

## ОБНАРУЖЕНИЕ ОКОЛОЗВЕЗДНОГО ГАЗА В ОКРЕСТНОСТЯХ RZ Psc

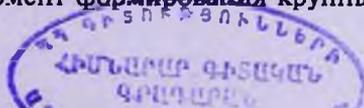
И.С.ПОТРАВНОВ<sup>1,2</sup>, В.П.ГРИНИН<sup>1,2</sup>, И.В.ИЛЬИН<sup>3</sup>

Поступила 20 сентября 2013

Получены первые свидетельства существования околозвездного газа в ближайшей окрестности звезды типа UX Ori RZ Psc: в спектрах, полученных на обсерваториях Терскол, CAO и Nordic Optical Telescope (NOT), обнаружена сильная переменность линий дублета натрия, свидетельствующая о спорадическом истечении вещества. Слабая переменность наблюдалась также в ядре линии Na. Нетривиальная особенность этой находки состоит в том, что RZ Psc имеет спектральный класс K0 IV. Это означает, что у звезды нет собственных энергетических ресурсов для создания наблюдаемого истечения вещества. В спектре звезды нет также никаких эмиссионных линий, которые указывали бы на процесс выпадения вещества на звезду, что позволило бы связать наблюдаемое истечение с процессом аккреции. Мы предполагаем, тем не менее, что выбросы газа связаны с остаточной (влетокущей) аккрецией и вызваны действием пропеллерного механизма. Последнее возможно при наличии на звезде достаточно сильного (порядка  $10^3$  Гс) магнитного поля.

Ключевые слова: *звезды: RZ Psc: околозвездный газ*

1. *Введение.* Согласно современным представлениям об эволюции околозвездных дисков (см. обзоры [1,2]) в течение первых 10 млн лет (далее по тексту Myr) их существования происходит эволюция от оптически толстого протопланетного диска, богатого газом и субмикронной пылью, к оптически тонкому остаточному (debris) диску, состоящему из крупных частиц, планетозималей и планет. В ходе этого процесса происходит очищение внутренней части протопланетного диска ( $\leq 1$  а.е.) от пыли и газа. Образуется, так называемый, переходный (transitional) диск, который затем трансформируется в debris диск. В результате аккреция околозвездного газа постепенно затухает. Если говорить о молодых звездах солнечной массы, то в т.н. "аккреционной классификации" происходит переход от классических звезд T Тельца (CTTS) к WTTS, не демонстрирующим признаков аккреции. Авторы работы [3] не обнаружили звезд поздних спектральных классов с заметным темпом аккреции ( $> 10^{-11} M_{\odot}^{-1}$ ) и возрастом более 10 Myr, что говорит об отсутствии газа во внутренних областях диска на этих стадиях эволюции. Однако после этого сохраняется возможность поставки газа в ближайшие околозвездные окрестности за счет перевода комет на сильно эксцентричные орбиты в результате развивающейся неустойчивости диска в момент формирования крупных



(диаметром  $\sim 1000$  км) планетозималей [4,5]. Широко изученная А звезда  $\beta$  Psc, окруженная debris диском возрастом около 12 Мут [6], демонстрирует спектральные признаки такой активности. Быстрая переменность от ночи к ночи и появления дополнительных абсорбционных компонентов в резонансных линиях H и K CaII, NaI D ассоциируются с испарением тел, спорадически появляющихся в ближайших окрестностях звезды [7-9]. В последнее время подобная переменность в линии CaII K обнаружена и у ряда других звезд спектрального класса А с debris дисками [10]. Одна из звезд этой выборки: 49 Ceti принадлежит ассоциации возрастом 40 Мут [11]. Таким образом, возраст объектов, демонстрирующих признаки околосредного газа в дисках уже прошедших стадию протопланетного, лежит в довольно широких временных рамках.

