

УДК 524.338.7

Р Северной Короны в минимумах блеска 1977 и 1983 гг.

II. Спектральные наблюдения

А. Э. Розенбуш

Прослежено развитие эмиссионного спектра R Северной Короны на спаде блеска в глубокие минимумы 1977 и 1983 гг. Уверенно отождествлены линии Ti II, Sc II, Sr II, Ca II, Ca I, Ba II, He I, Na I. Линии H и K Ca II имеют полуширины около 100 км/с. Происхождение эмиссионного континуума в области $\lambda < 400$ нм, наблюдавшегося в 1977 г., связывается с развитием системы широких эмиссионных линий H и K Ca II, He I, отличающимся от развития системы узких эмиссий Ti II, Sc II и др.

R CORONAE BOREALIS IN 1977 AND 1983 VISUAL MINIMA. II. SPECTRAL OBSERVATIONS, by Rozenbush A. E.— The development of the emission spectrum of R Coronae Borealis is observed on the descending branch of deep minima of 1977 and 1983. The lines Ti II, Sc II, Sr II, Ca II, Ca I, Ba II, He I, Na I are identified. The half-widths of H and K Ca II lines are about 100 km/s. The origin of the emission continuum in the region $\lambda < 400$ nm, observed in 1977, may be due to development of the system of wide emission lines H and K Ca II, He I which differ from development of the system of narrow emissions (Ti II, Sc II etc.).

Первые сведения о спектре R Северной Короны в минимуме блеска относятся к 1923 г. [5]. В последующем наиболее полные наблюдения были выполнены для минимумов 1949 [5], 1960 [7], 1962 [8, 9] и эпизодические — в другие годы. Обобщение результатов приведено в работе [1]. Из всех звезд типа RCB самые обстоятельные спектральные и фотометрические наблюдения сделаны для RY Sgr в 1967—1972 гг. [4].

Спектральные изменения в минимуме блеска у звезд типа RCB характеризуются почти полным исчезновением абсорбционного спектра, соответствующего у R CгV спектральному классу F8 Ib, и появлением эмиссионного. В поглощении могут остаться лишь линии с высоким потенциалом возбуждения, принадлежащие C I и Mg II. Опубликованы сообщения о появлении в эмиссии полосы молекулы C₂ в области λ 473.5 нм [1, 7]. Полоса молекулы CN в области λ 388.2 нм в эмиссии наблюдается всегда. У RY Sgr во время минимума 1967 г. отмечался эмиссионный континуум в области $\lambda < 400$ нм [4], приписываемый излучению отрицательного иона молекулы CN [4] или графита [6]. Рао [8] не обнаружил его у R CгV в минимуме 1962 г. Наше сообщение [2] об эмиссионном континууме в области $\lambda < 400$ нм у R CгV относится к 1977 г. Эмиссионный линейчатый спектр разделяют на две системы: 1) многочисленные узкие линии Ti II, Sc II, Sr II, Fe II и других элементов; 2) несколько широких эмиссий H и K Ca II, D Na I, He I λ 388.8 нм с полушириной, соответствующей скоростям до 250 км/с. Их структура может быть сложной [10] (широкая эмиссия является подложкой для узких составляющих).

К сожалению, все существующие спектральные наблюдения переменных типа RCB в основном охватывают фазу ослабления блеска. Фазы наибольшего ослабления и восстановления нормального блеска исследовались недостаточно, чтобы создать цельную картину. Можно отметить, что эмиссия полностью исчезает к моменту достижения звездой наибольшего показателя цвета $B-V$ при восстановлении блеска [8]. Наши наблюдения не восполняют этот пробел.

В 1977 г. наблюдения R CгV проводились нами на телескопе АЗТ-5 с предобъективной призмой (дисперсия $200 \cdot 10^{-7}$ у H _{γ}) на Крымской

станции ГАИШ и на телескопе Шмидта с предобъективной призмой (дисперсия $600 \cdot 10^{-7}$ у H_γ) в Радиоастрофизической обсерватории АН ЛатвССР. В начальной фазе минимума 1983 г. спектрограммы получены на 1-м телескопе Института астрофизики АН ТаджССР (гора Санглок) со спектрографом UAGS (дисперсия $44 \cdot 10^{-7}$). Некоторые сведения о наблюдательном материале приведены в таблице. Фотопластинки Kodak 103a-O за последние две даты оцувствлялись под-светкой непосредственно перед экспонированием. Расширение спектров (если позволяла яркость переменной) осуществлялось посредством гидрирования телескопа.

