

**Структура полосы неустойчивости классических цефеид
на периферии Большого Магелланового Облака**
Н. Н. Якимова

Проведено сравнение фотометрических характеристик в системе В, V (цвет, блеск, амплитуды блеска и цвета) 35 классических цефеид на периферии БМО. Материалом служили фотографические данные Вулли (1962). Взаимосвязь характеристик в полосе неустойчивости — вдоль нее и поперек вдоль линий постоянного периода — качественно идентична наблюдаемому у цефеид Галактики и ММО по данным работ Якимовой (1970÷1972). Количественные связи характеристик реально отличаются от таковых в Галактике и, особенно, в центре ММО.

**The Structure of the Instability Strip for Peripherical Large
Magellanic Cloud's Cepheids**
by N. N. Yakimova

We have undertaken the comparison of photometric features in B, V-system (colour, brightness, amplitudes of colour and brightness) for 35 classical Cepheids in the peripherical area of the LMC. Photographic material given by Woolley et al. (1962) was utilized. The relations for characteristics in the IS (along lines of constant period turns out to be qualitatively identical for Galactic and SMC's Cepheids (Yakimova, 1970÷1972), but with quantitative differences, especially for Cepheids in the centre of SMC.

Для изучения особенностей структуры полосы неустойчивости (ПН) классических цефеид в БМО большой интерес представляют наблюдательные данные Вулли (1962), ибо они относятся к ограниченной части БМО (размером $80' \times 80'$), расположенной в периферических районах. Вселить сомнение в успех анализа свойств ПН может то, что работа выполнена фотографическим путем, тем более априори не ясно, насколько искажены истинные характеристики переменных (цвет, блеск) дифференциальным поглощением света в Облаке. Однако, рассмотрение на рис. 7 у Вулли зависимости период-светимость позволяет надеяться прийти к определенным выводам. Согласно замечанию авторов, 6 звезд с наименьшими амплитудами колебаний располагаются четко на той стороне ПН, где цефеиды ярче. 12 переменных с наибольшими амплитудами колебаний, по нашему мнению, находятся там, где

