АСТРОФИЗИКА

TOM 49

МАЙ, 2006

ВЫПУСК 2

УДК: 524.337-56

СТРУКТУРА ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЕЙ ОКОЛОЗВЕЗДНЫХ ГАЗОВЫХ ОБОЛОЧЕК МОЛОДЫХ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД. І. ИЗОЛИРОВАННАЯ Ас-ЗВЕЗДА ХЕРБИГА WW Vul

О.В.КОЗЛОВА, Д.Н.ШАХОВСКОЙ, А.Н.РОСТОПЧИНА, И.Ю.АЛЕКСЕЕВ Поступила 23 ноября 2005 Принята к печати 17 февраля 2006

Представлены результаты одновременного спектрального и фотометрического мониторинга Ae-звезды Хербига WW Vul в окрестности линий На и резонансного дублета натрия Na I D. Показано, что спектральная переменность звезды в значительной мере обусловлена влиянием анизотропного дискового ветра, высокоскоростная компонента которого формируется во внутренней области аккрешионного диска. Околозвездный газ в основании ветра демонстрирует значительную переменность плотности и скорости, что хорошо согласуется с результатами моделирования аккреции и истечения у молодых звезд, управляемых магнитным полем звезды и/или диска. Анализ переменности параметров эмиссионной линии На показал также, что плотность газа во внутренней области аккреционного диска меняется на шкале времени более 10 лет.

1. Введение. Молодые звезды, еще не вышедшие на Главную последовательность, окружены протяженными газопылевыми оболочками. которые можно обнаружить по ИК-избыткам, связанным с излучением горячей околозвездной (CS) пыли. Внутренние области этих оболочек представляют собой аккреционные диски, над которыми расположена более высокоширотная область звездного ветра (см. работы [1-3]). Структура этих областей в общих чертах хорошо согласуется с результатами моделирования процесса магнитосферной аккреции [4-6] и наиболее полно исследована у маломассивных молодых звезд типа Т Тельца. Исследование внутренней структуры CS газовых оболочек молодых горячих звезд, или Ае/Ве звезд Хербига, до сих пор сталкивается с рядом проблем при попытке создать физическую модель процесса аккреции и истечения газа у этих звезд. В значительной мере это обусловлено отсутствием поверхностной магнитной активности у звезд спектральных классов А и В, что сильно затрудняет возможность математического моделирования этой задачи. Вот почему решение этой проблемы зависит в первую очередь от накопления наблюдательных данных и исследования свойств молодых горячих звезд.

В представленной работе приводятся результаты одновременных

29235735

Filter

15-15-69-0

спектральных и фотометрических наблюдений изолированной Ае-звезды Хербига WW Vul (Sp A3e) в области эмиссионной линии На и линий резонансного дублета натрия Na I D. WW Vul принадлежит к группе фотометрически активных молодых звезд (звезды типа UX Ori), околозвездные диски которых ориентированы с ребра или под небольшими углами по отношению к наблюдателю, в результате чего околозвездные пылевые облака могут время от времени пересекать луч зрения и вызывать затмение звезды. Это обуславливает присутствие у звезд типа UX Ori признаков нестационарной газовой аккреции в спектрах и существование связи между спектральной и фотометрической переменностью (подробно эти свойства описаны в работах [7-9]).

Полученные результаты позволили сопоставить фотометрическую и спектральную переменность WW Vul на шкале времени около 10 лет и исследовать наблюдаемые свойства и структуру ее околозвездной газовой оболочки.

2. Наблюдения. Спектральные наблюдения проводились в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) на 2.6-м телескопе в период с 1993 по 2003гг. Все спектры получены в фокусе Куде на 2.6-м телескопе КрАО (ЗТШ), оснащенном ПЗС-камерой. Спектральное разрешение менялось от 0.4 до 0.8 Å. Всего было получено 37 спектров в области эмиссионной линии На и 19 спектров в области линий резонансного дублета натрия. Данные о датах наблюдений, отношении сигнала к шуму в континууме S/N и эквивалентной ширине EW(Ha) приведены в табл.1.

