

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ
ЗАПЯТНЕННОЙ ЗВЕЗДЫ IN COMО. В. КОЗЛОВА¹, И. Ю. АЛЕКСЕЕВ¹, А. В. КОЖЕВНИКОВА²

Поступила 4 ноября 2016

Принята к печати 14 декабря 2016

Представлены многолетние спектральные наблюдения с высоким ($R = 20000$) разрешением запятненной звезды IN Com в областях линий H α , H β и He I 5876 Å. Отличительной особенностью спектра звезды является присутствие в линии H α протяженной 2-х компонентной эмиссии, границы которой могут достигать значений ± 400 км/с. Параметры эмиссии показывают как переменность, обусловленную вращательной модуляцией с периодом вращения звезды, так и масштабную переменность на многолетней временной шкале. Аналогичная эмиссия наблюдается также в линиях H β и He I 5876 Å. Полученные результаты показывают, что наблюдаемые эмиссионные профили формируются в оптически тонком горячем газе, образующем вокруг IN Com околосветельный диск, размеры которого не превышают нескольких звездных радиусов. Вещество для диска поставляется звездным ветром. Обнаруженная переменность параметров эмиссии H α показывает тесную связь с фотополариметрической активностью звезды, что позволяет нам связать многолетнюю спектральную переменность с циклами активности IN Com.

Ключевые слова: *Запятненные звезды; спектральная активность; звездный ветер*

1. *Введение.* IN Com - известная запятненная звезда, образующая широкую (с периодом больше пяти лет) пару с белым карликом - центром планетарной туманности LoTr5 [1]. Хотя в литературе переменную относят к типу RS CVn, явных признаков двойственности яркой компоненты не обнаружено [2]. У IN Com отмечается вращательная модуляция блеска с периодом 5.9 сут. и медленные вариации кривой блеска от сезона к сезону, связанные с изменениями конфигурации покрывающих звезду пятен. Величина полного фотометрического эффекта доходит до $0^m.21$ и показывает цикличность с характерным временем около 21 года [3]. В течение цикла изменяются площади пятен, их средняя широта и положение активных долгот относительно нулевого меридиана [4]. Основные параметры IN Com приведены в табл. 1.

Не отличаясь по фотометрическим свойствам от других переменных типа RS CVn, звезда показывает нетипичную для хромосферно-активных звезд сильную двухкомпонентную эмиссию в линии H α [2,5]. Яснiewicz и др. [5], обсуждая механизмы образования эмиссии, отвергли вклад излучения самой туманности, а также аккреции на белый карлик. Козлова и Алексеев [6] впервые получили длительные ряды спектральных наблюдений IN Com в

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ IN Com

$r = 400 - 800$ пк	[5]
$S_p = G5III/IV$	[2]
$T_{\text{эф}} = 5150 - 5300$ К	[2,5]
$\log(g) = 2.5 - 3.0$ км/с ²	[2,5]
$i = 45^\circ$	[2]
$P_{\text{в}} = 5^d.913$	[2]
$L = 40 L_{\odot}$	[5]
$R = 7.8 - 1.5 R_{\odot}$	[2]
$V \sin i = 67$ км/с	[2,5]

области $\text{H}\alpha$ и показали, что наиболее вероятным источником эмиссии является оптически тонкий околосветный горячий газовый диск, подпитываемый звездным ветром.

В настоящей работе мы продолжаем рассмотрение проводящихся нами с 2004г. квазисовремененно с фотометрией спектральных наблюдений в области $\text{H}\alpha$ и впервые представляем регулярные наблюдения звезды в областях линий $\text{H}\beta$ и $\text{He I } 5876 \text{ \AA}$.

2. *Наблюдения.* Все спектральные наблюдения выполнены в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) в период с 2004 по 2014гг. на 2.6-м телескопе КрАО (ЗТШ) с помощью спектрографов куде (2004-2013) и эшелле (2014), оснащенных ПЗС-камерой. Спектральное разрешение составило около 0.3 \AA .

Всего было получено 67 спектров в области эмиссионной линии $\text{H}\alpha$, 13 спектров в области линий Na I D и 12 спектров в области $\text{H}\beta$. Данные о спектрах приведены в табл.2.

Таблица 2

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ IN Com

Дата	HJD 2450000+	Фаза	m_v mag	Область	Эксп. мин.	S/N
1	2	3	4	5	6	7
31.01.2004	3036.628	0.3530	8.96	$\text{H}\alpha$ (6528-6590 \AA)	30	65
22.02.2004	3058.475	0.0343	8.95	$\text{H}\alpha$ (6528-6590 \AA)	45	105
07.03.2004	3072.486	0.3951	8.97	$\text{H}\alpha$ (6528-6590 \AA)	150	75
12.03.2004	3077.428	0.2276	8.94	$\text{H}\alpha$ (6528-6590 \AA)	30	50
28.05.2004	3154.291	0.1793	8.94	$\text{H}\alpha$ (6528-6590 \AA)	90	50
21.02.2005	3423.535	0.5466	-	$\text{H}\alpha$ (6549-6578 \AA)	30	40
17.03.2005	3447.355	0.5603	-	$\text{H}\alpha$ (6549-6578 \AA)	30	70
14.04.2005	3475.253	0.2612	-	$\text{H}\alpha$ (6549-6578 \AA)	30	60
20.04.2005	3481.244	0.2706	-	$\text{H}\alpha$ (6549-6578 \AA)	30	50

Таблица 2 (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
02.05.2005	3493.250	0.2936	-	H α (6549-6578 Å)	30	70
25.03.2006	3820.368	0.4127	8.99	H α (6545-6579 Å)	45	40
26.03.2006	3821.363	0.5805	9.02	H α (6545-6579 Å)	90	80
18.04.2006	3844.337	0.4516	9.00	H α (6545-6579 Å)	90	50
21.04.2006	3847.434	0.9734	8.96	H α (6545-6579 Å)	60	40
23.04.2006	3849.276	0.2878	8.98	H α (6545-6579 Å)	60	30
15.05.2006	3871.341	0.0018	8.97	H α (6545-6579 Å)	90	50
25.01.2010	5222.507	0.6723	8.88	H α (6531-6597 Å)	120	80
13.02.2010	5241.487	0.8704	8.95	H α (6531-6597 Å)	30	40
22.02.2010	5250.427	0.3765	8.92	H α (6531-6597 Å)	120	100
19.03.2010	5275.363	0.5785	8.87	H α (6531-6597 Å)	120	150
20.03.2010	5276.358	0.7463	8.91	H α (6531-6597 Å)	120	80
23.03.2010	5279.368	0.2534	8.95	H α (6531-6597 Å)	120	100
24.03.2010	5280.381	0.4241	8.90	H α (6531-6597 Å)	120	100
25.03.2010	5281.369	0.5905	8.87	H α (6531-6597 Å)	120	90
18.04.2010	5305.312	0.6249	8.87	H α (6531-6597 Å)	150	105
23.04.2010	5310.304	0.4661	8.89	H α (6531-6597 Å)	90	95
	5310.390	0.4806	8.88	H β (4836-4903 Å)	90	50
06.05.2010	5323.264	0.6498	8.88	H α (6531-6597 Å)	60	105
	5323.338	0.6624	8.88	H β (4836-4903 Å)	120	50
12.03.2011	5633.377	0.9037	8.89	H α (6528-6595 Å)	120	120
13.03.2011	5634.408	0.0774	8.88	H α (6528-6595 Å)	120	160
25.03.2011	5646.426	0.1025	8.89	H α (6528-6595 Å)	180	80
26.03.2011	5647.428	0.2712	8.91	H α (6528-6595 Å)	240	90
28.03.2011	5649.431	0.6088	8.93	H α (6528-6595 Å)	240	110
20.04.2011	5672.316	0.4650	8.94	H α (6528-6595 Å)	115	100
10.05.2011	5692.336	0.8382	8.89	H α (6528-6595 Å)	240	110
25.05.2011	5707.337	0.3658	8.93	H α (6528-6595 Å)	60	120
04.04.2012	6022.439	0.4604	8.87	H α (6528-6590 Å)	180	95
05.04.2012	6023.431	0.6276	8.93	H α (6528-6590 Å)	120	70
06.05.2012	6054.334	0.8346	8.93	H α (6528-6590 Å)	120	90
07.05.2012	6055.281	0.9942	8.93	H α (6528-6590 Å)	130	110
08.05.2012	6056.270	0.1608	8.94	H α (6528-6590 Å)	160	90
10.05.2012	6058.272	0.4983	8.88	H α (6528-6590 Å)	130	130
11.05.2012	6059.328	0.6762	8.94	H α (6528-6590 Å)	220	100
02.01.2013	6295.606	0.4888	8.85	H α (6529-6597 Å)	150	75
27.02.2013	6351.527	0.9114	8.90	H α (6529-6597 Å)	150	90
06.03.2013	6358.479	0.0815	8.90	H α (6529-6597 Å)	360	125
20.03.2013	6372.519	0.4487	8.87	H α (6529-6597 Å)	210	130
29.03.2013	6381.429	0.9499	8.90	H α (6529-6597 Å)	270	85
26.04.2013	6409.320	0.6495	8.85	H α (6529-6597 Å)	120	100
27.04.2013	6410.320	0.8182	8.89	H α (6529-6597 Å)	90	105
	6410.406	0.8325	8.89	Na I D (5848-5915 Å)	150	120
05.05.2013	6418.285	0.1601	8.90	H α (6529-6597 Å)	120	95
	6418.390	0.1780	8.90	Na I D (5848-5915 Å)	180	100
06.05.2013	6419.306	0.3323	8.90	H α (6529-6597 Å)	120	95
	6419.391	0.3465	8.90	Na I D (5848-5915 Å)	120	100

