

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ  
НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗДЫ  $\gamma$  ORIН.Д.МЕЛИКЯН<sup>1</sup>, В.С.ТАМАЗЯН<sup>2</sup>

Поступила 11 февраля 2008

Принята к печати 20 августа 2008

В работе приводятся результаты спектрального и фотометрического исследования долгопериодической переменной звезды  $\gamma$  Ori, которая вблизи минимума блеска классифицирована нами как M7IIIe. В голубой части на спектр холодного гиганта накладываются детали звезды более раннего спектрального класса, вследствие чего в диапазоне 4000–4200 Å наблюдается избыток излучения переменного характера. В отличие от монотонно убывающей интенсивности бальмеровских линий ( $EWN\alpha > EWN\beta > EWN\gamma > EWN\delta$ ) для нормальных звезд ранних спектральных классов, у  $\gamma$  Ori зарегистрировано обратное соотношение  $EWN\gamma < EWN\delta$ .

Ключевые слова: *звезды:спектры:фотометрия –объект: $\gamma$  Ori*

1. *Введение.* Долгопериодические переменные звезды (Long-Period Variables, LPVs), или звезды типа Миры Кита, принадлежат к широкому классу пульсирующих переменных, периодически показывающих расширение и сжатие поверхностных слоев значительной массы, чем и обусловлено изменение их блеска. LPVs являются эмиссионными красными гигантами с характерными спектрами поздних классов Me, Ce, Se и расположены в верхней части AGB (Asymptotic Giant Branch). Примерно 25% всех известных переменных звезд являются долгопериодическими переменными, а их блеск изменяется в пределах  $2^m$ – $11^m$  в  $V$  лучах с периодами от  $80^d$  до  $1000^d$  [1]. Несмотря на то, что амплитуды их изменений уменьшаются в сторону длинных волн, основную часть энергии звезда излучает именно в инфракрасных лучах. LPVs расположены вблизи галактического диска, показывая тенденцию концентрироваться к центру Галактики. Высокая светимость, позволяющая их обнаружение на очень больших расстояниях, часто используется для исследования структуры как нашей, так и соседних галактик. Они часто встречаются в звездных ассоциациях и, по-видимому, являются молодыми образованиями [2]. Согласно Соболеву [3] LPVs отличаются от горячих O-звезд только наличием плотной, протяженной оболочки.

В спектрах LPVs часто регистрируются переменные эмиссионные линии бальмеровской серии водорода. Наблюдательные данные свидетельствуют о наличии сильного истечения материи во время пульсаций. Показано, что потеря массы в стадии AGB может достигать до  $10^{-4} M_{\odot}$  в год [4].

В рамках современных представлений пульсирующие красные гиганты структурно принято делить на две составляющие: а) гравитационно сильно связанное центральное ядро (с размерами  $\sim 10^4$  см и с температурой  $\sim 10^8$  К), и б) гигантская (с размерами  $\sim 10^{13}$  см) и холодная ( $T \sim 10^3$  К на поверхности), гравитационно очень слабо связанная мантия [5,6]. Вследствие потери большой массы в стадии AGB вокруг этих звезд образуются околозвездные оболочки, достигающие иногда  $10^{19}$  см и с температурой во внешних частях около 10 К [5]. Очевидно, что потеря такой массы значительно воздействует на эволюцию звезды. Немаловажно отметить, что LPVs часто являются источниками радио- и инфракрасного излучения [7,8].

Наконец, исследования LPVs очень важны с точки зрения изучения эволюции красных гигантов и сверхгигантов. Доминирующее в настоящее время представление об их эволюции в основном базируется на результатах известной работы Шкловского [9], согласно которой каждая планетарная туманность в конечном счете производит один белый карлик, а сами планетарные туманности происходят от некоторого подмножества красных гигантов. Согласно нынешним представлениям, стадии AGB следует стадия post-AGB, продолжительность которой очень коротка и составляет  $10^3$ - $10^4$  лет [10]. После этого звезда переходит в стадию планетарной туманности, а конечным продуктом эволюции является белый карлик.

