

УДК 524.387

М. М. Закиров¹, М. У. Эшанкулова^{1, 2}

¹Национальный университет Узбекистана
100174 Ташкент, Вузгородок
E-mail: mamnun@astrin.uzsci.net, zamamnun@mail.ru

²Астрономический институт АН РУз
100052 Узбекистан, Ташкент, ул. Астрономическая 33
E-mail: manzura@astrin.uzsci.net

Тесные двойные системы в областях ОВ-ассоциаций. VI. V498 Лебедя в Cyg OB9

В течение 1999—2002 гг. проведены новые фотоэлектрические UBVR-наблюдения затменной переменной звезды V498 Cyg раннего спектрального класса. Получены новые моменты минимумов и уточнена эфемериды системы: $MinI = HJD2442633.3955(90) + 3.4848437(34) \cdot E$. По виду кривых блеска все наблюдения были сгруппированы в два сезона: 1999—2001 гг. и 2002 г. Кривые блеска звезды решены прямым методом Лаврова, и получены элементы фотометрической орбиты. Сделана оценка фундаментальных характеристик компонентов. Они отнесены к спектрам B1 III и B3 III. По модулю расстояния, собственным движениям и возрасту двойная система отнесена к физическим членам ОВ-ассоциации Cyg OB9.

ТІСНІ ПОДВІЙНІ СИСТЕМИ В ОБЛАСТЯХ ОВ-АСОЦІАЦІЙ. VI. V498 ЛЕБЕДЯ В CYG OB9, Закиров М. М., Ешанкулова М. У. — Протягом 1999—2002 гг. проведено нові фотоелектричні UBVR-спостереження затмюваної змінної зірки V498 Cyg раннього спектрального класу. Отримано нові моменти мінімумів і уточнено ефемериду системи: $MinI = HJD2442633.3955(90) + 3.4848437(34) \cdot E$. За виглядом кривих блиску всі спостереження були згруповані у два сезони: 1999—2001 рр. і 2002 р. Криві блиску зірки розв'язувались прямим методом Лаврова, і отримано елементи фотометричної орбіти. Оцінено фундаментальні характеристики компонентів. Їх було віднесено до спектрів B1 III і B3 III. За модулем відстані, власними рухами і віком подвійну систему було віднесено до фізичних членів ОВ-асоціації Cyg OB9.

CLOSE BINARY SYSTEMS IN OB-ASSOCIATIONS REGION. VI. V498 CYG IN CYG OB9, by Zakirov M. M., Eshankulova M. U. — New photoelectric UBVR observations of the early spectral type eclipsing variable V498 Cyg were carried out at the Maidanak Observatory in 1999—2002. New minima moments were obtained and the improved ephemeris of the binary is:

MinI = HJD2442633.3955(90) + 3.4848437(34) · E. According to the shape of the light curves all observations were grouped into two seasons: 1999—2001 and 2002. The light curves were solved by Lavrov's direct method, and the photometrical orbit elements were calculated. We estimated the fundamental parameters of the components and the latter are found to be B1 III and B3 III stars. On the distance module, proper motions and age the close binary belongs to physical members of the OB-association Cyg OB9.

ВВЕДЕНИЕ

Затменная переменная звезда раннего спектрального класса V498 Cyg (= 538.1936 = BD + 38°4054 = GSC 03152-00577 = ТУС 3152 577 1 = HD 229179 Sp: B1 III; $m_V = 9.94...10.75^m$) была обнаружена Хоффмейстером в 1936 г. как короткопериодическая переменная, возможно затменная [25]. В дальнейшем звезда неоднократно наблюдалась фотографическими и визуальными способами [12—14, 35, 36, 39 и др.]. Вторичный минимум смещен к фазе MinII – Min I = 0.526^p [13, 23, 38]. Линии спутника впервые разрешены на спектрограммах, полученных на 2.1-м телескопе Национальной обсерватории Китт-Пик [29]. Поляризация света звезды составляет 0.069 % [24], которая скорее всего имеет межзвездное происхождение.

Тип переменности и световые элементы впервые определил А. Я. Филин [12, 13] по оценкам на фотопластинках Гиссарской обсерватории АН Таджикистана. Я. Э. Эйнасто [16] просмотрел изменения блеска переменной на 490 пластинках фототеки ГАИШ (1896—1946 гг.) и получил более точную кривую блеска. Новые характеристики кривой блеска ТДС составили: Max = 10.75^m, MinI = 11.44^m, MinII = 11.03^m, DI = 0.23^p, DII = 0.18^p. Отличие DI и DII друг от друга указывает на возможную эллиптичность орбиты. Первые фотоэлектрические наблюдения и решение кривых блеска V498 Cyg были выполнены в Абастуманской обсерватории [7]. Имеются несколько измерений [30, 31] блеска ТДС в системе *UBV* и системе *uvbyß* Стремгрена. В настоящее время эфемериды главных минимумов описываются так (ОКПЗ):

$$\text{MinI} = \text{JD } 2442633.4060 + 3.48483550^d \cdot E$$

Двойная звезда расположена в области светло-темной туманности вблизи рассеянного звездного скопления DoI 43 [34]. Затменная двойная система является одним из 17 звезд, которую Семенюк [37] с большой вероятностью считает членом О-В-ассоциации Cyg OB9.

По модулю расстояния и собственному движению звезда отнесена к физическим членам ОВ-ассоциации Cyg OB1 и вероятному члену Cyg OB9 [5].

Абсолютные характеристики компонентов V498 Cyg оценены в работах [9, 19]. С целью улучшения наших представлений об этой ТДС раннего спектрального класса мы провели новые фотоэлектрические *U*-, *B*-, *V*-, *R*-наблюдения переменной на Майданакской обсерватории, расположенной в Узбекистане.

