ПИСЬМА В АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2020, том 46, № 6, с. 415–426

ПОИСК ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРИОДА КЛАССИЧЕСКОЙ ЦЕФЕИДЫ EV Aql

© 2020 г. Л. Н. Бердников[1*]

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

Поступила в редакцию 29.04.2020 г.
После доработки 29.04.2020 г.; принята к публикации 26.05.2020 г.

Обработка всей имеющейся фотометрии цефеиды EV Aql позволила построить ее диаграмму $O-C$, охватывающую временнóй интервал 130 лет. Это позволило вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -33.2(\pm 6.9)$ с/год, что согласуется с результатами модельных расчетов для второго пересечения полосы нестабильности. Тест на стабильность пульсаций, предложенный Ломбардом и Коэном, подтвердил реальность уменьшения периода.

Ключевые слова: цефеиды, периоды пульсаций, эволюция звезд.

DOI: 10.31857/S0320010820060017

ВВЕДЕНИЕ

Переменность EV Aql открыл Альбицкий (1929) и отметил, что это цефеида типа δ Сер с периодом 38–40 дней. Во втором издании Общего Каталога Переменных Звезд (Кукаркин, Паренаго, 1958) и в каталогах цефеид Петит (1960) и Ферни и Хьюб (1968) звезда классифицирована как цефеида населения I. Харрис (1981) по фотометрическим наблюдениям EV Aql в Вашингтонской системе (Кантерна, 1976; Харрис, Кантерна, 1979) определил ее металличность $[A/H] = -0.3$ dex и включил ее в каталог цефеид населения II (Харрис, 1985). В четвертом издании Общего Каталога Переменных Звезд (Холопов и др., 1985) она появилась как CEP, а в работах Ферни (1990) и Шмидт и др. (2004аб) — как цефеида населения II.

Низкая металличность и большое расстояние от плоскости Галактики ($z > 300$ пк) являлись основными доводами в пользу классификации EV Aql как цефеиды населения II. Однако Шмидт и др. (2004б) не обнаружили эмиссию в линиях водорода и гелия, которая типична для цефеид сферической составляющей, а большое расстояние от плоскости Галактики можно объяснить тем обстоятельством, что сам галактический диск искривляется в этом направлении (Бердников, 1987б; Сковрон и др., 2019), поэтому следует говорить не о расстоянии от некоей математической плоскости, а от реального диска.

Согласно данным Gaia DR2 (Браун и др., 2018), параллакс EV Aql равен 0.0293 ± 0.0549 мсек. дуги, однако имеется ряд работ (Райс и др., 2018; Ялялиева и др., 2018; Шонрих и др., 2019; Леунг, Бови, 2019), где показано, что к параллаксам Gaia необходима поправка около $+0.05$ мсек. дуги, т.е. расстояние до звезды составляет 12.6 ± 8.7 кпк. А если определить фотометрическое расстояние EV Aql так же, как для классических цефеид (Бердников и др., 2000), то получим 11.7 кпк, что в пределах ошибок согласуется с данными Gaia и соответствует галактоцентрическому расстоянию 8.7 кпк. Кроме того, существует радиальный градиент металличности в диске Галактики (Харрис, 1981а; Лак, Ламберт, 2011; Лак, 2018) $d[Fe/H]/dR \approx -0.06$ dex кпк$^{-1}$, т.е. классические цефеиды на расстоянии 8.7 кпк от центра Галактики должны иметь металличность, близкую к солнечной, что согласуется с данными Лака и Ламберта (2011), которые по спектрам высокого разрешения определили $[Fe/H] = 0.06$ dex. Да и форма кривой блеска EV Aql является типичной для классических цефеид. Таким образом, можно утверждать, что EV Aql является классической цефеидой.

Изменения периода EV Aql изучали Витриченко и др. (1970) и Шмидт и др. (2004а) на интервалах времени 50 и 25 лет соответственно, но прогрессивные изменения периода обнаружены не были. Бердников (1994) использовал почти 100-летний интервал времени, но данных было мало, и, хотя

*Электронный адрес: berdnik@sai.msu.ru

Таблица 1. Наблюдательный материал цефеиды EV Aql

Источник данных	Число наблюдений	Полоса наблюдений	Интервал JD
DASCH	1584	PG	2412680–2447797
Данная работа	177	PG	2411673–2425524
Альбицкий (1929)	14	PG	2424704–2424854
Литература	1241	B, V, R_c	2441067–2456790
NSVS	125	R_c	2451274–2451483
INTEGRAL-OMC	963	V	2452704–2458793
ASAS-3	340	V	2452712–2455117
ASAS-SN	1529	V, g'	2457065–2458935
ZTF	165	g'	2458205–2458663

параболу на диаграмме $O-C$ формально можно было провести, результат был ненадежен.

В данной работе мы проводим новое изучение изменяемости периода EV Aql на основе существенно увеличенного объема наблюдательных данных, как полученных на старых фотопластинках, так и полученных в ходе выполнения современных фотометрических обзоров.

МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Для нового изучения периода EV Aql мы собрали фотоэлектрические наблюдения B и V (Пел, 1976; Харрис, 1980; Колдвел и др., 2001; Бердников, 1986, 1987, 1992б-е, 1993; Бердников, Возякова, 1995; Бердников, Тэрнер, 1995, 2006; Бердников и др., 1997, 1998, 2015, 2020; Игнатова, Возякова, 2000; Шмидт и др., 2004а), а также ПЗС-наблюдения из обзоров NSVS (Возниак и др., 2004), INTEGRAL-OMC (Альфонсо-Гарсон и др., 2012), ASAS–3 (Пойманский, 2002), ASAS–SN (Яясингхе и др., 2019) и ZTF (Маски и др., 2019), полученные в полосах, близких к V и g'.

