

ПОИСК ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРИОДОВ ЦЕФЕИД: V532 Cyg

© 2019 г. Л. Н. Бердников^{1*}

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
Поступила в редакцию 18.08.2019 г.; после доработки 18.08.2019 г.; принята к публикации 20.08.2019 г.

Для малоамплитудной цефеиды V532 Cyg построена $O-C$ диаграмма, охватывающая временной интервал в 121 год. Диаграмма $O-C$ имеет вид параболы, что позволило впервые определить квадратичные элементы изменения блеска и вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -0.248 (\pm 0.067)$ с/год, и это указывает на второе пересечение полосы нестабильности. Тест на стабильность пульсаций, предложенный Ламбертом и Коэном (1993), подтвердил реальность уменьшения периода.

Ключевые слова: цефеиды, изменяемость периодов, эволюция звезд.

DOI: 10.1134/S0320010819100012

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 нестабильности, позволяет идентифицировать номер пересечения, что в перспективе даст возможность построить зависимость период–светимость отдельно для каждого пересечения, что, в свою очередь, приведет к более точному определению расстояний цефеид.

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 изменяемости периодов цефеид следует охватить наблюдениями как можно больший интервал времени.

В данной работе мы исследуем поведение пульсаций малоамплитудной цефеиды V532 Cyg, период изменения блеска которой составляет $3^d 28$.

МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Для изучения изменяемости периодов цефеид мы используем 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 (1992). Для подтверждения реальности обнаруженных изменений периода мы используем метод, описанный Ломбардом и Коэном (1993).

Переменность V532 Cyg открыл Хоффмайстер (1934). Фотографические наблюдения опубликовали Ищенко (1950), Хавтаси (1950), Филлин (1951), Штейман (1958), Гирняк (1971). Изучением изменяемости периода занимались Кви (1967), Григоревский и др. (1973), Сабадош (1977, 1991), Бердников и Пастухова (1994) и Бердников и др. (1997а), однако убедительных доказательств присутствия эволюционных изменений периода не было найдено, поэтому сделан вывод о необходимости привлечения дополнительных наблюдений, особенно полученных на старых фотопластинках.

Для нового изучения периода V532 Cyg мы сделали глазомерные оценки блеска на фотографических пластинках фототеки Гарвардского университета (США). Кроме того, мы использовали все опубликованные фотоэлектрические и фотографические наблюдения, а также фотометрические данные, полученные в рамках проектов Hipparcos (ЕКА, 1997), NSVS (Возниак и др., 2004), INTEGRAL-ОМС (Альфонсо-Гарсон и др., 2012) и ASAS-SN (Ясингхе и др., 2019).

*Электронный адрес: berdnik@sai.msu.ru

Таблица 1. Наблюдательный материал цефеиды V532 Cyg

Источник данных	Число наблюдений	Тип наблюдений	Интервал JD
Гарвард	681	<i>PG</i>	2414553–2434276
Литература	1290	<i>PG</i>	2414430–2440116
Литература	256	<i>B</i>	2436751–2451497
Литература	270	<i>V</i>	2436751–2451497
Hipparcos	121	<i>V</i>	2447861–2449042
NSVS	69	<i>V</i>	2451325–2451566
INTEGRAL-OMC	593	<i>V</i>	2452653–2457377
ASAS-SN	1102	<i>V</i>	2457007–2458450
ASAS-SN	636	<i>g</i>	2458220–2458673

Сведения о количестве использованных наблюдений приведены в табл. 1. Самая старая фотопластинка с изображением V532 Cyg была получена в 1898 г., а последние ПЗС-наблюдения были сделаны в 2019 г. Следовательно, наши данные охватывают временной интервал в 121 год.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты обработки сезонных кривых V532 Cyg приведены в табл. 2. В первом и втором столбце 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. 2 изображены на $O-C$ диаграмме (рис. 1) пустыми и заполненными квадратиками для гарвардских и других фотографических наблюдений соответственно, и точками — для всех остальных наблюдений с вертикальными черточками, указывающими пределы ошибок определения остатков $O-C$.

На рис. 1 заметны волнообразные колебания с циклическостью около 20 000 дней. Подобные колебания были обнаружены давно (Луизе, 1903) и наблюдаются на $O-C$ диаграммах многих цефеид, но природа их до сих пор не изучена (Тэрнер, Бердников, 2004; Тэрнер и др., 2006). V532 Cyg является спектрально-двойной (Сабадош, 1991; Горыня и др., 1995), но орбитальный период оценивается

в 563 ± 4 дня (Горыня и др., 1995), так что двойственность не является причиной этих циклических изменений.

