

УДК 524.337.2+524.338.7

Новые звезды и феномен R Северной Короны

А. Э. Розенбуш

Из анализа совокупности фотометрических (в видимом и ИК-диапазонах) наблюдений 11 Новых звезд сделано заключение о частом образовании в главной оболочке пылевого кольца с плоскостью симметрии, совпадающей с плоскостью орбиты двойной системы — предшественника Новой. Средний радиус главной оболочки во время конденсации пыли — около $4 \cdot 10^{14}$ см.

Если луч зрения на центральную звезду проходит через образовавшееся пылевое кольцо, то наблюдаются временные ослабления визуального блеска, подобные минимумам переменных типа R Северной Короны. В таком случае профили некоторых эмиссионных линий имеют красные компоненты, ослабленные по сравнению с синими (DQ Her, V1229 Aql, FH Ser). Это позволяет локализовать зоны образования данных линий в пределах или вне пылевого кольца. У Новой FH Ser эмиссии Fe II и [O III] возникли в областях, находящихся внутри пылевого слоя.

На этом основании аналогичное явление в спектрах звезд типа R Северной Короны в минимумах блеска интерпретируется следующим образом: широкие эмиссионные линии He I λ 388.9 нм, H и K Ca II, D Na I возникают в областях, расположенных между пылевой оболочкой и звездой, а узкие эмиссии — на переднем крае пылевого слоя.

Получена стандартная нормированная кривая, описывающая кривую блеска Новой в течение временного ослабления блеска, и дана аппроксимация ее выражением вида $f(x) = x^a e^{-x}$, где x — параметр времени. Данная кривая хорошо представляет также кривую блеска R Северной Короны в минимумах блеска.

NOVAE AND THE R CORONAE BOREALIS PHENOMENON, by Rosenbush A. E. — From the analysis of visual and infrared photometry of 11 Novae a conclusion is drawn about dust ring frequent formation in the main shell, the plane of symmetry of the ring coinciding with the plane of the orbit of the binary — Nova progenitor. The average radius of the main shell during dust condensation is about $4 \cdot 10^{14}$ cm.

If the line of sight passes through the formed dust ring a temporary weakening of a visual light is observed like in R Coronae Borealis-type minimum. In this case profiles of some emission lines have red components weakened as compared with blue ones (e. g. DQ Her, V1229 Aql, FH Ser). This allows localizing formation zones of those emissions within or beyond the dust ring. In Nova FH Ser 1970 lines of Fe II and [O III] were emitted from the regions located within the dust layer. On these grounds a similar phenomenon in spectra of R Coronae Borealis stars at the deep minima is interpreted as follows: broad emission lines of He I λ 388.9 nm, H and K Ca II, D Na I arise in the regions located between the dust shell and the star and narrow emissions are formed at the front boundary of the dust shell.

A standard curve that describes the light curve of Nova during temporary visual drop is obtained and its approximation is given by an expression $f(x) = x^a e^{-x}$, where x is time parameter. This formula also represents well the light curve of R CrB at the visual minima.

Исследователи переменных звезд неоднократно проводили параллели между некоторыми характеристиками Новых звезд и переменных типа R Северной Короны. Достаточно упомянуть работу [16], где дано сопоставление спектров R CrB и N Sgr 1954. В других публикациях речь шла о сходстве определенных деталей кривых блеска.

С 1970 г. по настоящее время опубликованы результаты фотометрических наблюдений в ИК-диапазоне, достаточно полно охватывающие развитие вспышки от максимума визуального блеска до переходной стадии, для 11 Новых звезд: V1229 Aql(1970) (здесь и далее в [17] см. ссылки); FH Ser(1970) [17, 21]; V1301 Aql(1975) [7]; V1500 Cyg(1975) [17]; NQ Vul(1976)[17]; V1668 Cyg(1978) [17]; LW Ser(1978) [17]; V693 CrA(1981) [22]; V1370 Aql(1982) [12]; V4077 Sgr(1982) [15]; GQ Mus(1983) [19].

