

УДК 524.335.2

ПЗС-фотометрия звезд типа RV TAU. VI. TX OPHIUCHII

В.И. Бурнашев¹, Б.А. Бурнашева¹, А.А. Хенден²

¹ НИИ Крымская Астрофизическая Обсерватория, 98409, Украина, Крым, Научный.

² Американская ассоциация наблюдений переменных звезд AAVSO, 25 Birth St., Cambridge MA 02137, USA.

Поступила в редакцию 27 мая 2006 г.

Аннотация. В течение наблюдательных сезонов 1999, 2000 и 2002 гг. с помощью ПЗС-фотометров выполнены фотометрические наблюдения переменной звезды *TX Oph*. Анализ этих наблюдений вместе с литературными данными подтвердил среднее значение основного цикла переменности $P = 135^d.2613$ на протяжении почти 70 лет. Заметен также вторичный цикл длительностью около 10-12 тыс. дней.

CCD-PHOTOMETRY OF THE RV TAU STARS. VI. TX OPHIUCHII, by V.I. Burnashev, B.A. Burnasheva, A.A. Henden The photometric observations of the *RV Tau*-type star *TX Oph* were carried out in 1999-2002. These data and other published results allow us to assert the common cycle $P = 135^d.2613$. The secondary cycle of about 10-12 thousand days is determined.

Ключевые слова: CCD-photometry, RV Tau stars, TX Ophiuchii

1 Введение

Развитие наблюдательной базы в Крымской обсерватории сделало возможным фотометрическое исследование звезд с помощью ПЗС-фотометров, установленных на телескопах довольно скромных размеров (Бурнашев и др., 2002). В частности, эта аппаратура была применена для фотометрического исследования малоизученной группы звезд типа *RV Tau*.

Переменная *TX Oph* (PPM163467) была открыта мисс Левитт (Leavitt H.S.) в 1908 году (Пикеринг, 1908). Герасимович (1927) уточнил длительность цикла переменности и указал, что звезда является переменной типа *RV Tau*.

Известно, что переменные типа *RV Tau* образуют неоднородную группу с периодами циклических изменений блеска, заключенными между 30 и 150 днями. Отличительной особенностью этих звезд является резко выраженная изменчивость формы кривых блеска и нестабильность длительности циклов. Отмечено, что для звезд с периодами до $P \leq 89^d$ стало возможным установить некоторые закономерности, такие как корреляции между формой кривой блеска и амплитудой, между нестабильностью блеска в минимумах и полной амплитудой, формой кривой блеска и некоторыми спектральными характеристиками. Между тем, более долгопериодические переменные этого типа ($P \geq 113^d$) показывают намного большую нестабильность, когда на протяжении временного интервала, сравнимого с длиной периода, периодичность нарушается и блеск меняется хаотически или остается примерно постоянным. При этом часто наблюдают перестановку вторичного и первичного минимумов (Ерлексова, 1972б). Отметим, что длительность

периода изменения блеска для *TX Oph* (около 135 дней) является одной из самых долгих для звезд этого типа переменности.

По классификации ОКПЗ фотометрический тип переменности звезды - *RVa*, т. е. *TX Oph* характеризуется более или менее стабильной кривой блеска. По спектральному типу переменности, введенному Престоном и др. (1963), звезда входит в группу *A* - т.е. группу звезд спектральных классов *G* или *K*, показывающих вблизи главного минимума в визуальной области характеристики звезд типа *M* (появляются полосы окиси титана *TiO*), в то же время короче $\lambda 4500 \text{ \AA}$ спектр характерен для звезд типа *K*. Известно, что звезды, отнесенные к этой группе, во всех отношениях менее стабильны, чем звезды, входящие в группу *B* Престона.

На основе инфракрасных наблюдений установлено, что *TX Oph* обладает значительным инфракрасным избытком, обусловленным излучением пылевой оболочки (Голдсмит и др., 1987). Температура оболочки, оцененная по наблюдениям в области 0.36– 10 мкм, равна примерно 970К, что, возможно, является несколько завышенной оценкой (для сравнения: температура оболочки *AC Her* по данным этих же авторов составляет 1800К, в то же время Равендран (1989) на основе наблюдений IRAS оценил ее равной 260 К).

Таблица 1.

JD 2400000+	Фотометрическая система	Число наблюдений	Автор
27945.6-53665.4	m_{vis}	4677	Хенден, 2006
37489.76-37573.69	UBV	12	Престон и др., 1963
40692.81-41180.60	UBVR	19	Дю-Пюи, 1973
42685-42894	BV+DDO	4	Доусон, 1979
46243.39-46244.43	UBVRIJHKLM	2	Голдсмит и др. 1987
45860.773-46242.742	BV	3	Вальгрэн, 1992
51277.59 -51379.48	BVR	9	Бурнашев и др.
51641.71 -51742.48	BVR	17	Бурнашев и др.
52418.45 -52487.28	BVRI	12	Бурнашев и др.

Звезда имеет пониженное содержание металлов: $[Fe/H] = -0.80$ (Вальгрэн и др., 1992), $[Fe/H] = -0.68$ (Доусон, 1979). Наиболее точное определение химсостава выполнили Гириджар и др. (2005): $[Fe/H] = -1.2$. Поскольку объект находится сравнительно высоко над галактической плоскостью ($b = 26.^{\circ}1$), то межзвездное поглощение имеет вполне умеренную величину: избыток цвета оценивается от $E_{B-V} = 0.^m40$ (Вальгрэн и др., 1992) до $E_{B-V} = 0.^m11$ (Дю-Пюи, 1973). Принятое значение $E_{B-V} = 0.^m15$ (Доусон, 1979).

2 Наблюдения и редукции

История фотометрических исследований этой переменной приведена в таблице 1, где указаны период наблюдений в соответствующей фотометрической системе, число измерений и литературный источник.

Период наблюдений переменной *TX Oph* в Крымской обсерватории охватывал три летних сезона: 1999, 2000 и 2002 гг. В течение этого времени наблюдательная аппаратура непрерывно менялась и совершенствовалась, в частности, изменился набор светофильтров и фотоприемников. Поэтому во все три сезона инструментальные фотометрические системы были разными.

