

DOI: 10.54503/0571-7132-2022.65.4-503

## ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЛЕСКА КРАСНОГО КАРЛИКА V647 Her

Н.И.БОНДАРЬ<sup>1</sup>, К.А.АНТОНЮК<sup>1,2</sup>, Н.В.ПИТЬ<sup>1</sup>

Поступила 29 июня 2022

Принята к печати 11 ноября 2022

Исследованы фотометрические ряды красного карлика V647 Her (M3.5V), полученные по результатам наблюдений 2019г. в Крымской астрофизической обсерватории и по данным каталога SuperWASP в 2004-2007гг. Анализ рассмотренных кривых блеска показал наличие переменности с амплитудой  $0^m.04$  и периодом 20.69 дней. Исследована стабильность характеристик этой переменности в разные эпохи. Амплитуда переменности и фаза минимума сохраняются на интервале 40-60 дней. После вычитания вклада 20-дневной периодичности по ряду остатков 2019г. заподозрены быстрые изменения с периодом 1.1 дня с вероятностью около 95%. По данным каталога SuperWASP также обнаруживаются изменения блеска с таким периодом и случаи оптических вспышек.

**Ключевые слова:** *звезды: красные карлики: вспыхивающие звезды: фотометрическая переменность: V647 Her*

1. *Введение.* Магнитная активность поздних карликов исследуется как общее ее проявление по выборкам объектов и как конкретная характеристика отдельных звезд. М-карлики отличаются от звезд солнечного типа внутренним строением и топологией магнитных полей. Теоретические расчеты показывают, что красные карлики с массой меньше  $0.35 M_{\odot}$  становятся полностью конвективными [1-3], а следовательно, условия генерации магнитных полей и действия динамо-процессов, приводящих к развитию звездной активности, будут отличаться от более массивных G-М карликов, во внутреннем строении которых присутствуют радиативная и конвективная зоны [4].

В двойной системе Gl 669AB один компонент (V639 Her, M4.5V) является полностью конвективной звездой, а у другого, более раннего спектрального класса (V647 Her, M3.5V), еще сохраняется радиативная зона. Эти звезды образуют широкую пару, разделенную в проекции на  $16''.8$  [5,6], и рассматриваются как невзаимодействующие одиночные объекты [7]. Теоретические модели и результаты наблюдений показывают, что активность G-М карликов в значительной степени зависит от их скорости вращения [8-12]. У звезды V639 Her, согласно [13]  $V \sin i \sim 6.79 \text{ км с}^{-1}$ , период вращения V647 Her по данным [14] равен 19.81 дня. По поведению блеска на интервале 1939-2018гг.

у звезды заподозрено существование продолжительного цикла, до 76 лет [15], и тогда, согласно диаграмме период вращения - длина цикла, период вращения звезды должен быть несколько дней. По выборке  $V$ -величин фотометрического каталога SuperWASP (Wide Angle Search for Planets) в [16] был найден период вращения 1.09 сут. О быстром вращении звезды с периодом 0.95 сут сообщается в статье [17], однако позднее этот период был признан ложным [18]. Скорости вращения каждой из звезд в системе Gl 669AB обсуждались в [7], авторы пришли к выводу, что по результатам разных исследований обе звезды можно считать медленно вращающимися, но найденные в разных источниках значения периода вращения для V647 Her различаются. Для его уточнения необходимо получить качественные ряды наблюдений, а также определить угол наклона оси вращения.

В настоящей работе мы представляем результаты поиска периода вращения звезды V647 Her по фотометрическим данным, полученным на 1.25-м телескопе Крымской астрофизической обсерватории в 2019г. и по рядам 2004, 2006гг. с высоким временным разрешением из каталога SuperWASP. Сведения о фотометрии звезды в 2019г. и анализ поведения ее блеска приведены в разделах 1, 2; анализ данных из каталога SuperWASP - в разделе 3, в разделе 4 обсуждаются полученные результаты, в разделе 5 приведены выводы.

## *2. Фотометрия 2019г. и анализ кривой блеска.*

**2.1. Фотометрические данные.** Фотометрические характеристики V647 Her, свидетельствующие о ее активности, определены в ряде работ по результатам широкополосной электрофотометрии и ПЗС- наблюдений. Блеск звезды в  $V$ -фильтре, согласно [19], равен  $11^m.36$ , согласно [5,20]  $V=11^m.42$ . Вспышечная активность V647 Her в фильтре  $B$  и в линии  $H\alpha$  отмечается в работе [21]. По фотографическим данным 1939-1991гг. обнаружены изменения среднего годового блеска звезды [22], а анализ компилированной кривой блеска на интервале с 1939 по 2018гг. позволяет предположить наличие 76-летнего цикла фотосферной активности [15].