НАБЛЮДЕНИЯ НА МАЙДАНАКСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Новые фотоэлектрические *UBVR*-наблюдения V498 Cyg в международной фотометрической системе Джонсона были получены нами на 60-см телескопах Цейса на Майданакской обсерватории в 2000—2003 гг. Фотоэлектрические наблюдения ТДС выполнены с помощью одноканального фотометра со стандартным набором фильтров, которые в сочетании с ФЭУ-79 близко

Таблица 1. Фотометрические величины опорных звезд для V498 Cyg

Звезда	V	U-B	B-V	(V-R) _J	Sp
Сравнения	9.049±0.003	-0.325±0.002	0.552±0.001	0.513±0.004	B2 III
Контрольная	10.167±0.007	-0.038±0.006	0.052±0.004	0.077±0.005	

Таблица 2. Общее число наблюдений и ошибки определения блеска V498 Cyg

Число измерений				Ошибки одного определения блеска ТДС			
U	B	V	R	σ_V	σ_{U-B}	σ_{B-V}	σ_{V-R}
1467	1480	1482	1472	0.008	0.022	0.016	0.007

реализуют систему *UBVR*. Окончательная трансформация фотометрической системы в систему Джонсона проводилась по методу Харди [15] по измерениям фотометрических стандартов в площадках Каптейна SA 109, 113 и 114 [32]. В качестве звезды сравнения была выбрана HD 194205 (ТУС 3152-167-1), а контрольной звездой служила HD 229180 (ТУС 3152-643-1). Фотометрические величины опорных звезд были получены путем привязки к многоцветным фотометрическим стандартам в SA 109, 113 и 114. С целью максимального уменьшения влияния атмосферной экстинкции на полученные результаты измерения опорных и стандартных звезд выполнялись при близких воздушных массах. Полученные данные приведены в табл. 1. При расчетах всех фотометрических измерений были использованы среднемесячные коэффициенты экстинкции на горе Майданак [3] с учетом рекомендаций [10, 15]. В табл. 2 даны количество наблюдений переменной в каждом фильтре и средние квадратичные ошибки одного измерения блеска ТДС.

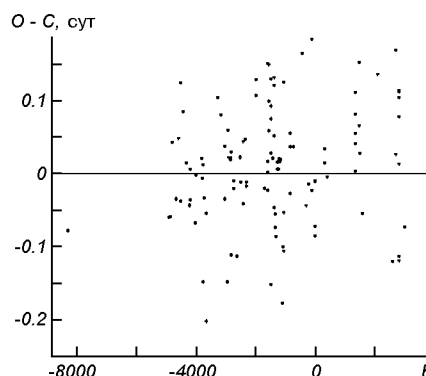
ОРБИТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Мы собрали все опубликованные наблюдения минимумов ТДС, включая и наши определения, и улучшили эфемериду минимумов переменной методом наименьших квадратов. Были использованы 114 минимума, из них главных 91 и вторичных 28 минимумов, полученные в интервале JD 2413709—2453130. Виду большого объема наблюдений минимумов звезды мы их

Таблица 3. Новые моменты минимумов V498 Cyg

Моменты главных минимумов HJD 2400000 +	Моменты вторичных минимумов HJD 2400000 +
41211.4151±0.0062	42265.7676±0.0121
42246.3937±0.0037	52124.5360±0.0140
42633.4053±0.0014	52490.3803±0.0013
51763.8064±0.0011	52504.3273±0.0013
52143.5074±0.0021	
52474.7138±0.0026	
52485.1625±0.0029	
52505.9450±0.0016	
52509.3288±0.0012	
52516.3342±0.0043	

Рис. 1. Диаграмма $O - C$ затменной переменной V498 Cyg



поместили на сайте www.astrin.uzsci.net/eng/dar/binary/index.html, а здесь приводим наши оригинальные данные (табл. 3). В таблице также помещены минимумы, которые нам удалось определить из наблюдений в Абастуманской обсерватории [7]. Моменты минимумов были определены методом Кви — Вурдена. Улучшение эфемериды минимумов проводилось методом наименьших квадратов. Были вычислены эфемериды главных и вторичных минимумов по отдельности, так как ранее отмечалось смещение вторичного минимума от фазы 0.5000^p [13, 23, 38]. Однако эти значения совпали в пределах точности величин, и мы получили наилучшую линейную аппроксимацию моментов минимумов:

$$\text{MinI} = \text{HJD}2442633.3955(90) + 3.4848437(34) \cdot E.$$

Пять наблюдений минимумов (два — главных и три — вторичных) показали значительные отклонения (правило трех сигм) от данной эфемериды и были исключены при окончательном счете. Эти данные отмечены звездочкой на нашем сайте. Применение критерия χ^2 показало, что уровень значимости нашей эфемериды $Q = 51.1\%$, что свидетельствует о высоком доверии полученной эфемериды. Разности $O - C$ были подвержены поиску гармонической составляющей программой CHISQ пакета матобеспечения STARLINK, основанной на применении критерия χ^2 (<http://www.starlink.ac.uk>). Был получен отрицательный результат.

На диаграмме $O - C$ (рис. 1) некоторые точки показывают заметные отклонения. Отметим, что наблюдаемые минимумы ТДС в 2002 г. не совпадают с нулевой фазой полученной эфемериды. На возможную причину этих отклонений мы остановимся в дальнейшем.

КРИВАЯ БЛЕСКА И ЕЕ РЕШЕНИЕ

Обработка наблюдений V498 Cyg показала, что кривые блеска имеют неправильности, и сами формы кривых нестабильны во всех спектральных полосах. В связи с этим мы сгруппировали наблюдения в разные годы в два сезона. В первый сезон включили наблюдения 1999—2001 гг., а ко второму отнесли наблюдения только 2002 г. В первый сезон наибольшее количество наблюдения звезды были получены в 2001 г. (62 %), а наименьшее — в 1999 г. (4 %). Кривые блеска ТДС в два сезона показаны на рис. 2 и 3. Фазы были вычислены по нашей эфемериде. Наши наблюдения переменной помещены на сайте www.astrin.uzsci.net/eng/dar/binary/index.html, куда мы планируем поместить все фотоэлектрические измерения ТДС, исследования которых были опубликованы на страницах журнала «Кинематика и физика небесных тел», начиная с 1993 г.

