

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД КР 2001 ПО СПЕКТРАМ, ПОЛУЧЕННЫМ ЩЕЛЕВЫМ СПЕКТРОГРАФОМ. II

Г. В. ПЕТРОСЯН

Поступила 5 апреля 2013

Принята к печати 12 июня 2013

Приводятся результаты двухмерной классификации тринадцати звезд из каталога КР2001. ПЗС спектры этих звезд были получены на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории со спектральными камерами SCORPIO и VuY FOSC2. При классификации используются методы, основанные на депрессионных полосах молекул TiO и CaH, а также линий поглощения FeI, D линий NaI, иона BaII, линии Na и других. Классы светимостей были определены с помощью полосы CaH, минимальное значение депрессионной глубины которой наблюдается на $\lambda 6975 \text{ \AA}$. Результаты классификации звезд приведены в табл.1, подклассы звезд меняются от M5 до M10, а классы светимостей - от сверхгигантов (I) до гигантов (III). Принимая во внимание то, что звезды КР2001 находятся близко от плоскости нашей Галактики, учитывалось межзвездное поглощение, с учетом которого на диаграмме (*J - H*) и (*H - K*) они попадают в область LPV. Звезды КР2001-6, 7, 70 и 230 оказались переменными, что подтверждается поведением их кривых яркостей, взятых из базы данных NSVS. Из них КР2001-6, 7 и 70 являются полуправильными переменными (SR), а КР2001-230 - типа Мира. Причем переменность последней звезды на фотографических пластинках с разницей в один год была выявлена в 2003г. (разница фотографических величин была $1^{\text{m}}.2$).

Ключевые слова: *звезды: спектральная классификация*

1. *Введение.* Классификация звезд каталога КР2001 имеет особую цель. В работе [1] приведены результаты предварительной одномерной классификации звезд каталога КР2001, сделанной по спектрам, полученным 4° объективной призмой на 1-м телескопе Шмидта БАО. Каталог КР2001 доступен в электронном формате: <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?source=J/other/Ap/44.335>. В [1] отмечено, что по сравнению с окружающими областями, парциальная плотность красных звезд в данной области выше, и достигает в центральной части до 20 звезд на квадратный градус. В [2] показано, что на фотографических пластинках данной области, полученных на 1-м телескопе Шмидта БАО с разницей в год, примерно 11.3% звезд этого каталога оказались переменными. Кроме того, на этих пластинках, при просмотре звезд фона, были обнаружены еще три переменные [3]. Учитывая, что плотность звезд фона гораздо выше по сравнению с плотностью звезд каталога, можно сказать, что доля переменности звезд в каталоге значительно больше, чем у звезд фона. Чтобы выяснить эволюцию звезд типа М и звезд плоской составляющей

Галактики в целом, необходимо произвести многостороннее изучение этих звезд. Прежде всего необходимо уточнить подклассы звезд каталога и определить их классы светимостей.

С этой целью, первые ПЗС спектры для семи объектов каталога KP2001, в диапазоне $\lambda\lambda 3940+8500 \text{ \AA}$, были получены в 2009г. на 1.52-м телескопе Болонской астрономической обсерватории в Лояно (Италия) [4].

Основным критерием для точного определения подкласса красных звезд являются полосы поглощения TiO и VO ближнеинфракрасной области спектра, особенно полосы поглощения VO, которые очень чувствительны к изменениям температуры [5]. Настоящая область наблюдаемых спектров охватывает более узкий промежуток спектра $\lambda\lambda 3920+7420 \text{ \AA}$ и в которую, к сожалению, не попадают те полосы TiO и VO, по которым классифицировались звезды в [4]. Поэтому, для классификации звезд в данной работе использовались критерии, приведенные в работах [6-8]. Как описано в [6] линии TiO, CaH и FeI дают возможность довольно точного определения подклассов и классов светимостей красных звезд. В работе [7] также использовались полосы CaH для классификации красных звезд, а для определения классов светимостей I, II, III, IV и V этих звезд использовались D линии NaI. Для классификации можно использовать также инфракрасные цвета звезд [8]. В спектрах этих звезд часто наблюдается эмиссионная линия H α , которая тоже учитывается при классификации.

