

УДК 524.335.2

## ПЗС-фотометрия звезд типа RV TAU. VII. EP LYRAE

В.И. Бурнашев<sup>1</sup>, Б.А. Бурнашева<sup>1</sup>, А.А. Хенден<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИИ «Крымская Астрофизическая Обсерватория», 98409, Украина, Крым, Научный.

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

Поступила в редакцию 9 ноября 2006 г.

**Аннотация.** В течение наблюдательного сезона 2002 г. с помощью ПЗС-фотометра выполнены фотометрические наблюдения переменной звезды *EP Lyr*.

Анализ этих наблюдений вместе с литературными данными подтвердил среднее значение основного цикла переменности  $P = 83^d248$  на протяжении почти 100 лет.

Периодичность изменения длительности основного цикла исследована по совокупности значений  $O - C$ . Характерное время его изменений составляет от 1-2 до 8-20 тыс. дней.

CCD-PHOTOMETRY OF THE RV TAU STARS VII. EP LYRAE by V.I. Burnashev, B.A. Burnasheva, A.A. Henden The photometric observations of the RV Tau-type star *EP Lyr* were carried out in 2002. These data and other published results allow to assert the common cycle  $P = 83^d248$ .

On the base of  $O - C$  diagrams the period its variations was determined as 1-2 to 8-20 thousand days.

**Ключевые слова:** CCD-photometry, RV Tau stars, EP Lyrae

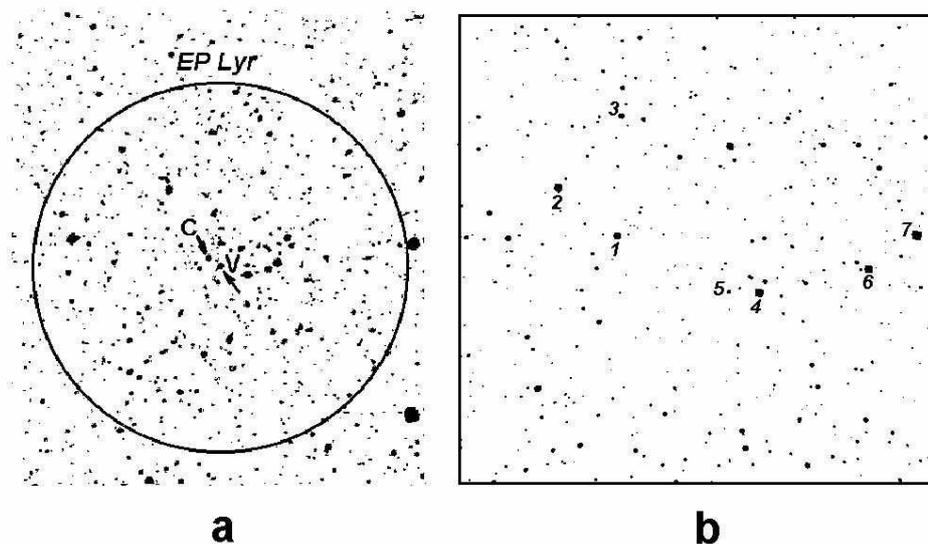
---

## 1 Введение

Переменная *EP Lyr* (BD + 27°3334) была открыта Шнеллером Г. (Schneller H.) в 1931 году. Долгое время звезду относили к цефеидам. Окончательно тип переменности установил Зверев (1937).

По классификации ОКПЗ фотометрический тип переменности звезды – *RVa*, т. е. *EP Lyr* характеризуется более или менее стабильной кривой блеска, напоминающей кривые затменных типа  $\beta$  *Lyr*. По спектральному типу переменности, введенному Престоном и др. (1963), звезда входит в группу *B*. Характерным признаком этой группы является то, что звезды группы *B* принадлежат к более ранним спектральным классам (F5-G0), чем звезды группы *A* с более поздними спектрами (G-K). При этом класс, определяемый по линиям *Ca II*, – более ранний. К примеру, для *EP Lyr* спектральный класс, определенный вблизи максимума блеска по линиям кальция, более ранний (A7), в то время как по линиям водорода он соответствует спектральному классу F5 (Вахманн, 1964). Известно, что звезды, отнесенные к этой группе, во всех отношениях более стабильны, чем звезды, входящие в группу *A*. *EP Lyr* имеет пониженное содержание металлов. По разным определениям, от  $[Fe/H] = -0.80$  (Вальгрэн и др., 1992) до  $[Fe/H] = -1.8 \pm 0.1$  (Гонсалес и др., 1997).