Несмотря на то что циклические колебания остатков $O-C$ доминируют на рис. 1, парабола тоже заметна. Поэтому по всем моментам максимального блеска из табл. 2 были вычислены квадратичные элементы изменения блеска цефеиды V532 Cyg:

$$\begin{aligned} \text{Max } HJD = & 2436955.7295(\pm 0.0597) + & (1) \\ & + 3^{\text{d}}28360595(\pm 0.0000134)E - \\ & - 0.129189 \cdot 10^{-7} (\pm 0.3485 \cdot 10^{-8}) E^2, \end{aligned}$$

линейная часть которых использована для вычислений остатков $O-C$ в пятом столбце табл. 2. Элементы (1) использовались для проведения параболы на верхней части рис. 1, на нижней части которого показаны отклонения от этой параболы.

По фотоэлектрическим и ПЗС-наблюдениям было найдено, что максимумы блеска в фильтрах B наступают раньше, чем в фильтре V , на $0^{\text{d}}0246$, а в фильтре g — позже, чем в фильтре V , на $0^{\text{d}}02538$. Эти поправки учитывались при построении рис. 1 и определении элементов (1), которые, таким образом, относятся к системе V .

Квадратичный член элементов (1) дает возможность вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -0.248 (\pm 0.067)$ с/год, что согласуется с результатами модельных расчетов для второго пересечения полосы неустойчивости (Тэрнер и др., 2006; Фадеев, 2014).

Таблица 2. Моменты максимума блеска V532 Cyg

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O-C$, сут	N	Источник данных
2415285.8550	0.0534	<i>PG</i>	-6599	-1.3381	12	Бердников и др. (1997а)
2415331.6576	0.0533	<i>PG</i>	-6585	-1.5060	25	Гарвард (данная работа)
2416412.4086	0.0565	<i>PG</i>	-6256	-1.0613	59	Гарвард (данная работа)
2417394.2623	0.0410	<i>PG</i>	-5957	-1.0057	64	Гарвард (данная работа)
2417896.6974	0.2034	<i>PG</i>	-5804	-0.9623	12	Бердников и др. (1997а)
2418569.9012	0.0399	<i>PG</i>	-5599	-0.8976	55	Гарвард (данная работа)
2421351.4319	0.0520	<i>PG</i>	-4752	-0.5811	61	Гарвард (данная работа)
2422642.1206	0.0567	<i>PG</i>	-4359	-0.3494	56	Гарвард (данная работа)
2424156.0123	0.0789	<i>PG</i>	-3898	-0.2000	54	Гарвард (данная работа)
2425696.2941	0.0626	<i>PG</i>	-3429	0.0708	47	Гарвард (данная работа)
2426780.1551	0.2968	<i>PG</i>	-3099	0.3418	7	Бердников и др. (1997а)
2427436.8829	0.0559	<i>PG</i>	-2899	0.3485	73	Гарвард (данная работа)
2428655.1661	0.0568	<i>PG</i>	-2528	0.4140	35	Гарвард (данная работа)
2428763.5974	0.0432	<i>PG</i>	-2495	0.4863	68	Бердников и др. (1997а)
2428816.0856	0.0377	<i>PG</i>	-2479	0.4368	82	Ищенко (1950)
2429111.5758	0.0619	<i>PG</i>	-2389	0.4025	53	Бердников и др. (1997а)
2429131.2692	0.0493	<i>PG</i>	-2383	0.3942	113	Ищенко (1950)
2429453.0932	0.0454	<i>PG</i>	-2285	0.4249	95	Ищенко (1950)
2429469.5642	0.0377	<i>PG</i>	-2280	0.4779	77	Бердников и др. (1997а)
2429840.5983	0.0378	<i>PG</i>	-2167	0.4645	78	Ищенко (1950)
2429988.2070	0.0557	<i>PG</i>	-2122	0.3110	55	Гарвард (данная работа)
2429991.4923	0.0995	<i>PG</i>	-2121	0.3126	27	Бердников и др. (1997а)
2430448.1035	0.0603	<i>PG</i>	-1982	0.5027	24	Филин (1951)
2431157.3243	0.0426	<i>PG</i>	-1766	0.4646	28	Филин (1951)
2431557.9978	0.0753	<i>PG</i>	-1644	0.5382	49	Гарвард (данная работа)
2431892.8826	0.0656	<i>PG</i>	-1542	0.4952	34	Филин (1951)
2432779.4439	0.0303	<i>PG</i>	-1272	0.4829	84	Филин (1951)
2432802.3547	0.0517	<i>PG</i>	-1265	0.4085	62	Бердников и др. (1997а)
2433084.4589	0.0431	<i>PG</i>	-1179	0.1226	14	Хавтаси (1950)
2433143.9232	0.0653	<i>PG</i>	-1161	0.4820	35	Бердников и др. (1997а)
2433170.1577	0.0459	<i>PG</i>	-1153	0.4476	23	Филин (1951)
2433459.2495	0.0757	<i>PG</i>	-1065	0.5822	21	Бердников и др. (1997а)
2433501.9959	0.0616	<i>PG</i>	-1052	0.6417	48	Гарвард (данная работа)

