

УДК 524.33-86

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДЫ Ве ХЕРБИГА MWC 297 НА ВРЕМЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ 25 ЛЕТ

© 2013 г. О. Ю. Барсунова^{1*}, С. Ю. Мельников²,
В. П. Гринин^{1,3}, Н. А. Катыхева⁴, С. Ю. Шугаров^{4,5}

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Астрономический институт им. Улугбека
Академии наук Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

³ Астрономический институт им. В.В. Соболева
Санкт-Петербургского университета, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

⁵ Астрономический институт Академии наук Словакии, Татранска Ломница, Словакия

Поступила в редакцию 22.05.2012 г.; принята в печать 12.07.2012 г.

Изучается фотометрическое поведение молодой горячей звезды Ве Хербига MWC 297 на разных временных шкалах с использованием опубликованных данных, а также собственных наблюдений. Общая длина фотометрического ряда составляет около 25 лет. На этом временном интервале звезда демонстрирует малоамплитудную ($\Delta V \approx 0.3^m$) иррегулярную переменность блеска, модулированную крупномасштабным циклом с амплитудой около 0.2^m и периодом (или квазипериодом) 5.4 ± 0.1 года. Детальный анализ данных по сезонам показывает, что на кривой блеска MWC 297 наблюдаются фотометрические детали двух типов: малоамплитудные алголеподобные ослабления блеска с амплитудой около 0.2^m и малоамплитудные вспышки, напоминающие вспышки на звездах типа UV Кита, но более мощные и продолжительные. Изменения блеска звезды сопровождаются изменениями показателей цвета $B-V$ и $V-R$: с уменьшением блеска показатель цвета $B-V$ уменьшается, тогда как показатель цвета $V-R$ увеличивается (звезда краснеет). При этом закон покраснения близок к стандартному закону межзвездного покраснения. Хотя по своему характеру переменность блеска MWC 297 напоминает фотометрическую активность звезд типа UX Ori, обусловленную изменениями околосредной экстинкции, по своему масштабу она очень далека от того, что наблюдается у этих звезд. Такой уровень фотометрической активности сложно совместить с предположением, сделанным в работах некоторых авторов, о том, что MWC 297 наблюдается сквозь собственный газопылевой диск, ориентированный почти с ребра относительно направления на наблюдателя.

DOI: 10.7868/S0004629913020023

1. ВВЕДЕНИЕ

MWC 297 (NZ Ser, Sp = B1.5 [1]) принадлежит семейству молодых горячих звезд типа Ae/Be Хербига. Она имеет сильный инфракрасный (ИК) избыток излучения [2–4], свидетельствующий о наличии у звезды околосредного газопылевого диска, и мощный эмиссионный спектр (эквивалентная ширина линии $H\alpha$ составляет около 650 \AA [1]). По данным цитированных авторов, масса и радиус звезды равны соответственно $10M_{\odot}$ и $6R_{\odot}$, светимость — порядка $10^4 L_{\odot}$ (при расстоянии до звезды 250 пк). В последние годы MWC 297 интенсивно исследовали методами ИК-интерферометрии [5–7]

и спектро-интерферометрии в линии $B\gamma$ [8–10]. Это позволило оценить характерные размеры внутренней области околосредного диска, ответственной за излучение в ближней ИК-области спектра. Оказалось, что область образования эмиссии в линии $B\gamma$ в несколько раз больше области образования континуума в окрестности этой линии [8–10], имеющей характерный размер около 0.5 a.e.