Спектральные наблюдения R Северной Короны

<i>J. D.</i> 2443 000+	Блеск звезды	Длитель- ность экспо- зиции, мин	Тип фото- эмульсии	<i>J. D.</i> 2443 000+	Блеск звезды	Длитель- ность экспо- зиции, мин	Тип фото- эмульсии
212.5	10.0 ^m	10	103a-F	230.5	11.7	45	103a-F
213.6	10.3	15	103a-O	230.6		50	103a-O
215.5	10.6	18	103a-O	231.5	11.7	55	103a-O
215.6		12	103a-F	232.5	11.6	50	103a-F
216.5	10.8	44	103a-O	368.4	13.2	30	103a-O
216.5		22	103a-F	370.4		20	11a-D
217.5	11.0	46	103a-O	371.4		25	103a-O
228.4	11.6	60	103a-O	2 582.1	9.3	130	103a-O
228.5		60	103a-F	2 596.1	10.4	168	103a-O
229.5	11.7	55	103a-F	2 598.1	10.8	181	103a-O
229.6		55	103a-O	2 601.1	11.2	176	103a-O

В 1977 г. (*J. D.* 2443 212.5 — ... 213.5) на первых спектрограммах из-за сильного фона неба от Луны выделить какие-либо детали было невозможно. Можно отметить лишь отсутствие линий поглощения *H* и *K* Ca II.

В *J. D.* ... 215.5 эмиссионный спектр уже достаточно развит. Линии Ti II — самые яркие и многочисленные, вследствие низкой дисперсии спектрограмм образуют широкие детали в области $\lambda\lambda$ 430—455 нм. Интенсивности линий Sc II λ 424.6 нм и Sr II λ 407.7 нм одинаковы. С ними сравнимы линии *H* и *K* Ca II. Видны, вероятно, и линии *D* Na I. Абсорбции не выделяются.

В следующую дату (*J. D.* ... 216.5) эмиссионный спектр остался без изменений. Линии *D* Na I видны хорошо. Появляются линии Mg I $\lambda\lambda$ 518.3 — 517.2 нм.

В *J. D.* ... 217.5 в спектре доминируют линии Ti II: в УФ-области спектра — $\lambda\lambda$ 375.9 — 376.1 нм; в синей — группы линий $\lambda\lambda$ 430 — 455 нм. Видна эмиссия у $\lambda \approx 383.7$ нм, связанная, по-видимому, с Mg I λ 383.8 нм и Ti II λ 383.6 нм.

По прошествии нескольких дней (*J. D.* ... 228.4) резкий эмиссионный спектр остался без изменений: доминируют линии Ti II; линия Sr II λ 407.7 нм ярче линии Sr II λ 421.5 нм и имеет такую же интенсивность, как линия Sc II λ 424.6 нм. Линии *H* и *K* Ca II, He I λ 388.8 нм и полоса молекулы CN λ 388.2 нм уже хорошо развиты, они одной интенсивности с сильнейшими линиями Ti II. В длинноволновой области спектра видны только линии *D* Na I. В последующем (*J. D.* ... 229.5 — ... 231.5) спектр не изменился.

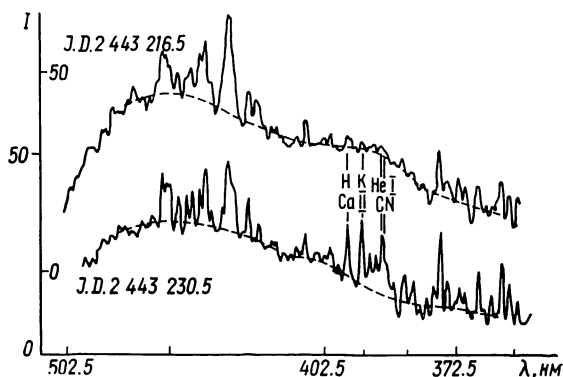
На трех спектрограммах R CгB, полученных при наибольшем ослаблении блеска ($V=13.2^m$), можно выделить только линии *D* Na I, *H* и *K* Ca II, He I и полосу CN (две последние эмиссии не разделяются).