2. Спектральные наблюдения. Спектры тринадцати звезд каталога KP2001 были получены на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории со спектральными камерами SCORPIO с дисперсией $1.7 \text{ \AA}/\text{pix}$ и Vuu FOSC2

Таблица 1

НАБЛЮДАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ И СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД

№ звезды	Дата наблюдения	Экспозиция (с)	Классификация по [1]	ПЗС классификация
KP2001-6	06.11.2008г.	600	M7	M7 I
KP2001-7	12.10.2009г.	600	M6	M8 II
KP2001-18	12.10.2009г.	300	M5	M5 I
KP2001-22	06.11.2008г.	900	M7	M9 I
KP2001-49	08.11.2008г.	600	M6	M7 II
KP2001-50	06.11.2008г.	600	M7	M8 I
KP2001-70	08.11.2008г.	300	M8	M10 III
KP2001-79	12.10.2009г.	900	M5	M6 II
KP2001-88	10.11.2008г.	600	M7	M7 I
KP2001-99	10.11.2008г.	600	M5	M5 II
KP2001-201	31.08.2005г.	120	M7	M8 II
KP2001-230	12.10.2009г.	900	M9	M8 I
KP2001-237	12.10.2009г.	600	M8	M8 III

с дисперсией $1.9 \text{ \AA}/\text{pix}$, оснащенной гризмой ($C = 600$ шт/мм). Система охватывает спектральную область $\lambda\lambda 3920 + 7420 \text{ \AA}$. Шель спектральной камеры была направлена на восток-запад, ширина $2''$, высота $5'$.

Обработка наблюдений проводилась с помощью пакета MIDAS-ESO.

Сведения о наблюдаемом материале приведены в табл.1, где нумерация звезд такая же как в [4].

3. Спектральная классификация. Для определения с большой точностью подклассов и классов светимостей звезд типа М, важно учитывать внутреннюю структуру каждой полосы молекул. Депрессии интенсивностей с двух крыльев (голубой и красной) каждой полосы до минимального значения интенсивности происходят неодинаковым образом. Они могут иметь как одинаковую, так и разную крутизну. Иногда полоса имеет больше одного минимума. Причем падение интенсивностей внутри каждой полосы в подавляющем большинстве случаев бывает не равномерным, как это происходит внутри линии поглощения атомов. У полос эти процессы часто происходят подъемами и спусками - они очень разнообразны. Такие образования внутри полос молекул зависят от сложных физических процессов, происходящих в атмосферах М звезд.

В спектрах красных звезд, полученных в оптической и ближнеинфракрасной области $\lambda\lambda 3900 + 9000 \text{ \AA}$ полосы молекул TiO в основном охватывают область $\lambda\lambda 4700 + 8900 \text{ \AA}$. Полосы TiO многочисленны и проявляются почти во всех частях отмеченной области. Подробное изучение этих полос TiO может дать много новых возможностей для повышения точности определения подклассов и классов светимостей красных звезд.

Как отмечено выше, для полученных спектров будут использованы спектральные особенности тех молекулярных полос и линий, которые попадают в наблюдаемую область. В работах [6-8] приведены спектры стандартных красных звезд и отмечены линии, которые используются при их классификации. Из данных линий были выбраны полосы молекул TiO и CaH, а также линии поглощения атомов FeI, BaII, NaI и HI, при помощи которых проводится классификация звезд.

В работе [7] для этой цели были использованы линии отмеченных элементов и некоторые полосы TiO, попадающие в наблюдаемый интервал. Разработанный метод в этой работе имеет эмпирический характер, на основании которого создан список 33 стандартных звезд со спектральными типами от K2 до M6 и с классами светимостей от сверхгигантов Ia до звезд Главной последовательности V. В [7] используются полосы TiO, расположенные в разных частях спектра с разными депрессионными глубинами. Из них самыми важными являются TiO $\lambda 6170 \text{ \AA}$, TiO $\lambda\lambda 6654 \text{ \AA}$, 6684 \AA и 6717 \AA .