Звезда расположена сравнительно близко к галактической плоскости ( $b \simeq 7^\circ$ ) и имеет вполне заметное покраснение: по разным оценкам, от  $E_{B-V} = 0^m17$  (Вальгрэн и др., 1989) до  $E_{B-V} = 0^m45$  (Голдсмит, 1987). Средняя оценка  $E_{B-V} = 0^m36$  (Доусон, 1979), возможно, является наилучшей.



**Рис. 1.** Карта окрестности переменной *EP Lyr*. а) *v*-переменная, *c*-звезда сравнения, диаметр окружности равен  $1^\circ$ , б)-более подробная карта. Сторона квадрата равна  $15'$ . 1-переменная, 2-звезда сравнения.

Отсутствие инфракрасного избытка, обусловленного излучением пылевой оболочки, – характерное свойство, выделяющее *EP Lyr* из совокупности звезд типа *RV Tau* (Голдсмит и др., 1987).

## 2 Наблюдения и редукиции

История фотометрических исследований этой переменной приведена в таблице 1, где указаны период наблюдений в соответствующей фотометрической системе, число измерений и литературный источник. Более подробно эта таблица будет описана нами далее.

Фотометрические наблюдения переменной *EP Lyr* в Крымской обсерватории выполнены летом 2002 г. с помощью ПЗС-фотометра, который был построен на основе матрицы фирмы АРОГЕЕ и установлен в прямом фокусе 70-см телескопа АЗТ-8. Фотометрическая система этого фотометра реализована с помощью комбинации отечественных светофильтров. Коэффициенты связи со стандартной системой для сезона наблюдений 2002 г. определены нами ранее (Бурнашев и др., 2005).

На рисунке 1а показана карта окрестностей переменной *EP Lyr*. Карта представляет собой участок небесной сферы размером  $1^\circ \times 1^\circ$ , скопированный из атласа Ференберга (1970). Переменная обозначена значком “*v*” Звезда сравнения *BD+27°3336*, отмеченная на рисунке как “*c*”, применялась многими исследователями (Престон и др., 1963; ДюПюи, 1973; Зольдос, 1995).

Более подробно окрестности переменной и звезды сравнения показаны на рисунке 1б, который представляет собой рабочий кадр, полученный в системе, близкой к *V*, в одну из наблюдательных ночей в 2002 году. Кадр примерно ориентирован по небесным координатам. Его размер примерно соответствует площадке  $15' \times 15'$  на небесной сфере.

Учет различных инструментальных эффектов и редукиция наблюдений к стандартной системе выполнены при помощи пакета стандартных программ IRAF/DAOPHOT (Стетсон, 1987).

Таблица 1.

JD	Система	n	Автор
2414433.40-2421484.33	$m_{pg}$	25	Паренаго, 1934
2427712.25-2437198.3	$m_{pg}$	218	Ажусенис,Зданавичус, 1962
2433067.4271-2437198.3	$m_{pg}$	73	Дульцев, 1962
2435340-2438675	$m_{pg}$	7	Чуприна, 1967
2427550.50-2428109.19	$m_{vis}$	20(163)	Зверев,Макаренко, 1979
2435272.39-2436895.23	$m_{vis}$	87	Ажусенис,Зданавичус,1962
2426951.43-2430314.33	$m_{vis}$	305	Бейер, 1948
2438966.7-2452989.2	$m_{vis}$	1114	Хенден, AAVSO, 2006
2437466.95-2437622.62	UBV	27	Престон и др.,1963
2438982.513-2439814.213	UBV	105	Вахманн,1968
2440734.68-2441253.61	UBVR	31	ДюПюи,1973,
2442713-2443042	UBV+DDO	3	Доусон,1979
2446159.573-2448897.286	UBV	33	Зольдос,1995
2452435.38-2452483.36	BVRI	5	Бурнашев, 2002