Кроме того, мы использовали данные проекта DASCH (Гриндлей и др., 2009), полученные на оцифрованных старых фотографических пластинках университета Гарварда (США), а также сделанные нами глазомерные оценки блеска на этих же фотопластинках. Следует отметить, что глазомерные оценки позволяют лучше отделять различные дефекты, искажающие звездные изображения, особенно для слабых звезд, что позволило получить больше данных на самых старых фотопластинках, чувствительность которых была низкой.

Для изучения изменяемости периодов цефеид мы применяем общепринятую методику анализа диаграмм $O-C$, а самым точным методом определения остатков $O-C$ является метод Герцшпрунга (1919), машинная реализация которого описана в работе Бердникова (1992а). Для подтверждения реальности обнаруженных изменений периода мы используем метод, описанный Ломбардом и Коэном (1993).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сведения о количестве использованных наблюдений приведены в табл. 1. Самая старая фотопластинка с изображением EV Aql, хранящаяся в Гарварде, была получена в 1890 г., а последние ПЗС наблюдения были сделаны в 2020 г. Следовательно, наши данные охватывают временнóй интервал 130 лет.

Результаты обработки сезонных кривых EV Aql приведены в табл. 2. В первом и втором столюцах 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 диаграмме $O-C$ (рис. 1) пустыми кружками и квадратиками для фотографических наблюдений из проекта DASCH и глазомерных оценок, соответственно, и точками для остальных наблюдений с вертикальными черточками, указывающими пределы ошибок определения остатков $O-C$.

К сожалению, Витриченко и др. (1970) не опубликовали сделанные ими наблюдения, а привели только полученные на их основе моменты максимального блеска, которые мы включили в табл. 2; кроме того, мы использовали моменты поярчаний

Таблица 2. Моменты максимума блеска EV Aql

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O-C$, сут	N	Источник данных
2414301.762	0.562	PG	−574	4.170	23	Гарвард (данная работа)
2416466.717	0.518	PG	−518	1.269	34	Гарвард (данная работа)
2417549.584	0.465	PG	−490	0.209	27	DASCH
2417780.749	0.301	PG	−484	−0.896	30	DASCH
2419328.481	1.500	PG	−444	−1.632	10	DASCH
2419637.500	–	PG	−436	−2.306	–	Витриченко и др. (1970)
2420061.248	0.408	PG	−425	−4.387	54	DASCH
2420177.702	0.231	PG	−422	−4.068	55	DASCH
2420293.450	0.495	PG	−419	−4.455	20	DASCH
2420486.614	0.264	PG	−414	−4.849	44	DASCH
2421065.296	–	PG	−399	−6.843	–	Альбицкий (1929)
2421144.293	0.237	PG	−397	−5.269	49	DASCH
2422227.031	0.263	PG	−369	−6.458	47	DASCH
2423155.026	0.381	PG	−345	−7.544	15	DASCH
2424201.948	0.323	PG	−318	−5.838	52	Гарвард (данная работа)
2424704.319	–	PG	−305	−6.719	–	Альбицкий (1929)
2424744.522	–	PG	−304	−5.227	–	Альбицкий (1929)
2424783.038	0.768	PG	−303	−5.423	14	Альбицкий (1929)
2424821.197	–	PG	−302	−5.975	–	Альбицкий (1929)
2424822.182	–	PG	−302	−4.991	–	Альбицкий (1929)
2424899.000	–	PG	−300	−5.596	–	Витриченко и др. (1970)
2426058.725	0.603	PG	−270	−7.221	23	DASCH
2426485.473	0.229	PG	−259	−6.302	63	DASCH
2426679.191	0.292	PG	−254	−6.142	55	DASCH
2426873.375	0.375	PG	−249	−5.517	32	Гарвард (данная работа)
2427378.500	–	PG	−236	−3.644	–	Витриченко и др. (1970)
2428810.979	0.288	PG	−199	−3.498	61	DASCH
2429313.712	0.244	PG	−186	−4.017	44	DASCH
2429351.832	0.407	PG	−185	−4.609	36	Гарвард (данная работа)
2429429.282	0.547	PG	−183	−4.582	15	DASCH
2429429.300	0.347	PG	−183	−4.564	46	DASCH
2429430.056	0.339	PG	−183	−3.808	54	DASCH
2429468.164	0.712	PG	−182	−4.412	40	DASCH
2430129.906	0.966	PG	−165	−0.768	42	DASCH
2430632.047	0.180	PG	−152	−1.880	90	DASCH
2431912.231	0.187	PG	−119	0.819	162	DASCH
2432106.169	0.256	PG	−114	1.199	54	DASCH