Однако как величины депрессионных глубин этих полос, так и величины депрессионных глубин, используемые для классификации отмеченных

линий, относительны. Отмеченные значения длин волн соответствуют самым глубоким частям полос. Каждая из линий TiO $\lambda\lambda 6654$ и 6684 \AA имеет по две компоненты: $\lambda\lambda 6651, 6658 \text{ \AA}$ и $\lambda\lambda 6681, 6686 \text{ \AA}$, соответственно. В отличие от более ранних звезд, в которых сравнительно четко выражаются непрерывные спектры, у этих звезд они сильно загрязняются из-за присутствия в спектрах многочисленных полос поглощения. Поэтому у этих звезд в работе [6] отмечаются всего 6 точек, которые принадлежат к непрерывному спектру. В области наших наблюдений, согласно [6], имеются только две точки с длинами волн $\lambda\lambda 6530$ и 7040 \AA , которые считаются точками непрерывного спектра. Поэтому, данные полос и величин атомов будут отличаться от их истинных значений. В [7] используется также одна депрессионная область, которая наблюдается в спектре этих звезд, минимальная интенсивность которой наблюдается на длине волны $\lambda 6458 \text{ \AA}$. В [7] отмечается, что она образовалась путем слияния некоторых линий поглощения, главным образом CaI. В работах [1,6,10,11] отмечается, что красные звезды позднее M5, по существу переменные. Кроме этого, данные звезды не имеют истинного непрерывного спектра. Из изучаемых звезд по предварительной классификации [1], только три имеют подкласс M5, остальные - позднее M5.

Учитывая вышесказанное, для классификации звезд целесообразно использовать те характерные особенности наблюдаемых полос и депрессионной области $\lambda 6458 \text{ \AA}$, которые используются в работах [6-9].

В спектре KP2001-6 наблюдаются все вышеотмеченные полосы погло-

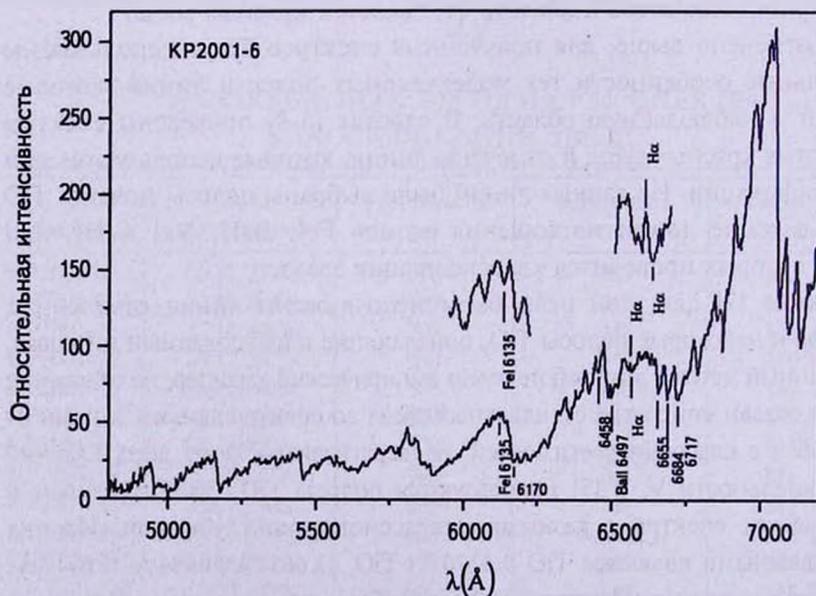


Рис.1. ПЗС спектр KP2001-6 в диапазоне $\lambda\lambda 4500+7200 \text{ \AA}$.

шения TiO и линий FeI $\lambda 6135 \text{ \AA}$, BaII $\lambda 6497 \text{ \AA}$, H α , NaI D, а также депрессионная область, минимальная длина волны которой равна приблизительно $\lambda 6458 \text{ \AA}$.

Из спектров стандартных звезд, а также из спектров наблюдаемых звезд, приведенных в работах [6,7], видно, что при переходе к более поздним подклассам минимальная интенсивность полосы $\lambda 6717 \text{ \AA}$ углубляется. В спектрах M звезд наличие линии поглощения FeI $\lambda 6135 \text{ \AA}$, BaII $\lambda 6497 \text{ \AA}$