Звезда RZ Psc принадлежит спектральному типу K0 IV [12] и демонстрирует фотометрическую активность, позволяющую отнести ее к подклассу молодых звезд типа UX Ori (см. например [13,14]). В то же время, звезда не имеет явных признаков молодости, таких как инфракрасный избыток в ближней инфракрасной области [15] и эмиссия в линии H $\alpha$  [12,16]. RZ Psc находится на галактической широте  $b = -35^\circ$ , вдали от областей интенсивного звездообразования. Однако в спектре звезды нами была обнаружена достаточно интенсивная линия лития LiI 6708 Å, что позволило грубо оценить возраст звезды 10-70 Мут [17]. Более точную оценку дал анализ кинематического возраста RZ Psc на основе данных о собственном движении звезды из каталога Tycho-2 и лучевой скорости  $V_r$ , измеренной нами по спектру с обсерватории Терскол [18]. Согласно этой оценке возраст RZ Psc составляет  $25 \pm 5$  Мут. Диск, окружающий звезду, уже прошел стадию протопланетного диска. В статье [19] на основе данных каталогов ИК наблюдений (WISE, AKARI, IRAS) мы нашли у звезды инфракрасный избыток на длинах волн  $\lambda \geq 5$  мкм, который позволил оценить температуру пыли, ответственной за его появление, в 500 К. Таким образом, из условия теплового баланса радиус внутренней полости составляет  $\sim 0.7$  а.е. Возможной причиной ее появления может быть наличие субзвездного компонента или планетной системы, находящейся на этом расстоянии от звезды.

По своим характеристикам: возраст, отсутствие явных признаков аккреции, внутренняя полость - околосредный диск RZ Psc похож на диск 49 Ceti. Поэтому, поиски спектроскопических признаков существования околосредного газа особенно актуальны ввиду того, что RZ Psc является звездой типа UX Ori, причем самым холодным представителем этого семейства.

**2. Наблюдения.** Спектры, рассматриваемые в этой статье, получены в течение четырех наблюдательных сезонов на обсерваториях Терскол, CAO и Nordic Optical Telescope. Всего получено 8 эшелных спектров с

помощью спектрографа MMCS на 2-м телескопе обсерватории Терскол. Один длинношелевой спектр звезды получен в CAO на 6-м телескопе БТА со спектрографом ОЗСП. Еще один спектр RZ Psc получен одним из авторов статьи (И.В. Ильиным) в августе 2013г. на 2.5-м телескопе NOT (Nordic Optical Telescope) с помощью эшельного спектрографа FIES. Спектры, полученные на Терсколе и в CAO, имеют спектральное разрешение  $R = 13500$ , спектр, полученный с помощью NOT, имеет спектральное разрешение  $R = 46000$ . В табл.1 приведен краткий журнал наблюдений. Стандартная процедура обработки производилась в пакете IRAF. Все спектры приведены в систему координат, связанную со звездой.

Параллельно спектральным наблюдениям в сентябре 2012г. М.В.Андреевым на телескопе Цейсс-600 обсерватории Терскол была получена BV фотометрия RZ Psc. С августа по октябрь 2012г. фотометрические BVR наблюдения проводились Н.Х.Миникуловым на обсерватории Санглок.

Таблица 1

## ЖУРНАЛ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ RZ Psc

Дата	JD	Обсерватория	Спектрограф	Разрешение ( $R$ )
09.11.2009	2455144.33	Терскол	MMCS	13500
12.11.2010	2455513.24	Терскол	MMCS	13500
13.11.2010	2455514.19	Терскол	MMCS	13500
25.09.2012	2456195.44	Терскол	MMCS	13500
26.09.2012	2456196.39	Терскол	MMCS	13500
28.09.2012	2456199.26	Терскол	MMCS	13500
30.09.2012	2456200.33	Терскол	MMCS	13500
01.10.2012	2456201.41	Терскол	MMCS	13500
23.10.2012	2456224.24	CAO	ОЗСП	13500
19.08.2013	2456523.72	NOT	FIES	46000