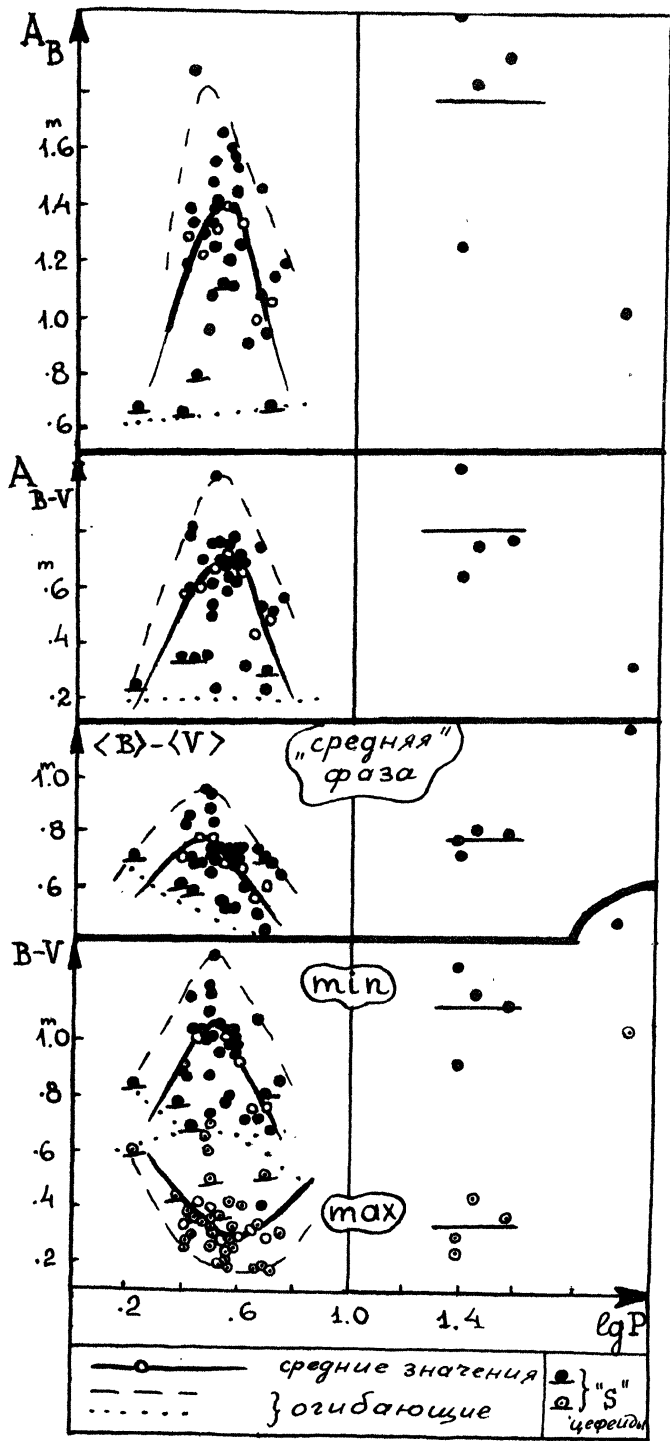


Рис. 1. Распределение по периоду амплитуд блеска A_B , цвета A_{B-V} , среднего блеска $\langle B \rangle$, среднего цвета $\langle B \rangle - \langle V \rangle$, цвета $(B-V)$ в max и min блеска.

светимости понижено. Подобное association зависимости период-светимость вполне аналогично картине, наблюдающейся у галактических цефеид по данным Якимовой (1970, 1973) и у цефеид ММО по данным Якимовой (1971, 1972). Поэтому можно попытаться проанализировать данные Вулли, как это мы делали для цефеид Галактики и ММО.

В работе Вулли имеются такие характеристики в системе В, V: максимальный, минимальный и средний блеск. Нас интересуют: цвет в максимуме (max) блеска $(B-V)_{\max}$, в "средних" фазах $\langle B \rangle - \langle V \rangle$ и в минимуме (min) блеска $(B-V)_{\min}$, блеск в "средних" фазах $\langle B \rangle$ (или $\langle V \rangle$), амплитуды блеска A_B (или A_V), амплитуды цвета $A_{B-V} = A_B - A_V$.

Таблица 1

$\lg P$	n	$\overline{(B-V)}_{\max}$	$\overline{\langle B \rangle - \langle V \rangle}$	$\overline{(B-V)}_{\min}$	$\overline{A_{B-V}}$	$\overline{A_V}$	$\overline{A_B}$	$\overline{\langle V \rangle}$
0.35-0.45	6	0. ^m 34	0. ^m 70	0. ^m 91	0. ^m 575	0. ^m 63	1. ^m 28	15. ^m 76
0.40-0.50	11	0.42	0.77	1.015	0.595	0.68	1.21	15.79
0.45-0.55	11	0.405	0.765	1.095	0.655	0.685	1.31	15.75
0.50-0.60	13	0.28	0.67	1.02	0.71	0.70	1.39	15.67
0.55-0.65	9	0.29	0.65	0.93	0.64	0.69	1.33	15.58
0.60-0.70	5	0.33	0.55	0.75	0.42	0.59	0.98	15.37
0.65-0.75	6	0.29	0.59	0.76	0.475	0.60	1.04	15.36

Мы изучим индивидуальные характеристики цефеид вдоль линий постоянного периода ($\Gamma = \text{const}$), т. е. δ -уклонения характеристик относительно их средних значений при фиксированном периоде. Для этого построим сглаженные средние по периоду зависимости (табл. 1, рис. 1): период-цвет в max, — в min, — в "средней" фазе, — амплитуды блеска A_B , — амплитуды цвета A_{B-V} . Средняя (линейная) зависимость изменений блеска $\langle B \rangle$ по мере роста периодов уже имелась у Вулли. Для цефеид с $\lg P > 1$ средние зависимости из-за малого числа звезд крайне ненадежны.