Таблица 2. EP Lyr

Data	JD	V	BV	VR	VI	n
09/06/2002	2452435 <sup>d</sup> 38	10 <sup>m</sup> 049	0 <sup>m</sup> 637	0 <sup>m</sup> 559	1 <sup>m</sup> 048	3
13/06/2002	2452439 <sup>d</sup> 43	9 <sup>m</sup> 975	0 <sup>m</sup> 648	0 <sup>m</sup> 620	1 <sup>m</sup> 113	3
22/06/2002	2452448 <sup>d</sup> 38	10 <sup>m</sup> 204	0 <sup>m</sup> 814	0 <sup>m</sup> 661	1 <sup>m</sup> 203	3
07/07/2002	2452463 <sup>d</sup> 38	10 <sup>m</sup> 490	0 <sup>m</sup> 982	0 <sup>m</sup> 671	1 <sup>m</sup> 323	3
27/07/2002	2452483 <sup>d</sup> 36	10 <sup>m</sup> 070	0 <sup>m</sup> 611	0 <sup>m</sup> 505	1 <sup>m</sup> 069	3

Определение коэффициентов перехода к стандартной системе 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 последней колонке указано число наблюдений в данную ночь.

Средний разброс приведенных значений может быть оценен по наблюдениям звезд сравнения, имеющих яркость, сравнимую с переменной :  $\sigma_v \simeq 0^m014$ ,  $\sigma_{bv} \simeq 0^m016$ ,  $\sigma_{vr} \simeq 0^m021$ ,  $\sigma_{vi} \simeq 0^m024$ .

Таким образом, наблюдаемый разброс соответствует обычной точности фотоэлектрических оценок блеска.

Результаты фотометрической привязки звезд сравнения по всей совокупности наблюдений,

Таблица 3.

EP Lyr зв.в поле	V sig	BV sig	VR sig	VI sig	n
2	9 <sup>m</sup> 542±0 <sup>m</sup> 005	0 <sup>m</sup> 429±0 <sup>m</sup> 008	0 <sup>m</sup> 408±0 <sup>m</sup> 035	0 <sup>m</sup> 698±0 <sup>m</sup> 035	16
3	11 <sup>m</sup> 165±0 <sup>m</sup> 025	0 <sup>m</sup> 747±0 <sup>m</sup> 015	0 <sup>m</sup> 517±0 <sup>m</sup> 007	0 <sup>m</sup> 917±0 <sup>m</sup> 009	16
4	9 <sup>m</sup> 432±0 <sup>m</sup> 013	1 <sup>m</sup> 010±0 <sup>m</sup> 013	0 <sup>m</sup> 816±0 <sup>m</sup> 029	1 <sup>m</sup> 470±0 <sup>m</sup> 038	16
5	12 <sup>m</sup> 777±0 <sup>m</sup> 019	1 <sup>m</sup> 311±0 <sup>m</sup> 021	0 <sup>m</sup> 866±0 <sup>m</sup> 013	1 <sup>m</sup> 590±0 <sup>m</sup> 010	16
6	9 <sup>m</sup> 443±0 <sup>m</sup> 010	0 <sup>m</sup> 278±0 <sup>m</sup> 014	0 <sup>m</sup> 352±0 <sup>m</sup> 033	0 <sup>m</sup> 630±0 <sup>m</sup> 038	16
7	9 <sup>m</sup> 085±0 <sup>m</sup> 012	0 <sup>m</sup> 339±0 <sup>m</sup> 030	0 <sup>m</sup> 422±0 <sup>m</sup> 013	0 <sup>m</sup> 731±0 <sup>m</sup> 016	10

включающих до 16 независимых оценок блеска, приведены в таблице 3. Указана также погрешность измеренных значений.

Расхождения в имеющихся независимых определениях звездной величины и цвета для звезды сравнения показывают разброс, сравнимый с точностью наших измерений:

$$V = 9^m 542 \pm 0^m 005, B - V = 0^m 429 \pm 0^m 008, V - R = 0^m 408 \pm 0^m 035, V - I = 0^m 698 \pm 0^m 035.$$

Принятые значения по литературным данным:

$$V = 9^m 55, B - V = 0^m 44, V - R = 0^m 38 \text{ (ДюПюи, 1973)}.$$

Отметим, что колебания блеска и цвета для некоторых звезд, замеченные по индивидуальным измерениям, хотя и не показывают определенной периодичности из-за малого количества измерений, тем не менее, дают основание заподозрить переменность в пределах нескольких сотых звездной величины для некоторых звезд. Возможными переменными могут быть звезды N 5 и N 7 в поле переменной звезды (рис. 16).