Одновременно со спектральными наблюдениями на 1.25-м телескопе КрАО АЗТ-11 проводилась оценка блеска WW Vul с помощью UBVRIфотометра-поляриметра [10]. Средняя ошибка в полосе U составила 0^{°°}.04. Блеск звезды в полосе V приведен в табл.1 (значения, когда оценка блеска делалась не в ночь наблюдений, а в соседние с ней даты, отмечены звездочкой).

Обработка спектров (вычитание фона неба, удаление следов космических частиц, приведение к уровню непрерывного спектра и коррекция за линии поглощения земной атмосферы) выполнялась с помощью пакета программ SPE, разработанного С.Г.Сергеевым и используемого в КрАО. При определении эквивалентной ширины проводилось вычитание фотосферного профиля, который рассчитывался с помощью программы SYNTH Пискунова [11] и Венской базы атомных линий VALD [12]. При расчете были приняты следующие параметры: $T_{s\phi\phi} = 8500$ K, log g = 3.5, $V\sin i = 150$ км/с (см. [9]). Результирующая ошибка определения *EW* для большинства спектров составила около 1 Å, ошибки определения лучевых скоростей - около

10 км/с, для интенсивности эмиссионных компонент линии Нα ошибка не превышала 0.1.

Таблица 1

ДАННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ WW Vul

Дата	V	Спектр. область	S/N	EW(Ha)	Спектр. разрешение
1	2	3	4	5	6
13.07.93	10".66	Ηα	14	22.8	0.6
15.07.93	10.68	Ηα	12	20.5	0.6
		Na I D	38		0.6
23.08.93	10.71	Ηα	17	21.2	0.8
27.08.93	10.83	Ηα	17	17.3	0.6
8.10.93	10.65	Na I D	42		0.6
9.10.93	10.65*	Ηα	30	19.3	0.6
10.10.93	10.65	Ηα	35	23.0	0.6
10.06.04		NaID	48	20.0	0.6
17.06.94	-	Ηα	18	20.0	0.3
30.06.94	-	Ηα	20	22.3	0.4
1.10.94	10.62	NaID	25	1 12.3-2.5	0.3
2.10.94	10.64	NaID	24		0.3
3.10.94	11.09	NAID	23	12.1	0.3
29.08.95	10.80	Ηα	30	13.1	0.4
16.06.06		Na I D	30	17.0	0.4
10.00.90	-		15	17.0	0.0
10 06 06	10.46	Na I D	21	15.0	0.4
14.09.06	10.40	Ha	31	17.0	0.0
14.08.90	10.55	Na L D	75	17.7	0.0
19 09 06	10.51	Halb	31	16.7	0.0
27 07 08	10.51	Ha	30	· 12.2	0.0
21.01.70	10.55	NeLD	40	12.2	0.4
20.08.08	10.72	Ha I D.	29	19.4	0.4
21.08.98	10.72	Ha	28	19.1	0.4
21.00.70	10.70	NaLD	28		0.4
22 08 98	10.63	Ha	40	16.5	0.4
22.00.70	10.05	NaID	84	1010	0.4
24.08.98	10.68	Ha	35	16.1	0.4
21.00.70	10.00	NaID	70		0,4
13.04.99	10.65	Ha	32	16.0	0.4
20.0	10.05	Na I D	50		0.4
20.08.99	10.57	Ha	35	17.0	0.4
11.09.99	10.61	Ηα	28	14.6	0.4
18.09.01	10.38"	Ηα	24	17.7	0.4
05.07.02	10.47	Ηα	29	18.7	0.4
06.07.02	10.51	Ηα	63	19.1	0.4
07.07.02	10.49	Ηα	52	17.9	0.4
		Na I D	43		0.4
24.08.02	10.38	Ha	23	19.9	0.4
		Na I D	39		0.4
	1				and the second