Особенности распределения цефеид с $\lg P < 0.9$ на указанных диаграммах для выбранной части БМО следующие:

- 1) Все распределения по периоду — амплитуд блеска и амплитуд цвета, цвета в max, min, "средней" фазе — показывают наличие резкого локального экстремума в области $\lg P \sim 0.5$, свидетельствующего о том, что самые большие амплитуды, самые красные цефеиды в min и в "средней" фазе, самые голубые в max — встречаются только при этих значениях периода. Картина качественно аналогична тому, что имеет место на периферии Галактики в окрестностях Солнца, во внешних частях ММО, в центре ММО (Якимова, 1970÷1972).
- 2) Взаимосвязь средних сглаженных характеристик $A_B, A_{B-V}, \langle B \rangle - \langle V \rangle, (B-V)_{\min}, (B-V)_{\max}$ именно такая, какая наблюдается в Галактике и в ММО (Якимова, 1970÷1972). При двух любых, не слишком далеких значениях периода, самые большие амплитуды блес-

ка и цвета у переменных наиболее красных в min блеска (в "средней" фазе) или наиболее голубых в max, и наоборот. (Подчеркнем, что взаимосвязь средних сглаженных характеристик при достаточно близких значениях периода отражает взаимосвязь индивидуальных вдоль линий $P = \text{const.}$)

3) Особенности взаимосвязи индивидуальных характеристик цефеид вдоль линий $P = \text{const}$ подсказываются расположением "s"-цефеид (переменных с синусоидоподобными кривыми блеска), как и в случае с Галактикой и ММО. "s"-цефеиды, имеющие явную тенденцию группироваться в области наименьших амплитуд блеска и цвета, отличаются в целом наиболее красными цветами в max блеска, но более голубыми в min (на всех рисунках – подчеркнутые точки).

Есть прямой смысл сопоставить индивидуальные характеристики цефеид δA_B , δA_{B-V} , $\delta (B-V)_{\text{max}}$, $\delta (B-V)_{\text{min}}$, $\delta \langle B \rangle$ между собой, как это мы делали для цефеид Галактики и ММО (табл. 2). Тем более, анализ дисперсий средних цветов и средних звездных величин вдоль линий $P = \text{const}$ убедительно свидетельствует, что дисперсия индивидуальных избытков цвета мала в области Вулли и не превосходит ± 0.05 (!), равно как в центре ММО.

Таблица 2

HV	№ W	lgP	$\delta(B-V)$ max	$\delta(\langle B \rangle - \langle V \rangle)$	$\delta(B-V)$ min	δA_{B-V}	δA_V	δA_B	$\delta \langle B \rangle$	$\delta \langle V \rangle$
			0 ^m 01							
1	41	0.218	- 4:	+ 14:	+ 23:	+ 7:	+ 10:	+ 7:	- 80	- 10
2	38	381s	- 3:	- 11	- 11:	- 17	- 30	- 45	- 70	- 30
3	34	401	- 18::	+ 10:	0::	- 11::	+ 13:	+ 2:	- 7:	0:
4	44	408	- 15	- 3	- 7	+ 2	+ 16	+ 20	+ 7	+ 30
5	12240	7	418	- 4:	+ 11	+ 22	+ 19	- 15	+ 4:	+ 2 + 3
6	5541	24	429	- 11	- 7	+ 7::	+ 22	+ 29	+ 55:	- 15 0
7	23	429s	- 5::	- 18	- 29::	- 26::	- 21:	- 47:	- 55:	- 25:
8	13	462	- 2	- 9	+ 1	+ 8	- 8	0	+ 5	+ 13
9	12225	33	478	+ 31	+ 18	- 5	- 29	- 10	- 40	+ 35 + 15
10	48	493	+ 36	+ 17	+ 12	- 16	+ 14	- 4	+ 10	- 12
11	12224	32	495	0:	+ 11	+ 4	+ 11	- 7	+ 2	+ 13 0
12	12	495	0	- 7	- 19	- 11	+ 24	+ 12	- 3	- 5
13	12521	27	497	+ 26:	- 4	+ 14:	- 4	- 24	- 30	- 20 + 2
14	47	504	0	+ 7	+ 25	+ 35	- 14	+ 19	+ 7	- 10
15	12748	5	506	- 7:	- 7	- 4	+ 10	- 4	+ 5	0 0
16	12219	17	528	- 10	- 18	- 9	+ 9	+ 20	+ 28	- 5 + 5
17	25	529s	+ 7:	0	+ 1::	+ 3	- 28	- 27	+ 15	+ 10
18	12747	10	556	- 7:	- 18	- 23	- 9	- 8	- 19	- 7 + 5
19	12241	8	562	- 4	0	0	+ 9	+ 15	+ 22	+ 12 + 8
20	5531	26	566	- 10	- 17	- 19:	- 4	+ 6	0	- 7 0
21	12226	29	569s?	+ 14::	+ 6	+ 5	- 5	- 21	- 27	+ 20 + 10
22	12237	16	572	0	+ 6	+ 6	+ 10	+ 11	+ 20	0 - 10

