

ПОИСК ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРИОДОВ ЦЕФЕИД: V1033 Cyg — КЛАССИЧЕСКАЯ ЦЕФЕИДА НА ПЕРВОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ПОЛОСЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ

© 2019 г. Л. Н. Бердников^{1*}, Е. Н. Пастухова², В. В. Ковтюх³,
Б. Лемаль⁴, А. Ю. Князев^{1,5,6}, И. А. Усенко^{2,7}, Д. Боно^{8,9}, Е. Гребель⁴,
Г. Хайду^{4,10,11}, С. В. Жуйко¹, С. Н. Удовиченко³, Л. Э. Кейр³

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт астрономии РАН, Москва, Россия

³Астрономическая обсерватория Одесского национального университета, Одесса, Украина

⁴Центр астрономии Гейдельбергского университета, Гейдельберг, ФРГ

⁵Южно-Африканская астрономическая обсерватория, Кейптаун, Южная Африка

⁶Южный Африканский Большой Телескоп, Кейптаун, Южная Африка

⁷НИИ Николаевская астрономическая обсерватория, Николаев, Украина

⁸Департамент физики Римского университета, Рим, Италия

⁹Римская астрономическая обсерватория, Рим, Италия

¹⁰Католический университет Чили, Сантьяго, Чили

¹¹Институт астрофизики, Сантьяго, Чили

Поступила в редакцию 23.12.2018 г.; после доработки 23.12.2018 г.; принята к публикации 25.12.2018 г.

Для классической цефеиды V1033 Cyg построена $O - C$ диаграмма, охватывающая временной интервал 117 лет. Диаграмма $O - C$ имеет вид параболы, что позволило впервые определить квадратичные элементы изменения блеска и вычислить скорость эволюционного увеличения периода $dP/dt = 18.19 (\pm 0.08)$ с/год, что согласуется с результатами теоретических расчетов для первого пересечения полосы неустойчивости. Таким образом, V1033 Cyg является второй реально наблюдаемой цефеидой (после α UMi), впервые пересекающей полосу неустойчивости.

Ключевые слова: цефеиды, изменчивость периодов, эволюция звезд.

DOI: 10.1134/S0320010819040016

ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение парабол на $O - C$ диаграммах позволяет вычислить скорости наблюдаемых эволюционных изменений периодов цефеид. Сравнение их с теоретическими скоростями, посчитанными для разных пересечений полосы неустойчивости, позволяет идентифицировать номер пересечения, что в перспективе даст возможность построить зависимость период–светимость отдельно для каждого пересечения, а это в свою очередь приведет к более точному определению расстояний цефеид.

Согласно теоретическим расчетам (см., например, Фадеев, 2014), длительность первого пересече-

ния полосы неустойчивости классических цефеид в десятки раз меньше (соответственно скорость изменения периода — больше), чем второго и третьего, поэтому ожидаемая доля цефеид Галактики в первом пересечении составляет от 2% для малых периодов до 9% для больших периодов. К настоящему времени с разной степенью достоверности обнаружены параболы на $O - C$ диаграммах почти 200 цефеид (Тэрнер и др., 2006), и с учетом того, что долгопериодических цефеид существенно меньше, чем короткопериодических, число наблюдаемых цефеид в первом пересечении должно быть ≈ 7 .

Однако реально наблюдается только одна — α UMi (Полярная) (Тэрнер и др., 2005). Главная причина этого, по-видимому, связана с трудностью обнаружения таких объектов: большинство

