} - планковский средний фактор эффективности излучения, T - температура пылинки.

Видно, что, меняя только радиус перманентной оболочки при постоянных остальных параметрах, мы можем получить наблюдаемую независимость визуального и инфракрасного блеска звезды.

Сделанный выше вывод о нейтральном характере спектрального закона поглощения в углеродном пылевом веществе в видимом диапазоне спектра требует присутствия частиц с радиусом не менее 0.1 мкм [29]. В то же время, согласно расчетам [30], эффективность выметания за пределы атмосферы звезды углеродных пылинок при этом размере наибольшая, и только пылинки с размерами более 5 мкм могут задерживаться в окрестностях звезды. Такое противоречие снимается или существенно ослабляется, если поглощающий слой имеет большую геометрическую толщину. Скорость выметания пылинок не зависит от расстояния от звезды [30], поэтому они приобретают ту же скорость, что и во время минимума блеска, 200 км/с и более (см. также ниже). При данной скорости пылинка за 40 суток (типичный период пульсаций звезд с переменностью типа RCB, а пульсации управляют конденсацией пыли [23,31]) удалится на расстояние 11 радиусов звезды, что при радиусе перманентной оболочки $26R$ приводит к уменьшению ее оптической толщины только в два раза. Полученная величина, 11 радиусов звезды, одновременно характеризует толщину перманентной оболочки, и поэтому вполне возможно, что экранирующая оболочка образуется на внутренней границе перманентной или немного ниже ее.

г) *Пульсации блеска звезды в УФ и минимумы визуального блеска.* RY Sgr, благодаря ее устойчивым пульсациям, является очень удобным объектом для исследования причин минимумов блеска. Она имеет достаточное для

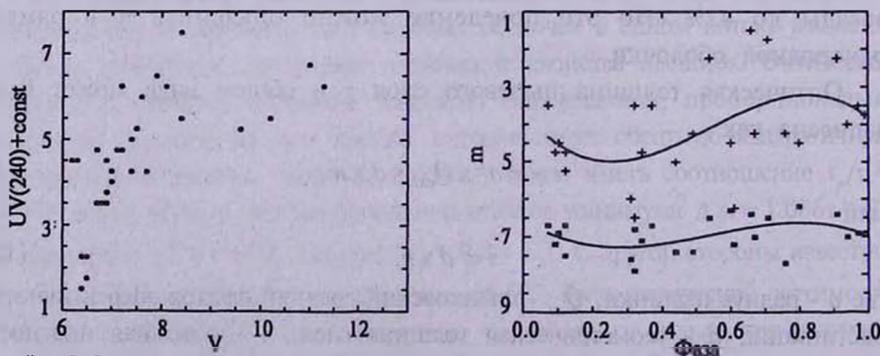


Рис.5. Сопоставление изменений визуального и ультрафиолетового (на длине волны около 240 нм) блеска RY Sgr (левая половина). Свертки визуального (темные квадраты) и УФ-блеска (плюсы) RY Sgr в состоянии максимума и вблизи его (правая половина). Использована эфемериды из обзора [1].

нашего анализа число наблюдений в ультрафиолетовой области спектра, где в первую очередь проявляют себя пылинки при конденсации.

Из графического и табличного материала [32], дополнительно к результатам, выделенным авторами, можно вывести и такие (ошибки нашей процедуры не влияют на полученные выводы).

Во-первых, минимумы блеска "не видны" в УФ (рис.5): падение потока излучения в области длин волн λ 240 нм во время минимума происходит, по-видимому, только до уровня ослабления визуального блеска примерно на 2^m. Дальнейший рост поглощения пылинками в визуальном диапазоне спектра не сопровождается изменением их оптических свойств в УФ. Последнее, согласно [29], может происходить при изменении размеров пылинок в диапазоне от 0.01 до 0.3 мкм. Плотность пылинок при этом тоже не растет, иначе поглощение в УФ продолжало бы расти. Отсюда можем получить неожиданное и интересное заключение, что минимум блеска можно рассматривать как следствие изменения только радиуса пылинок, но не их плотности, а пылинки-зародыши постоянно присутствуют в атмосфере звезды (см. ниже).