23	43	0.583	+ 5	+ 8	+ 7:	+ 2	+15	+16	+ 3	- 8
24	42	583	- 2:	+ 1	0	+ 2	+ 7	+ 8	0	- 8
25	12749	9	613	+12	- 3	-17	-33	-10	-37	-35 -40
26	30	663	-13	- 8	- 7	+ 3	- 7	0	0	+ 5
27	22	669	+ 2::	+17	+29	+25	+12	+40	+12	- 5
28	12220	35	686	-10:	-12	-35	-25:	+13	-10	+ 7 +20
29	18	696	+18:	+16 /	+ 8:	-13	-18	-30:	+10	- 3
30	37	716	-18	+17	- 1:	+15	+10	+26:	- 2	+10
31	14	0.749	- 8:	+16:	+23:	+28	+14:	+40:	0	- 7
32	886	21	1.380	- 8:	0:	+14:	+23:	+ 8	+31:	+ 5:
33	1	1.385	- 4:	- 6:	-20:	-16:	-37:	-53:	-40:	
34	2251	40	1.447	+10:	+ 4:	+ 5:	- 5:	+11:	+ 6:	+ 7:
35	2294	46	1.562	+ 3:	+ 2:	+ 1:	- 2:	+18:	+15:	-10: *

* Относительно линейной зависимости Вулли $\langle M \rangle - \lg P$.

На рис. 2 сравниваются уклонения амплитуд δA_B с уклонениями $\delta (B-V)_{\max}$, $\delta (B-V)_{\min}$, $\delta (B-V)_{\min} - (B-V)_{\max}$. Несмотря на то, что исходный материал — фотографический, а индивидуальные избытки цвета внутри Облака (пусть малые) не учтены — все-таки наблюдается реальная корреляция δ -уклонений: вдоль линий $P = \text{const}$ у цефеид тем больше амплитуды, чем краснее она в $\min$ и чем голубее в $\max$; выделение дополнительного параметра на рис. 2 подчеркивает корреляции. Как для цефеид Галактики и ММО, заметно определенное расслоение поля точек и можно попытаться отыскать коэффициенты в уравнениях связи типа (Якимова, 1970+1972):

$$\delta A_B = \alpha \cdot \delta (B-V)_{\min} - (\alpha + \mu) \cdot \delta (B-V)_{\max}, \quad (1a)$$

$$\delta A_B = \alpha \cdot \delta A_{B-V} - \mu \cdot \delta (B-V)_{\max}^* \quad (16)$$

Было отбрано 35 цефеид и наиболее надежными характеристиками. Понятно, что рассматриваемая группа переменных пространственно и физически достаточно однородна (это в основном цефеиды с периодами от 2 до 6 дней). Коэффициенты оказались следующими:

$$\alpha = 1.07, \quad \alpha + \mu = 121 - \text{по (1a), откуда } \mu = 0.14; \\ \pm 0.21 \quad \pm 0.26$$

$$\alpha = 1.18, \quad \mu = 0.32 - \text{по (16).} \\ \pm 0.18 \quad \pm 0.24$$

* Эти два уравнения являются зависимыми по определению, т. к. $A_{B-V} = (B-V)_{\min} - (B-V)_{\max}$. Однако мы найдем для каждого из них коэффициенты методом наименьших квадратов и усредним полученные величины α и μ . Строго говоря, использование метода в данном случае некорректно, так как ошибки определения обременяют в одинаковой степени и свободный член, и уклонения $\delta (B-V)_{\max}$, $\delta (B-V)_{\min}$, δA_{B-V} . Поэтому определение коэффициентов α , μ и из (1a), и из (16) с последующим усреднением весьма целесообразно.