В этом разделе мы приводим результаты наблюдений в  $V$ -полосе, полученные в 2019г. с 21 июня по 24 ноября на 1.25-м телескопе Крымской астрофизической обсерватории (КраО) с помощью ПЗС- камеры ProLine PL230 с приемником (матрицей) e2v CCD230-42G. Размер кадра  $2048 \times 2048$  пикселей, поле в кадре  $10'.9 \times 10'.9$ , размер пикселей 15 мкм,  $0''.32/\text{пиксель}$ . Патрульные наблюдения выполнены в полосах  $BVRI$  системы Джонсона - Козинса с временным разрешением 1 мин, по 3 записи в каждом фильтре в дату наблюдений. За 92 ночи наблюдений (табл.1) получено 280 значений блеска в  $V$ -фильтре с точностью несколько тысячных звездных величин. Оценки блеска  $\Delta V$  получены в инструментальной системе относительно

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ V647 HER НА 1.25-м ТЕЛЕСКОПЕ АЗТ-11

Дата, 2019г.	JD2450000+	Число дат наблюдений	Количество кадров
21.06-28.06	8656.34-8663.33	7	21
02.07-31.07	8667.30-8696.27	16	48
01.08-31.08	8697.29-8727.22	18	57
01.09-30.09	8728.26-8757.26	19	58
01.10-24.10	8758.22-8781.20	15	45
01.11-24.11	8789.19-8812.18	17	51
Всего	156	92	280

звезды сравнения TYC 2082-2143-1,  $V=11^m.22$  (SIMBAD database). На рис.1 приведена кривая блеска, на которой ряд  $V$ -величин для дальнейшего анализа отмечен черными кружками ( $N=258$ ), а исключенные значения, в том числе возможные вспышки, показаны открытыми кружками ( $N=22$ ).

Кривая блеска характеризуется сохранением максимального уровня блеска в эпоху наблюдений и квазипериодическими его ослаблениями на  $0^m.05$ - $0^m.07$  относительно максимального значения. Характеристики кривой блеска:  $\Delta V_{max} = 0^m.14$  ( $\sigma = 0.003$ ),  $\Delta V_{min} = 0^m.21$  ( $\sigma = 0.008$ ), изменения блеска  $V_{var} = 0^m.07$ .

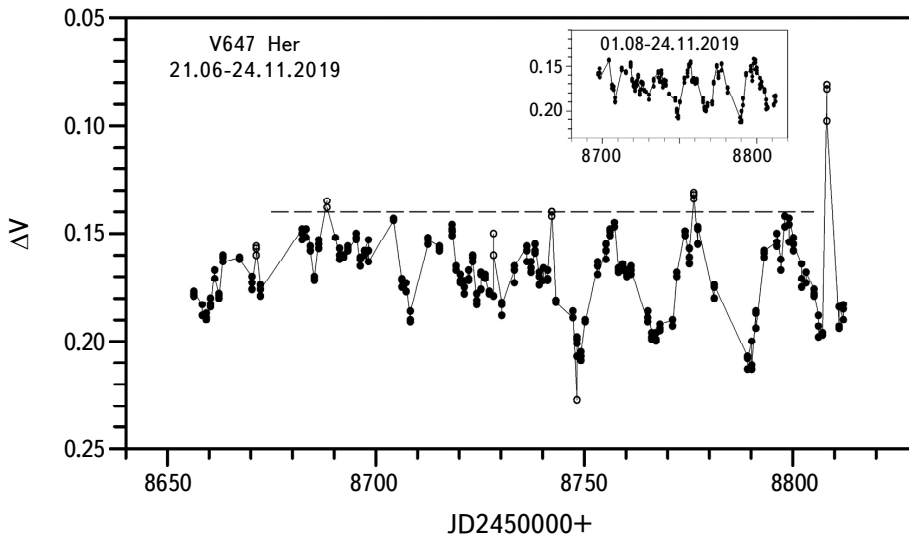


Рис.1 Кривая блеска V647 Her по результатам наблюдений на 1.25-м телескопе. По оси ординат - изменения блеска звезды относительно звезды сравнения. Открытые кружки отмечают  $\Delta V$ -величины, исключенные из дальнейшей обработки ( $N=22$ ). Пунктирной линией показан уровень максимального блеска. На вставке приведен ряд, выбранный для поиска фотометрического периода ( $N=211$ ).

