

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЕТРА УНИКАЛЬНОЙ Ae ЗВЕЗДЫ ХЕРБИГА HD190073

О.В.КОЗЛОВА¹, М.А.ПОГОДИН², И.Ю.АЛЕКСЕЕВ¹,
М.И.ДОМБРОВСКАЯ¹

Поступила 22 ноября 2018

Принята к печати 29 мая 2019

Представлены результаты спектрального мониторинга Ae звезды Хербига HD190073, проведенного нами с 2009 по 2017гг. в Крымской астрофизической обсерватории. За весь срок было получено 116 спектров в области линии $H\alpha$ и 61 спектр в области линий HeI 5876 и NaI D. Было установлено, что параметры околозвездных линий переменны и могут быть выделены, по крайней мере, три отдельные компоненты переменности: а) от ночи к ночи, б) межсезонные (τ - десятки дней) и в) медленные (τ - годы). Мы предположили, что межсезонная переменность может быть связана с модуляцией профилей вращением звезды с периодом около 40 дней, а на медленные изменения может влиять гипотетическая двойственность объекта, прямые признаки которой пока не обнаружены. Мы подтвердили, что сложная многокомпонентная структура голубых абсорбционных компонент линий дублета Sa II, о которой говорят уже несколько десятилетий, наблюдается и у линий $H\alpha$ и NaI D₂. Мы предполагаем, что природа этих компонентов может быть связана с наличием у объекта магнитного поля сложной конфигурации. Особенности этой конфигурации остаются пока неизвестными и должны быть предметом будущих исследований. Мы также предполагаем, что резкое изменение параметров линий после даты JD2455700 может быть связано с трансформацией магнитного поля HD190073, предсказанной ранее в опубликованной литературе. Мы считаем, что предметом дальнейших исследований объекта должны быть: а) повторные прямые спектрополяризметрические измерения магнитного поля, б) поиск цикличности изменений параметров профилей его линий на временной шкале в десятки дней (как результат вращательной модуляции) и нескольких лет (следы присутствия второго компонента) и в) исследование переменности других околозвездных линий, формирующихся в ветре (например, таких, как линии триплета $FeII$ (42)).

Ключевые слова: *Ae/Be звезды Хербига: околозвездные оболочки: ветер: магнитные поля: HD190073*

1. Введение. Настоящая работа посвящена анализу результатов многолетнего спектрального мониторинга необычной Ae звезды Хербига HD190073. В настоящее время Ae/Be звезды Хербига считаются молодыми звездами промежуточных масс (от 2 до 8 масс Солнца), еще не вышедшими на Главную последовательность. Они окружены газопылевыми дисками, в которых происходят процессы образования планетных систем.

Внутренние области экваториальных околозвездных (CS) дисков состоят из газа, оптически тонкого в непрерывном спектре, в котором идет аккреция вещества на звезду. Непосредственно над аккреционным диском расположена

протяженная область дискового ветра. Согласно современным гидродинамическим расчетам ветер может возникать и на более высоких широтах, включая околополярные области [1,2]. Аккреционный диск и ветер являются местом, где формируются эмиссионные и абсорбционные CS линии, демонстрирующие переменность в широком диапазоне характерных времен τ от часов до лет. Если быструю переменность (τ порядка часов и дней) этих линий обычно удается связать с присутствием неоднородностей во внутренних областях CS оболочки, то механизмы многолетних изменений спектральных линий пока изучены не до конца. Иногда причиной такой переменности оказывается двойственность объекта (см., например, [3]). Среди других возможных причин изменений может быть формирование в диске протопланетных тел. Остается также до конца не исследованной роль магнитных полей в процессах, происходящих в Ae/Be звездах Хербига.

Звезда HD190073 (MWC325) была хорошо известна еще в 30-х годах прошлого столетия. Вначале она считалась пекулярной Вер звездой [4], но после обнаружения у нее избытка излучения в дальней ИК области спектра [5], являющегося признаком присутствия в оболочке холодной пыли, ее стали относить к молодым Ae/Be звездам Хербига, окруженным протяженными реликтовыми пылевыми дисками.

По данным [5] спектральный класс объекта оценивается как A2IIIe-B9IVe, а амплитуда ее фотометрической переменности невелика и не превышает $0^m.05$. У HD190073 наблюдается очень богатый эмиссионный спектр. В нем присутствуют линии водорода, гелия, различных металлов, известный дублет натрия и др. [6,7]. У многих линий наблюдаются профили типа P Cyg со смещенной в синюю сторону абсорбционной компонентой, что является признаком плотного истекающего газа на луче зрения в области между звездой и наблюдателем. Проекционная скорость вращения очень мала ($V \sin i < 8.6$ км/с [7]).

По многим свойствам HD190073 можно считать уникальным объектом среди всей группы Ae/Be звезд Хербига.

Во-первых, это сочетание крайне низкой величины $V \sin i$ и присутствия ветра на луче зрения, который должен свидетельствовать о промежуточной ориентации оси вращения по отношению к наблюдателю [8]. В [9] дается оценка $\sin i < 40^\circ$, более точных определений угла наклона пока не сделано. Например, в [10] приводится довольно широкий диапазон возможных значений угла i от 12° до 50° . Скорее всего ориентацию объекта можно считать промежуточной, но приближающейся к полюсной ("pole-on"). В этом случае угловая скорость вращения звезды должна быть аномально низкой для звезд этого класса.

Вторым удивительным свойством HD190073 является необычная структура голубых абсорбционных (P Cyg) компонентов линий ее дублета CaII (H и

К). Эти компоненты, охватывающие область лучевых скоростей от 0 до -400 км/с, содержат множество (до 10) локальных абсорбционных деталей, практически не меняющих свое положение и интенсивность в течение десятилетий (см. [6] и ссылки в этой работе). Авторы [6] предположили, что эта структура может быть результатом присутствия у звезды устойчивого глобального магнитного поля сложной топологии, ответственной за формирование неоднородного широтно-стратифицированного ветра.

И, наконец, сенсационными можно назвать результаты прямых измерений магнитного поля HD190073 спектрополяриметрическим методом, выполненных в последние годы. В работах, опубликованных до 2012г., приводятся довольно близкие оценки измеряемой интегральной величины проекции вектора напряженности магнитного поля на луч зрения B_z : 84 ± 30 Гс [11]; 74 ± 10 Гс [7]; 104 ± 19 Гс [9]. Но в 2013г. появилась работа Алесян и др. [12], где сообщалось, что, начиная с 2012г., величина B_z стала переменной в пределах от -20 до +50 Гс, причем ее изменения носят циклический характер с периодом 40^d . Авторы попытались объяснить эту трансформацию внезапным изменением угла наклона между магнитной осью и осью вращения. В работе [13] было подтверждено, что величина B_z принимала малые отрицательные значения порядка -10 Гс как раз в даты предполагаемой трансформации конфигурации магнитного поля. В этой же работе было также отмечено, что магнитное поле HD190073 может иметь топологию, более сложную, чем простой диполь, в котором сильна и околос звездная компонента.

В настоящей работе мы представляем результаты многолетних спектральных наблюдений HD 190073, выполненных в 2009-2017гг. в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) в области линий $H\alpha$, HeI 5876 и дублета NaI D. Они позволили проанализировать спектральную переменность звезды за 9 лет и обнаружить связь между нашими новыми результатами и необычными явлениями, наблюдающимися у этого объекта.