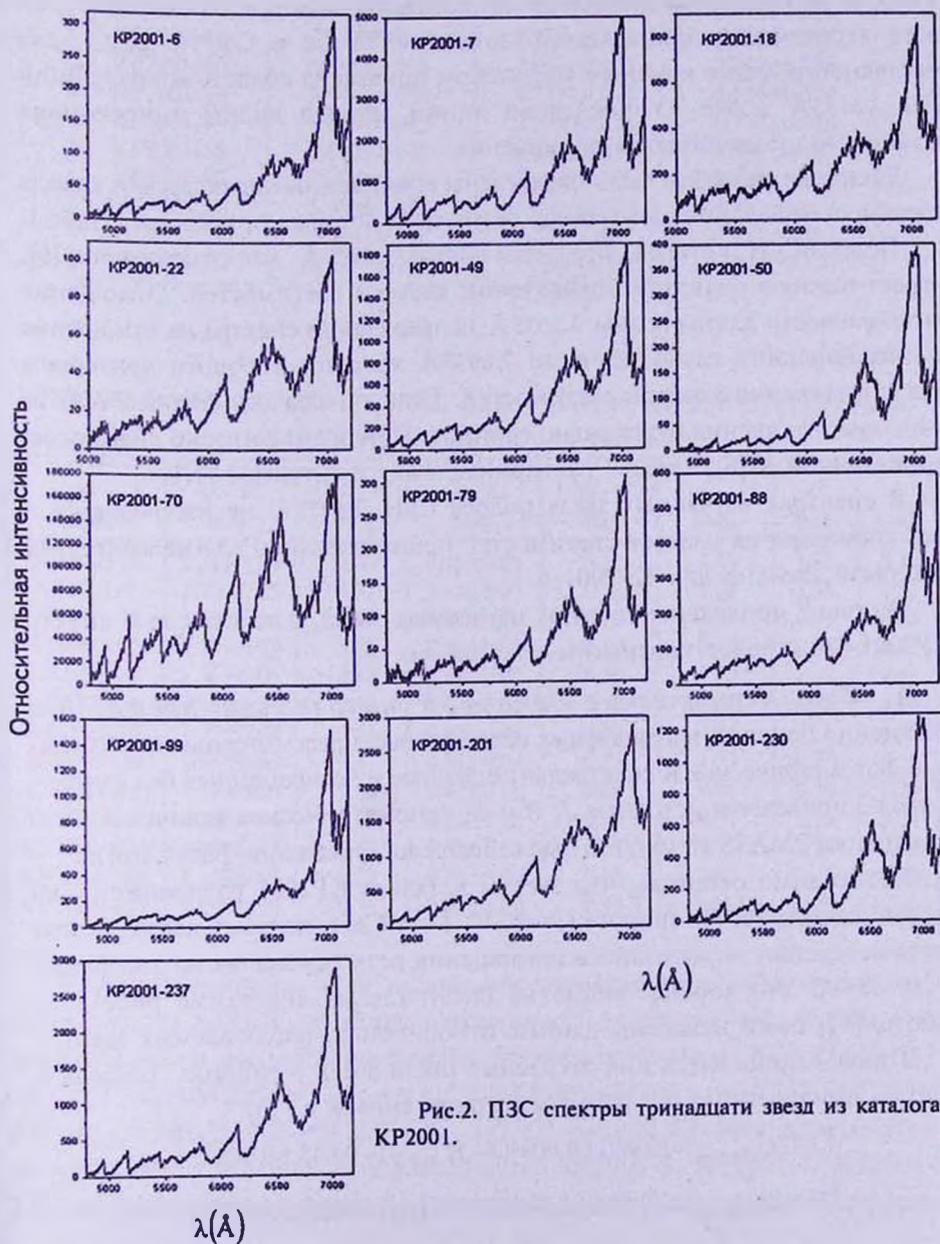


Рис.2. ПЗС спектры тринадцати звезд из каталога КР2001.

и депрессионной области $\lambda 6458 \text{ \AA}$ является признаком сверхгиганта. Эти линии наблюдаются в спектре KP2001-6, поэтому она отнесена по светимости к сверхгигантам I. В пользу этого предположения говорит также линия поглощения $H\alpha$, которая наблюдается в спектре и состоит из двух компонент - эмиссионной и поглощенной.

На рис.1 приведен спектр KP2001-6, где отмечены полосы и линии, указанные выше. Из рисунка видно, что на отмеченной части линии $BaII$ $\lambda 6497 \text{ \AA}$ наблюдаются несколько компонент, которые, согласно [7], по всей вероятности принадлежат элементам Ti, Fe и Ca. На рис.1, для наглядности, более крупным масштабом приведена область вокруг линии FeI $\lambda 6135 \text{ \AA}$ и $H\alpha$. У последней линии хорошо видны эмиссионная компонента и компонента поглощения.