По данным Вайгельта и др. [10], основанным на спектро-интерферометрических наблюдениях MWC 297 в линии $B\gamma$ с высоким спектральным разрешением, водородная эмиссия в спектре звезды образуется в дисковом ветре с большим углом раствора и с темпом истечения порядка $10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$. Согласно [1], MWC 297 имеет

*E-mail: monoceros@mail.ru

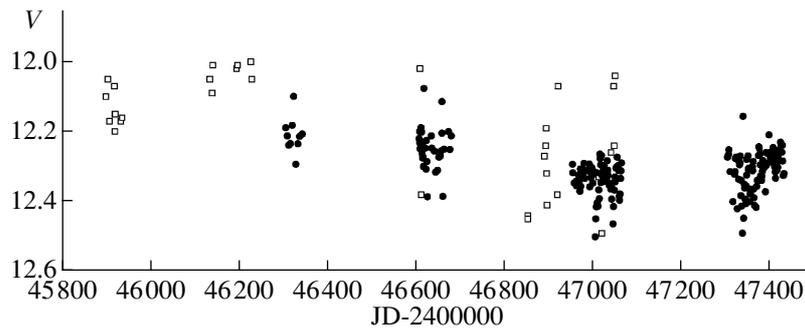


Рис. 1. Фрагмент кривой блеска MWC 297 в полосе V по данным Мельникова [14] (кружки) и данным Бергнера и др. [12] (квадратики).

большую скорость вращения — $v \sin i = 350 \pm \pm 50$ км/с, что примерно лишь в 1.3 раза меньше критической скорости вращения, при которой звезда теряет устойчивость и начинается истечение вещества с экватора. На этом основании Дрю и др. [1] заключили, что MWC 297 наблюдается почти с экватора. В пользу этого указывает также большое поглощение в направлении на звезду: $A_V \approx 8^m$ [1]. Это заключение, однако, было оспорено в статье Аке и др. [7]. Эти авторы привели аргументы в пользу того, что большое поглощение в направлении на звезду связано не с околозвездным диском, а с межзвездным пылевым облаком, находящимся между наблюдателем и звездой. Они показали также, что околозвездный диск наклонен относительно картинной плоскости на угол $i = 40^\circ \pm 10^\circ$. По данным [8, 10], полученным на основе спектро-интерферометрических наблюдений в линии Вγ, этот угол, возможно, еще меньше и составляет около 20° .

Таким образом, налицо явное противоречие между результатами Дрю и др. [1], согласно которым околозвездный диск MWC 297 ориентирован к наблюдателю почти с ребра, и более поздними наблюдениями Аке и др. [7], Малбет и др. [8], Вайгельта и др. [10], указывающими на сильный наклон диска относительно луча зрения. В связи с этим представляет интерес анализ фотометрического поведения звезды. Дело в том, что одним из основных механизмов переменности оптического блеска звезд Ae/Be Хербига является переменная околозвездная экстинкция, которая чувствительным образом зависит от угла наклона околозвездного диска относительно направления на наблюдателя [11]. В данной статье мы приводим результаты анализа имеющейся на сегодняшний день фотометрии MWC 297, основанной на опубликованных наблюдениях разных авторов и данных наших собственных наблюдений.

2. ОБЗОР ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ MWC 297

Первые наблюдения фотометрической активности MWC 297 [12] показали, что звезда малоактивна: ее блеск в визуальной области спектра меняется нерегулярным образом в пределах нескольких десятых зв. вел. (рис. 1). Более продолжительный фотометрический мониторинг MWC 297 (около 9 лет) был выполнен Шевченко и др. [13]. Они нашли в изменениях блеска звезды периодическую компоненту с периодом 12.5 дня, существование которой, однако, не было подтверждено последующими наблюдениями [14]. В работе Мельникова [14] было отмечено, что среднее значение блеска звезды медленно меняется на временной шкале порядка нескольких лет. Сейчас, благодаря фотометрическим данным, полученным в течение 9 лет с помощью телескопа-робота ASAS [15], появилась возможность провести анализ фотометрической активности звезды на значительно более широком временном интервале. С этой целью из каталога [15] были отобраны наблюдения только с пометками “best” и “good”.