### 3 Анализ результатов

История фотометрических наблюдений *EP Lyr* суммирована в таблице 1. Из таблицы видно, что большую часть ряда составляют визуальные оценки. Точные фотоэлектрические наблюдения еще скудны и разрознены.

В первом столбце таблицы 1 приводится период наблюдений, во втором и третьем – фотометрическая система и число полученных оценок. 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, начиная с 1934 г. до осени 2002 г., в основном базируется на данных AAVSO (Хенден, 2006), который дополнен также и фотоэлектрическими наблюдениями нескольких авторов. В статье Зверева и Макаренко (1979) приведены моменты и оценки блеска для 20 экстремумов на кривой блеска, основанные на 163 наблюдениях.

Фотографические наблюдения были начаты значительно раньше, но эти наблюдения существенно более разрознены, имеют большие пробелы и потому, в основном, использованы только для контроля.

Оба ряда были проанализированы с помощью пакета программ Пельта (1992). При этом визуальные и фотографические наблюдения анализировались отдельно. Это дало дополнительный независимый контроль достоверности получаемых результатов. Среднее значение основного периода, равное  $83^d.248$ , оценено нами по всей совокупности визуальных и фотоэлектрических оценок.

В качестве примера для этого периода на рисунке 2 показана фазовая кривая для визуальных наблюдений. Для определения фазы переменности  $\varphi$  применена формула:

$$MinI = JD2426930.3 + 83.248 \cdot E. \quad (1)$$

Обращает на себя внимание довольно большой разброс, особенно значительный в главном минимуме.

Спектры мощности для излучения звезды в визуальной области показаны на рис. 3а,б для значений периода от 20 тыс. дней до 400 дней (на верхнем рисунке) и от 500 дней до 35 дней (на нижнем рисунке) при полной длительности временного интервала наблюдений примерно равной 25.5 тыс. дней.

Наиболее выдающийся пик на рисунке 3а соответствует длительности периода около 15 тыс. дней. Примерно половинная длительность периода (около 8.8 тыс. дней) также удовлетворяет имеющимся данным. Таким образом, для окончательного заключения о долговременных изменениях блеска переменной необходимы более длительные ряды наблюдений.

В более высокочастотной области максимальный пик соответствует основному периоду изменения блеска, среднее значение которого равно  $83^d.248$ .

