

УДК: 524.3-62

ПЯТНА И АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ НА ЭМИССИОННОЙ ЗВЕЗДЕ VY Aгi

И.Ю.АЛЕКСЕЕВ, О.В.КОЗЛОВА

Поступила 5 июня 2001

Принята к печати 31 августа 2001

Проведены квазисовременные фотозлектрические и спектральные наблюдения активной запятненной звезды VY Aгi, показавшие возрастание эквивалентной ширины чистой эмиссии в линии H_{α} с понижением блеска звезды. Такое возрастание указывает на связь активных областей в хромосфере с холодными фотосферными пятнами. Фотометрическая переменность VY Aгi полностью описывается в рамках зональной модели. Запятненные области занимают до 41% полной поверхности звезды при разности температур спокойной фотосферы и пятна в 1300 К. Пятна локализованы в средних и низких широтах.

1. *Введение.* Запятненность - очень распространенное явление среди холодных звезд низкой светимости. Осевое вращение такой неравномерно запятненной звезды и медленные, с характерным временем порядка нескольких месяцев, изменения конфигурации пятен вызывают фотометрическую переменность типа BY Dra - вращательную модуляцию блеска и медленные изменения среднего блеска звезды. В настоящее время известно более 112 объектов этого типа [1]. Все эти звезды известны как хромосферно активные и имеют в спектрах эмиссионные линии, прежде всего водорода (H_{α}) и кальция.

Звезда VY Aгi (Gl 113.1 = HD 17433 = BD + 30°448) - яркий компонент спектрально - двойной системы типа SB1 спектрального класса K3 + 4Ve [2] - скорее является не звездой типа BY Dra, а переменной типа RSCVn или PMS звездой. Ее фотометрическую переменность обнаружил Чугайнов [3]. Позднее звезду наблюдали Итон и По [4], Бопп и др. [5], Штрассмайер и Бопп [6], Алексеев [7], Штрассмайер и др. [8,9]. Бопп и др. [5], исследовав VY Aгi спектрально в оптике и ультрафиолете, показали, что это одна из наиболее хромосферно активных двойных систем.

Целью данной работы является единообразное построение моделей запятненности VY Aгi по всему массиву существующих фотометрических наблюдений и выявление связи запятненных областей с активными образованиями, излучающими в линии H_{α} .

2. *Наблюдения и результаты.* 2.1. *Фотометрия.* Все фотометрические наблюдения проводились И.Ю.Алексеевым на 1.25 - метровом эффлекторе АЗТ-11 Крымской обсерватории, оснащенном UBVRi фотометром поляриметром Пииролы [10-13]. В качестве звезды сравнения мы

использовали SAO 55886 (G_0 , $V=7^m.93$, $U-B=0^m.31$, $B-V=0^m.74$, $V-R=0^m.58$, $V-I=1^m.05$, наша привязка), а в качестве контрольной - Gl 112.0 (K2IV, $V=7^m.88$, $U-B=0^m.48$, $B-V=0^m.83$, $V-R=0^m.63$, $V-I=1^m.13$ [14]). В каждую ночь мы проводили по три цикла измерений SAO 55886 - VY A1 - Gl 112.0 - SAO 55886. При каждом наведении на звезду снималось по 4 отсчета в пяти полосах одновременно, время накопления одного отсчета составляло 10 секунд. Ошибки определения блеска переменной и ее показателей цвета не превышают при такой методике $0^m.01$. Предварительные результаты наблюдений VY A1 опубликованы в работах [7,15-17].

Наблюдения VY A1 регулярно проводились с 1992г. по 2000г. На рис.1 приведены построенные нами кривые блеска звезды, свернутые по эфемериде Штрассмайера и Боппа [6]:

$$JD_{\min} = 2446489.02 + 16.42E. \quad (1)$$

В сезоны 1992, 1993, 1995 и 1999 годов кривая блеска была почти синусоидальной, а в 1994г. существенно отличалась от синусоиды. О кривых блеска в 1996, 1997, 1998 и 2000 годах мы ничего сказать не можем, так как в эти сезоны перекрытие по фазе было недостаточным. Фаза минимума блеска за этот период плавно изменилась от 0.6 в 1992г. до 0.0 в 1995г.

