

УДК 524.33

## UBV-фотометрия переменных звезд на основе абсолютных спектрофотометрических данных

*В.И. Бурнашев, Б.А. Бурнашева*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный  
*bella@crao.crimea.ua*

Поступила в редакцию 10 ноября 2009 г.

**Аннотация.** По результатам многолетних наблюдений получены данные о распределении энергии в спектрах 116 переменных звезд разных типов. С помощью опубликованных кривых реакции системы *UBV* вычислены звездные величины и показатели цвета. Средняя точность вычисленных значений составляет

$$\sigma_v \simeq 0^m04, \sigma_{bv} \simeq 0^m03, \sigma_{ub} \simeq 0^m06.$$

UBV-PHOTOMETRY OF ANY VARIABLES ON THE BASE OF ENERGY DISTRIBUTION IN THEIR SPECTRA, *by V.I. Burnashev, B.A. Burnasheva*. The *UBV*-magnitudes of 116 variables was calculated on the base of energy distribution in their spectra, those was observed at the Crimean Observatory. The mean accuracy are

$$\sigma_v \simeq 0^m04, \sigma_{bv} \simeq 0^m03, \sigma_{ub} \simeq 0^m06.$$

**Ключевые слова:** спектрофотометрия, распределение энергии, каталоги

---

В течение долгого времени в Крымской обсерватории проводились спектрофотометрические наблюдения звезд разных типов.

Поскольку значительную часть полученного наблюдательного материала составляют переменные звезды, зачастую не имеющие регулярных фотометрических измерений, имело смысл опубликовать данные синтетической фотометрии с оценкой ее точности.

Для оценки доброкачественности спектрофотометрических каталогов часто применяют вычисления на их основе звездных величин и показателей цвета в какой-либо фотометрической системе и последующее сравнение полученных значений с опубликованными в фотометрических каталогах. Такое сравнение было предпринято нами в свое время для исследования спектрофотометрических каталогов, построенных в Крымской обсерватории (Бурнашев, 1987; Бурнашев и Бурнашева, 2009).

Чаще всего для этой цели применяют систему *UBV*, кривые реакции которой наиболее тщательно были исследованы в свое время Ажусенисом и Страйжисом (1966), и которые – по крайней мере в русскоязычной литературе – считаются каноническими. Заметим попутно, что в последнее время для указанной цели применяют также и кривые системы *UBVR<sub>c</sub>I<sub>c</sub>* Казинса-Крона, опубликованные Бесселем (1990).

В силу того, что в большинстве каталогов детальных распределений энергии в спектрах звезд,

созданных в 70–90-е годы, для сравнения применялись кривые системы  $UBV$ , мы предпочли применить опубликованные В. Страйжисом (1977) кривые реакции этой системы, с помощью которых и были определены коэффициенты связи между наблюдаемыми и вычисленными величинами.

При этом предполагалась справедливость линейности уравнений связи:

$$(U - B)_c = a_1(U - B)_o + b_1 \quad (1)$$

$$(B - V)_c = a_2(B - V)_o + b_2 \quad (2)$$

$$V_c = a_3V_o + b_3, \quad (3)$$

где индекс  $c$  относится к значениям, вычисленным на основе данных о распределении энергии в спектрах звезд, индекс  $o$  – к наблюдаемым величинам, взятым из каталога Мермиллио (1991).

Иллюстративный материал, характеризующий получаемые при этом расхождения между вычисленными и наблюдаемыми величинами, можно найти во многих статьях, посвященных построению спектрофотометрических каталогов, в том числе и крымских, цитированных выше.

Графики уравнений связи для показателя  $U - B$  являются в некотором смысле отражением двуцветной диаграммы, поэтому для него коэффициенты связи принято определять отдельно для ранних и поздних звезд.

