

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

ФЕВРАЛЬ, 1979

ВЫПУСК 1

УДК 523.341.3

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И КРАТКО- ВРЕМЕННАЯ ПЕРИОДИЧНОСТЬ RR ТАУ

Г. В. ЗАПЦЕВА, В. М. ЛУТЫН

Поступила 17 октября 1978

Приведены фотоэлектрические (BV), фотографические B_{ph} и инфракрасные RJNF наблюдения переменной Be-звезды RR Тау, находящейся в 8' от временного рентгеновского источника A0535+26. Полная амплитуда переменности звезды в 1967—78 гг. достигает 4^m . Изменения показателей цвета значительны ($0.3-0^m 6$), но не коррелируют с блеском, хотя в среднем в максимуме блеска звезда несколько более голубая. Фотометрия в фильтре U с временным разрешением 10 сек показала наличие быстрой порядка минуты, переменности звезды с амплитудой ~ 10 . В быстрой переменности присутствует периодическая составляющая с амплитудой 2^m и $P = 47$ сек, близким к одной из гармоник (46 сек) рентгеновского пульсара.

1. Введение Неправильная переменная RR Тау расположена в маленьком темном облаке [1]. В непосредственной близости от звезды имеется яркая туманность сложной формы и переменной яркости [2]. В [2] же отмечается пекулярность спектра RR Тау: сильная K-линия и несколько слабых металлических линий соответствуют A2 или немного более позднему подклассу, а слабые линии HeI—B8—B9. Эмиссия присутствует в H α и H β , и, скорее всего, RR Тау — поздняя B-звезда с оболочкой. Структура водородных линий переменна [2], причем эта переменность не коррелирует даже со значительными изменениями яркости.

Амплитуда изменений блеска RR Тау достигает 4^m (от 10 до 14^m) [3]. Как визуальные наблюдения Кэмпбела [3], так и фотоэлектрические Росингера и Венцели [4] показывают флуктуации блеска звезды с характерным временем от нескольких дней до нескольких лет. Иногда наблюдаются минимумы продолжительностью десятки дней. На отдельных отрезках времени у звезды отмечается цикличность порядка 2 и 210 дней [3].

Переменная RR Тау находится в $8'$ от временного рентгеновского источника A0535 + 26. Такое положение, а также совпадение по времени вспышки звезды в ноябре 1975 г. со вспышкой рентгеновского источника позволяло рассматривать RR Тау в качестве возможного кандидата для отождествления с A0535 + 26*.

В 1975—78 гг. мы проводили фотометрическое исследование RR Тау, на основе фотоэлектрических UVB, фотографических и инфракрасных наблюдений, а также быстрой (разрешение 10 сек) фотометрии в фильтре U.

2. UVB-наблюдения. В табл. 1 приведены фотоэлектрические наблюдения RR Тау, полученные нами на 60-см телескопе Крымской станции ГАИШ в 1975—78 гг., а также единичные наблюдения 1967 и 1969 гг. (48-см телескоп). Кривая блеска (В-величины) показана на рис. 1. Точками обозначены фотоэлектрические наблюдения авторов, крестиками — фотографические наблюдения, полученные Горанским на 40-см астрографе в системе, близкой к V_{118} .

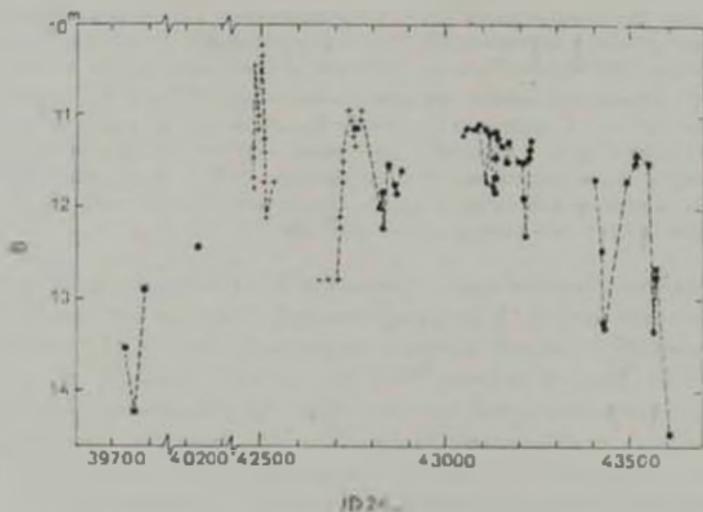


Рис. 1. Кривая блеска RR Тау в 1967—78 гг.; точки — фотоэлектрические, крестик — фотографические наблюдения.