Эти наблюдения показали, что появление ИК-избытков, обусловленных пылевой составляющей выбрасываемого вещества [14], — событие частое. Лишь у двух из приведенных Новых (N Cyg 1975, N Mus 1983) пыль не наблюдалась. Образование пыли, по-видимому, не связано жестко со скоростью уменьшения блеска после вспышки. Поведение ИК-эмиссии хорошо отражается кривой блеска в фотометрической полосе

L ($\lambda=3.5$ мкм). Максимум ИК-блеска наступает через 30—80^d после обнаружения (иногда Новые открываются после максимума визуального блеска).

У четырех звезд в переходной стадии наблюдалось ослабление визуального блеска на несколько звездных величин длительностью около 100 сут с последующим его восстановлением. При этом по мере уменьшения визуального блеска в полосе V происходило увеличение яркости в полосе L (рис. 1). Длительность визуального минимума, по-видимому, пропорциональна длительности ИК-максимума на уровне $\Delta L=1-1.5^m$. Отсюда сделано заключение о едином источнике этих явлений: образующаяся пыль экранирует звезду. Так как экранирование происходит не во всех случаях образования пыли, мы делаем вывод о несферической форме пылевого слоя. Подобные минимумы визуального блеска на переходной стадии наблюдались и ранее (DQ Her (1934), T Aur (1891) и др.), т. е. у этих звезд также произошло образование пылевого слоя (таблица). Все изложенное и результаты многолетних исследований DQ Her и T Aur можно суммировать так: 1) плоскость образовавшегося пылевого экранирующего слоя совпала с лучом

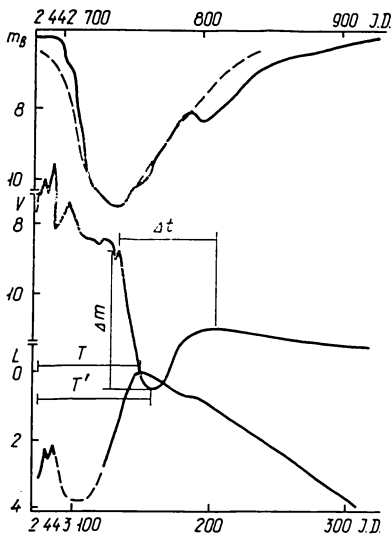


Рис. 1. Визуальная и инфракрасная кривые блеска NQ Vul (две нижние кривые, нижняя шкала). Верхняя кривая — типичная кривая минимума визуального блеска R Северной Короны; штриховая линия — соответствующая стандартная кривая минимума

зрения; 2) наличие затмений на кривой визуального блеска вне вспышки свидетельствует о совпадении луча зрения с плоскостью орбит двойных систем, какими являются Новые (для системы DQ Her угол между нормалью к плоскости орбиты и лучом зрения $i=80\pm 3^\circ$ [3]); 3) дискообразная и околозвездная газовые оболочки тесных двойных систем лежат в плоскости их орбит [1]. На основании изложенного делаем предположение, что пылевой слой имеет кольцевую структуру и образование пыли связано с существовавшими до вспышки дискообразной и околозвездной газовыми оболочками двойной системы — предшественника Новой. Это позволяет считать, что у V1229 Aql, FH Ser, NQ Vul (и других Новых с временным ослаблением блеска) следует ожидать проявления затмений на кривой блеска. Из прямого снимка туманности вокруг DQ Her, полученного в 1942 г. (см., например, [5]) в красных лучах [N II], и вывода о местонахождении источника этой эмиссии можно оценить угол, под которым видно пылевое кольцо из центральной звезды (рис. 2): $\varphi \approx 45^\circ$.