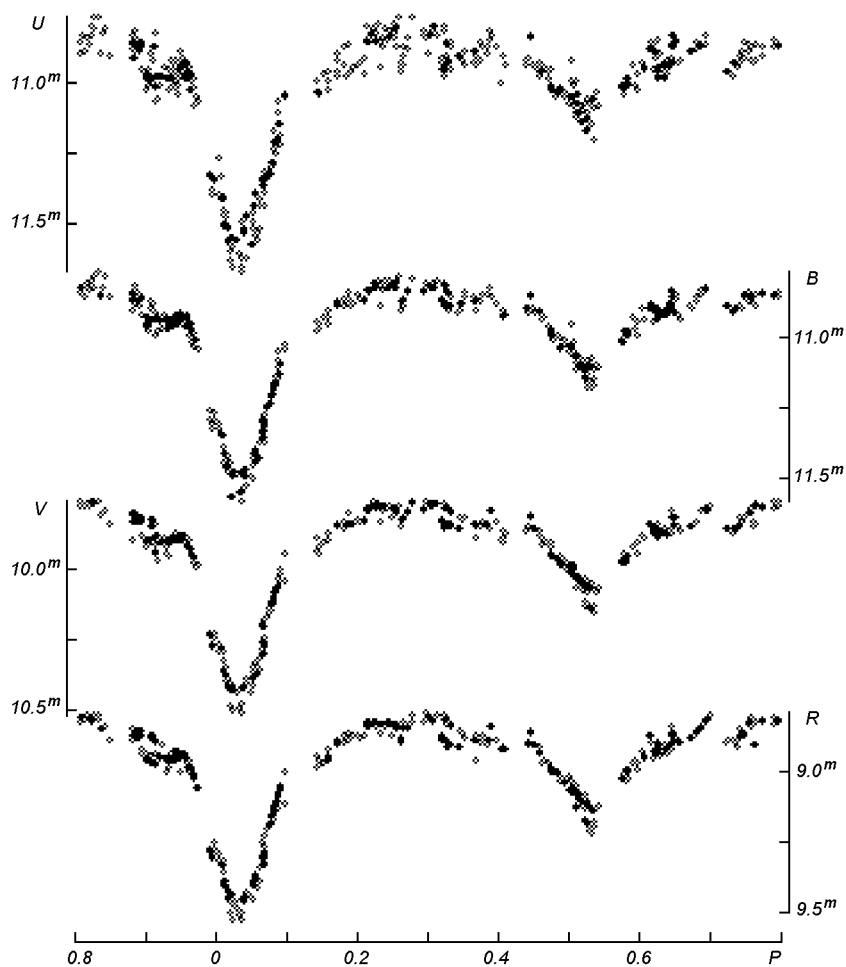


Рис. 2. Кривые блеска V498 Cyg по наблюдениям 1999—2001 гг.

В табл. 4 даны фотометрические величины основных фаз кривых блеска V498 Cyg по данным наших наблюдений и измерениям в Абастуманской обсерватории [7]. Если сравнить фазы в максимуме блеска, то заметно, что общий блеск ТДС уменьшается со временем. Сравнение амплитуд минимумов показал, что наблюдения в Абастуманской обсерватории примерно на 0.1^m глубже во всех фильтрах, чем наши результаты. В последних трех графах приведены фотометрические измерения ТДС, выполненные в работе [30] приблизительно в указанных фазах.

По виду кривой блеска ТДС относится к типу EB. На всех кривых блеска хорошо заметна асимметрия ветвей главных минимумов, разброс точек на участках до и после вторичных минимумов. Особенно привлекают внимание небольшие ослабления блеска на кривых блеска 2002 г. на фазах 0.22 и 0.83, которые очень заметно выделяются в полосе U и уменьшаются к длинноволновой области спектра. Чтобы исключить переменность звезды сравнения, мы тщательно проверили наблюдения контрольной звезды и не заметили отклонений блеска, превышающих ошибки измерения. Кроме того, постоянство опорных звезд также было проконтролировано по данным

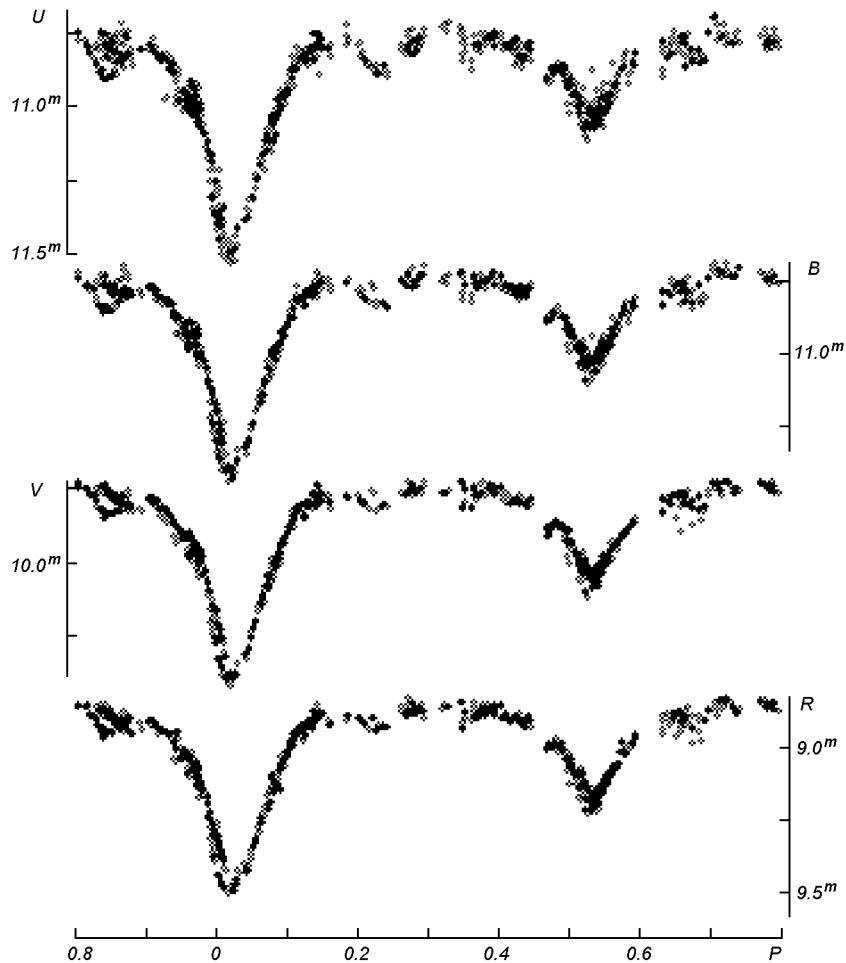


Рис. 3. Кривые блеска V498 Cyg по наблюдениям 2002 г.

проекта «Патруль всего неба» (All Sky Patrol). Звезда сравнения и контрольная звезда в этом каталоге находятся под номерами ID5731040 и ID5731190 соответственно (<http://skydot.lanl.gov>). В проекте «Патруль всего неба» мониторинг проведен в интегральном свете, и были получены 86 измерений блеска звезды сравнения в интервале времени HJD2451325—2451511. Контрольная звезда измерялась 170 раз в интервале времени HJD2451286—2451511. Средний блеск звезд составил 9.288 ± 0.029 и 10.562 ± 0.022 соответственно. Мы не обнаружили заметную переменность опорных звезд и склонны считать, что отмеченные ослабления блеска ТДС на этих фазах связаны с самой ТДС.