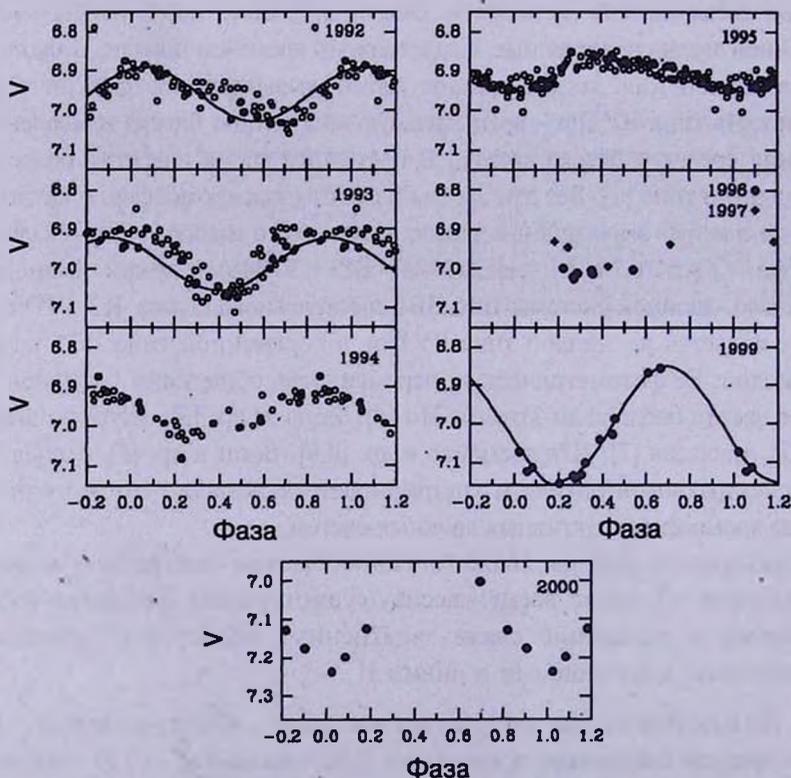


Рис.1. Кривые блеска VY A1 в полосе V. Точки - наши наблюдения, открытые кружки - данные Штрассмайера и др. [8].

Штрассмайер и др. [8] интерпретируют это как неточность в определении периода и приводят его новое значение: $P_{rot} = 16^d.200 \pm 0^d.002$. Результаты наших наблюдений VY Aг1 приведены в табл. I.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ UBVR I - НАБЛЮДЕНИЙ VY Aг1

Эпоха	Число ночей	$\langle V \rangle$	ΔV	U-B	B-V	V-R	V-I	Фаза
1992.7	9	6.96	0.14	0.65	0.96	0.80	1.44	0.60
1993.7	8	6.99	0.14	0.65	0.97	0.80	1.44	0.44
1994.8	6	6.93	0.21	0.64	0.94	0.77	1.43	0.23
1995.9	7	6.90	0.10	0.63	0.94	0.76	1.41	0.00
1996.9	7	7.01	0.03	0.66	0.95	0.78	1.45	
1997.8	4	6.98	0.09	0.64	0.94	0.78	1.43	
1998.8	1	6.94		0.65	0.95	0.78	1.42	
1999.9	13	7.00	0.30	0.67	0.96	0.80	1.46	0.20
2000.9	6	7.12	0.24	0.68	0.97	0.81	1.49	0.05

На рис.2 приведена сводная кривая блеска VY Aг1 в полосе V. Амплитуда вращательной модуляции блеска звезды изменялась от $0^m.02$ в 1974г. и 1987г. до $0^m.28-0^m.30$ в 1988-1989 и 1999 годах. Средний блеск звезды изменяется от сезона к сезону на $0^m.27$. Из рисунка следует, что эти изменения возможно цикличны с характерным временем $P_{cyc} = 14 - 15$ лет. Впервые цикличность блеска звезды отметили Штрассмайер и др. [8] и Ола и др. [18]. Наибольший блеск звезды $V_{obs} = 6^m.68 \pm 0^m.01$ достигался в 1986г. [6]. Мы будем принимать эту величину за яркость спокойной фотосферы.

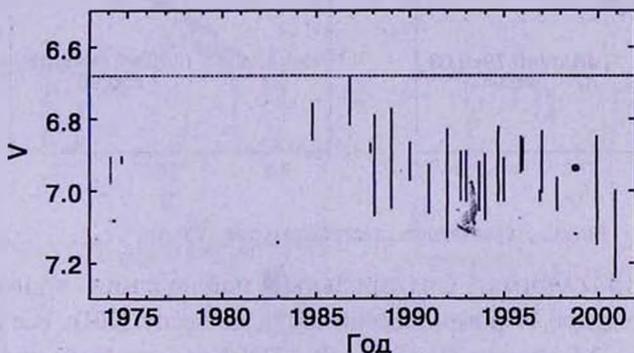


Рис.2. Сводная кривая блеска VY Aг1 в полосе V.

Показатели цвета звезды, полученные нами из наблюдений и взятые из литературы, изменялись незначительно. На рис.3 показаны изменения блеска VY Aг1 в полосах UBRI в зависимости от блеска в полосе V, построенные по нашим наблюдениям в разные годы.

Из рисунка видно, что эти изменения линейно зависят от блеска в полосе V, что характерно для переменных типа BY Dra. Соответствующие угловые коэффициенты линейной регрессии равны: $dU/dV = 1.27 \pm 0.04$, $dB/dV = 1.11 \pm 0.02$, $dR/dV = 0.79 \pm 0.03$, $dI/dV = 0.64 \pm 0.01$. Линейность

отношений между изменением блеска в разных полосах позволяет нам при моделировании запятненности рассматривать кривые блеска звезды только в одном фильтре (V) и использовать отношения dB/dV , dR/dV и dI/dV как входные параметры. Принимая значение $V_{abs} = 6^m.68 \pm 0^m.01$, мы можем оценить также и показатели цвета незапятненной фотосферы VY Aгi: $U - B = 0^m.60 \pm 0^m.01$, $B - V = 0^m.92 \pm 0^m.01$, $V - R = 0^m.72 \pm 0^m.01$, $V - I = 1^m.33 \pm 0^m.01$.