2. Наблюдения. Спектральные наблюдения HD190073 проводились в период с 2009 по 2017гг. Кроме того, мы использовали несколько спектров, полученных в КрАО в 1999г. Все спектры были получены с использованием спектрографа куде на 2.6-м телескопе Шайна (ЗТШ), оснащенного ПЗС камерой (с конца 2013г. в фокусе куде уже был установлен другой прибор: эшелле-спектрограф СПЭШКУ). Спектральное разрешение во все даты составляло порядка $0.3 \text{ \AA}$ около линии $H\alpha$. Всего было получено 127 спектров в области эмиссионной линии $H\alpha$ и 61 спектр - в области линий HeI и NaI D. Все данные наблюдений приведены в табл.1.

Все полученные спектры были приведены к барицентру солнечной системы. При определении эквивалентной ширины и интенсивностей эмиссионной

Таблица 1

ДАННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ HD 190073

Дата	J.D.	Сп. область	EW(H α)
1	2	3	4
99-08-19	2451410.365	H α 6563, NaI D	31.0
99-08-20	2451411.415	H α 6563	31.5
99-08-21	2451412.430	H α 6563	31.0
99-08-22	2451413.311	H α 6563, NaI D	30.2
99-08-24	2451415.441	H α 6563	29.4
99-09-09	2451431.437	H α 6563, NaI D	28.4
09-09-11	2455086.373	H α 6563	31.4
09-09-12	2455087.237	H α 6563, NaI D	30.8
09-09-14	2455089.307	H α 6563	31.1
09-10-22	2455127.269	H α 6563	31.8
09-10-23	2455128.241	H α 6563, NaI D	29.9
09-10-24	2455129.281	H α 6563	31.0
09-10-25	2455130.335	H α 6563, NaI D	32.0
09-10-26	2455131.212	H α 6563, NaI D	31.5
09-10-30	2455135.209	H α 6563, NaI D	33.5
09-10-31	2455136.178	H α 6563, NaI D	33.4
10-04-24	2455310.540	H α 6563, NaI D	31.4
10-05-04	2455321.452	H α 6563	30.8
10-05-05	2455322.515	H α 6563	31.8
10-05-21	2455338.484	H α 6563	28.0
10-05-22	2455339.465	H α 6563	26.2
10-08-03	2455412.265	H α 6563	29.2
10-09-22	2455462.338	H α 6563	24.0
10-09-23	2455463.305	H α 6563	22.5
10-10-23	2455493.227	H α 6563	24.7
10-10-24	2455494.279	H α 6563	24.2
11-06-03	2455716.510	H α 6563	29.0
11-06-04	2455717.414	H α 6563	28.5
11-06-05	2455718.437	H α 6563, NaI D	31.7
11-06-19	2455732.485	H α 6563, NaI D	29.0
11-08-18	2455792.288	H α 6563, NaI D	30.0
11-11-03	2455869.269	H α 6563	30.8
11-11-04	2455873.241	H α 6563, NaI D	32.4
11-11-07	2455873.210	H α 6563, NaI D	32.4
11-11-13	2455879.239	H α 6563	28.0
12-05-05	2456053.479	H α 6563	31.0
12-05-06	2456054.443	H α 6563, NaI D	31.7
12-05-07	2456055.438	H α 6563, NaI D	32.0
12-05-10	2456058.433	H α 6563, NaI D	27.5
12-05-11	2456059.443	H α 6563, NaI D	28.0
12-07-01	2456110.207	H α 6563, NaI D	28.0
12-08-24	2456164.256	H α 6563, NaI D	27.3
12-08-26	2456166.308	H α 6563, NaI D	28.4
12-08-29	2456169.328	H α 6563	30.9

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4
12-08-30	2456170.333	H α 6563	30.6
12-09-27	2456198.292	H α 6563, NaI D	24.5
12-09-28	2456199.329	H α 6563, NaI D	24.8
12-09-30	2456201.234	H α 6563, NaI D	23.2
12-10-10	2456211.270	H α 6563, NaI D	26.6
12-10-27	2456228.200	H α 6563	31.0
12-11-01	2456233.187	H α 6563	30.5
12-11-07	2456239.230	H α 6563	27.9
12-11-08	2456240.219	H α 6563	26.5
12-11-09	2456241.207	H α 6563, NaI D	24.5
12-11-11	2456243.155	H α 6563, NaI D	25.2
13-04-26	2456409.481	H α 6563, NaI D	30.7
13-05-05	2456418.533	H α 6563, NaI D	30.7
13-05-06	2456419.450	H α 6563	30.9
13-05-07	2456420.519	H α 6563	30.7
13-06-19	2456463.337	H α 6563	30.2
13-06-22	2456466.451	H α 6563, NaI D	28.6
13-06-23	2456467.500	H α 6563, NaI D	29.0
13-08-21	2456526.324	H α 6563, NaI D	29.1
13-08-22	2456527.305	H α 6563	31.3
13-08-23	2456528.375	H α 6563	31.9
13-08-25	2456530.302	H α 6563, NaI D	32.0
13-08-26	2456531.336	H α 6563	
13-08-27	2456532.376	H α 6563	31.6
13-08-28	2456533.287	H α 6563, NaI D	33.6
13-09-20	2456556.305	H α 6563, NaI D	30.0
13-10-26	2456592.224	H α 6563, NaI D	31.8
13-11-10	2456607.211	H α 6563, NaI D	26.0
13-11-11	2456608.257	H α 6563, NaI D	22.6
13-11-16	2456613.225	H α 6563	24.6
13-11-22	2456619.209	H α 6563	25.2
14-04-15	2456762.532	H α 6563	27.0
14-05-10	2456788.452	H α 6563	28.8
14-05-16	2456794.500	H α 6563, NaI D	24.6
14-05-17	2456795.471	H α 6563	25.6
14-06-08	2456817.433	H α 6563	29.8
14-07-05	2456844.362	H α 6563, NaI D	31.9
14-08-19	2456889.451	H α 6563, NaI D	27.7
14-09-12	2456913.270	H α 6563	27.5
14-10-05	2456936.299	H α 6563, NaI D	29.6
14-10-11	2456942.303	H α 6563, NaI D	29.5
14-11-08	2456950.301	H α 6563	27.7
15-04-29	2457142.310	H α 6563	31.7
15-04-30	2457142.490	H α 6563	28.8
15-05-01	2457143.508	H α 6563	29.3
15-05-04	245717.413	H α 6563	27.2
15-07-01	2457205.410	H α 6563	30.2

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4
15-08-27	2457262.321	H α 6563, NaI D	24.9
15-08-28	2457263.317	H α 6563, NaI D	26.3
15-08-29	2457264.344	H α 6563, NaI D	24.7
15-08-30	2457265.354	H α 6563, NaI D	25.9
15-08-31	2457265.348	H α 6563, NaI D	26.6
15-09-01	2457267.341	H α 6563, NaI D	26.4
15-09-21	2457287.300	H α 6563	24.7
15-11-03	2457330.280	H α 6563	23.9
15-11-04	2457331.272	H α 6563, NaI D	26.4
15-11-05	2457332.260	H α 6563, NaI D	28.8
16-04-21	2457500.480	H α 6563	29.8
16-04-22	2457501.500	H α 6563	30.5
16-05-15	2457524.458	H α 6563	26.2
16-05-22	2457531.498	H α 6563	28.8
16-06-17	2457557.334	H α 6563	31.0
16-06-18	2457558.340	H α 6563	29.7
16-07-15	2457585.462	H α 6563, NaI D	30.1
16-07-16	2457586.421	H α 6563, NaI D	30.5
16-07-21	2457591.401	H α 6563, NaI D	32.8
16-07-22	2457592.385	H α 6563, NaI D	32.9
16-07-23	2457593.402		30.2
16-07-24	2457594.468	H α 6563, NaI D	29.5
16-09-15	2457647.299	H α 6563	30.1
16-09-23	2457655.279	H α 6563	28.3
16-09-24	2457656.266	H α 6563	28.2
16-09-25	2457657.262	H α 6563	28.6
16-11-12	2457702.211	H α 6563, NaI D	25.4
16-11-20	2457713.209	H α 6563	32.6
16-11-21	2457714.210	H α 6563	31.0
17-05-10	2457885.470	H α 6563, NaI D	25.2
17-05-11	2457886.472	H α 6563, NaI D	25.1
17-06-07	2457912.417	H α 6563	28.9
17-07-03	2457938.477	H α 6563	30.3
17-07-05	2457940.471	H α 6563, NaI D	30.7
17-07-06	2457941.411	H α 6563	31.0
17-07-07	2457942.446	H α 6563	32.0

линии H α , предварительно вычитался профиль атмосферной линии, соответствующий модели $T_{\text{eff}} = 10000$ K и $\log g = 3.5$ (см. модели Куруца [14]) и свернутого с окном 15 км/с, соответствующим инструментальному профилю спектрографа. Следует отметить, что эту работу упростило то обстоятельство, что объект имеет практически нулевую скорость собственного движения относительно солнечной системы. Ошибки определения параметров не превышали 1 Å (для EW), 0.1 для интенсивности I и 5 км/с для величин

лучевых скоростей.