Таблица 2. Продолжение

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O-C$, сут	N	Источник данных
2432845.530	0.292	PG	−95	5.037	64	DASCH
2432960.988	0.800	PG	−92	4.360	31	DASCH
2433465.418	0.342	PG	−79	5.538	76	DASCH
2434009.037	0.438	PG	−65	7.193	78	DASCH
2434048.500	–	PG	−64	7.945	–	Витриченко и др. (1970)
2436452.200	–	PG	−2	11.520	–	Витриченко и др. (1970)
2437266.500	–	PG	19	12.875	–	Витриченко и др. (1970)
2438428.500	–	PG	49	13.524	–	Витриченко и др. (1970)
2441135.973	0.076	B	119	11.178	23	Пел (1976)
2441136.675	0.081	V	119	11.076	23	Пел (1976)
2441677.323	0.372	PG	133	10.565	51	DASCH
2443993.777	0.432	PG	193	4.317	53	DASCH
2444111.006	0.183	V	196	4.607	7	Харрис (1980)
2444419.439	0.208	V	204	3.346	5	Колдвел и др. (2001)
2444419.547	0.290	B	204	4.258	5	Колдвел и др. (2001)
2445731.720	0.085	B	238	0.234	36	Бердников (1986)
2445732.653	0.099	R_c	238	0.455	36	Бердников (1986)
2445732.693	0.085	V	238	0.403	38	Бердников (1986)
2445771.089	0.323	PG	239	0.891	72	DASCH
2446273.025	0.040	B	252	−0.424	47	Бердников (1987а)
2446273.707	0.058	R_c	252	−0.454	47	Бердников (1987а)
2446273.860	0.046	V	252	−0.394	47	Бердников (1987а)
2446620.061	0.037	B	261	−1.793	29	Бердников (1992б)
2446620.813	0.039	R_c	261	−1.754	29	Бердников (1992б)
2446620.893	0.060	V	261	−1.766	29	Бердников (1992б)
2447044.528	0.072	B	272	−3.156	16	Бердников (1992в)
2447044.718	0.337	PG	272	−2.965	59	DASCH
2447045.291	0.066	V	272	−3.197	17	Бердников (1992в)
2447045.300	0.095	R_c	272	−3.095	17	Бердников (1992в)
2447430.296	0.070	B	282	−4.504	32	Бердников (1992г)
2447430.943	0.078	R_c	282	−4.569	33	Бердников (1992г)
2447431.012	0.078	V	282	−4.593	33	Бердников (1992г)
2447739.745	0.040	B	290	−4.749	38	Бердников (1992д)
2447740.341	0.056	R_c	290	−4.864	38	Бердников (1992д)
2447740.541	0.035	V	290	−4.758	38	Бердников (1992д)
2448514.127	0.040	B	310	−4.601	21	Бердников (1992е)
2448514.718	0.078	R_c	310	−4.722	21	Бердников (1992е)

Таблица 2. Продолжение

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O-C$, сут	N	Источник данных
2448514.830	0.077	V	310	−4.702	21	Бердников (1992e)
2448861.803	0.039	B	319	−5.330	25	Бердников (1993)
2448862.485	0.077	R_c	319	−5.360	25	Бердников (1993)
2448862.655	0.055	V	319	−5.283	25	Бердников (1993)
2449558.201	1.313	B	337	−5.743	10	Бердников и Тэрнер (1995)
2449559.365	1.224	V	337	−5.383	11	Бердников и Тэрнер (1995)
2449634.663	0.215	B	339	−6.704	10	Бердников и Возякова (1995)
2449635.464	0.270	R_c	339	−6.615	10	Бердников и Возякова (1995)
2449635.622	0.219	V	339	−6.549	10	Бердников и Возякова (1995)
2449945.574	0.652	B	347	−5.486	5	Бердников и др. (1997)
2449985.210	0.090	V	348	−5.366	37	Бердников и др. (1997)
2450333.134	0.090	B	357	−5.043	39	Бердников и др. (1998)
2450334.146	0.118	V	357	−4.835	39	Бердников и др. (1998)
2450334.228	0.140	R_c	357	−4.661	38	Бердников и др. (1998)
2450642.792	0.060	B	365	−5.079	26	Игнатова и Возякова (2000)
2450643.670	0.118	V	365	−5.005	26	Игнатова и Возякова (2000)
2450991.568	0.111	B	374	−4.708	25	Игнатова и Возякова (2000)
2450992.309	0.130	V	374	−4.771	25	Игнатова и Возякова (2000)
2451379.586	0.117	R_c	384	−4.518	125	NSVS
2452501.728	0.116	V	413	−5.108	26	Шмидт и др. (2004a)
2452850.445	0.124	V	422	−4.796	60	ASAS-3
2453120.932	0.345	V	429	−5.292	12	Бердников и Тэрнер (2006)
2453159.406	0.185	V	430	−5.529	28	ASAS-3
2453236.054	0.160	B	432	−5.500	24	Бердников и др. (2020)
2453236.552	0.149	V	432	−5.807	26	Бердников и др. (2020)
2453314.535	0.041	V	434	−5.246	337	INTEGRAL-OMC
2453585.507	0.098	V	441	−5.256	61	ASAS-3
2453895.753	0.155	V	449	−4.704	26	ASAS-3
2454321.401	0.108	V	460	−4.884	57	ASAS-3
2454669.449	0.107	V	469	−5.242	65	ASAS-3
2455017.372	0.103	V	478	−5.724	43	ASAS-3
2455327.463	0.053	V	486	−5.326	234	INTEGRAL-OMC
2456761.850	0.059	B	523	−2.468	20	Бердников и др. (2015)
2456762.757	0.043	V	523	−2.365	21	Бердников и др. (2015)
2457188.305	0.024	V	534	−2.646	140	ASAS-SN
2457535.820	0.019	V	543	−3.535	176	ASAS-SN
2457922.386	0.020	V	553	−4.086	176	ASAS-SN

Таблица 2. Окончание

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O-C$, сут	N	Источник данных
2458115.393	0.056	V	558	−4.638	392	INTEGRAL-OMC
2458308.161	0.057	g'	563	−4.872	127	ZTF
2458308.211	0.033	g'	563	−4.822	120	ASAS-SN
2458308.473	0.024	V	563	−5.116	167	ASAS-SN
2458346.793	0.028	g'	564	−4.951	130	ASAS-SN
2458617.268	0.099	g'	571	−5.459	38	ZTF
2458655.935	0.033	g'	572	−5.503	135	ASAS-SN
2458655.950	0.023	g'	572	−5.488	95	ASAS-SN
2458655.997	0.047	g'	572	−5.442	79	ASAS-SN
2458694.549	0.033	g'	573	−5.601	138	ASAS-SN
2458694.640	0.062	g'	573	−5.510	76	ASAS-SN
2458733.186	0.032	g'	574	−5.676	97	ASAS-SN

из работы Альбицкого (1929). Для всех этих моментов во второй и шестой колонках стоят прочерки, а на рис. 1 они изображены крестиками.

По моментам максимального блеска из табл. 2 получены квадратичные элементы изменения блеска цефеиды EV Aql:

$$\mathrm{Max}HJD = 2436518.908(\pm 0.630) + \\ + 38\overset{\mathrm{d}}{.}711690958(\pm 0.00123)E - \\ - 0.203585 \times 10^{-4}(\pm 0.421 \times 10^{-5})E^2, \quad (1)$$

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.