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6
26.08.02	10.38'	Ηα	36	17.1	0.4
		Na I D	40		0.4
27.08.02	10.38	Ηα	37	19.7	0.4
		Na I D	43		0.4
29.08.02	10.38"	Ηα	48	23.8	0.4
01.09.02	10.4*	Ηα	40	19.3	0.4
		Na I D	37		0.4
02.11.02	10.60	Ηα	26	15.7	0.4
27.04.03	10.60"	Ηα	43	18.7	0.4
23.05.03	-	Ηα	28	14.8	0.4
08.06.03	10.90	Ηα	22	18.4	0.4
20.06.03	10.86	Ηα	18	17.3	0.4
17.08.03	10.33	Ηα	19	15.2	0.4
19.08.03	10.81	Ηα	51	15.2	0.4

Результаты были также дополнены данными, полученными на Nordic Optical Telescope (NOT) [9] и обработанными по той же схеме.

3. Результаты наблюдений.

3.1. Линия На. Наиболее полное исследование переменности профилей этой линии в зависимости от состояния блеска звезды, включая глубокие минимумы, было проведено Колотиловым в [13]. Им было показано, что эмиссия в линии На у WW Vul всегда имеет 2-х компонентный профиль и сильно переменна, в результате чего при



Рис.1. Профили эмиссионной линии На, наблюдаемые в спектре WW Vul.

околозвездные газовые оболочки. І

значительных ослаблениях блеска эквивалентная ширина эмиссии увеличивается, а поток падает. Характер эмиссионного профиля указывает на истечение вещества (а не аккрецию, как в случае других звезд типа UX Ori). Это хорошо видно на рис.1, где показаны все наблюдавшиеся спектры WW Vul (предварительно из них был вычтен фотосферный профиль звезды). Для удобства они наложены друг на друга и сглажены, шкала лучевых скоростей приведена в систему координат звезды, где за лучевую скорость WW Vul принята лучевая скорость межзвездной линии резонансного дублета натрия (определение лучевых скоростей по фотосферным линиям из-за больших значений величины vsini может



Рис.2. Пример определения лучевых скоростей синего V (На) и красного V (На) эмиссионных компонент эмиссионной линии На (рис.2а) и лучевых скоростей синей V (Na) и красной V (Na) границ CS абсорбционных компонент линий резонансного дублета натрия (рис.2b).

175

привести к значительным ошибкам, а использование межзвездных линий резонансного дублета натрия, как показано в [14], обеспечивает хорошее согласие с лучевой скоростью, определенной по фотосферным линиям, не превышающее 5 км/с).

Как видно из рисунка, линия Н α имеет 2-х компонентный эмиссионный профиль с центральной абсорбцией, параметры которой меняются от ночи к ночи. Отношение интенсивностей синего (V) и красного (R) компонент в 80% полученных спектров оказывается меньше единицы и характерно для истечения вещества.

Связь наблюдаемой переменности профиля На с изменением блеска звезды. Из табл.1 видно, что полученные профили соответствуют разным уровням блеска. И хотя диапазон его изменения за все время наблюдений оказался невелик (с добавлением спектров, полученных на NOT, он составляет 0^m.82 в полосе V), представляет интерес исследование связи наблюдаемой переменности профиля с изменением



Рис.3а. Зависимость от блеска в полосе *R* выбранных параметров эмиссионной линии На : интенсивностей синего и красного эмиссионных компонент *I* и *I* и значения их лучевых скоростей *V* и *V* (черные кружки). Открытыми кружками отмечены данные [9]. Звездочками обозначены точки, фотометрия для которых была получена в соседние ночи.