При обработке спектральных данных применялись компьютерные программы, обычно используемые в КраО.

3. Результаты наблюдений.

3.1. *Линия $H\alpha$* . Как уже упоминалось выше, эмиссионная линия $H\alpha$ имеет профиль типа P Cug, являющийся признаком присутствия плотного ветра в области между звездой и наблюдателем. На рис. 1а приведены наиболее характерные профили линии, наблюдавшиеся в разные годы. Сами профили имеют сложную многокомпонентную структуру. Среди отдельных голубых абсорбционных компонентов можно выделить 2 высокоскоростные, центрированные приблизительно на -300 км/с и -250 км/с. Есть и более низкоскоростная компонента в области скоростей около -200 км/с и меньше.

Отдельно следует сказать о компоненте ветра, наблюдаемой вблизи нулевой скорости. В 2009–2010 гг. она была видна в виде мелкой локальной абсорбционной линии в голубом крыле близко от эмиссионной вершины, но потом стала наблюдаться только как локальная депрессия голубого крыла. В эти же годы наблюдалась и еще одна линия поглощения на скорости около -120 км/с.

Чтобы точнее проследить особенности переменности профиля линии на разном временном масштабе, было введено несколько параметров, описывающих

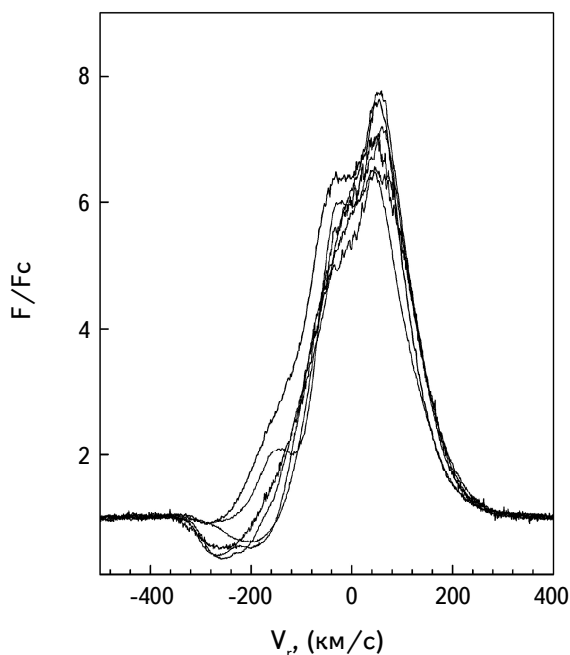


Рис.1а. Наиболее характерные профили эмиссионной линии $H\alpha$ после вычета атмосферного профиля (см. текст).

профиль, которые показаны на рис.1б. Чтобы объяснить смысл введения каждого из них, следует остановиться на том, как формируется эмиссионный профиль линии $H\alpha$ в спектре HD190073. Профиль занимает область лучевых скоростей приблизительно от -450 до $+450$ км/с. Эмиссия от аккреционного диска, дающая вклад в образование профиля, не может занимать область лучевых скоростей шире, чем $\sin i (GM_*/R_*)^{0.5}$, что при известных параметрах звезды: $M_* = 2.85 M_\odot$, $R_* = 3.6 M_\odot$ [7] и $i < 40^\circ$, составляет менее 250 км/с. Это означает, что вклад диска в эмиссионный профиль может проявиться только в диапазоне лучевых скоростей $\leq |250|$ км/с. Учитывая, что кинематическая структура диска достаточно устойчивая, можно сделать вывод, что любые изменения лучевых скоростей в крыльях эмиссионного профиля $H\alpha$ несут информацию именно о ветре.

На рис.1б показано, как были выбраны параметры, описывающие профиль линии $H\alpha$. Это голубая (V_{blue}) и красная (V_{red}) граница эмиссионного профиля на двух уровнях интенсивности: $1.5 F_c$ и $70\% I$, где I - интенсивность в максимуме эмиссии; V_{abs} и I_{abs} - лучевая скорость и минимальная

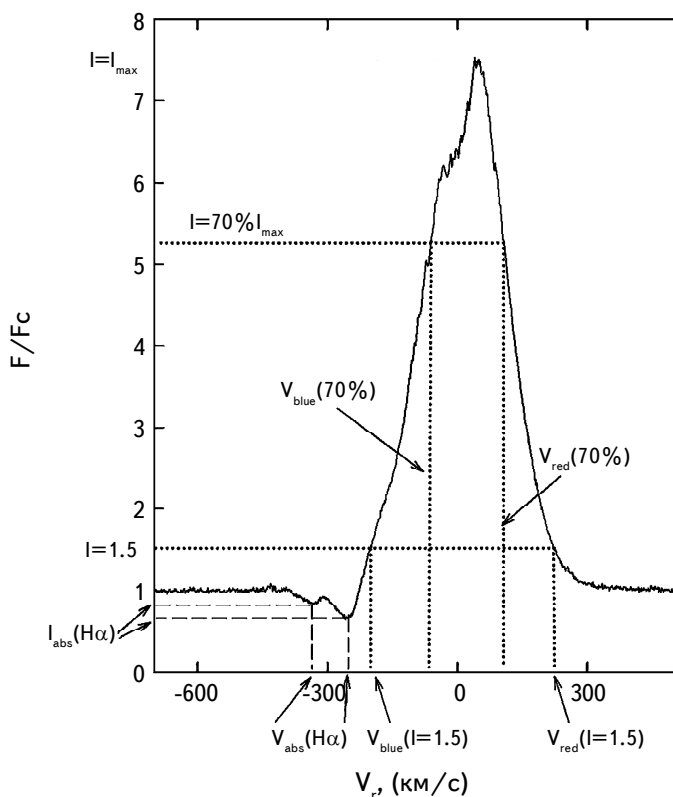


Рис.1б. Иллюстрация к введению набора параметров, описывающих профиль линии $H\alpha$. Все пояснения приведены в тексте.

интенсивность у отдельной голубой абсорбционной компоненты. Были использованы также следующие параметры: EW - эквивалентная ширина эмиссионного профиля выше уровня $1 F_c$, W_{em} и V_{bis} - ширина и скорость бисектора эмиссионного профиля на некотором уровне интенсивности. Понятно, что $W_{em} = V_{red} - V_{blue}$ и $V_{bis} = 0.5 (V_{red} + V_{blue})$. Последние два параметра были использованы только для иллюстрации некоторых эффектов.