Середины этих «мини-минимумов», полученные методом Кви—Вурдена, приходятся на HJD2452503.2854(30) и HJD2452526.3130(11) соответственно и хорошо заметны на рис. 3. Временной интервал между серединами ослаблений блеска составляет 23.0276 ± 0.0032 сут. Мы провели поиск возможных других моментов «мини-минимумов» с этими данными по материалам 2002 г. Была найдена только одна возможная дата, но она пришлось на нисходящую ветвь главного минимума, где выделить эту составляющую на фоне непрерывного изменения блеска оказалось невоз-

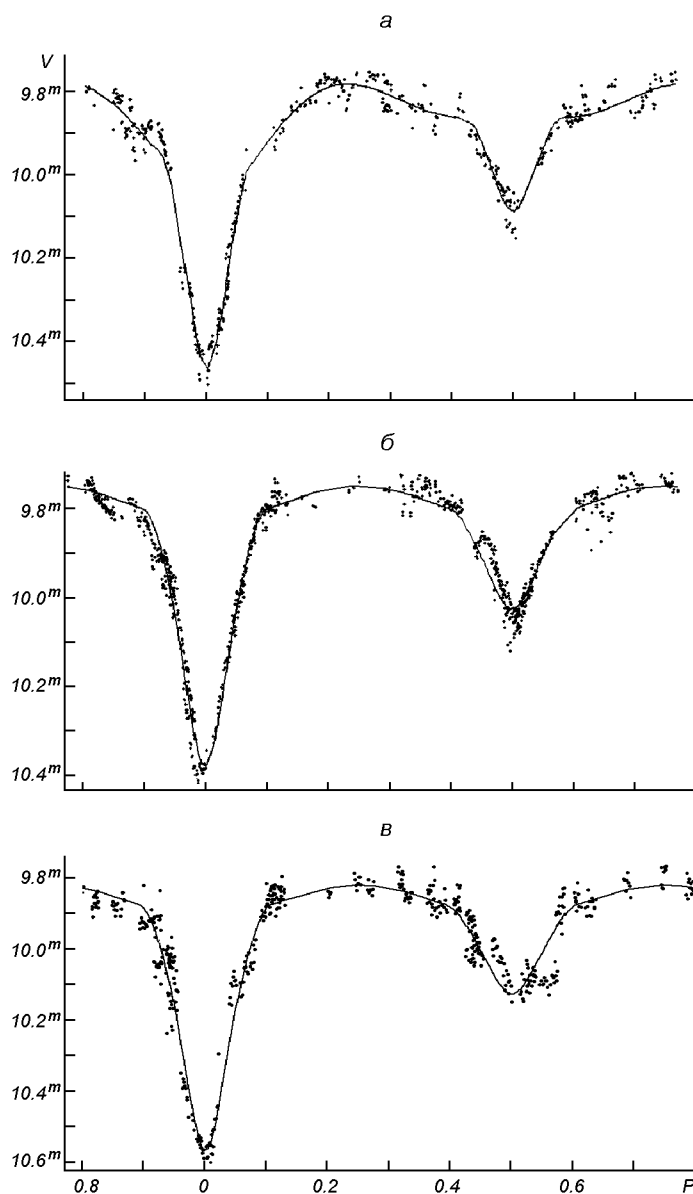


Рис. 4. Теоретические и наблюдаемые кривые блеска V498 Cyg в полосе V: а — наблюдения сезона 1999—2001 гг., б — наблюдения сезона 2002 г., в — наблюдения в Абастуманской обсерватории

возможным. Сейчас преждевременно говорить о природе этого явления, но в качестве гипотезы можно высказать, что причина появления «мини-мини-мумов» связана с третьим телом. Таким третьим телом может быть неустойчивый на длительном интервале времени газовый неоднородный диск, вращающийся вокруг общего центра масс ТДС с периодом 23 сут или кратным к нему. Часть диска с большой непрозрачностью (сгустки) поглощает излучение компонентов, причем глубина «затмения» увеличивается к коротким длинам волн, как в общем происходит в межзвездной среде. Возможно, что неоднородности диска не единичны. Не исключено, что

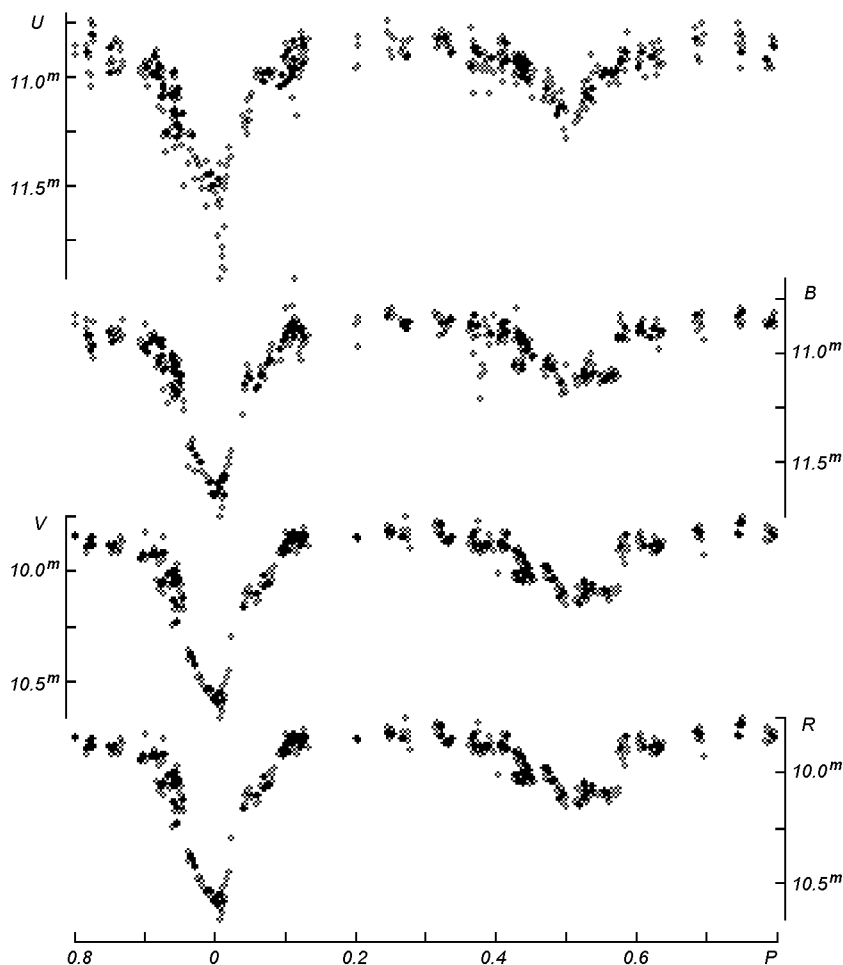


Рис. 5. Кривые блеска V498 Cyg по наблюдениям в Абастуманской обсерватории [7]

деформация кривых блеска происходит из-за влияния этих газовых структур, которые также приводят к ошибкам определения моментов минимумов [1]. Для выяснения природы этого явления были бы очень информативны спектральные наблюдения ТДС.