Таблица 2 (Окончание)

1	2	3	4	5	6	7
07.05.2013	6420.353	0.5087	8.84	H α (6529-6597 Å)	330	120
11.02.2014	6700.488	0.7113	8.88	H α (6541-6582 Å)	90	75
	6700.585	0.7275	8.88	H β (4850-4881 Å)	90	65
	6700.585	0.7275	8.88	Na I D (5868-5905 Å)	90	90
13.02.2014	6702.395	0.0326	8.86	H α (6541-6582 Å)	90	110
	6702.491	0.0487	8.86	H β (4850-4881 Å)	150	135
	6702.491	0.0487	8.86	Na I D (5868-5905 Å)	150	150
19.02.2014	6708.443	0.0516	8.86	H α (6541-6582 Å)	120	80
	6708.551	0.0699	8.86	H β (4850-4881 Å)	180	95
	6708.551	0.0699	8.86	Na I D (5868-5905 Å)	180	140
14.03.2014	6731.496	0.9360	8.85	H α (6541-6582 Å)	240	120
15.03.2014	6732.432	0.0938	8.87	H α (6541-6582 Å)	120	105
	6732.540	0.1119	8.87	H β (4850-4881 Å)	120	70
	6732.540	0.1119	8.87	Na I D (5868-5905 Å)	120	110
18.03.2014	6735.429	0.5987	8.88	H α (6541-6582 Å)	120	160
	6735.520	0.6142	8.88	H β (4850-4881 Å)	150	140
	6735.520	0.6142	8.88	Na I D (5868-5905 Å)	150	200
24.03.2014	6741.381	0.6017	8.88	H α (6541-6582 Å)	150	90
	6741.495	0.6209	8.88	H β (4850-4881 Å)	120	65
	6741.495	0.6209	8.88	Na I D (5868-5905 Å)	120	80
07.04.2014	6755.384	0.9612	8.86	H α (6541-6582 Å)	90	110
	6755.451	0.9725	8.86	H β (4850-4881 Å)	90	90
	6755.451	0.9725	8.86	Na I D (5868-5905 Å)	90	110
14.04.2014	6762.288	0.1242	8.87	H α (6541-6582 Å)	90	110
	6762.415	0.1459	8.88	H β (4850-4881 Å)	150	110
	6762.415	0.1459	8.88	Na I D (5868-5905 Å)	150	150
08.05.2014	6786.277	0.1665	8.88	H α (6541-6582 Å)	120	90
10.05.2014	6788.363	0.5181	8.89	H α (6541-6582 Å)	150	95
16.05.2014	6794.293	0.5174	8.89	H α (6541-6582 Å)	60	80
	6794.365	0.5294	8.89	H β (4850-4881 Å)	90	50
	6794.365	0.5294	8.89	Na I D (5868-5905 Å)	90	70
17.05.2014	6795.295	0.6861	8.88	H α (6541-6582 Å)	90	110
	6795.365	0.6979	8.88	H β (4850-4881 Å)	120	70
	6795.365	0.6979	8.88	Na I D (5868-5905 Å)	120	100
07.06.2014	6816.311	0.2273	8.88	H α (6541-6582 Å)	90	60
08.06.2014	6817.323	0.3978	8.87	H α (6541-6582 Å)	90	95

Получаемые спектры сравнивались с синтетическими спектрами звездной фотосферы, рассчитанными с помощью программы SYNTH Пискунова [7] и Венской базы атомных линий VALD [8,9]. При расчете были приняты следующие параметры атмосферы, взятые из работы Штрассмайера и др. [2]: $T_{\text{eff}} = 5250$ K, $\log(g) = 2.5$ км/с², $V \sin i = 76$ км/с. Результирующая ошибка определения параметров не превышает 0.1 Å для эквивалентной ширины EW(H α) (относительная ошибка не более 0.01-0.02), 0.02 для пиковой

интенсивности линии I и 5 км/с для значений лучевых скоростей. Полученные данные были приведены к барицентру Солнца.

Квазиодновременно со спектрами на телескопе АЗТ-11 КрАО проводились фотометрические наблюдения IN Com с помощью *UBVRI* фотометра-поляриметра. Средняя ошибка определения блеска звезды в полосе *V* составила $0^m.01$.

3. Результаты.

3.1. *Линия Na*. Все наблюдаемые профили эмиссионной линии Na для IN Com в 2004-2014гг. приведены на рис.1. Мы видим здесь широкую 2-х компонентную эмиссию, границы которой могут достигать значений $\pm 400 \text{ км/с}$. Соотношение интенсивностей эмиссионных компонентов $I_{\text{blue}}/I_{\text{red}}$ обычно составляет около единицы, хотя в 2004-2005гг. синий компонент существенно ниже красного, а в 2013-2014гг. - слегка превышает. Ширина центральной абсорбции составляет около 100 км/с , лучевые скорости