По нашим наблюдениям максимальная амплитуда изменений блеска звезды в фильтре V превышает 3^m , при этом изменения показателей цвета $B-V$ и $U-V$ достигают 0^m3 и 0^m6 соответственно. Четкой зависимости

* Первыми обратили внимание на близость RR Тау и A0535+26 П. Н. Холопов и В. П. Горанский.

Таблица 1

JD	V	B-V	U-B	JD	V	B-V	U-B
2439739.556	12 ^m 76	-0 ^m 77	-0 ^m 27	2443150.230	10 ^m 88	-0 ^m 45	0 ^m 38
766.517	13.63	+0.56	+0.35	164.271	11.05	-0.46	0.34
793.554	12.20	+0.68	+0.74	169.265	10.82	-0.44	+0.38
40236.472	11.82	+0.61	+0.14	199.314	10.95	-0.52	+0.37
42760.393	10.72	+0.42	-0.31	212.285	11.00	-0.48	-0.40
826.330	11.46	+0.55	+0.41	214.298	11.20	-0.71	-0.31
827.316	11.29	+0.53	+0.44	216.298	11.73	+0.56	-0.43
829.318	11.60	+0.62	+0.39	226.258	10.95	-0.49	+0.45
845.212	11.00	+0.53	+0.38	230.267	10.86	-0.48	-0.35
871.243	11.18	+0.54	+0.44	232.265	10.79	-0.47	-0.36
872.253	11.27	+0.57	+0.42	405.574	11.18	-0.46	0.47
873.262	11.02	+0.54	+0.40	423.455	11.55	-0.58	-0.47
43049.546	10.78	+0.41	+0.44	425.507	12.66	+0.58	-0.41
057.462	10.71	+0.42	+0.33	439.481	12.71	-0.55	-0.41
079.558	10.68	-0.45	+0.33	.491	12.79	-0.56	-0.35
082.364	10.66	+0.43	+0.30	496.418	11.20	-0.46	-0.43
110.410	11.17	+0.54	+0.42	521.435	10.98	+0.50	+0.37
112.569	10.73	+0.43	-0.33	522.460	10.93	-0.46	-0.33
113.493	10.75	+0.45	+0.36	551.223	10.99	-0.48	+0.42
129.405	11.24	+0.50	+0.37	570.324	12.68	-0.62	+0.38
130.267	11.27	+0.50	-0.29	571.243	12.10	+0.60	-0.50
131.274	11.18	+0.50	+0.40	.317	12.09	-0.64	0.52
133.304	10.94	+0.50	-0.41	572.270	11.99	+0.66	-0.52
141.278	10.72	-0.44	-0.32	606.252	13.94	-0.54	-0.28
142.339	10.78	+0.44	+0.39				

между изменениями блеска и показателей цвета нет, хотя в среднем в максимуме блеска показатели цвета меньше. За пять лет (1967 и 1975—78) наблюдались четыре минимума с амплитудой 2—3^m. Наиболее глубокие минимумы зарегистрированы в 1967 г. и 1978 г. Эти минимумы имеют почти одинаковую глубину во всех фильтрах UVV. Вне минимумов наблюдаются флуктуации меньшей амплитуды. Можно отметить также падение средней яркости RR Tau на 1^m с 1975 г. по 1978 г. и увеличение показателей цвета при этом примерно на 0^m1. Полная амплитуда изменения блеска звезды (включая и фотографические наблюдения) составляет около 4^m.