Фотометрические наблюдения в 1999 году и летом 2000 г. в системе, близкой к *BVR* Джонсона, были выполнены в Крымской астрофизической обсерватории с помощью ПЗС-фотометра, установленного на 20-см максутовском телескопе АЗТ-7. (Бурнашев и др, 2002). С осени 2000 г. был применен фотоприемник типа ST-7 и другой набор светофильтров. Летом 2002

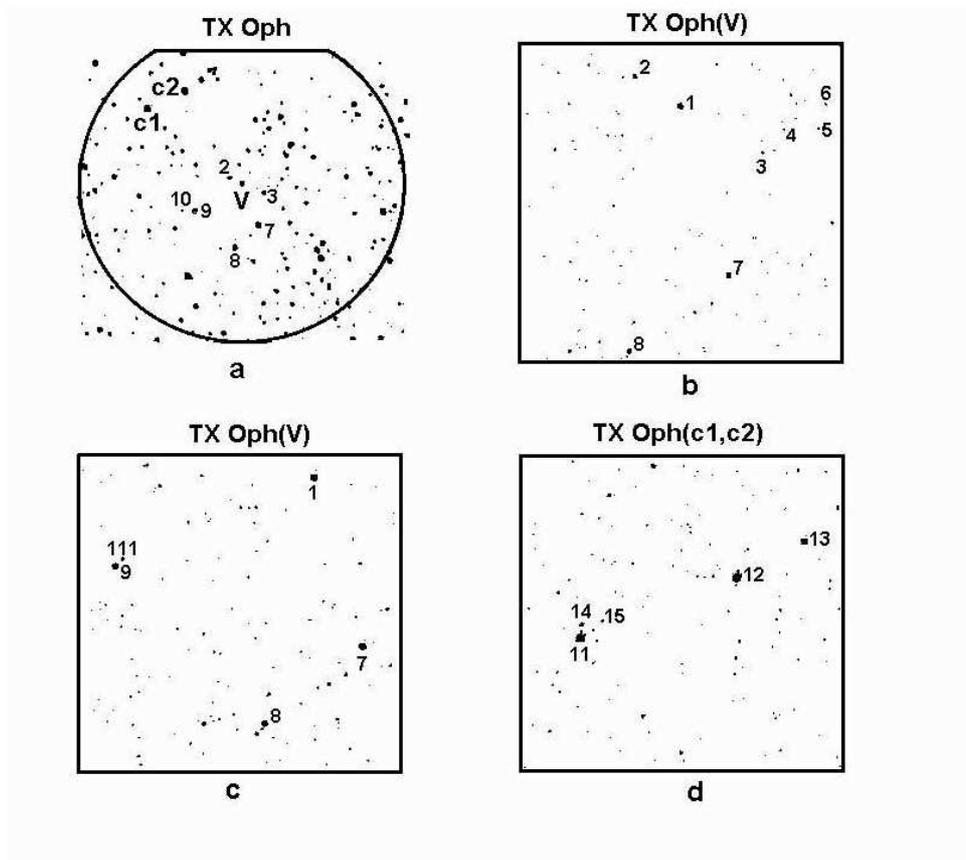


Рис. 1. Карты окрестностей переменной *TX Oph* и звезд сравнения *C1* и *C2*: *a* - диаметр окружности равен 1° . *b, c* - более подробная карта окрестностей переменной (сторона квадрата $15' \times 15'$), *d* - подробная карта окрестностей звезд сравнения *C1*(= 11) и *C2*(=12).

года проведены наблюдения с третьим ПЗС-фотометром, который был построен на основе матрицы фирмы APOGEE и установлен в прямом фокусе 70-см телескопа АЗТ-8. Фотометрическая система этого фотометра реализована с помощью комбинации отечественных светофильтров. И в этой системе кривые реакции также весьма далеки от стандартных. Коэффициенты связи со стандартной системой для сезона наблюдений 2002 г. определены нами ранее (Бурнашев и др., 2005).

На рисунке 1а показана карта окрестностей переменной *TX Oph*. Карта представляет собой участок небесной сферы размером $1^\circ \times 1^\circ$, скопированный из атласа Ференберга (1970). Переменная обозначена значком "v", звезды сравнения отмечены на рисунке как "c1" и "c2". Более подробно окрестности переменной и звезд сравнения показаны на рисунках 1b-1d, которые представляют собой рабочие кадры, полученные в системе, близкой к *V*, в одну из наблюдательных ночей в 2002 году. Кадры примерно ориентированы по небесным координатам. Их размер приблизительно соответствует площадке $15' \times 15'$ на небесной сфере. Система обозначений, принятая на этих подробных картах такова: в ближайшей окрестности переменной для звезд принята однозначная нумерация, которая начинается с самой переменной: NN 1(= v), 2, 3 ... и так далее; звезды в ближайшей окрестности звезд сравнения отмечены двузначными обозначениями, также начиная со звезды сравнения: NN 11(=c1), 12(=c2), 13 и так далее. На наш взгляд, такая система обозначений позволяет избежать путаницы при наблюдениях переменных звезд.

Таблица 2.