Об абсорбционных линиях по данному спектральному материалу ничего сказать нельзя.

Рассмотрим поведение эмиссионной детали в области $\lambda < 400$ нм. Появление ее относится, по-видимому, к началу развития резкого эмиссионного спектра; по крайней мере, на наших снимках она уже заметна в *J. D.* ... 213.6. В *J. D.* ... 215.5 и ... 216.5 эмиссионный континуум виден хорошо, а к *J. D.* ... 228.4 он исчез полностью. В то же время линии *H* и *K* Ca II, He I и полоса CN, попадающие в эту область, стали одними из ярчайших деталей спектра (рисунок). Развитие континуума охватывает интервал блеска $V \approx 10.0^m - 11.0^m$.

Минимум 1983 г. был таким же глубоким, как и рассмотренный выше. Использование дифракционного спектрографа позволило получить более качественный материал. Характер изменения спектра в общих чертах такой же. На первой спектрограмме (*J. D.* 2445 582.1) наблюдаются абсорбционные и эмиссионные линии. Так как нет более ранних наблюдений, нельзя определить, повлияла ли остановка в ослаблении блеска [3] на соотношение абсорбций и эмиссий. В поглощении остались линии Fe I и другие менее многочисленные (например, Mn I), но

Регистрограммы спектров RCrB за две даты наблюдений в минимуме 1977 г.



интенсивности их уменьшились. Это видно при сравнении их с линиями C I. Линии *H* и *K* Ca II наблюдаются в виде неглубоких широких депрессий без каких-либо эмиссий. Все линии Ti II, Sc II и Sr II — в эмиссии и узкие. Слабая эмиссия видна в полосе молекулы CN λ 388.2 нм. Линия Ba II λ 455.4 нм по интенсивности немного уступает эмиссии Ti II λ 454.9 нм. В области λ 383.75 нм видна эмиссия с полушириной около 0.15 нм, образованная неразрешенными линиями Mg I λ 383.8 нм и Ti II λ 383.6 нм. Линия Mg I λ 383.2 нм того же мультиплета отсутствует. Среди абсорбций резко выделяются дублет Mg II λ 448.1 нм и линии C I 447.7 — 447.8 нм (одна из примечательных деталей спектра). Группа линий C I около $\lambda = 477$ нм и полоса молекулы C₂ λ 473.5 нм видны хорошо; оценки изменения интенсивности последней сравнительно с максимумом блеска не проводились.

Следующая спектрограмма (менее плотная, чем предыдущая) получена через несколько дней после «остановки» (*J. D.* ... 596.1). Эмиссионный спектр существенно не изменился. Появились в эмиссии линии *H* и *K* Ca II и He I λ 388.8 нм, полоса CN λ 388.2 нм усилилась. Некоторые линии начали ослабевать: Ba II λ 455.4 нм. Линия Sc II λ 424.6 нм стала сильнейшей в спектре. В абсорбции четко видны Mg II λ 448.1 нм, C I λ 447.7 — 447.8, 422.8, 447.0, 476.2 нм и др. Полоса поглощения C₂ λ 473.5 нм выделяется уверенно.

В спектре за *J. D.* ... 598.1 линия Sc II λ 424.6 нм по-прежнему самая яркая. Линии Ti II и Sc II — узкие, в отличие от *H* и *K* Ca II, полуширины которых соответствуют скоростям около 100 км/с. Линия He I также широкая, но меньшей интенсивности, имеет, возможно, некоторую структуру (на широкую эмиссию накладывается узкая). Группа линий C I около $\lambda = 477$ нм выделяется еще как депрессия. О полосе C₂ λ 473.5 нм трудно сказать что-либо определенное из-за зашумленности спектра. По-видимому, в эмиссии появилось несколько линий Fe I в УФ-области спектра. Видны слабые линии Mg I λ 383.8 и 383.2 нм. Спектр прослеживается до $\lambda = 345$ нм.

При блеске $V \approx 11.2^m$ спектр R CrB существенно не изменился. В коротковолновую сторону он прослеживался до $\lambda = 340$ нм.