Таблица 2. Продолжение

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O-C$, сут	N	Источник данных
2433879.4601	0.0334	<i>PG</i>	-937	0.4912	48	Штейман (1958)
2433922.2601	0.0645	<i>PG</i>	-924	0.6043	23	Бердников и др. (1997а)
2434303.0079	0.1028	<i>PG</i>	-808	0.4539	16	Бердников и др. (1997а)
2434562.3286	0.0509	<i>PG</i>	-729	0.3698	25	Штейман (1958)
2435337.1271	0.0670	<i>PG</i>	-493	0.2373	33	Бердников и др. (1997а)
2435685.2981	0.0532	<i>PG</i>	-387	0.3461	33	Штейман (1958)
2436341.7272	0.0716	<i>PG</i>	-187	0.0540	17	Бердников и др. (1997а)
2436804.6697	0.0154	<i>B</i>	-46	0.0081	25	Оостерхоф (1960)
2436804.6802	0.0118	<i>V</i>	-46	-0.0059	25	Оостерхоф (1960)
2437684.4405	0.0552	<i>PG</i>	222	-0.2275	19	Гирняк (1971)
2438229.4247	0.0201	<i>B</i>	388	-0.3218	16	Кви, Браун (1967)
2438229.4672	0.0160	<i>V</i>	388	-0.3039	16	Кви, Браун (1967)
2438360.8508	0.0490	<i>PG</i>	428	-0.2399	22	Гирняк (1971)
2438784.2130	0.1368	<i>PG</i>	557	-0.4629	14	Бердников и др. (1997а)
2438938.5831	0.0345	<i>PG</i>	604	-0.4223	31	Гирняк (1971)
2439401.7053	0.0367	<i>PG</i>	745	-0.2884	20	Гирняк (1971)
2441197.7239	0.0212	<i>V</i>	1292	-0.4267	10	Фельтц, Мак Намара (1980)
2441358.6167	0.0195	<i>B</i>	1341	-0.4061	20	Фельтц, Мак Намара (1980)
2441506.3283	0.0247	<i>B</i>	1386	-0.4567	9	Сабадош (1977)
2441506.3397	0.0477	<i>V</i>	1386	-0.4699	9	Сабадош (1977)
2441522.8281	0.0410	<i>V</i>	1391	-0.3996	10	Фельтц, Мак Намара (1980)
2441900.4943	0.0283	<i>V</i>	1506	-0.3480	21	Сабадош (1977)
2442117.1104	0.0116	<i>B</i>	1572	-0.4253	26	Сабадош (1977)
2442225.5708	0.0495	<i>PG</i>	1605	-0.3239	25	Бердников и др. (1997а)
2443023.2998	0.0476	<i>V</i>	1848	-0.5356	6	Сабадош (1977)
2443420.6315	0.0205	<i>B</i>	1969	-0.4957	11	Сабадош (1991)
2443420.6618	0.0284	<i>V</i>	1969	-0.4900	11	Сабадош (1991)
2444143.1452	0.0668	<i>V</i>	2189	-0.3998	7	Сабадош (1991)
2444149.7156	0.0367	<i>B</i>	2191	-0.3721	8	Сабадош (1991)
2444445.0702	0.0084	<i>B</i>	2281	-0.5420	24	Мофет, Бэрнс (1984)
2444445.1121	0.0075	<i>V</i>	2281	-0.5246	24	Мофет, Бэрнс (1984)
2444911.3079	0.0164	<i>B</i>	2423	-0.5763	11	Мофет, Бэрнс (1984)
2444911.3248	0.0115	<i>V</i>	2423	-0.5840	11	Мофет, Бэрнс (1984)