блеска звезды. С этой целью были выбраны несколько параметров: интенсивности синего (I_{bbas}) и красного (I_{red}) эмиссионных компонент, их лучевые скорости $(V_{bbas}$ и $V_{red})$, лучевая скорость центральной абсорбции (V_{abs}) , ее интенсивность (I_{abs}) , а также эквивалентная ширина эмиссии (EW) и поток в линии (F), который рассчитывался исходя из значений блеска в полосе R (эта же полоса использовалась при построении зависимости перечисленных параметров от блеска звезды). Лучевые скорости эмиссионных компонент определялись по положению бисектора эмиссионного компонента, на 0.1 ниже максимального значения интенсивности I_{abs} и I_{red} (см. рис.2а).

Все полученные зависимости показаны на рис.За и 3b. Они показывают, что связь между спектральной переменностью и блеском выражена достаточно слабо. Некоторые величины, такие как I_{blue} , вообще не зависят от уровня фотометрической активности звезды. В определен-



Рис.3b. Зависимость от блеска в полосе R выбранных параметров эмиссионной линии На : интенсивности центральной абсорбции I_{abs} , лучевой скорости центральной абсорбции V_{abs} , эквивалентной ширины эмиссии EW и потока в линии F (черные кружки). Открытыми кружками отмечены данные [9]. Звездочками обозначены точки, фотометрия для которых была получена в соседние ночи. ной мере это может быть обусловлено небольшим диапазоном изменения блеска, однако полностью объяснить этим фактом полученные результаты нельзя. Кроме того, из рисунков видно, что некоторые величины, такие как V_{abs} и V_{bbs} , показывают разный характер зависимости при $m_R < 10^{\circ}.2$ и при $m_R > 10^{\circ}.2$ (коэффициент корреляции для V_{abs} составляет 0.84 ± 0.18 и -0.15 ± 0.15 соответственно, достоверность результата вблизи максимума превышает 99%): вблизи максимума блеска наблюдается увеличение скорости истечения газа.

В результате этого в максимуме блеска происходит смещение центральной абсорбции в синюю область, а сама абсорбция становится шире. Это хорошо видно на рис.4, где приведены результаты усреднения спектров звезды, сделанные с интервалом 0^m.2 Они показывают, что



Рис.4. Пример изменения профилей эмиссионной линии Нα от состояния блеска звезды. Тонкой линией показаны профили в наиболее ярком состоянии блеска (блеск в полосе *R* менялся от 10^m.0 до 10^m.2), толстой - при ослаблении до 10^m.2-10^m.4 и точками - спектры, соответствующие блеску от 10^m.4 до 10^m.6.

в максимуме блеска усредненный эмиссионный профиль указывает на истечение газа со скоростями –40 км/с и более, а при ослаблении блеска тип профиля становится характерным для вращающихся кеплеровских дисков.

Как известно, связь между переменностью параметров эмиссии Hα и блеском у звезд типа UX Ori обусловлена ориентацией их CS-дисков относительно наблюдателя и является характерной чертой спектральной переменности этих звезд (см. работы [1,7-9,13,15]). Это вызвано тем, что при ослаблении блеска уровень континуума звезды уменьшается, а относительный вклад CS-эмиссии растет, так что в моменты минимумов значения эквивалентной ширины и интенсивности увеличиваются, а в максимуме блеска они минимальны. На рис.3 этого не наблюдается.

Характер многолетней переменности эмиссионной линии $H\alpha$. Значительная фотометрическая активность звезд типа UX Огі обычно не позволяет исследовать многолетнюю переменность в линии $H\alpha$. Однако в случае WW Vul диапазон фотометрической переменности, как отмечалось выше, оказался небольшим, а параметры эмиссии не показали значимой зависимости при ослаблении блеска. Это делает возможным рассмотрение поведения профиля на многолетней временной шкале.

На рис.5 показана зависимость некоторых параметров от JD. Для сравнения на рисунке показано поведение блеска звезды в полосе *R*. Хорошо видно, что интенсивность центральной абсорбции демонстрирует многолетний тренд с характерным временем, превышающим 10 лет. Это означает, что во внутренней области CS-диска плотность газа на луче зрения может меняться со временем. Аналогичный тренд заметен и в поведении *EW* и *F*, однако он искажен влиянием фотометрической





179

переменности звезды, в результате которой эти величины показали рост значений в момент максимума блеска, а *EW* - также и в момент минимума. Поскольку плотность газа в аккреционном диске обычно связана с темпом аккреции, полученные результаты могут указывать на изменение темпа аккреции на многолетней временной шкале.