3. ИК-фотометрия. 28/29 января 1978 г. на 125-см телескопе с помощью ИК-фотометра В. И. Шенаврн провел по нашей просьбе RJIK-фо-

тометрию RR Тау и HDE 245770 (эта звезда в настоящее время отождествляется с A0535 + 26). Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Звезда	V	R	J	H	K
RR Тау	11 ^m 92	11 ^m 23	9 ^m 3-0 ^m 3	8 ^m 52-0 ^m 14	7 ^m 28-0 ^m 18
HDE 245770	8.87	8.13	7.37 ± .04	7.14 ± .07	6.67 ± .10

Используя абсолютную калибровку Джонсона [5] и внося поправку за межзвездное поглощение по закону $e^{-\tau}$, можно сравнить потоки от RR Тау и нормальной звезды спектрального класса В8. Такое сравнение показывает, что RR Тау обладает значительным инфракрасным избытком — 2^m5 на 2.2 мкм. Фотометрия RR Тау в более далекой ИК-области от 3.5 до 18 мкм проведена Козим [6] в октябре 1971 г.— январе 1972 г. К сожалению, отсутствуют одновременные измерения в ближней инфракрасной и видимой областях спектра, но величина RR Тау на 3.5 мкм (5^m9) согласуется с величиной в К (2.2 мкм), подтверждая наличие ИК-избытка.

4. *Покраснение и оптическая светимость RR Тау.* В табл. 3 приведены максимальные и минимальные значения блеска и показателей цвета звезды по нашим UVV-наблюдениям.

Таблица 3

	V	B-V	U-V
max	10 ^m 7	+0 ^m 4	+0 ^m 3
min I	13.8	-0.55	-0.3
min II	12.0-12.8	+0.65-+0.75	+0.50-+0.75

Показатели цвета RR Тау как в максимуме, так и в минимуме („min I“) блеска согласуются с ее спектральным классом В8—А2 при покраснении $E_{B-V} = 0^m5$, то есть $A_V = 1^m5$ (см. рис. 2). Это значение избытка цвета и поглощения согласуется с определением Хербига [2] по звезде BD + 26^h887, расположенной в 3' от RR Тау на краю того же самого темного облака, что и RR Тау. Очень вероятно, что обе звезды находятся на одном и том же расстоянии. Модуль расстояния для BD + 26^h887 равен 9^m5. Следовательно, абсолютная величина переменной в максимуме блеска $M_V = -0^m3$. Отсюда оптическая светимость в максимуме $L_V \sim 4 \cdot 10^{33}$ эрг/сек.

Обратим внимание на то, что максимальные показатели цвета наблюдались не при минимальном блеске („min II“ в табл. 3). Самый большой ультрафиолетовый избыток звезда имела также не при максимальном блеске: $U - B = +0^m14$ при $V = 11^m82$. Положение RR Тау на двухцветной диаграмме (рис. 2) при экстремальных значениях показателей цвета уже не соответствует ее спектральному классу при $E_{B-V} = 0^m5$. И, наконец, максимальное значение $B - V = +0^m7$ наблюдалось до глубоких минимумов на нисходящей ветви, а $U - B = +0^m75$ на восходящей ветви (см. табл. 1). Правда, такое значение $U - B$ наблюдалось только один раз, в 1967 г., а после минимума 1978 г. наблюдений нет (заканчивался сезон видимости).

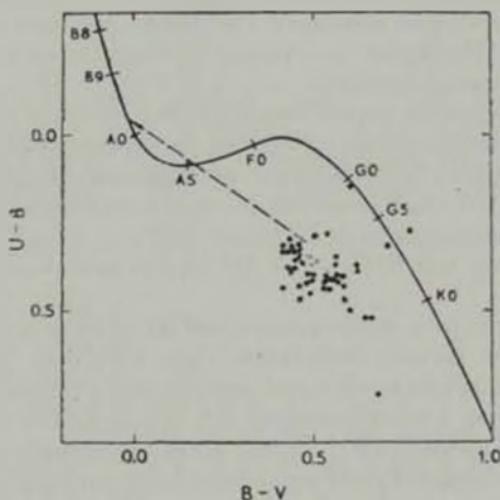


Рис. 2. Положение RR Тау на двухцветной диаграмме при разном блеске. Стрелка указывает положение звезды в максимуме блеска при учете покраснения.

5. *Фотометрия с временным разрешением 10 секунд.* Поскольку наш интерес к RR Тау был обусловлен, в частности, ее близостью к рентгеновскому источнику A0535 + 26, который является пульсаром с периодом 104 сек [7], мы проводили также быструю фотометрию звезды с временным разрешением 10.1 сек. Было получено три ряда таких наблюдений: 7/8 марта 1976 г., 2/3 апреля 1976 г. и 4/5 марта 1978 г., а также один ряд наблюдений звезды сравнения BD + 26°887 — 7/8 марта 1976 г. Наблюдения проводились в фильтре U, продолжительность каждого ряда 2500, 2200, 1500 и 1300 сек соответственно. Затем наблюдения анализировались на машине БЭСМ-4М по программе поиска периодов Курочкина [8].