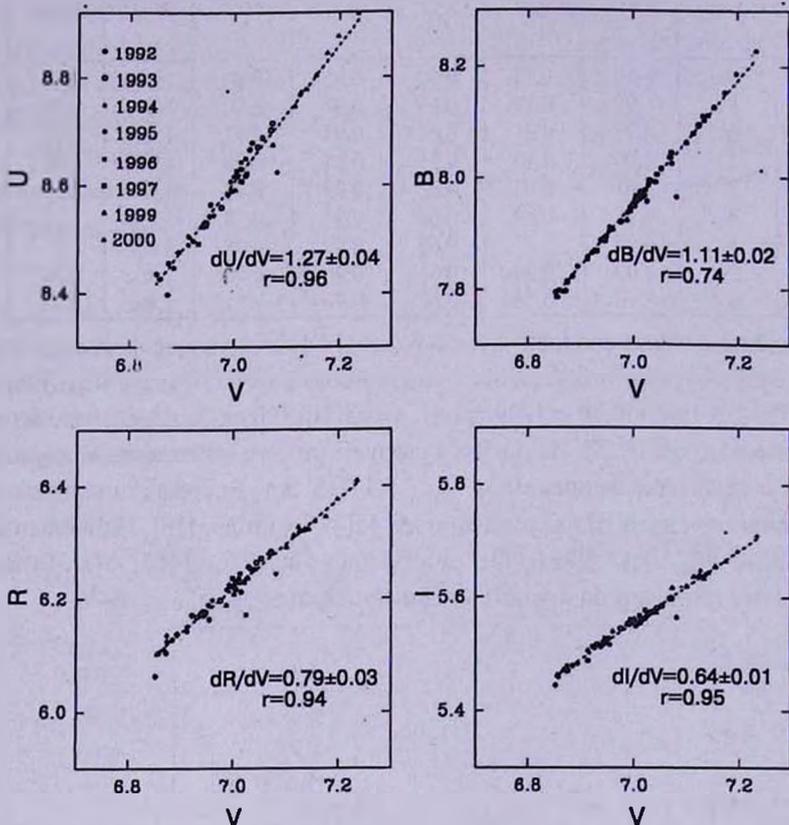


Рис.3. Двухцветные диаграммы для VY Aгi.

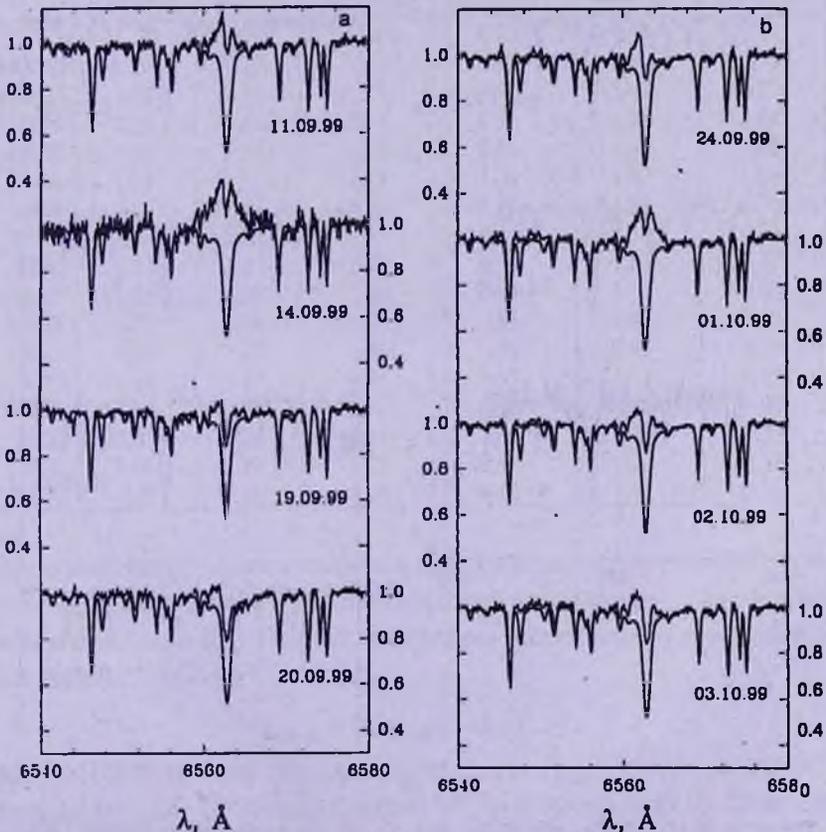
2.2. Спектроскопия. Спектральные наблюдения проводились О.В.Козловой в течение 17 ночей с осени 1999г. по весну 2001г. Все спектры были получены на 2.6-метровом телескопе ЗТШ Крымской обсерватории с разрешением $R=20000$ с помощью кудэ-спектрографа и ПЗС-камеры в области линии H_{α} . В сентябре - октябре 1999г. (8 ночей) и в декабре 2000 - январе 2001г. (5 ночей) использовалась матрица 1024×256 пиксел с используемым диапазоном длин волн 60 \AA . С января по октябрь 2000г. использовалась матрица 576×385 пиксел с диапазоном 30 \AA . Общие сведения о полученных спектрах даны в табл2.