У Ogi является одной из самых малоизученных среди звезд типа Миры Кита, имеет спектр M3e-M5 и период изменения блеска  $271^d.3$  [1]. Впервые мы обратили внимание на эту звезду, когда она была зарегистрирована в максимуме блеска во время наших фотографических *UBV* наблюдений области туманности Ориона [11]. На основе богатого наблюдательного материала была построена полная кривая изменения блеска и уточнен период изменения  $P = 270^d.5 \pm 0^d.2$ , а также время возгорания ( $t_g = 83^d.9$ ) и спада ( $t_c = 186^d.6$ ) блеска [11], отлично согласующееся с недавно определенным периодом звезды  $P = 270^d \pm 1^d.08$  [12]. В максимуме блеска звезды, на наших снимках в красных лучах была зарегистрирована туманность, которая отсутствовала в других цветах [11,13]. На нисходящей ветви кривой блеска обнаружены отдельные повышения блеска в ультрафиолетовых лучах, одно из которых с продолжительностью порядка 20 суток [13].

В настоящей работе приводятся результаты спектральных и фотометрических наблюдений У Ogi, выполненных в 2004г.

2. *Наблюдения.* Наблюдения проводились в сентябре 2004г. на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории с помощью спектральной камеры SCORPIO [14]. С помощью камеры можно получить как прямые изображения с широкополосными и узкополосными фильтрами, так и проводить спектроскопию с длинной щелью. SCORPIO используется с ПЗС-матрицей размерами 2063x2058 pix, охватывающая область неба  $14' \times 14'$  с пространст-

венным разрешением  $0''.41$ . Фотометрические наблюдения выполнены 20 сентября в  $B$ ,  $V$ ,  $R$ ,  $I$  фильтрах, а в спектральном режиме снималась область  $4000-7300 \text{ \AA}$  с использованием призмы с дифракционной решеткой  $600 \text{ штрих/мм}$ .

3. *Результаты наблюдений.* Звезда  $\Upsilon$  Ori ( $\alpha = 05^{\text{h}}41^{\text{m}}33^{\text{s}}.65$ ;  $\delta = -04^{\circ}07'54''.9$ ) известная также как источник инфракрасного излучения (IRAS 05390-0409) показывает переменный спектр, по-видимому, зависящий от фазы изменения блеска. Диапазон изменения блеска в фотографических лучах равен  $11^{\text{m}}.5-16^{\text{m}}$  согласно [1], а по нашим наблюдениям  $10^{\text{m}}.9-17^{\text{m}}.5$  [11]. В зависимости от фазы сильно изменяются также показатели цвета звезды [11,13]. Если значения  $B-V$  и  $V-R$  после максимума монотонно (со слабыми колебаниями) увеличиваются, то  $U-B$  уменьшается, что свидетельствует об избытке ультрафиолетового излучения.

Настоящие наблюдения проводились через 106 (20.09.2004г.) и 110 (24.09.2004г.) дней после очередного ожидаемого максимума. Мы вычислили фазу изменения блеска звезды, принимая эпоху максимума согласно ОКПЗ [1] с использованием уточненного нами периода [11], который в хорошем согласии с результатами более поздних измерений [12].

Результаты фотометрии в  $B$ ,  $V$ ,  $R$  и  $I$  лучах приводятся в табл.1. Для сравнения приводятся также звездные величины в максимуме ( $m_{\text{max}}$ ) и в минимуме ( $m_{\text{min}}$ ) блеска из [11].