Рассмотрим, о чем могут свидетельствовать изменения каждого из выделенных параметров. Лучевая скорость синей границы эмиссионного профиля V_{blue} зависит от двух факторов: а) собственное излучение истекающего газа на данной лучевой скорости и б) степень экранировки этим газом звездного диска. Известно, что вещество распределено в пространстве неоднородно, оно имеет клочковатую структуру и может экранировать звездный диск полностью или частично (если есть "просветы") в зависимости от скважности среды. Будем считать, что при увеличении массы истекающего вещества в пространстве между звездой и наблюдателем его скважность уменьшается. Назовем это явление для краткости "усилением ветра", при котором должны увеличиваться глубина и ширина голубых абсорбционных компонентов профиля. В верхней части профиля эти компоненты уже не формируют отдельных линий, а просто блендируют синюю границу эмиссии, вплоть до нулевой лучевой скорости. В результате вся синяя граница эмиссионного профиля V_{blue} искажается поглощением истекающего CS газа на луче зрения. При усилении ветра эффект искажения тоже будет усиливаться, а измеряемая величина лучевой скорости синей границы эмиссионного профиля V_{blue} окажется смещенной в красную сторону.

Параметр V_{red} зависит только от одного фактора - собственного излучения вещества ветра. При усилении ветра его величина также будет увеличиваться. В итоге, весь профиль целиком должен сместиться в красную сторону. При этом ширина профиля на фиксированном уровне интенсивности W_{em} и вычисляемая эквивалентная ширина линии EW могут оставаться неизменными, так как на их величины влияют два взаимно компенсирующих друг друга эффекта: усиление голубых абсорбционных компонентов и увеличение интенсивности в красном эмиссионном крыле.

Все эти эффекты хорошо видны на рис.2а, б, с, иллюстрирующих временные изменения параметров профиля $H\alpha$ в течение 9 лет.

Наблюдаемая переменность носит многокомпонентный характер, можно выделить по крайней мере 3 отдельных компонента:

1. Изменения от ночи к ночи всех параметров профиля. Они достаточно сильны и связаны, по-видимому, с неоднородной и постоянно меняющейся структурой истекающего вещества.

2. Межсезонные изменения на временном масштабе порядка нескольких

десятков дней (между сезонами проходит как раз полгода) таких параметров, как V_{blue} и других, зависящих от ширины локальных голубых абсорбционных компонентов (EW , V_{bis} и др.) Этот тип переменности имеет наибольшую амплитуду. Ее природа до конца не отождествлена. Возможно, она возникает в результате изменений режима аккреции и характера генерации ветра при взаимодействии аккреционного потока со звездой. Нельзя исключать и возможность модуляции профилей при вращении звезды, если период ее вращения действительно составляет 40 дней [12].

3. Изменения параметров профилей на временном масштабе в несколько лет. Здесь, помимо медленных изменений в режиме генерации ветра, могут оказывать влияние орбитальное движение протопланетных тел или двойственность объекта. Амплитуда этой переменности существенно ниже, чем у предыдущего типа.

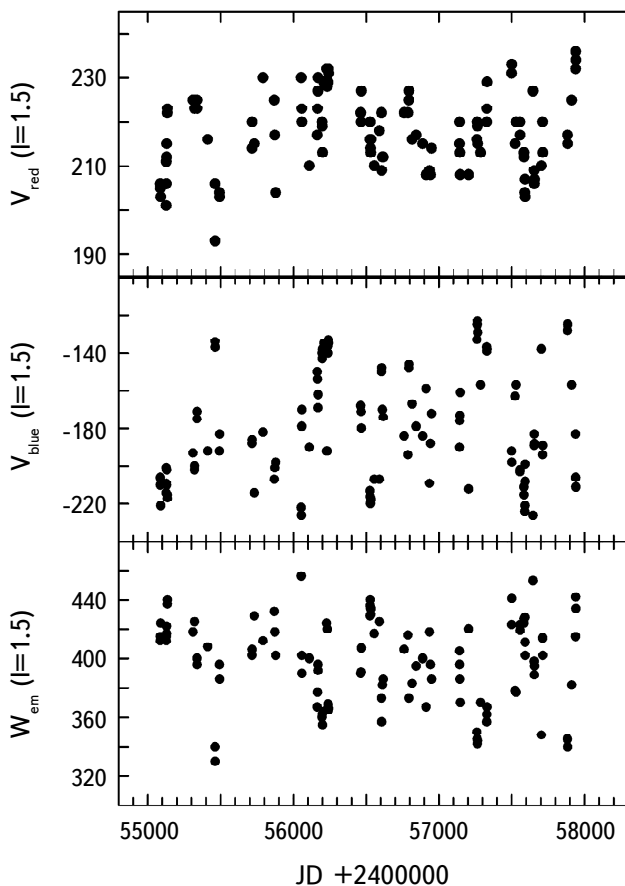


Рис.2а. Переменность параметров V_{blue} , V_{red} , W_{em} для уровня интенсивности 1.5 Fc. Определение параметров приведено в тексте и проиллюстрировано на рис.1б.

Как видно из рис.2а, b, наиболее медленные изменения параметров V_{blue} и V_{red} на разных уровнях интенсивности носят разный характер. Но одно у них общее - это признаки усиления ветра где-то, начиная с даты JD2455700. Именно тогда заметно увеличились скорости V_{blue} , V_{red} и, соответственно, V_{bis} , весь эмиссионный профиль резко сместился в красную сторону. В дальнейшем V_{blue} и V_{red} на уровне 70% I стали постепенно понижаться, что

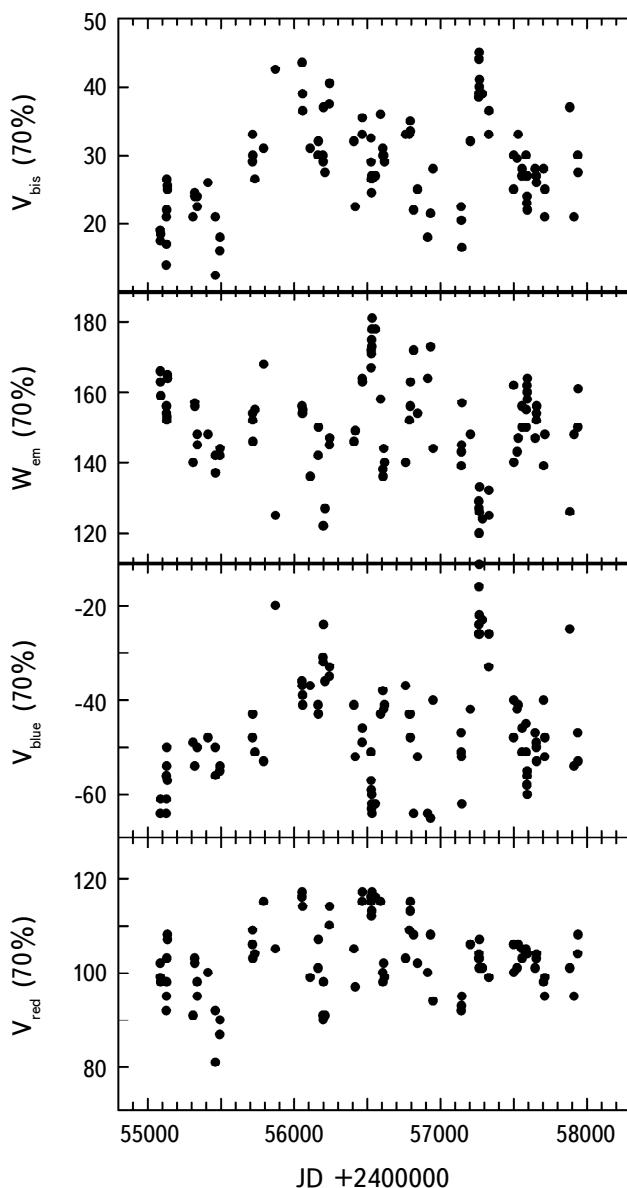


Рис.2b. То же, что на рис.2а, но для уровня интенсивности 70% I.