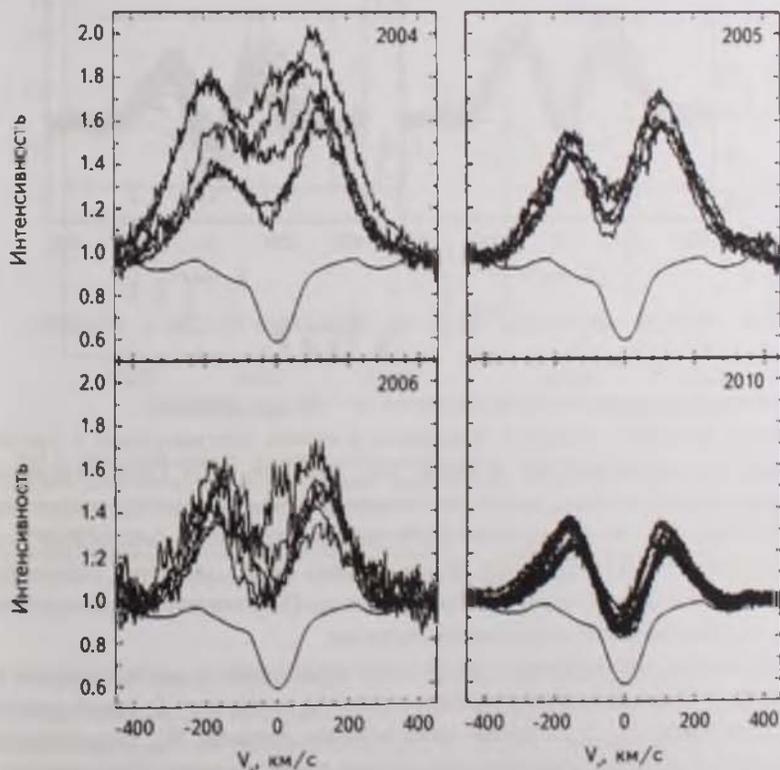


Рис.1а. Профили эмиссионных линий Na переменной IN Com в 2004-2010гг. Толстая линия - синтетический спектр фотосферы для модели $T_{\text{eff}} = 5250 \text{ K}$, $\log(g) = 2.5 \text{ км/с}^2$, $V \sin i = 76 \text{ км/с}$ [2].

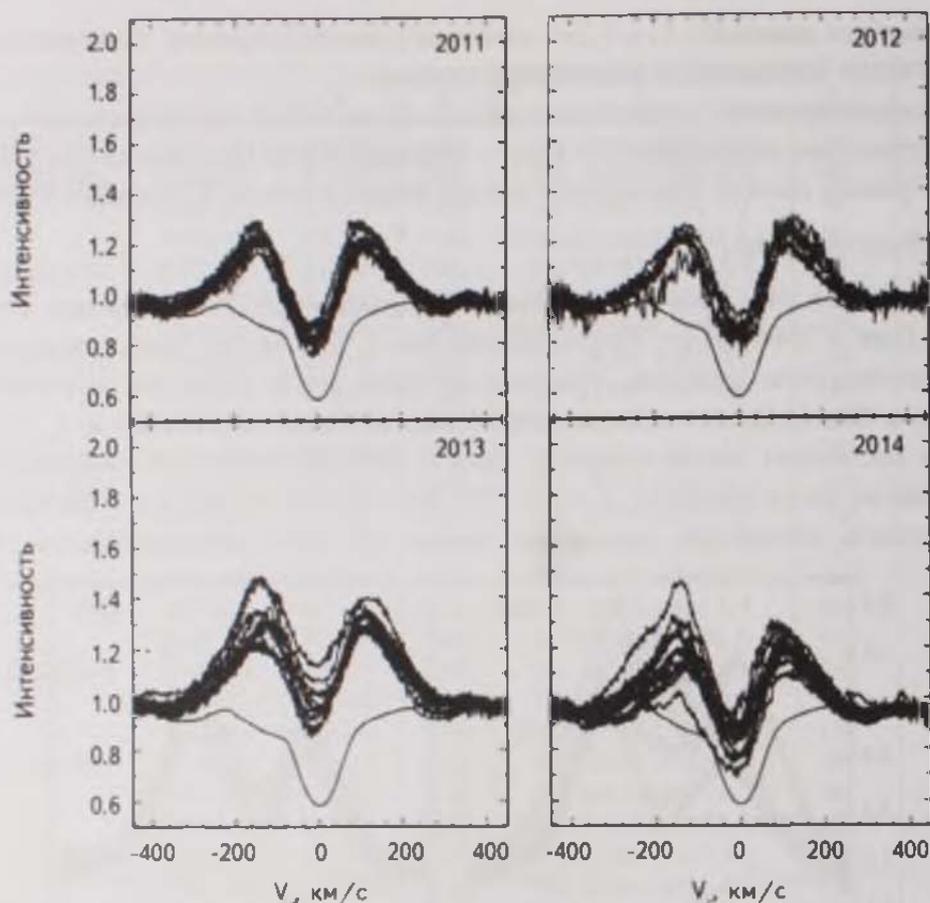


Рис. 1b. Профили эмиссионных линий $H\alpha$ переменной IN Com в 2011-2014 гг.

эмиссионных компонентов изменяются от ~ 90 до ~ 200 км/с.

Такой характер профилей находится в явном противоречии с предположением о хромосферной природе $H\alpha$ эмиссии у IN Com. Например, границы эмиссионных крыльев для типичных хромосферно-активных звезд гораздо меньше и не превышают ± 200 км/с, а центральная абсорбция узкая и неглубокая [10-13]. В то же время именно такие значения параметров линии $H\alpha$, согласно, например, Козловой и др. [14], характерны для молодых звезд, окруженных околозвездными дисками.

Для анализа наблюдаемой спектральной переменности мы рассмотрели ряд параметров линии $H\alpha$: интенсивности синего I_{blue} и красного I_{red} пиков эмиссии и их отношение I_{blue}/I_{red} , ширина эмиссионного профиля W_{em} (выраженная в километрах в секунду), эквивалентная ширина чистой эмиссии EW (выраженная в ангстремах), светимость чистой эмиссии в линии $H\alpha$, нормированная на уровень излучения континуума $L(H\alpha)$, а также лучевые скорости синего $V(I_{blue})$

и красного (I_{red}) эмиссионных компонентов, крыльев эмиссионных линий V_{blue} и V_{red} и центральной абсорбции V_{abs} . Кроме того, мы рассматриваем значения блеска переменной m_v . Эти величины сопоставлены с юлианской датой, блеском звезды и фазой осевого вращения звезды (рис.2-4).