2.2. *Анализ кривой блеска.* Для поиска фотометрического периода выбран временной интервал 01.08 - 24.11 (JD2458697-2458812), на котором прослеживаются 6 последовательных вхождений в минимум блеска. Выбранный ряд приведен на вкладке рис.1, он содержит 211 оценок блеска. Поиск периодов выполнен методами Юркевича, Скаргля и Хартли с помощью

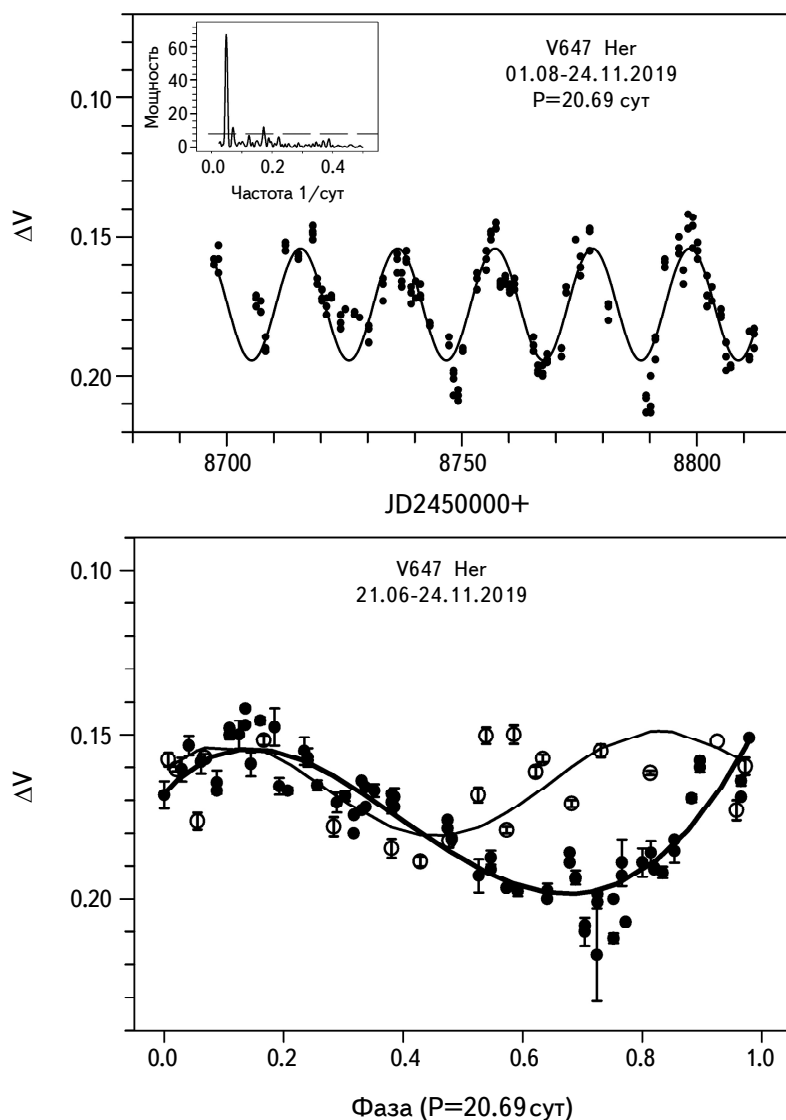


Рис.2. Изменения блеска у звезды V647 Нег с периодом 20.69 дня. На верхнем графике показаны изменения блеска на интервале 01.08-24.11.2019 с периодом 20.69 дня, на вставке - периодограмма Ломб-Скаргля, пунктирной линией отмечен уровень  $2.5\sigma$ . На нижней панели приведены фазовые кривые для интервала 21.06-30.07 (открытые кружки) и 01.08-24.11 (зачерненные кружки); вертикальными черточками показаны ошибки средних по дате значений блеска.