Полученные с помощью ПЗС-камеры изображения спектров очищались от космических частиц, а затем корректировались за плоское поле. Обработка

Таблица 2

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ VY Aг1

сод	HJD	Экспозиция	Фаза	S/N
49011	51410.4995	10:00	0.725	105
49040	51411.4878	19:00	0.785	110
49223	51415.4769	20:00	0.028	
49821	51433.4010	05:00	0.119	120
49893	51436.3935	12:00	0.302	50
51444	51453.4125	20:00	0.338	175
51479	51454.4066	20:00	0.399	200
51515	51455.4185	15:00	0.460	200
52640	51549.1574	18:00	0.768	112
52665	51552.1628	25:00	0.352	130
52678	51553.1657	25:00	0.413	100
58527	51849.2793	20:00	0.447	35
59413	51880.2794	20:00	0.335	70
59631	51904.2180	40:00	0.793	96
59990	51934.1532	15:00	0.616	140
60025	51935.1694	15:00	0.678	130
60057	51936.1592	25:00	0.738	114

Рис.4а,б. Профили линии H_{γ} для VY Aг1 а) в сентябре 1999г., б) в сентябре-октябре 1999г.

самых спектров (вычитание фона неба, нормировка и др.) проводилась с помощью разработанной С.Г.Сергеевым программы SPE [19], являющейся для КрАО общепринятой. Все обработанные спектры были скорректированы за движение Земли вокруг Солнца. Для учета атмосферной воды мы использовали наблюдения яркой звезды сравнения с широкими линиями поглощения (например, $\xi Aq1$, $V = 2^m.99$, $Sp = B9Ve$, $V \sin i = 330$ км/с).

На рис.4а, б приведены нормированные спектры VY Aг в области линии H_α и синтетические профили поглощения этой линии, рассчитанные нами по программам Н.Е.Пискунова SYNTH и ROTATE [20] с использованием данных из Венской базы атомных параметров спектральных линий VALD [21,22] для моделей атмосферы со следующими характеристиками: $T_{eff} = 4750$ К, $\log g = 3.5$, $V \sin i = 10.2$ км/с, $V_{micro} = 0.5$ км/с, $V_{macro} = 2.0$ км/с. Данные о скорости

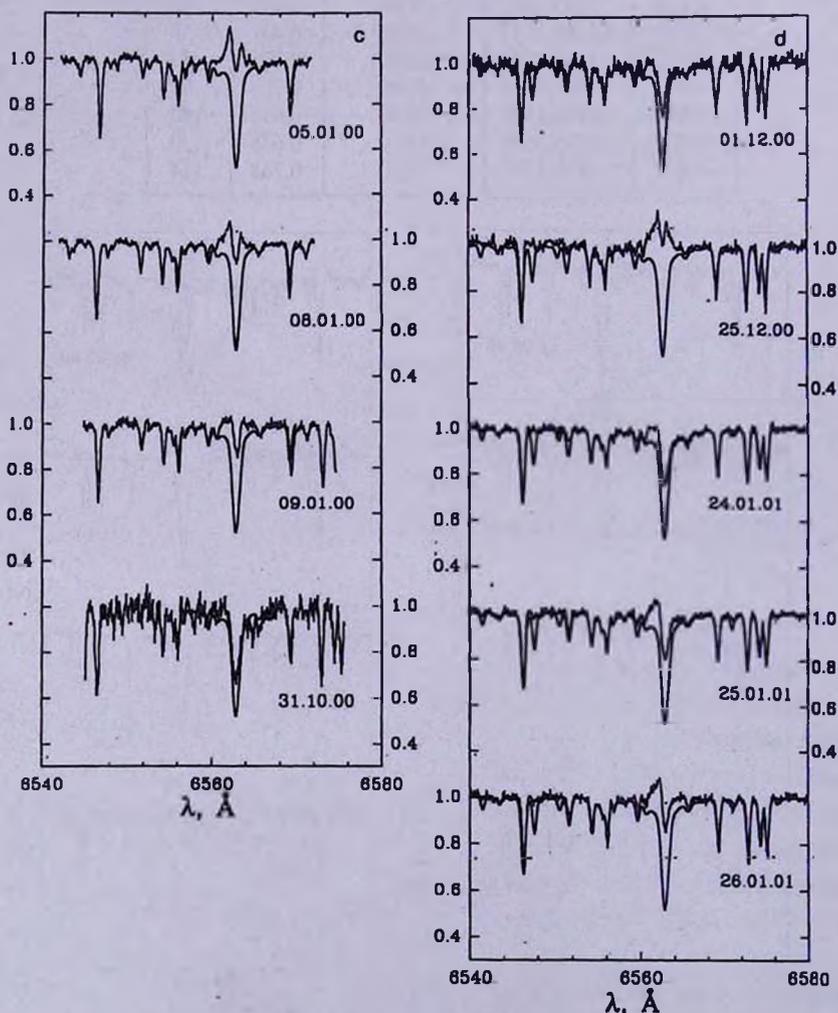


Рис.4с и d. Профили линии H_α для VY Aг c) в январе и октябре 2001г., d) в декабре 2000г. и январе 2001г.

вращения и скорости макротурбулентности для VY A1 взяты нами из работы Фекела [23].