<i>TX Oph</i>	Jd					
Data	2450000 ^d +	V	BV	VR	n	
06/04/1999	1275 ^d 61	10 ^m 199	1 ^m 221	0 ^m 829	9	
08/04	1277 ^d 59	10 ^m 355	1 ^m 069	0 ^m 839	9	
06/05	1305 ^d 63	9 ^m 796	0 ^m 935	0 ^m 698	9	
20/05	1319 ^d 59	9 ^m 940	1 ^m 012	0 ^m 788	9	
14/06	1344 ^d 58	10 ^m 164	0 ^m 928	0 ^m 772	9	
21/06	1351 ^d 46	10 ^m 093	0 ^m 948	0 ^m 795	9	
29/06	1359 ^d 51	10 ^m 023	0 ^m 953	0 ^m 774	9	
09/07	1369 ^d 49	9 ^m 965	0 ^m 925	0 ^m 782	9	
19/07	1379 ^d 48	10 ^m 041	0 ^m 997	0 ^m 808	9	
<i>TX Oph</i>	Jd					
Data	2450000 ^d +	V	BV	VR	VI	n
06/04/2000	1641 ^d 71	10 ^m 091	0 ^m 909	0 ^m 807	17	
10/04	1645 ^d 66	10 ^m 048	0 ^m 921	0 ^m 781	17	
03/05	1668 ^d 67	9 ^m 977	1 ^m 031	0 ^m 839	17	
10/05	1675 ^d 63	10 ^m 185	1 ^m 137	0 ^m 867	17	
13/05	1678 ^d 53	10 ^m 268	1 ^m 018	0 ^m 868	17	
15/05	1680 ^d 57	10 ^m 286	1 ^m 104	0 ^m 869	17	
22/05	1687 ^d 57	10 ^m 332	1 ^m 026	0 ^m 818	17	
26/05	1691 ^d 59	10 ^m 269	0 ^m 969	0 ^m 750	17	
27/05	1691 ^d 61	10 ^m 241	0 ^m 956	0 ^m 753	17	
05/06	1701 ^d 55	9 ^m 997	0 ^m 835	0 ^m 691	17	
09/06	1705 ^d 58	9 ^m 902	0 ^m 833	0 ^m 708	17	
11/06	1707 ^d 53	9 ^m 865	0 ^m 797	0 ^m 722	17	
23/06	1719 ^d 51	9 ^m 974	0 ^m 984	0 ^m 817	17	
28/06	1724 ^d 53	10 ^m 073	1 ^m 035	0 ^m 853	17	
01/07	1727 ^d 53	10 ^m 139	1 ^m 050	0 ^m 864	17	
04/07	1730 ^d 47	10 ^m 223	1 ^m 110	0 ^m 899	17	
16/07	1742 ^d 48	10 ^m 643	1 ^m 132	0 ^m 967	17	
23/05/2002	2418 ^d 45	10 ^m 058	1 ^m 135	0 ^m 866	1 ^m 539	12
29/05	2424 ^d 35	10 ^m 151	1 ^m 183	0 ^m 912	1 ^m 592	12
09/06	2435 ^d 34	10 ^m 568	1 ^m 192	0 ^m 934	1 ^m 586	12
13/06	2439 ^d 39	10 ^m 562	1 ^m 097	0 ^m 910	1 ^m 534	12
15/06	2441 ^d 32	10 ^m 520	1 ^m 055	0 ^m 853	1 ^m 444	12
22/06	2448 ^d 35	10 ^m 249	0 ^m 918	0 ^m 773	1 ^m 354	12
25/06	2451 ^d 33	10 ^m 139	0 ^m 892	0 ^m 797	1 ^m 378	12
27/06	2453 ^d 31	10 ^m 150	0 ^m 935	0 ^m 818	1 ^m 413	12
30/06	2456 ^d 34	9 ^m 979	0 ^m 936	0 ^m 807	1 ^m 383	12
04/07	2460 ^d 28	9 ^m 878	0 ^m 953	0 ^m 820	1 ^m 423	12
07/07	2463 ^d 29	9 ^m 830	0 ^m 991	0 ^m 810	1 ^m 422	12
31/07	2487 ^d 28	10 ^m 276	1 ^m 136	0 ^m 887	1 ^m 537	12

Учет различных инструментальных эффектов и редукция наблюдений к стандартной системе выполнена при помощи пакета стандартных программ IRAF/DAOPHOT (Стетсон, 1987). Определение коэффициентов перехода к стандартной системе для наблюдений в 2000 году и другие редукции аналогичны описанным нами ранее (Бурнашев и др., 2002).

Окончательный результат – значения звездных величин и показателей цвета переменной звезды, определенные по всей совокупности наблюдений, – приведен в таблице 2, где в первой колонке указана дата, во второй – дата юлианского периода, в третьей и последующих, – значения V , $B - V$, $V - R$, $V - I$ в джонсоновской системе, полученные как средние из 2-4 независимых оценок в течение данной ночи. Средний разброс приведенных значений может быть оценен по наблюдениям звезд сравнения, имеющих яркость сравнимую с переменной: $\sigma_v \simeq 0^m008$, $\sigma_{bv} \simeq 0^m012$, $\sigma_{vr} \simeq 0^m008$, $\sigma_{vi} \simeq 0^m012$, то есть соответствует обычной точности фотоэлектрических оценок блеска.

В поле звезд сравнения, обозначенных как $c1$ и $c2$ на рис. 1a: $c1 = (PPM 163478 = SAO 122050 = HD 154348 = BD + 05^\circ 3315 9.4 G0)$, $c2 = (PPM 163492 = SAO 122057 = HD 154432 = BD + 05^\circ 3318 9.9 K0)$, попадает еще несколько звезд, для которых на рис 1d применено обозначение " $11(= c1)$ ", " $12(= c2)$ ", и т.д.

Полученные результаты фотометрической привязки звезд сравнения по всей совокупности наблюдений, включающих до 18 независимых оценок блеска, приведены в таблицах 3 (звезды в поле переменной) и 4 (звезды в поле звезд сравнения). Указана также погрешность полученного

Таблица 3.