Некоторые характеристики избранных Новых звезд

Звезда	Год вспышки	Глубина минимума Δm	Длительность минимума Δt	Лучевая скорость по главному абсорбционному спектру V , км/с	T' или T	Расстояние конденсации пыли $R_c \cdot 10^{-14}$, см	Литературный источник
T Aur	1891	11 ^m	187 ^d	400—500	160 ^t	5.5—6.9	[5,8]
XX Tau	1927	4.2	96	—	100	—	[10]
DQ Her	1934	8.1	145	310—390	133	3.6—4.5	[5,11]
V450 Cyg	1942	5.0	60:	500	125:	5.4	[26]
V1229 Aql	1970	1.5:	—	800	55:	3.8:	[13,17]
FH Ser	1970	4.8	120	500—600	75	3.2—3.9	[21]
NQ Vul	1976	3.0	80	750	65	4.2	[17]
V1668 Cyg	1978	—	—	540—760	51	2.4—3.3	[4,17]
LW Ser	1978	—	—	510—600	70	3.1—3.6	[17]
V1370 Aql	1982	2	50	< 1000	30—40	< 2.6—3.4	[12]

Дополнительным аргументом в пользу того, что временное ослабление блеска у ряда Новых вызвано формированием пылевого слоя и последующим его рассеянием, может быть характер переменности звезд типа R Северной Короны (RCB). Это члены немногочисленной группы звезд с дефицитом водорода и избытком углерода, с неправильными пульсациями которых связаны постоянная потеря массы и непредсказуемые продолжительные (до нескольких сотен суток) ослабления визуального блеска на 1—8^m (рис. 1), обусловленные конденсацией углеродной пыли в верхних слоях атмосферы в виде сферической оболочки и последующим выносом ее за пределы звезды.

Таким образом, мы видим проявление у разных типов переменных звезд одного и того же феномена, причем у Новых он наблюдается в более «чистом» виде (одно

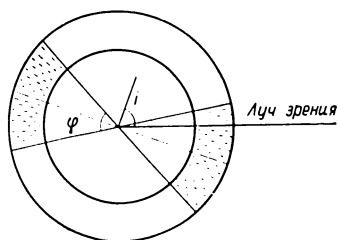
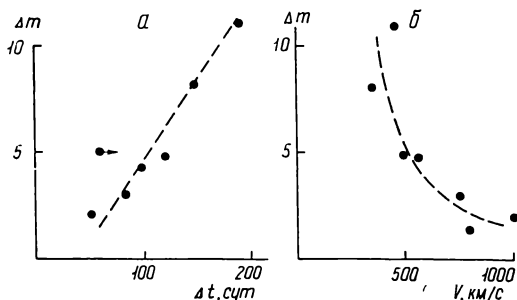


Рис. 2. Схематическое строение главной оболочки Новой. Область со штриховкой — пылевое кольцо с оптической толщиной τ (плоскость кольца перпендикулярна плоскости рисунка)

Рис. 3. Зависимости глубины Δm минимума типа RCB от его длительности Δt (а) и скорости расширения оболочки V (б) у Новых. Штриховой линией показана возможная их аппроксимация



кратное, сравнительно непродолжительное образование пыли и последующее ее рассеяние), что позволяет понять некоторые наблюдательные факты для звезд типа RCB. Далее при анализе кривых блеска Новых воспользуемся некоторыми общими результатами, полученными для феномена R Северной Короны.