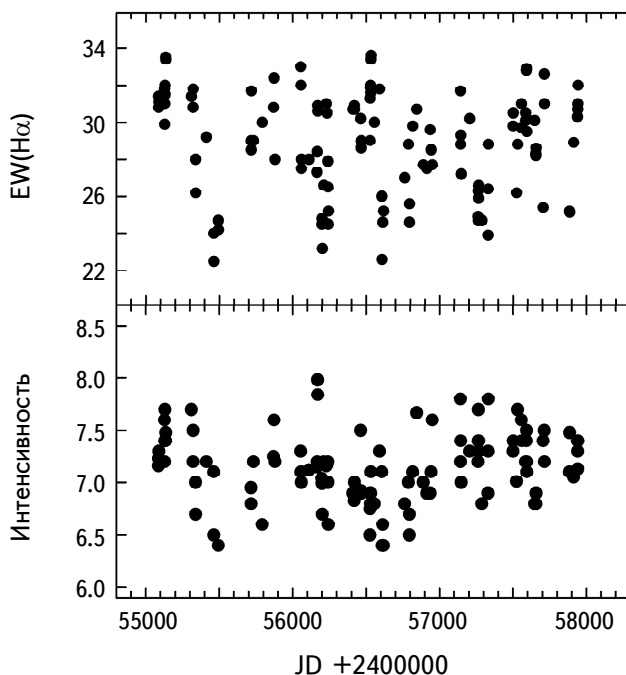


Рис.2с. Переменность параметров I и EW для профиля линии $H\alpha$.

позволяет говорить о некоей "волне" изменений с периодом около 2500 дней. Однако на уровне 1.5 Fc это понижение незаметно. Параметры I и EW не показывают заметных медленных изменений на шкале времени в несколько лет (в отличие от очень сильной межсезонной переменности).

Наиболее примечательным является изменение лучевых скоростей отдельных голубых абсорбционных компонентов. Но эти изменения имеет смысл обсуждать в сравнении с такими же изменениями у профиля другой линии с признаками ветра - одной из линий дублета $NaI D_2$.

3.2. Линии дублета $NaI D$ и $HeI 5876$. Рис.3 иллюстрирует усредненные нормированные профили линии $HeI 5876$ и дублета $NaI D$ в спектре HD190073. Профиль эмиссионной линии гелия - одиночный с небольшой абсорбционной деталью на нулевой скорости. У линий натрия эмиссионный профиль также одиночный, на который накладываются две узкие абсорбционные (IS?) линии на скоростях 0 и -17 км/с. Кроме того, с голубой стороны эмиссионного профиля линии $NaI D_2$ видна целая серия локальных абсорбционных компонентов, лучевые скорости которых примерно соответствуют лучевым скоростям Vabs голубых абсорбционных компонентов профиля $H\alpha$. В отличие от профиля линии $H\alpha$, эмиссионные крылья которого формируются в ветре, профили линий натрия существенно уже

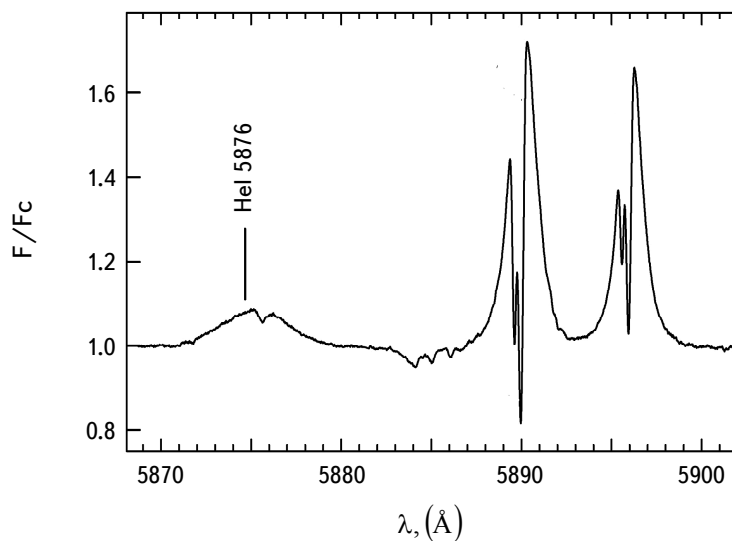


Рис.3. Усредненный нормированный участок спектра, содержащий линию HeI 5876 и дублет NaI D.

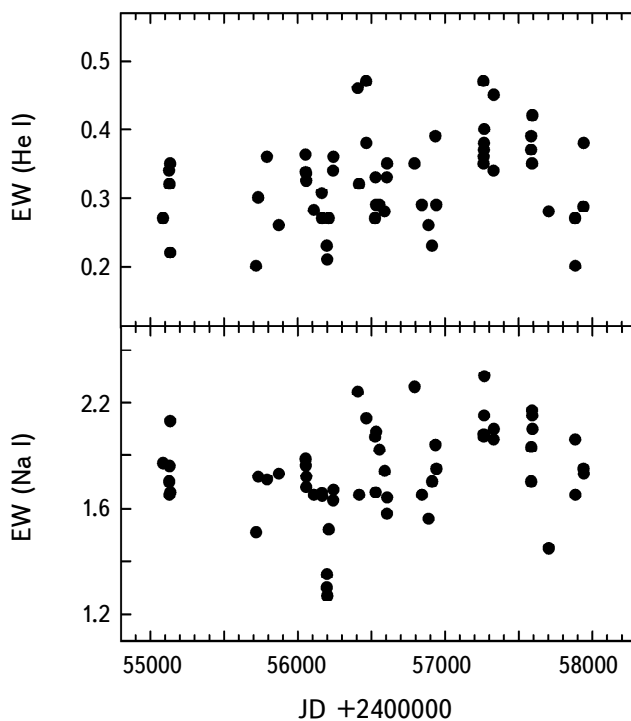


Рис.4а. Переменность эквивалентных ширин эмиссионных линий HeI 5876 (вверху) и NaI D₂ (внизу).

(± 180 км/с), и основная эмиссия в этих линиях относится, по-видимому, к экваториальному диску. С ветром связаны только голубые локальные абсорбции.

Линия HeI 5876 формируется в высокотемпературной области взаимодействия диска со звездой. В работе [15] были приведены свидетельства, что аккреция у HD190073 носит магнитосферный характер, а в [16] была сделана оценка темпа аккреции $7 \cdot 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$. Рис.4а иллюстрирует изменения эквивалентных ширин EW линий гелия и натрия за все годы наблюдений.

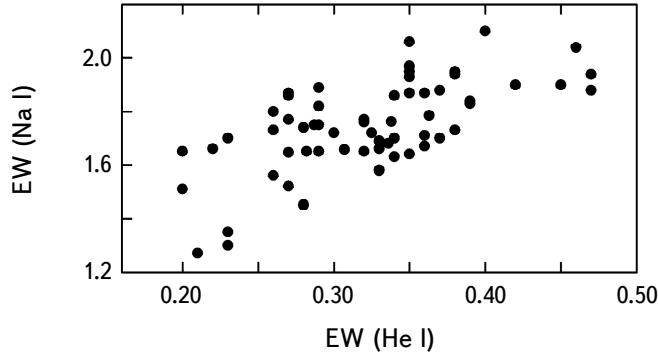


Рис.4б. Корреляция переменности эквивалентных ширин линий HeI 5876 и NaI D₂.