* Электронный адрес: berdnik@sai.msu.ru

Таблица 1. ПЗС наблюдения V1033 Суг в фильтре V

HJD, 2400000+	Блеск						
56517.3933	13.281	56517.3941	13.270	56517.3949	13.257	56517.3961	13.263
56517.3969	13.267	56517.3977	13.258	56517.3988	13.252	56517.3996	13.251
56517.4005	13.255	56517.4016	13.262	56517.4024	13.255	56517.4032	13.262
56518.3015	12.624	56518.3023	12.610	56518.3031	12.619	56518.3042	12.628
56518.3051	12.624	56518.3062	12.622	56518.3070	12.618	56518.3078	12.605
56518.3090	12.611	56518.3098	12.626	56518.3106	12.625	56518.3118	12.607
56536.3541	13.218	56536.3549	13.219	56536.3557	13.206	56536.3569	13.250
56536.3577	13.240	56536.3585	13.232	56536.3596	13.225	56536.3605	13.228
56536.3613	13.228	56536.3624	13.219	56536.3632	13.218	56536.3640	13.239
56536.3652	13.245	56536.3660	13.234	56536.3668	13.225	56536.3680	13.229
56536.3688	13.219	56536.3700	13.215	56536.3708	13.239	56536.3716	13.231
56536.3728	13.229	56536.3736	13.222	56536.3744	13.219	56536.3756	13.219
56536.3764	13.234	56536.3772	13.219	56536.3784	13.230	56536.3792	13.228
56536.3800	13.236	56536.3811	13.228	56536.3819	13.235	56536.3827	13.247
56536.3839	13.231	56536.3847	13.226	56536.3855	13.231	56536.3867	13.234
56536.3875	13.220	56536.3883	13.225	56536.3895	13.227	56536.3903	13.228
56536.3911	13.230	56536.3922	13.235	56536.3931	13.219	56536.3939	13.229
56536.3950	13.232	56536.3959	13.231	56536.3967	13.238	56536.3978	13.234
56536.3986	13.250	56536.3994	13.237	56536.4006	13.245	56536.4014	13.230
56536.4034	13.240	56536.4042	13.238	56536.4050	13.220	56536.4062	13.241
56536.4070	13.221	56536.4078	13.223	56536.4089	13.235	56536.4097	13.236
56536.4105	13.250	56536.4117	13.243	56536.4125	13.239	56536.4133	13.228
56536.4144	13.235	56536.4153	13.272	56536.4161	13.242	56536.4172	13.234
56536.4181	13.239	56536.4189	13.238	56536.4201	13.239	56536.4209	13.238
56536.4217	13.230	56536.4228	13.231	56536.4236	13.230	56536.4244	13.241
56536.4256	13.236	56536.4264	13.253	56536.4272	13.228	56536.4284	13.243
56536.4292	13.243	56536.4300	13.238	56536.4311	13.269	56536.4319	13.234
56536.4327	13.245	56536.4339	13.243	56536.4347	13.243	56536.4356	13.251
56536.4367	13.243	56536.4375	13.237	56536.4383	13.243	56536.4395	13.234
56536.4403	13.231	56536.4411	13.257	56536.4423	13.235	56536.4431	13.251
56536.4439	13.237	56536.4451	13.226	56536.4459	13.233	56537.3412	13.217
56537.3420	13.217	56537.3440	13.216	56537.3453	13.223	56537.3461	13.197
56537.3469	13.209	56537.3481	13.219	56537.3489	13.211	56537.3497	13.210
56537.3509	13.193	56537.3517	13.219	56537.3525	13.205	56537.3537	13.216
56537.3545	13.213	56537.3553	13.208	56537.3565	13.210	56537.3573	13.211
56537.3581	13.216	56537.3593	13.220	56537.3601	13.207	56537.3613	13.203
56537.3621	13.195	56537.3629	13.201	56537.3641	13.224	56537.3649	13.214
56537.3657	13.208	56537.3669	13.196	56537.3677	13.207	56537.3686	13.225
56537.3697	13.208	56537.3706	13.214	56537.3717	13.195	56537.3726	13.183

Таблица 2. Наблюдательный материал цефеиды V1033 Cyg

Источник данных	Число наблюдений	Тип наблюдений	Интервал JD
Миллер (1965)	88	<i>PG</i>	2415557–2438582
ГАИШ (данная работа)	141	<i>PG</i>	2433129–2450284
Данная работа (Табл. 1)	1864	<i>V</i>	2456517–2458405
Литература	91	<i>B</i>	2446252–2440518
Литература	98	<i>V</i>	2446252–2450518
NSVS	54	<i>V</i>	2451328–2451600
INTEGRAL-ОМС	948	<i>V</i>	2452612–2457719
ASAS-SN	634	<i>V</i>	2457069–2458435

цефеид было открыто по наблюдениям, сделанным на фотографических пластинках, полученных за много лет ежегодными сериями от нескольких до нескольких десятков штук, а при высокой скорости изменения периода такие наблюдения свести в единую среднюю кривую просто невозможно.

Наш опыт показал, что, когда интервал времени, охваченный $O - C$ диаграммой, достигает столетия, более 90% изученных цефеид (во всем диапазоне встречающихся в Галактике периодов) показывают эволюционные изменения их периодов (Тэрнер и др., 2006). Поэтому при изучении изменчивости периодов цефеид следует охватить наблюдениями как можно больший интервал времени. Следует отметить также, что увеличение временного интервала позволило обнаружить ошибочную идентификацию первого пересечения для IX Cas (Сабадош, 1980), VY Cas и DX Gem (Бердников и др., 1997), “параболы” на $O - C$ диаграммах которых оказались фрагментами циклических колебаний остатков $O - C$.

В данной работе мы исследуем поведение пульсаций цефеиды V1033 Cyg, период изменения блеска которой составляет 4^d94 , и которая является реальным кандидатом на первое пересечение полосы неустойчивости.

МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Для изучения изменчивости периодов цефеид мы применяем общепринятую методику анализа $O - C$ диаграмм, а самым точным методом определения остатков $O - C$ является метод Герцшпрунга (1919), машинная реализация которого описана в работе Бердникова (1992а).

Переменность V1033 Cyg открыл Миллер (1965); используя моменты поярчаний блеска

на 88 фотопластинках, он определил элементы изменения блеска и отметил, что период цефеиды быстро меняется.