<i>TX Oph</i> Звезды в поле:									
No	Year	V	sigma	BV	sigma	VR	sigma	VI	sigma
2	1999	11 ^m 246	±0 ^m 002	1 ^m 169	±0 ^m 002	0 ^m 882	±0 ^m 001		
	2000	11 ^m 244		1 ^m 172		0 ^m 880			
	2002	11 ^m 259	±0 ^m 010	1 ^m 243	±0 ^m 008	0 ^m 927	±0 ^m 003	1 ^m 568	±0 ^m 004
3	1999	12 ^m 943	±0 ^m 008	0 ^m 182	±0 ^m 029	0 ^m 146	±0 ^m 013		
	2002	12 ^m 998	±0 ^m 010	0 ^m 139	±0 ^m 003	0 ^m 157	±0 ^m 005	0 ^m 318	±0 ^m 005
4	1999	13 ^m 933	±0 ^m 023	0 ^m 874	±0 ^m 074	0 ^m 678	±0 ^m 017		
	2002	13 ^m 994	±0 ^m 022	0 ^m 861	±0 ^m 027	0 ^m 734	±0 ^m 021	1 ^m 245	±0 ^m 012
5	1999	13 ^m 797	±0 ^m 016	0 ^m 797	±0 ^m 075	0 ^m 614	±0 ^m 029		
	2002	13 ^m 841	±0 ^m 015	0 ^m 793	±0 ^m 030	0 ^m 661	±0 ^m 014	1 ^m 118	±0 ^m 014
6	2002	15 ^m 075	±0 ^m 008	0 ^m 669	±0 ^m 022	0 ^m 642	±0 ^m 013	1 ^m 076	±0 ^m 008
7	2002	10 ^m 247		0 ^m 373		0 ^m 361		0 ^m 635	
8	2002	10 ^m 943	±0 ^m 019	0 ^m 676	±0 ^m 006	0 ^m 629	±0 ^m 003	1 ^m 081	±0 ^m 005
9	2000	10 ^m 398	±0 ^m 002	1 ^m 246	±0 ^m 007	0 ^m 934	±0 ^m 002		
	2002	10 ^m 457	±0 ^m 015	1 ^m 315	±0 ^m 005	0 ^m 989	±0 ^m 014	1 ^m 668	±0 ^m 016
10	2000	12 ^m 617	±0 ^m 005	1 ^m 327	±0 ^m 029	1 ^m 279	±0 ^m 004		
111	2000	13 ^m 868	±0 ^m 010	0 ^m 909	±0 ^m 056	0 ^m 610	±0 ^m 008		

Таблица 4.

Звезды сравнения: N	V	sigma	n	BV	sigma	n	VR	sigma	n	VI	sigma	n
11	8 ^m 500	±0 ^m 003	27	1 ^m 480	±0 ^m 020	27	1 ^m 097	±0 ^m 015	27	1 ^m 907	±0 ^m 026	11
12	8 ^m 499	±0 ^m 007	27	1 ^m 036	±0 ^m 007	27	0 ^m 764	±0 ^m 009	27	1 ^m 389	±0 ^m 017	11
13	9 ^m 429	±0 ^m 007	23	1 ^m 342	±0 ^m 014	23	0 ^m 942	±0 ^m 004	23	1 ^m 657	±0 ^m 006	10
14	12 ^m 068	±0 ^m 003	26	0 ^m 649	±0 ^m 005	26	0 ^m 495	±0 ^m 004	26	0 ^m 923	±0 ^m 000	11
15	13 ^m 986	±0 ^m 007	19	0 ^m 946	±0 ^m 027	19	0 ^m 749	±0 ^m 007	19	1 ^m 350	±0 ^m 006	11

результата.

Престоном и др. (1963) была применена звезда сравнения $BD + 05^{\circ}3312 10.4 A5 = PPM 163466$. В наших обозначениях она отмечена как звезда N 7, для которой Престоном и др. (1963) принято: $V = 10^m 247$, $B - V = 0^m 372$, $U - B = 0^m 194$.

Эти значения не совпадают с опубликованными ДюПюи (1973): $V = 9^m 49$, $B - V = 1^m 16$, $V - R = 0^m 75$, $U - B = 1^m 32$, что, вероятно, связано с тем, что оба этих автора подразумевали разные звезды. Наши наблюдения подтверждают, что звезда N 7 действительно является звездой сравнения Престона. В базе данных SIMBAD для нее приведены следующие значения: $V = 10^m 28$, $B - V = 0^m 35$, несколько отличающиеся от опубликованных Престоном и др. (1963). Таким образом, по разным источникам блеск и цвет звезды различается на несколько сотых звездной величины, что дает основание заподозрить звезду в слабой переменности.

Отметим попутно, что колебания блеска и цвета для некоторых звезд, замеченные на основании наших измерений, дают основание заподозрить переменность в пределах нескольких сотых звездной величины для нескольких звезд. Возможными переменными могут быть звезды NN 3,4,5 в поле переменной и N 13 в поле звезды сравнения.

Сводная фазовая кривая блеска для *TX Oph*, построенная по нашим наблюдениям для среднего значения периода $P = 135^d.2613$, приведена на рис. 2.

Значками в виде цифр указаны индивидуальные наблюдения, полученные в 1999, 2000 и 2002 годах. Изменение длительности цикла переменности, характерное для звезд типа *RV Tau*, привело

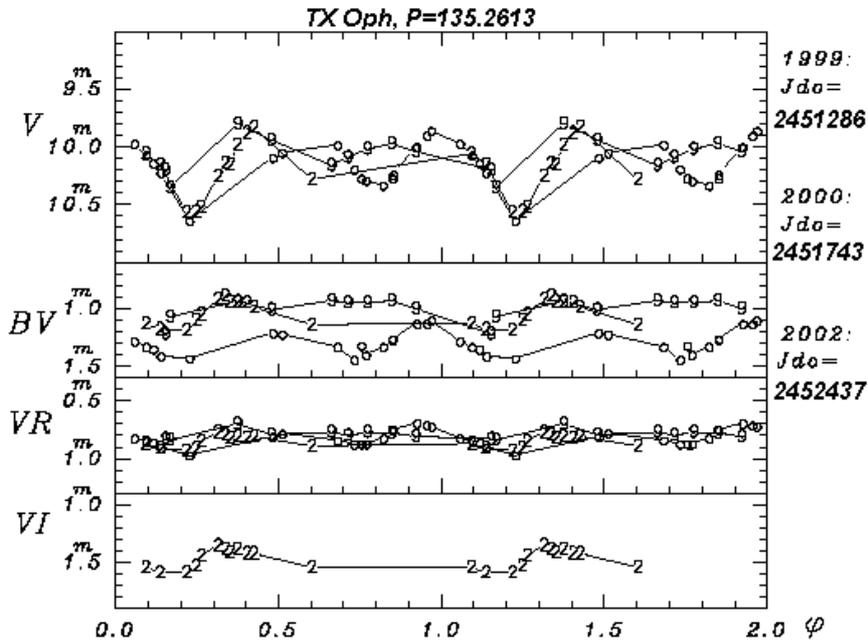


Рис. 2. Средняя фазовая кривая изменения блеска и цвета переменной TX Oph в 1999, 2000 и 2002 гг.