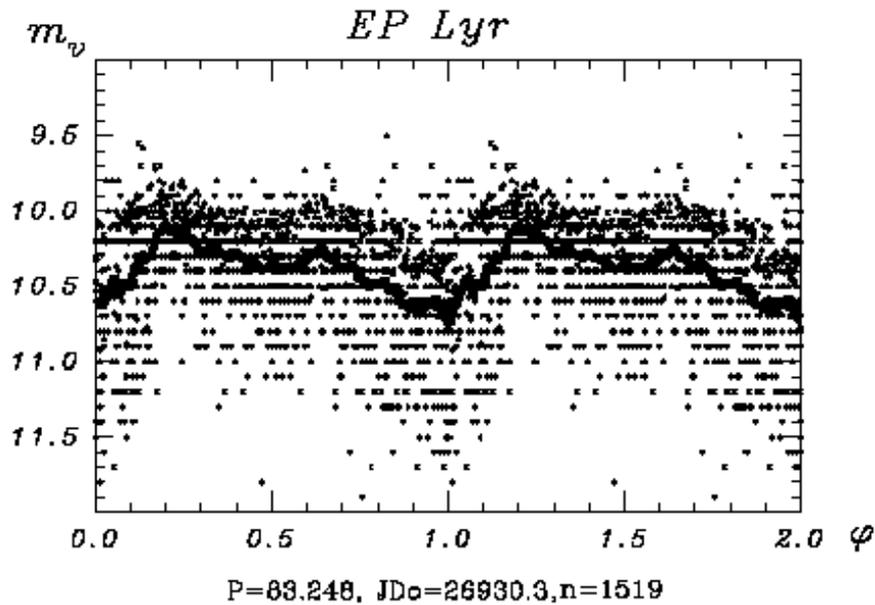


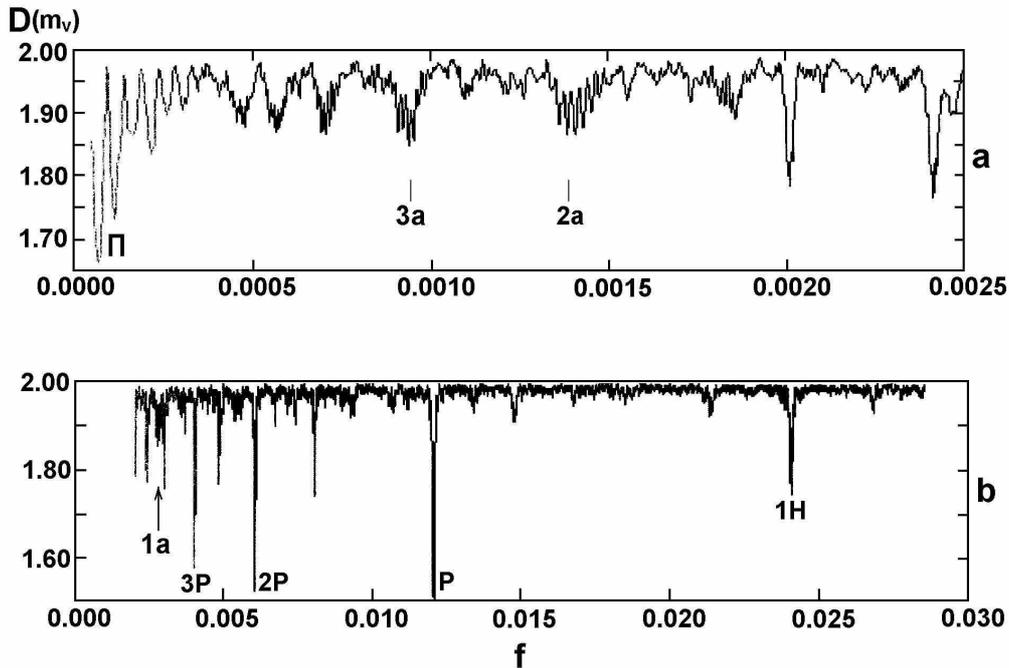
Рис. 2. Сводная фазовая кривая для визуальных наблюдений на интервале JD2426951- 2452989.

На рисунке 3 видны пики, соответствующие последовательному удвоению основного периода. Кроме того, заметны особенности, кратные нечетным числам периода. Известно, что подобное поведение спектра мощности характерно для переходных процессов от периодического изменения к хаотическому. Видно, что максимальный вклад в излучение дают основной период ( $P$ ) и его первая гармоника ( $1H$ ). Отмечены также особенности, вызванные сезонной скважностью наблюдений ( $1a, 2a, 3a...$ ).

Для более подробных графиков, показанных на рисунке 4, характерным является сложная структура пиков, вызванная, в первую очередь, ограниченностью временного интервала (25.5 тыс. дней) и большими пробелами в наблюдениях. Известно, что некоторые особенности в спектре мощности, заметные на рисунках, такие, как раздвоение пиков и довольно широкие спутники с обеих сторон основного пика, могут свидетельствовать о наличии близких периодов и биениях или о 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  $76^d.2593$ .

Эти диаграммы были построены на основании определений моментов минимумов Ерлексовой (1971), Паренаго (1934), Ягером (1944), Анертом (1953), Чуприной (1967), Бейером (1948), Зверевым и Макаренко (1979) и Венцелем (1961). Кроме того, для построения этих графиков по всей совокупности имевшихся в нашем распоряжении фотометрических данных для фотографической и визуальной областей 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 5 показан ход значений  $O - C$  со временем для обоих минимумов.



**Рис. 3.** (a). Низкочастотная часть периодограммы, построенной по визуальным наблюдениям *EP Lyr*. Возможные низкочастотные периоды: 15 тыс. дней и 8.8 тыс. дней. 1a, 2a, 3a... - особенности, отражающие годовую скважность наблюдений. (b). Высокочастотная часть периодограммы. P - основной период изменения блеска, 1H - первая гармоника.