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОМЕТРИИ  $\Upsilon$  Ori

Полоса	$m$	$m(\text{max})$ [11]	$m(\text{min})$ [11]
$B$	15.4	10.9	17.5
$V$	13.2	9.3	14.7
$R$	9.6	6.8	11.1
$I$	6.5	6.0	8.0

Для звезд типа Миры Кита Варданын[15] получил корреляцию между цветами  $V-I$ , температурой и спектральным классом. Исходя из этой корреляции, на основе наших измерений ( $V-I=6^{\text{m}}.7$ ) для  $\Upsilon$  Ori получается цветовая температура  $T_c=2300 \text{ K}$  и спектральный класс M7-M8. Отметим, что полученное нами значение  $V-I=6^{\text{m}}.7$  точно совпадает с таковым, полученным в минимуме блеска при фотографических наблюдениях [11].

На рис.1 приводится суммарный спектр  $\Upsilon$  Ori, полученный 20 сентября, на котором стрелками показаны линии бальмеровской серии водорода. Как видно из рисунка, это типичный спектр звезды спектрального класса M с почти всеми характерными для гигантов M молекулярными полосами, где особенно хорошо выделяются полосы TiO. Хорошо известно, что эффекты

светимости у звезд класса М уверенно различаются на основании составных полос, как например FeII  $\lambda\lambda 8690$  и  $9890 \text{ \AA}$ , а также триплета кальция CaII  $\lambda\lambda 8498$ ,  $8542$  и  $8662 \text{ \AA}$ , которые, к сожалению, расположены вне наблюдаемого нами диапазона. В оптической области хорошим индикатором

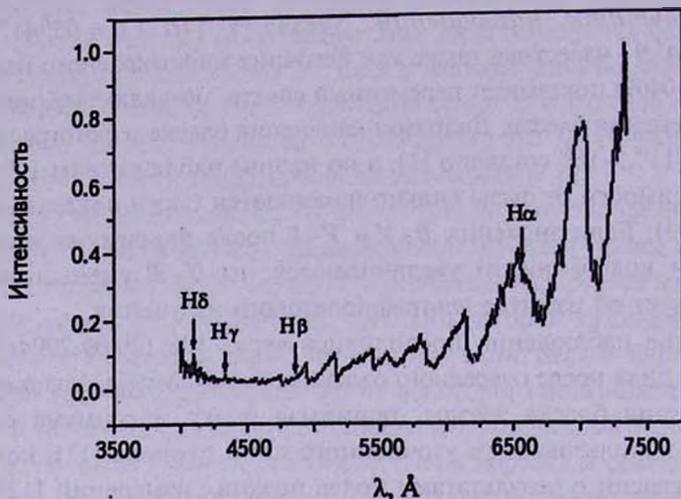


Рис.1. Суммарный спектр звезды Y Ori, полученный 20 сентября.

светимости является отношение интенсивности красной и синей части линии Ca II  $\lambda 4226 \text{ \AA}$  (последняя у гигантов почти незаметна см. [16]). С другой стороны, для гигантов позднего подтипа M5 характерны полосы VO  $\lambda\lambda 5469$ ,  $5635$  (выделяется особо),  $\lambda 5737 \text{ \AA}$  и широкая полоса  $\lambda\lambda 7334 - 7534 \text{ \AA}$  [17], которая лишь частично видна на наших спектрах. Кроме того, типичные для ранних подклассов M полосы TiO  $\lambda 6322 \text{ \AA}$ , CaII  $\lambda 6750 \text{ \AA}$  и некоторые другие на наших спектрах сравнительно слабы или незаметны. Наконец, сравнение показывает, что полученный спектр почти идентичен спектру звезды LHS 3297A, классифицированной как M7III [18].

Все вышесказанное, с учетом стандартных критериев для классификации звезд поздних классов [17-19] и поведения в их спектрах различных линий и молекулярных полос, дает основание классифицировать полученный нами спектр Y Ori как M7IIIe. Более подробное описание использованной нами методики спектральной классификации можно найти в [20].