Наблюдательный ряд ASAS был продолжен нашими наблюдениями, выполненными в полосах *UBV* в 2010–2012 гг. с помощью ПЗС-фотометров на 0.6-м телескопе “Цейсс-2” и 1.25-м телескопе ЗТЭ Крымской станции ГАИШ (наблюдатель — Н.А. Катышева) и с помощью 0.5-м телескопа G-1 Астрономического института Словацкой академии наук (наблюдатель — С.Ю. Шугаров). Наблюдения обработаны по стандартной методике обработки ПЗС-изображений и приведены к фотометрической системе Джонсона. С учетом этих данных продолжительность фотометрического ряда наблюдений MWC 297, используемого в данной статье, составляет около 25 лет.

Сравнительный анализ фотометрических наблюдений MWC 297, выполненных разными группами, показал (рис. 1–3), что наибольшую точность имеют наблюдения, проведенные на Май-

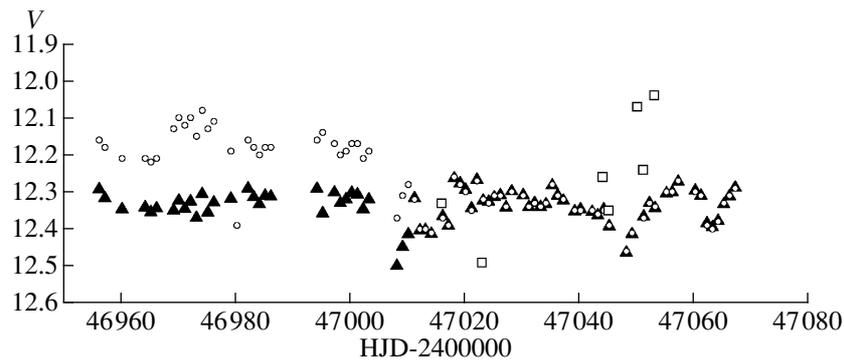


Рис. 2. Кривая блеска MWC 297 в полосе V по наблюдениям на Майданаке из работы Мельникова [14] (треугольники) и по данным из каталога Хербста [15] (кружки). Несколько наблюдений Бергнера и др. [12] из этого же каталога обозначены квадратами.

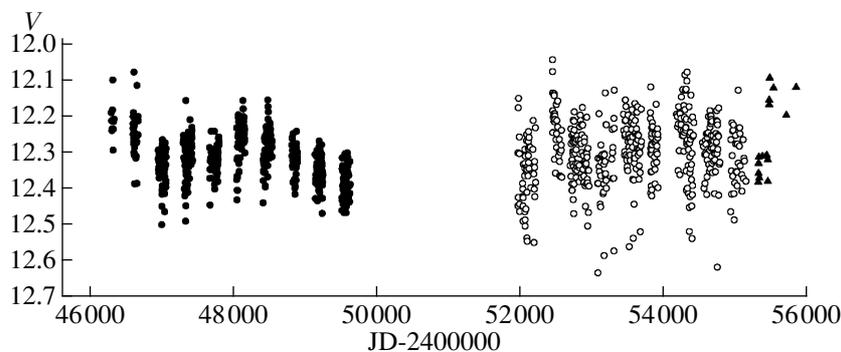


Рис. 3. Кривая блеска MWC 297 в полосе V : темные кружки — данные Мельникова [14], светлые кружки — данные ASAS, треугольники — наши наблюдения.

данаке и опубликованные в статье [14]. Они показывают наименьший разброс данных внутри отдельного наблюдательного сезона по сравнению с наблюдениями Бергнера и др. [12] (рис. 1) и данными ASAS (рис. 3). Средняя ошибка фотометрии Мельникова [14] в полосе V равна 0.02^m , тогда как точность наших наблюдений, данных Бергнера и др. [12] и ASAS — около 0.05^m . Поэтому ниже при анализе изменений показателей цвета были использованы только данные из статьи [14].