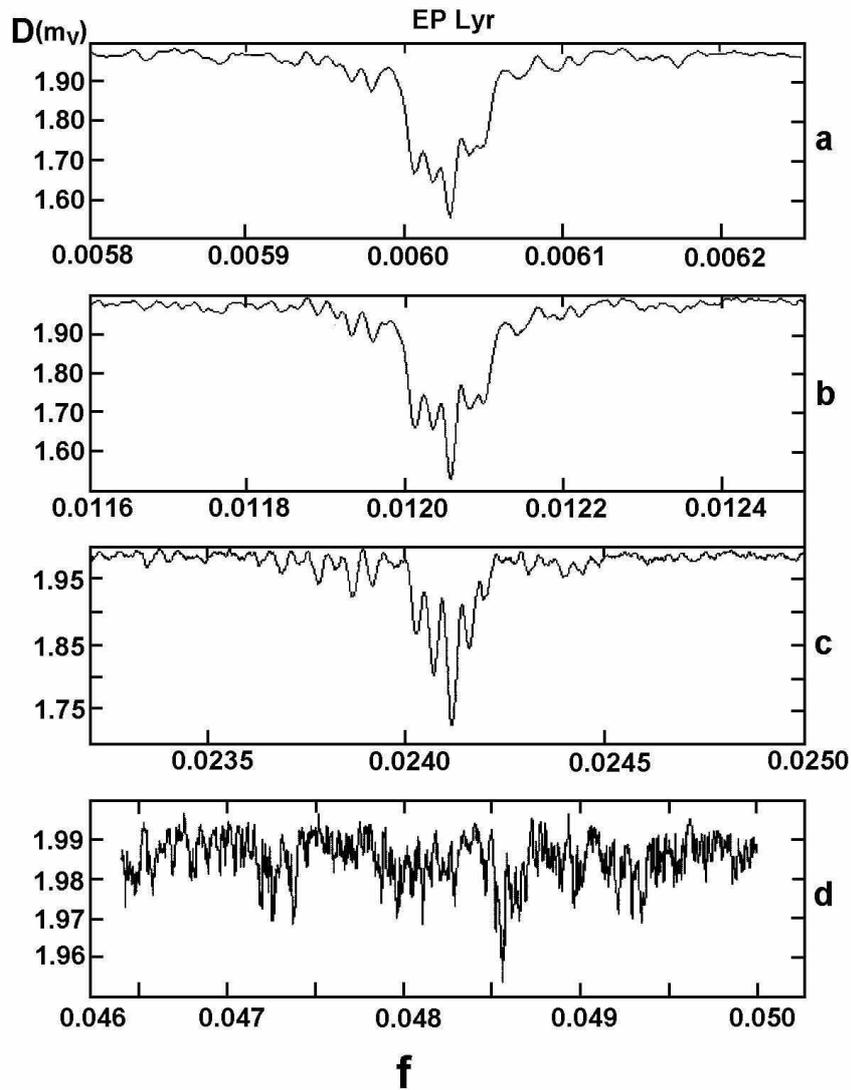
Двумя горизонтальными линиями отмечена длительность принятого периода изменения блеска. В целях большей наглядности нижняя часть графика, представляющая отклонения моментов главного минимума, повторена и в верхней части графика. Средняя часть рисунка относится к моментам вторичного минимума.

Точки и кружки относятся к визуальным и фотоэлектрическим  $V$ -определениям, косые и прямые кресты - к фотографическим и  $B$ -наблюдениям.

Известно, что у звезд *RV Tau*-типа моменты минимумов в визуальной и фотографической областях не совпадают. По нашим определениям запаздывание фотографических минимумов относительно визуальных составляет в среднем около одного дня. (По данным Ерлексовой (1971) запаздывание в три раза больше:  $3.1^d$ ). На рисунке учтено принятое нами значение запаздывания для фотографических наблюдений равное одному дню, что, впрочем, не существенно меняет для определяемой функции  $O - C$  ее общий ход со временем.

Длительность циклических изменений блеска *EP Lyr* явно претерпевает долговременные изменения, сравнимые со временем ее фотометрических исследований на протяжении более двух десятков тысяч дней. Внимательное рассмотрение рисунка позволит предположить и более кратковременные изменения, на протяжении 8-10 тысяч дней.