программного пакета AVE [23]. Периодограммный анализ показал, что в интервале значений 1-40 дней наиболее значимый пик соответствует периоду 20.69 дня. Методом Ломб-Скаргля [24] обнаружены гармонические колебания с периодом 20.62 ( $\pm 0.07$ ) дня (рис.2 верхняя панель), что в пределах точности определения согласуется со значением 20.69 дня. Амплитуда переменности составляет  $0^m.047$ . Построенная согласно фотометрическим элементам  $HJD = 2458733.2449 + 20.69 E$  фазовая кривая блеска для всего исследуемого ряда показала, что в разные эпохи минимум блеска приходится на разные фазы периода. На нижней панели рис.2 приведены фазовые кривые по наблюдениям с 21.06 по 30.07 и с 01.08 по 24.11 и аппроксимации средних в бинах 0.05 фазы значений блеска полиномами 4-й степени (тонкая и жирная линии, соответственно).

3. *Поведение блеска в 2004, 2006гг. по данным из каталога SuperWASP.* Большой объем данных о поведении блеска V647 Her получен в 2004, 2006-2007гг. в ходе обзорных широкоугольных наблюдений по проекту SuperWASP. Автоматизированные телескопы, используемые в этом проекте, оснащены ПЗС камерами, обеспечивающими поле кадра  $7^\circ.8 \times 7^\circ.8$  и угловое разрешение  $13''.7$  на пиксель. Точность фотометрии звезд, у которых  $V$ -величины  $\sim 7^m.0 - 11^m.5$ , около 1% [14,26,27]. Для V647 Her в каталоге SuperWASP содержится более 10.7 тыс оценок блеска с ошибками их определения. Очистка данных включала удаление явно ошибочных значений, затем для визуального выявления отклоняющихся значений строились кривые блеска на выделенных интервалах и исключались значения с учетом статистического критерия  $3\sigma$ . Характеристики полученных рядов приведены в табл.2, значения  $V_{max}$  и  $V_{min}$  определены с точностью около 1%. Наблюдения 2007г. проводились только 12 дней и последующей обработке не подвергались.

Поиск периодичности выполнен методами, описанными в гл. 2.2, по наиболее плотному и продолжительному ряду 2004г. В 2006г. наблюдения проведены в течение 4 месяцев, но они представляют собой несколько коротких, разрозненных серий и рассмотрены для подтверждения периоди-

Таблица 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИВЫХ БЛЕСКА ПО  
ДАННЫМ КАТАЛОГА SuperWASP

Дата	JD2450000+	$\Delta V = V_{max} - V_{min}$ (mag)	Число измерений
03.05-30.09.2004	3128.51-3278.40	11.19-11.29	4515
02.04-04.08.2006	3827.60-3951.42	11.19-11.28	5214
01.04-12.04.2007	4191.60-4202.75	11.04-11.18	547

чности, найденной по данным 2004г. Результаты периодограммного анализа, выполненного по всему ряду 2004г. и на отдельных интервалах, подтвердили