Отметим, что сам спектр и характерные линии звезд класса M (особенно в поздних подтипах) часто бывают подвержены изменениям. В частности, в работе [17] наглядно показано, насколько влияет вспышечная активность на спектр, а следовательно и на классификацию звезды LHS 3297A. Показателен в этом смысле тот факт, что в каталоге Баскомба [21] Y Ori отнесена к классу M3IIIe, а согласно последующей классификации она отнесена к классу M5IIIe [22]. Инфракрасные показатели цвета ( $J=4^m.00$ ,

$J - H = 1^m.14$ ,  $H - K = 0^m.61$ ) [23] значительно краснее таковых у любого гиганта класса M5 [24], что также говорит в пользу правильности нашей классификации. Следовательно, с учетом вышеотмеченных результатов, полученных нами на основании показателя цвета ( $V - I$ ), можно уверенно сказать, что в данной фазе (недалеко от минимума блеска) звезда имеет спектр M7Ше. При этом значительные различия (M3Ше-M7Ше) в определении спектрального класса звезды  $\Upsilon$  Ori [1,21,22] по всей вероятности являются результатом изменения ее спектрального класса с фазой изменения блеска.

Спектры LPVs относятся к самым сложным из всех известных звездных спектров, показывая большое число атомных и молекулярных линий и полос как в излучении, так и в поглощении. Все они являются переменными, и большинство изменений связано с фазой изменения блеска. Уже ранние спектральные наблюдения показали удивительное отклонение соотношения интенсивностей ярких водородных линий от обычного монотонного уменьшения, наблюдаемого, начиная с  $H\alpha$ , в спектрах звезд ранних типов.

20 и 24 сентября получены по 3 спектра звезды  $\Upsilon$  Ori, притом в обе ночи в течение всего 15-20 мин. Очевидно, что за такой короткий промежуток времени трудно ожидать каких-либо существенных изменений у долгопериодической переменной звезды. Суммирование трех спектров каждой ночи дало возможность выявить детали, наличие которых на отдельных спектрах было бы трудно зафиксировать с уверенностью. Оказалось, что в спектральном диапазоне  $\lambda\lambda 4400 - 7300\text{\AA}$  спектры практически одинаковы, а в области  $\lambda\lambda 4000 - 4400\text{\AA}$  хорошо видны отличия.

На рис.2 приводятся спектры  $\Upsilon$  Ori, полученные 20 и 24 сентября в диапазоне  $\lambda\lambda 4000 - 4400\text{\AA}$ , нормированные к максимальной интенсивности на длине волны  $\lambda 7300\text{\AA}$ . Стрелками показаны эмиссионные линии  $H\gamma$  и  $H\delta$  и две другие не совсем уверенно отождествленные эмиссионные детали. На рисунке видны значительные спектральные изменения в этой области всего за 4 суток.

Непрерывный спектр в диапазоне  $\lambda\lambda 4000 - 4200\text{\AA}$  значительно сильнее на спектре, полученном 20 сентября. Сравнение интенсивностей двух соседних участков спектра ( $\lambda\lambda 4000 - 4200\text{\AA}$  и  $\lambda\lambda 4200 - 4400\text{\AA}$ ) путем вычисления в них интегрального блеска показывает, что интенсивность в интервале  $\lambda\lambda 4000 - 4200\text{\AA}$ , выраженная в звездных величинах, 20 сентября вдвое больше, чем 24 сентября. Несомненно, это является результатом реальных физических процессов. Трудно сказать, какие конкретно процессы привели к такому результату, но зарегистрированное нами покраснение условного цвета звезды на  $0^m.5$  за 4 суток не вызывает сомнения. Отметим, что при среднем градиенте спада блеска  $\Upsilon$  Ori, блеск звезды за 4 суток может измениться всего лишь на  $0^m.1$ , а в данной фазе изменения блеска звезды (вблизи минимума) градиент должен быть еще меньше.