к тому, что при построении средней кривой не удалось подобрать единую для всех наблюдений начальную эпоху, поэтому при вычислении фазы для каждого сезона наблюдений взята своя начальная эпоха. Наилучшее представление наблюдений получается, если принять: $JD_0 = 2451286$ (1999 г.); 2451743 (2000 г.); 2452437 (2002 г.).

Средняя ошибка каждого наблюдения сравнима с размером значка. Как видно, разброс значений V , $B - V$, $V - R$, $V - I$, особенно в главном минимуме, вполне реален и вызван как переменностью звезды в течение основного 135-дневного периода, так и изменением длины периода. Часть переменности может быть обусловлена ошибками редукции.

3 Анализ результатов

История фотометрических наблюдений TX Oph суммирована в таблице 1. Как видно из таблицы, большую часть ряда составляют визуальные оценки. Точные фотоэлектрические наблюдения еще довольно скудны и разрозненны.

В первом столбце таблицы 1 отмечен период наблюдений, во 2-м – фотометрическая система, в 3-м – число оценок блеска переменной в соответствующей системе. При этом указаны только результаты наблюдений, которые были применены для дальнейшего анализа. Сомнительные наблюдения (отмеченные самими авторами, как неуверенные) были отброшены. В последнем столбце дана соответствующая литературная ссылка.

Ряд визуальных оценок блеска звезды с 1935 г. по 2005 г. базируется на данных AAVSO (Хенден, 2006), который дополнен также и фотоэлектрическими наблюдениями нескольких авторов.

Сводная кривая блеска, построенная нами по всей совокупности фотометрических данных, на первый взгляд напоминает уже анализировавшиеся нами кривые для других переменных типа RV Tau, но все же имеет свои особенности. Особенно заметно уже упоминавшееся выше изменение длительности основного цикла переменности. Хорошо видно изменение амплитуды глубин минимумов, характерное для звезд этого типа. Иногда периодические колебания вообще

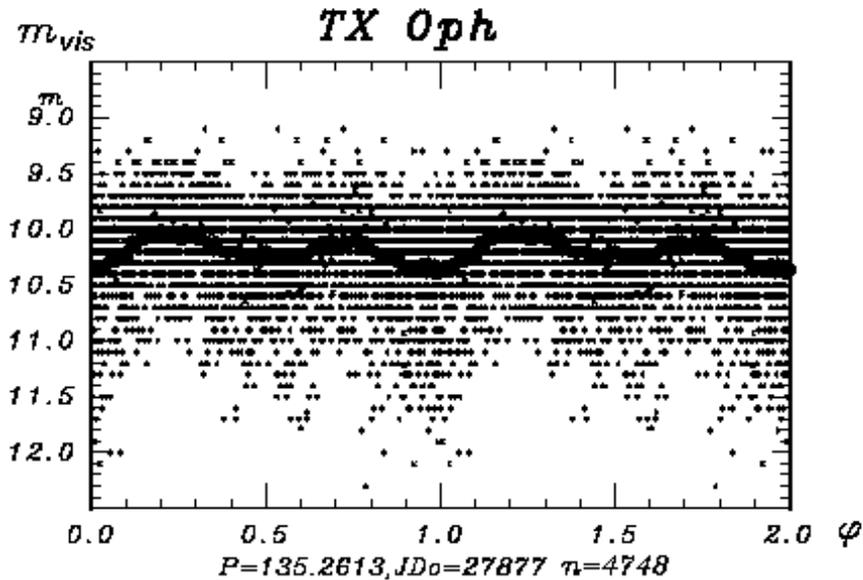


Рис. 3. Сводная фазовая кривая для наблюдений на интервале JD 2427945 – 2453666 (1935 –2005 гг.)

пропадают. Такого рода события наблюдались в интервалах JD 2432000–2433500, 2434500–2434700, 2435600– 2435800, вблизи JD 2436500, а также около JD 2446100– 2446600.

Изменения блеска звезды отличаются довольно большим разбросом значений, позволяющим предположить дополнительные хаотические изменения в пределах нескольких десятых звездной величины с характерным временем изменения порядка нескольких дней.

По всей совокупности визуальных и фотоэлектрических оценок блеска, с помощью пакета программ Пельта (1992), оценено среднее значение основного периода, равное 135^d.2613. Сводная фазовая кривая для этого периода и начальной фазы JD=2427877 показана на рис. 3.

Для вычисления фазы переменности φ применена формула:

$$MinI = JD2427877 + 135.2613 \cdot E \quad (1)$$

Обращает на себя внимание довольно большой разброс, особенно значительный в главном минимуме. Черными точками показана средняя кривая изменения блеска TX Oph. Каждая точка соответствует среднему значению на интервалах фазы $\Delta \varphi = 0.04$. Указано общее число оценок, принятых при осреднении.

Спектры мощности для излучения звезды в визуальной области показаны на рисунках 4а,б. Полная длительность временного интервала для визуальных наблюдений примерно равна 25.5 тыс. дням. Этому временному интервалу и соответствует наиболее крайний пик на рисунке 4а. Наиболее выдающаяся особенность на рисунке 4а соответствует периоду $P \approx 12.2 - 10$ тыс. дней. Изменение блеска звезды с этим циклом хорошо заметно на сводном графике изменения блеска со временем, показанном на рис. 6. Из рисунка видно, что блеск звезды в максимумах изменяется слабо, в то же время в минимумах можно заметить цикличность с длительностью 10 – 12 тыс. дней.

В более высокочастотной области на рисунке 4б хорошо видно, что максимальный вклад в излучение дают основной период (P) и его первая гармоника ($1H$). Среднее значение основного периода по всей совокупности визуальных оценок блеска почти за сто лет лежит в пределах около 135.^d2 – 136.^d8.