Для нового изучения периода V1033 Cyg мы сделали глазомерные оценки блеска на старых фотографических пластинках ГАИШ. Кроме того, в Астрономической обсерватории Одесского национального университета (Украина) на 48-см телескопе, оснащённом ПЗС-матрицей Sony ICX429ALL, были сделаны 1864 измерения блеска в фильтре *V*, которые частично приведены в табл. 1, а полностью доступны по адресу <http://cdsarc.ustrasbg.fr/viz-bin/Cat>. Мы также использовали опубликованные фотоэлектрические наблюдения и фотометрические данные, полученные в рамках проектов NSVS (Возниак и др., 2004), INTEGRAL-ОМС (Альфонсо-Гарсон и др., 2012) и ASAS-SN (Ясингхе и др., 2018).

Сведения о количестве использованных наблюдений приведены в табл. 2. Самая старая пластинка с изображением V1033 Cyg была получена в 1901 г., а последние ПЗС-наблюдения были сделаны в 2018 г. Следовательно, наши данные охватывают временной интервал 117 лет.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты обработки сезонных кривых V1033 Cyg приведены в табл. 3. В первом и втором столбцах даны моменты максимального блеска и ошибки их определения, в третьем — тип используемых наблюдений, в четвертом и пятом — номер эпохи *E* и значение остатка $O - C$, а в шестом и седьмом — число наблюдений *N* и источник данных. Данные табл. 3 изображены на $O - C$ диаграмме (рис. 1) заполненными и пустыми квадратиками для фотографических поярчаний

Таблица 3. Моменты максимума блеска V1033 Cyg

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O - C$, сут	N	Источник данных
2415557.1000	—	<i>PG</i>	−4337	25.8833	—	Миллер (1971)
2416346.6000	—	<i>PG</i>	−4177	24.9358	—	Миллер (1971)
2428074.0000	—	<i>PG</i>	−1799	4.3093	—	Миллер (1971)
2428098.9000	—	<i>PG</i>	−1794	4.5078	—	Миллер (1971)
2428099.3000	—	<i>PG</i>	−1794	4.9078	—	Миллер (1971)
2428099.3000	—	<i>PG</i>	−1794	4.9078	—	Миллер (1971)
2428099.3000	—	<i>PG</i>	−1794	4.9078	—	Миллер (1971)
2428099.4000	—	<i>PG</i>	−1794	5.0078	—	Миллер (1971)
2428109.3000	—	<i>PG</i>	−1792	5.0272	—	Миллер (1971)
2428109.4000	—	<i>PG</i>	−1792	5.1272	—	Миллер (1971)
2428109.4000	—	<i>PG</i>	−1792	5.1272	—	Миллер (1971)
2428419.4000	—	<i>PG</i>	−1729	3.8885	—	Миллер (1971)
2428419.6000	—	<i>PG</i>	−1729	4.0885	—	Миллер (1971)
2428424.3000	—	<i>PG</i>	−1728	3.8482	—	Миллер (1971)
2428424.5000	—	<i>PG</i>	−1728	4.0482	—	Миллер (1971)
2428429.7000	—	<i>PG</i>	−1727	4.3079	—	Миллер (1971)
2428449.4000	—	<i>PG</i>	−1723	4.2467	—	Миллер (1971)
2428484.2000	—	<i>PG</i>	−1716	4.4647	—	Миллер (1971)
2428484.2000	—	<i>PG</i>	−1716	4.4647	—	Миллер (1971)
2428484.3000	—	<i>PG</i>	−1716	4.5647	—	Миллер (1971)
2428656.5000	—	<i>PG</i>	−1681	3.8543	—	Миллер (1971)
2428775.4000	—	<i>PG</i>	−1657	4.1871	—	Миллер (1971)
2428775.4000	—	<i>PG</i>	−1657	4.1871	—	Миллер (1971)
2428775.4000	—	<i>PG</i>	−1657	4.1871	—	Миллер (1971)
2428814.4000	—	<i>PG</i>	−1649	3.6647	—	Миллер (1971)
2428834.3000	—	<i>PG</i>	−1645	3.8036	—	Миллер (1971)
2428834.4000	—	<i>PG</i>	−1645	3.9036	—	Миллер (1971)
2428859.2000	—	<i>PG</i>	−1640	4.0021	—	Миллер (1971)
2428859.2000	—	<i>PG</i>	−1640	4.0021	—	Миллер (1971)
2429041.5000	—	<i>PG</i>	−1603	3.5111	—	Миллер (1971)
2429135.3000	—	<i>PG</i>	−1584	3.4454	—	Миллер (1971)
2429135.4000	—	<i>PG</i>	−1584	3.5454	—	Миллер (1971)
2429160.4000	—	<i>PG</i>	−1579	3.8440	—	Миллер (1971)
2429189.7000	—	<i>PG</i>	−1573	3.5022	—	Миллер (1971)
2429194.4000	—	<i>PG</i>	−1572	3.2619	—	Миллер (1971)
2429194.6000	—	<i>PG</i>	−1572	3.4619	—	Миллер (1971)
2429249.2000	—	<i>PG</i>	−1561	3.7186	—	Миллер (1971)
2429372.5000	—	<i>PG</i>	−1536	3.5112	—	Миллер (1971)
2430290.4000	—	<i>PG</i>	−1350	2.5159	—	Миллер (1971)