3. *Результаты.* На рис.1 представлены профили дублета NaI в 9 спектрах, полученных на Терсколе и в CAO. Видно, что линии дублета сильно переменны. Симметричные профили наблюдались только в четыре даты: 12 и 13.11.2010, 25.09.2012 и 23.10.2012. При этом варьируются как ширина, так и глубина линий. В остальные даты в спектрах видна дополнительная абсорбция, смещенная в синюю сторону. На спектрах, полученных 09.11.2009 и 26.09.2012 эта абсорбция становится отчетливо отделимым компонентом. Это хорошо видно на рис.2, где эти спектры показаны в сравнении со спектром, полученным на БТА 23.10.2012.

В спектре, полученном 26.09.2012, линии дублета натрия имеют наибольшую глубину по сравнению с наблюдаемыми в другие даты. Сильный дополнительный компонент линий, смещенный в синюю сторону, отсутствовал в предыдущую ночь и перестал быть отчетливо отделимым

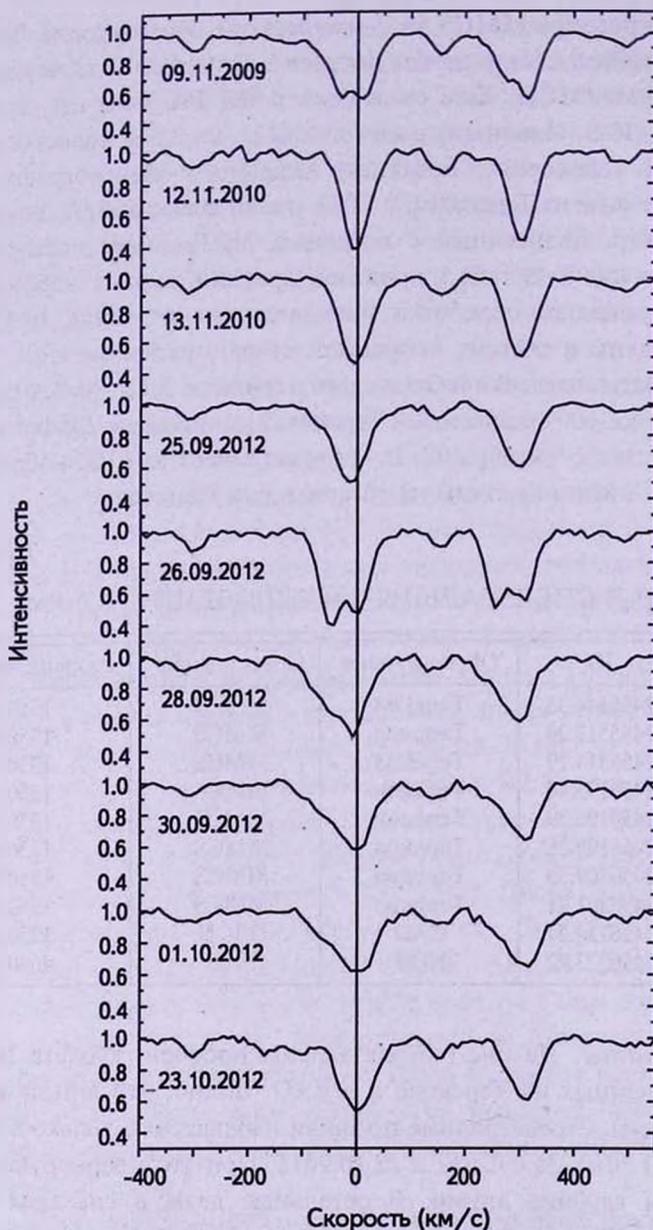


Рис.1. Линии дублета натрия в спектре RZ Psc по наблюдениям с Терскола и САО.