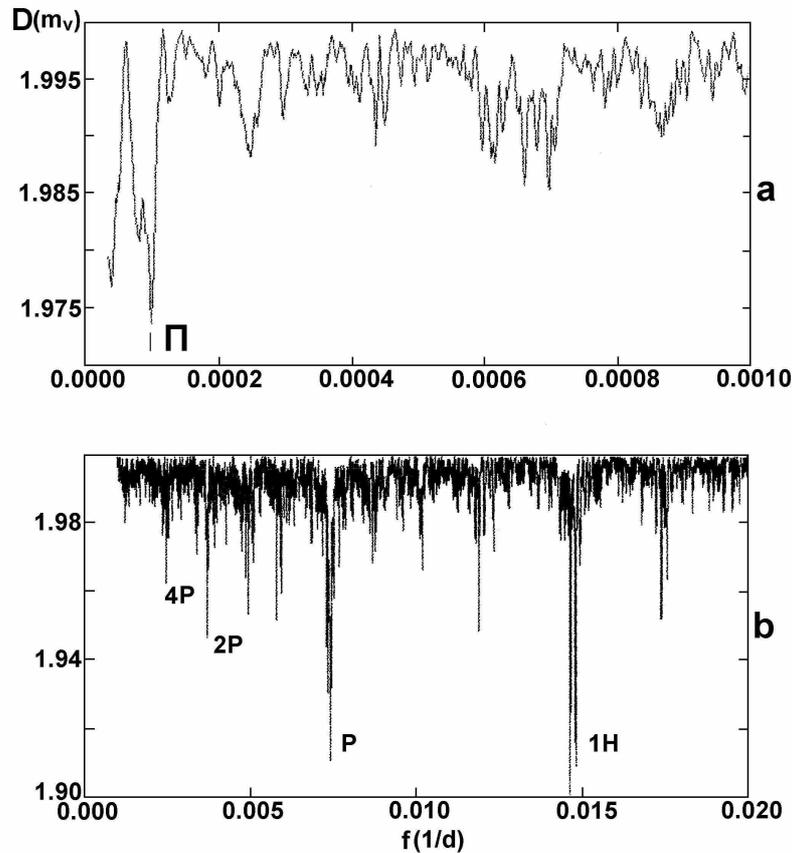


Рис. 4. Периодограмма, построенная по визуальным наблюдениям *TX Oph*. (а). Низкочастотная часть периодограммы. Отмечен период $P \approx 10$ тыс. дней. (б). Высокочастотная часть периодограммы. Указаны основной период P и его первая гармоника $1H$.

Видны на рисунке также пики, кратные целым значениям основного периода. Структура пиков показывает их сложный и запутанный характер. В частности, рядом с каждым пиком видны спутники, отражающие годовую скважность наблюдений, и, кроме того, более характерной их особенностью является раздвоение, вызванное отмеченной выше цикличностью около 10-12 тыс. дней.

На рисунке 7 в несколько более увеличенном масштабе показаны спектральные особенности, соответствующие последовательному удвоению основного периода. До некоторой степени все они имеют подобное строение, в то время как даже внешне пик, соответствующий первой гармонике $1H$ основного колебания P , заметно отличается.

Известно, что подобное поведение спектра мощности характерно для переходных процессов от периодического изменения к хаотическому. С другой стороны, такое сложное поведение спектра мощности может свидетельствовать также о наличии близких периодов и биениях, а также о возможном прогрессивном изменении периода.

Для того, чтобы сделать выбор между этими возможностями, нами были построены диаграммы ($O - C$) – наблюдаемого минус предвычисленного моментов обоих минимумов, главного и вторичного, – для среднего периода $135^d.2613$.

Были использованы определения Ерлексовой (1971a), Лаузе (1930, 1931, 1932, 1933). Кроме

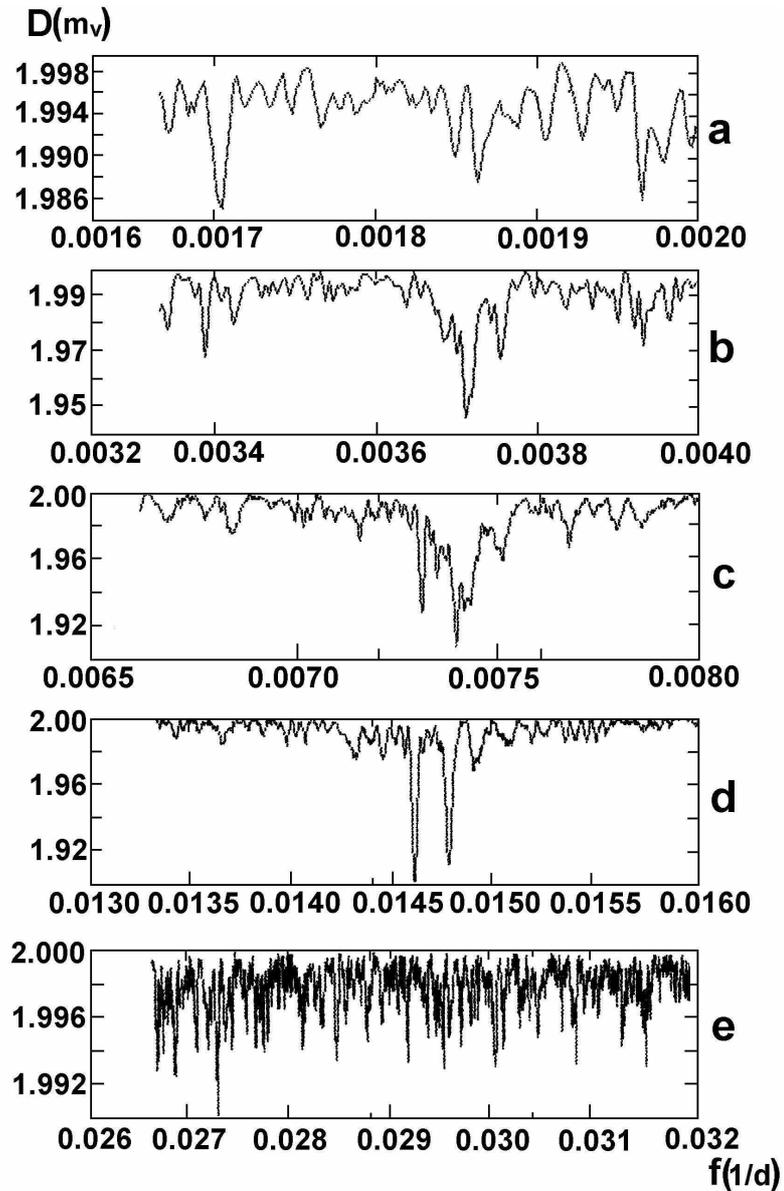


Рис. 5. Более подробное строение некоторых пиков высокочастотной периодограммы: а)- для периода ($4P$); б)-для удвоенного основного периода ($2P$); с)-для основного периода (P); д)-для первой гармоники ($1H$); е)-для удвоенной первой гармоники ($2H$).