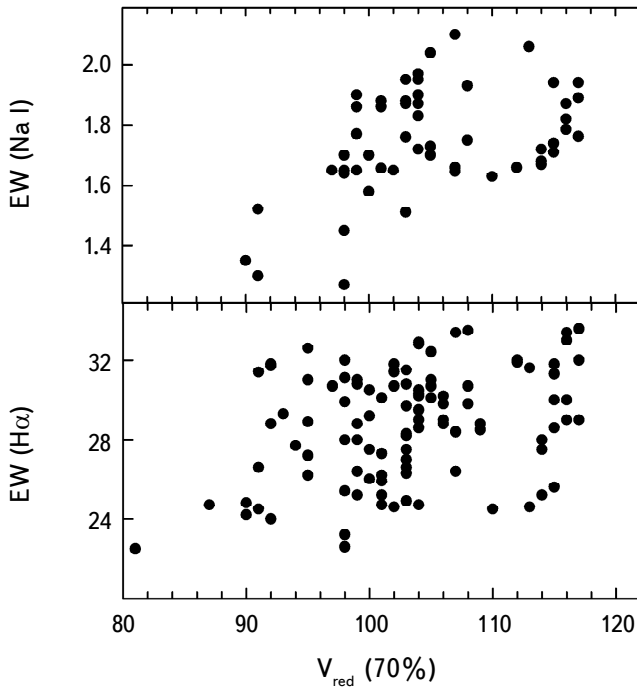


Рис.4с. Корреляция переменности эквивалентных ширин линий NaI D₂ (вверху) и Hα (внизу) с параметром Vred (70% I) для Hα.

Обе величины демонстрируют подъем после даты JD2456300 и хорошо коррелируют друг с другом (рис.4б). Это неудивительно, так как их эквивалентная ширина отражает темп аккреции на звезду. В отличие от этих двух линий, величина EW эмиссионной линии $H\alpha$ сильно искажена голубыми абсорбциями и не может быть мерой темпа аккреции. Но, в определенной степени, такой мерой может служить параметр V_{red} на каком-то фиксированном уровне интенсивности профиля $H\alpha$, так как на его величину голубые P Cyg-абсорбции не влияют. На рис.4с видна уверенная корреляция между V_{red} (70% I) у $H\alpha$ и $EW(NaI)$, и отсутствие подобной корреляции этого параметра с $EW(H\alpha)$.

3.3. Кинематическая стратификация ветра. Как уже отмечалось в предыдущем разделе, эмиссионные линии натрия формируются главным образом в аккреционном диске, а ветер проявляет себя в виде нескольких локальных абсорбционных компонентов, расположенных с синей стороны от эмиссионного профиля, которые центрированы на лучевых скоростях -300 ,

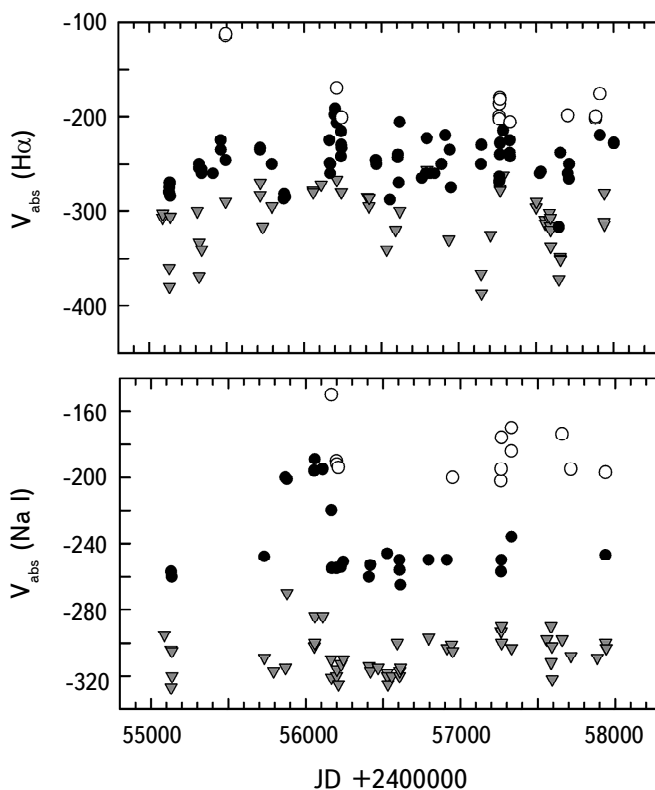


Рис.5. Переменность скоростей V_{abs} у трех голубых абсорбционных компонентов профиля $H\alpha$ (помечены разными символами) - на верхнем фрагменте. Внизу - то же самое, но для линии $NaI D_2$.

-250 и -180 км/с. К ним можно добавить узкую абсорбционную линию на -17 км/с, которая видна на всех наблюдавшихся спектрах (рис.3). Лучевые скорости этих компонентов изменяются во времени, но это происходит в пределах основных 4-х групп. Если сравнить характер переменности лучевых скоростей голубых локальных компонентов линий NaI D₂ и H α (рис.5), то видно, что все V_{abs} (H α) также разбиваются на группы с примерно теми же центральными значениями. На рисунке не показана наиболее низкоскоростная абсорбционная компонента профиля H α , но она вполне соответствует линии на -17 км/с на профиле линии натрия D₂. Следует отметить, что амплитуда переменности лучевых скоростей отдельных голубых абсорбционных компонентов внутри 4-х выделенных групп гораздо больше у H α , чем у линии натрия, там обе высокоскоростные группы практически сливаются. Наиболее удачной иллюстрацией стратифицированного характера лучевых скоростей в ветре по линиям H α и натрия может служить рис.6.

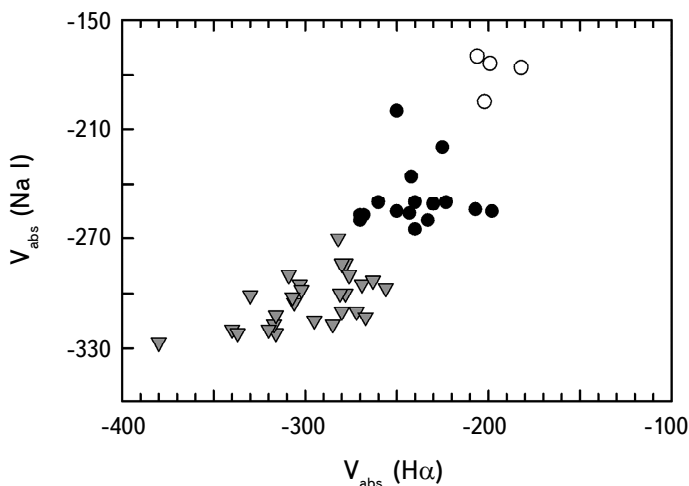


Рис.6. Зависимость между скоростями V_{abs}, измеренных в одни и те же даты у трех голубых абсорбционных компонентов для линий H α и NaI D₂. Величины для разных групп скоростей компонентов помечены разными символами.

Сразу возникает вопрос, в какой мере многокомпонентная кинематическая структура ветра, наблюдающаяся в линиях H α и NaI D₂, соответствует такой же структуре абсорбционных компонентов CaII (H и K), о существовании которой неоднократно сообщалось в [6].

На рис.7 показаны несколько характерных профилей линии D₂ в ее голубой части в сравнении с профилем линии Ca II (K), взятом из [6]. Сходство детальной структуры профилей обеих линий видно достаточно хорошо и свидетельствует об общности ее происхождения.