Таблица 2. Окончание

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O-C$, сут	N	Источник данных
2445124.7247	0.0512	<i>B</i>	2488	-0.5939	11	Сабадош (1991)
2445229.8007	0.0439	<i>V</i>	2520	-0.6178	12	Сабадош (1991)
2445532.0749	0.7396	<i>PG</i>	2612	-0.4107	15	Бердников и др. (1997а)
2447242.6321	0.0095	<i>B</i>	3133	-0.6122	10	Сабадош (1991)
2447337.8977	0.0173	<i>V</i>	3162	-0.5957	9	Сабадош (1991)
2447997.9339	0.0132	<i>V</i>	3363	-0.5643	30	Hipparcos
2448257.3596	0.0177	<i>V</i>	3442	-0.5434	32	Hipparcos
2448490.4936	0.0205	<i>V</i>	3513	-0.5454	29	Hipparcos
2448763.0412	0.0211	<i>V</i>	3596	-0.5371	30	Hipparcos
2448802.4646	0.0297	<i>B</i>	3608	-0.4924	5	Ареллано Ферро и др. (1998)
2448802.4845	0.0136	<i>V</i>	3608	-0.4971	5	Ареллано Ферро и др. (1998)
2450004.3723	0.0345	<i>V</i>	3974	-0.4090	12	Бердников и др. (1997б)
2450319.5790	0.0133	<i>B</i>	4070	-0.4039	16	Бердников и др. (1998)
2450319.6038	0.0218	<i>V</i>	4070	-0.4036	16	Бердников и др. (1998)
2450634.8651	0.0170	<i>B</i>	4166	-0.3439	17	Игнатова, Возякова (2000)
2450634.8824	0.0366	<i>V</i>	4166	-0.3512	17	Игнатова, Возякова (2000)
2451005.9380	0.0161	<i>B</i>	4279	-0.3185	16	Игнатова, Возякова (2000)
2451005.9519	0.0280	<i>V</i>	4279	-0.3292	18	Игнатова, Возякова (2000)
2451127.4285	0.0132	<i>B</i>	4316	-0.3214	12	Ойя (2011)
2451127.4416	0.0180	<i>V</i>	4316	-0.3329	12	Ойя (2011)
2451367.2670	0.0308	<i>V</i>	4389	-0.2107	32	NSVS
2451452.5540	0.0160	<i>B</i>	4415	-0.2728	19	Ойя (2011)
2451452.5599	0.0443	<i>V</i>	4415	-0.2915	19	Ойя (2011)
2451472.3207	0.0199	<i>V</i>	4421	-0.2324	37	NSVS
2453488.5686	0.0091	<i>V</i>	5035	-0.1184	150	INTEGRAL-OMC
2454673.9583	0.0060	<i>V</i>	5396	-0.1104	150	INTEGRAL-OMC
2455406.2590	0.0075	<i>V</i>	5619	-0.0537	147	INTEGRAL-OMC
2456726.4083	0.0073	<i>V</i>	6021	0.0860	146	INTEGRAL-OMC
2457232.1565	0.0282	<i>V</i>	6175	0.1590	238	ASAS-SN
2457613.0145	0.0257	<i>V</i>	6291	0.1187	309	ASAS-SN
2457964.3846	0.0267	<i>V</i>	6398	0.1430	304	ASAS-SN
2458325.4722	0.0271	<i>V</i>	6508	0.0340	251	ASAS-SN
2458351.7664	0.0163	<i>g</i>	6516	0.0340	314	ASAS-SN
2458624.3102	0.0202	<i>g</i>	6599	0.0385	322	ASAS-SN