Прежде всего отметим, что у звезды наблюдается быстрая (порядка минуты) переменность с амплитудой до 13%. Такая амплитуда наблюдается все три ночи. Наблюдаемые флуктуации блеска звезды сравнения составляют 6—7% при точности измерений 1.5—2% по статистике квантов. При количестве измерений 120—150 число отклонений от среднего, превышающих $\pm 3\sigma$, составляет для переменной от 6 до 24 в разные ночи, а для звезды сравнения ни одно измерение не выходит за пределы $\pm 3\sigma$ от среднего.

Периодограммы для всех рядов наблюдений RR Таи показаны на рис. 3. По горизонтальной оси отложена частота, точнее, величина $10000/P$, где P выражено в секундах, по вертикальной оси — функция $K(P)$. Чем больше величина $K(P)$, тем более вероятен период. На верхнем рисунке приведена периодограмма для ряда 4/5 марта 1978 г., полученная непосредственно по наблюдаемым значениям. На нижних рисунках исключен низкочастотный тренд. Как видно, это несколько увеличило значение $K(P)$, но не повлияло на величины периодов.

Наиболее интересна дата 4/5 марта 1978 г., когда в быстрой переменности RR Таи присутствовал с большой достоверностью период 47 сек. В порядке убывания $K(P)$ периоды располагались следующим образом: 47, 104, 97.5 и 32.5 сек, причем два последние периода кратны. Близкие к этим периодам наблюдались и 7/8 марта 1976 г. — 44 и 99 сек и два других — 87 и 167 сек при $K(P) > 10$. 2/3 апреля выделяются периоды 54 и 208 сек.

Для контроля были проанализированы на периодичность наблюдения звезды сравнения (продолжительность ряда 1300 сек). Хотя амплитуда флуктуаций звезды сравнения вдвое меньше, чем у переменной, на периодограмме есть пик, соответствующий $P = 77$ сек ($K(P) = 11.6$). Можно считать, что либо звезда BD + 26 887 сама показывает микропеременность, либо флуктуации блеска этой звезды обусловлены земной атмосферой (наблюдения проводились в ультрафиолетовой области спектра). В последнем случае следует считать, что амплитуда собственной микропеременности RR Таи составляет 6—7%.

Интересной особенностью является то, что все наблюдавшиеся 4/5 марта 1978 г. периоды RR Таи не являются независимыми и связаны друг с другом соотношением типа $1/P, \pm 1/P, = 1/P$. Такковы периоды 104, 47 и 32.5 сек, а 97.5 и 32.5 являются кратными. Кстати, рентгеновский пульсар A0535+26 кроме основного периода 104 сек имеет и сопряженные периоды 46 и 83 сек [7]. Эти периоды также связаны соотношением $1/104 + 1/83 = 1/46$. Периоды, наблюдавшиеся у RR Таи в другие даты, также не являются независимыми: 44 и 87 сек, во-первых, кратны, во-вторых, так же, как и 47 и 104 сек близки к периодам рентгеновского пульсара. Период 167 сек является удвоенным 83 сек. Период 208 сек, наблюдавший-