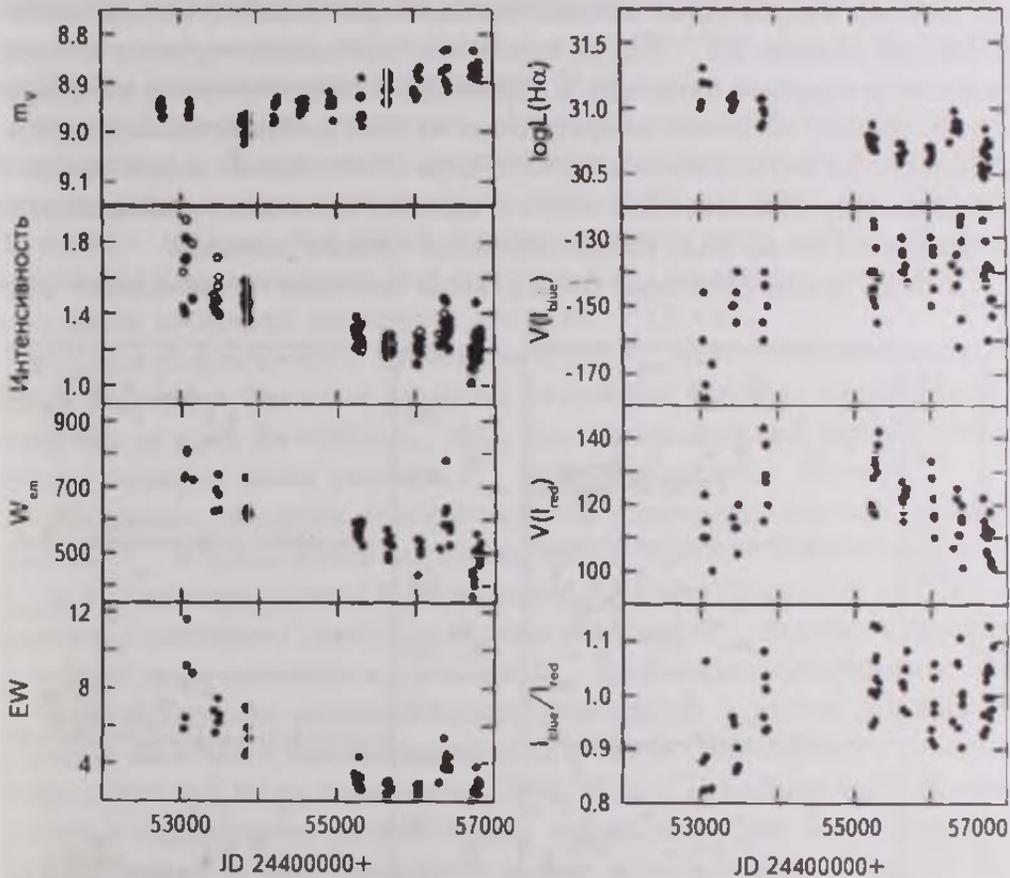


Рис.2. Долговременная переменность параметров звезды IN Com. Зависимость от юлианской даты блеска звезды m_v , а также характеристик линии $H\alpha$: интенсивности синего I_{blue} (точки) и красного I_{red} (открытые кружки) пиков эмиссии, ширина эмиссионного профиля W_{em} (выраженная в км/с), эквивалентная ширина чистой эмиссии EW (выраженная в ангстремах), светимость чистой эмиссии в линии $H\alpha$, нормированная на уровень излучения континуума $L(H\alpha)$, выраженная в эрг/с, лучевые скорости синего $V(I_{blue})$ и красного $V(I_{red})$ эмиссионных компонентов, отношение интенсивностей I_{blue}/I_{red} .

Изменение параметров линии $H\alpha$ с юлианской датой приведено на рис.2. Для сравнения сверху показано изменение блеска звезды в полосе V. Волна, которую описывает на рисунке величина m_v , является результатом 21-летнего цикла активности [3]. Максимум цикла активности приходится примерно на 2000-2005гг., когда запытенность звезды в это время была наибольшей и составляла около 20% от общей площади фотосферы. Таким образом, 2004г. -

начало спектрального мониторинга звезды - приходится непосредственно на максимум ее пятенной активности.

Из рисунка хорошо видно, что параметры эмиссии в значительной мере отражают ход фотометрической переменности. В слабом состоянии блеска наблюдались максимальные значения эквивалентной ширины, интенсивности и ширины эмиссии $\text{H}\alpha$. Тогда же отмечались наибольшие значения лучевой скорости центральной абсорбции. В газовом диске такое положение абсорбции служит прямым указанием на присутствие на луче зрения истекающего газа. Свидетельства интенсивного звездного ветра в этот момент можно найти и в соотношении интенсивностей синего и красного эмиссионных компонентов, которое в это время было преимущественно меньше единицы.

В более ярком состоянии блеска, когда наступает минимальная фаза

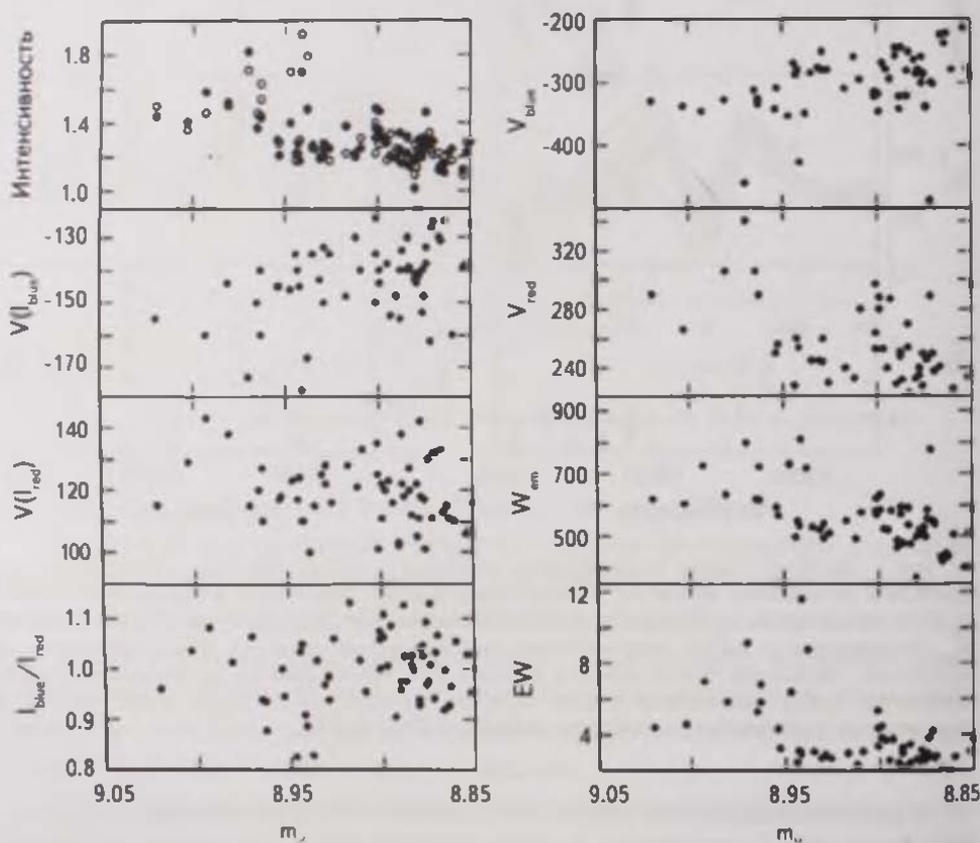


Рис. 3. Зависимость параметров линии $\text{H}\alpha$ от блеска звезды m_v . Интенсивности синего I_{blue} (точки) и красного I_{red} (открытые кружки) пиков эмиссии, их лучевые скорости $V(I_{blue})$ и $V(I_{red})$ и отношения интенсивностей I_{blue}/I_{red} , лучевые скорости крыльев эмиссионных линий V_{blue} и V_{red} , ширина эмиссионного профиля W_{em} (выраженная в км/с) и эквивалентная ширина чистой эмиссии в линии $\text{H}\alpha$ EW (выраженная в ангстремах).

цикла активности (2010-2014), мы видим совершенно противоположную картину - минимальные значения интенсивности, ширины эмиссии W_{em} , эквивалентной ширины $EW(H\alpha)$ и светимости чистой эмиссии $L(H\alpha)$. Интенсивности синего I_{blue} и красного I_{red} эмиссионных компонентов почти равны, что более характерно не для ветра, а для вращающегося газового диска. Сходная картина наблюдается и в январе 1996г. [2], когда звезда находилась в довольно ярком состоянии [3,15].

На рис.3 мы видим изменения параметров эмиссии в зависимости от блеска звезды m_v . В максимуме цикла активности (минимум блеска) лучевая скорость пика синего эмиссионного компонента достигает наибольших значений: - 180 км/с. Это явный признак звездного ветра. Однако по мере увеличения блеска значения этой скорости $V(I_{blue})$ постепенно уменьшаются и во время минимума активности достигают - 125 км/с.

Лучевая скорость синей границы эмиссии V_{blue} ведет себя аналогично. В ярком состоянии блеска ее величина показывает быструю переменность, колеблясь от - 160 до - 340 км/с, тогда как в максимуме активности (2004г.) лучевая скорость синей границы V_{blue} может превышать - 400 км/с.

Интересное поведение можно отметить и в изменении красной границы эмиссии V_{red} . В ярком состоянии блеска модули значений лучевых скоростей V_{blue} и V_{red} примерно равны (V_{red} изменяется от 195 до 225 км/с). В минимуме блеска мы наблюдаем резкое увеличение величины V_{red} , которое, в отличие от плавно увеличивающихся значений V_{blue} , происходит скачкообразно.