В настоящее время программные средства, предоставляемые Американской Ассоциацией наблюдателей переменных звезд, позволяют исследовать изменения периода циклических переменных (Хенден, 2006). В частности, появилась возможность изучать изменение периодов на основе WWZ-преобразования (вейвлет-Z- преобразования) (Форстер, 1996). При этом исследуемый ряд не должен иметь существенных пробелов. Подходящими для этой цели оказались несколько



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

достаточно плотных участков ряда фотометрических наблюдений, начиная с JD 2426940.

Результат применения вейвлет-преобразования к этим рядам показан на рис. 6. По сравнению с рисунком 5 видны более подробные детали, в частности, приблизительно циклические изменения основного периода с характерным временем около 1-2 тыс. дней около среднего значения  $P = 83^d2483$ .

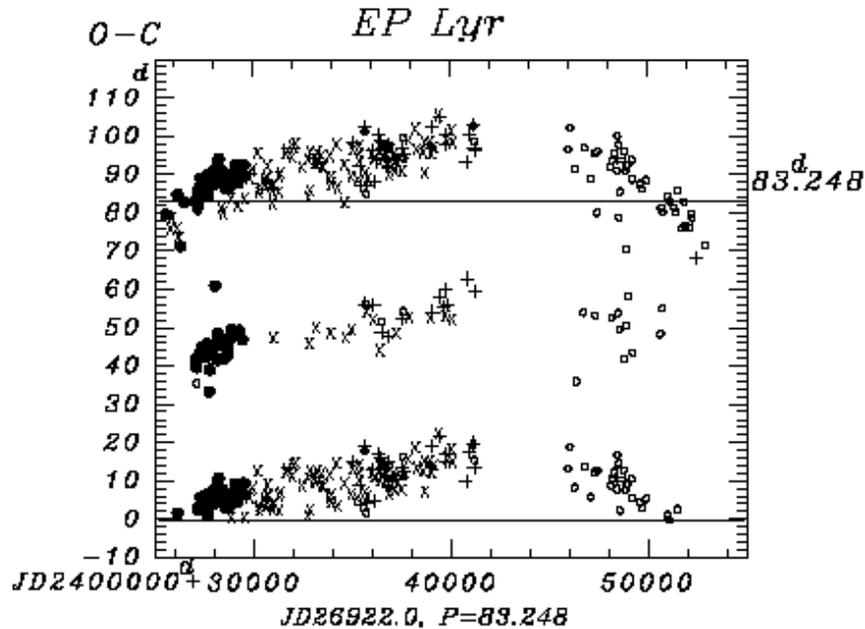


Рис. 5. Диаграмма  $O - C$  для фотометрических наблюдений  $EP Lyr$ . Точки и косые кресты - по литературным данным, кружки и прямые кресты - оцененные нами по всей совокупности наблюдений.

#### 4 Выводы

Таким образом, в 2002 г. в Крымской обсерватории выполнена ПЗС-фотометрия переменной  $EP Lyr$  в полосах  $BVRI$ . На основании наших наблюдений и по литературным данным уточнено среднее значение периода  $P = 83^d.2483$ . Установлена фотометрическая последовательность звезд в окрестности переменной. Анализ наблюдений вместе с литературными данными позволил установить что  $EP Lyr$ , возможно, не испытывает резких изменений в своем фотометрическом поведении, в отличие от многих других звезд этого типа переменности. Возможно, длина периода изменяется с характерным временем от одной-двух до 8-20 тыс. дней.