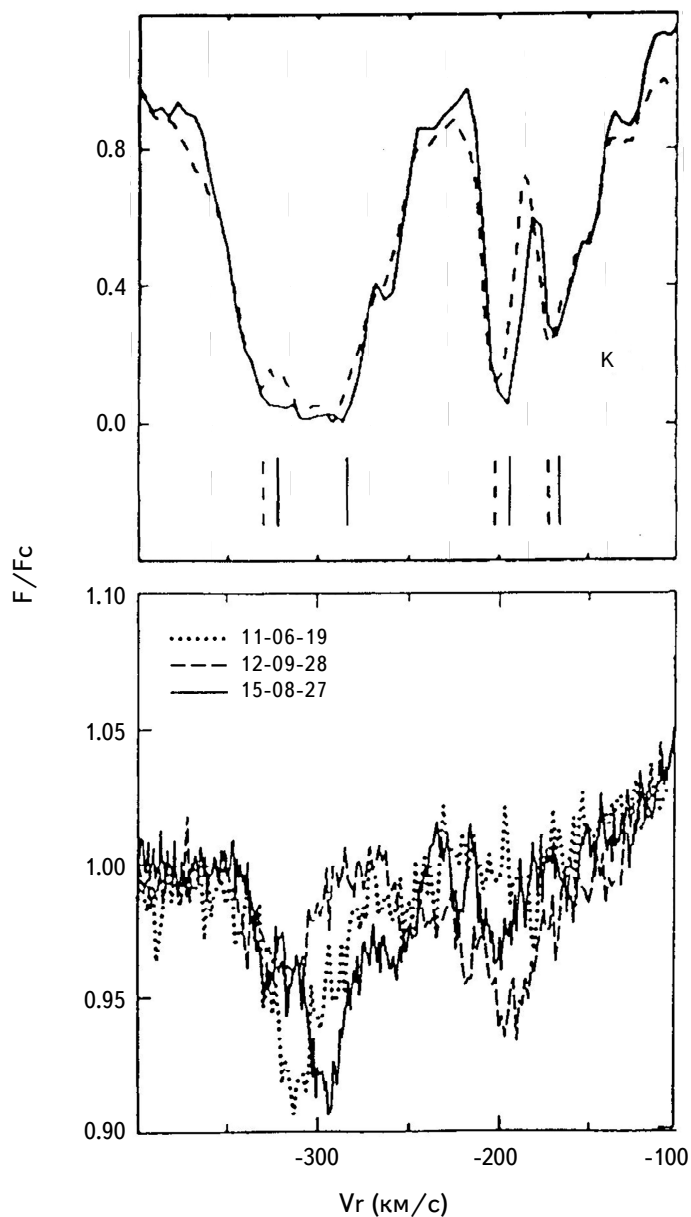


Рис.7. Сравнение характерных многокомпонентных профилей сложной структуры у голубой абсорбционной компоненты линии NaI D₂ (внизу) с профилями этой же компоненты CaII (K), опубликованное в работе [6] и наблюдавшееся в 1994-1997гг. (штриховая линия) и в 1999-2000гг. (сплошная линия).

4. *Обсуждение результатов.* Из всех явлений, наблюдающихся у HD190073, одним из наиболее загадочных является природа кинематически

стратифицированного ветра, который наблюдается по линиям голубого дублета CaII (H и K) [6]. Наш многолетний спектральный мониторинг позволил показать, что эта стратификация наблюдается также у линий D_2 натрия и $Na\alpha$. Если сравнить структуру профилей голубых абсорбционных деталей у линий Ca II (K) и $NaI D_2$ (рис.7), то видно, что эти детали у профиля Ca II (K): а) более глубокие, б) более стабильные, но и в) более широкие и размытые. По-видимому, они относятся к более периферийным областям ветра. Если принять гипотезу о кинематической стратификации ветра, то многокомпонентный профиль Ca II (K) должен показывать распределение скоростей отдельных фракций ветра с различной кинематикой уже после их выхода на свои асимптотические значения на большом расстоянии от звезды.

Естественно предположить, что структура истекающего вещества, образующего ветер, более "клочковатая" вблизи звезды, где начинает формироваться линия $Na\alpha$, она становится более однородной при удалении от звезды, где расположена область образования линий натрия и еще более однородной в самых периферийных областях формирования линий Ca II (K). Об этом говорит уменьшение амплитуды переменности лучевых скоростей ветра при переходе от $Na\alpha$ к Ca II (K). Но при этом средние скорости в каждой кинематической зоне остаются теми же для всех линий (центрированных на -300, -250, -170 и около 0 км/с).

У объектов с быстрым вращением существование нескольких устойчивых скоростных компонентов иногда связывают с тем, что истекающие и вращающиеся газовые струи закручиваются в спираль и успевают пересечь луч зрения перед наблюдателем несколько раз, имея при каждом пересечении уже другую скорость истечения в зависимости от расстояния от звезды (см. [17-19]). Но если скорость вращения HD190073 очень мала (период $P=40^d$ соответствует скорости порядка 4-5 км/с), то такие "петли" не успеют образоваться, порции ветра к моменту очередного "оборота" струи уйдут далеко на периферию. Согласно [18,19], формирование подобных "петель" может происходить только при наличии у звезды магнитосферы, взаимодействующей с диском в режиме пропеллера. В этом случае, независимо от места формирования ветра, его угловая скорость вращения не может превышать угловую скорость вращения звезды, т.е. период полного оборота порции ветра не должен быть менее 40 дней. Легко оценить, что при скорости радиального истечения, усредненной по всему пути от 200 до 300 км/с и радиусе звезды 3.6 радиусов Солнца [7], расстояние до первой "петли" будет составлять от 250 до 400 радиусов звезды. Для звезды класса A, какой является HD190073, на таком расстоянии уже невозможно формирование компонентов субординатной линии $Na\alpha$.

Остается допустить, что все 4 кинематические фракции ветра формируются

в разных областях зоны ветра, и что связано это с особой структурой магнитного поля звезды и CS среды, имеющего сложную конфигурацию. О свойствах этой структуры мы пока сказать ничего не можем. Можно предположить, что стратификация абсорбционных компонентов линий, формирующихся в ветре, может быть результатом его пространственной (широтной?) стратификации. В частности, на рис.8, иллюстрирующем общепринятую картину взаимодействия диска с магнитосферой, видно, что истекающие потоки газа, движущиеся вдоль силовых магнитных линий в сторону наблюдателя, на разных широтах могут иметь разный угол наклона к лучу зрения. При этом наблюдатель увидит широкую голубую абсорбционную компоненту, занимающую диапазон лучевых скоростей от 0 до максимальной скорости ветра. В случае гипотетической широтной стратификации ветра, эта абсорбционная компонента будет также стратифицирована по лучевым скоростям.

Непонятной остается природа межсезонной (τ - десятки дней) и медленной (τ - годы) переменности параметров линий. Последняя свидетельствует о существовании медленных изменениях формы профиля $H\alpha$. Возможно, что их причина связана с двойственностью объекта, прямые признаки которой

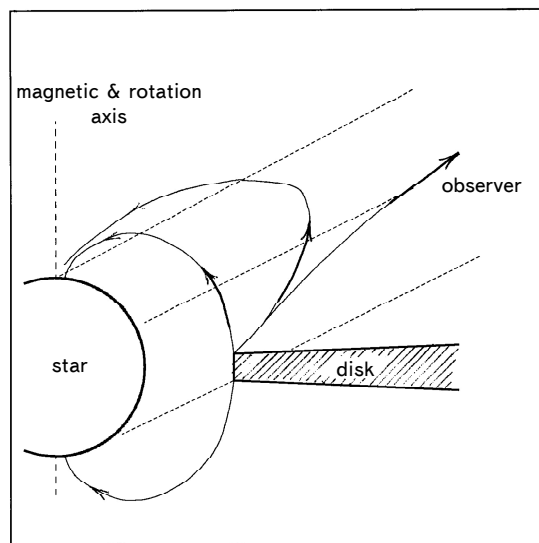


Рис.8. Схематическая иллюстрация зоны ветра на границе диска и магнитосферы на луче зрения между звездой и наблюдателем. Рисунок показывает, что на всем диапазоне широт, где присутствует ветер, направление истечения вещества в каждом отдельном широтном слое в проекции на луч зрения будет различным для каждого слоя. В этом случае гипотетическая пространственная стратификация ветра найдет свое отражение в стратификации линий поглощения, формирующихся в ветре, по лучевым скоростям, которая и наблюдается у HD190073. В случае совпадения магнитной оси и оси вращения, пространственная структура ветра, показанная на рисунке, не будет изменяться во времени.