Полученная в наших вычислениях средняя ошибка одного условного уравнения в системах (1–3), характеризующая в конечном счете точность редуций, составляет:

$$\sigma_{ub} \simeq 0^m048 \div 0^m06, \sigma_{bv} \simeq 0^m014 \div 0^m03, \sigma_v \simeq 0^m034 \div 0^m04.$$

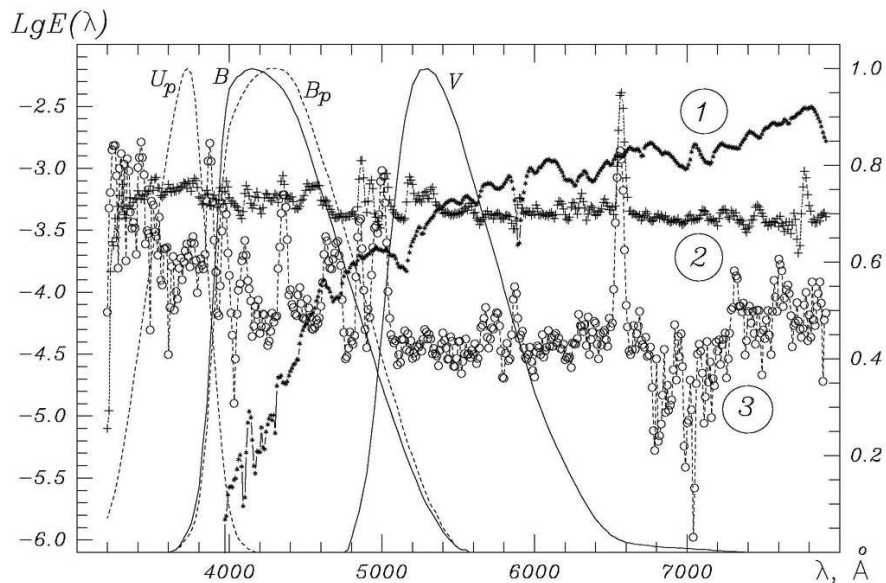
Как показывает анализ точности  $UBV$ -величин, получаемых из спектрофотометрии (Бурнашев,

Таблица 1.

N	a1 (U-B)	b1 (U-B)	a2 (B-V)	b2 (B-V)	a3 (V)	b3 (V)	Источники
1	0.999	-1.287	1.024	+0.742	0.998	-13.77	Новиков (1980)
2	1.140	-1.880	0.994	+0.736	+1.002	-13.711	Джекоб и др. (1984)
3	(B-V)<0 0.905 (B-V)>0 1.136	(B-V)<0 -1.059 (B-V)>0 -1.330	1.019	+0.688	1.003	-13.72	Бурнашев, 1972–1979 гг.
4	(B-V)<0.1 0.980 ±0.003 (B-V)>0.1 1.042 ±0.004	(B-V)<0.1 -1.305 ±0.002 (B-V)>0.1 -1.356 ±0.002	1.002 ±0.004	+0.734 ±0.002	0.993 ±0.003	-13.743	Бурнашев (1987)
5	(B-V)<0.1 0.992 ±0.003 (B-V)>0.1 1.018 ±0.002	(B-V)<0.1 -1.320 ±0.002 (B-V)>0.1 -1.303 ±0.003	1.006 ±0.004	+0.733 ±0.002	0.997 ±0.003	-13.688 ± 0.003	сводный каталог (по 177 звездам)  (по 141 звезде)
6	(B-V)>0 1.009 ± 0.003	(B-V)>0 -1.336 ± 0.002	1.007 ± 0.004	+0.729 ± 0.002	0.992 ± 0.003	-13.600 ± 0.002	каталог 1990–1996 гг. по 221 звезде

1987; Бурнашев и Бурнашева, 2009), основные причины систематических расхождений значений  $UBV$  для одних и тех же звезд, оцененные по данным из разных каталогов, следующие:

1. Прежде всего, и в основном, – это внутренняя точность самих спектрофотометрических каталогов. Сложность учета атмосферной экстинкции, проблемы с абсолютной калибровкой выбранных стандартов – все это причины того, что даже в видимой области значения абсолютных потоков, приводимые разными исследователями, зачастую различаются на несколько процентов для одних и тех же звезд.
2. Выбор опубликованных кривых реакции фотометрической системы также влияет на определяемые величины. Особенно это касается ультрафиолетовой полосы. Неопределенность в кривых реакции приведет, в частности, к тому, что значения коэффициентов связи будут зависеть от того, были ли использованы при их определении ранние или поздние звезды.
3. При построении каталога определенное значение имеет выбор системы абсолютной калибровки, задаваемой первичным звездным стандартом.
4. Для получения достаточно надежного окончательного результата при средней точности  $0.03^m \div 0.06^m$  имеет значение не только внутренняя точность спектрофотометрического каталога, но и примененные для редукции фотометрические данные. Наиболее часто в последние годы для целей редукции применяют каталог Мермиллио (1991), на однородность которого обращено особое внимание.