Исследование фотометрического каталога Хербста и Шевченко [16] не принесло дополнительной информации по MWC 297. Неожиданно выяснилось, однако, что наблюдения этой звезды, сделанные на Майданаке и находящиеся в этом каталоге, отличаются от результатов этих же наблюдений, опубликованных в статье [14]. На рис. 2 показан один из фрагментов кривой блеска MWC 297, на котором представлены данные из указанных выше двух источников. Видно, что на интервале $JD > 2447010$ данные из обоих источников совпадают, тогда как более ранние наблюдения расходятся на $0.1^m - 0.15^m$ в полосе V . Причиной расхождений является недостаточно

точная привязка первичного ряда наблюдений к стандартной системе Джонсона, которая впоследствии была скорректирована в статье [14] одним из авторов этих наблюдений.

3. ОСОБЕННОСТИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ MWC 297

На рис. 3 представлена кривая блеска MWC 297 в полосе V по данным [14, 15] и данным наших наблюдений. Видно, что блеск звезды меняется в небольших пределах ($\Delta V \approx 0.4^m$) как внутри отдельного наблюдательного сезона, так и на большой временной шкале. Последнее особенно хорошо видно на участке кривой блеска, построенном по данным [14]. Амплитуда медленных изменений блеска в полосе V составляет по этим данным около 0.2^m . Медленная компонента в изменениях блеска звезды почти не заметна на участке кривой блеска, построенном по данным ASAS. Мы предполагаем, что это обусловлено не очень высокой точностью этих наблюдений по сравнению с данными Майданака. Изучение фотометрического ряда MWC 297 из статьи [14] внутри

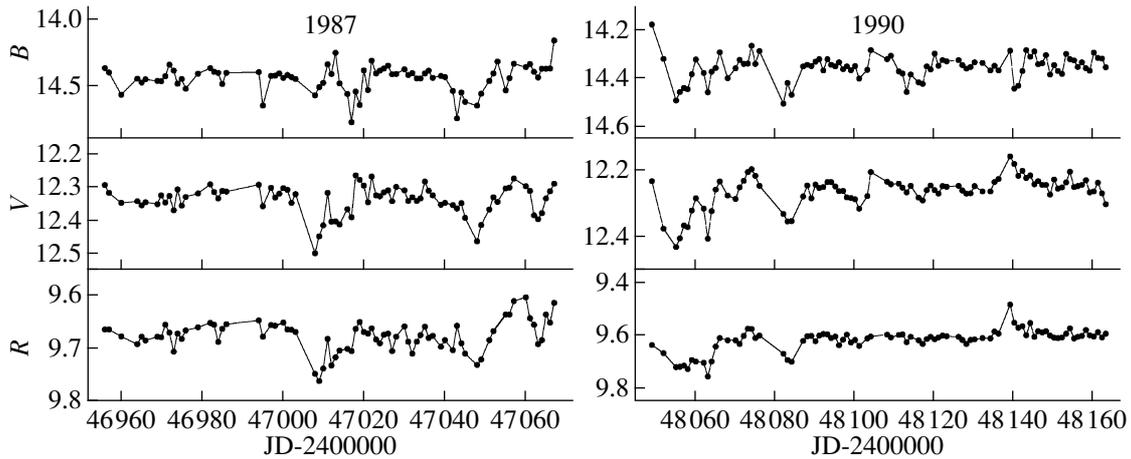


Рис. 4. Фрагменты кривой блеска MWC 297 в полосах B , V , R для двух наблюдательных сезонов: слева — 1987 г., справа — 1990 г.

отдельных наблюдательных сезонов показало, что кривая блеска звезды содержит ряд деталей, характерных как для вспыхивающих звезд, так и для звезд типа UX Ori. В качестве примера на рис. 4 показаны кривые блеска MWC 297 в двух наблюдательных сезонах. Мы видим на них алгоподобные минимумы с амплитудой около 0.2^m и продолжительностью несколько дней. Обращает также на себя внимание небольшая по амплитуде вспышка, наблюдавшаяся в полосах V и R в конце наблюдательного сезона 1990 г. (рис. 4). Она имеет крутой подъем и более пологий спад и напоминает (по форме кривой блеска) звездные вспышки, наблюдаемые на вспыхивающих звездах (см., например, [17]). Еще одно событие, похожее на вспышку, наблюдалось во время алгоподобного минимума вблизи $JD = 2447011$ (рис. 4).