На рис.2 (20.09.2004) хорошо видны эмиссионные линии  $H\gamma$  и  $H\delta$ , а также две другие эмиссионные детали на длинах волн  $\lambda 4190\text{\AA}$  и  $\lambda 4381\text{\AA}$ , которые мы не смогли уверенно отождествить. Они могут принадлежать как нейтральному железу, так и другим элементам. Эти линии часто встречаются в спектрах долгопериодических переменных, но они более типичны для красных гигантов в стадии *post-AGB* [25].

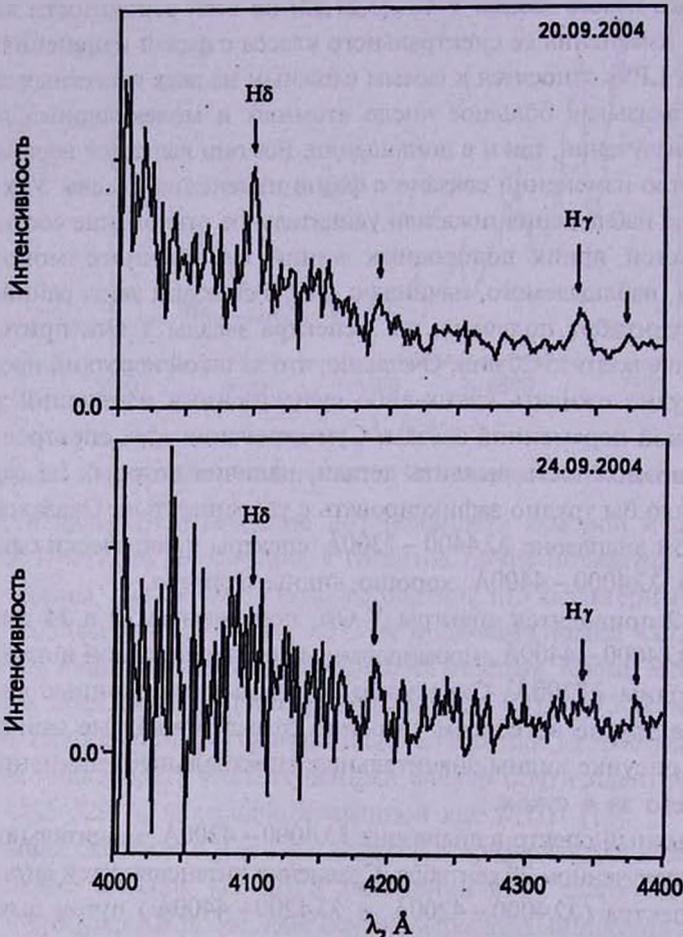


Рис.2. Спектры звезды  $Y\text{ Ori}$ , полученные 20 и 24 сентября в диапазоне  $\lambda 4000 - 4400\text{\AA}$ . Стрелками показаны как линии  $H\gamma$  и  $H\delta$ , так и другие эмиссионные детали.

Нам не удалось обнаружить линии  $H\alpha$  и  $H\beta$  даже после суммирования всех полученных спектров. Эмиссии в  $H\gamma$  и  $H\delta$  хорошо видны на спектрах, снятых 20 сентября, но отсутствуют уже через 4 суток. Эквивалентные ширины линий  $EWH\gamma$  и  $EWH\delta$  равны соответственно  $6.2 \pm 0.6\text{\AA}$  и  $7.5 \pm 0.6\text{\AA}$ . Интересно, что в отличие от обычно монотонно уменьшающихся интенсивностей линий бальмеровской серии водорода, начиная с  $H\alpha$  для нормальных звезд

ранних спектральных классов ( $EWH\alpha > EWH\beta > EWH\gamma > EWH\delta$ ), у  $\Upsilon$  Ori наблюдается обратное соотношение -  $EWH\gamma < EWH\delta$ .