того, для построения этих графиков по всей совокупности имевшихся в нашем распоряжении фотометрических данных для визуальной области были независимо переопределены моменты всех минимумов на кривых блеска.

Оцененные по всей совокупности наблюдений отклонения моментов главного и вторичного минимумов также были проанализированы нами с помощью пакета Пельта. На рисунке 9 показан ход значений $O - C$ со временем для обоих минимумов. Точками на рисунках обозначены литературные данные, кружки – определенные нами по визуальным и фотоэлектрическим V -

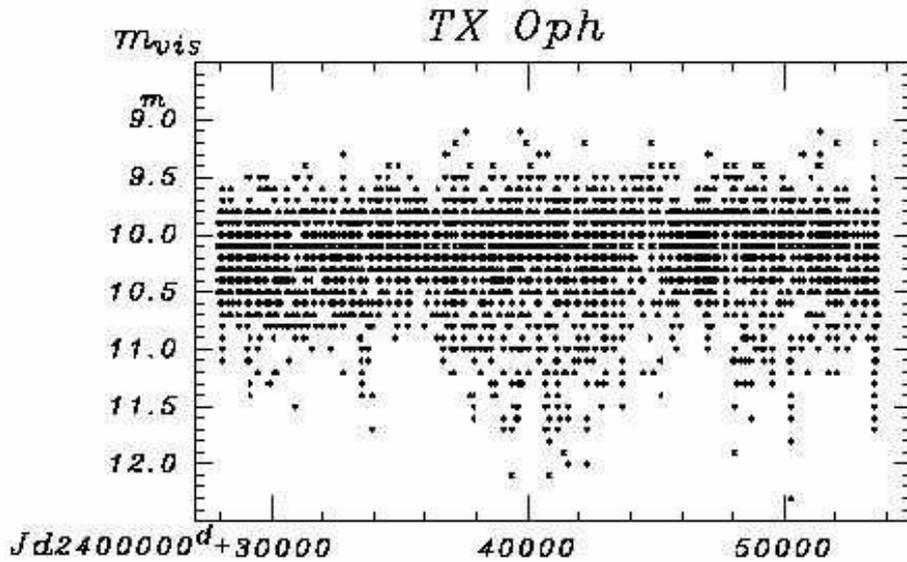


Рис. 6. Визуальный блеск переменной *TX Oph* в 1935–2005 гг.

кривым блеска. Поскольку использован один и тот же наблюдательный материал, отклонения точек от кружков, вообще говоря, характеризуют точность определения моментов минимумов разными авторами.

Принятая длительность периода отмечена горизонтальными линиями. Обращает на себя внимание значительный разброс точек, указывающий на значительно большую нестабильность кривой блеска по сравнению со звездами, анализировавшимися нами ранее. Форма кривой блеска, на которой вторичный и главный минимумы имеют несколько различающиеся глубины и длительность, дает надежду прояснить причину разброса. Тонкой линией на рисунке соединены значения, относящиеся к наиболее надежно определенным моментам главного минимума, снятым со средней кривой блеска. Видно, что, помимо изменения длительности цикла переменности, имели место перестановки местами главного и вторичного минимумов, характерные для звезд этого типа переменности. Такой эффект „обращения“ минимумов может проявиться как неправильно определенная длительность периода.

Благодаря Американской Ассоциации наблюдателей переменных звезд, предоставляющей в настоящее время, помимо наблюдательных данных, также и различные программные средства, появилась возможность более углубленно исследовать блеск циклических переменных (Хенден, 2004). В частности, появилась возможность исследовать изменение периодов на основе WWZ-преобразования (вейвлет-Z-преобразования) (Форстер, 1996). При этом исследуемый ряд не должен иметь существенных пробелов. Длительность основного периода для исследуемой звезды достаточно велика для того, чтобы пробелы, вызванные сезонными периодами недоступности звезды для наблюдений, не оказали существенного влияния. Поэтому нами был применен весь имевшийся в наличии ряд визуальных наблюдений, включающий и фотоэлектрические оценки блеска.

Результат применения вейвлет-преобразования к этому ряду показан на рис. 8. Из рисунка

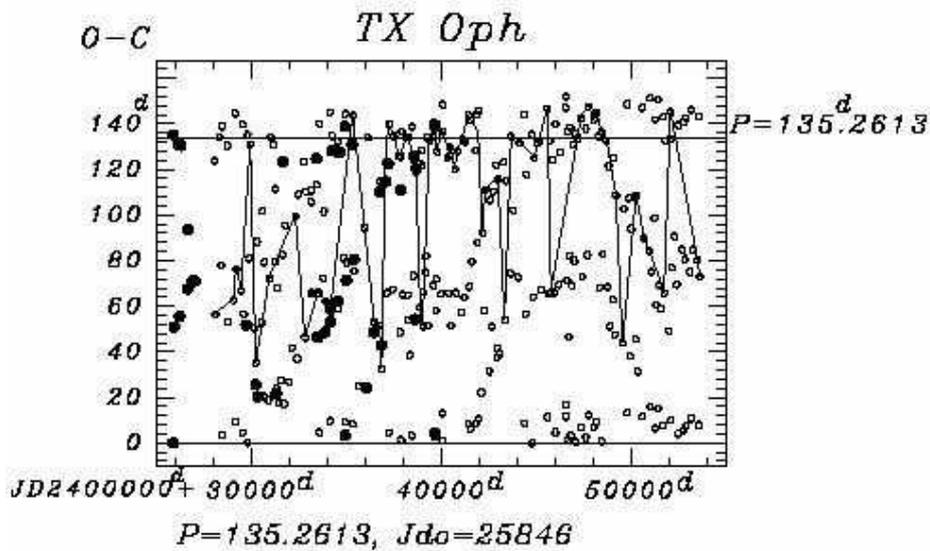


Рис. 7. Диаграмма O-C для минимумов блеска по визуальным наблюдениям.