Известно, что для пульсирующих переменных максимумы блеска наступают позже с ростом эффективной длины волны фотометрической полосы. Поэтому, когда используются данные, полученные в разных полосах, надо выбрать основную (в нашем случае это V) и по одновременным наблюдениям определить величины сдвига моментов максимального блеска в других полосах. По данным табл. 2 было найдено, что максимумы в фильтрах B, g' и R_c наступают раньше, чем в фильтре V на $0\overset{\mathrm{d}}{.}805$ $0\overset{\mathrm{d}}{.}557$ и $0\overset{\mathrm{d}}{.}093$ соответственно. Эти поправки учитывались при построении рис. 1 и определении элементов (1), которые, таким образом, относятся к системе V.

Для подтверждения реальности изменений периода пульсаций мы используем метод, опубликованный Ломбардом и Коэном (1993). Для этого мы вычислили разности $\Delta(O-C)_i$ последовательных остатков $O-C$ из табл. 2, $\Delta(O-C)_i = (O-C)_{i+1} - (O-C)_i$, и построили график зависимости $D_i = \Delta(O-C)_i/(E_{i+1}-E_i)$ от $E'_i = (E_i + E_{i+1})/2$ (рис. 2). Разности D_i, которые имеют смысл изменений периода в интервале эпох $E_i \div E_{i+1}$, соответствуют поведению остатков $O-C$ на рис. 1.

Квадратичный член элементов (1) дает возможность вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -33.2(\pm 6.9)$ с/год, что соответствует теоретическим расчетам для второго пересечения полосы нестабильности (Тэрнер и др., 2006; Фадеев, 2014) для классических цефеид.

Рисунок 1 показывает, что полученные нами результаты носят предварительный характер. Парабола на диаграмме $O-C$ не является очевидной, она проведена формально. За 130 лет наблюдений период EV Aql не показал уверенного векового изменения, поэтому следует расширить интервал времени, охваченный диаграммой $O-C$. К сожалению, мы не можем продвинуться во времени назад раньше 1890 г., поэтому придется двигаться вперед и ждать, по крайней мере, несколько десятилетий.

Отметим, что полученные здесь результаты основаны на конкретных стандартных кривых. Поэтому мы приводим их в табл. 3 с тем, чтобы

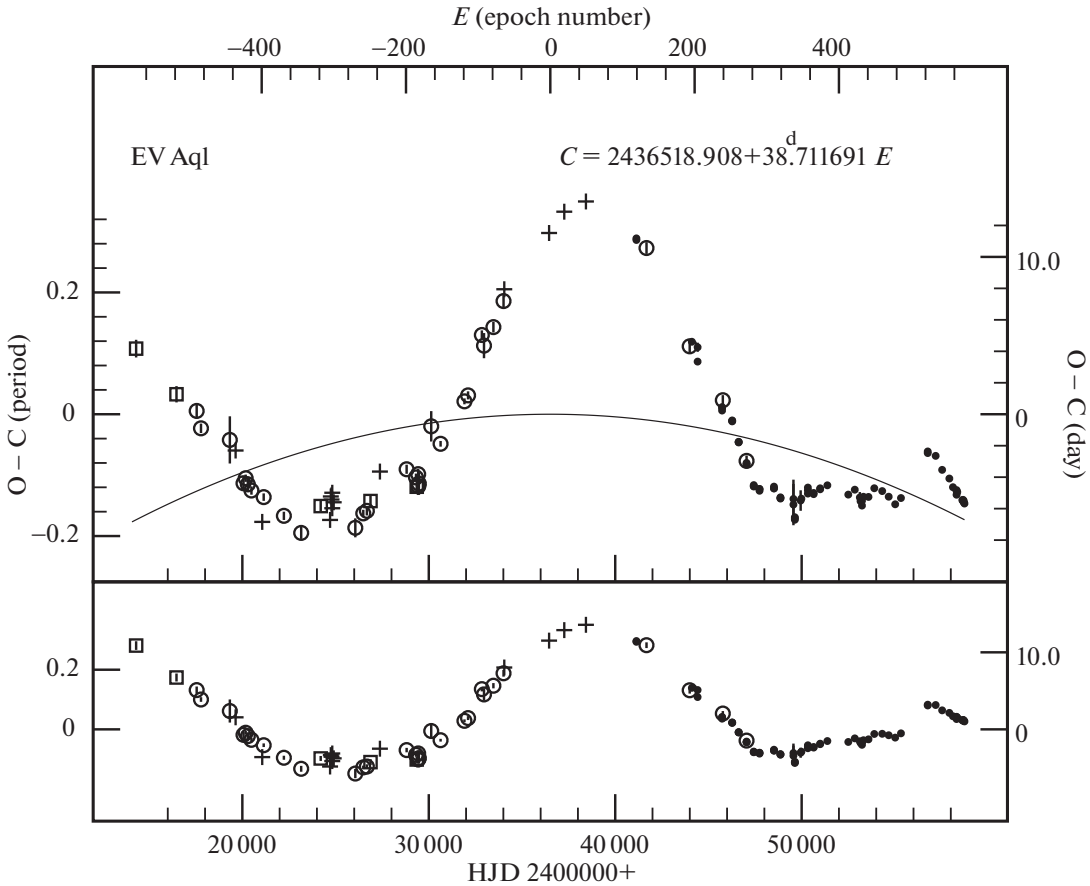

Рис. 1. Диаграмма $O - C$ для цефеиды EV Aql относительно линейных (вверху) и квадратичных (внизу) элементов (1). Линия — парабола, соответствующая элементам (1).