в последующие. Согласно рис.3 в эту ночь звезда находилась в относительно неглубоком ( $\Delta V \sim 0^m.5$ ) минимуме. Этот результат можно объяснить появлением на луче зрения облака, состоящего из пыли и газа. Излучение звезды, прошедшее сквозь это облако, испытало поглощение как в континууме, так и частотах линий натрия. Поскольку дополнительное

поглощение наблюдалось в основном на частотах, смещенных в синюю сторону, то из этого следует, что облако двигалось по направлению к наблюдателю со скоростью около 50 км/с.

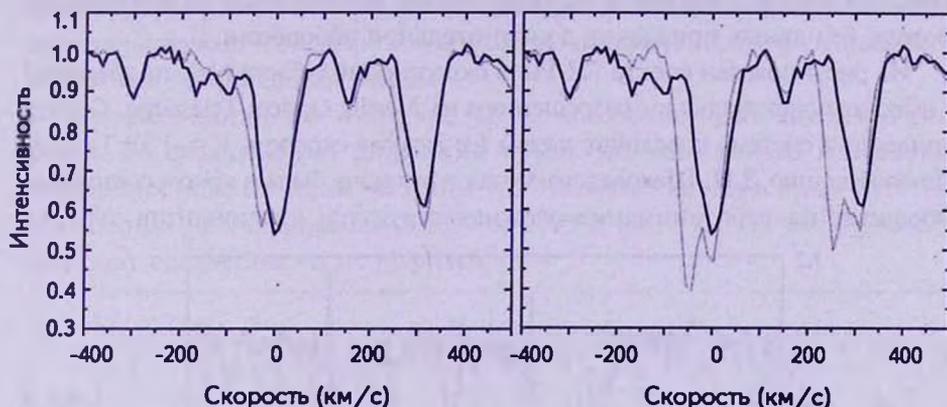


Рис.2. Линии дублета натрия в спектре RZ Psc по данным БТА и Терскола. Спектр с БТА 23.10.2012 показан сплошной линией. Пунктиром показаны спектры с Терскола: 09.11.2009 на левой панели, 26.09.2012 на правой.

Следует отметить, что дополнительная абсорбция в синем крыле линий натрия видна также и на последующих трех спектрах, вплоть до 01.10.2012, хотя по данным фотометрических наблюдений звезда находилась в эти ночи вблизи яркого состояния. Поэтому на основании сделанных наблюдений нельзя с твердой уверенностью говорить о наличии связи между спектральной и фотометрической переменностью звезды.

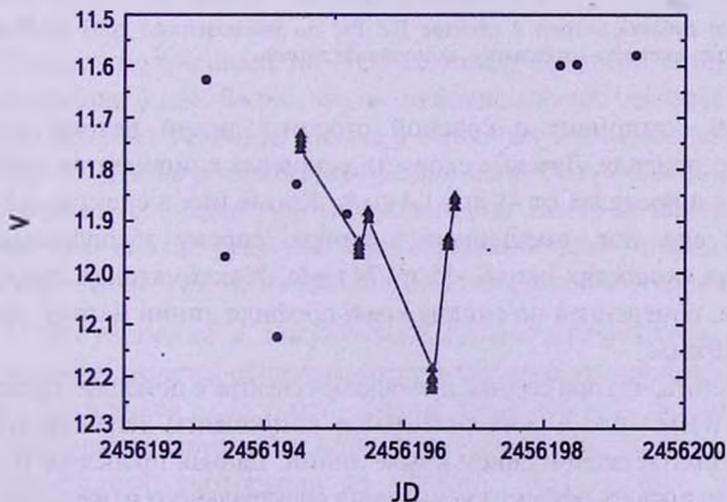


Рис.3. Кривая блеска RZ Psc в полосе V. Кружками показаны наблюдения, выполненные Н.Х.Миникуловым на Санглоке, треугольниками, соединенными линией, обсуждаемый минимум по данным М.В.Андреева с Терскола.

Еще одна оценка блеска была сделана на Санглоке в ночь 23.10.2012, когда проводились наблюдения на БТА. Она показала, что звезда в ту ночь находилась в ярком состоянии ( $V=11^m.67$ ). Из рис.2 видно, что профили дублета натрия в ту ночь имели практически симметричную форму, без явных признаков дополнительной абсорбции.