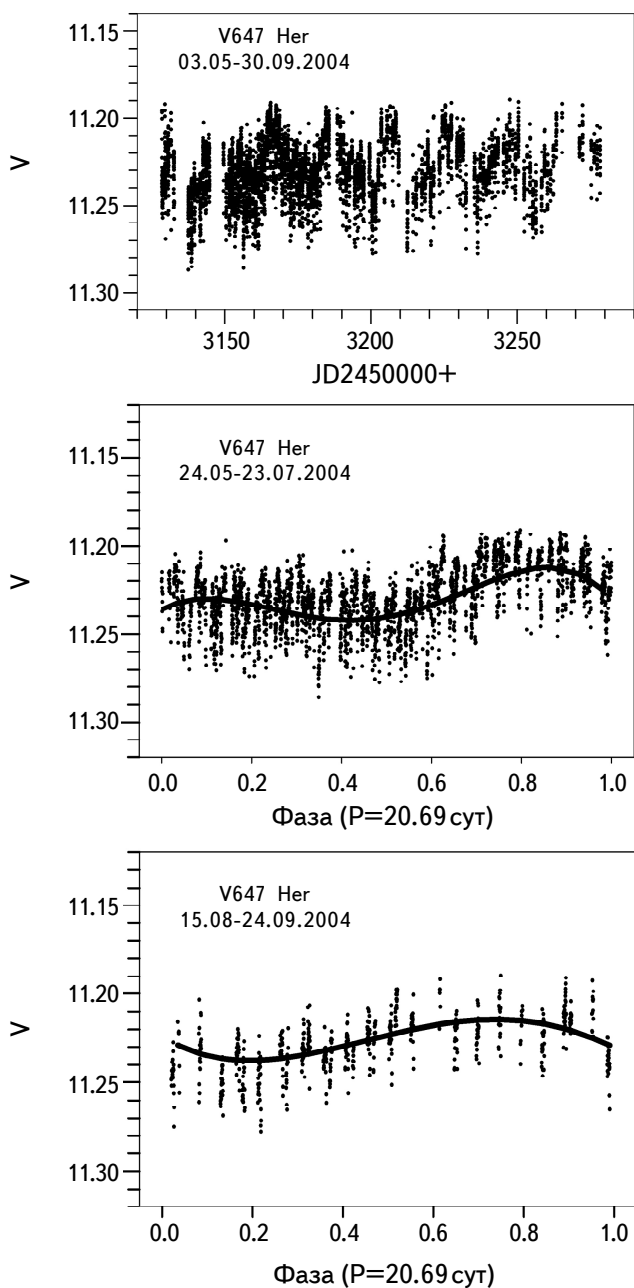


Рис.3. Изменения блеска V647 Her по наблюдениям 2004г. На верхней панели - кривая блеска, на средней и нижней панелях приведены свертки данных на указанных интервалах с периодом 20.69 дня и их аппроксимация полиномами.

присутствие периода 20.69 дня. Построенные с этим периодом фазовые кривые для произвольно выбранной начальной эпохи  $T_0 = 2453128.5102$  показали, что лучшее согласие по фазе и амплитуде показывают данные на выделенных интервалах около 60 дней. На рис.3 приведен весь ряд  $V$ -величин 2004г. и свертки на указанных интервалах. Аппроксимирующие полиномы 4-й степени проведены по усредненным в бинах 0.05 фазы периода  $V$ -величинам. На рис.4. приведены данные 2006г. и фазовые кривые, построенные с указанными значениями периода и начальной фазы для серий на интервалах JD2453827.5964 - JD2453856.7350 (открытые кружки) и JD2453882.4462 - JD2453951.4223 (крестики). Каждая из рассмотренных серий наблюдений покрывает ограниченный интервал фаз, но видно, что формы фазовых кривых отличаются.

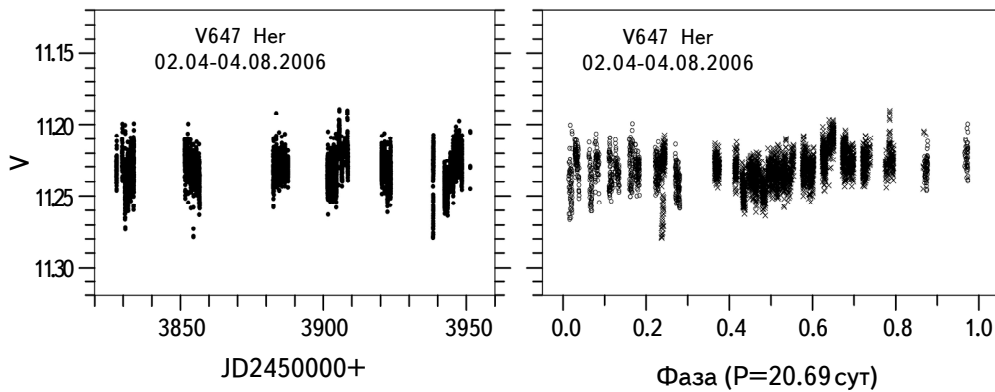


Рис.4. Кривая блеска по наблюдениям 2006г. (слева). Фазовые кривые (справа) построены для интервалов JD2453827 - 2453856 (открытые кружки) и JD2453882 - 2453951 (крестики), начальная эпоха  $T_0 = 2453128.5102$ .

4. *Обсуждение результатов.* Наблюдения, выполненные в 2019г. на 1.25-м телескопе КрАО, показали, что в течение нескольких месяцев уровень максимального блеска сохранялся. Стабильный уровень максимального блеска подтверждают и данные каталога SuperWASP за 2004г. и 2006г. Изменения блеска составляют  $0^m.07 - 0^m.10$ . Фазовые кривые, построенные с периодом 20.69 дня, показывают, что характеристики переменности, амплитуда и фаза минимума, сохраняются 40-60 дней. По данным 2004г. минимум блеска на интервале 24.05 - 23.07 наблюдался на фазе 0.43, а на интервале 15.08 - 24.09 - на фазе 0.17 с незначительным уменьшением амплитуды от  $0^m.03$  до  $0^m.026$  ( $\sigma = 0.007$ ). Аппроксимированные полиномами фазовые кривые на указанных интервалах 2004г. представлены на рис.5 (вверху). На нижней панели этого рисунка приведены фазовые кривые, построенные с той же начальной эпохой по наблюдениям 2019г. на интервалах 21.06 - 31.07 и 1.08 - 24.11. Минимумы

блеска приходится на фазы 0.22 и 0.55, амплитуда изменяется от  $0^m.027$  до  $0^m.044$  ( $\sigma = 0.005$ ).