Как видно из рисунка, на всех спектрах ядро линии находится в эмиссии, при достаточно протяженных абсорбционных крыльях. В центре линии наблюдается абсорбционная деталь, вполне характерная для активных красных карликовых звезд, которая вызвана самопоглощением в оптически толстой хромосфере. Такой характер спектров полностью согласуется с результатами прошлых наблюдений [5,24-26]. В табл.3 приведены характеристики линии H_{α} для полученных спектров: отношения потоков F_{max}/F_{cont} для исходного профиля и для чистой эмиссии, расстояние между эмиссионными пиками исходного профиля $\Delta\lambda_{peak}$ (в ангстремах), отношение интенсивностей его компонентов F_{red}/F_{blue} , ширина профиля чистой эмиссии FWHM и значения ew эквивалентной ширины в линии H_{α} .

Таблица 3

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИИ H_{α} ЗВЕЗДЫ VY A1

ccd	F_{max}/F_{cont}	F_{max}/F_{cont}	$\Delta\lambda_{peak}$	F_{red}/F_{blue}	FWHM	EW
	исходный профиль	чистая эмиссия	исходный профиль	исходный профиль	чистая эмиссия	чистая эмиссия
49011	1.13	1.32	1.12	0.93	1.49	0.59
49040	1.24	1.29	1.12	0.96	1.59	0.52
49223	1.04	1.39	1.78	0.96	1.41	0.73
49821	1.03	1.44	1.58	0.91	1.29	0.84
49893	1.10	1.58	1.78	0.92	1.55	1.60
51444	1.14	1.51	1.19	1.00	1.47	1.09
51479	1.07	1.36	1.32	0.96	1.58	0.76
51515	1.07	1.32	1.65	0.94	1.58	0.68
52640	1.14	1.42	1.40	0.94	1.68	0.83
52665	1.08	1.38	1.30	0.95	1.50	0.69
52678	1.03	1.36	1.57	0.99	1.33	0.60
58527	0.96	1.19	1.84	0.99	0.95	0.24
59413	1.02	1.27	1.98	0.99	1.31	0.42
59631	1.15	1.50	1.06	0.96	1.37	0.98
59990	1.01	1.24	2.04	1.00	1.32	0.39
60025	1.06	1.28	1.53	0.98	1.56	0.58
60057	1.09	1.36	1.65	1.03	1.47	0.75

Мы можем приближенно оценить физические условия в активной области с помощью простой модели изотермической хромосферы, разработанной Крэмом и Маллэном [27]. Оптическая глубина хромосферы в изотермическом приближении составляет

$$\ln\tau_{chrom} = (\Delta\lambda_{peak} / 2\Delta\lambda_D)^2, \tag{2}$$

где доплеровская ширина линии составляет для $T_{chrom} = 10000$ К около 0.28\AA . Таким образом, для активных областей VY A1 она меняется от 55 до 24000. Электронную концентрацию можно оценить из соотношения

$$n_e = 1.67 \cdot 10^{14} (F_{max}/F_{cont}) (B(T_{eff})/B(T_{chrom})) \tau_{chrom}^{-1}, \quad (3)$$

и она составляет от 10^9 до $4.6 \cdot 10^{11}$ см⁻³. Эти значения хорошо согласуются с нашими оценками физических условий в хромосфере другой активной звезды - V775 Her [28].

3. *Моделирование запятненности.* Холодная запятненная область на поверхности одиночной звезды создает дефицит потока излучения на длине волны λ , определяемый по формуле

$$\Delta m_\lambda = -2.5 \log \left(1 - (a_\lambda I + b_\lambda J) / (1 - u^{ph}/3) \right). \quad (4)$$

В это соотношение входят два температурных параметра

$$a_\lambda = 1 - u_\lambda^{ph} - (1 - u_\lambda^{sp}) \cdot \beta_\lambda, \quad (5)$$

$$b_\lambda = u_\lambda^{ph} - u_\lambda^{sp} \beta_\lambda, \quad (6)$$

и два геометрических - выраженная в долях видимого диска звезды площадь проекции пятен на картинную плоскость I :

$$\pi I = \int \cos \alpha \sin \theta d \theta d \phi \quad (7)$$

и средний косинус углового расстояния α между геометрическим центром тяжести пятна и центром диска звезды J :

$$\pi J = \int \cos^2 \alpha \sin \theta d \theta d \phi. \quad (8)$$

Интегрирование в соотношениях (9) и (10) ведется по видимой части запятненной поверхности (θ и ϕ - полярный угол и долгота точки), u_λ - коэффициенты потемнения к краю, β_λ - отношение яркостей пятна и спокойной фотосферы. Разность величин Δm_λ отсчитывается от уровня блеска незапятненной фотосферы.

Для нахождения площади и температуры запятненной области нам необходимо знать блеск незапятненной фотосферы и соотношения между значениями Δm в различных длинах волн (оцениваются из наблюдений), а также мы должны сделать изначальное предположение о конфигурации запятненных областей.

Алексеев и Гершберг [15,29] показали, что совокупность запятненных областей на холодной звезде можно представить с достаточной степенью точности двумя симметричными относительно экватора поясами запятненности, которые занимают области с широтами от $\pm \phi_0$ до $\pm (\phi_0 + \Delta \phi)$ с линейной по долготе плотностью заполнения пятнами от единицы до некоторого числа f_{min} , причем $0 < f_{min} < 1$. Эта зональная модель была применена к ряду запятненных карликовых звезд со спектральными классами от G2 до M4.5 и скоростями вращения до 25 км/с [15,28,30] и показала качественное согласие с картиной солнечной запятненности.