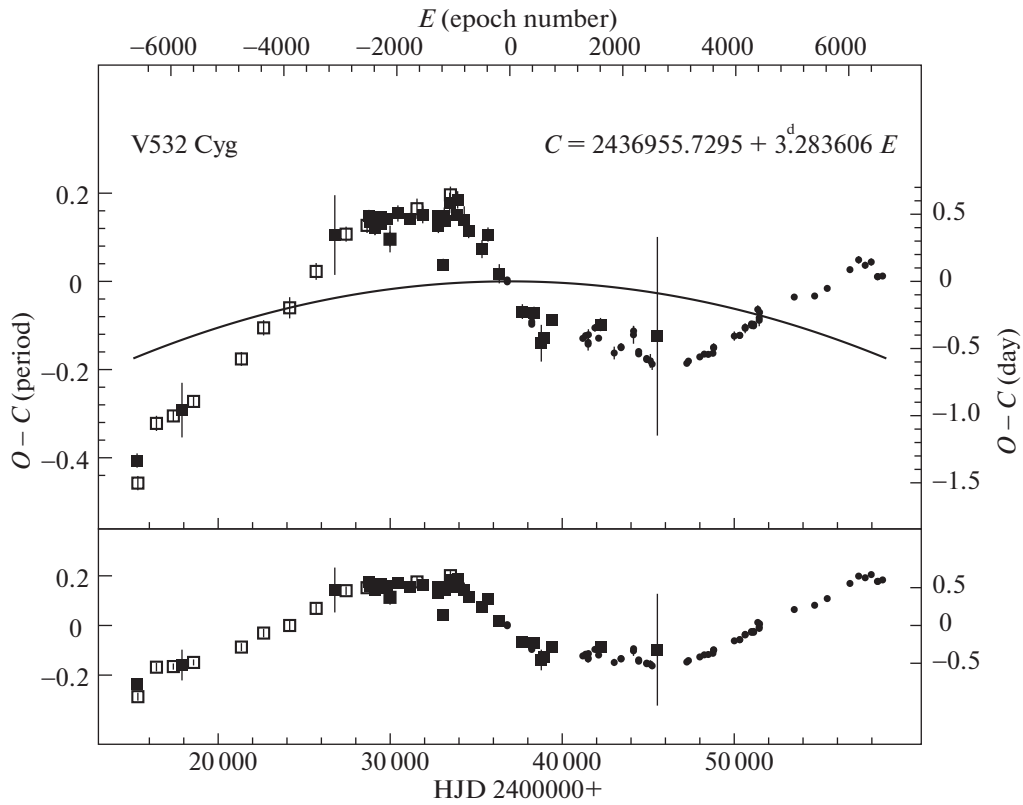


Рис. 1. $O-C$ диаграмма для цефеиды V532 Cyg относительно линейных (вверху) и квадратичных (внизу) элементов (1). Линия — парабола, соответствующая элементам (1).

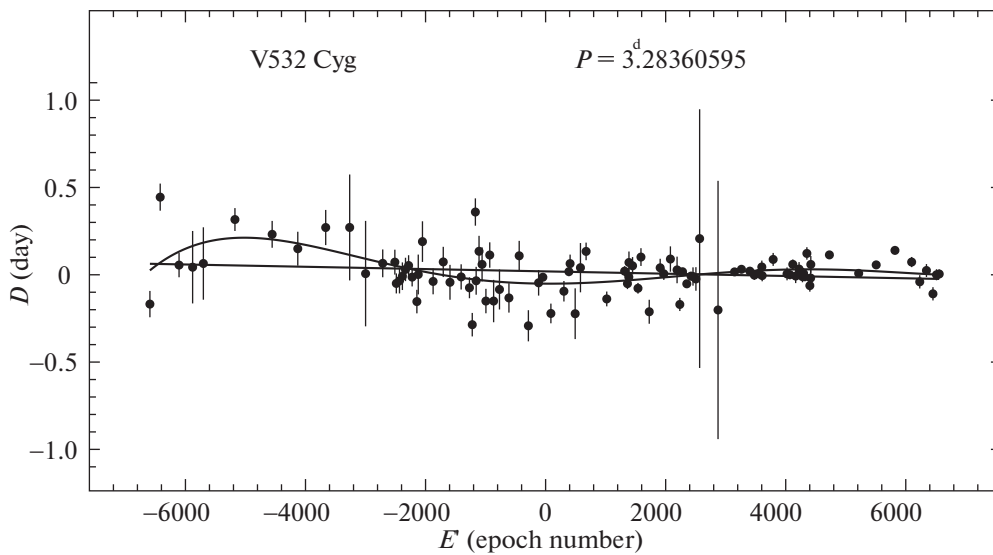


Рис. 2. Зависимость разности D_i последовательных остатков $O-C$ из табл. 2: $D_i = (O-C)_{i+1} - (O-C)_i$ от $E'_i = (E_i + E_{i+1})/2$. Прямая линия подтверждает уменьшение периода со временем; заметны также волнообразные колебания, доминирующие на $O-C$ диаграмме (рис. 1).