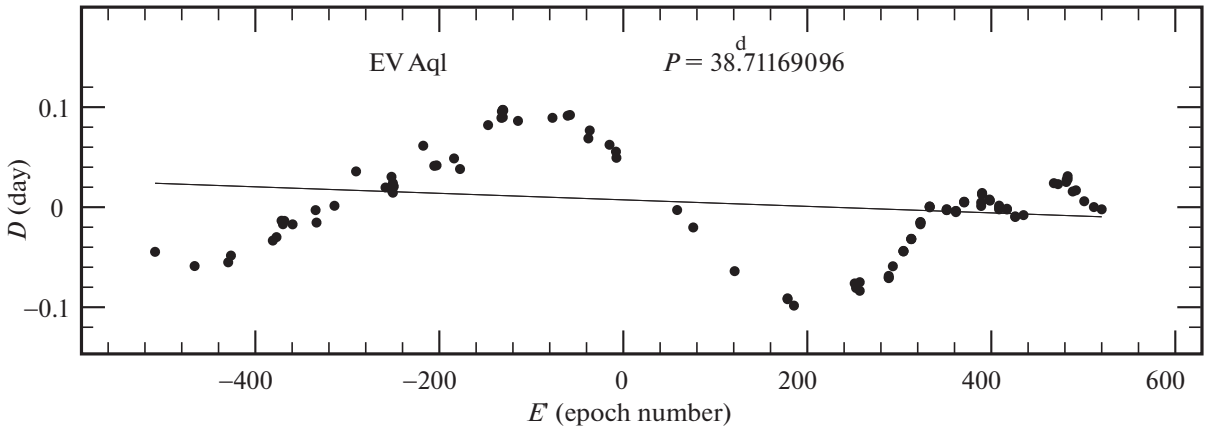

Рис. 2. Зависимость $D_i = ((O - C)_{i+1} - (O - C)_i)/(E_{i+1} - E_i)$ от $E'_i = (E_i + E_{i+1})/2$. Линия соответствует поведению остатков $O - C$ на рис. 1.

Таблица 3. Стандартные кривые EV Aql в фильтрах B, V, R_c и g'

Фаза	B	V	R_c	g'	Фаза	B	V	R_c	g'
0.000	12.925	11.552	10.729	12.257	0.500	13.817	12.086	11.104	12.934
0.005	12.926	11.552	10.729	12.258	0.505	13.823	12.091	11.109	12.940
0.010	12.927	11.553	10.730	12.260	0.510	13.828	12.095	11.114	12.946
0.015	12.930	11.554	10.731	12.262	0.515	13.834	12.102	11.119	12.953
0.020	12.934	11.555	10.733	12.265	0.520	13.840	12.108	11.124	12.959
0.025	12.938	11.556	10.735	12.269	0.525	13.846	12.113	11.129	12.965
0.030	12.942	11.559	10.737	12.274	0.530	13.852	12.120	11.134	12.971
0.035	12.948	11.563	10.739	12.278	0.535	13.859	12.126	11.139	12.977
0.040	12.952	11.567	10.741	12.284	0.540	13.866	12.132	11.144	12.983
0.045	12.958	11.571	10.744	12.289	0.545	13.874	12.138	11.150	12.989
0.050	12.964	11.575	10.746	12.295	0.550	13.883	12.144	11.155	12.995
0.055	12.971	11.580	10.749	12.301	0.555	13.891	12.150	11.160	13.001
0.060	12.979	11.585	10.751	12.307	0.560	13.900	12.155	11.165	13.007
0.065	12.987	11.590	10.754	12.313	0.565	13.909	12.160	11.171	13.012
0.070	12.995	11.594	10.757	12.319	0.570	13.918	12.166	11.176	13.018
0.075	13.003	11.598	10.759	12.325	0.575	13.927	12.172	11.182	13.024
0.080	13.013	11.604	10.762	12.332	0.580	13.935	12.177	11.187	13.030
0.085	13.023	11.608	10.764	12.338	0.585	13.943	12.183	11.193	13.035
0.090	13.033	11.612	10.766	12.344	0.590	13.951	12.189	11.198	13.041
0.095	13.044	11.616	10.769	12.351	0.595	13.958	12.195	11.204	13.047
0.100	13.054	11.621	10.771	12.357	0.600	13.965	12.203	11.210	13.053
0.105	13.065	11.625	10.774	12.364	0.605	13.971	12.209	11.215	13.059
0.110	13.075	11.629	10.776	12.371	0.610	13.977	12.217	11.221	13.065
0.115	13.085	11.635	10.779	12.377	0.615	13.983	12.225	11.227	13.071
0.120	13.095	11.639	10.781	12.384	0.620	13.989	12.232	11.232	13.077
0.125	13.105	11.646	10.784	12.392	0.625	13.995	12.239	11.238	13.083
0.130	13.115	11.652	10.787	12.399	0.630	14.001	12.246	11.243	13.089
0.135	13.125	11.658	10.790	12.406	0.635	14.007	12.252	11.249	13.094
0.140	13.135	11.665	10.793	12.413	0.640	14.013	12.259	11.254	13.100
0.145	13.144	11.671	10.796	12.421	0.645	14.019	12.264	11.259	13.106
0.150	13.154	11.677	10.799	12.429	0.650	14.025	12.269	11.264	13.111
0.155	13.164	11.684	10.802	12.437	0.655	14.031	12.272	11.269	13.116
0.160	13.174	11.690	10.806	12.445	0.660	14.037	12.277	11.274	13.121
0.165	13.184	11.695	10.809	12.453	0.665	14.043	12.280	11.278	13.126
0.170	13.194	11.701	10.813	12.462	0.670	14.049	12.282	11.283	13.130
0.175	13.205	11.706	10.816	12.470	0.675	14.053	12.284	11.287	13.135
0.180	13.215	11.711	10.820	12.478	0.680	14.059	12.286	11.291	13.138