При расчете запятненности по зональной модели используются две переменные: амплитуда вращательной модуляции блеска ΔV и разность

максимального блеска звезды в данный сезон и блеска незапятненной фотосферы ΔV_{max} , и пять определяемых параметров звезды - отношения dB/dV , dR/dV и dI/dV , угол наклона оси вращения к направлению на наблюдателя i и температура фотосферы T_{phot} .

Таблица 4

МОДЕЛИ ЗАПЯТНЕННОСТИ VY A₁

Эпоха	ΔV_{max}	ΔV	ϕ_0	$\Delta\phi$	f_{min}	β_V	S_{max}	S_{min}	Литература
1993.0	0.20	0.14	11	19	0.48	0.12	14.5	10.1	[8]
1994.0	0.22	0.18	7	22	0.44	0.11	15.8	10.7	[8]
1994.8	0.144	0.207	11	21	0.27	0.12	13.9	7.7	[15-17]
1995.0	0.23	0.12	10	19	0.57	0.12	14.8	11.2	[8]
1995.9	0.17	0.10	22	17	0.53	0.16	11.4	8.4	[16,17]
1996.0	0.17	0.09	22	18	0.54	0.13	13.4	9.9	[8]
1996.9	0.32	0.03	6	17	0.89	0.11	14.2	13.4	[16,17]
1997.0	0.25	0.17	22	30	0.48	0.11	21.4	14.9	[9]
1997.8	0.29	0.09	6	19	0.70	0.11	15.4	12.9	[16,17]
1999.9	0.27	0.30	17	37	0.35	0.09	25.2	15.4	наст. иссл
2000.9	0.32	0.24	7	30	0.49	0.13	21.7	15.3	наст. иссл

Первые расчеты запятненности VY A₁ в рамках зональной модели описаны в работе [15]. Результаты дальнейших расчетов приведены в табл.4.

Представленные в [15] расчеты запятненности VY A₁ мы дополнили расчетами по данным Штрассмайера и др. [8,9] и нашим наблюдениям 1994-2000 годов. Температура звезды $T_{phot} = 4750$ K оценена нами из цветов звезды по калибровке Джонсона [31] и по совпадению синтетического спектра с наблюдаемым. Оценка

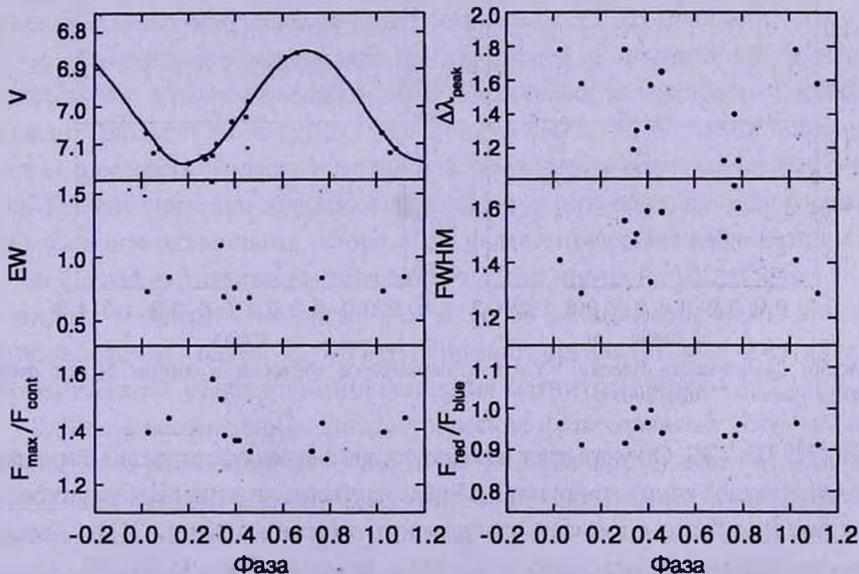


Рис.5а. Зависимость блеска VY A₁ и параметров эмиссии в линии H_α от фазы вращения звезды. 1999/2000г.

угла наклона $i = 60^\circ$ взята у Штрассмайера и Боппа [6]. С учетом расчетов [15], для описания фотометрической переменности VY Aг1 больше всего подходит четырехпараметрическая модель со значением параметра ϕ_0 от 6 до 22 градусов, шириной пояса запятненности $\Delta\phi$, которая изменяется от 11 до 37° , параметром f_{max} от 0.00 до 0.91. При этом максимальная степень запятненности достигает 40.6 % полной поверхности звезды. Контраст пятен $\beta_V = 0.09 + 0.16$ соответствует разности температур в 1260 + 1410К. В работе [15] было проведено сравнение наших расчетов с результатами расчетов Штрассмайера и Боппа по иерархической модели [6] и показано хорошее согласие в величинах полной площади и температуры запятненных областей.