Таким же способом были определены спектральные подклассы и классы светимостей для остальных звезд, результаты которых приведены в табл.1.

Полоса CaH , которая образуется вокруг $\lambda 6975 \text{ \AA}$, как отмечается в [6], играет важную роль при определении классов светимостей. Отношение интенсивности длины волны $\lambda 7035 \text{ \AA}$ непрерывного спектра на отношение к интенсивности глубокой части $\lambda 6975 \text{ \AA}$ является хорошим критерием для определения классов светимостей. Если полоса не наблюдается, то значение отношения будет равно единице. При этом, согласно диаграмме, приведенной в [6], звезды уже принадлежат к гигантам (III).

В спектрах изучаемых звезд полоса CaH $\lambda 6975 \text{ \AA}$ не наблюдается и для уточнения их классов светимостей использовались другие критерии, как было сделано для KP2001-6.

На рис.2 приведены спектры изучаемых звезд, в том числе и спектр KP2001-6, но более маленьким масштабом.

4. *Фотометрические данные и показатели цвета.* Для выяснения природы наблюдаемых объектов были рассмотрены все возможные фотометрические и спектральные данные из современных баз данных. В табл.2 приведены исходные J , H и Ks фотометрические величины звезд из каталога 2MASS (<http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/BabyCator>).

Необходимо отметить, что звезды каталога KP2001 расположены на низкой галактической широте ($l = 5^h 34^m$, $b = +5^\circ 20'$), поэтому наблюдаемые цвета вследствие межзвездного поглощения резко смещены на диаграмме $J-H$, $H-K$. Это хорошо видно на рис.4, где на диаграмме рис.А3 из работы [12] были нанесены данные относительно наблюдаемых звезд.

В табл.3 приводятся инфракрасные цвета звезд в системе Бессела и Бретта, вычисленные по формулам приведенным в [13]:

$$(J-H)_{2MASS} = (0.980 \pm 0.009)(J-H)_{BB} + (-0.045 \pm 0.006)$$

$$(H-Ks)_{2MASS} = (0.996 \pm 0.019)(H-K)_{BB} + (0.028 \pm 0.005).$$

Таблица 2

2MASS ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗВЕЗД КР2001

№ звезды	J mag.	H mag.	Ks mag.
КР2001-6	7.640±0.023	6.398±0.031	5.909±0.018
КР2001-7	6.003±0.021	4.874±0.026	4.436±0.016
КР2001-18	5.245±0.238	3.923±0.184	3.226±0.242
КР2001-22	8.055±0.024	6.842±0.020	6.319±0.021
КР2001-49	7.147±0.043	5.864±0.051	5.351±0.017
КР2001-50	5.089±0.035	3.999±0.162	3.296±0.278
КР2001-70	5.949±0.025	4.752±0.020	4.279±0.020
КР2001-79	8.577±0.025	7.288±0.024	6.752±0.018
КР2001-88	8.649±0.025	7.539±0.059	7.090±0.027
КР2001-99	7.999±0.018	6.905±0.038	6.520±0.020
КР2001-201	5.995±0.023	4.798±0.029	4.292±0.017
КР2001-230	6.306±0.023	5.249±0.047	4.665±0.017
КР2001-237	5.227±0.260	4.026±0.240	3.590±0.320