4. *Обсуждение.* Звезда  $\Upsilon$  Ori находится вблизи туманности Ориона, где среди огромного количества переменных звезд всего 30 являются долгопериодическими переменными типа M.

Настоящие наблюдения позволили впервые определить спектральный класс звезды почти в середине (ближе к минимуму) нисходящей ветви кривой блеска (M7IIIe). С помощью полученной в работе [13] эмпирической зависимости между температурой, цветом ( $V-I$ ) и спектральным классом, на основе данных табл.1 оценен спектральный класс и температура звезды в минимуме (M7-M8,  $T=2300$  K) и в максимуме (M3,  $T=3250$  K) блеска.

На основе синхронных фотоэлектрических наблюдений [13] было показано, что посинение является результатом быстрого подъема блеска. По-видимому, быстрые изменения блеска (от нескольких часов до 20 суток), встречаются довольно часто и характерны для нисходящей ветви кривой блеска [11,26-30]. Цвет звезды в максимуме быстрых изменений голубее, чем до и после него [30]. Приведенные Мендозой [31] фотоэлектрические наблюдения 67 долгопериодических переменных и наши фотографические и фотоэлектрические наблюдения  $\Upsilon$  Ori [11,13] показали, что цвета некоторых звезд в минимуме голубее чем в максимуме. По-видимому, голубой избыток излучения в диапазоне 4000-4200 Å также является результатом "быстрого" всплеска яркости звезды. Следует отметить, что о наличии избытка коротковолнового излучения у долгопериодических переменных звезд было указано еще в 1945г. Шайном [32].

Аномальные интенсивности эмиссионных линий бальмеровской серии водорода представляют большой интерес. Можно предположить, что источник эмиссии связан с материей, выброшенной в процессе пульсации из недр звезды, а поглощающий слой находится впереди источника. Известно, что для линий  $H\alpha$ ,  $H\beta$  и  $H\gamma$  поглощающий элемент может быть TiO, а для линии  $H\delta$  - нейтральный Индий - In I. Наблюдаемое соотношение  $EWH\gamma < EWH\delta$  может быть обусловлено также разностью количества TiO и InI в поглощающем слое находящегося впереди источника излучения.

Наконец, наличие в спектрах эмиссионных деталей, характерных для post-AGB стадии красных гигантов, говорит в пользу эволюционной связи AGB и post-AGB звезд. Не исключено также, что звезда  $\Upsilon$  Ori, находится очень близко к стадии post-AGB.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить сотрудника Бюраканской обсерватории А.А.Карапетяна за помощь в наблюдениях.

<sup>1</sup> Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail: nmelikia@bao.sci.am

<sup>2</sup> Астрономическая обсерватория "Рамон Мария Аллер" университета Сантьяго де Компостела, Испания, e-mail: oatamaz@usc.es

SPECTRAL AND PHOTOMETRIC  
OBSERVATIONS OF Y ORIN.D.MELIKIAN<sup>1</sup>, V.S.TAMAZIAN<sup>2</sup>

The results of spectral and photometric study of the long-period variable star Y Ori are reported. Being close to the brightness minimum, it is classified by us as a cool M7IIIe giant. In the blue part of spectrum, some typical to early spectral type star features are overlapped with a characteristics of a cool giant, thus leading to a variable excess of radiation in the range of 4000–4200 Å. In contrast with a usual, monotonically decreasing intensity of the Balmer lines ( $EWH\alpha > EWH\beta > EWH\gamma > EWH\delta$ ) in early type normal stars, a reversal behavior ( $EWH\gamma < EWH\delta$ ) in Y Ori spectra is registered.