4. *Связь пятен с активными областями.* На рис.5а, б приведены кривые блеска VY Aг1 в 1999 и 2000 годах и зависимость параметров чистой эмиссии в линии H_α от фазы вращения звезды. Мы видим, что минимальный блеск звезды, который соответствует наиболее запятненной стороне, сопровождается ростом эквивалентной ширины чистой эмиссии. Такой рост происходит прежде всего из-за усиления относительной интенсивности линии, что в рамках теории изотермичной хромосферы соответствует увеличению электронной плотности. Аналогичный эффект был отмечен нами для активной

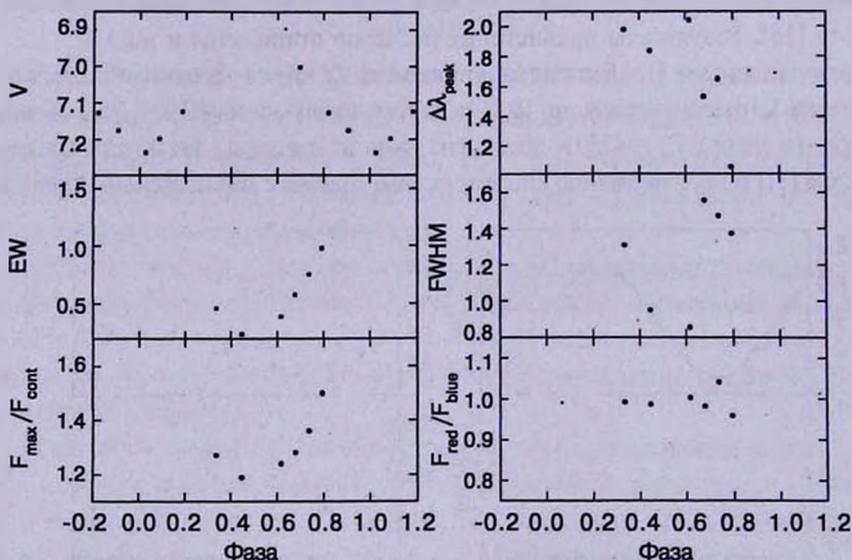


Рис.5б. Зависимость блеска VY Aг1 и параметров эмиссии в линии H_α от фазы вращения звезды. 2000/2001г.

звезды V775 Her [28]. Он указывает на присутствие в хромосфере звезды активных областей, которые концентрируются вблизи наиболее запятненных участков.

На рис.6 мы рассматриваем зависимость эмиссии в линии H_α от блеска звезды по нашим наблюдениям и данным из литературы [5,24-26].

Величина V на левой панели рисунка откладывается от наиболее яркого

состояния звезды (блеска спокойной фотосферы). Как следует из рисунка, при сильной фотометрической переменности эквивалентная ширина чистой эмиссии в линии H_{α} практически не изменяется. На правой панели рисунка мы сравниваем энергию, излучаемую хромосферой звезды в линии H_{α} с болометрическим дефицитом потока энергии ΔL_{bol} , создаваемым пятнами. Мы видим, что для VY Aг1 наблюдается рост величины $\log L(H_{\alpha})$ с ростом $\log \Delta L_{bol}$, и при этом хромосферное излучение $L(H_{\alpha})$ составляет 0.04-0.11% от создаваемого пятнами дефицита излучения ΔL_{bol} , что аналогично звезде

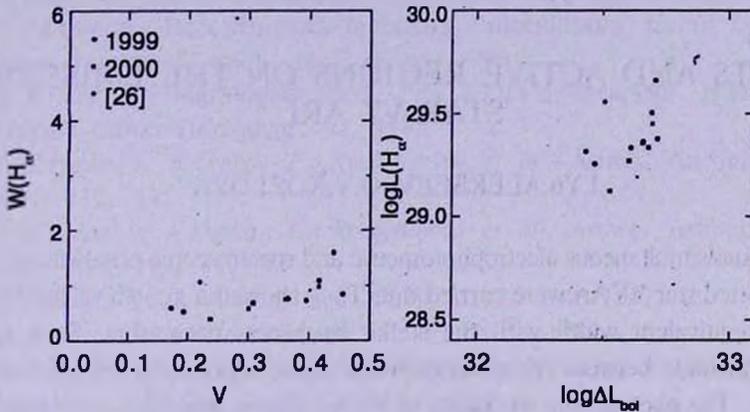


Рис.6. Зависимость эмиссии в линии H_{α} от блеска звезды.

V775 Her [28]. Полное излучение хромосферы - от 0.39 до 1.10% от болометрического дефицита энергии.

5. *Заключение.* Таким образом, проведенные нами фотометрические и спектральные наблюдения активной звезды VY Aг1 показали, что:

1. Фотометрическая переменность звезды с достаточной точностью описывается в рамках разработанной Алексеевым и Гершбергом зональной модели. Площади запятненных областей доходят до 41% полной поверхности звезды, а разность температур спокойной фотосферы и пятна составляет порядка 1300 К. Эти значения хорошо согласуются с результатами моделирования, проведенным различными авторами по фотометрическим наблюдениям [5].

2. Согласно расчетам по зональной модели, пятна на VY Aг1 локализируются в низких и средних широтах - от 6 до 54°. Найденное нами широтное распределение пятен у VY Aг1 хорошо согласуется с результатами теоретического моделирования вспышки магнитных трубок [32,33].