видно, что возможны довольно значительные (до десятков дней) изменения длительности основного периода на протяжении 1-2 тыс. дней.

4 Выводы

Таким образом, в Крымской обсерватории выполнена ПЗС-фотометрия переменной *TX Oph* в полосах *BVRI* на протяжении нескольких циклов переменности со средним периодом $P = 135^{\text{d}}.2613$. Установлена фотометрическая последовательность звезд в окрестности переменной.

Из анализа всей имевшейся в нашем распоряжении совокупности фотометрических данных, подтвержден, в частности, сложный характер изменения блеска переменной, свидетельствующий о том, что звезда находится в переходном режиме от периодических колебаний к хаотическим.

На основе вейвлет-анализа фотометрических данных и рассмотрения диаграмм *O - C* для главного и вторичного минимумов установлены, в частности, их перестановки местами за время порядка 1-2 тыс. дней. По нашим определениям, такие события имели место, по крайней мере, 11 раз за всю историю исследований переменной. Возможно, что подобные события объясняют некоторые особенности фотометрического поведения *TX Oph*, в частности, невозможность определения единой начальной эпохи для кривой блеска.

Авторы глубоко благодарны наблюдателям и составителям базы данных AAVSO за результаты визуальных наблюдений, использованных в данном исследовании. Вейвлет-анализ выполнен с помощью WWZ-программы, предоставляемой Американской Ассоциацией наблюдателей переменных звезд.

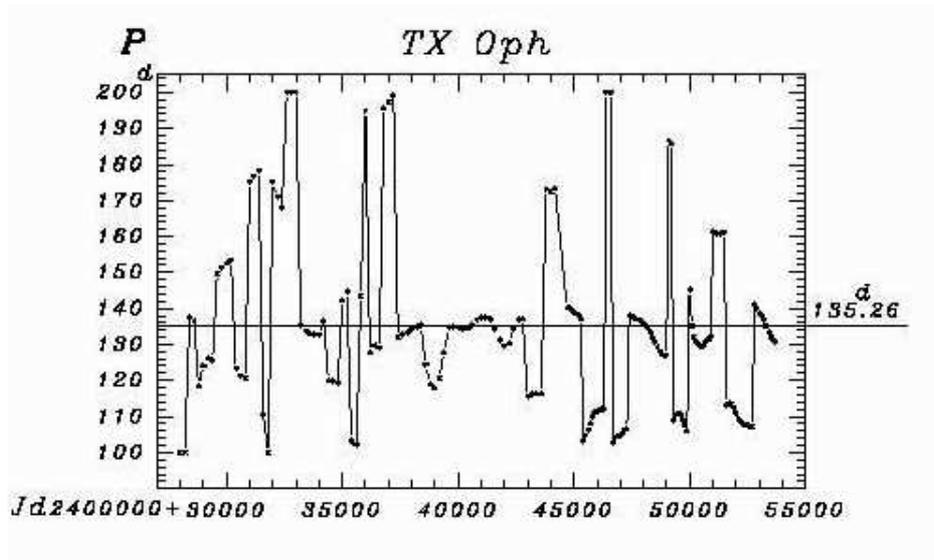


Рис. 8. Изменение основного периода блеска по визуальным наблюдениям в 1935–2005 гг.

Литература

- Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А., Витриченко Э.А. // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. 2002. Т. 98. С. 123.
- Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А., Вааген Е.О. // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. 2005. Т. 101. С. 21.
- Вальгрен и др. (Wahlgren G.M. et al) // Astron J. 1992. V. 104. N. 3. P. 1174.
- Герасимович (Gerasimivics B.P.) // Harvard Bull. 1927. N 847. P. 22.
- Гириджар и др. (Giridhar S., Lambert D.L., Reddy B.D., Goncalz G., Yong D.) // Astrophys. J. 2005. V. 627. N. 1. P. 432.
- Голдсмит (Goldsmith M.J.) // Mon. Not.R. Astr. Soc. 1987. V. 227. N. 1. P. 143-159.
- Доусон (Dawson D.W.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1979. V. 41. P. 97.
- ДюПюи (DuPuy D.) // Astrophys. J. 1973. V. 185. P. 597.
- Ерлексова Г.Е. // Переменные звезды. 1971а. Т. 18. N. 1. С. 53.
- Ерлексова Г.Е. // Переменные звезды. 1971б. Т. 18. N. 3. С. 303.
- Лаузе (Lause F.) // Astron. Nachrichten. 1930. Bd. 238. S.265.
- Лаузе (Lause F.) // Astron. Nachrichten. 1931. Bd. 242. S.57.
- Лаузе (Lause F.) // Astron. Nachrichten. 1932. Bd. 244. S.79.
- Лаузе (Lause F.) // Astron. Nachrichten. 1933. Bd. 248. S.413.
- Пельт (Pelt J.) // Irregularly Spaced Data Analysis (User Manual). Helsinki. 1992. P. 267.
- Пикеринг (Pickering E.C.)// Harvard College Obs. Circ. 1908. N 142
- Престон и др. (Preston G.W. et al.) // Astrophys. J. 1963. V.137. P.401.
- Равендран (Raveendran A.V.) // Mon. Not.R. Astr. Soc. 1989. V. 238. N. 3. P. 945.
- Стетсон (Stetson P.B.) // Publ. A. S. P. 1987. V. 99. P. 191.
- Ференберг (Verenberg H.) // "Atlas Stellarum 1950.0". 1970. Treugessel-Verlag. Abt. II. D-4000. Dusseldorf 4 Postfach 4065.
- Форстер (Forster G.) // Astron.J..1996. V. 112, P. 1709.
- Хенден (Henden A.A.) // Observations from the AAVSO International Database. 2004.