Такие изменения довольно просто объясняются в рамках перехода от ветровой оболочки в максимуме цикла активности (2004-2005гг.) к вращающемуся газовому диску в минимуме (2010-2013гг.). Поскольку часть газовой оболочки экранируется диском звезды, мы не видим газ, расположенный непосредственно за ним. В результате та часть ветра, которая удаляется от нас, не вносит свой вклад в эмиссионный профиль $H\alpha$. Однако при самых слабых значениях блеска, когда ветровая активность максимальна, диск звезды уже не может полностью экранировать движущийся от нас газ. Зная ориентацию звезды по отношению к наблюдателю (см. табл.1), легко можно оценить, что внешняя граница диска в этот момент превышает два звездных радиуса.

На рис.4а, б, с показано изменение параметров эмиссионного профиля $H\alpha$ в зависимости от фазы, свернутой с эфемеридой [2]:

$$JD = 2454444.0 + 5^d.93474E.$$

Из рисунка следует, что в 2004-2006гг. изменения параметров линии $H\alpha$ не коррелированы с осевым вращением звезды. Однако в 2010-2014гг. отчетливо просматривается вращательная модуляция таких параметров, как эквивалентная ширина чистой эмиссии EW , лучевые скорости синего $V(I_{blue})$ и красного

$V(I_{red})$ эмиссионных компонентов, отношения интенсивностей I_{blue}/I_{red} и лучевая скорость красного крыла эмиссионной линии V_{red} (максимальной глубины

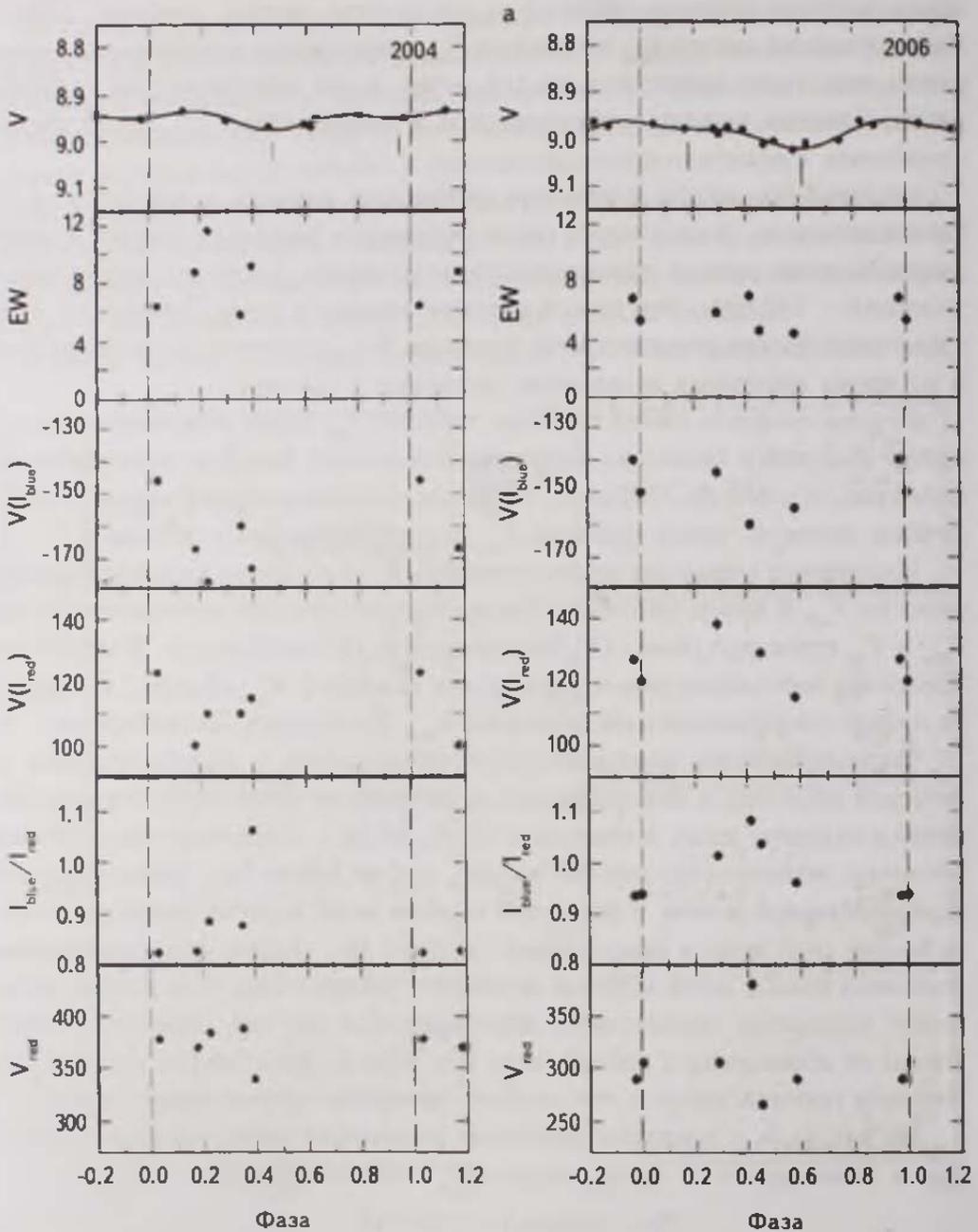


Рис.4. Зависимость от фазы осевого вращения звезды параметров линии Na : эквивалентной ширины чистой эмиссии EW, лучевых скоростей синего $V(I_{blue})$ и красного $V(I_{red})$ эмиссионных компонентов, отношения интенсивностей I_{blue}/I_{red} и лучевой скорости красного крыла эмиссионной линии V_{red} совмещенная с кривой блеска звезды. а. Наблюдения 2004 и 2006гг. б. Наблюдения 2010 и 2011гг. с. Наблюдения 2012 и 2013гг.

абсорбции V_{abs}). Мы склонны считать такие изменения параметров эмиссии на следствием наличия в диске газовых неоднородностей. Подобные образования могут возникать над областями пятен, где открытые линии локальных магнитных полей, продолжающиеся в диск, будут формировать