3. Квазиодновременные фотометрические и спектральные наблюдения VY Aг1 показали возрастание эквивалентной ширины чистой эмиссии в линии H_{α} в фазе пониженного блеска. Такое возрастание происходило за счет увеличения электронной плотности и указывает на то, что активные области на звезде концентрировались по долготе к наиболее запятненным участкам поверхности.

4. Из сопоставления результатов моделирования запятненности и

опубликованных спектральных наблюдений следует, что светимость в линии H_{α} растёт от $1.8 \cdot 10^{29}$ до $4.6 \cdot 10^{29}$ эрг/с с ростом площади запытенных областей от 8 до 40% полной поверхности звезды.

Крымская астрофизическая
обсерватория, Украина

SPOTS AND ACTIVE REGIONS ON THE EMISSION STAR VY ARI

I.Yu.ALEKSEEV, O.V.KOZLOVA

The quasisimultaneous electrophotometric and spectroscopic observations of the active spotted star VY Ari were carried out. They showed a growth of the H_{α} pure emission equivalent width with the stellar brightness decreasing. Such growth shows connection between the chromospheric active regions and the photospheric cool spots. The photometric variability of VY Ari can be described completely by a zonal spottedness model. The spotted regions occupy up to 41% of the total stellar surface and the temperature difference between the quiet photosphere and the spot is about 1300 K. Starspots are localized on middle and low latitudes.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Ю.Алексеев, Астрон. ж., 77, 784, 2000.
2. K.G.Strassmeier, D.S.Hall, F.C.Fekel, M.Scheck, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 100, 173, 1993.
3. П.Ф.Чугайнов, Изв. Крым. астрофиз. обсерв., 55, 85, 1976.
4. J.A.Eaton, C.H.Poe, Inform. Bull. Var. Stars., 2846, 1986.
5. B.W.Bopp, S.H.Saar, C.Ambruster et al., Astrophys. J., 339, 1059, 1989.
6. K.G.Strassmeier, B.W.Bopp, Astron. Astrophys., 259, 183, 1992.
7. И.Ю.Алексеев, Астрон. ж., 73, 86, 1996.
8. K.G.Strassmeier, J.Bartus, G.Cutispoto, M.Rodono, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 125, 11, 1997.
9. K.G.Strassmeier, E.Serkowitsch, Th.Granzer, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 140, 29, 1999.
10. V.Pirola, Observ. Astrophys. Lab. Univ. Helsinki Rep., 6, 151, 1984.
11. V.Pirola, in: "Polarized radiation of circumstellar origin", eds, G.V.Coyne,

- A.M.Magalhaes, A.F.J. Moffat et al., Vatican observ., 735, 1988.
12. С.Ю.Калмин, Кинемат. физ. небесн. тел., 11, No 3, 82, 1995.
 13. С.Ю.Калмин, Д.Н.Шаховской, Кинемат. физ. небесн. тел., 11, No3, 85, 1995.
 14. G.Rosselló, R.Calafat et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 59, 339, 1985.
 15. И.Ю.Алексеев, Р.Е.Гершберг, Астрофизика, 39, 67, 1996.
 16. И.Ю.Алексеев, Труды IV съезда ЕААО, М., 1998, стр.110.
 17. И.Ю.Алексеев, Изв. Крым. астрофиз. обсерв., 95, 83, 1999.
 18. K.Oláh, Z.Kolláth, K.G.Strassmeier, Astron. Astrophys., 356, 643, 2000.
 19. С.Г.Сергеев, "Переменность широких эмиссионных линий в активных ядрах галактик", канд. дисс., Киев, 1999.
 20. Н.Е.Пискунов, Магнетизм звезд, Ред. Ю.Л.Глаголевский, И.И.Романюк, Наука, Санкт-Петербург, 92, 1992.
 21. N.E.Piskunov, F.Kupka, T.A.Ryabchikova et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 112, 525, 1995.
 22. N.E.Piskunov, F.Kupka, T.A.Ryabchikova et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 138, 119, 1999.
 23. F.C.Fekel, Publ. Astron. Soc. Pacif., 109, 514, 1997.
 24. W.Herbst, J.R.Mullan, Astron. J., 97, 891, 1989.
 25. K.G.Strassmeier, F.C.Fekel, B.W.Bopp et al., Astrophys. J. Suppl. Ser., 72, 191, 1990.
 26. D.J.Montes, M.J.Fernández-Figueroa, E.De.Castro, M.Comide, Astron. Astrophys., 294, 165, 1995.
 27. L.E.Cram, D.J.Mullan, Astrophys. J., 234, 579, 1979.
 28. И.Ю.Алексеев, О.В.Козлова, Астрофизика, 43, 339, 2000.
 29. И.Ю.Алексеев, Р.Е.Гершберг, Астрон. ж., 73, 579, 1996.
 30. И.Ю.Алексеев, Р.Е.Гершберг, Астрон. ж., 74, 240, 1997.
 31. H.L.Johnson, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 4, 193, 1966.
 32. M.Schüssler, P.Caligari, A.Ferriz-Mas, S.K.Solanki, M.Stix, Astron. Astrophys., 314, 503, 1996.
 33. Th.Granzer, M.Schüssler, P.Caligari, K.G.Strassmeier, Astron. Astrophys., 355, 1087, 2000.