Таблица 3. Продолжение

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O - C$, сут	N	Источник данных
2430576.6000	—	<i>PG</i>	−1292	2.1787	—	Миллер (1971)
2431677.6000	—	<i>PG</i>	−1069	1.4924	—	Миллер (1971)
2432764.4000	—	<i>PG</i>	−849	1.4271	—	Миллер (1971)
2432803.6000	—	<i>PG</i>	−841	1.1047	—	Миллер (1971)
2432803.7000	—	<i>PG</i>	−841	1.2047	—	Миллер (1965)
2432823.6000	—	<i>PG</i>	−837	1.3435	—	Миллер (1965)
2432866.9000	—	<i>PG</i>	−828	0.1808	—	Миллер (1965)
2432892.2000	—	<i>PG</i>	−823	0.7794	—	Миллер (1965)
2432897.2000	—	<i>PG</i>	−822	0.8391	—	Миллер (1965)
2432951.6000	—	<i>PG</i>	−811	0.8958	—	Миллер (1965)
2433010.6000	—	<i>PG</i>	−799	0.6122	—	Миллер (1965)
2433015.5000	—	<i>PG</i>	−798	0.5719	—	Миллер (1965)
2433104.6000	—	<i>PG</i>	−780	0.7466	—	Миллер (1965)
2433129.1000	—	<i>PG</i>	−775	0.5451	—	Миллер (1965)
2433158.7000	—	<i>PG</i>	−769	0.5033	—	Миллер (1965)
2433188.5000	—	<i>PG</i>	−763	0.6615	—	Миллер (1965)
2433193.4000	—	<i>PG</i>	−762	0.6212	—	Миллер (1965)
2433356.6000	—	<i>PG</i>	−729	0.7914	—	Миллер (1965)
2433356.6000	—	<i>PG</i>	−729	0.7914	—	Миллер (1965)
2433361.5000	—	<i>PG</i>	−728	0.7511	—	Миллер (1965)
2433366.4000	—	<i>PG</i>	−727	0.7108	—	Миллер (1965)
2433860.4000	—	<i>PG</i>	−627	0.6811	—	Миллер (1965)
2433860.4000	—	<i>PG</i>	−627	0.6811	—	Миллер (1965)
2433998.3000	—	<i>PG</i>	−599	0.2528	—	Миллер (1965)
2434067.6000	—	<i>PG</i>	−585	0.3886	—	Миллер (1965)
2434161.5000	—	<i>PG</i>	−566	0.4230	—	Миллер (1965)
2434235.4000	—	<i>PG</i>	−551	0.2185	—	Миллер (1965)
2434245.7000	—	<i>PG</i>	−549	0.6380	—	Миллер (1965)
2434299.6000	—	<i>PG</i>	−538	0.1947	—	Миллер (1965)
2434462.6000	—	<i>PG</i>	−505	0.1649	—	Миллер (1965)
2434546.4000	—	<i>PG</i>	−488	−0.0202	—	Миллер (1965)
2434546.5000	—	<i>PG</i>	−488	0.0798	—	Миллер (1965)
2434576.6000	—	<i>PG</i>	−482	0.5380	—	Миллер (1965)
2434625.5000	—	<i>PG</i>	−472	0.0351	—	Миллер (1965)
2434630.5000	—	<i>PG</i>	−471	0.0948	—	Миллер (1965)
2434892.4000	—	<i>PG</i>	−418	0.1590	—	Миллер (1965)
2434892.5000	—	<i>PG</i>	−418	0.2590	—	Миллер (1965)
2434946.4000	—	<i>PG</i>	−407	−0.1842	—	Миллер (1965)
2434986.4000	—	<i>PG</i>	−399	0.2934	—	Миллер (1965)