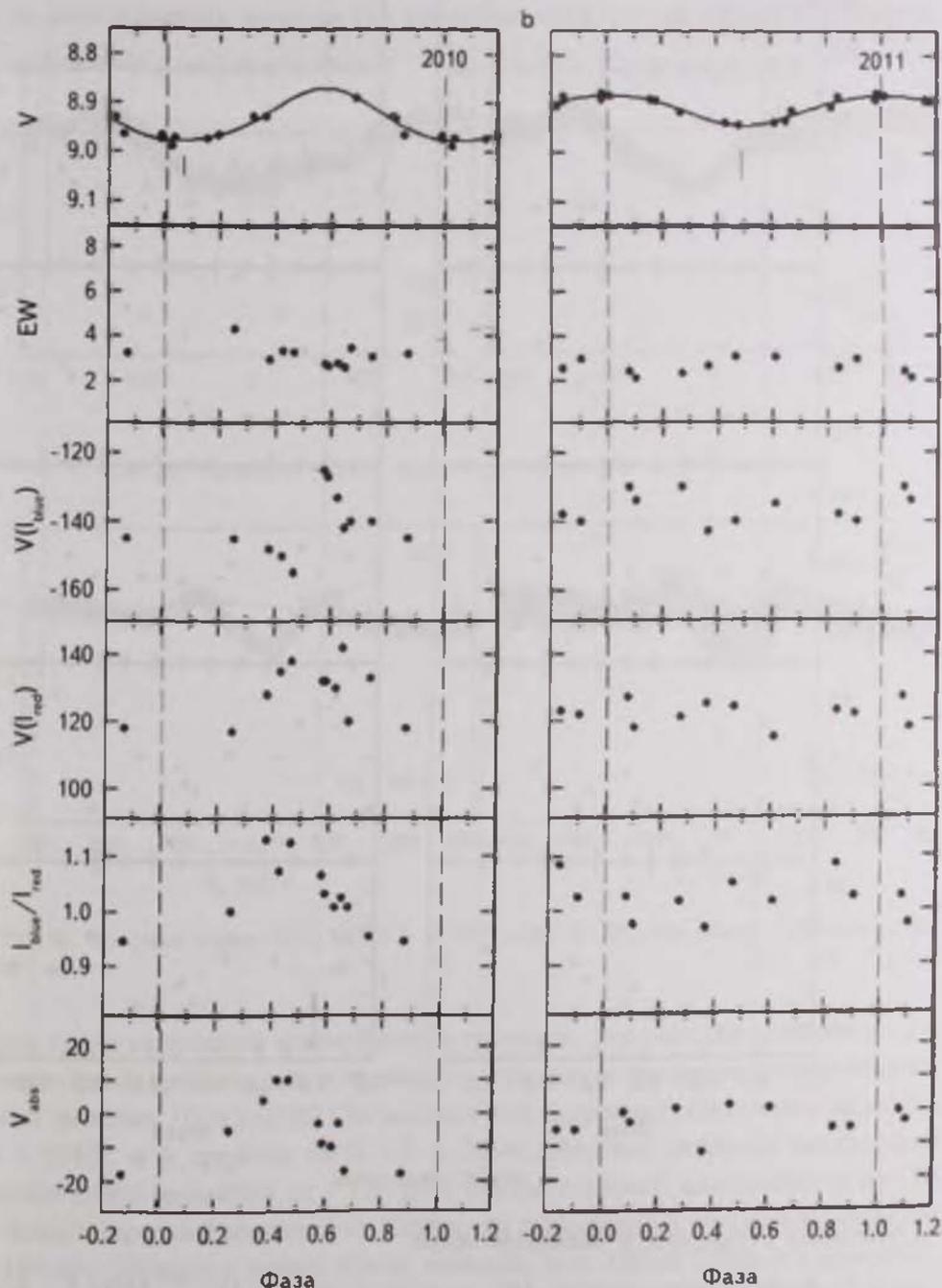


Рис.4. Продолжение.

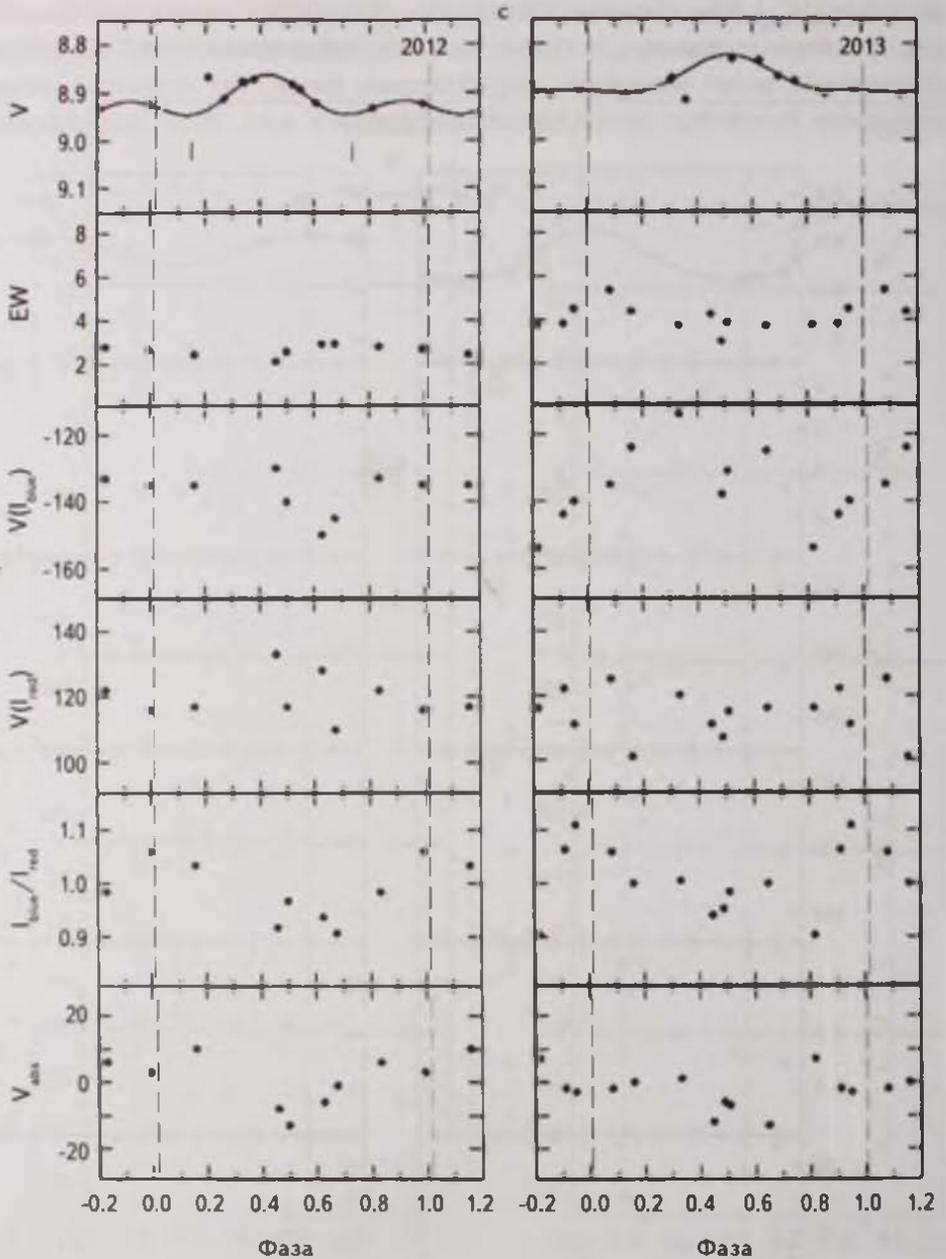


Рис.4. Окончание.

устойчивые структуры в звездном ветре.

3.2. Водородная линия H β и линия гелия He I 5876 Å. За все время наблюдений мы получили два спектра IN Com в области линии H β в

2010г. и 10 спектров в 2014г. В линии гелия He I 5876 Å было получено 3 спектра в 2013г. и 10 в 2014г. Наблюдения звезды в линии H β были получены нами впервые, а в линии He I 5876 Å Штрассмайером и др. [2] был опубликован единственный спектр. Профили линий приведены на рис.5а, б. Как видно из рис.5а, интенсивность эмиссии H β настолько мала, что она становится заметна

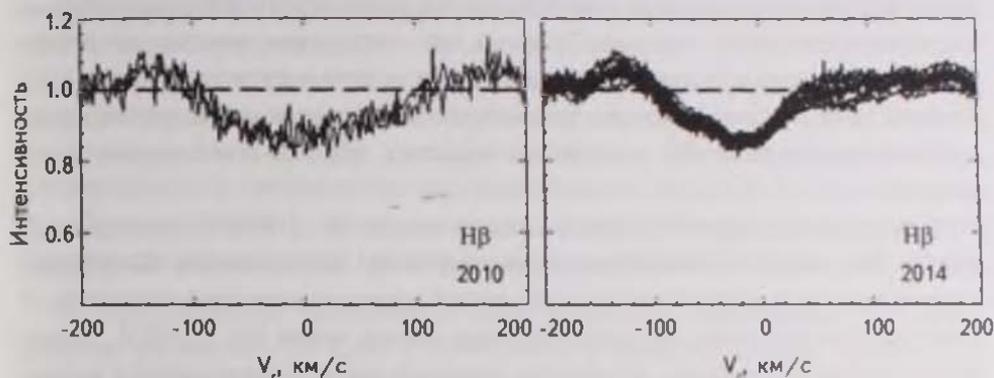


Рис.5а. Профили чистой эмиссии в линии H β в 2010 и 2014гг.