Проанализируем наблюдения Новых с минимумами типа минимумов звезд RCB или имевших ИК-избытки. Исходные данные приведены в таблице, определение некоторых величин дано на рис. 1. Обнаруживается взаимосвязь глубины минимума $\Delta m = 1.086\tau_0$ (τ_0 — максимальная оптическая толщина пылевого слоя по лучу зрения) с его длительностью (рис. 3, а). Сводная нормированная кривая $\tau(t)/\tau_0 = f[(t - T')/T_1]$, построенная на основании трех наиболее полных, с большой амплитудой ослабления, кривых визуального блеска для T Aur, DQ Her и FH Ser, приведена на рис. 4 (сплошная линия). Здесь T_1 — время необходимое для уменьшения τ от τ_0 до $\tau_0/2$ и равное 60, 25 и 40 сут для рассматриваемых звезд соответственно. Если эту нормированную кривую использовать для представления кривой блеска R CgB в минимуме (рис. 1, штриховая линия), то совпадение получается очень хорошее при $\tau > \tau_0/2$. Расхождение в начальной фазе минимума можно объяснить неточностью кривой на рис. 4, а в конечной — образованием небольшого дополнительного количества пыли, т. е. наличием еще одного мелкого минимума. Нормированную кривую можно аппроксимировать функцией вида $f(x) = x^c e^{-x}$, где $x = 2.3(t - T')/T_1 + e$ (рис. 4, штриховая линия). Отсюда можно получить, что время восстановления блеска от максимального ослабления Δt до $0.5\Delta t$ связано со временем уменьшения блеска от $0.5\Delta t$ до Δt выражением $T_1 = T_{вых} = 1.6T_{вх}$. На основании модельных расчетов [7] можно прийти к предположению, что меньшее значение T_1 соответствует большему размеру образующихся пылевых частиц. А так как длительность визуального минимума, по-видимому, пропорциональна длительности ИК-максимума, то возможно, что более пологие кривые ИК-блеска соответствуют меньшим размерам пылинок; например, размеры пылевых частиц у LW Ser меньше, чем у V1668 Cyg. Из [7] следует, что τ_0 является функцией скорости v выброса оболочки: $\tau_0 \propto v^{-1}$. На рис. 3, б показана близкая к ней зависимость для Новых. Используя данные таблицы (графы 5 и 6), можно определить расстояние, на которое удаляется главная оболочка Новой (с захваченными дискообразной и околозвездной оболочками) к моменту наибольшей степени конденсации пыли, т. е. рас-

стояние конденсации R_c (графа 7). При этом полагаем, что скорость выброса главной оболочки сферически симметрична и не изменилась с присоединением обеих оболочек. Средняя величина $R_c = 4 \cdot 10^{14}$ см близка к теоретическому значению $7.7 \cdot 10^{14}$ см [14].

Отметим еще два взаимосвязанных факта. Из таблицы не видно преобладания числа мелких минимумов ($\Delta m = 1-2^m$) над глубокими ($\Delta m > 5^m$), что можно объяснить отсутствием значительной концентрации экранирующего вещества в пределах пылевого кольца к плоскости его симметрии. Тогда, принимая равномерное распределение вещества в кольце по высоте, из того факта, что 4 из 11 исследованных в ИК-диапазоне Новых показали минимумы типа минимумов звезд RCB, можно заключить: угол ϕ

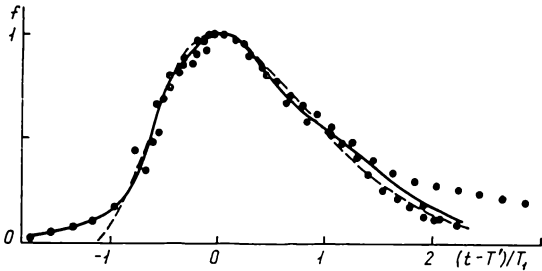


Рис. 4. Зависимость нормированной оптической толщины пылевого слоя τ/τ_0 от нормированного параметра времени $(t - T)/T$.

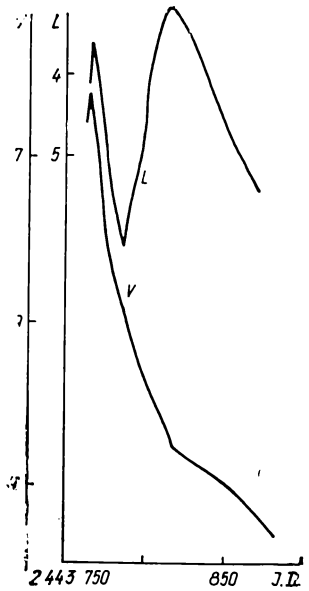


Рис. 5. Визуальная и инфракрасная кривые блеска V1668 Cyg 1978 [4, 17]

у Новых не превышает 60° (при условии, когда нет предпочтительных значений i). Это согласуется с приведенной выше оценкой ϕ для DQ Her, а также с выводом [1] об угловом распределении вещества в околосредней оболочке двойной системы.