Таблица 3. Окончание

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O - C$, сут	N	Источник данных
2435006.3000	—	<i>PG</i>	−395	0.4322	—	Миллер (1965)
2435006.3000	—	<i>PG</i>	−395	0.4322	—	Миллер (1965)
2435979.5000	—	<i>PG</i>	−198	0.3937	—	Миллер (1965)
2435979.5000	—	<i>PG</i>	−198	0.3937	—	Миллер (1965)
2435979.5000	—	<i>PG</i>	−198	0.3937	—	Миллер (1965)
2435984.5000	—	<i>PG</i>	−197	0.4534	—	Миллер (1965)
2435984.5000	—	<i>PG</i>	−197	0.4534	—	Миллер (1965)
2435989.5000	—	<i>PG</i>	−196	0.5131	—	Миллер (1965)
2435989.5000	—	<i>PG</i>	−196	0.5131	—	Миллер (1965)
2436532.1708	0.0344	<i>PG</i>	−86	−0.2488	13	ГАИШ (данная работа)
2438582.5000	—	<i>PG</i>	329	−0.1429	—	Миллер (1965)
2446264.7577	0.0099	<i>V</i>	1883	4.9023	22	Бердников (1987)
2446264.7684	0.0134	<i>B</i>	1883	4.9038	22	Бердников (1987)
2446615.9210	0.0082	<i>V</i>	1954	5.3046	18	Бердников (1992б)
2446620.8708	0.0102	<i>B</i>	1955	5.3049	18	Бердников (1992б)
2447090.7559	0.0121	<i>B</i>	2050	5.8617	10	Хенден (1996)
2447224.2939	0.0227	<i>V</i>	2077	6.0208	16	Хенден (1996)
2447417.1734	0.0222	<i>V</i>	2116	6.2288	27	Бердников (1992в)
2447417.2341	0.0169	<i>B</i>	2116	6.2803	27	Бердников (1992в)
2447743.6317	0.0287	<i>PG</i>	2182	6.6183	57	ГАИШ (данная работа)
2448287.7813	0.0295	<i>PG</i>	2292	7.3353	36	ГАИШ (данная работа)
2448510.4367	0.0225	<i>V</i>	2337	7.6865	15	Бердников (1992г)
2448510.4430	0.0104	<i>B</i>	2337	7.6836	14	Бердников (1992г)
2449336.6565	0.0499	<i>PG</i>	2504	8.8674	35	ГАИШ (данная работа)
2451449.5351	0.0316	<i>V</i>	2931	12.2484	54	NSVS
2452701.6164	0.0280	<i>V</i>	3184	14.4345	177	INTEGRAL-ОМС
2453339.9891	0.0306	<i>V</i>	3313	15.5089	112	INTEGRAL-ОМС
2454711.2840	0.0276	<i>V</i>	3590	18.3415	110	INTEGRAL-ОМС
2455790.5617	0.0360	<i>V</i>	3808	20.6344	99	INTEGRAL-ОМС
2456548.2181	0.0027	<i>V</i>	3961	22.4254	321	Данная работа
2456869.9702	0.0435	<i>V</i>	4026	23.0582	128	INTEGRAL-ОМС
2456870.0866	0.0046	<i>V</i>	4026	23.1745	63	Данная работа
2457191.9616	0.0012	<i>V</i>	4091	23.9303	718	Данная работа
2457211.7520	0.0072	<i>V</i>	4095	23.9594	137	ASAS-SN
2457330.6735	0.0193	<i>V</i>	4119	24.3138	322	INTEGRAL-ОМС
2457593.0790	0.0056	<i>V</i>	4172	24.8836	182	ASAS-SN
2457959.5700	0.0079	<i>V</i>	4246	25.7926	185	ASAS-SN
2458321.0986	0.0109	<i>V</i>	4319	26.6795	130	ASAS-SN
2458360.7406	0.0012	<i>V</i>	4327	26.7992	762	Данная работа