Такой характер фотометрической переменности наблюдается у красных карликов при наличии на их поверхности холодных пятен, что приводит к малоамплитудной модуляции блеска с периодом вращения звезды, а изменения амплитуды и фазы минимумов вызваны процессами образования, распределения и разрушения пятен.

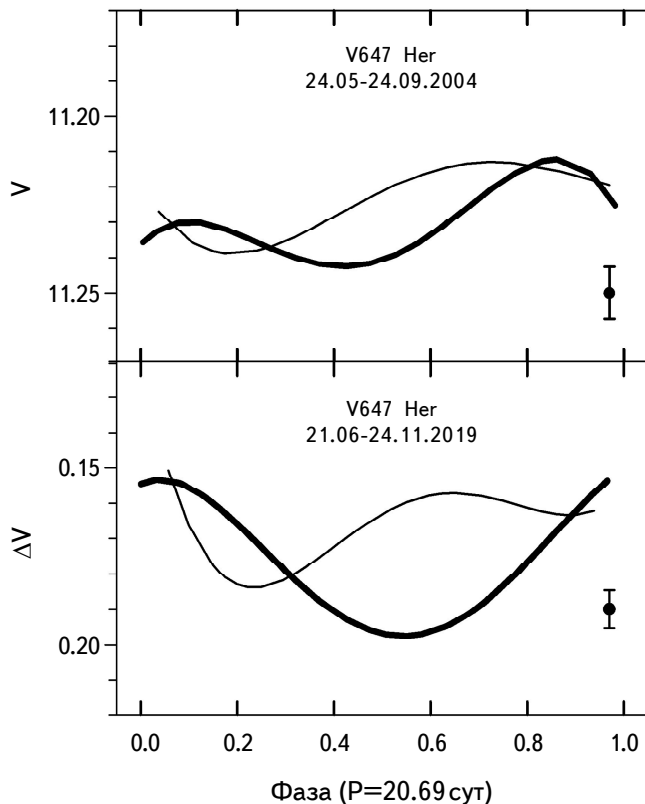


Рис.5. Амплитуда и фаза периодических изменений блеска V647 Нег в разные эпохи. 2004г.: 24.05-23.07 (жирная линия), 15.08-24.09 (тонкая линия); 2019г.: 21.06-31.07 (тонкая линия) и 01.08-24.11 - жирная линия, бары показывают среднюю квадратическую ошибку.

Таким образом, период 20.69 дня можно рассматривать как период вращения звезды, а наблюдаемые фазы минимума и сохранение уровня максимального блеска указывают на запятненность одной поверхности фотосферы. Период 20 дней является характерным для холодных карликов с  $T_{eff} \sim 3500$  К [25]. Однако, согласно оценке возраста, V647 Нег относится к молодым звездам, их периоды вращения  $< 10$  дней.



Мы выполнили анализ ряда остатков после учета вклада периодичности 20.69 дня по наблюдениям 2019г. Он приведен на рис.6 (слева), изменения блеска  $\Delta V = 0.029$ , что не превышает  $2.2\sigma$ . По этому ряду найден период 1.098 дня (рис.6, справа). Близкие значения периодов получены по серии

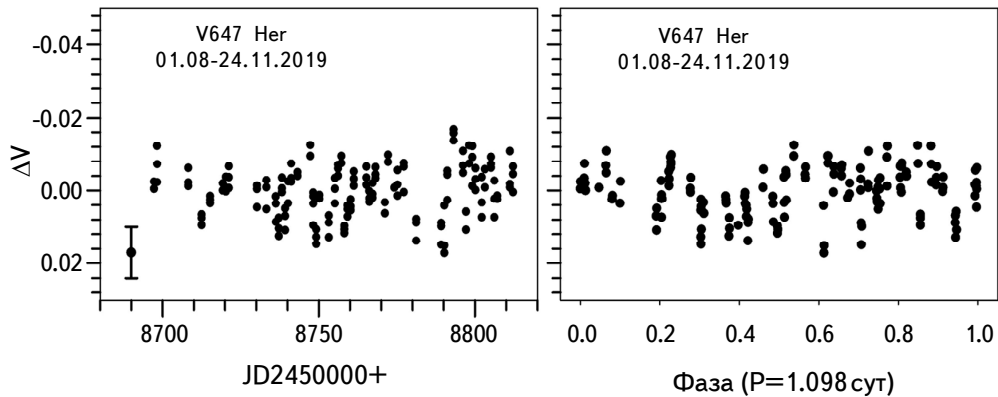


Рис.6. Изменения блеска V647 Her с периодом 1.098 сут по наблюдениям на 1.25-м телескопе КрАО в 2019г. Слева приведен ряд остатков после учета вклада периодичности 20.69 дня и значение средней квадратической ошибки, справа - свертка данных с указанным периодом.