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

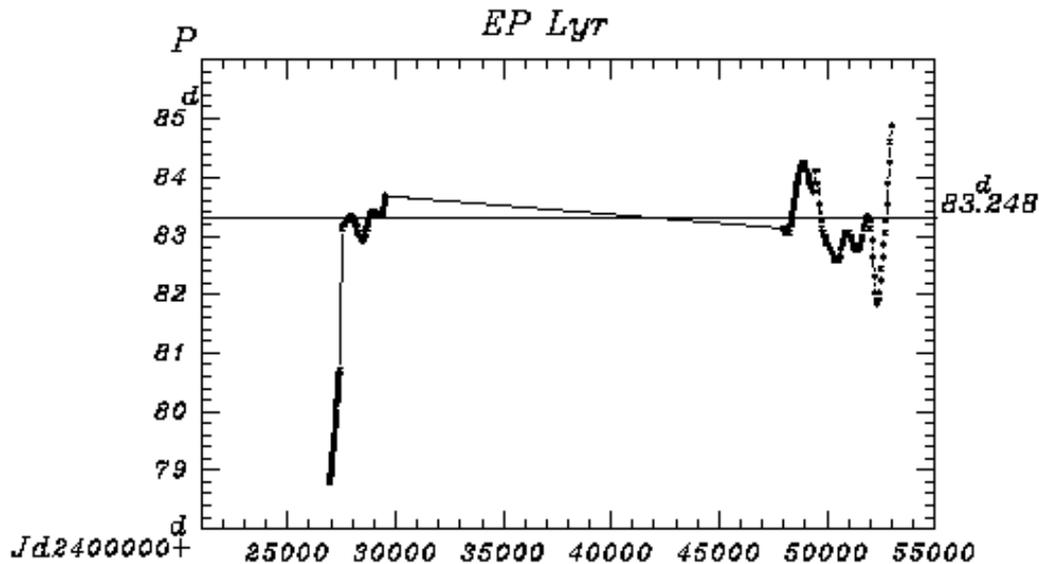


Рис. 6. Изменение основного периода блеска *EP Lyr* по визуальным наблюдениям.

## Литература

- Ажусенис А., Зданавичус К. // Бюл. Вильнюсск. обс., 1962, N.4, С.5.  
 Анерт (Ahner P.) // Astron. Nachrichten. 1953. Bd. 281. S. 170.  
 Бейер (Beyer M.) // Astronomische Abhandlungen. Ergänzungen zu den Astron. Nachrichten, 1948, Bd. 11, N 4, S.D21.  
 Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А., Витриченко Э.А. // Известия Крымск. Астрофиз. Обс. 2002. Т. 98. С. 123.  
 Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А., Вааген Е.О. // Известия Крымск. Астрофиз. Обс. 2005. Т. 101. С. 21.  
 Вальгрен и др. (Wahlgren G.M. et al) // Astron J. 1992. V. 104. N 3. p. 1174.  
 Вахманн (Wachmann A.A.) // Abh. Hamburg. Sternw. Bergedorf. 1961. Bd. VI. N 3. P.179.  
 Вахманн (Wachmann A.A.) // Abh. Hamburg. Sternw. Bergedorf. 1968. Bd. VIII. N 4. P.105.  
 Венцель (Wenzel W.) // Mitt. Veraderliche Sterne. 1961. Nr. 586. Nr.587. Nr.588.  
 Гонсалес (Gonzalez G., Lambert D.L., Giridhar S.) // Astrophys. J. 1997. V. 479. P. 427.  
 Голдсмит (Goldsmith M.J.) // Mon. Not. R. astr. Soc. 1987. V. 227. N. 1. P. 143.  
 Доусон (Dawson D.W.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1979. V. 41. P. 97.  
 Дульцев А.Т. // Цирк. астроном. обс. Львовского ун-та. 1962. N.37-38. С.26.  
 ДюПюи (DuPuy D.) // Astrophys. J. 1973. V. 185. P.597.  
 Ерлексова Г.Е. // Переменные звезды. 1971. Т. 18. N. 1. С. 53.

- Зверев М. // Переменные звезды. 1937. Т. 5. N. 4. С. 107.
- Зверев М.С., Макаренко Е.Н. // Переменные звезды (приложение). 1979. Т. 3. N 17. С. 431.
- Зольдос (Zoldos E.) // Astron. Astrophys.. 1995. v.296. p.122.
- Лаузе (Lause F.) // Beobachtung Zirkular Astron. Nachrichten. 1933. Bd. 15. N 5. S. 9.
- Паренаго П. // Переменные звезды. 1934. Т. 4. N. 9. С. 301.
- Пельт (Pelt J.) // Irregularly Spaced Data Analysis ( User Manual). Helsinki. 1992. P. 267.
- Престон и др. (Preston G.W., Krzeminski W., Smak J., Williams J.A.) // Astrophys. J. 1963. V. 137. P. 401.
- 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. 2006. Private communication.
- Чуприна Р.И.//Астрон.цирк., 1967. N.452. С.7.
- Шнеллер (Schneller H.) // Astron. Nachrichten. 1931. Bd. 243. S. 99.
- Ягер (Jager D.) // Mitt. Veraderliche Sterne. 1944. N 57.