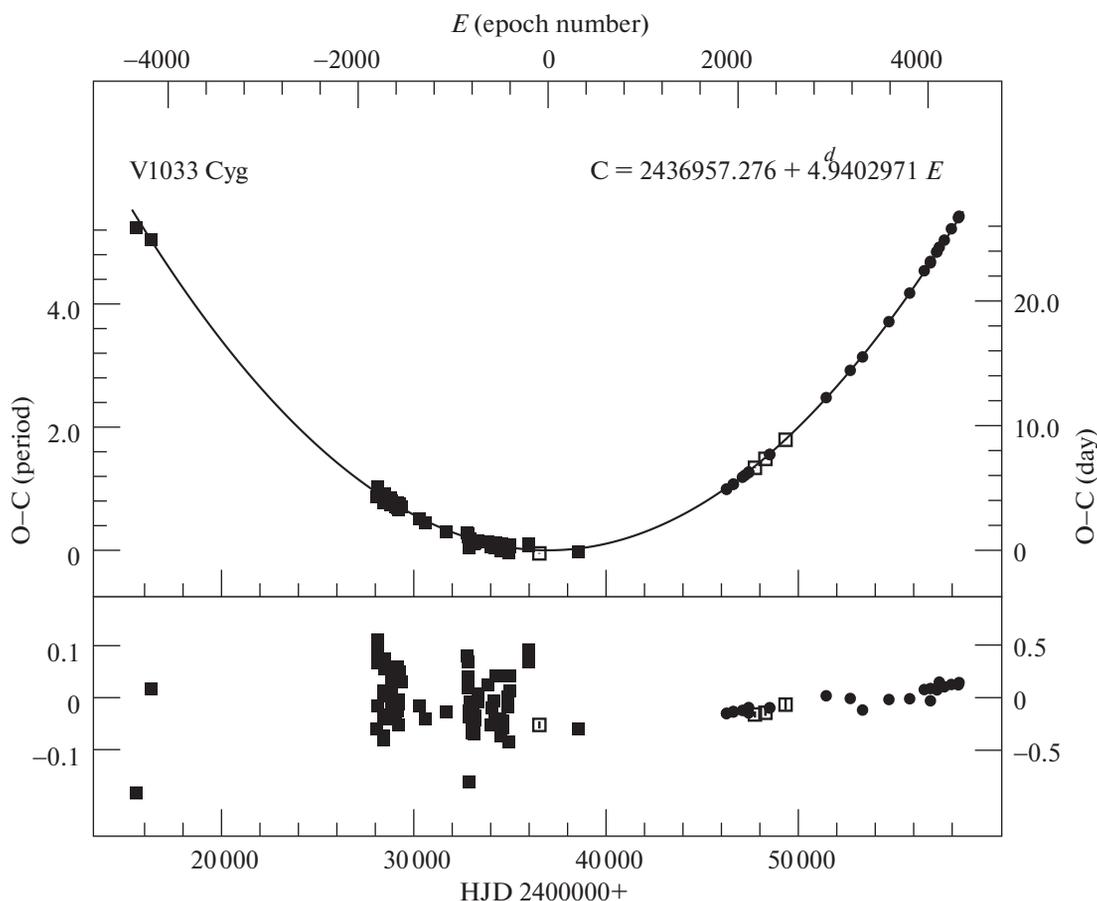


Рис. 1. $O - C$ диаграмма для цефеиды V1033 Cyg относительно линейных (а) и квадратичных (б) элементов (1). Линия на рис. 1а — парабола, соответствующая элементам (1).

Миллера (1965) и наших фотографических наблюдений соответственно и кружками — для остальных наблюдений, с вертикальными черточками, указывающими пределы ошибок определения остатков $O - C$.

На рис. 1а показано, что $O - C$ диаграмма имеет вид параболы. По всем моментам максимального блеска из табл. 3 получены квадратичные элементы изменения блеска цефеиды V1033 Cyg:

$$\begin{aligned} \text{Max HJD} = & 2436957.276(\pm 0.034) + \quad (1) \\ & + 4^d 940297089(\pm 0.0000156) E + \\ & + 0.1423709 \cdot 10^{-5}(\pm 0.588 \cdot 10^{-8}) E^2, \end{aligned}$$

линейная часть которых использована для вычислений остатков $O - C$ в пятом столбце табл. 3. Элементы (1) использовались для проведения параболы на рис. 1а, а на рис. 1б показаны отклонения от этой параболы.

По фотоэлектрическим наблюдениям было найдено, что максимумы в фильтре B наступают раньше, чем в фильтре V , на $0^d 0019$. Эта поправка учитывалась при построении рис. 1 и определении

элементов (1), которые таким образом относятся к системе V .

Квадратичный член элементов (1) дает возможность вычислить скорость эволюционного увеличения периода $dP/dt = 18.19 (\pm 0.08)$ с/год, что соответствует теоретическим расчетам для первого пересечения полосы нестабильности (Тэрнер и др., 2006; Фадеев, 2014). В работе Тэрнера и др. (2005) было показано, что α UMi, скорее всего, тоже впервые пересекает полосу нестабильности; если это так, то мы знаем уже две такие цефеиды.

Следует отметить, что полученные здесь результаты основаны на конкретных стандартных кривых. Поэтому мы приводим их в табл. 4 с тем, чтобы их можно было использовать в будущих исследованиях, а также для установления связи с нашими данными, если будут использоваться другие стандартные кривые. В табл. 4 представлены звездные величины V1033 Cyg для фаз от 0 до 0.995 с шагом 0.005 в системе BV ; эти стандартные кривые, графически изображенные на рис. 2, построены по фотоэлектрическим наблюдениям.