3.2. Линии резонансного дублета натрия Na I D. Исследования WW Vul в области резонансного дублета Na I D впервые были проведены в КрАО в 1993г. (см. [16]). Они показали, что глубины и эквивалентные ширины CS абсорбционных компонент WW Vul оказываются систематически ниже, чем у остальных звезд типа UX Ori (см., например, работы [8,16]).

На рис.6 показаны все наблюдавшиеся профили линий Na I D. Для удобства они наложены друг на друга и сглажены, а лучевые скорости межзвездных компонент приняты за лучевую скорость звезды. Как видно из рисунка, линии дублета представляют собой бленду, состоящую из двух компонент (как показано в [9], расширенной вращением фотосферной линией можно пренебречь): узкой межзвездной абсорбции и смещенной в красную (либо в синюю) сторону переменной околозвездной компоненты.

Частота появления CS-компонент заметно отличается от сезона к сезону. Из-за больших перерывов в наблюдениях сложно сказать,



Рис.6. Профили линий резонансного дублета натрия Na ID, наблюдаемые в спектре WW Vul.

существует ли в этих изменениях какая-либо закономерность, однако можно отметить, что наиболее глубокие, смещенные в синюю сторону абсорбционные компоненты наблюдались в максимуме блеска звезды. Следует также отметить, что появление смещенных в синюю и красную сторону абсорбционных компонент показывает, что признаки ветра и аккреции в линиях натрия время от времени сменяют друг друга.

Анализируя характер смещенных в синюю и красную сторону абсорбционных компонент, показанных на рис.6, можно также отметить, что истекающий газ имеет неоднородную структуру, благодаря чему смещенные в синюю сторону абсорбционные компоненты демонстрируют быструю переменность, с характерным временем около суток и имеют систематически большую глубину по сравнению с компонентами, смещенными в красную сторону. Таким образом, колонковая плотность атомов нейтрального натрия в ветре может значительно превышать аналогичный параметр для вещества аккреционного диска.

Это позволяет нам в случае WW Vul говорить об анизотропном звездном ветре, формирующимся во внутренней области CS-газовой оболочки.

3.3. Связь между переменностью эмиссионной линии На и CS-компонентами линий резонансного дублета Na I D. Как известно, центральная абсорбция эмиссионной линии На формируется во внутренней области аккреционного диска, проецирующейся на диск звезды. Таким образом, лучевые скорости эмиссионных компонент На являются, фактически, границами центральной абсорбции и, следовательно, аналогичны синей и красной границам CS абсорбционных компонент линий резонансного дублета NaID. Исследование возможных взаимосвязей между переменностью этих линий может дать ответ на вопрос о том, насколько связаны друг с другом области их формирования. С этой целью были построены следующие зависимости: лучевых скоростей эмиссионных компонент V_{им}(Ha) и V_м(Ha) линии На друг от друга, синей V (Na) и красной V (Na) границ CS абсорбционных компонент линий NaID, а также $V_{\rm the}$ (H α) от $V_{\rm the}$ (Na) и V_(На) от V_(Na). Все они показаны на рис.7 (пример определения величин V_{ми}(Na) и V_м(Na) показан на рис.2b).

Как видно из показанных зависимостей, величины $V_{bhe}(Na)$ и $V_{bhe}(H\alpha)$, а также $V_{red}(Na)$ и $V_{red}(H\alpha)$ хорошо коррелируют друг с другом (коэффициенты корреляции составляют соответственно $r = 0.79 \pm 0.3$ и $r = 0.75 \pm 0.24$). Это означает, что области формирования CS абсорбционных компонент этих линий близки, хотя и не совпадают полностью. Обнаруживается и связь между переменностью самих границ абсорбционной линии натрия $V_{bhe}(Na)$ и $V_{red}(Na)$ ($r = 0.69 \pm 0.22$),

отражающая отмеченные выше сезонные изменения линий дублета. В линии Нα такой корреляции нет.