Таблица 3. Стандартные кривые для V532 Cyg в фильтрах g , B и V

Фаза	g	B	V	Фаза	g	B	V	Фаза	g	B	V
0.000	9.434	9.874	8.918	0.335	9.701	10.256	9.172	0.670	9.731	10.273	9.190
0.005	9.434	9.874	8.918	0.340	9.704	10.262	9.176	0.675	9.727	10.267	9.185
0.010	9.435	9.874	8.919	0.345	9.707	10.268	9.180	0.680	9.724	10.260	9.180
0.015	9.436	9.875	8.919	0.350	9.710	10.274	9.184	0.685	9.720	10.253	9.175
0.020	9.437	9.876	8.920	0.355	9.714	10.280	9.188	0.690	9.717	10.245	9.170
0.025	9.438	9.877	8.920	0.360	9.717	10.285	9.191	0.695	9.713	10.238	9.165
0.030	9.440	9.879	8.921	0.365	9.719	10.290	9.195	0.700	9.709	10.230	9.160
0.035	9.442	9.881	8.923	0.370	9.722	10.296	9.199	0.705	9.705	10.223	9.154
0.040	9.444	9.883	8.924	0.375	9.725	10.301	9.202	0.710	9.701	10.215	9.149
0.045	9.446	9.885	8.926	0.380	9.728	10.306	9.205	0.715	9.697	10.207	9.143
0.050	9.449	9.888	8.927	0.385	9.731	10.311	9.209	0.720	9.693	10.199	9.138
0.055	9.452	9.891	8.929	0.390	9.734	10.315	9.212	0.725	9.689	10.191	9.132
0.060	9.455	9.894	8.931	0.395	9.737	10.320	9.215	0.730	9.684	10.183	9.126
0.065	9.459	9.898	8.934	0.400	9.739	10.324	9.218	0.735	9.679	10.175	9.121
0.070	9.463	9.901	8.936	0.405	9.742	10.329	9.221	0.740	9.675	10.167	9.115
0.075	9.467	9.905	8.939	0.410	9.745	10.333	9.224	0.745	9.670	10.158	9.109
0.080	9.471	9.910	8.941	0.415	9.747	10.337	9.227	0.750	9.665	10.150	9.103
0.085	9.475	9.914	8.944	0.420	9.749	10.341	9.230	0.755	9.660	10.142	9.097
0.090	9.479	9.919	8.947	0.425	9.752	10.344	9.232	0.760	9.655	10.133	9.092
0.095	9.484	9.924	8.951	0.430	9.754	10.348	9.235	0.765	9.650	10.125	9.086
0.100	9.489	9.929	8.954	0.435	9.756	10.351	9.237	0.770	9.644	10.117	9.080
0.105	9.494	9.934	8.958	0.440	9.758	10.354	9.239	0.775	9.639	10.108	9.074
0.110	9.499	9.940	8.961	0.445	9.760	10.357	9.242	0.780	9.633	10.100	9.069
0.115	9.504	9.945	8.965	0.450	9.762	10.360	9.244	0.785	9.628	10.092	9.063
0.120	9.509	9.951	8.969	0.455	9.764	10.363	9.246	0.790	9.622	10.084	9.057
0.125	9.514	9.957	8.973	0.460	9.766	10.365	9.248	0.795	9.616	10.075	9.052
0.130	9.519	9.964	8.977	0.465	9.768	10.368	9.249	0.800	9.611	10.067	9.046
0.135	9.525	9.970	8.981	0.470	9.769	10.370	9.251	0.805	9.605	10.059	9.041
0.140	9.530	9.977	8.986	0.475	9.771	10.372	9.253	0.810	9.599	10.051	9.035
0.145	9.535	9.983	8.990	0.480	9.772	10.373	9.254	0.815	9.593	10.043	9.030
0.150	9.541	9.990	8.995	0.485	9.773	10.375	9.255	0.820	9.587	10.035	9.024
0.155	9.546	9.997	8.999	0.490	9.774	10.376	9.256	0.825	9.580	10.028	9.019
0.160	9.552	10.004	9.004	0.495	9.775	10.377	9.257	0.830	9.574	10.020	9.014
0.165	9.557	10.011	9.009	0.500	9.776	10.378	9.258	0.835	9.568	10.012	9.009

Таблица 3. Окончание

Фаза	g	B	V	Фаза	g	B	V	Фаза	g	B	V
0.170	9.562	10.018	9.014	0.505	9.777	10.379	9.259	0.840	9.562	10.005	9.004
0.175	9.568	10.026	9.018	0.510	9.777	10.379	9.259	0.845	9.556	9.998	8.999
0.180	9.573	10.033	9.023	0.515	9.778	10.380	9.260	0.850	9.550	9.991	8.994
0.185	9.578	10.041	9.028	0.520	9.778	10.380	9.260	0.855	9.543	9.984	8.990
0.190	9.583	10.048	9.033	0.525	9.778	10.380	9.260	0.860	9.537	9.977	8.985
0.195	9.588	10.056	9.038	0.530	9.778	10.379	9.260	0.865	9.531	9.970	8.981
0.200	9.593	10.063	9.043	0.535	9.778	10.379	9.260	0.870	9.525	9.964	8.977
0.205	9.598	10.071	9.049	0.540	9.778	10.378	9.260	0.875	9.519	9.957	8.972
0.210	9.603	10.079	9.054	0.545	9.778	10.377	9.259	0.880	9.514	9.951	8.968
0.215	9.608	10.086	9.059	0.550	9.777	10.375	9.258	0.885	9.508	9.945	8.964
0.220	9.613	10.094	9.064	0.555	9.777	10.374	9.258	0.890	9.502	9.939	8.961
0.225	9.617	10.102	9.069	0.560	9.776	10.372	9.256	0.895	9.497	9.934	8.957
0.230	9.622	10.109	9.074	0.565	9.775	10.370	9.255	0.900	9.492	9.929	8.954
0.235	9.626	10.117	9.079	0.570	9.774	10.367	9.254	0.905	9.487	9.923	8.950
0.240	9.631	10.125	9.084	0.575	9.773	10.365	9.252	0.910	9.482	9.919	8.947
0.245	9.635	10.132	9.089	0.580	9.772	10.362	9.250	0.915	9.477	9.914	8.944
0.250	9.639	10.140	9.094	0.585	9.771	10.359	9.249	0.920	9.472	9.909	8.941
0.255	9.643	10.147	9.099	0.590	9.769	10.356	9.246	0.925	9.468	9.905	8.938
0.260	9.647	10.155	9.104	0.595	9.767	10.352	9.244	0.930	9.464	9.901	8.936
0.265	9.651	10.162	9.109	0.600	9.766	10.349	9.242	0.935	9.460	9.898	8.933
0.270	9.655	10.169	9.114	0.605	9.764	10.345	9.239	0.940	9.456	9.894	8.931
0.275	9.659	10.176	9.119	0.610	9.762	10.340	9.236	0.945	9.453	9.891	8.929
0.280	9.663	10.184	9.124	0.615	9.760	10.336	9.233	0.950	9.450	9.888	8.927
0.285	9.667	10.191	9.128	0.620	9.758	10.331	9.230	0.955	9.447	9.885	8.926
0.290	9.670	10.198	9.133	0.625	9.756	10.327	9.227	0.960	9.444	9.883	8.924
0.295	9.674	10.205	9.138	0.630	9.753	10.321	9.223	0.965	9.442	9.881	8.923
0.300	9.677	10.211	9.142	0.635	9.751	10.316	9.220	0.970	9.440	9.879	8.921
0.305	9.681	10.218	9.147	0.640	9.748	10.311	9.216	0.975	9.438	9.877	8.920
0.310	9.684	10.225	9.151	0.645	9.745	10.305	9.212	0.980	9.437	9.876	8.920
0.315	9.688	10.231	9.155	0.650	9.743	10.299	9.208	0.985	9.436	9.875	8.919
0.320	9.691	10.238	9.160	0.655	9.740	10.293	9.203	0.990	9.435	9.874	8.919
0.325	9.694	10.244	9.164	0.660	9.737	10.287	9.199	0.995	9.434	9.874	8.918
0.330	9.698	10.250	9.168	0.665	9.734	10.280	9.194				