На рис.4 показан спектр RZ Psc в окрестности дублета NaI, полученный с высоким спектральным разрешением на Nordic Optical Telescope. Спектр приведен в систему координат звезды (ее лучевая скорость  $V_r = -1.5 \pm 1$  км/с). По сообщению Д.Н. Шаховского звезда в эту ночь была в ярком состоянии. Обращает на себя внимание сложная структура компонентов дублета.

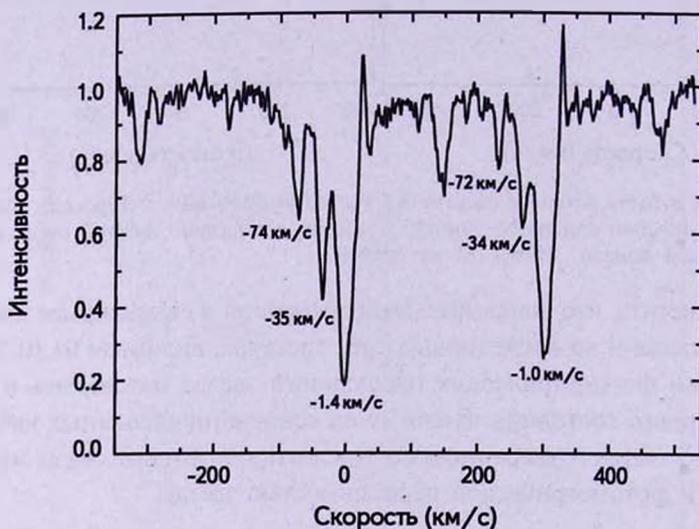


Рис.4. Линии дублета натрия в спектре RZ Psc по наблюдениям NOT 19.08.2013. Отмечены лучевые скорости отдельных компонент линий.

Эмиссионный компонент с красной стороны линий натрия имеет теллурическую природу. Лучевые скорости основных компонентов дублета NaI находятся в пределах от  $-1$  до  $-1.4$  км/с. Кроме них в спектре звезды присутствуют еще два, смещенных в синюю сторону абсорбционных компонента на скоростях около  $-35$  и  $-74$  км/с. Максимальная скорость движения газа, измеренная по синему краю профиля линии натрия, равна примерно  $-120$  км/с.

Важно отметить, что при свертке имеющегося спектра с помощью гауссианы с шириной  $\text{FWHM} = 0.55 \text{ \AA}$  дополнительные компоненты деградируют до слабо различимых деталей в синем крыле линий. Данная процедура имела целью промоделировать эффект уменьшения спектрального разрешения до схожего со спектрами, полученными на Терсколе и на БТА. Результат свертки показал, что истинная картина переменности в линиях дублета NaI,

полученная с помощью этих телескопов, имеет более сложный характер и замывается из-за невысокого спектрального разрешения. Таким образом, спектр, полученный на Nordical Optical Telescope, в наиболее яркой форме демонстрирует истинный характер спектральной переменности RZ Psc, свидетельствующей о сложной (возможно, дискретной) природе выбросов вещества из окрестности звезды.

Профиль линии  $H\alpha$  в спектре RZ Psc абсорбционный, симметричной формы со сравнительно широкими крыльями. Для поиска возможной переменности нами были выбраны три наиболее качественных спектра, полученных на Терсколе 09.11.2009, в CAO и на NOT. На рис.5 показан результат сравнения этих профилей.