Во-вторых, амплитуда пульсаций УФ-блеска вне минимумов в среднем в 1.8 раза выше амплитуды пульсаций блеска V (рис.5). Можно отметить уникальную пульсацию, когда изменение $\Delta V \approx 0^m.7$ между JD 2445797 и 2445809 соответствовало 3^m на λ 240 нм (спектрограммы LWP 3108 и LWP 3178 [32]). Большую амплитуду пульсаций УФ-блеска, согласно [29], можно интерпретировать как следствие образования пылинок, их роста до радиуса порядка 0.003 мкм и разрушения в каждой пульсации.

Этот результат согласуется с нашим выводом, что образование пыли начинается за 10-20 суток до начала падения визуального блеска на переходной стадии вспышки новой [1].

Результат этого раздела в части размера пылинок у RY Sgr отличается от соответствующего результата для FG Sge, что можно было бы отнести на счет действительного отличия этих законов и, следовательно, эффективных размеров пылинок в разных звездах. Но необходимость объяснения ИК-избытка любой звезды как следствия переизлучения поглощенной энергии [33], требует присутствия пылинок с радиусами не менее 0.1 мкм, чтобы сохранить нейтральный закон поглощения в визуальной области, где к тому же находится максимум распределения энергии в спектре звезды. Следовательно, мы должны допустить, что в околосредных окрестностях постоянно существуют пылинки с бимодальным распределением по размерам с минимумом между 0.01 и 0.1 мкм. Это заключение согласуется с результатами динамического моделирования пылевых оболочек долгопериодических переменных [34], показавших, что пульсации звезды могут приводить к слоистой структуре околосредных окрестностей, когда одновременно существуют несколько

пылевых слоев на разных стадиях развития.

д) *Скорость истечения вещества и происхождение эмиссий.* Существование фиолетовых компонентов линий D Na I в максимуме блеска является, скорее всего, следствием постоянного присутствия пыли на луче зрения и указывает на высокую скорость выноса вещества перманентной оболочки за пределы звезды. Кинетической энергии атомов гелия, основного газового компонента атмосферы звезды, при скорости 200 км/с и более достигающей величины 800 эВ и более, достаточно для возбуждения эмиссий при взаимодействии с медленно движущейся газовой составляющей оболочки. Эмиссии C IV λ 155.0 нм, C II λ 133.5 нм и др. [35,36] наблюдаются и вне минимумов. Таким образом, мы имеем обоснованное указание на их возможное образование в перманентной оболочке. Если нет пыли, то нет и эмиссий в УФ, что и имеет место в случае XX Cam и HD 182040 [37].

Баланс энергий при этом допущении не нарушается. В [35] приводят величину потока в линии C II λ 133.5 нм, равную 2×10^{-14} эрг/см²/с для RY Sgr. Поток в эмиссионных линиях D Na I и ИК-триплета Ca II, наблюдаемых на протяжении всего минимума блеска, составляет не более 10% потока в континууме в максимуме блеска, т.е. не более 1.5×10^{-13} эрг/см²/с [12,38]. При расстоянии 1.5-2.5 кпк для RY Sgr и R CrB это соответствует светимости около 10^{31} эрг/с. При темпе потери массы 10^{-6} массы Солнца в год имеем темп потери кинетической энергии 10^{34} эрг/с. Это преобразование энергии происходит на уровне 10-26 радиусов звезды, т.е. на внутренней границе перманентной оболочки, при плотности вещества 10^{-14} - 10^{-15} г/см³ или плотности атомов гелия около 10^9 см⁻³. Существующие оценки электронной плотности в области образования эмиссий сходятся около величины 10^{10} см⁻³ (см. для деталей [1,3]). Такую же плотность атомов гелия в области конденсации пыли выводят из моделирования процесса конденсации пыли [39].

Таким образом, имеется достаточно оснований для допущения такого механизма возникновения эмиссий, и, следовательно, область образования узких эмиссий или "хромосферу" звезды можно отождествить с уровнем конденсации пыли или с перманентной и экранирующей околозвездными пылевыми оболочками. В [40] такое допущение было сделано только в отношении широких эмиссий.