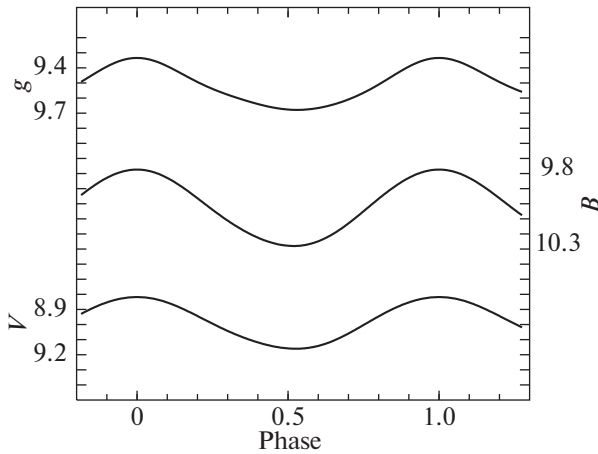


Рис. 3. Стандартные кривые цефеиды V532 Cyg в фильтрах g , B и V .

Для подтверждения реальности изменений периода пульсаций мы используем метод, предложенный Ламбертом и Коэном (1993). Для этого мы вычислили разности D_i последовательных остатков $O-C$ из табл. 2: $D_i = (O-C)_{i+1} - (O-C)_i$ и построили график зависимости D_i от $E'_i = (E_i + E_{i+1})/2$ (рис. 2). Разности D_i , которые имеют смысл отличий истинного периода от среднего периода в интервале эпох $E_i - E_{i+1}$, показывают уверенное уменьшение периода со временем (аппроксимация многочленом первой степени); кроме того, на рис. 2 заметна и волна, доминирующая на $O-C$ диаграмме (аппроксимация многочленом пятой степени).

Следует отметить, что полученные здесь результаты основаны на конкретных стандартных кривых. Поэтому мы приводим их в табл. 3 с тем, чтобы их можно было использовать в будущих исследованиях, а также для установления связи с нашими данными, если будут использоваться другие стандартные кривые. Таблица 3 содержит звездные величины V532 Cyg для фаз от 0 до 0.995 с шагом 0.005 в системе gBV ; эти стандартные кривые, графически изображенные на рис. 3, построены по фотоэлектрическим (BV) и ПЗС(g)-наблюдениям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для изучения изменяемости периода V532 Cyg мы сделали 681 оценку блеска на фотографических пластинках, хранящихся в Гарвардском (США) университете. Кроме того, были собраны все опубликованные фотометрические наблюдения, включая данные из каталогов проектов Hipparcos (ЕКА, 1997), NSVS (Возниак и др., 2004), INTEGRAL-ОМС (Альфонсо-Гарсон и др., 2012) и ASAS-SN (Ясингхе и др., 2019). Все имеющиеся

данные были обработаны методом Герцшпрунга (1919), и были определены 100 моментов максимального блеска, которые использовались для построения $O-C$ диаграммы, охватывающей временной интервал в 121 год. Это позволило впервые определить квадратичные элементы изменения блеска (1) и вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -0.248 (\pm 0.067)$ с/год, что указывает на второе пересечение полосы неустойчивости (Тэрнер и др., 2006; Фадеев, 2014). Тест на стабильность пульсаций, предложенный Ламбертом и Коэном (1993), подтвердил реальность уменьшения периода.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 18-02-00890 и 19-02-00611).