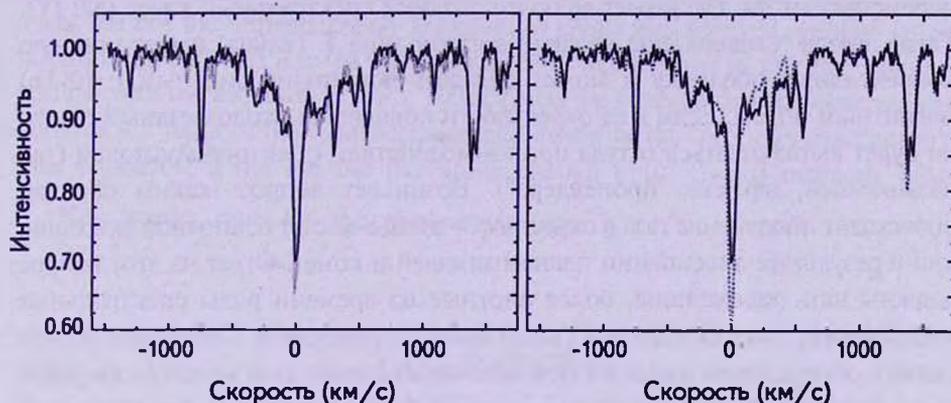


Рис.5. Линия  $H\alpha$  в спектре RZ Psc по данным БТА (левая панель, пунктир) и сглаженным данным с NOT (правая панель, пунктир) в сравнении с профилем, полученным на Терсколе 09.11.2009 (сплошная линия).

Спектр, полученный на NOT, сглажен сверткой с гауссианой, как было описано выше. Видно, что он довольно хорошо совпадает со спектром, полученным на Терсколе. Так же в основных чертах совпадают и крылья линии  $H\alpha$ . Незначительные изменения могут быть следствием неточности нормировки спектров. Однако изменения глубины центральной части линии  $H\alpha$  вполне реальны. Они свидетельствуют о существовании на поверхности звезды активных областей или слабых аккреционных пятен.

**4. Обсуждение и заключение.** Главным результатом проведенных наблюдений является обнаружение спектроскопических признаков наличия газа в ближайшей окрестности звезды. Переменность резонансных линий натрия свидетельствует о движении вещества на луче зрения по направлению к наблюдателю скоростями до 120 км/с. На спектрах, полученных в сентябре 2012г. отчетливо видна переменность в линии натрия от ночи к ночи, свидетельствующая о динамически нестабильном состоянии газа в окрестности звезды. Явных признаков выпадения вещества на звезду не

обнаружено, но замечена слабая переменность в ядре линии  $H\alpha$ . Она свидетельствует о существовании на поверхности звезды небольшого горячего пятна или активной области, в которых образуется узкая, переменная эмиссия в этой линии.

В целом спектральная переменность RZ Psc сильно контрастирует с той картиной, которая наблюдается у звезд с debris дисками. В их спектрах наблюдаются короткоживущие, смещенные в красную сторону, абсорбционные компоненты в резонансных линиях Ca II, появление которых объясняют испарением комет, движущихся по сильно вытянутым (star-grazing) орбитам [10,20].

Мы предполагаем, что ключевую роль в объяснении спектральной переменности RZ Psc играет ее более поздний спектральный класс (K0 IV). Такая звезда (бывшая еще недавно звездой типа T Тельца) имеет мощную конвективную оболочку и может обладать достаточно сильным ( $\sim 10^3$  Гс) магнитным полем. Если в ее окрестности появляется околосредний газ, то он будет выталкиваться отсюда при взаимодействии с магнитным полем (так называемый, эффект "пропеллера"). Возникает вопрос: каким образом происходит пополнение газа в окрестности звезды: за счет остаточной аккреции, или в результате диссипации планетозималей и комет. Ответ на этот вопрос должны дать дальнейшие, более плотные во времени ряды спектральных наблюдений, сопровождаемые синхронной фотометрией. Сейчас мы можем сказать определенно лишь то, что источником этого газа является пылевой пояс, находящийся на расстоянии около 0.7 а.е. от звезды и ответственный за инфракрасный избыток излучения с температурой 500 К [19].