Key words: *stars:spectra:photometry-individual:Y Ori*

## ЛИТЕРАТУРА

1. П.Н.Холопов и др., Общий Каталог Переменных Звезд, Наука, М., 1985.
2. В.А.Амбарцумян, Астрон. ж., 26, 4, 1949.
3. В.В.Соболев, Движущиеся оболочки звезд, Изд., ЛГУ, 1947.
4. H.Olofsson, in: IAU Colloquium No. 126, "Evolution of Peculiar Red Giants", eds. H.R.Johnson, B.Zuckerman, Cambridge University Press, 1989.
5. H.Olofsson, in: Asymptotic Giant Branch Stars, IAU Symp. No. 191, eds. T. Le Bertre, A.Lebre, C.Waelkens, p.3, 1999.
6. G.R.Knapp, Astrophys. J., 311, 731, 1986.
7. M.J.Reid, K.M.Menten, Astrophys. J., 671, 2068, 2007.
8. K.Ohnaka, M.Scholz, P.R.Wood, Astron. Astrophys., 446, 1119, 2006.
9. И.С.Шкловский, Астрон. ж., 33, 315, 1956.
10. T.Blocker, Astron. Astrophys., 299, 755, 1995.
11. Н.Д.Меликян, Р.Ш.Нацанишвили, М.Делла Валле, Астрофизика, 28, 329, 1988.
12. M.R.Templeton, J.A.Mattei, L.A.Willson, Astron. J., 130, 776, 2005.
13. Н.Д.Меликян, С.Д.Якубов, Астрофизика, 38, 5, 1995.
14. V.L.Afanasiev, E.B.Gazhur, S.R.Zhelenkov, A.V.Moiseev, Bull. Special Astrophys. Obs., 58, 90, 2005.
15. Р.А.Варданян, Астрофизика, 36, 535, 1993.
16. C.Jaschek, M.Jaschek, The Behavior of Chemical Elements in Stars, Cambridge Univ. Press, 1995.
17. J.D.Kirkpatrick, T.J.Henry, D.W.McCarthy, Astrophys. J. Suppl. Ser., 77, 41, 1991.
18. M.S.Bessell, Astron. J., 101, 662, 1991.
19. C.Jaschek, M.Jaschek, The Classification of Stars, Cambridge Univ. Press, 1987.

20. *V.S.Tamazian, J.A.Docobo, N.D.Melikian, A.A.Karapetian*, Publ. Astron. Soc. Pac., **118**, 814, 2006.
21. *W.Buscombe*, III/222 14<sup>th</sup> General Catalogue of MK Spectral Classification. Northwestern Univ. Evanston.Illinois ISBN 0-939160-12-9, 1999.
22. *S.Kwok, K.Volk, W.P.Bidelman*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **112**, 557, 1997.
23. *R.M.Cutri, M.F.Skrutskie, S. van Dyk et al.*, 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources, VizieR On-line Data Catalog II/246, 2003.
24. *M.S.Bessell, J.M.Brett*, Publ. Astron. Soc. Pac., **100**, 1134, 1988.
25. *V.G.Klochkova, E.L.Chentsov, N.S.Tavolganskaya, M.V.Shapovalov*, Astrophysical Bulletin, vol. 62, 2007.
26. *P.Maffei, G.Tosti*, Astron. J., **109**, 2652, 1995.
27. *C.Magnan, M.-O.Mennessier, N.D.Melikian, M.H.Eritsian, A.A.Karapetian*, IBVS, 4390,1996.
28. *C.Magnan, M.-O.Mennessier, P. de Laverny, N.D.Melikian, M.H.Eritsian, A.A.Karapetian*, IBVS, 4524, 1997.
29. *P. de Laverny, M.-O.Mennessier, F.Mignard, J.A.Mattei*, Astron. Astrophys., **330**, 169, 1998.
30. *C.Magnan, N.D.Melikian, A.A.Karapetian*, Astrofizika, **42**, 341, 1999.
31. *E.E.Mendoza*, Bull. Obs. Tonantzintla y Tacubaya, **4**, 114, 1967.
32. *Г.А.Шайн*, Изв. АН СССР, сер. физ., **9**, 161, 1945.