4. Характеристика звездного ветра WW Vul по данным наблюдений. Характер переменности эмиссионной линии Hα и смещенных в синюю сторону CS абсорбционных компонент линий резонансного дублета натрия показывает, что в случае WW Vul мы имеем дело с редким случаем, когда вещество аккреционного диска и истекающий околозвездный газ практически одновременно проецируются на диск звезды. При этом угол наклона диска к лучу зрения остается небольшим и позволяет наблюдать ослабления блеска, вызываемые пылевыми облаками. Это означает, что связь между спектральной и фотометрической переменностью WW Vul отражает структуру как аккреционного диска, так и звездного ветра.

Таким образом, мы можем сопоставить характер переменности, вызываемый ветром, с изменением блеска звезды и исследовать свойства истекающего CS-газа (следует заметить, что ни для других звезд типа UX Ori, ни для фотометрически спокойных Ае-звезд Хербига с признаками истечения вещества в спектрах это сделать невозможно).

Как уже упоминалось выше, у звезд типа UX Огі при ослаблении блеска происходит уменьшение глубины центральной абсорбции На и рост эквивалентной ширины эмиссии (в моменты наиболее глубоких минимумов центральная абсорбция полностью исчезает, и профиль становится однокомпонентным).

У WW Vul не было обнаружено связи между эквивалентной шириной и блеском. Зависимость интенсивности центральной абсорбции от фотометрической переменности звезды показала рост лишь верхней границы наблюдавшихся значений I_{abs} , тогда как нижняя граница оставалась практически неизменной. Это означает, что при экранировании звезды пылевым облаком на луче зрения может оставаться значительная часть CS-вещества, ответственного за формирование абсорбционного профиля линии. При этом параметры газа, проецирующегося на луч зрения, меняются на шкале времени от суток и более, что указывает на его сильную неоднородность.

В целом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что процесс истечения газа у WW Vul носит не постоянный характер, а происходит в некоторые активные фазы, во время которых резко усиливаются скорость и плотность истечения. В максимуме блеска вклад звездного ветра оказывается наиболее заметным. Это выражается в появлении глубоких, смещенных в синюю сторону абсорбционных компонент в линиях резонансного дублета натрия Na I D, а также увеличении лучевой скорости центральной абсорбции и синего эмиссионного компонента в линии Hα.

5. Обсуждение. Полученные результаты показали, что наклон околозвездного диска WW Vul относительно наблюдателя несколько больше, чем у остальных звезд типа UX Огі, в результате чего на луче зрения может наблюдаться как аккрецирующее вещество, так и звездный ветер. Это позволило сопоставить свойства истекающего газа с уровнем фотометрической активности звезды и сделать следующие выводы:

1. Звездный ветер WW Vul формируется в прилегающей к звезде области аккреционного диска, поэтому его вклад в спектральную переменность наиболее заметен в максимуме блеска, когда внутренние слои CS-диска оказываются наиболее открытыми для наблюдателя.

2. Параметры истечения, такие как скорость и плотность, показывают значительную переменность со временем. Это означает, что у звезды существуют фазы активности, во время которых ветер усиливается.

3. Плотность газа во внутренней области аккреционного диска оказывается переменной и показывает медленные изменения на шкале времени более 10 лет.

Эти результаты хорошо согласуются с данными по моделированию аккреции и истечения у молодых звезд, управляемых магнитным полем звезды и/или диска (см., например, работы [17,18]) и позволяют нам говорить об обнаружении у WW Vul переменного анизотропного дискового ветра.

Другим важным результатом является обнаружение изменения плотности околозвездного газа на шкале времени более 10 лет. Такая переменность может быть вызвана изменением темпа аккреции во внутренней области околозвездного диска.