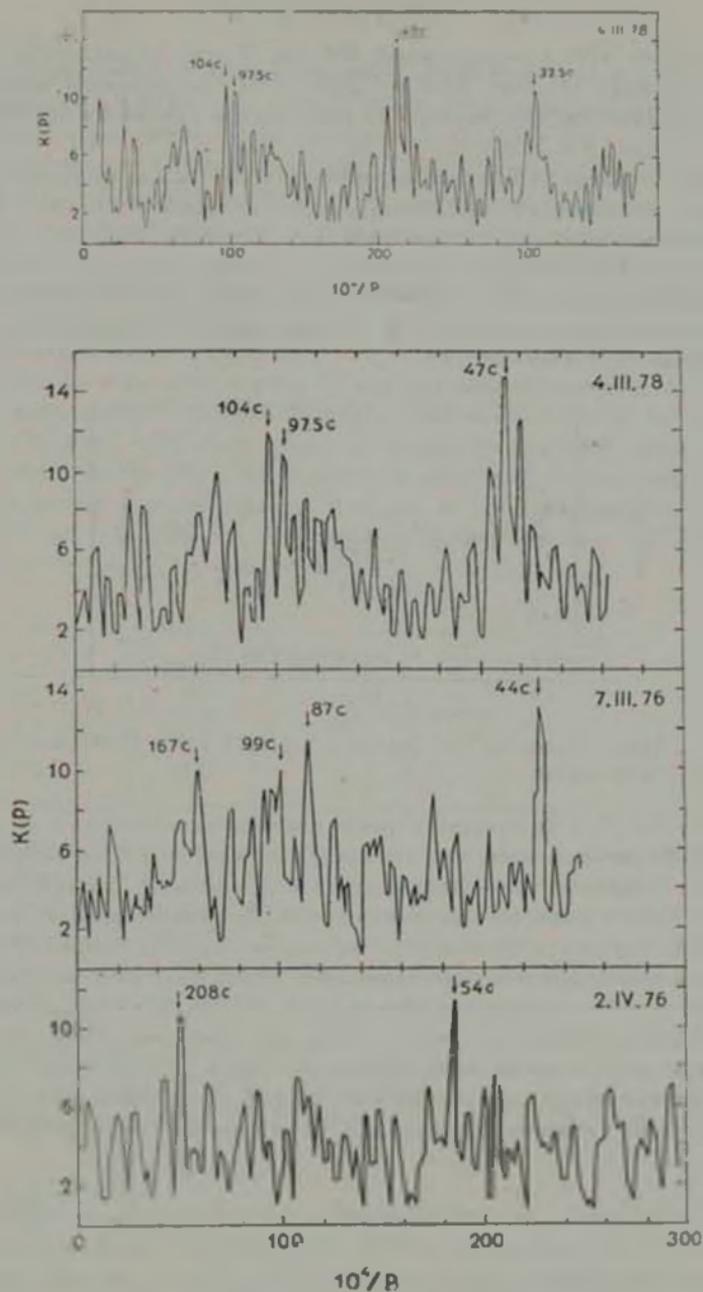


Рис. 3. Периодограммы RR Тау (см. текст).

ся 2/3 апреля 1976 г. — удвоенный 104 сек. Также не является независимым период 54 сек: $1.54 + 1/208 = 1.325$ — последний наблюдался 4/5 марта. Заметим, что «период» 77 сек у звезды сравнения никак не связан с периодами RR Таи.

Таким образом, в быстрой переменности RR Таи присутствует периодическая составляющая с периодом, равным пульсарному периоду временного рентгеновского источника A0535 — 26, если считать истинным $P = 104$ сек. Наибольшую достоверность имеет период 47 сек. Кривая блеска с этим периодом $P = 47.04$ сек показана на рис. 4. Амплитуда средней кривой блеска составляет 2%. Полная амплитуда переменности, как уже отмечалось, составляет 13%.

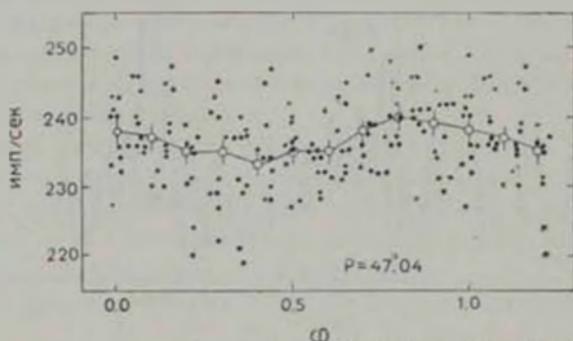


Рис. 4 Кривая блеска RR Таи (фильтр U) $4.111.78$ с $P = 47.04$ сек; открытые кружки — средняя кривая.

Если RR Таи не связана с рентгеновским источником, а ее связь с A0535 + 26 маловероятна, так как звезда находится в $8'$ от источника — далеко за пределами прямоугольника ошибок координат, то наличие у нее периода 104 сек само по себе удивительно. Возможно, правда, что здесь проявилось случайное совпадение: истинным является период 47 сек, а остальные проявляются как его гармоники. Совпадение же с рентгеновским периодом можно объяснить близостью $P = 47$ сек к одной из гармоник рентгеновского. Однако следует отметить еще одно совпадение — наибольшая вероятность наличия периода была 4/5 марта 1978 г., в дату, ближайшую к рентгеновской вспышке (2.5 месяца). В дату, наиболее далекую от рентгеновской вспышки, 2/3 апреля 1976 г., вообще отсутствовал период 44—47 сек.