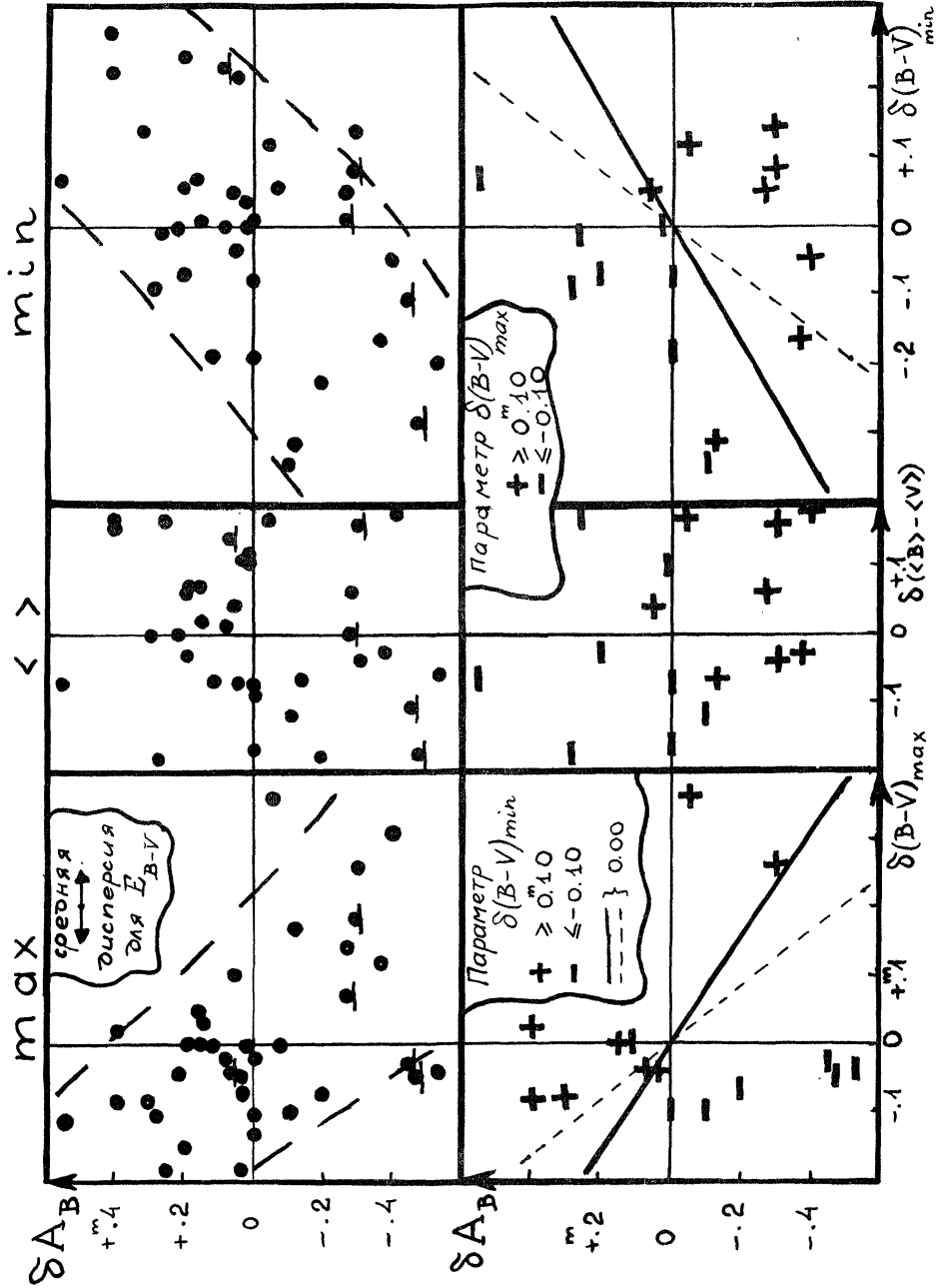


Рис. 2.
Взаимосвязь вдоль линий
 $R = \text{const}$ фотометрических ха-
рактеристик — цветов ($B-V$)
и амплитуд A_B . Устранение
неоднозначной взаимосвязи
введением дополнительного
параметра — цвета ($B-V$) в
противоположном экстремуме
блеска (рис. внизу). Подчерк-
нуты "s"-цефеиды.