Образование на луче зрения пылевого слоя проявляется в поведении профилей эмиссионных линий в спектрах Новых. Еще у DQ Her отмечалось [20, 26], что с самого начала визуального минимума интенсивности красных компонентов (I_R) эмиссионных линий [N II], [Fe II] были меньше, чем синих (I_V), они вновь сравнялись при восстановлении блеска. В [20, 26] высказано предположение об экранировании пылью удаляющихся частей оболочки и о различии распределений водорода и других элементов. В последующем это было подвергнуто сомнению (дискуссию см. в [2, с. 146]). Имеющиеся в настоящее время наблюдения (спектральные, инфракрасные, снимки в узких фильтрах) подтверждают правильность гипотезы [20, 26]. У FH Ser также наблюдалось аналогичное явление, приписанное поглощению пылью [18, 24]: линии Fe II и [O III], расщепленные на два компонента, имели соотношение $I_V/I_R = 3-4$ и более. Интенсивности компонентов водородных линий почти равны. Такое поведение эмиссионных линий можно объяснить, если допустить, как в [20, 26], что основная доля излучения одних элементов идет из окрестностей пылевого слоя, а других — от всей главной оболочки и незначительно подвергается экранированию пылью. Такая интерпретация позволяет локализовать положение источников эмиссий. Допустим, что в оболочке Новой источника эмиссий с $I_R < I_V$ полностью находятся в области пылевого кольца. В этом случае разность оптических толщин для излучения удаляющейся и приближающейся частей равна $\Delta\tau = 2\beta\tau$, где β может принимать значения от нуля для внутренней границы пылевого кольца до 1 — для внешней (рис. 2). Используя данные об изменении со временем отношения I_V/I_R [20] (см. также [2, с. 156]) и кривую блеска DQ Her для определения τ [11], находим, что $\beta \approx 0.3$. Для FH Ser в [24] дано $I_V/I_R = 3-4$, т. е. $\beta \approx 0.2$; в другую дату из приводимой в [18] таблицы находим $\beta \approx 0.1$ для линий [O III] $\lambda 436.32$ нм и $\beta \approx 0.3$ для [O III] $\lambda 500.68$ нм. Это свидетельствует о том, что эмиссии возникают во внутренних частях пылевого слоя, и для двух

линий [O III] получаем разные уровни: линия λ 436.32 нм образуется глубже. Факт ослабления красных компонентов по сравнению с синими отмечался у V1229 Aql [13].

Понятно, что излучающие области могут экранироваться неполностью. Однако оценки показывают, что в глубоких фазах минимума типа RCB экранирование должно охватывать более 85 % всей излучающей поверхности. Прямые снимки DQ Her в узких фильтрах показывают разграничение областей различных эмиссий в оболочке. Например, эмиссия [N II] через 7—8 лет после вспышки исходила только из экваториальной области [5, 6]. А изображенные туманности в линии H_{α} [27] показывает почти равномерное свечение эллипсоидальной оболочки с тремя тонкими экваториальными кольцами. Таким образом, прямые снимки туманностей вокруг Новых в линиях элементов, показывающих подобный эффект, могут дать вид распределения пыли в главной оболочке.

Аналогичное явление можно найти и у звезд типа RCB в процессе развития спектра в минимуме блеска: R CrB [23] и RY Sgr [25]. В первом случае на широкую несмещенную эмиссионную подложку в линиях He I λ 388.9 нм, H и K Ca II наложены смещенные в коротковолновую сторону узкие компоненты, и ни разу не были видны длинноволновые компоненты (на рисунке в [23] приведены профили линий для пяти дат). У RY Sgr такая же картина видна в линиях D Na I: на широкую эмиссионную подложку наложены коротковолновые узкие компоненты, скорости которых соответствуют скоростям узких эмиссионных линий других элементов, всегда наблюдаемых у звезд типа RCB в минимумах блеска [9]. Отсюда следует, что узкие эмиссии образуются в передней полусфере сбрасываемой пылевой оболочки (имеющиеся в нашем распоряжении данные не позволяют определить, насколько источники этого излучения погружены в оболочку), а широкая эмиссия — в областях между атмосферой звезды и пылевой оболочкой.