6. *Обсуждение. Выводы.* Фотометрическое исследование эмиссионной звезды RR Таи, проведенное в 1967—78 гг., дало следующие результаты. Блеск звезды меняется с амплитудой до $0^m.5$ за дни и десятки дней и до 4^m за несколько лет. Такое поведение звезды было известно и раньше по

фотографическим наблюдениям. Показатели цвета меняются в значительных пределах ($0.3 \div 0^m6$), но прямой связи с изменениями блеска нет, хотя в среднем в максимуме блеска звезда более голубая.

В максимуме блеска показатели цвета звезды соответствуют ее спектральному классу В8 с $E_{B-V} = 0^m5$, что согласуется с данными Херби-га [2]. ИК-фотометрия показала, что звезда имеет значительный инфракрасный избыток.

Наиболее интересным является обнаружение быстрой переменности звезды с довольно большой амплитудой — 10—13% — и возможным наличием периодической составляющей с амплитудой 2%. По-видимому, основным периодом является период 47 сек, который совпадает с одной из гармоник периода рентгеновского пульсара (напомним, что RR Тау находится в 8' от A0535 + 26, т. е. далеко за пределами прямоугольника ошибок координат A0535 + 26). Амплитуда периодической составляющей тем больше, чем ближе наблюдения по времени к рентгеновской вспышке (табл. 4). И третья особенность — совпадение двух вспышек RR Тау и A0535 + 26, в ноябре 1975 г. и декабре 1977 г.

Таблица 4

Дата	$K_{\text{свн}} (P)$	Удаленность от рентген. вспышки
4 5 III.78	15.0	2.5 месяца
7 8 III.76	13.7	4 "
2/3 I .76	12.6	5 "

Для окончательного выяснения вопроса о наличии периодичности в быстрой переменности RR Тау необходимы дальнейшие наблюдения с временным разрешением не хуже 10 сек, в частности, непосредственно после рентгеновской вспышки A0535 + 26. Однако, независимо от того, окажется RR Тау связанной с рентгеновским источником или нет, существование такого короткого периода у звезды само по себе представляет большой интерес.

Авторы благодарны Н. Е. Курочкину за проведение расчетов по программе поиска периодов, В. П. Горанскому за предоставление результатов фотографических наблюдений и В. И. Шенаерину за проведение ИК-наблюдений.

THE PHOTOMETRIC STUDY AND A SHORT-TIME PERIODICITY OF RR TAU

G. V. ZAYTSEVA, V. M. LYUTY

The results of photoelectric UVB, photographic B_{H} and infrared RJK observations of the variable Be-star RR Tau are given. The star is located near ($8''$) the transient X-ray source A0535+26. The full amplitude of the variability in 1967-78 reached $4''$. Considerable variability of color indices was observed ($0^{\text{m}}3-0^{\text{m}}6$), but there is no correlation between color and brightness variability. The photometry (filter U) with a time resolution 10 seconds shows the variation in the star brightness with an amplitude $\sim 10^{\text{a}}_{11}$ and a time-scale of the order of a minute. There is the periodic component in a rapid variability of the star with $P = 47$ s and amplitude 2^{o}_0 . This period is nearly consistent with the one (46 s) of the X-ray pulsar.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. Hoffmeister, *Astron. Nachr.*, 278, 24, 1949.
2. G. H. Herbig, *Ap. J.*, Suppl. ser., 4, 337, 1960.
3. L. Campbell, *Popular Astronomy*, 45, 153, 1937.
4. S. Rosstger, W. Wenzel, *Astron. Nachr.*, 293, 47, 1974.
5. H. L. Johnson, *Comm. Lunar and Planetary Lab.*, 3, 79, 1955.
6. M. Cohen, *M. N.*, 161, 105, 1973.
7. F. D. Rosenberg, C. J. Eyles, G. K. Skinner, A. P. Willmore, *Nature*, 256, 628, 1975.
8. Н. Е. Кушечкин, *Переменные звезды*, 19, 117, 1973.