Развитие спектра R Северной Короны во время ослабления блеска в обоих минимумах сходно. Среди эмиссий самыми многочисленными и яркими были линии Ti II и Sc II. Приведем список всех уверенно отождествленных линий; He I (мультиплет 2), Ca I (2), Ca II (1), Sc II (2, 3, 7, 8, 10, 11, 14, 15), Ti II (11, 12, 13, 14, 19, 20, 21, 31, 40, 41, 42, 50, 51, 52, 72, 73, 75, 82, 88, 98, 105, 107, 115), Sr II (1, 3?), Ba II (1).

Возможно, в эмиссии присутствуют немногочисленные линии Fe I, Mg I. Некоторое различие двух исследованных минимумов выражено в изменении соотношения яркости эмиссий Sc II и Ti II (в 1977 г. линии Ti II сильнее), а также в возможном отсутствии эмиссионного континуума в области $\lambda < 400$ нм в 1983 г.

Развитие эмиссионного линейчатого спектра и континуума в области $\lambda < 400$ нм (рисунок) допускает возможность объяснения континуума механизмом, связанным с развитием широких эмиссий H и K Ca II и He I. Последние, а также и линии D Na I, представляют собой систему эмиссий, отличающихся от узких эмиссий Ti II и Sc II.

На протяжении наших наблюдений в 1983 г. по мере ослабления звезды происходило уменьшение центральных глубин линий поглощения, впервые наблюдавшееся Хербигом [5]. Низкая дисперсия спектрограмм не позволяет более детально изучить этот процесс, но, по-видимому, к моменту достижения блеска $V \approx 11^m$ наблюдается почти «непрерывный» спектр с наложением эмиссий. Это обстоятельство использовано нами при определении вклада спектральных изменений (исчезновение абсорбций и появление эмиссий) в показатели цвета $B-V$ и $U-B$ [3]. Дольше всего в поглощении наблюдались линии Mg II и C I. При минимальном блеске ($V \approx 13^m$) видны лишь линии H и K Ca II, Na I и He I. О каких-либо изменениях в полосе C_2 λ 473.5 нм, связанных с минимумом блеска и образованием графитовой пыли в атмосфере переменной, определенно говорить нельзя, так как интенсивность полосы изменяется у R CrB даже в максимуме блеска (временная шкала изменений нами еще не исследована).

Автор благодарит руководство и сотрудников Радиоастрофизической обсерватории АН ЛатвССР, Крымской станции ГАИШ и Института астрофизики АН ТаджССР за предоставленную возможность выполнить наблюдения и помощь в их проведении.

1. Жиляев Б. Е., Орлов М. Я., Пугач А. Ф. и др. Звезды типа R Северной Короны.— Киев: Наук. думка, 1978.—127 с.
2. Розенбуш А. Э. Широкие эмиссии в спектре звезд типа R Северной Короны // Астрон. циркуляр.— 1980.— № 1131.— С. 1—2.
3. Розенбуш А. Э. R Северной Короны в минимумах блеска 1977 и 1983 гг. I. Фотометрия // Кинематика и физика небес. тел.— 1986.— 2, № 5.— С. 29—34.
4. Alexander J. B., Andrews P. J., Catchpole R. M. et al. A spectroscopic and photometric study of the pulsating R Coronae Borealis type variable, RY Sagittarii // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.— 1972.— 158, N 3.— P. 305—360.
5. Herbig G. H. The spectrum of R Coronae Borealis at the 1948—1949 minimum // Astrophys. J.— 1949.— 110, N 2.— P. 143—155.
6. Krelowski J. Gwiazdy typu R Coronae Borealis. II // Post. Astron.— 1975.— 23, N 4.— S. 243—255.
7. Payne-Gaposhkin C. The 1960 minimum of R Coronae Borealis // Astrophys. J.— 1963.— 138, N 2.— P. 320—341.
8. Rao N. K. A study of the spectrum of R Coronae Borealis at minimum light (Ph. D. Thesis).— Santa Cruz: Univ. California, 1974.— 60 p.
9. Rao N. K. Some spectroscopic problems of R Coronae Borealis stars // Bull. Astron. Soc. India.— 1975.— 3.— P. 50—54.
10. Rao N. K. Observations 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.