Таблица 3. Продолжение

Фаза	B	V	R_c	g'	Фаза	B	V	R_c	g'
0.185	13.226	11.716	10.824	12.487	0.685	14.063	12.289	11.295	13.142
0.190	13.237	11.722	10.827	12.495	0.690	14.066	12.291	11.298	13.144
0.195	13.248	11.727	10.831	12.504	0.695	14.070	12.293	11.302	13.147
0.200	13.259	11.731	10.835	12.512	0.700	14.073	12.296	11.305	13.149
0.205	13.270	11.737	10.840	12.521	0.705	14.074	12.299	11.307	13.150
0.210	13.280	11.744	10.844	12.529	0.710	14.076	12.300	11.310	13.151
0.215	13.291	11.750	10.848	12.538	0.715	14.078	12.301	11.312	13.152
0.220	13.301	11.756	10.853	12.546	0.720	14.078	12.303	11.313	13.152
0.225	13.312	11.764	10.857	12.554	0.725	14.078	12.304	11.315	13.152
0.230	13.323	11.771	10.862	12.562	0.730	14.077	12.304	11.316	13.151
0.235	13.332	11.777	10.866	12.571	0.735	14.076	12.303	11.316	13.149
0.240	13.343	11.785	10.871	12.578	0.740	14.075	12.302	11.316	13.148
0.245	13.354	11.792	10.876	12.586	0.745	14.073	12.301	11.316	13.145
0.250	13.365	11.798	10.880	12.594	0.750	14.070	12.299	11.315	13.142
0.255	13.377	11.806	10.885	12.601	0.755	14.067	12.294	11.313	13.138
0.260	13.388	11.812	10.890	12.609	0.760	14.063	12.290	11.311	13.134
0.265	13.400	11.818	10.895	12.616	0.765	14.059	12.285	11.308	13.129
0.270	13.411	11.825	10.900	12.623	0.770	14.053	12.281	11.304	13.123
0.275	13.423	11.831	10.905	12.631	0.775	14.046	12.273	11.299	13.116
0.280	13.435	11.837	10.910	12.638	0.780	14.039	12.266	11.294	13.108
0.285	13.446	11.844	10.915	12.644	0.785	14.030	12.258	11.288	13.100
0.290	13.458	11.849	10.919	12.651	0.790	14.020	12.248	11.281	13.090
0.295	13.469	11.855	10.924	12.658	0.795	14.009	12.237	11.273	13.080
0.300	13.480	11.862	10.929	12.665	0.800	13.996	12.225	11.264	13.068
0.305	13.491	11.869	10.934	12.672	0.805	13.982	12.210	11.254	13.054
0.310	13.502	11.875	10.938	12.679	0.810	13.965	12.194	11.243	13.040
0.315	13.513	11.882	10.943	12.685	0.815	13.948	12.179	11.231	13.024
0.320	13.524	11.889	10.947	12.692	0.820	13.928	12.161	11.218	13.007
0.325	13.535	11.896	10.952	12.699	0.825	13.906	12.142	11.204	12.988
0.330	13.547	11.903	10.956	12.705	0.830	13.882	12.121	11.189	12.968
0.335	13.558	11.910	10.960	12.712	0.835	13.856	12.098	11.174	12.947
0.340	13.569	11.916	10.965	12.719	0.840	13.829	12.074	11.157	12.924
0.345	13.580	11.923	10.969	12.726	0.845	13.799	12.051	11.140	12.899
0.350	13.591	11.929	10.973	12.733	0.850	13.768	12.026	11.122	12.874
0.355	13.602	11.935	10.977	12.739	0.855	13.734	12.001	11.104	12.847
0.360	13.613	11.942	10.981	12.746	0.860	13.700	11.974	11.084	12.819
0.365	13.623	11.946	10.985	12.753	0.865	13.664	11.948	11.065	12.790

Таблица 3. Окончание

Фаза	B	V	R_c	g'	Фаза	B	V	R_c	g'
0.370	13.633	11.952	10.989	12.760	0.870	13.627	11.922	11.045	12.761
0.375	13.642	11.956	10.992	12.767	0.875	13.589	11.893	11.025	12.730
0.380	13.651	11.962	10.996	12.774	0.880	13.550	11.867	11.004	12.700
0.385	13.659	11.966	11.000	12.781	0.885	13.510	11.841	10.984	12.669
0.390	13.666	11.970	11.004	12.788	0.890	13.470	11.813	10.964	12.638
0.395	13.673	11.973	11.008	12.795	0.895	13.430	11.787	10.944	12.607
0.400	13.679	11.978	11.012	12.801	0.900	13.389	11.762	10.924	12.576
0.405	13.684	11.983	11.016	12.808	0.905	13.349	11.736	10.905	12.547
0.410	13.690	11.987	11.020	12.815	0.910	13.311	11.712	10.886	12.517
0.415	13.695	11.991	11.024	12.822	0.915	13.272	11.690	10.868	12.489
0.420	13.701	11.998	11.029	12.829	0.920	13.233	11.669	10.851	12.462
0.425	13.707	12.003	11.033	12.835	0.925	13.196	11.650	10.834	12.436
0.430	13.713	12.007	11.037	12.842	0.930	13.160	11.633	10.819	12.412
0.435	13.720	12.013	11.042	12.849	0.935	13.127	11.618	10.804	12.390
0.440	13.727	12.020	11.046	12.856	0.940	13.095	11.605	10.793	12.369
0.445	13.735	12.025	11.051	12.862	0.945	13.066	11.594	10.782	12.350
0.450	13.743	12.031	11.055	12.869	0.950	13.041	11.584	10.772	12.333
0.455	13.751	12.038	11.060	12.875	0.955	13.017	11.577	10.763	12.317
0.460	13.758	12.044	11.065	12.882	0.960	12.996	11.571	10.755	12.304
0.465	13.767	12.048	11.070	12.889	0.965	12.977	11.566	10.749	12.292
0.470	13.776	12.054	11.074	12.895	0.970	12.962	11.563	10.743	12.282
0.475	13.784	12.061	11.079	12.902	0.975	12.949	11.559	10.739	12.274
0.480	13.791	12.065	11.084	12.908	0.980	12.940	11.556	10.735	12.268
0.485	13.798	12.069	11.089	12.915	0.985	12.933	11.555	10.732	12.263
0.490	13.805	12.075	11.094	12.921	0.990	12.928	11.554	10.731	12.260
0.495	13.811	12.081	11.099	12.927	0.995	12.925	11.553	10.730	12.258