Фотометрические значения основных фаз переменной приведены в табл. 4. Кривые блеска ТДС во всех наблюдаемых фильтрах были решены прямым методом М. И. Лаврова [6]. Комплекс программ Лаврова реализует ректифицированную модель Рессела—Меррилла и использует нормальные точки. Мы отказались от этой процедуры и ввели индивидуальные наблюдения звезды с единичным весом для каждой точки. Даты, в которых происходят «мини-затмения», были исключены из анализа. Процедура ректификации внезатменной части кривых блеска выявила заметные эффекты фазы во всех полосах, отражающие эллипсоидальность компонентов. Эффект отражения проявился только в красной области спектра. Коэффициенты фотометрического гравитационного потемнения формально вычислялись по формуле [27]:

$$N = \frac{15 + x}{15 - 5x} (1 + y),$$

Таблица 4. Фотометрические значения основных фаз кривых блеска V498 Cyg

Фаза	[7]			Сезон 1999—2001 г.				Сезон 2002 г.				[30]		
	m_V	$m_B - m_U$	$m_B - m_V$	V	$U - B$	$B - V$	$V - R$	V	$U - B$	$B - V$	$V - R$	V	$U - B$	$B - V$
Max	9.82	-0.02	1.03	9.79	0.02	1.04	0.95	9.74	0.02	0.99	0.89	9.829	0.024	1.015
Min I	10.59	-0.03	1.04	10.45	0.09	1.04	0.97	10.38	0.09	1.01	0.90	10.330	0.081	1.025
Min II	10.12	0.06	1.02	10.10	-0.02	1.03	0.94	10.05	0.01	0.98	0.84	9.981	0.018	1.028

Таблица 5. Элементы фотометрической орбиты V498 Cyg

Эле- мент	[16]	Абастумани				Майданак 1999—2001 г.					Майданак 2002 г.				
	m_{pg}	m_U	m_B	m_V	$\langle m_{UBV} \rangle$	U	B	V	R	$\langle UBVR \rangle$	U	B	V	R	$\langle UBVR \rangle$
a_1	0.370(12)	0.385	0.361	0.372	0.374(2)	0.324	0.321	0.309	0.320	0.319(2)	0.372	0.358	0.352	0.336	0.353(1)
b_2	0.354(12)	0.352	0.339	0.355	0.349(2)	0.297	0.293	0.289	0.287	0.291(2)	0.370	0.339	0.338	0.309	0.338(1)
a_2	0.272(11)	0.283	0.266	0.272	0.272(2)	0.238	0.235	0.226	0.234	0.232(1)	0.274	0.263	0.258	0.247	0.260(1)
b_2	0.260(11)	0.259	0.249	0.260	0.256(2)	0.217	0.214	0.212	0.210	0.213(1)	0.272	0.249	0.248	0.227	0.248(1)
x_1	0.386	0.389	0.386	0.375		0.389	0.386	0.375	0.296		0.389	0.386	0.375	0.296	
x_2	0.446	0.436	0.446	0.389		0.4436	0.446	0.389	0.334		0.436	0.446	0.389	0.334	
i°	79.9(8)	77.4	82.5	82.8	81.7(3)	79.9	80.2	79.9	79.7	80.0(1)	83.1	80.7	80.2	79.9	80.4(1)
L_1	0.805(12)	0.875(7)	0.805(5)	0.818(4)		0.755(5)	0.758(3)	0.749(3)	0.740(3)		0.824(2)	0.836(2)	0.815(1)	0.759(2)	
εm	0.032	0.071	0.044	0.045		0.038	0.024	0.025	0.024		0.036	0.031	0.029	0.026	
N	179	306	304	318		210	210	212	210		556	541	533	499	
$Q, \%$	—	12.8	1.6	63.7		6.0	63.9	11.2	0.42		8.1	2.0	12.2	4.1	

где x — коэффициент потемнения к краю диска, y — коэффициент гравитационного эффекта. Значения x брались из таблицы [20], где они вычислены для полос $UBVR$ Джонсона для различных моделей звездных фотосфер. Таблица коэффициентов y гравитационного эффекта в избранных длинах волн для разных спектральных классов звезд дана в работе [27]. В главном минимуме происходит частное затмение и наблюдается прохождение малого по размерам низкотемпературного компонента по диску большей звезды (гипотеза $M \rightarrow B$). Из-за несимметричности ветвей минимумов и заметного рассеяния точек на кривых блеска ТДС нам не удалось найти отношение k радиусов путем свободного поиска этого параметра. Было найдено лучшее решение V -кривой блеска звезды при фиксированных значениях величины $k = 0.735$, и все остальные кривые блеска решались с этим значением k . Нам удалось решить все полученные кривые блеска $V498$ Суг в двух сезонах. Полученные значения элементов фотометрической орбиты (ЭФО) ТДС даны в табл. 5. Распределение квадрата отклонений наблюдаемых точек от теоретической кривой блеска ($O - C$) в каждой полосе был сравнен с распределением χ^2 [18]. Применение критерия согласия показало, что полученные суммы $\Sigma (O - C)^2$ отличаются друг от друга в каждом сезоне и в одном и том же фильтре. Значения Q приведены в последней строке. Наименьшее доверие ЭФО вызывают данные в полосе R в обоих сезонах. Низкое значение Q получено в полосе B во втором сезоне. Несмотря на это, геометрические ЭФО в этих полосах не сильно отличаются от данных в других полосах, где значения Q превышают порог доверия 6 %. По-видимому, формальное применение критерия χ^2 для оценки достоверности полученных ЭФО не всегда приводит к желаемым результатам, если рассеяние точек на кривых блеска не связано со случайными ошибками наблюдений, а отражает какие-то физические процессы. Исходя из этих предположений, мы усреднили геометрические ЭФО с учетом ошибок их определения по формуле [18]

$$Y_{UBVR} = \frac{\sum (Y_i / \sigma_i^2)}{\sum (1 / \sigma_i^2)},$$

и

$$\sigma_{UBVR}^2 = \frac{1}{\sum (1 / \sigma_i^2)},$$

где Y_{UBVR} — значение средневзвешенного элемента орбиты, σ_{UBVR} — его средневзвешенная квадратичная ошибка, Y_i — значение i -го элемента орбиты, σ_i — его средняя квадратичная ошибка. В графах $UBVR$ даны усредненные значения ЭФО. Обозначения элементов в таблице общепринятые: $a_{1,2}$, $b_{1,2}$ — большие и малые полуоси компонентов, $x_{1,2}$ — коэффициенты потемнения к краю, i — наклонение орбиты к картинной плоскости. Относительный блеск компонентов дан в единицах суммы $L_1 + L_2$.