Эта простая картина для Новых несколько усложняется следующим обстоятельством: начная с переходной фазы эмиссия [O III] λ 500.68 нм (другие в меньшей степени) может давать вклад в визуальный блеск, сравнимый с вкладом непрерывного спектра. При образовании пыли будет происходить ослабление источников возбуждения эмиссии [O III] вследствие частичного экранирования коротковолнового излучения центральной звезды. Кроме того, пыль (в зависимости от ее свойств) может увеличить свечение туманности за счет отраженного и рассеянного излучения звезды. На кривой блеска V1668 Cyg в полосе V имеются «изломы», приходящиеся на начало образования пыли (появление ИК-избытка) и на момент ИК-максимума (рис. 5). В данном случае пылевое кольцо не экранирует центральный источник, и «изломы», по-видимому, связаны с упомянутыми выше факторами.

Выводы. В процессе сброса главной оболочки у большинства Новых на расстояниях около $4 \cdot 10^{14}$ см в результате взаимодействия с дискообразной и околозвездной газовыми оболочками, существовавшими до вспышки, происходит образование пылевого кольца, плоскость симметрии которого совпадает с плоскостью орбиты двойной системы — предшественника Новой. В зависимости от ориентации кольца по отношению к наблюдателю может происходить временное ослабление визуального блеска, и у некоторых эмиссионных линий длинноволновый компонент будет ослаблен по сравнению с коротковолновым. Это обстоятельство позволило локализовать зону излучения в линиях [O III] и Fe II для FH Ser и [N II] для DQ Her в пределах пылевого кольца, причем у FH Ser линия [O III] λ 436.32 нм образуется глубже, чем линия [O III] λ 500.68 нм.

Сходство причин ослабления блеска у Новых и переменных типа R Северной Корона приводит к заключению, что источник узких эмиссий у последних локализуется на верхней границе пылевой оболочки, а широких — в областях, находящихся ниже внутренней границы.

По кривым блеска T Aur, DQ Her и FH Ser получена стандартная кривая блеска в минимуме типа RCB. Использование ее при описании кривой блеска самой R CrB показало хорошее совпадение. Получено выражение, аппроксимирующее стандартную кривую. Найдено, что время изменения блеска от $0.5\tau_0$ до τ_0 в 1.6 раза меньше времени обратного изменения при восстановлении блеска. Использование стандартной кривой позволит в дальнейшем получать аппроксимированные кривые блеска звезд с периодичностью типа RCB в случае продолжительного и (или) многократного образования пыли и рассеяния ее в окружающее звезду пространство.

Автор признателен Ю. С. Ефимову за обсуждение полученных результатов и за ознакомление с его данными для звезд типа RCB. Аппроксимацию стандартной кривой минимума блеска мы выполнили после этого обсуждения.