Таблица 4. Стандартные кривые блеска V1033 Cyg в системе B и V

Фаза	B	V	Фаза	B	V	Фаза	B	V	Фаза	B	V
0.000	14.164	12.674	0.250	14.673	13.014	0.500	15.024	13.278	0.750	15.134	13.378
0.005	14.165	12.674	0.255	14.681	13.019	0.505	15.028	13.282	0.755	15.131	13.377
0.010	14.168	12.676	0.260	14.689	13.024	0.510	15.033	13.286	0.760	15.127	13.376
0.015	14.172	12.679	0.265	14.697	13.030	0.515	15.037	13.289	0.765	15.122	13.375
0.020	14.178	12.683	0.270	14.705	13.035	0.520	15.041	13.293	0.770	15.116	13.373
0.025	14.185	12.688	0.275	14.713	13.040	0.525	15.045	13.296	0.775	15.109	13.370
0.030	14.194	12.693	0.280	14.721	13.045	0.530	15.049	13.299	0.780	15.101	13.367
0.035	14.203	12.700	0.285	14.729	13.051	0.535	15.053	13.302	0.785	15.093	13.362
0.040	14.213	12.706	0.290	14.737	13.057	0.540	15.057	13.305	0.790	15.083	13.357
0.045	14.225	12.713	0.295	14.746	13.062	0.545	15.061	13.308	0.795	15.072	13.352
0.050	14.236	12.720	0.300	14.754	13.069	0.550	15.064	13.311	0.800	15.060	13.345
0.055	14.249	12.728	0.305	14.763	13.075	0.555	15.068	13.313	0.805	15.046	13.337
0.060	14.261	12.735	0.310	14.772	13.081	0.560	15.071	13.316	0.810	15.031	13.328
0.065	14.274	12.742	0.315	14.781	13.088	0.565	15.074	13.319	0.815	15.015	13.318
0.070	14.287	12.750	0.320	14.790	13.094	0.570	15.077	13.322	0.820	14.998	13.306
0.075	14.301	12.758	0.325	14.799	13.101	0.575	15.080	13.324	0.825	14.979	13.294
0.080	14.314	12.765	0.330	14.809	13.108	0.580	15.083	13.327	0.830	14.959	13.280
0.085	14.327	12.773	0.335	14.818	13.114	0.585	15.086	13.330	0.835	14.937	13.264
0.090	14.340	12.780	0.340	14.828	13.121	0.590	15.088	13.333	0.840	14.914	13.248
0.095	14.353	12.788	0.345	14.837	13.128	0.595	15.091	13.336	0.845	14.890	13.230
0.100	14.366	12.796	0.350	14.847	13.134	0.600	15.093	13.338	0.850	14.864	13.211
0.105	14.378	12.803	0.355	14.856	13.140	0.605	15.096	13.341	0.855	14.837	13.191
0.110	14.391	12.811	0.360	14.865	13.147	0.610	15.098	13.344	0.860	14.809	13.170
0.115	14.403	12.819	0.365	14.874	13.152	0.615	15.100	13.347	0.865	14.779	13.147
0.120	14.415	12.826	0.370	14.883	13.158	0.620	15.102	13.349	0.870	14.749	13.124
0.125	14.427	12.834	0.375	14.891	13.164	0.625	15.105	13.352	0.875	14.718	13.100
0.130	14.438	12.842	0.380	14.900	13.169	0.630	15.107	13.354	0.880	14.686	13.076
0.135	14.450	12.850	0.385	14.908	13.174	0.635	15.109	13.357	0.885	14.654	13.051
0.140	14.461	12.859	0.390	14.915	13.179	0.640	15.112	13.359	0.890	14.621	13.026
0.145	14.472	12.867	0.395	14.923	13.184	0.645	15.114	13.361	0.895	14.588	13.000
0.150	14.484	12.875	0.400	14.929	13.189	0.650	15.116	13.363	0.900	14.555	12.974
0.155	14.494	12.884	0.405	14.936	13.194	0.655	15.119	13.365	0.905	14.522	12.949
0.160	14.505	12.892	0.410	14.942	13.198	0.660	15.121	13.367	0.910	14.490	12.924
0.165	14.516	12.900	0.415	14.948	13.203	0.665	15.123	13.368	0.915	14.458	12.899

Таблица 4. Окончание

Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>									
0.170	14.527	12.909	0.420	14.954	13.207	0.670	15.126	13.369	0.920	14.427	12.875
0.175	14.537	12.917	0.425	14.959	13.212	0.675	15.128	13.371	0.925	14.397	12.852
0.180	14.547	12.925	0.430	14.964	13.216	0.680	15.130	13.372	0.930	14.369	12.830
0.185	14.557	12.933	0.435	14.969	13.220	0.685	15.133	13.373	0.935	14.341	12.808
0.190	14.567	12.941	0.440	14.974	13.225	0.690	15.135	13.374	0.940	14.315	12.788
0.195	14.577	12.948	0.445	14.978	13.230	0.695	15.136	13.374	0.945	14.291	12.770
0.200	14.587	12.956	0.450	14.983	13.234	0.700	15.138	13.375	0.950	14.269	12.753
0.205	14.596	12.963	0.455	14.987	13.239	0.705	15.139	13.376	0.955	14.249	12.737
0.210	14.606	12.969	0.460	14.991	13.243	0.710	15.141	13.376	0.960	14.231	12.724
0.215	14.615	12.976	0.465	14.995	13.248	0.715	15.141	13.377	0.965	14.215	12.711
0.220	14.623	12.982	0.470	14.999	13.252	0.720	15.142	13.378	0.970	14.201	12.701
0.225	14.632	12.988	0.475	15.003	13.257	0.725	15.142	13.378	0.975	14.190	12.692
0.230	14.641	12.993	0.480	15.007	13.261	0.730	15.141	13.378	0.980	14.180	12.685
0.235	14.649	12.999	0.485	15.012	13.266	0.735	15.141	13.378	0.985	14.173	12.680
0.240	14.657	13.004	0.490	15.016	13.270	0.740	15.139	13.379	0.990	14.168	12.676
0.245	14.665	13.009	0.495	15.020	13.274	0.745	15.137	13.378	0.995	14.165	12.674