4. *Заключение.* Отклонение почти 30 лет назад допущения о равномерном распределении пыли в околозвездной оболочке звезды с переменностью типа R Северной Короны и принятие за основу модели с облачной структурой привело к тому, что вопрос влияния пылевой оболочки на спектр звезды и некоторые другие характеристики был снят с рассмотрения.

В данной статье мы продолжили устранение препятствий для использования в интерпретации феномена RCB представления об однородном распределении пыли в околозвездной оболочке. Из анализа наших

спектральных наблюдений R CrB в минимуме 1985г. мы сделали вывод, что уменьшение показателей цвета звезды обусловлено только трансформацией спектра из абсорбционного в эмиссионный. Дальнейшее рассмотрение проводилось нами, исходя из существования в окрестностях звезды двух оболочек. Во время минимума блеска в дополнение к перманентной оболочке внутри нее образуется более плотная экранирующая оболочка.

Из дополнительного анализа опубликованных наблюдений следует, что оптическая толщина перманентной оболочки около 0.7 у R CrB и не менее 0.2 у FG Sge. Оценка геометрической толщины дает около 11 радиусов звезды или до 0.4 собственного радиуса.

Автор признателен администрации Крымской астрофизической обсерватории за предоставленную возможность выполнить наблюдения и благодарен сотрудникам обсерватории Т.Рачковской - за помощь в наблюдениях, С.Ростопчину и С.Сергееву - за возможность воспользоваться программным обеспечением для редукции наблюдений. Автор искренне признателен анонимному рецензенту за замечания, что способствовало улучшению структуры статьи.

Спектральные наблюдения высокого разрешения, описанные в данной публикации, стали возможны в Крымской астрофизической обсерватории благодаря грантам R2Q000 и U1C000 Международного научного фонда и А-05-067 Программы С&ЕЕ Южно-Европейской обсерватории.

Главная астрономическая обсерватория
НАН Украины, Киев

SOME CHARACTERISTICS OF CIRCUMSTELLAR SHELLS OF STARS WITH THE R CORONAE BOREALIS TYPE VARIABILITY

A.E.ROSENBUSH

The transformation of stellar linear and molecular spectra from absorption into emission was traced by observations of R CrB during the 1985 minimum. The comparison with the light and color curves allowed us to conclude that the fast variation of $U-B$ by $-0^m.6$ at the light decline was the only cause of this transformation. This transformation can lead to an increase in the star brightness in the UBV bands by about $1^m.4$, $0^m.75$ and $0^m.75$, respectively. This removes one of the main objections against the use of the concept of homogenous spherical shell in the interpretation of the RCrB