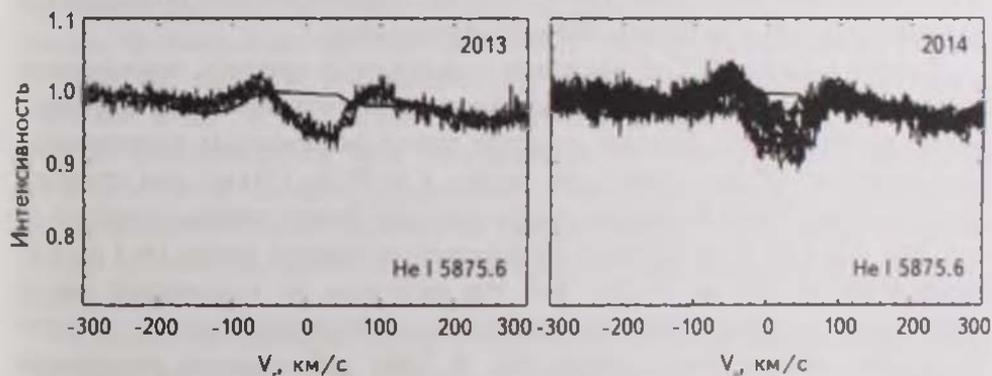


Рис.5б. Профили линии He I 5875.6 Å в 2013 и 2014гг. Толстая линия - синтетический спектр.

только после вычитания фотосферного профиля. Эта эмиссия тоже имеет 2-х компонентный профиль, как и линия H α , причем соотношение интенсивностей чистой эмиссии $I(\text{H}\alpha)/I(\text{H}\beta)$ (бальмеровский декремент) составляет около 4.5 : 1.0 в 2010г. и в среднем (2-5) : 1.0 в 2014г. Лучевые скорости максимумов эмиссии слабо меняются от - 120 до - 140 км/с (синий компонент) и от 170 до 180 км/с (красный компонент), а скорости эмиссионных крыльев изменяются от -150 до - 210 км/с у синего крыла эмиссии, и от 180 до 220 км/с у красного. Все параметры линии H β не показывают явной вращательной модуляции. Наблюдается корреляция скоростей эмиссионных пиков $I(I_{\text{H}\beta})$ ($r=0.82 \pm 0.09$),

их высоты I_{blue} ($r=0.60 \pm 0.18$) и отношений высот I_{blue}/I_{red} ($r=0.65 \pm 0.17$) в полосах H α и H β .

К сожалению, у нас нет данных по другим бальмеровским линиям, однако результат по линиям H α и H β можно рассматривать как косвенный аргумент в пользу относительно низкой плотности газа в диске. Следует также заметить, что величина наблюдаемого бальмеровского декремента близка к его теоретическому значению в средах, где ионизация происходит за счет электронных ударов, космических частиц или рентгеновского излучения [16]. Газовый диск IN Com, вещество для которого поставляется напрямую звездным ветром, формирующимся в активных областях, хорошо вписывается в эти условия.

Примеры спектров IN Com в области линии He I 5876 Å показаны на рис.5b. Мы видим в линии достаточно глубокую центральную абсорбцию, сопровождаемую для некоторых дат слабой двухкомпонентной эмиссией. У большинства активных звезд/присутствие линии гелия He I 5876 Å, нехарактерной для фотосферы, отмечается довольно часто и связывается с хромосферными эффектами (см., например, [17]). При этом линия наблюдается или в абсорбции, или в виде узкой эмиссии, ширина которой определяется кинематикой газа в активных областях хромосферы.

Однако в случае IN Com мы имеем в линии гелия профиль, аналогичный профилю линии H α (рис.5b). Это указывает на то, что местом его формирования является диск. Лучевые скорости пиков эмиссионных компонентов составляют от - 45 до - 60 км/с для синего, и от 80 до 110 км/с для красного пика эмиссии. Синее и красное крылья эмиссии имеют лучевые скорости от - 65 до - 120 и от 90 до 120 км/с. Эквивалентная ширина линии He I 5876 Å изменяется от 0.01 до 0.17 Å. Все эти величины не показывают явной зависимости от фазы осевого вращения звезды. Величины эмиссии в линии гелия еще меньше, чем в линии H β . В 2014г. наблюдаются корреляции таких величин He I 5876 Å и H α , как интенсивность I_{blue} , ($r=0.52 \pm 0.20$) и лучевая скорость красного пика эмиссии $V(I_{red})$ ($r=0.70 \pm 0.15$), крыльев эмиссии V_{blue} ($r=0.58 \pm 0.18$) и V_{red} ($r=-0.64 \pm 0.17$) и отношение интенсивностей I_{blue}/I_{red} ($r=0.43 \pm 0.22$).

В линиях H β и He I 5876 Å наблюдается корреляция между эквивалентными ширинами эмиссий EW ($r=0.51 \pm 0.23$), их пиковыми интенсивностями ($r=0.72 \pm 0.15$ для синего и $r=-0.46 \pm 0.22$ для красного компонента), и отношением пиковых интенсивностей ($r=0.71 \pm 0.16$). Полученные нами изменения лучевых скоростей не противоречат гипотезе твердотельно вращающегося диска [6]. Так, самые глубокие области, непосредственно примыкающие к звезде, и наблюдаемые в линии He I 5876 Å [18], вращаются медленнее промежуточных областей, видимых в линии H β , в то время как

внешние области диска, наблюдаемые в линии $H\alpha$, вращаются быстрее всего. Диск при этом будет горячим и оптически тонким. С другой стороны, плохие корреляции эквивалентных ширин линий, их пиковых интенсивностей и лучевых скоростей указывают на нарушение вмороженности магнитного поля пятен, и, соответственно, твердотельности вращения околозвездного диска.

Как было отмечено выше, в максимуме активности размер ветровой оболочки должен превышать два звездных радиуса. Размер же газового диска, наблюдаемого в минимуме цикла активности, оценить сложнее. Для этого нужно знать кинематические условия в околозвездном газе. Согласно Козловой и Алексеу [6], околозвездный диск IN Com не может быть кеплеровским. В приближении же твердотельного вращения внешняя граница R_{disk} будет составлять около полутора радиусов звезды, в то время как внутренняя граница диска примыкает непосредственно к поверхности звезды.

4. *Обсуждение.* Полученные нами результаты показывают, что спектральная активность IN Com в 2004–2014гг. в среднем хорошо коррелирует с фотометрической переменностью звезды, являющейся результатом многолетнего цикла активности. Этот факт позволяет предположить, что именно изменение фактора заполнения локальных магнитных полей на поверхности звезды, происходящее на временной шкале с характерным временем около 21 года [3], является тем физическим механизмом, который регулирует звездный ветер, и, как результат, поступление газа в оптически тонкий горячий околозвездный диск, окружающий IN Com. Прямые измерения магнитного поля для быстровращающихся звезд невозможны, а характерные для запятненных G-звезд значения его напряженности (1–2кГс) не противоречат нашим косвенным оценкам, полученным из широкополосной линейной поляризации [3].

В максимуме цикла активности (2004–2005) интенсивный звездный ветер "надувает" околозвездную газовую оболочку вокруг звезды и ее размеры увеличиваются. На это указывает рост лучевой скорости V_{red} - ветер, дующий в сторону от нас, уже не экранируется диском звезды и дает вклад в красный компонент эмиссии. В минимуме же активности, когда площади пятен минимальны, звездный ветер практически отсутствует, и мы видим только остатки бывшей ветровой оболочки - вращающийся газовый диск.

Однако из рис.2 видно, что в 2013г. параметры эмиссии в линии $H\alpha$ (EW , W_{em} , V_{red} , V_{blue}) показали рост своих значений, тогда как блеск звезды продолжал увеличиваться, а площадь запятненных областей, соответственно, уменьшалась [3,4]. Если именно локальные магнитные поля ответственны за усиление ветра и рост околозвездной газовой оболочки, поведение параметров эмиссии в 2013г. оказывается непонятным.