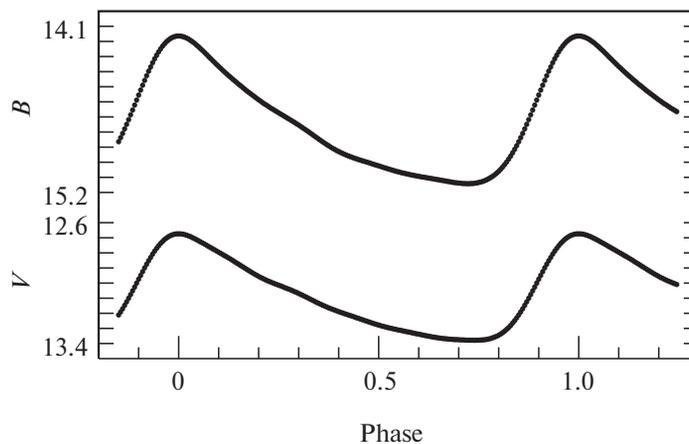


Рис. 2. Стандартные кривые цефеиды V1033 Cyg в фильтрах *B* и *V*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для изучения изменяемости периода V1033 Cyg нами была сделана 141 глазомерная оценка блеска на старых фотопластинках ГАИШ, а также получены 1864 ПЗС-снимка в фильтре *V* на 48-см телескопе Астрономической обсерватории Одесского национального университета; кроме того, было собрано 1825 опубликованных

наблюдений. Все имеющиеся данные были обработаны методом Герцшпрунга (1919), и были определены 29 моментов максимального блеска, которые вместе с фотографическими поярчениями (Миллер, 1965) использовались для построения *O – C* диаграммы, охватывающей временной интервал 117 лет. Это позволило определить квадратичные элементы изменения блеска (1) и вычислить скорость эволюционного увеличения

периода $dP/dt = 18,19 (\pm 0.08)$ с/год, что согласуется с результатами теоретических расчетов для первого пересечения полосы неустойчивости (Тэрнер и др., 2006; Фадеев, 2014). Таким образом, V1033 Суг является второй реально наблюдаемой цефеидой (после α UMi, Тэрнер и др., 2005), впервые пересекающей полосу неустойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альфонсо-Гарсон и др. (J. Alfonso-Garzon, A. Domingo, J.M. Mas-Hesse, and A. Gimenez), *Astron. Astrophys.* **548**, A79 (2012).
2. Бердников Л.Н., *Переменные звезды* **22**, 530 (1987).
3. Бердников Л.Н., *Письма в Астрон. журн.* **18**, 519 (1992а) [L.N. Berdnikov, *Sov. Astron. Lett.* **18**, 207 (1992а)].
4. Бердников (L.N. Berdnikov), *Astron. Astrophys. Trans.* **2**, 1 (1992б).
5. Бердников (L.N. Berdnikov), *Astron. Astrophys. Trans.* **2**, 43 (1992в).
6. Бердников Л.Н., *Письма в Астрон. журн.* **18**, 325 (1992г) [L.N. Berdnikov, *Sov. Astron. Lett.* **18**, 130 (1992д)].
7. Бердников Л.Н., Игнатова В.В., Пастухова Е.Н., Тэрнер Д.Г., *Письма в Астрон. журн.* **23**, 204 (1997) [L.N. Berdnikov, V.V. Ignatova, E.N. Pastukhova, D.G. Turner, *Astron. Lett.* **23**, 177 (1997)].
8. Возниак и др. (P.R. Wozniak, W.T. Vestrand, C.W. Akerlof, R. Balsano, J. Bloch, D. Casperson, S. Fletcher, G. Gisler, et al.), *Astron. J.* **127**, 2436 (2004).
9. Герцшпрунг (E. Hertzsprung), *Astron. Nachr.* **210**, 17 (1919).
10. Миллер (W.J. Miller), *Ricerche Astronomiche* **7**, 197 (1965).
11. Сабашош (L. Szabados), *Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr.* **76**, 1 (1980).
12. Тэрнер и др. (D.G. Turner, M. Abdel-Sabour Abdel-Latif, and L.N. Berdnikov), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **118**, 410 (2006).
13. Тэрнер и др. (D.G. Turner, J. Derrah, M. Abdel-Sabour Abdel-Latif, and L.N. Berdnikov), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **117**, 207 (2005).
14. Фадеев Ю.А., *Письма в Астрон. журн.* **40**, 341 (2014) [Yu.A. Fadeyev, *Astron. Lett.* **40**, 301 (2014)].
15. Хенден (A.A. Henden), *Astron. J.* **111**, 902 (1996).
16. Яясингхе и др. (T. Jayasinghe, K.Z. Stanek, C.S. Kochanek, B.J. Shappee, T.W.-S. Holoiien, Todd A. Thompson, J.L. Prieto, Subo Dong, et al.), 2018arXiv180907329 (2018).