В десятой строке табл. 5 указаны средние отклонения ε наблюдаемых точек от теоретических кривых блеска ТДС, а в следующей — общее число индивидуальных точек в обоих минимумах. На рис. 4, a , b показаны наблюдаемые и теоретические кривые блеска в полосе V в обоих сезонах. Если сравнить ЭФО в двух сезонах в одних и тех же полосах, то видно, что кроме наклонения плоскости орбиты i , ЭФО в первом сезоне наблюдений систематически меньше, чем во втором. Возможно, что в 2002 г. ЭФО ТДС искажены влиянием диска, о котором мы говорили выше. Заманчиво было бы построить модель системы другими методами, которые синтезируют

кривые блеска ТДС с дисками. В этих методах определяющим параметром является отношение масс компонентов, которое можно уверенно определить только из спектральных наблюдений.

Нам было интересно сравнить полученные ЭФО V498 Cyg с другими данными. Как было отмечено, впервые фотоэлектрические кривые блеска ТДС в трех цветах были получены в Абастуманской обсерватории [7]. Ввиду особой важности вопроса о стабильности кривых блеска и значений ЭФО ТДС мы заново проанализировали эти наблюдения.

НАБЛЮДЕНИЯ В АБАСТУМАНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Фотоэлектрические кривые блеска V498 Cyg были получены в Абастуманской обсерватории НАН Грузии в 1970—1975 гг. на 48-см телескопе AZT-14a [7]. Звезда наблюдалась в инструментальной фотометрической системе *ubv*. Определялся ее блеск как разность звездных величин переменной и звезды сравнения. Было получено по 541 точек в каждой полосе. Поиск ЭФО проводился также программой М. И. Лаврова, реализованной на ЭВМ «Наири». Ввиду низкой операционной скорости вычисления и малой памяти компьютера были использованы нормальные точки. Исследователи отметили, что теоретическая кривая блеска в УФ-участке спектра плохо описывает наблюдения: точки заметно лежат выше кривой блеска. К сожалению, полученные фазовые кривые блеска звезды не приводились. Приведены только таблицы наблюдений и сравнения нормальных точек в минимумах с теоретическими кривыми блеска. Контрольная звезда в наших измерениях совпала со звездой сравнения, использованной в Абастумани. Считая, что абастуманская инструментальная фотометрическая система не сильно отличается от системы Джонсона, мы перевели разности блеска переменной в звездные величины. Кривые блеска были свернуты относительно нашей эфемериды ТДС, и полученные результаты показаны на рис. 5. Как видно, кривые блеска показывают большие отклонения от «гладких» кривых. Особенно заметна сильная асимметрия ветвей главного и вторичного минимумов.

Так, не только наши наблюдения звезды, но и другие измерения свидетельствуют о нестационарности и особенностях кривых блеска ТДС. Мы заново решили все абастуманские кривые блеска ТДС, используя индивидуальные наблюдения. Были исключены точки, которые заметно отличались от средних фазовых значений блеска. Лучшие ЭФО в визуальных лучах были получены при фиксированном отношении радиусов $k = 0.735$, и мы использовали это значения при решении кривых блеска в двух остальных цветах (табл. 5). В главном минимуме затмевается большой яркий компонент (гипотеза М → Б). Отметим, что в работе [7] решения кривых блеска выполнены при гипотезе Б → М. Мы также решали эти кривые блеска при этой гипотезе, однако применение критерия χ^2 позволило отдать предпочтение нашему варианту, хотя отличия не во всех полосах были очевидными. Как видно из таблицы, наибольшее доверие вызывает ЭФО системы, полученные нами в V-полосе. Геометрические ЭФО были усреднены по использованным выше формулам. Мы не можем судить о точности ЭФО в работе [7], так как применение критерия χ^2 требует знания отклонений индивидуальных наблюдений блеска в каждой нормальной точке. По виду кривых блеска ТДС трудно было ожидать хорошего согласия геометрических ЭФО во всех цветах.

На рис. 4, в показано сравнение теоретической кривой ТДС с наблюдениями звезды в полосе V. Для полноты информации нами были решена фотографическая кривая блеска V498 Cyg (табл. 5), построенная по

нормальным точкам [16]. Фотографические ЭФО оказались наиболее близкими к решениям абастуманских кривых блеска ТДС.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, мы получили ЭФО V498 Cyg по наблюдениям в два сезона, которые отличаются друг от друга, за исключением угла наклона орбиты. Дальнейший анализ проведем в предположении, что ЭФО ТДС, полученные из наблюдений в первом сезоне, более близки к реальным характеристикам звезд. Данные табл. 4 и 5 позволяют легко вычислить фотометрические характеристики каждого компонента (табл. 6). Для фотометрической оценки спектральных классов компонентов V498 Cyg мы нанесли положение звезд на двухцветные диаграммы $(U - B) - (B - V)$ и $(U - B) - (V - R)$. По линии нормального покраснения главный компонент пересекает стандартную кривую на первой диаграмме вблизи точки спектра B1, а вторичный — B2. На второй диаграмме главный компонент ТДС можно характеризовать спектром B2, а вторую звезду — B4. Полученная оценка спектрального класса согласуется со спектром звезды B1 III [24]. Спектр спутника можно принять как B3. По закону абсолютного чернотельного излучения, часто применяемого при оценке температуры звезды, усредненная температура вторичного компонента по всем цветам составила $T_2 = 20200 \pm 100$ К, что соответствует спектру B3 (здесь принято $T_1 = 26500$ К).

Поиск основных характеристик звезд производился по схеме, изложенной в работе [4]. Наилучшее согласие физических параметров компонентов и их спектров получилось в случае, когда звезды находились на ветви гигантов [11]. Абсолютные характеристики компонентов ТДС даны в табл. 7. Время жизни звезд на главной последовательности с массами $17.0M_{\odot}$ (масса главного компонента) можно вычислить по формуле [17]

$$\lg \tau = 9.9 - 3.8 \lg(M/M_{\odot}) + \lg^2(M/M_{\odot}).$$

Это время составляет 5.5 млн лет, и его можно принять за нижнюю границу возраста ТДС.