Таблица 3

2MASS ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, ПРИВЕДЕННЫЕ К СИСТЕМЕ БЕССЕЛА И БРЕТТА

№ звезды	J - H mag.	E(J - H) mag.	H - Ks mag.	E(H - Ks) mag.	E(B - V) mag.	A _r mag.	A _k mag.
КР2001-6	1.31±0.04	0.40	0.46±0.04	0.17	1.19	3.68	0.41
КР2001-7	1.20±0.03	0.37	0.41±0.03	0.15	1.08	3.35	0.37
КР2001-18	1.39±0.30	0.45	0.67±0.30	0.20	1.36	4.21	0.46
КР2001-22	1.28±0.03	0.28	0.50±0.03	0.10	0.77	2.38	0.26
КР2001-49	1.36±0.06	0.44	0.49±0.06	0.19	1.32	4.08	0.45
КР2001-50	1.16±0.20	0.43	0.68±0.30	0.19	1.30	4.02	0.44
КР2001-70	1.27±0.03	0.45	0.45±0.02	0.20	1.34	4.16	0.46
КР2001-79	1.36±0.03	0.51	0.51±0.03	0.23	1.53	4.75	0.52
КР2001-88	1.18±0.06	0.26	0.42±0.06	0.09	0.71	2.20	0.24
КР2001-99	1.16±0.04	0.26	0.36±0.04	0.09	0.71	2.20	0.24
КР2001-201	1.27±0.03	0.41	0.48±0.03	0.18	1.22	3.79	0.42
КР2001-230	1.12±0.05	0.33	0.56±0.05	0.13	0.95	2.95	0.32
КР2001-237	1.27±0.30	0.36	0.41±0.40	0.15	1.053	3.26	0.36

5. *Переменность.* Для выяснения переменности наблюдаемых 13 звезд каталога КР2001, из обзора переменности северного неба (NSVS) [14] подробно были рассмотрены кривые яркости этих звезд. Для КР2001-18 ($R_{\text{rise}} = 9^{\text{m}}.9$), КР2001-49 ($R_{\text{rise}} = 11^{\text{m}}.8$), КР2001-50 ($R_{\text{rise}} = 10^{\text{m}}.7$), КР2001-201 ($R_{\text{rise}} = 10^{\text{m}}.5$), КР2001-237 ($R_{\text{rise}} = 9^{\text{m}}.7$) кривые яркости практически не показывают признаков переменности. КР2001-6, КР2001-7, КР2001-230 показывают переменность яркости, и они присутствуют в каталоге

"Красные переменные в NSVS" [15]. В этом каталоге KP2001-6 и KP2001-7 классифицированы как полуправильные переменные (SR) с амплитудой $1^m.67$ и $0^m.39$, $R_{\text{Розсе}} = 12^m.0$ и $R_{\text{Розсе}} = 10^m.5$, с периодами 148 и 290 дней, соответственно. KP2001-230 также включена в каталог как переменная

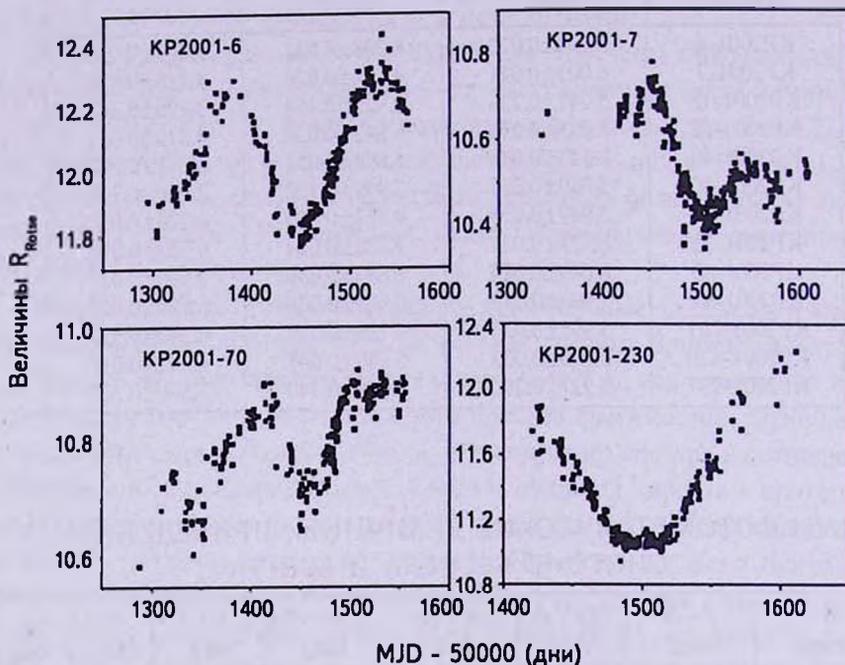


Рис.3. Кривые изменения яркости звезд из базы данных NSVS.

типа Мира с амплитудой $1^m.25$, $R_{\text{Розсе}} = 11^m.3$ с периодом в 249 дней. Звезда KP2001-70 не включена ни в один из каталогов переменных звезд, но она в [16] отмечена как переменная SR, с периодом в 95 дней, с амплитудой $0^m.35$. На рис.3 приведены кривые яркости указанных четырех звезд, взятые из базы данных NSVS [14].