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 EV Aql для фаз от 0 до 0.995 с шагом 0.005 в системе BVR_cg'; эти стандартные кривые графически изображены на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для изучения изменяемости периода EV Aql использовалось 1775 оценок блеска на старых фотопластинках; кроме того, было собрано 4363 опубликованных наблюдений. Все имеющиеся данные были обработаны методом Герцшпрунга (1919), и были определены 123 момента максимального блеска для построения диаграммы $O-C$, охваты-

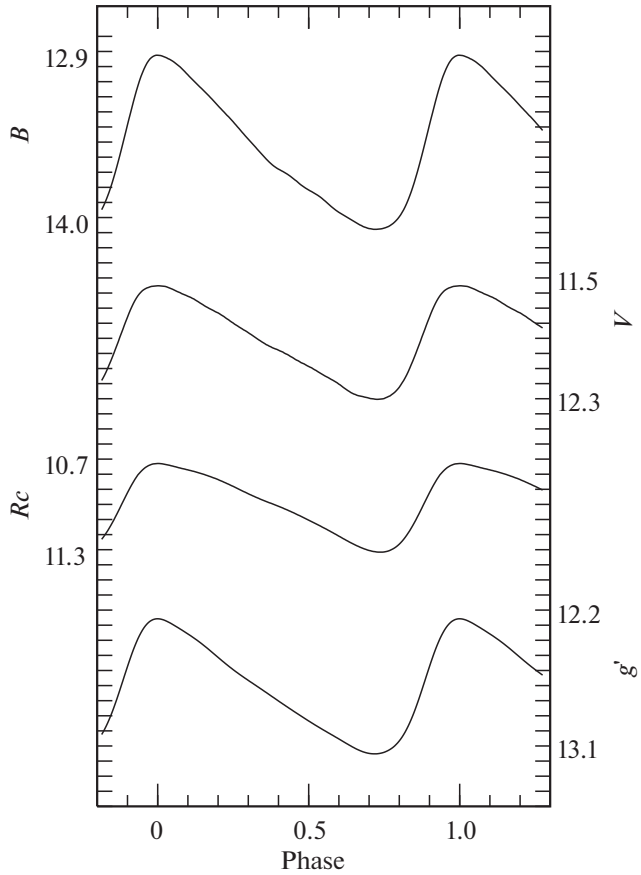

Рис. 3. Стандартные кривые цефеиды EV Aql в системе BVR_cg'.

вающей временно́й интервал 130 лет. Это позволило определить квадратичные элементы изменения блеска (1) и вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -33.2(\pm 6.9)$ с/год. Имеющиеся данные указывают на то, что EV Aql является классической цефеидой, и найденное прогрессивное изменение ее периода согласуется с результатами модельных расчетов для второго пересечения полосы нестабильности (Тэрнер и др., 2006; Фадеев, 2014). Тест на стабильность пульсаций, предложенный Ломбардом и Коэном (1993), подтвердил реальность уменьшения периода.

Данная работа осуществлялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 18-02-00890 и 19-02-00611).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбицкий (V. Albitzky), Astron. Nachricht. **235**, 318 (1929).
2. Альфонсо-Гарсон и др. (J. Alfonso-Garzon, A. Domingo, J.M. Mas-Hesse, and A. Gimenez), Astron. Astrophys. **548**, A79 (2012).
3. Бердников Л.Н., Переменные Звезды **22**, 369 (1986).
4. Бердников Л.Н., Переменные Звезды **22**, 530 (1987а).
5. Бердников Л.Н., Письма в Астрон. журн. **13**, 110 (1987б) [L.N. Berdnikov, Sov. Astron. Lett. **13**, 45 (1987)].
6. Бердников Л.Н., Письма в Астрон. журн. **18**, 519 (1992а) [L.N. Berdnikov, Sov. Astron. Lett. **18**, 207 (1992)].
7. Бердников (L.N. Berdnikov), Astron. Astrophys. Trans. **2**, 1 (1992б).
8. Бердников (L.N. Berdnikov), Astron. Astrophys. Trans. **2**, 31 (1992в).
9. Бердников (L.N. Berdnikov), Astron. Astrophys. Trans. **2**, 43 (1992г).
10. Бердников (L.N. Berdnikov), Astron. Astrophys. Trans. **2**, 107 (1992д).
11. Бердников Л.Н., Письма в Астрон. журн. **18**, 325 (1992е) [L.N. Berdnikov, Sov. Astron. Lett. **18**, 130 (1992)].
12. Бердников Л.Н., Письма в Астрон. журн. **19**, 210 (1993) [L.N. Berdnikov, Astron. Lett. **19**, 84 (1993)].
13. Бердников Л.Н., Письма в Астрон. журн. **20**, 285 (1994) [L.N. Berdnikov, Astron. Lett. **20**, 232 (1994)].
14. Бердников и др. (L.N. Berdnikov, G.N. Abdullaeva, M.A. Ibragimov), Variable stars **40**, No.1 (2020).
15. Бердников Л.Н., Возякова О.В., Письма в Астрон. журн. **21**, 348 (1995) [L.N. Berdnikov, and O.V. Vosyakova, Astron. Lett. **21**, 308 (1995)].
16. Бердников и др. (L.N. Berdnikov, A.K. Dambis, and O.V. Vozyakova), Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **143**, 211 (2000).
17. Бердников и др. (L.N. Berdnikov, V.V. Ignatova, and O.V. Vozyakova), Astron. Astrophys. Trans. **14**, 237 (1997).
18. Бердников и др. (L.N. Berdnikov, V.V. Ignatova, and O.V. Vozyakova), Astron. Astrophys. Trans. **17**, 87 (1998).
19. Бердников Л.Н., Князев А.Ю., Сефако Р., Дамбис А.К., Кравцов В.В., Жуйко С.В., Письма в Астрон. журн. **41**, 27 (2015) [L.N. Berdnikov, A.Yu. Kniazev, R. Sefako, A.K. Dambis, V.V. Kravtsov, and S.V. Zhuiko, Astron. Lett. **41**, 23 (2015)].
20. Бердников Л.Н., Тэрнер Д.Г., Письма в Астрон. журн. **21**, 603 (1995) [L.N. Berdnikov and D.G. Turner, Astron. Lett. **21**, 534 (1995)].
21. Бердников, Тэрнер (L.N. Berdnikov and D.G. Turner), Astron. Astrophys. Trans. **25**, 327 (2006).
22. Браун и др. (Gaia Collaboration, A.G.A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, C. Babusiaux, C.A.L. Bailer-Jones, M. Biermann, D.W. Evans, L. Eyer, et al.), Astron. Astrophys. **616**, A1 (2018).
23. Витриченко Э.А., Мигач Ю.М., Царевский Г.С., Астрон. Цирк. **577**, 3 (1970).