**Рис. 1.** Распределение энергии в спектрах переменных звезд. 1) – WZ Cas, 15.09.90; 2) – N Cas93, 6.02.94; 3) – N Cyg92, 18.08.92. Указаны кривые реакции системы  $UBV$

В таблице 1 приведены значения коэффициентов связи между наблюдаемыми и вычисленными значениями блеска и показателей цвета, в том числе и определявшиеся нами ранее.

За счет большого числа уравнений ошибка средних значений коэффициентов составляет величину порядка немногих тысячных. Между тем обращают на себя внимание довольно значительные расхождения в коэффициенте, определяющим нуль-пункт шкалы звездных величин. На наш взгляд, причиной этого может быть, с одной стороны, использование новой системы стандартов, а с другой – несколько отличающаяся система абсолютной калибровки.

Средняя погрешность для значений блеска и цвета, вычисляемых с помощью этих коэффициентов, оценена нами как:

$$\sigma_v \simeq 0^m04, \sigma_{bv} \simeq 0^m03, \sigma_{ub} \simeq 0^m06.$$

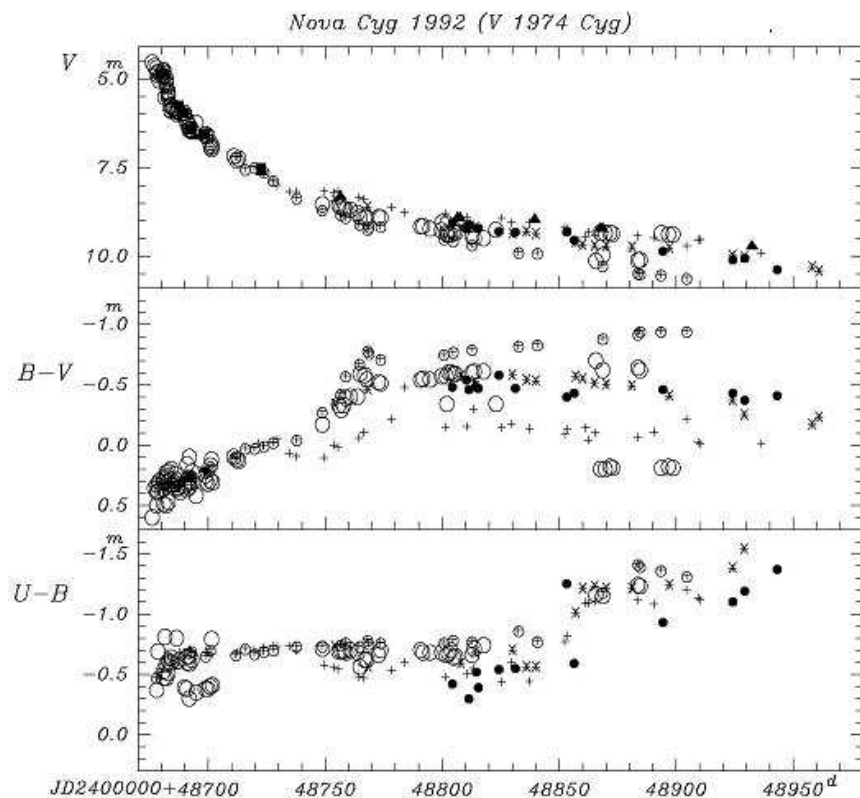
То есть оценки блеска, сделанные на основании вычислений по данным о распределении энергии, имеют среднюю точность ниже, чем получаемые из непосредственных фотометрических измерений. Несмотря на это, они вполне могут быть применены при сведении рядов наблюдений в единую систему.

Как показывает опыт, часто встречаемая трудность при проведении кооперативных программ – это проблема редукиций при построении сводной кривой блеска с помощью рядов наблюдений разных авторов, выполненных на разных обсерваториях с различной приемной аппаратурой.

Особенно это важно для объектов, имеющих пекулярное распределение энергии в спектре, а таковыми являются практически все переменные звезды.