3.1. Периодограммный анализ кривой блеска MWC 297

Используя метод Ломба—Скаргла, мы выполнили периодограммный анализ фотометрического ряда MWC 297. Максимальный пик на спектре мощности на рис. 5 соответствует значению периода $P = 5.4 \pm 0.1$ года. На этом же рисунке показана свертка фотометрического ряда с данным периодом.

Следует подчеркнуть, что найденный период поддерживается, в основном, фотометрическим рядом, опубликованным в статье [14] (рис. 3). Его продолжительность составляет около 10 лет, т.е. около двух периодов. На примерно таком же по продолжительности ряде наблюдений ASAS этот цикл почти не виден, возможно, из-за более низкой точности этих наблюдений. Поэтому вопрос о том, является ли период 5.4 года реальным периодом, или это квазипериод, остается пока открытым.

3.2. Диаграммы “цвет—величина”

На рис. 6 представлены диаграммы “цвет—величина” MWC 297, построенные по данным [14]. Видно, что между ослаблениями блеска в полосе V и изменениями показателя цвета $U-B$ никакой связи нет. Слабый эффект наблюдается на диаграмме $(B-V)/V$: ослабления блеска звезды сопровождаются небольшим уменьшением показателя цвета $B-V$ (звезда голубеет). Ранее такой же эффект был отмечен в статье де Вита и др. [18]. Такое поведение показателя цвета $B-V$ при изменениях блеска MWC 297 противоположно тому, что наблюдается у звезд типа UX Ori: во время минимумов блеска эти звезды сначала краснеют из-за селективного поглощения околозвездной пылью и лишь в самых глубоких минимумах этот эффект сменяется на эффект “поголубения”, вызванный усиливающимся вкладом рассеянного излучения протопланетного диска [11]. В случае же MWC 297 уменьшение показателя цвета $B-V$ наблюдается с самого начала. На основании этого де Вит и др. [18] предположили, что изменения оптического блеска звезды вызваны флуктуациями потока излучения горячего околозвездного газа, а не изменениями околозвездной экстинкции.

Диаграмма $(B-V)/V$ в статье указанных выше авторов не рассматривалась. Из рис. 6 видно, что эта диаграмма принципиально отличается от диаграммы $(B-V)/V$: показатель цвета $V-R$ увеличивается (звезда краснеет) при уменьшении блеска. Учитывая, что мощная линия $H\alpha$ в спектре MWC 297 попадает именно в полосу R , такое изменение показателя цвета $V-R$ можно было бы связать с усилением эмиссионного спектра звезды. Но тогда пришлось бы допустить, что усиление эмиссии в спектре MWC 297 сопровождается уменьшением ее блеска.