24. 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).
25. Герцшпрунг (E. Hertzsprung), Astron. Nachr. **210**, 17 (1919).
26. Гриндлей и др. (J. Grindlay, Sumin Tang, E. Los, and M. Servilla), ASP Conf. Ser. **410**, 101 (2009).
27. Игнатова, Возякова (V.V. Ignatova, and O.V. Vozyakova), Astron. Astrophys. Trans. **19**, 133 (2000).
28. Кантерна (R. Canterna), Astron. J. **81**, 228 (1976).
29. Колдвел и др. (J.A.R. Caldwell, I.M. Coulson, J.F. Dean, and L.N. Berdnikov), J. Astron. Data **7**, No.4 (2001).
30. Кукаркин Б.В., Паренаго П.П., *Общий каталог переменных звезд* (М: АН СССР, 1958).
31. Лак (R.E. Luck), Astron. J. **156**:171 (24pp) (2018).
32. Лак, Ламберт (R.E. Luck, and D.L. Lambert), Astron. J. **142**:136 (16pp) (2011).
33. Леунг, Бови (H.W. Leung, and Bovy Jo), MNRAS **489**, 2079 (2019).
34. Ломбард, Коен (F. Lombard, and C. Koen), MNRAS **263**, 309 (1993).
35. Маски и др. (F.J. Masci, R.R. Laher, B. Rusholme, D.L. Shupe, S. Groom, J. Surace, E. Jackson, S. Monkewitz, et al.), Publ. Astron. Soc. Pacif. **131**, 018003 (2019).
36. Пел (J.W. Pel), Astrophys. J. Suppl. Ser. **24**, 413 (1976).
37. Петит (M. Petit), Ann. Astrophys. **23**, 681 (1960).
38. Поймански (G. Pojmanski), Acta Astron. **52**, 397 (2002).
39. Рейс и др. (A.G. Reiss, S. Casertano, W. Yuan, L. Macri, B. Bucciarelli, M.G. Lattanzi, J.W. MacKenty, and J.B. Bowers), Astrophys. J. **861**, 126 (13pp).
40. Сковрон и др. (D.M. Skowron, J. Skowron, P. Mroz, A. Udalski, P. Pietrukowicz, I. Soszynski, M.K. Szymanski, and R. Poleski), Acta Astron. **69**, 305 (2019).
41. Тэрнер и др. (D.G. Turner, M. Abdel-Sabour Abdel-Latif, and L.N. Berdnikov), Publ. Astron. Soc. Pacific **118**, 410 (2006).
42. Фадеев Ю.А., Письма в Астрон. журн. **40**, 341 (2014) [Yu.A. Fadeyev, Astron. Lett. **40**, 301 (2014)].
43. Ферни (J.D. Fernie), Publ. Astron. Soc. Pacific **101**, 225 (1989).
44. Ферни, Хьюб (J.D. Fernie, and J.O. Hube), Astron. J. **73**, 492 (1968).
45. Харрис (H.C. Harris), *University of Washington* 133 (1980).
46. Харрис (H.C. Harris), Astron. J. **86**, 719 (1981).
47. Харрис (H.C. Harris), Astron. J. **90**, 756 (1985).
48. Харрис, Кантерна (H.C. Harris, and R. Canterna), Astron. J. **84**, 1750 (1979).
49. Холопов П.Н., Самусь Н.Н., Горанский В.П., Горыня Н.А., Киреева Н.Н., Кукаркина Н.П., Курочкин Н.Е., Медведева Г.И. и др., *Общий каталог переменных звезд. Четвертое издание, том I* (М: Наука, 1985).
50. Шмидт и др. (E.G. Schmidt, D. Johnston, S. Langan, and K.M. Lee), Astron. J. **128**, 1748 (2004а).
51. Шмидт и др. (E.G. Schmidt, D. Johnston, K.M. Lee, and S. Langan), Astron. J. **128**, 2988 (2004б).
52. Шонрих (R. Schoenrich, P. McMillan, and L. Eyer), MNRAS **487**, 3568 (2019).
53. Ялялиева и др. (L.N. Yalyalieva, A.A. Chemel, E.V. Glushkova, A.K. Dambis, and A.D. Klinichev), Astrophys. Bull. **73**, 335 (2018).
54. Яясингхе и др. (T. Jayasinghe, K.Z. Stanek, C.S. Kochanek, B.J. Shappee, T.W.-S. Holoien, Todd A. Thompson, J.L. Prieto, Dong Subo, et al.), MNRAS **485**, 961 (2019).