6. Результаты и обсуждение. В предыдущих разделах описаны спектры, инфракрасные цвета и фотометрические характеристики тринадцати звезд каталога KP2001.

Девять из них - KP2001-18, 22, 49, 50, 79, 88, 99, 201 и 237 по данным NSVS не показывают переменность. Из этих звезд только KP2001-22 на диаграмме рис.4 расположена в области углеродных звезд. Однако в ее спектре не наблюдается ни одной полосы молекул углеродного соединения. По всей вероятности она, как и другие изучаемые звезды, является красным гигантом, которые попадают в области LPV.

В [1] отмечено, что среди звезд KP2001 возможно есть много переменных, которые до сих пор не обнаружены. Это предположение впервые

подтвердилось в работе [2], о чем было сказано выше. В работе [4] обнаружилось три переменные, а в настоящей работе говорится о четырех переменных звездах. Таким образом, среди 20 изучаемых звезд в [4] и в настоящей работе семь звезд или порядка 30% являются переменными звездами. Это говорит о том, что в каталоге КР2001 имеются много нестационарных звезд, которые могут пролить свет на проблему эволюции красных звезд.

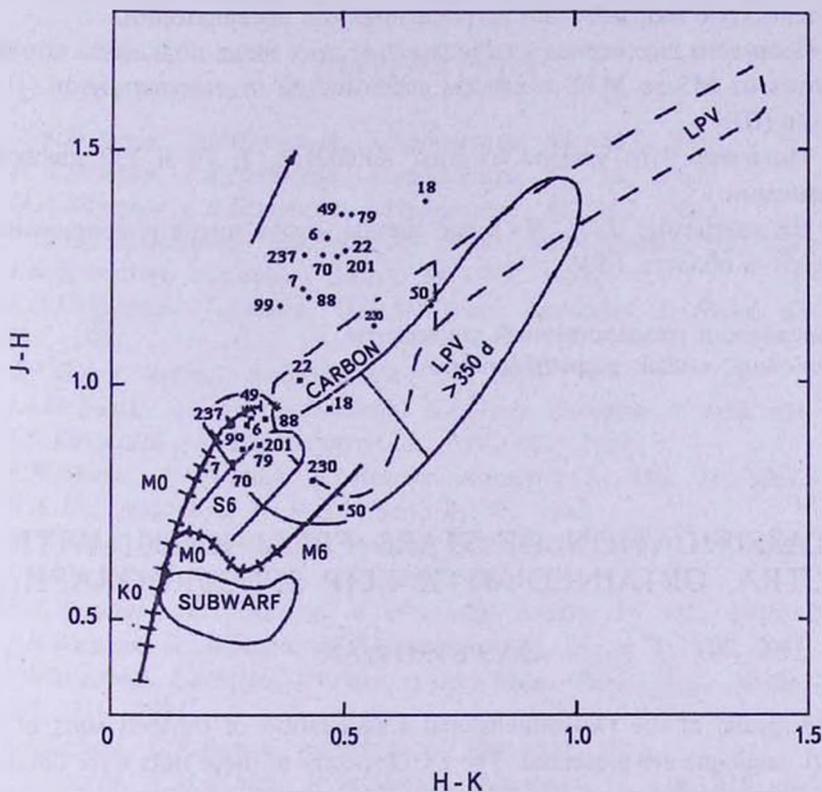


Рис.4. Диаграмма J - H. H - K.

Звезда КР2001-230, которая является переменным типа Мира на диаграмме J - H, H - K (рис.4) попадает в область Мира (LPV). Звезды КР2001-6, 7, 70, которые являются полуправильными переменными (SR), на этой диаграмме также попадают в область LPV.

Известно, что в спектрах карликов поздних подклассов не наблюдаются полосы поглощения VO у $\lambda 7900 \text{ \AA}$, они наблюдаются в спектрах гигантов [17-19]. В этих же работах утверждается, что те звезды типа М, которые находятся в поглощающих облаках, являются гигантами. Эти два факта имеют место у изученных нами звезд, так как они все поздних подтипов

и при их классификации в работе [1] использовалась полоса $\lambda 7900 \text{ \AA}$ и, одновременно, они находятся близко от плоскости Галактики в поглощающей области. Поэтому их излучение подвержено сильному поглощению, о котором свидетельствует их расположение на диаграмме до и после учета поглощения.