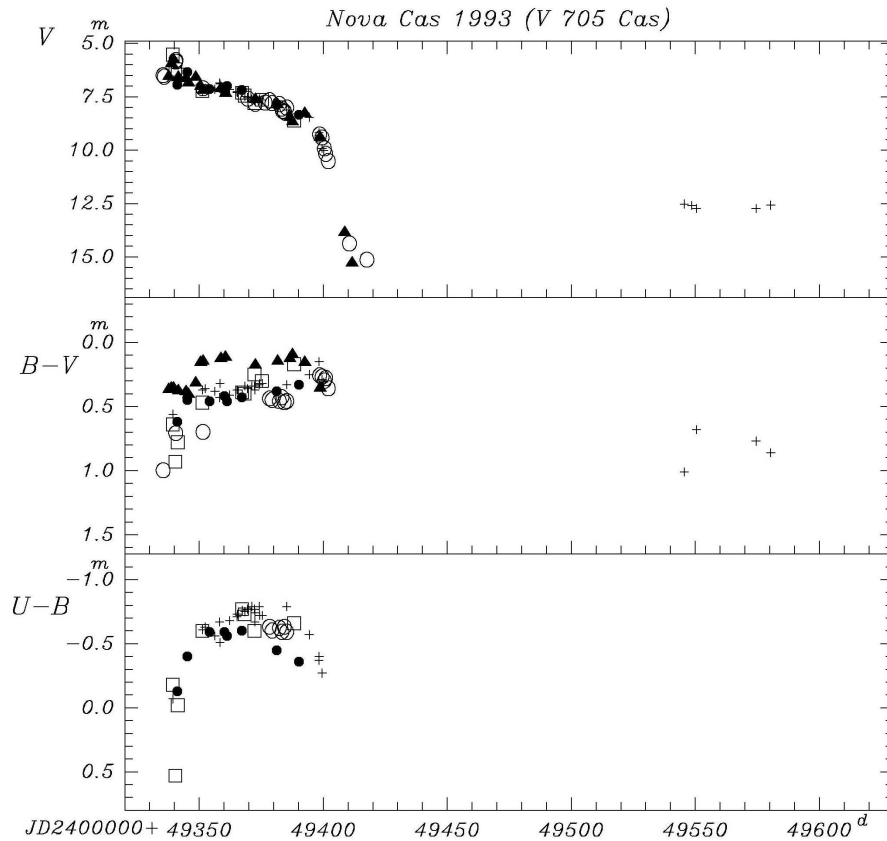
На рисунке 1 приводятся спектроэнергетические кривые некоторых звезд: двух новых, для которых характерны эмиссионные линии, а также углеродная звезда, имеющая заметную депрессию в синей области спектра и обладающая в этой области довольно резким градиентом. Указаны кривые реакции системы  $UBV$ , к которой относится правая шкала оси ординат. В вычислениях для показателя  $U-B$  применены полосы  $U_p$  и  $B_p$ , включающие среднее пропускание земной атмосферы.

Отметим, что даже сравнительно небольшие, менее 100 Å, вариации границ кривых реакции приведут к заметной разности в вычисляемых звездных величинах.



**Рис. 2.** Фотоэлектрические наблюдения N Cyg 92 (V1974Cyg). Квадраты – наблюдения Аннук (1993), звездочки – Колотилова (1994), треугольники – Рафанелли (1995), кресты – Хохола и др. (1993). Кружки – по данным циркуляра МАС, точки – вычисленные на основе абсолютной спектрофотометрии

Для иллюстрации на рисунках 2 и 3 показаны сводные кривые блеска двух новых, *N Cyg 1992* и *N Cas 1993*, построенные по литературным данным. Обращает на себя внимание заметный разброс значений блеска и цвета, особенно бросающийся в глаза для обозначенных кружками оценок, взятых из "Телеграмм МАС". Несомненно, часть его вызвана физической переменностью звезд, однако, по нашему мнению, в большей степени он вызван неопределенностью кривых реакции.



**Рис. 3.** Фотоэлектрические наблюдения *N Cas93* (*V705 Cas*). Кресты – наблюдения Хрика и др. (1998), квадраты – данные Киевски и др. (1995), треугольники – Манари и др. (1994). Кружки – по данным циркуляра МАС, точки – вычисленные на основе спектрофотометрических наблюдений

Весьма характерными в этом смысле являются кривые блеска *NCyg92(V1974Cyg)*, построенные по наблюдениям чешских астрономов, выполненным в обсерваториях Брно и Скалнате Плесо и опубликованным Хохолом (1993). На рисунке они отмечены крестами. При этом символы для результатов, полученных в Брно, выделены малыми кружками. Как видно, систематическое различие, появившееся в начале небулярной фазы, сохранилось и в дальнейшем даже возросло. Очевидно, это вызвано недоучетом вклада сильных эмиссий в общее излучение звезды.