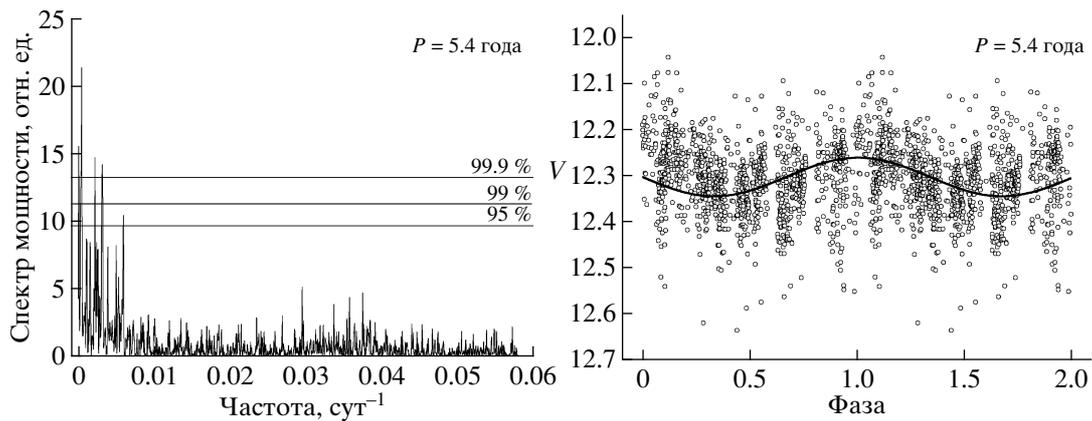


Рис. 5. Слева — периодограмма Ломба–Скаргла для общего фотометрического ряда MWC 297; справа — свертка фотометрического ряда в полосе V с периодом 5.4 года.

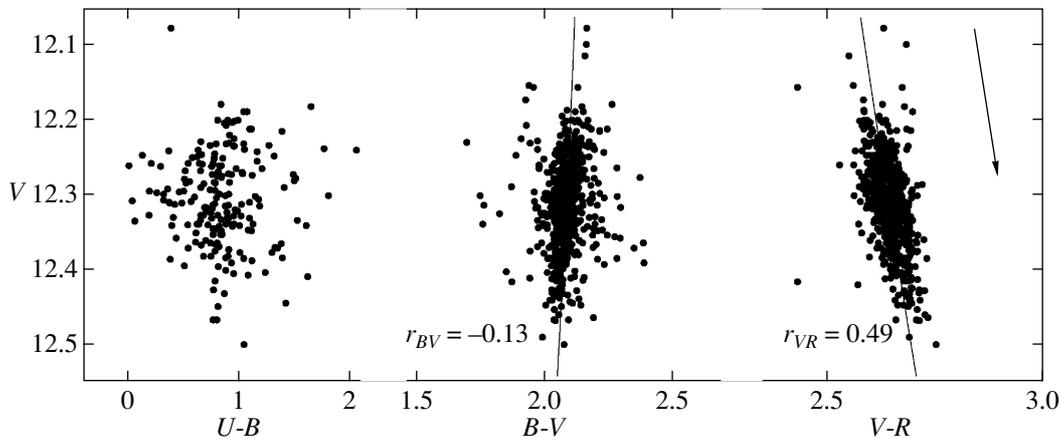


Рис. 6. Диаграммы “цвет–величина” MWC 297 по данным [14]. Стрелкой показано направление стандартного закона межзвездного покраснения для показателя цвета $V-R$.

Такое явление, действительно, возможно. Более того, оно наблюдается во время минимумов блеска звезд типа UX Ori и объясняется коронографическим эффектом, вызванным околозвездными газопылевыми облаками (см., например, [19]). Однако в таком случае и само покраснение MWC 297 вполне можно объяснить селективным поглощением околозвездной пылью, а не усилением вклада эмиссии в линии $H\alpha$. В связи с этим заметим, что, согласно рис. 6, закон покраснения MWC 297 ($dV/d(V-R) \approx 0.37$) близок к “стандартному” закону межзвездного покраснения. Такой закон покраснения наблюдается при ослаблениях блеска некоторых звезд типа UX Ori (см., например, [20]).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный выше анализ фотометрической активности MWC 297 показал, что

на кривой блеска этой звезды наблюдаются алгоподобные минимумы продолжительностью порядка нескольких дней, обусловленные спорадическими изменениями околозвездной экстинкции. Их амплитуда, однако, очень мала (около 0.2^m в полосе V) по сравнению с амплитудой алгоподобных минимумов звезд типа UX Ori. Такая фотометрическая активность не типична для молодых звезд, околозвездные диски которых ориентированы к наблюдателю почти с ребра. Скорее она характерна для звезд, наблюдаемых с полюса или под большим углом к плоскости околозвездного диска. Примером такой звезды является Ae-звезда Хербига АВ Aug. По данным интерферометрических наблюдений ее околозвездного диска [21] эта звезда наблюдается почти с полюса ($i \leq 20^\circ$). Последние несколько десятков лет она малоактивна в фотометрическом отношении (см., например, [22]). Известно, однако, что в первой половине прошлого века у нее наблюдались алгоподобные ослабления блеска [23]. Это означает, что околозвездная

пыль может появляться в небольшом количестве даже на высоких широтах.