Полученные результаты полностью аналогичны выводам, сделанным для фотометрически спокойной Ас-звезды Хербига HD 31648 с признаками истечения вещества в спектре [2,19], что позволяет рассматривать эту звезду как близкий аналог WW Vul, отличающийся от нее, фактически, только наклоном CS-диска к лучу зрения.

Авторы выражают искреннюю благодарность П.П.Петрову и М.А.Погодину за ценные замечания, сделанные при обсуждении работы. Работа выполнена при поддержке гранта INTAS 03-51-6311.

Крымская астрофизическая обсерватория, Украина, e-mail: oles@crao.crimea.ua

THE STRUCTURE OF INNER REGIONS OF CIRCUMSTELLAR ENVELOPES AROUND YOUNG HOT STARS. I. THE ISOLATED Ae HERBIG STAR WW Vul

O.V.KOZLOVA, D.N.SHAKHOVSKOI, A.N.ROSTOPCHINA, I.Yu.ALEKSEEV

The results of simultaneous long-term spectral and photometric monitoring of Herbig Ae star WW Vul in the region of emission H α line and the sodium resonance doublet Na I D are presented. It is shown that the spectral variability of the star is caused mainly by the anisotropic disk wind, high-velocity component of which is formed in the internal region of accretion disk. The circumstellar gas in footpoint of the wind shows the variability of the density and velocity, that is in good agreement with the results of modeling of an accretion and outflows around young stars controlled by the stellar and/or disk magnetic field. The analysis of H α emission parameters variability showed also the changing of gas density in the inner region of accretion disk on the time scale more than 10 years.

Key words: (stars:)circumstellar matter - individual:WW Vul

ЛИТЕРАТУРА

- 1. В.П.Гринин, А.Н.Ростопчина, Астрон. ж., 73, 194, 1996.
- 2. В.П.Гринин, О.В.Козлова, Г.А.Чунтонов, Астрофизика, 46, 265, 2003.
- 3. L.B.F.M. Waters, C. Waelkens, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 36, 233, 1998.
- 4. A.Konigl, Astrophys. J., 370, L.39, 1991.
- 5. F.Shu, J.Najita, E.Ostraiker et al., Astrophys. J., 429, 781, 1994.
- 6. L.Hartmann, R.Hewett, N.Calvet, Astrophys. J., 426, 669, 1994.
- 7. V.P.Grinin, P.S.The, D. de Winter, M.Giampapa et al., Astron. Astrophys., 292, 165, 1994.
- 8. О.В.Козлова, В.П.Гринин, А.Н.Ростопчина, Астрон. ж., 44, 36, 2000.
- 9. V.P.Grinin, O.V.Kozlova, A.Natta et al., Astron. Astrophys., 379, 482, 2001.
- 10. V. Piirola, Ann. Acad. Sci., 418, 61, 1975.
- 11. N.E. Piskunov, "Stellar Magnetism", eds. Yu.V.Glagolevskij, I.I.Romanyuk, Nauka, St. Petersburg, 1992, p.92.
- 12. F.Kupka, N.E.Piskunov, T.A.Ryabchikova et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 138, 119, 1999.
- 13. Е.А.Колотилов, Астрофизика, 13, 33, 1977.
- 14. U.Finkenzeller, I.Yankovich, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 57, 285, 1983.
- 15. V.P. Grinin, L.V. Tambovtseva, Astron. Astrophys., 293, 396, 1995.
- V.P.Grinin, O.V.Kozlova, P.S.The, A.N.Rostopchina, Astron. Astrophys., 309, 474, 1996.
- 17. A.P. Goodson, K.H. Böhm, R.M. Wingle, Astrophys. J., 524, 142, 1999.
- 18. A.P. Goodson, R.M. Wingle, Astrophys. J., 524, 159, 1999.
- 19. О.В.Козлова, Астрофизика, 49, 81, 2006.