С точностью до ошибок определения соответствующие значения коэффициентов совпадают, и в среднем можно принять:

$$\bar{\alpha} = 1.12, \quad \bar{\mu} = 0.23 \\ \alpha \pm 0.15 \quad \mu \pm 0.20$$

Интересно сопоставить теперь уклонения δA_B , δA_{B-V} , $\delta (B-V)_{\max}$ с уклонениями блеска $\delta \langle B \rangle$. Подобное сравнение проведено для цефеид Галактики у Якимовой (1973), когда при определении абсолютных величин M_V для 44 цефеид использовались средние радиусы, согласно данным Курочкина, и нормальные цвета $(B-V)_0$. Найденные соотношения, в первом приближении имеющие вид

$$\delta M_V = a_1 \cdot \delta A_V + b_1 \cdot \delta A_{B-V}, \quad (2a)$$

$$\delta M_V = a_2 \cdot \delta A_V + b_2 \cdot \delta (B-V)_{\max}, \quad (2b)$$

явились своеобразным способом оценки индивидуальной светимости по наблюдаемым, доступным характеристикам цефеид. Для цефеид Галактики оказалось, что коэффициенты a_1 , a_2 , b_2 — положительные, b_1 — отрицательное число.

Для 35 цефеид из области Вулли в БМО были решены методом наименьших квадратов уравнения:

$$\delta \langle B \rangle = a_3 \cdot \delta A_B + b_3 \cdot \delta A_{B-V}, \quad (3a)$$

$$\delta \langle B \rangle = a_4 \cdot \delta A_B + b_4 \cdot \delta (B-V)_{\max}. \quad (3b)$$

Величины коэффициентов следующие:

a_3	b_3	a_4	b_4
± 0.29	-0.02	$+0.44$	$+0.80$
± 0.25	± 0.40	± 0.16	± 0.33

По знаку все они согласуются с тем, что получено Якимовой для цефеид Галактики и ММО. Если значимость коэффициентов в (3a) мало убедительна, то в (3b)*коэффициенты безусловно отличаются от нуля. Подтверждаются общие тенденции: вдоль линий $P = \text{const}$ при фиксированном значении цвета в $\max$ блеска светимость тем ниже, чем больше амплитуда блеска.

Заключение.

Для сравнения структурных особенностей ПН классических цефеид Галактики, центра ММО и периферии БМО можно использовать коэффициенты α и μ , устанавливающие взаимосвязь индивидуальных амплитуд цвета, амплитуд блеска, цвета в $\max$ вдоль линий $P = \text{const}$. В работе автора (1972) указывалось, что ни эффект возможной ошибочности фотометрических шкал, ни влияние (пусть малое) дифференциальных избытков цвета в Облаке не смогут объяснить существенного различия между коэффициентам α и μ в Галактике и центральной части ММО. Не-

трудно показать это и для цефеид из области Вулли в БМО (только тогда сравнение коэффициентов α и μ в трех звездных системах будет корректным). Неучтенные избытки цвета действуют как дополнительные неизвестные ошибки. Значит в (16) должен исказиться лишь коэффициент μ , но не α (амплитуда блеска и цвета не подвержены влиянию поглощения), и значение μ должно уменьшиться, но оно в БМО даже больше, чем в Галактике. Следовательно, возможное поглощение света ни причем. Чтобы объяснить различие коэффициентов α и μ только вероятной ошибочностью фотометрических шкал В и V у Вулли, надо принять слишком значительную ошибку, на порядок большую встречающейся реальной.

Итак, для классических цефеид средние вдоль линий $P = \text{const}$ градиенты 1) амплитуд блеска A_B по амплитудам цвета A_{B-V} , 2) амплитуд блеска A_B по цвету в тах блеска $(B-V)_{\text{тах}}$ являются, по-видимому, вполне уверенными критериями принадлежности цефеид к той или иной звездной системе, отличающейся химическим составом, возрастом.

Литература:

- Вулли, 1962 — Wooley et al., ROV № 58.
 Якимова Н. Н., 1970, ПЗ 177, 253.
 Якимова Н. Н., 1973, ПЗ (в печати).
 Якимова Н. Н., 1971, АЖ 48, 1265.
 Якимова Н. Н., 1972, Сообщения ГАИШ, № 177.

Москва, ГАИШ

*Поступила в редакцию
в сентябре 1972 г.*