1. Горбацкий В. Г. Новоподобные и новые звезды.— М.: Наука, 1974.—183 с.
2. Горбацкий В. Г., Минин И. Н. Нестационарные звезды.— М.: Физматгиз, 1963.—355 с.
3. Дмитриенко Е. С., Черепанчук А. М. Фотометрические элементы системы DQ Her и структура дискообразной оболочки // Астрон. журн.—1980.—57, вып. 4.—С. 749—761.
4. Колодилов Е. А. Спектральные и фотометрические наблюдения Новой Лебеда 1978 (V1668 Cyg) // Письма в Астрон. журн.—1980.—6, № 8.—С. 486—490.
5. Мак-Лафлин Д. Спектры новых звезд // Звездные атмосферы.— М.: Изд-во иностранной литературы, 1963.—С. 575—643.
6. Мустель Э. Р. Физические процессы, происходящие при вспышках новых звезд // Эруптивные звезды.— М.: Наука, 1970.—С. 28—62.
7. Орококов В. А. Модели активной фазы звезд типа R Северной Короны // Науч. информ. Астрон. совет АН СССР.—1984.—57.—С. 3—16.
8. Паренаго П. П. Окончательные кривые блеска шести Новых и трех Сверхновых звезд // Перемен. звезды.—1949.—7, № 3.—С. 109—123.
9. Розенбуш А. Э. R Северной Короны в минимумах блеска 1977 и 1983 гг. II. Спектральные наблюдения // Кинематика и физика небес. тел.—1986.—2, № 6.—С. 83—86.
10. Beyer M. Beobachtungen und Lichtkurven der drei Neuen Sterne DQ Aquilae, EL Aquilae und XX Tauri // Astron. Nachr.—1929.—235, N 5640.—S. 427—436.
11. Beyer M. Weitere Mitteilungen über die Nova DQ Herculis // Ibid.—1936.—260, N 6231.—S. 265—271.
12. Bode M. F., Evans A., Whittet D. C. B. et al. Infrared photometry and spectrometry of Nova Aquilae 1982 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1984.—207, N 4.—P. 897—907.
13. Ciatti F., Rosino L. Photographic and spectroscopic observations of N Aql 1970, N Cyg 1970 and N Sct 1970 // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1974.—16, N 2.—P. 305—322.
14. Clayton D. D., Wickramasinghe N. C. On the development of infrared radiation from an expanding Nova shell // Astrophys. and Space Sci.—1976.—42, N 2.—P. 463—475.
15. Dinerstein H. L. Classical novae detected in the IRAS survey // Astron. J.—1986.—92, N 6.—P. 1381—1386.
16. Feast M. W. The spectrum of Nova Sagittarii 1954 (Haro-Herraro) // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1955.—115, N 5.—P. 461—467.
17. Gezari D. Y., Schmitz M., Mead J. M. Catalog of infrared observations // NASA Ref. Publ.—1984.—N 1118.—557 p.
18. Grygar J., Smolinski J., Hutchings J. B. The transition stage spectrum of Nova Serpentis 1970 // Publ. Astron. Soc. Pacif.—1971.—83, N 491.—P. 15—22.
19. Krautter J., Beuermann K., Leitherer C. et al. Observations of Nova Muscae 1983 from 1200 Å—10 μm during its early decline stage // Astron. and Astrophys.—1984.—137, N 2.—P. 307—326.
20. McLaughlin D. The spectrum of Nova Herculis // Publ. Observ. Michigan.—1937.—6, N 12.—P. 107—214.
21. Mitchel R. M., Robinson G., Hyland A. R. et al. The late infrared development of Nova Serpentis 1970 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1985.—216, N 4.—P. 1057—1071.
22. Nova Coronae Austrinae 1981 // Circ. Cent. Bur. Astron. Telegr. Int. Astron. Union.—1981.—N 3604.—P. 1.
23. Rao N. K. Observation of mass loss in R CrB during the visual light minimum // IAU Colloq. 59. Miramare. Trieste, Sept. 15—19, 1980.—Dordrecht: Reidel, 1981.—P. 469—471.
24. Rosino L., Ciatti F., Della Valle M. Researches on novae and related objects. I. The spectral evolution of Nova FH Ser 1970 // Astron. and Astrophys.—1986.—158, N 1/2.—P. 34—44.
25. Spite F., Spite M. Spectra of RY Sgr near minimum light // Ibid.—1979.—80, N 1.—P. 61—66.
26. Stratton F. J. M. The deep minimum in the light-curve of Nova Herculis 1934 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1945.—105, N 5.—P. 275—279.
27. Williams R. E., Woolf N. J., Hege E. K. et al. The shell around Nova DQ Herculis 1934 // Astrophys. J.—1978.—224, N 1.—P. 171—181.