Таблица 6. Фотометрические величины компонентов V498 Cyg

Наблюдения	V	U - B	B - V	V - R
Главный компонент				
Абастумани	10.01 ± 0.01	-0.08 ± 0.01	1.02 ± 0.01	—
Майданак 1999—2001	10.02 ± 0.00	0.00 ± 0.01	1.03 ± 0.01	0.94 ± 0.01
Майданак 2002	9.94 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.96 ± 0.00	0.85 ± 0.00
Вторичный компонент				
Абастумани	11.81 ± 0.03	0.42 ± 0.06	1.09 ± 0.04	—
Майданак 1999—2001	11.58 ± 0.01	0.14 ± 0.02	1.10 ± 0.02	1.01 ± 0.02
Майданак 2002	11.69 ± 0.01	-0.07 ± 0.02	1.14 ± 0.01	1.06 ± 0.01

Таблица 7. Ожидаемые фундаментальные характеристики V498 Cyg

Компонент	M/M_{\odot}	R/R_{\odot}	M_V	S_p	$T_{\text{эф}}$	A/R_{\odot}
Главный	17.0	9.15	-4.5	B1 III	26500	28.6
Вторичный	8.8	6.7	-3.0	B3 III	20200 ± 100	

Отношение масс компонентов ТДС $q = 0.52$, что определяет их критические радиусы $r_{cr.1} = 0.436$ и $r_{cr.2} = 0.324$ [27]. Здесь под критическим радиусом звезды мы понимаем радиус сферы равного объема с объемом полости Роша данного компонента. Наилучшая аппроксимация критических радиусов звезд данных в таблице Копала [27] сделана в работе [21]:

$$r_{\text{крит}} = \frac{0.49q^{2/3}}{0.6q^{2/3} + \ln(1 + q^{1/3})}.$$

Обе звезды не выходят за пределы размеров своих полостей Роша. Мы предположили, что аномальности кривых блеска ТДС могут быть объяснены наличием гипотетического общего диска в системе. Такой диск мог образоваться в результате истечения вещества из компонентов, но они в настоящее время не заполняют свои полости Роша (73 и 65 % соответственно). На отсутствие потоков вещества внутри ТДС также указывает линейная эфемерида, хотя значения $O - C$ очень рассеяны относительно нулевых значений. Возможно, диск образовался на более ранней стадии эволюции, когда звезды еще превышали свои критические поверхности.

Оценим модуль расстояния ТДС двумя способами. На двухцветной диаграмме вида $(U - B) - (B - V)$ компоненты показывают одинаковый избыток цвета $E_{B-V} = 1.30^m$. Принимая нормальный закон межзвездного поглощения и значение R с учетом спектра звезд и избытка цвета [10], находим модуль расстояния ТДС $m - M = 10.2 \pm 0.6^m$. Ошибка модуля расстояния в основном обусловлена космической дисперсией абсолютных звездных величин В-звезд. Модуль расстояния ТДС получен по обоим компонентам. Расстояние до ТДС можно найти и по зависимости Барнса—Эванса [28], записанной нами в удобной форме:

$$F_v = 3.7369 - 0.1V_0 + 0.5\lg(r \cdot R_{\odot}/R),$$

где F_v — яркость поверхности звезды, табулированная в работе [32], r — расстояние в парсеках. Подстановка данных в эту формулу приводит к средней величине $m - M = 9.8 \pm 0.1^m$. Два независимых способа оценки модуля расстояния ТДС дали близкие результаты, и мы приняли расстояние до ТДС равным 1.0 кпк. В каталоге [26] модуль расстояния звезды оценен в 10.34^m , и ТДС отнесена к членам ОВ-ассоциации Суг ОВ9.

В нашей работе [5] рассмотрена вероятность принадлежности звезды к ОВ-ассоциации Суг ОВ1, на которую она проектируется, по собственным движениям (P_{μ}) и модулю расстояния (P_{m-M}). Границы ассоциации были приняты согласно данным [8]. Были получены вероятности $P_{\mu} = 0.203$ и $P_{m-M} = 0.940$. Однако если мы сравним положение ТДС с областью ОВ-ассоциаций согласно [2], то она попадает на окраины Суг ОВ9. Значение вероятности принадлежности ТДС к данной ассоциации равно $P_{\mu} = 0.315$, и с новым значением модуля расстояния ТДС находим $P_{m-M} = 1.000$. Поэтому, учитывая относительную молодость звезд, V498 Суг следует отнести к физическим членам ОВ-ассоциации Суг ОВ9.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены новые полные фотоэлектрические кривые блеска затменной переменной звезды V498 Суг в фотометрической системе $UBVR$ Джонсона и впервые — в R -полосе. Улучшена эфемерида ТДС. Смещение вторичного минимума относительно фазы 0.5000 не получило подтверждения. Все кривые блеска переменной показывают особенности, которые, по-видимому, связаны с наличием общего неоднородного диска. Наши наблюдения были

разбиты на два сезона, и кривые блеска в каждом сезоне анализировались отдельно. Прямым методом Лаврова получены высокоточные ЭФО во всех полосах как по нашим, так и по более ранним наблюдениям. Причина расхождения ЭФО может быть результатом влияния предполагаемого нестационарного диска в системе.

Проведена спектральная классификация компонентов Q-методом. Оценены абсолютные характеристики компонентов, и звезды отнесены к ветви гигантов: V1 III и V3 III. По собственным движениям, удаленности и с учетом молодости компонентов ТДС является физическим членом ОБ-ассоциации Cyg OB9.

Авторы благодарны проф. Дж. Крейнеру за пакет программ для определения моментов минимумов и Д. М. Алексеву за помощь в оформлении иллюстраций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Центра по науке и технологиям Республики Узбекистан (грант Ф-2.1.76). В работе использован банк астрономических данных SIMBAD и программа CHISQ из пакета STARLINK.