В ультрафиолетовой области неопределенность кривой реакции сказывается на измеренной величине бальмеровского скачка. Сказывается также трудность учета атмосферной экстинкции. Все это может привести к систематическим различиям, иногда в два-три раза превышающим ошибки редукции, оцененные по стандартным звездам. Между тем вычисленные значения величин  $V$  и  $B - V$  таких явных систематических различий не показывают.

Поэтому возможно, что значения блеска и цвета, вычисленные с помощью спектроскопических

ских кривых, могут быть использованы как некие реперные значения при сведении фотометрических наблюдений звезд, выполненных разными авторами на разных обсерваториях, в единый массив данных. Особенно это было бы полезным при исследовании переменных звезд, имеющих особенности в спектрах, — к примеру, молекулярные полосы в миридах или сильные эмиссионные линии в новых.

Полученный нами полный массив данных включает вычисленные оценки блеска для 116 переменных звезд за период с 1974 г. по 1995 г.

Этот результат в виде отдельной таблицы размещен на сайте Крымской обсерватории:

<http://www.crao.crimea.ua/~aas/>

Приводимая таблица включает 7 столбцов:

1. Обозначение звезды в одном из каталогов в следующем порядке: BS, HD, BD или название.
2. Название звезды по ОКПЗ.
3. Полученные значения  $V, B - V, U - B$ .
4.  $JD$ -дата юлианского периода.
5. Календарная дата.
6. Примененный спектрофотометрический каталог: 25  $A$ -сводный каталог, 10  $A$ -наблюдения 90-х годов.

Приведенные значения могут пригодиться при анализе кривых блеска переменных звезд различных типов: двойных, пульсирующих и эруптивных.

Авторы глубоко благодарны А.А. Шляпникову за полезные дискуссии в ходе выполнения работы и помощь при размещении полученных результатов на сайте Крымской обсерватории.

## Литература

- Ажусенис А., Страйжис В. (Azusienis A., Straizys V.) // Bull. Vilnius Obs. 1966. V. 17. P. 3.
- Аннук и др. (Annuk K., Kolka J., Leedarv L.) // Astron. Astrophys. 1993. V. 269. №. 1/2. P. L5.
- Бессель (Bessell M.S.) // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1990. V. 102. №. 656. P. 1181.
- Бурнашев В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1987. Т. 76. С. 70.
- Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2009. Т. 105 №. 1. С. 107.
- Джекоб и др. (Jacoby G.A., Hunter D.A., Christian C.A.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1984. V. 56. P. 257.
- Киевски и др. (Kijevski K., Martin V.E., Forster T., Hube D.P.) // Journ. Roy. Astron. Soc. Canada. 1995. V. 89. №. 2. P. 43.
- Колотилов Е.Н., Наджип А.Э., Шенаврин В.И., Юдин Б.Ф. // Астрон. журн. 1994. Т. 71. С. 618.
- Манари и др. (Munary U., Tomov T.V., Antonov A., Dalmeri I.) // Inform. Bull. Variable Stars. 1994. №. 4005. P. 1.
- Мермиллио (Mermilliod J.-C.) // "Homogenous Means in the UBV System". Inst. d'Astronomie, Univ. de Lausanne. Switzerland. 1991.
- Новиков В.В. // Изв. Главной астрон. обсерв. Пулков. 1980. №. 198. С. 22.
- Рафанелли и др. (Rafanelli P., Rosino L., Radovich M.) // Astron. Astrophys. 1995. V. 294. №. 2. P. 488.
- Страйжис В. // "Многоцветная фотометрия звезд". Вильнюс: Моклас. 1977.
- Телеграммы МАС // IAU Circ. №. 5459, 5467, 5469, 5475, 5476, 5479, 5482, 5487, 5490, 5537, 5552, 5571, 5612, 5623, 5634, 5905, 5912, 5914, 5928, 5929, 5945.
- Хохол и др. (Chochol D., Hric L., Urban Z., Komzik R., Grygar J., Papousek J.) // Astron. Astrophys. 1993. V. 277. №. 1/2. P. 103.
- Хрик и др. (Hric L., Petrik K., Urban Z., Hanzl D.) // Astron. Astrophys. Suppl. 1998. V. 133. №. 2. P. 211.