Резюмируя вышеприведенные результаты, можно отметить:

1. Получены ПЗС спектры тринадцати звезд из каталога KP2001 на 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории.

2. Проведена двухмерная классификация этих звезд, подклассы которых меняются от M5 до M10, а классы светимостей от сверхгигантов (I) до гигантов (III).

3. Показано, что четыре из них, KP2001-6, 7, 70 и 230 являются переменными.

4. На диаграмме $J-H$, $H-K$ все звезды, в том числе и переменные, попадают в область LPV.

Ереванский государственный университет,
Армения, e-mail: gogpetr@rambler.ru

CLASSIFICATION OF STARS FROM KP2001 WITH SPECTRA, OBTAINED WITH SLIP SPECTROGRAPH. II

G.V.PETROSYAN

The results of the two-dimensional classification of thirteen stars of the KP2001 catalogue are presented. The CCD spectra of these stars were obtained at the 2.6m telescope of the Byurakan Observatory with spectral cameras SCORPIO and Byu FOSC2. Methods used for the classification are based on the depressional bands of TiO and CaH, as well as absorption lines FeI, D line NaI, ion BaII, H α line and others. Luminosity classes were determined by band CaH, depressional minimum depth of which observed on the $\lambda 6975 \text{ \AA}$. The results of the classification of stars are given in Table 1, subclasses of stars changes from M5 to M10, and the luminosity classes changes of super giants (I) to giants (III). Taking into account the fact that the KP2001 stars are close from the plane of our Galaxy, the interstellar absorption was taken into account, and in the diagram ($J-H$), ($H-K$) they fall in the areas of LPV. KP2001-6, 7, 70 and 230 stars are variables, that confirms light curve behavior of database NSVS. Of these, KP2001-6, 7 and 70 are semi-regular variable

(SR) and KP2001-230 is Mira variable. Moreover, the variability of this star on photographic plates with one year difference has been shown in 2003 (the difference of the photographic magnitudes was $1^m.2$).

Key words: *stars: spectral classification*

ЛИТЕРАТУРА

1. М.А.Казарян, Г.В.Петросян, *Астрофизика*, 44, 413, 2001.
2. М.А.Казарян, Г.В.Петросян, *Астрофизика*, 46, 35, 2003.
3. М.А.Казарян, Г.В.Петросян, *Астрофизика*, 46, 607, 2003.
4. С.Rossi, S.Gandenzi, G.V.Petrosyan *et al.*, *Астрофизика*, 52, 577, 2009.
5. J.Solf, *Astron. Astrophys. Suppl.*, 34, 409, 1978.
6. J.D.Kirkpatrick, T.J.Henry, D.W.McCarthy, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 77, 417, 1991.
7. G.F.Gahm, *Astron. Astrophys.*, 4, 268, 1970.
8. J.J.Bochanski, A.A.West, S.L.Hawely, K.R.Covey, *Astrophys. J.*, 133, 531, 2007.
9. J.D.Kirkpatrick *et al.*, *Astrophys. J.*, 519, 802, 1999.
10. P.W.Merril, A.J.Deutsch, A.J.Kennan, *Astrophys. J.*, 136, 21, 1962.
11. H.A.Abi, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 8, 99, 1963.
12. M.S.Bessel, J.M.Brett, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 100, 1134, 1988.
13. J.M.Carpenter, *Astron. J.*, 121, 2851, 2001.
14. P.R.Wozniak, W.T.Vestrand, C.W.Akerlof, *Astron. J.*, 127, 2436, 2004.
15. P.R.Wozniak, S.J.Williams, W.T.Vestrand *et al.*, *Astron. J.*, 128, 2965, 2004.
16. P.Whiterlock, J.Menzies, M.Feast *et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 267, 711, 1994.
17. J.J.Nassau, C.R.Purton, *Astrophys. J.*, 139, 190, 1964.
18. J.J.Nassau, V.M.Blanco, W.W.Morgan, *Astrophys. J.*, 120, 478, 1954.
19. S.Sharpless, *Astrophys. J.*, 124, 342, 1956.