phenomenon. The spectral high resolution observation of a star with the RCrB type variability, SV Sge, showed the presence of an intensive circumstellar component in the Na I D lines blueshifted by 240 km/s and not connected with the visual light minimum. A stream of matter with similar velocity through the circumstellar environment was suggested to be a cause of excitation not only for broad emissions observed during the light minimum when the photospheric flux decreases, but for the narrow emissions as well. Some characteristics of the permanent shell were obtained on the assumption that light minima are connected with temporary formation of one more spherical screening shell. The optical and geometric thicknesses are equal to 0.2-0.7 and no less than 0.4 of its radius, respectively.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Э.Розенбуш, *Астрофизика*, **39**, 145, 1996.
2. M.W.Feast, *Astron. Soc. Pacif., Conf. Ser.*, **96**, 3, 1996.
3. G.C.Clayton, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **108**, 225, 1996.
4. A.E.Rosenbush, *Astron. Soc. Pacif., Conf. Ser.*, **96**, 91, 1996.
5. А.Э.Розенбуш, *Кинематика и физика небесных тел*, **14**, 342, 1998.
6. Э.А.Барановский, А.Э.Розенбуш, *Кинематика и физика небесных тел*, **14**, 35, 1998.
7. А.М.Татарников, Б.Ф.Юдин, *Письма в Астрон. ж.*, **24**, 359, 1998.
8. N.K.Rao, D.L.Lambert, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **263**, L27, 1993.
9. B.C.Whitney, G.C.Clayton, R.Schulte-Ladbeck, M.R.Meade, *Astron. J.*, **103**, 1652, 1992.
10. M.Asplund, *Astron. Astrophys.*, **294**, 763, 1995.
11. J.B.Alexander, P.J.Andrews, R.M.Catchpole et al., *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **158**, 305, 1972.
12. А.Э.Розенбуш, *Астрофизика* (представлена), 2000.
13. N.K.Rao, D.L.Lambert, *Astron. J.*, **105**, 1915, 1993.
14. P.C.Keenan, C.Barnbaum, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **109**, 969, 1997.
15. А.Э.Розенбуш, *Кинематика и физика небесных тел*, **2**, №5, 29, 1986.
16. Т.С.Белякина, *Изв. Крым.астрофиз.обсерв.*, **41/42**, 275, 1970.
17. A.F.Aveni, *Astrophys. J.*, **144**, 666, 1966.
18. М.Г.Родригес, *Астрофизика*, **5**, 269, 1969.
19. М.Г.Родригес, *Астрофизика*, **6**, 513, 1970.
20. А.Э.Розенбуш, *Письма в Астрон. ж.*, **18**, 158, 1992.
21. А.Э.Розенбуш, *Астрон. циркуляр*, №1343, **6**, 1984.
22. A.E.Rosenbush, *Astron. Nachr.*, **316**, 281, 1995.
23. Yu.A.Fadeyev, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **233**, 65, 1988.
24. W.J.Forrest, F.C.Gillett, W.A.Stein, *Astrophys. J.*, **178**, L129, 1972.

25. *J.Jurcsik*, *Acta Astron.*, **43**, 353, 1993.
26. *C.E.Woodward, G.F.Lawrence, R.D.Gehrz et al.*, *Astrophys. J.*, **408**, L37, 1993.
27. *В.П.Архипова, Г.В.Зайцева, Н.П.Иконникова и др.*, *Письма в Астрон. ж.*, **24**, 427, 1998.
28. *А.М.Татарников, В.И.Шенаврин, Б.Ф.Юдин*, *Астрон. ж.*, **75**, 428, 1998.
29. *V.T.Draine, H.M.Lee*, *Astrophys. J.*, **285**, 89, 1984.
30. *В.Б.Ильин, Н.В.Вощинников*, *Астрон. ж.*, **70**, 721, 1993.
31. *A.F.Pugach*, *Inf. Bull. Var. Stars*, №1277, 1977.
32. *G.C.Clayton, B.A.Whitney, S.A.Stanford et al.*, *Astrophys. J.*, **397**, 652, 1992.
33. *M.W.Feast, B.S.Carter, G.Roberts et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **285**, 317, 1997.
34. *J.M.Winters, T.Le Bertre, J.J.Keady*, *Symp. IAU №191, Asymptotic giant branch stars*. Eds. T.Le Bertre, A.Lebre, C.Waelkens, 1999, p.261.
35. *G.C.Clayton, T.R.Ayres, W.A.Lawson et al.*, *Astrophys. J.*, **515**, 351, 1999.
36. *W.A.Lawson, M.M.Maldoni, G.C.Clayton et al.*, *Astron. J.*, **117**, 3007, 1999.
37. *A.R.Brunner, G.C.Clayton, T.R.Ayres*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **110**, 1412, 1998.
38. *А.Э.Розенбуш*, *Астрометрия и Астрофизика*, **38**, 36, 1979.
39. *P.Woitke, A.Goeres, E.Sedlmayr*, *Astron. Astrophys.*, **313**, 217, 1996.
40. *C.Payne-Gaposchkin*, *Astrophys. J.*, **138**, 320, 1963.
41. *Ю.С.Ефимов*, *Астрон. ж.*, **65**, 979, 1988.
42. *Р.И.Гончарова*, *Письма в Астрон. ж.*, **16**, 150, 1990.