Авторы выражают искреннюю благодарность М.В.Андрееву, Н.Х.Миникулову и Д.Н.Шаховскому за информацию о фотометрическом поведении RZ Psc во время спектральных наблюдений. Работа выполнена по программе Президиума РАН П 21 "Происхождение и эволюция объектов Вселенной" при поддержке гранта Федеральной Целевой Программы Министерства образования и науки РФ (соглашение 8417), и гранта НШ 1625.2012.2.

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Ст.-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Астрономический институт им. В.В.Соболева, Ст.-Петербургский Университет, Ст.-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Астрофизический институт им. Лейбница, Потсдам, Германия

OBSERVATIONS OF THE CIRCUMSTELLAR GAS IN  
THE NEIGHBOURHOOD OF RZ PscI.S.POTRAVNOV<sup>1,2</sup>, V.P.GRININ<sup>1,2</sup>, I.V.ILYIN<sup>3</sup>

The first evidence of the circumstellar gas presence around the UX Ori type star RZ Psc is obtained: the strong variability in the resonance lines of NaI doublet is observed on the spectra obtained at the Terskol, SAO and the Nordic Optical Telescope observatories. This variability arises as a result of the sporadic matter outflow. The weak variability was also observed in the core of the H $\alpha$  line. The main feature of this finding is that RZ Psc has the spectral type K0 IV. Such a star has not the intrinsic energy resources to create the observed outflow. It has not also any emission lines in the spectrum that would allow to link the observed outflow with the accretion process. Nevertheless we suppose that the observed gas outflows is a result of the weak accretion and driven by the "propeller mechanism". This is possible if the star has the strong enough ( $\sim 10^3$  Gauss) magnetic field.

Key words: *stars: RZ Psc: circumstellar gas*

## ЛИТЕРАТУРА

1. J.P.Williams, L.A.Cieza, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **49**, 67, 2011.
2. M.Wyatt, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **46**, 339, 2008.
3. D.Fedele, M.E. van den Ancker, Th.Henning, R.Jayawardhana, J.M.Oliveira, *Astron. Astrophys.*, **510**, 7, 2010.
4. S.J.Kenyon, B.C.Bromley, *Astrophys. J.*, **121**, 538, 2001.
5. M.Wyatt, R.Smith, K.Y.L.Su et al., *Astrophys. J.*, **663**, 365, 2007.
6. B.Zuckerman, I.Song, M.S.Bessell, R.A.Webb, *Astrophys. J.*, **562**, L87, 2001.
7. A.Vidal-Madjar, A.Lagrange-Henri; P.Feldman et al., *Astron. Astrophys.* **290**, 245, 1994.
8. A.M.Lagrange, H.Beust, D.Mouillet et al., *Astron. Astrophys.*, **330**, 1091, 1998.
9. A.Roberge, P.Feldman, A.Weinberger et al., *Nature*, **441**, 724, 2006.
10. S.L.Montgomery, B.Y.Welsh, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **124**, 920, 2012.
11. B.Zuckerman, I.Song, *Astrophys. J.*, **758**, 10, 2011.
12. G.H.Herbig, *Astrophys. J.*, **131**, 632, 1960.
13. Г.В.Зайцева, *Переменные звезды*, **22**, 181, 1985.
14. Д.Н.Шаховской, В.П.Гринин, А.Н.Ростопчина, *Астрон. ж.*, **47**, 580, 2003.
15. I.S.Glass, M.V.Penston, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **167**, 237, 1974.
16. Б.М.Каминский, Г.Ю.Ковальчук, А.Ф.Пугач, *Астрон. ж.*, **44**, 611, 2000.
17. V.P.Grinin, I.S.Potravnov, F.A.Musaev, *Astron. Astrophys.*, **524**, A8, 2010.
18. И.С.Потравнов, В.П.Гринин, *Письма в Астрон. ж.*, **39**, 861, 2013.
19. W.J. de Wit, V.P.Grinin, I.S.Potravnov et al., *Astron. Astrophys.*, **553**, 4, 2013.
20. P.Thebault, H.Beust, *Astron. Astrophys.*, **376**, 621, 2001.