Возможно, что причина таких изменений - влияние белого карлика - центра планетарной туманности. Если долгопериодическая (период больше 5 лет) орбита IN Com сильно отличается от круговой, то при прохождении периастра белый карлик мог бы забирать часть газа из ветровой оболочки, аккрецируя ее на себя. Затем ветер снова наполняет околосветный диск газом, и мы видим рост параметров эмиссии $H\alpha$. Несомненная корреляция с циклом активности в рамках этой гипотезы может получить простое объяснение. Действительно, такие циклы в двойных системах часто "подстраиваются" под орбитальный период, и мы знаем много таких примеров для классических и короткопериодических систем типа RS CVn.

С другой стороны, неясно и присутствие близкого вторичного компонента с периодом около 2 сут. - данные по лучевым скоростям, полученные Штрассмаером [2] и нами, противоречат более ранним результатам [19-21]. В сочетании с активностью в линии $H\alpha$, это позволяет уточнить эволюционный статус переменной и утверждать, что IN Com - не классическая система типа RS CVn, а куда более проэволюционировавшая звезда типа FK Com [19,22].

К сожалению, сегодня мы не можем ответить на вопрос, существует ли у IN Com вторичный компонент с таким орбитальным периодом. Он много раз поднимался другими исследователями, но вопрос остается открытым. Таким образом только новые наблюдения могут внести ясность в этот вопрос.

5. Заключение. Результаты наших наблюдений в линиях $H\alpha$, $H\beta$ и $He I 5876 \text{ \AA}$ убедительно показывают, что именно звездный ветер является тем физическим механизмом, который поставляет газ в ближайшую окрестность IN Com, формируя вокруг нее оптически тонкий горячий газовый диск. Образующиеся в нем эмиссионные линии определяются физическими условиями в диске, которые, как мы уже показали, меняются на многолетней временной шкале. Одной из причин столь интенсивного звездного ветра являются, несомненно, локальные магнитные поля. Их изменение со временем определяется циклом активности звезды и непосредственно влияет на ее запятненность на многолетней временной шкале. Вторая причина, по-видимому, связана с быстрым вращением IN Com ($V_{\text{rot}} \approx 95 \text{ км/с}$), в то время как критическая скорость вращения звезды составляет $V_{\text{crit}} \approx 140 \text{ км/с}$, [2]. Поскольку больше ни одна из известных хромосферно-активных звезд не показывает таких необычных свойств, нельзя исключить того, что обе причины связаны друг с другом и столь бурная магнитная активность усиливается аномальным вращением звезды.

В результате мы имеем феномен, аналогичный наблюдаемому у Ве-звезд. Как известно, для объяснения Ве-феномена ряд исследователей пытается

привлекать гипотезу об их двойственности. Тем не менее, несмотря на хорошее согласие с некоторыми наблюдательными данными, этот вопрос пока остается открытым.

Таким образом, нельзя исключить, что именно присутствие белого карлика вблизи IN Com обеспечило ей столь редкую возможность "Ве"-активности.

Работа О.В.Козловой и И.Ю.Алексеева выполнена в рамках проекта "Активность звезд поздних спектральных классов на разных стадиях эволюции" (грант РФФИ 16-02-00689). Работа А.В.Кожевниковой выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006.

¹ Крымская астрофизическая обсерватория (ФГБУН КрАО РАН),
Россия, e-mail: oles_kozlova@mail.ru ilya-alekseev@mail.ru

² Уральский Федеральный университет, Россия

LONG-TERM SPECTRAL VARIABILITY OF THE SPOTTED STAR IN COM

O.V.KOZLOVA¹, I.Yu.ALEKSEEV¹, A.V.KOZHEVNIKOVA²

We present long-term spectral observations $R=20000$ of IN Com in the region of $H\alpha$, $H\beta$ and He I 5876 Å lines. The unique character of stellar spectrum is the presence in the $H\alpha$ line an extended two-component emission with limits reached ± 400 km/s. Emission parameters show the rotation modulation with the stellar rotation period and a significant variability on the long-term scale. Similar emission is observed also in $H\beta$ and He I 5876 Å lines. Our results allow to conclude that observational emission profiles are formed in optically thin hot gas. It is due to the presence around IN Com circumstellar gas disk. Its size is not exceed some stellar radii. The material for the disk is supported by stellar wind. The found variability of $H\alpha$ emission parameters shows evident connection with photopolarimetric activity of the star. This fact allows us to connect the long-term spectral variability with cycles of stellar activity of IN Com.

Key words: *spotted stars: spectral activity: stellar wind*

ЛИТЕРАТУРА

1. *H. Van Winckel, A.Jorissen, K.Exter et al.*, *Astron. Astrophys.*, **563**, L10, 2014.
2. *K.G.Strassmeier, B.Hubl, J.B.Rice*, *Astron. Astrophys.*, **322**, 511, 1997.
3. *И.Ю.Алексеев, О.В.Козлова*, *Известия Крым. Астрофиз. Обс.*, **109**, 114, 2013, (*Bull. Crim. Astrophys. Obs.*, **110**, 30, 2014).
4. *А.В.Кожевникова, И.Ю.Алексеев*, *Астрон. ж.*, **92**, 818, 2015, (*Astron. Rep.*, **59**, 937, 2015).
5. *G.Jasniewicz, F.Thévenin, R.Monier, V.A.Skiff*, *Astron. Astrophys.*, **307**, 200, 1996.
6. *О.В.Козлова, И.Ю.Алексеев*, *Известия Крым. Астрофиз. Обс.*, **109**, 161, 2013, (*Bull. Crim. Astrophys. Obs.*, **110**, 37, 2014).
7. *Н.Е.Пискунов*, *Магнетизм звезд*, Ред. Ю.В.Глаголевский, И.И.Романюк, СПб., Наука, 92, 1992.
8. *N.E.Piskunov, F.Kupka, T.A.Ryabchikova et al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **112**, 525, 1995.
9. *N.E.Piskunov, F.Kupka, T.A.Ryabchikova et al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **138**, 119, 1999.
10. *И.Ю.Алексеев, О.В.Козлова*, *Астрофизика*, **43**, 339, 2000, (*Astrophysics*, **43**, 245, 2000).
11. *И.Ю.Алексеев, О.В.Козлова*, *Астрофизика*, **44**, 529, 2001, (*Astrophysics*, **44**, 429, 2001).
12. *I.Yu.Alekseev, O.V.Kozlova*, *Astron. Astrophys.*, **396**, 203, 2002.
13. *I.Yu.Alekseev, O.V.Kozlova*, *Astron. Astrophys.*, **403**, 205, 2003.
14. *О.В.Козлова, В.П.Гринин, Г.А.Чунтонов*, *Астрофизика*, **46**, 331, 2003, (*Astrophysics*, **46**, 265, 2003).
15. *И.Ю.Алексеев, А.В.Кожевникова*, *Астрофизика*, **47**, 519, 2004, (*Astrophysics*, **47**, 442, 2004).
16. *В.В.Соболев*, *Курс теоретической астрофизики*, М., Наука, 287, 1985.
17. *D.Montes, M.J.Fernandes-Figueroa, M. De Castro et al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **146**, 103, 2000.
18. *Л.В.Тамбовцева, В.П.Гринин, О.В.Козлова*, *Астрофизика*, **42**, 75, 1999, (*Astrophysics*, **42**, 54, 1999).
19. *G.Jasniewicz, A.Duquennoe, A.Acker*, *Astron. Astrophys.*, **180**, 145, 1987.
20. *A.Acker, G.Jasniewicz, F.Gleizes*, *Astron. Astrophys.*, **151**, L13, 1985.
21. *H.L.Malasan, A.Yamasaki, M.Kondo*, *Astron. J.*, **101**, 2131, 1991.
22. *B.W.Bopp, R.E.Stencel*, *Astrophys. J.*, **247**, L131, 1981.