1. Бэттен А. Двойные и кратные звезды. — М.: Мир, 1976.—323 с.
2. Гарибджанян А. Т., Гаспарян К. Г., Оганесян Р. Х. Распределение ОБ-звезд и поглощающее вещество в области вокруг звезды Р Cyg // Астрофизика.—1984.—20, № 2.—С. 245—261.
3. Железнякова А. И. Результаты исследования прозрачности и влагосодержания атмосферы на астропункте Майданак // Астроклимат и эффективность телескопов. — Л.: Наука, 1984.—С. 55—59.
4. Закиров М. М. Тесные двойные системы в областях звездообразования. FF Ori, FH Ori, FK Ori и FR Ori в ассоциации Ori I // Письма в Астрон. журн.—1996.—22, № 9.—С. 664—695.
5. Закиров М. М., Эшанкулова М. У. Тесные двойные системы в области ОБ-ассоциаций. I. Предварительное исследование // Кинематика и физика небес. тел.—2004.—20, № 4.—С. 313—327.
6. Лавров М. И. Комплекс программы на языке «Бейсик» для анализа кривых блеска затменных двойных систем // Тр. Казан. гор. астрон. обсерватории.—1993.—№ 53.—С. 34—47.
7. Магалашвили Н. Л., Кумсшвили Я. И. Элементы фотометрических орбит затменных двойных систем V498 Лебедя и DS Андромеды // Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории.—1978.—№ 49.—С. 3—22.
8. Мельник А. М., Ефремов Ю. Н. Новый список ОБ-ассоциаций Галактики // Письма в Астрон. журн.—1995.—21, № 1.—С. 13—30.
9. Свечников М. А., Кузнецова Э. Ф. Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд. — Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1990.—Том 1.—224 с.
10. Страйжис В. Многоцветная фотометрия звезд. — Вильнюс: Моклас, 1977.—312 с.
11. Страйжис В. Звезды с дефицитом металлов. — Вильнюс: Моклас, 1982.—312 с.
12. Филлин А. Я. Затменная переменная 538-1936 Cygni // Циркуляр Сталинабад. астрон. обсерватории.—1949.—№ 73.—С. 1.
13. Филлин А. Я. Затменная переменная V498 Cygni // Перемен. звезды.—1950.—7, № 6.—С. 328—329.
14. Флоря Н.Ф. Исследование 78 переменных звезд в поле № 24 // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга.—1949.—16.—С. 187—295.
15. Харди Х. Редукция фотоэлектрических наблюдений // Методы астрономии / Под ред. В. А. Хилтнера. — М.: Мир, 1965.—С. 157—183.
16. Эйнасто Я. Э. V498 Cygni // Перемен. звезды.—1951.—8, № 1.—С. 71—73.
17. Юнгельсон Л. Р., Масевич А. Г. Эволюция звезд в тесных двойных системах // Итоги науки и техники / ВИНТИ. Астрономия.—1982.—21.—С. 27—62.—(Под ред. Р. А. Сюняева).
18. Bevington P. R., Robinson D. K. Data reduction and error analysis for the physical sciences. — New York: McGraw-Hill, 2003.—320 p.
19. Branczewicz H. K., Dworak T. Z. A catalogue of parameters for eclipsing binaries // Acta astron.—1980.—30, N 4.—P. 501—524

20. *Claret A.* A new non-linear limb-darkening law for LTE stellar atmosphere models. Calculations for $-5.0 \leq \log[M/H] \leq +1$, $2000 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 50000 \text{ K}$ at several surface gravities // *Astron. and Astrophys.*—2000.—**363**, N 3.—P. 1081—1090.
21. *Eggleton P. P.* Approximation to the radii of Roche lobes // *Astrophys. J.*—1983.—**268**, N 1.—P. 368—369.
22. *Hausler K.* V498 Cyg // *Mitteil. Bruno-Burgel Stern. Hartha.*—1980.—N 15.—P. 7—10.
23. *Hegedüs T.* An up-dated list of eclipsing binaries showing apsidal motion // *Bull. Inf. Centre Donnees. Stellaires.*—1988.—N 35.—P.15—29.
24. *Hiltner W. A.* Interstellar polarization of 405 stars // *Astrophys. J.*—1954.—**120**, N 3.—P. 454—462.
25. *Hoffmeister C.* 604 neue Veränderliche // *Astron. Nachr.*—1936.—**259**, N 6195.—P.37—52.
26. *Humphreys R. M.* Studies of luminous stars in nearby galaxies. I. Supergiants and O stars in the Milky Way // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1978.—**38**, N 4.—P. 309—350.
27. *Kopal Z.* Close binary system. The International Astrophysics Series. — London: Chapman & Hall, 1959.—Vol. 5.—558 p.
28. *Lacy C. H.* Distances to eclipsing binaries: an application of the Barnes-Evans relation // *Astrophys. J.*—1977.—**213**, N 2.—P. 458—463.
29. *Lacy C. H.* New double-lined eclipsing binaries // *Inform. Bull. Var. Stars.*—1990.—N 3448.—P.1—4.
30. *Lacy C. H.* UBV photometry of selected eclipsing binary stars // *Astron. J.*—1992.—**104**, N 2.—P. 801—809.
31. *Lacy C. H.* uvby β photometry of selected eclipsing binary stars // *Astron. J.*—2002.—**124**, N 3.—P.1162—1169.
32. *Landolt A. U.* UBVRI photometric standard stars around the celestial equator // *Astron. J.*—1983.—**88**, N 3.—P.439—460.
33. *Perryman M. A., Lindgren L., Kovalevsky J., et al.* Parallax and the Hertzsprung-Russell diagram from the preliminary Hipparcos solution H30 // *Astron. and Astrophys.*—1995.—**304**, N 1.—P. 69—81.
34. *Popova M., Kraicheva Z.* Catalogue of eclipsing and spectroscopic binary stars in the region of open clusters // *Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории.*—1984.—**18**.—С.64—88.
35. *Romano G.* Researches with the Schmidt telescopes. III. Variables stars in the field of gamma Cygni // *Mem. Soc. Astron. Ital.*—1969.—**40**, N 4.—P.375—413.
36. *Sanding H. U.* Bamberg Mitteilungen über 85 verdächtige und veränderliche Sterne // *Astron. Nachr.*—1948.—**276**, N 177.—P. 173—180.
37. *Semeniuk I. A.* Search for eclipsing binaries in O—B associations // *Acta astron.*—1962.—**12**, N 2.—P. 122—131.
38. *Semeniuk I.* Apsidal motion in binary systems. II. Photoelectric observations of six eclipsing variables with apsidal motion // *Acta astron.*—1968.—**18**, N 1.—P. 1—32.
39. *Van Schewick H.* Feld γ Cygni // *Klein. Veröff. Univ. Berlin-Babelsberg.*—1941.—N 24.—P.86—99.

Поступила в редакцию 25.05.07