Анализ диаграмм “цвет–величина” MWC 297 показал, что поведение показателей цвета звезды при изменениях блеска обладает противоречивыми свойствами. Возможно, это отражает влияние двух разных механизмов переменности блеска звезды: нестационарных процессов в околозвездном горячем газе и переменной околозвездной экстинкции. С другой стороны, зависимость околозвездной экстинкции от длины волны при определенных условиях может быть такой, что показатели цвета в разных участках спектра меняются при изменениях блеска звезд в противоположных направлениях [24, рис. 3 и 8]). Поэтому вопрос о причинах необычного поведения показателей цвета $B-V$ и $V-R$ MWC 297 на диаграммах “цвет–величина” требует дополнительного рассмотрения.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН П-21, Программы государственной поддержки ведущих научных школ РФ (грант НШ-1625.2012.2). Один из соавторов (О.Ю.Б.) благодарит Правительство Санкт-Петербурга за финансовую поддержку (грант 824 от 27.06.2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. E. Drew, G. Busfield, M. G. Hoare, *et al.*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **286**, 538 (1997).
2. S. Pezzuto, F. Strafella, and D. Lorenzetti, *Astrophys. J.* **485**, 290 (1997).
3. M. Benedettini, S. Pezzuto, T. Giannini, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **379**, 557 (2001).
4. T. Alonso-Albi, A. Fuente, R. Bachiller, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **497**, 117 (2009).
5. R. Millan-Gabet, F. P. Schloerb, and W. A. Traub, *Astrophys. J.* **546**, 358 (2001).
6. J. D. Monnier, J.-P. Berger, R. Millan-Gabet, *et al.*, *Astrophys. J.* **647**, 444 (2006).
7. B. Acke, T. Verhoelst, M. E. van den Ancker, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **485**, 209 (2008).
8. F. Malbet, M. Benisty, W.-J. de Wit, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **464**, 43 (2007).
9. S. Kraus, K.-H. Hofmann, M. Benisty, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **489**, 1157 (2008).
10. G. Weigelt, V. P. Grinin, G. H. Groh, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **527**, 103 (2011).
11. V. P. Grinin, N. N. Kiselev, G. P. Chernova, *et al.*, *Astrophys. and Space Sci.* **186**, 283 (1991).
12. Ю. К. Бергнер, В. П. Козлов, А. А. Кривцов и др., *Астрофизика* **28**, 529 (1988).
13. V. S. Shevchenko, K. N. Grankin, M. A. Ibragimov, *et al.*, *Astrophys. and Space Sci.* **202**, 121 (1993).
14. С. Ю. Мельников, Письма в “Астрон. журн.” **23**, 918 (1997).
15. G. Pojmanski, *Acta Astron.* **47**, 467 (1997).
16. W. Herbst, V. S. Shevchenko, *Astron. J.* **118**, 1043 (1999).
17. Р. Е. Гершберг, *Вспыхивающие звезды малых масс* (М.: Наука, 1978).
18. W.-J. de Wit, J. P. Beaulieu, H. J. G. L. M. Lamers, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **432**, 619 (2005).
19. V. P. Grinin, P. S. The, D. de Winter, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **292**, 165 (1994).
20. А. Ф. Пугач, *Астрон. журн.* **81**, 517 (2004).
21. J. A. Eisner, B. F. Lane, L. A. Hillenbrand, *et al.*, *Astrophys. J.* **613**, 1049 (2004).
22. А. Ф. Шаймиева, Н. А. Шутемова, *Переменные звезды* **22**, 167 (1985).
23. S. Gaposchkin, *Harv. Ann.* **118**, 119 (1952).
24. C. Grady, M. R. Perez, P. S. The, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **302**, 472 (1995).