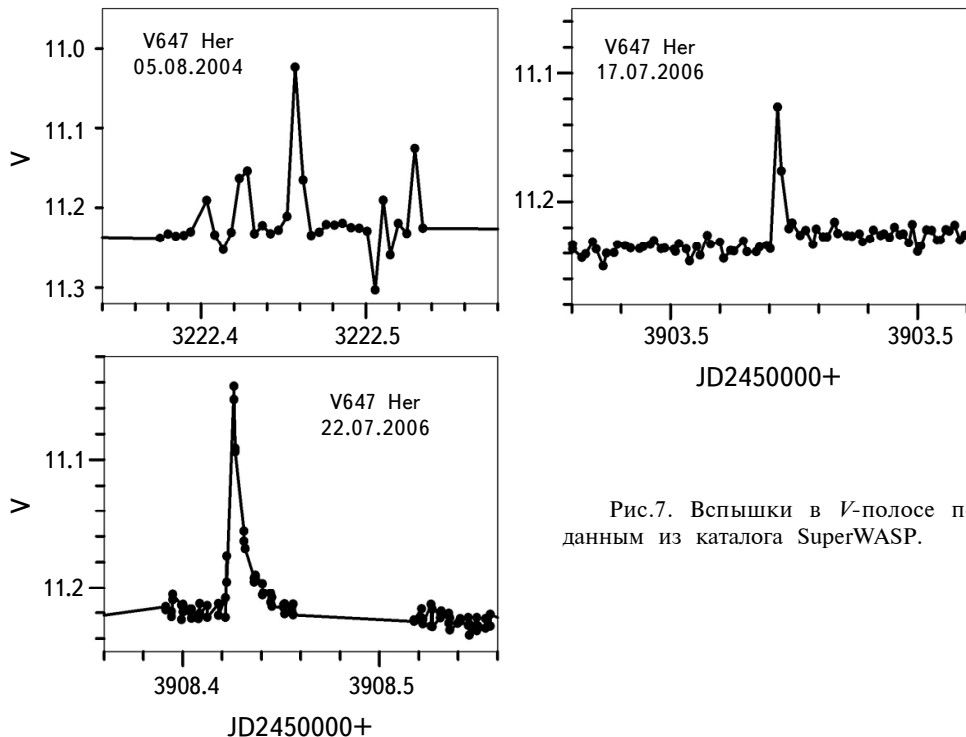


Рис.7. Вспышки в V-полосе по данным из каталога SuperWASP.

данных 2004г. из каталога SuperWASP [26,27], однако низкая точность определения этих периодов оставляет открытым вопрос о быстрой переменности.

Отметим, что по данным каталога SuperWASP, звезда проявляет вспышечную активность. Несколько событий быстрого повышения блеска на  $0^m.1 - 0^m.2$  с его восстановлением за несколько десятков минут к уровню до вспышки приведены на рис.7. Изучение быстрой переменности требует автоматизированных многочасовых наблюдений в течение ночи.

5. *Выводы.* Фотометрические наблюдения V647 Her, выполненные в июне - ноябре 2019г. на 1.25-м телескопе КрАО, показали, что поведение блеска звезды характеризуется изменениями на  $0^m.05 - 0^m.07$  относительно его максимального уровня с периодом 20.69 дня. Фаза минимума и амплитуда переменности сохраняются на интервале около 60 дней. Наблюдаемые характеристики переменности позволяют предположить, что на одной из полусфер звезды образуются холодные пятна, а период 20.69 сут является периодом вращения.

Данные каталога SuperWASP, полученные в 2004г. и 2006г., подтверждают полученное значение периода и характеристики периодических изменений блеска. Однако для уверенных выводов требуется изучение показателей цвета звезды.

Отметим также, что заподозрено присутствие быстрых изменений блеска с периодом 1.098 дня, а также развитие оптических вспышек, с профилем, характерным для активных звезд типа UV Cet.