пока не обнаружены. Очень бросается в глаза скачок в величинах почти всех параметров после даты JD2455700. Профиль линии сместился в красную сторону, низкоскоростные абсорбционные компоненты ветра утратили резкость и стали видны как локальные депрессии на голубом крыле эмиссионной линии. Все эти изменения говорят об усилении ветра (см. раздел 3.1). Обращает на себя внимание то, что, согласно [12], после близкой даты (JD2455900) была замечена трансформация магнитного поля звезды. Насколько могут быть связаны эти события, должны показать дальнейшие исследования.

Следует отметить, что гипотеза о связи кинематической стратификации ветра с магнитным полем системы звезда+оболочка предполагает циклический характер переменности различных параметров спектральных линий с P порядка 40^d , предсказанного в работе [12], которые нашли этот период в изменении напряженности магнитного поля. О возможном существовании этой циклической свидетельствуют высокоамплитудные межсезонные изменения многих параметров линий на масштабе времени в десятки дней. Проверка этого факта также должна будет осуществлена в ближайшем будущем.

5. Заключение. В результате проведенного нами спектрального мониторинга Ae звезды Хербига HD190073 с 2009 по 2017г. было установлено, что:

1. Параметры околосветных линий переменны, и могут быть выделены, по крайней мере, три отдельные компоненты переменности: а) от ночи к ночи, б) межсезонные (τ - десятки дней) и в) медленные (τ - годы).

2. Мы предполагаем, что переменность от ночи к ночи, по-видимому, является результатом неоднородной структуры газа, составляющего ветер. Высокоамплитудная межсезонная переменность может быть связана с быстрыми изменениями темпа аккреции и процесса генерации ветра. Но нельзя исключать и вращательную модуляцию профилей с периодом вращения звезды P около 40 дней. На медленные изменения параметров линий может иметь влияние также гипотетическая двойственность объекта, прямые признаки которой пока не обнаружены.

3. Мы подтвердили, что сложная многокомпонентная структура голубых абсорбционных компонентов линий дублета Ca II, о которой говорят уже несколько десятилетий, наблюдается и у линий H α и NaI D₂. Мы предполагаем, что природа этих компонентов может быть связана с наличием у объекта магнитного поля сложной конфигурации. Особенности этой конфигурации остаются пока неизвестными и должны быть предметом будущих исследований.

4. Мы предполагаем, что резкое изменение параметров линий после даты JD2455700 может быть связано с трансформацией магнитного поля HD190073, описанной в работе [12].

Мы полагаем, что предметом дальнейших исследований объекта должно

быть: а) продолжение программы прямых спектрополяриметрических измерений магнитного поля, б) поиск цикличности изменений параметров профилей его линий на временной шкале в десятки дней (как результат вращательной модуляции) и нескольких лет (следы присутствия второго компонента) и в) исследование переменности других околозвездных линий, формирующихся в ветре (например, таких, как линии триплета FeII (42)).

Один из авторов (М.А.Погодин) выражает свою благодарность РФФИ в рамках научного проекта № 18-52-006004 за поддержку при выполнении этой работы.

¹ Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Республика Крым,
e-mail: oles_kozlova@mail.ru

² Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург, e-mail: mikhailpogodin@mail.ru

ON PECULIARITIES OF THE WIND OF AN EXCEPTIONAL HERBIG Ae STAR HD190073

O.V.KOZLOVA¹, M.A.POGODIN², I.Yu.ALEKSEEV¹,
M.I.DOMBROVSKAYA¹

We present results of the spectral monitoring of the Herbig Ae star HD190073 which was carried out at the Crimean astrophysical observatory from 2009 to 2017. During this time 116 spectra near H α and 61 spectra near HeI 5876 and NaI D lines have been obtained. We have found that the all line profiles are variable, and at least three components of the variability can be identify: night-to-night variations, b) inter-season variability (τ - tens days) and c) long-time variations (τ - years). We assume that the inter-season variations can be connected with the rotational profile modulation with the period about 40 days, and the long-time variability can be a result of the binarity of the object whose direct signatures are yet not revealed. We established that the well known complex multi-component structure of the blue absorption components of the CaII profiles is observed also in the H α and NaI D₂ lines. The origin of these features is presumably connected with a magnetic field of a complex configuration. Properties of this configuration remain to be unknown, it has to be a subject of future study. We also assume that the sudden change of a number of line parameters after JD2455700 can be connected with a magnetic field transformation predicted in

the published literature. We reason that a subject of our forthcoming investigation has to be: a) new measurements of magnetic field; b) search for cycles of the profile parameter change on the time scale of tens days (as a result of rotational modulation), and several years (as a result of a possible binarity of the object); and c) study of variability of other spectral lines originating in the wind like the lines of the FeII (42) triplet.

Keywords: *Herbig Ae/Be stars: circumstellar envelopes: wind: magnetic fields: HD190073*

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.M.Romanova, A.A.Blinova, G.V.Ustyugova et al.*, New Astron., **62**, 94, 2018.
2. *T.A.Ermolaeva, V.P.Grinin, D.V.Dmitriev*, ASP Conf. Ser., **510**, 36, 2017.
3. *R.Günther, W.Kley*, Astron. Astrophys., **387**, 550, 2002.
4. *P.W.Merrill, C.G.Burwill*, Astrophys. J., **78**, 87, 1933.
5. *P.S.The, D. De Winter, M.R.Perez*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **104**, 315, 1994.
6. *M.A.Pogodin, G.A.P.Franco, D.F.Lopes*, Astron. Astrophys., **438**, 239, 2005.
7. *C.Catala, E.Alecian, J.-F.Donati et al.*, Astron. Astrophys., **462**, 293, 2007.
8. *V.P.Grinin, A.N.Rostopchina*, Astron. Rep., **40**, 171, 1996.
9. *S.Hubrig, B.Stelzer, M.Schöller*, Astron. Astrophys., **502**, 283, 2009.
10. *J.A.Eisner, B.F.Lane, L.A.Hillenbrand et al.*, Astrophys. J., **613**, 1049, 2004.
11. *S.Hubrig, R.V.Yudin, M.Schöller et al.*, Astron. Astrophys., **446**, 1089, 2004.
12. *E.Alecian, C.Neiner, S.Mattis et al.*, Astron. Astrophys., **549**, L8, 2013.
13. *S.P.Järvinen, T.A.Carroll, S.Hubrig et al.*, Astron. Astrophys., **584**, 15, 2015.
14. *R.L.Kurucz*, CD-ROMs, 1992.
15. *M.A.Pogodin, J.A.Cahuasqui, N.A.Drake et al.*, ASP Conf. Ser., **494**, 175, 2015.
16. *M.A.Pogodin, S.Hubrig, R.V.Yudin et al.*, Astron. Nachr., **333**, 594, 2012.
17. *O.V.Kozlova, V.P.Grinin, G.A.Chuntonov*, Astrophysics, **46**, 265, 2003.
18. *V.P.Grinin, I.S.Potravnov, I.V.Ilyin, S.G.Shulman*, Astron. Lett., **41**, 407, 2015.
19. *S.G.Shulman*, Astrophysics, **58**, 258, 2015.