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. Ареллано Ферро и др. (A. Arellano Ferro, E. Rojo Arellano, S. Gonzales-Bedolla, and P. Rozenzweig), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **117**, 167 (1998).
3. Бердников Л.Н., Письма в *Астрон. журн.* **18**, 519 (1992) [L.N. Berdnikov, *Sov. Astron. Lett.* **18**, 207 (1992)].
4. Бердников Л.Н., Игнатова В.В., Пастухова Е.Н., Тэрнер Д.Г., Письма в *Астрон. журн.* **23**, 204 (1997a) [L.N. Berdnikov, V.V. Ignatova, E.N. Pastukhova, and D.G. Turner, *Astron. Lett.* **23**, 177 (1997a)].
5. Бердников и др. (L.N. Berdnikov, V.V. Ignatova, and O.V. Vozyakova), *Astron. Astrophys. Trans.* **14**, 237 (1997b).
6. Бердников и др. (L.N. Berdnikov, V.V. Ignatova, and O.V. Vozyakova), *Astron. Astrophys. Trans.* **17**, 87 (1998).
7. Бердников Л.Н., Пастухова Е.Н., Письма в *Астрон. журн.* **20**, 567 (1994) [L.N. Berdnikov, and E.N. Pastukhova, *Astron. Lett.* **20**, 479 (1994)].
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. Гирняк М.Б., *Цирк. Астрон. Обсерв. Львов. Универ.* **45**, 17 (1971).
11. Горыня и др. (N.A. Gorynya, N.N. Samus, L.N. Berdnikov, A.S. Rastorgouev, and M.E. Sachkov), *Commis. 27 IAU Inform. Bull. Var. Stars No.* **4199**, 1 (1995).
12. Григоревский В.М., Мотрич В.Д., Згоняйко Н.С., Бутенко Р.И., Выхрестюк С.С., *Переменные звезды* **19**, 145 (1973).

13. EKA (ESA), The Hipparcos and Tycho catalogues, ESA SP-1200 (Noordwijk: ESA, 1997).
14. Игнатова, Возякова (V.V. Ignatova and O.V. Vozyakova), *Astron. Astrophys. Trans.* **19**, 133 (2000).
15. Ищенко И.М., *Переменные звезды* **7**, 320 (1950).
16. Кви (K.K. Kwee), *Bull. Astron. Inst. Netherl. Suppl. Ser.* **2**, №3, 97 (1967).
17. Кви, Браун (K.K. Kwee and L.D. Braun), *Bull. Astron. Inst. Netherl. Suppl. Ser.* **2**, № 3, 77 (1967).
18. Ломбард, Коэн (F. Lombard and C. Koen), *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **263**, 309 (1993).
19. Луизе (M. Luizet), *Astron. Nachr.* **163**, 355 (1903).
20. Мофет, Бэрнс (T.J. Moffett and T.G. Barnes), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **55**, 389 (1984).
21. Ойя (T. Oja), *J. Astron. Data* **17**, № 1 (2011).
22. Оостерхоф (P. Th. Oosterhoff), *Bull. Astron. Inst. Netherl.* **15**, 199 (1960).
23. Сабадос (L. Szabados), *Comm. Konkoly Observ. Nr.* **70**, 3 (1977).
24. Сабадос (L. Szabados), *Comm. Konkoly Observ. Nr.* **96**, 125 (1991).
25. Тэрнер и др. (D.G. Turner, M. Abdel-Sabour Abdel-Latif, and L.N. Berdnikov), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **118**, 410 (2006).
26. Тэрнер, Бердников (D.G. Turner and L.N. Berdnikov), *Astron. Astrophys.* **423**, 335 (2004).
27. Фадеев Ю.А., *Письма в Астрон. журн.* **40**, 341 (2014) [Yu.A. Fadeyev, *Astron. Lett.* **40**, 301 (2014)].
28. Фельтц, Мак Намара (K.A. Feltz and D.H. McNamara), *Publ. Astron. Soc. Pacif.* **92**, 609 (1980).
29. Филин А.Я., *Переменные звезды* **8**, 382 (1951).
30. Хавтаси Д.Ш., *Переменные звезды* **7**, 323 (1950).
31. Хоффмайстер (C. Hoffmeister), *Astron. Nachr.* **274**, 36 (1943).
32. Штейман Г.С., *Переменные звезды* **12**, 337 (1958).
33. 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.), *MNRAS* **486**, 1907 (2019).