Авторы выражают благодарность рецензенту за полезные замечания и рекомендации, а также коллективам, обеспечивающим использование ресурсов астрономических баз SIMBAD database, Страсбург, Франция и The International Variable Star Index (AAVSO), каталога SuperWASP, Чешская Республика.

<sup>1</sup> Крымская астрофизическая обсерватория РАН,  
Россия, e-mail: otbn@mail.ru

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия

# PERIODIC VARIATIONS IN THE BRIGHTNESS OF THE RED DWARF V647 Her

N.I.BONDAR<sup>1</sup>, K.A.ANTONYUK<sup>1,2</sup>, N.V.PIT<sup>1</sup>

The photometric series obtained for the red dwarf V647 Her (M3.5V) from the results of observations at the Crimean Astrophysical Observatory in 2019 and the data of 2004-2007 from the SuperWASP catalog are studied. An analysis of the considered light curves showed the presence of variability with an amplitude of 0<sup>m</sup>.04 and a period of 20.69 days. The stability of the characteristics of this variability in different epochs has been studied. The amplitude of variability and phase of the minimum persist for 40-60 days. After subtracting the contribution of the 20-day periodicity, rapid brightness changes with a period of 1.1 days are suspected with a probability of about 95% in the residual series in 2019. According to the SuperWASP catalog rapid brightness changes with the same period and optical flare events are also noted.

Keywords: *stars: red dwarfs: flare stars: photometric variability: V647 Her*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *G.Chabrier, I.Baraffe*, Astron. Astrophys., **327**, 1039, 1997.
2. *G.Chabrier, M.Küker*, Astron. Astrophys., **446**, 1027, 2006.
3. *J.Morin, J.-F.Donati, P.Petit et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **407**, 2269, 2010.
4. *A.Reiners, G.Basri*, Astrophys. J., **684**, 1390, 2008.
5. *E.W.Weis*, Astron. J., **101**, 1882, 1991.
6. *N.Samus, E.V.Kazarovets, O.Durlevich et al.*, VizieR Online Data Catalog II/250, 2004.
7. *L.H.Quiroga-Nucez, H.T.Intema, J.R.Callingham et al.*, Astron. Astrophys., **633**, id.A130, 9, 2020.
8. *A.Skumanich*, Astrophys. J., **171**, 565, 1972.
9. *W.Dobler, M.Stix, A.Brandenburg*, Astrophys. J., **638**, 336, 2006.
10. *M.K.Browning*, Astrophys. J., **676**, 1262, 2008.
11. *M.K.Browning, G.Basri, G.W.Marcy et al.*, Astron. J., **139**, 504, 2010.
12. *A.Reiners, S.Mohanty*, Astrophys. J., **746**, 43, 2012.
13. *S.V.Jeffers, P.Schöfer, A.Lamert et al.*, Astron. Astrophys., **614**, A76, 2018.
14. *A.J.Norton, P.J.Wheatley, R.G.West et al.*, Astron. Astrophys., **467**, 785, 2007.
15. *N.I.Bondar*, Astron. Astrophys. Trans., **31**(3), 295, 2019.

16. *N.I.Bondar', M.M.Katsova, M.A.Livshits*, Geomagnetism and Aeronomy, **59**, 832, 2019.
17. *M.Kiraga, K.Stepień*, Acta Astron., **57**, 149, 2007.
18. *M.Kiraga*, Acta Astron., **62**, 67, 2012.
19. *G.J.Veeder*, Astron. J., **79**, 1056V, 1974.
20. *S.M.Rucinski*, Acta Astron., **31**, 363R, 1981.
21. *N.I.Shakchovskaya, W.Sofina*, Inf. Bull. Var. Stars, 730, 1972.
22. *N.I.Bondar*, Bull. Crimean Astrophys. Obs., **93**, 95, 1996.
23. *R.Barbera*, Analisis de Variabilidad Estelar. AVE code, 1998, <http://www.gea.cesca.es>.
24. *M.Zechmeister, M.Kürster*, Astron. Astrophys., **496**, 577, 2009.
25. *A.McQuillan, T.Mazeh, S.Aigrain*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **211**, 24, 2014.
26. *D.L.Pollacco, I.Skillen, A.C.Cameron et al.*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **118**, 1407, 2006.
27. *O.W.Butters, R.G.West, D.R.Anderson et al.*, Astron. Astrophys., **520**, L10, 2010.