

BVRI CCD-ФОТОМЕТРИЯ ЗВЕЗД СРАВНЕНИЯ В
ОКРЕСТНОСТЯХ ГАЛАКТИК С АКТИВНЫМИ
ЯДРАМИ. IVВ.Т.ДОРОШЕНКО^{1,2}, С.Г.СЕРГЕЕВ², Ю.С.ЕФИМОВ²,
С.А.КЛИМАНОВ², С.В.НАЗАРОВ²

Поступила 11 октября 2007

Принята к печати 14 ноября 2007

Мы представляем результаты наблюдений 24 звезд в окрестностях трех сейфертовских галактик MCG +08-23-067, Mrk 817 и Mrk 290. Наблюдения проводились с матричным фотометром в полосах *BVRcIc*. Диапазон звездных величин наблюдавшихся звезд в фильтре *V* от 13.5 до 17.2. Для звезд почти 15 зв. вел. типичная фотометрическая ошибка составляет 0.011, 0.011, 0.008 и 0.010 зв. вел. в полосах *BVRI*, соответственно. Для всех исследованных звезд *BVRI* величины ранее не были известны. В поле галактики Mrk 290 обнаружена звезда с периодическим изменением блеска с $P=1.518$ суток и средней величиной в фильтре *V*=14.80, которая, возможно, принадлежит к классу "запятненных" звезд. Карты для отождествления звезд размером 14' x 14' прилагаются. Результаты могут быть использованы для дифференциальной фотометрии ядер активных галактик в *BVRI* полосах.

Ключевые слова: *активные ядра галактик, звезды сравнения, оптическая фотометрия*

1. *Введение.* Эта работа является продолжением трех предыдущих работ по фотометрии звезд сравнения в окрестностях активных галактик, которую мы начали с конца 2001г. в Крымской астрофизической обсерватории. В более ранних статьях [1-3] приводятся данные о звездах сравнения для 54 объектов с прямым восхождением от 0 до 24 часов. Представленная статья включает 3 галактики с активными ядрами: MCG +08-23-067, Mrk 817 и Mrk 290.

2. *Наблюдения и измерения.* Все наблюдения были сделаны в течение марта-июля 2007г. на 70-см телескопе Крымской астрофизической обсерватории с помощью CCD камеры AP7p. Оборудование, процесс наблюдений и редукция данных были подробно описаны в работе [1]. Фотометрические измерения в окрестностях MCG +08-23-067 и Mrk 817 проводились методом апертурной фотометрии с апертурой диаметром 15", а в окрестности Mrk 290 с апертурой 12", поскольку в апертуру $A=15''$ при измерении галактики могла попадать звезда. Для калибровки использовались вторичные стандарты в ранее исследованных полях в четырех сейфертовских галактик [1,2]: NGC 3227, NGC 3516, NGC

4051 и NGC 5548, которые наблюдались нами в те же ночи, что и три исследуемые галактики. Одна из относительно ярких звезд в каждом поле была принята нами в качестве главной звезды для калибровки. Как

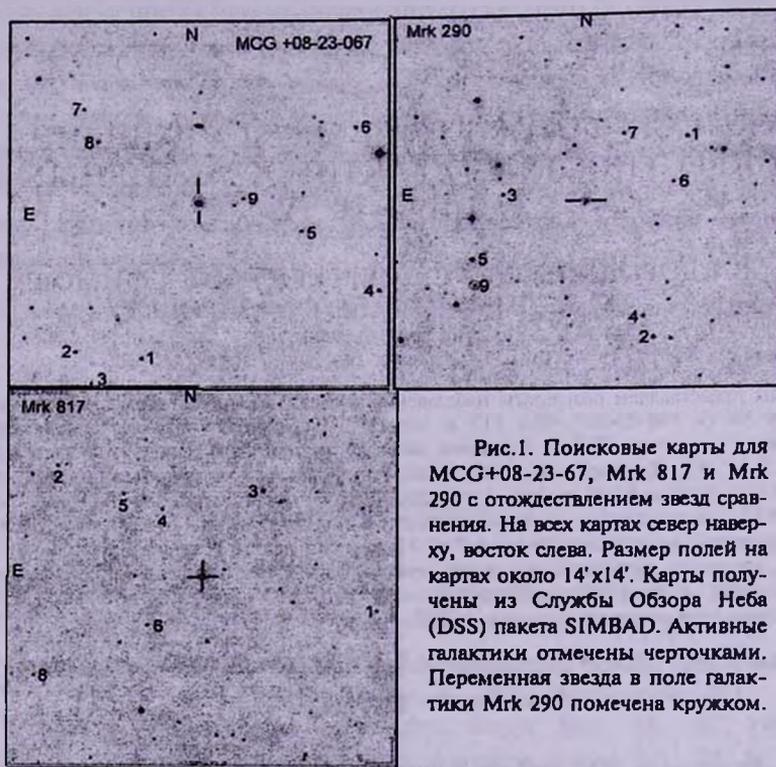


Рис.1. Поисковые карты для MCG+08-23-67, Mrk 817 и Mrk 290 с отождествлением звезд сравнения. На всех картах север наверху, восток слева. Размер полей на картах около $14' \times 14'$. Карты получены из Службы Обзора Неба (DSS) пакета SIMBAD. Активные галактики отмечены черточками. Переменная звезда в поле галактики Mrk 290 помечена кружком.

правило эту звезду мы выбирали так, чтобы она была не слабее галактики, и ее измерения блеска имели бы достаточно малую ошибку, и чтобы она находилась не слишком далеко от галактики. Для калибровки выбраны только хорошие фотометрические ночи, когда среднеквадратичные изменения потока от звезды во время нескольких измерений в течение ночи не превышали 1.5%, и когда качество изображений было не хуже $4''$. Чтобы получить звездные величины звезды сравнения, свободные от атмосферной экстинкции, мы использовали усредненную по ночам зависимость между разностями звездных величин и разностями воздушных масс двух звезд. При этом, одна звезда находилась в поле, звезды которого нужно было калибровать, т.е. в поле MCG +08-23-067, Mrk 817 и Mrk 290 (рис.1), а другая звезда находилась в поле, звезды которого служили стандартом, т.е. в поле NGC 3227 (звезда №1), NGC 3516 (звезда №1), NGC 4051 (звезда G4) и NGC 5548 (звезда №2). Затем в каждом фильтре на основе калибровок по нескольким стандартным областям мы вычисляли среднее значение звездной величины. Типичная неопределенность такого

метода составила 0.012, 0.009, 0.007 и 0.007 зв. величины в *BVR* и *I* полосах, соответственно. Далее дифференциальная фотометрия всех звезд, выбранных в качестве кандидатов в звезды сравнения, проводилась относительно главной звезды в поле каждой активной галактики. Впоследствии, с помощью уравнений преобразования, которые обсуждались в работе [1], мы переводили инструментальные звездные величины в международную систему Джонсона-Кузинса (*BVRcIc*).

3. *Результаты.* Координаты исследованных полей даны в табл.1, где указано: число наблюдательных ночей (колонка 4), число звезд, выбранных в качестве звезд сравнения (колонка 5), а также обозначения главной звезды (колонка 6) и обозначение переменных звезд, обнаруженных нами в исследуемом поле (колонка 7).

Таблица 1

Объект	Тип	Координаты (2000)		Количество		Обозначение	
		α	δ	ночей	зв.ср.	гл.зв.	пер. зв.
MCG +08-23-67	Sy1	12 ^h 36 ^m 51 ^s .0	+45°39'03"1	60	9	1	-
Mrk 817	Sy1	14 36 22.2	+58 47 39.3	70	7	3	-
Mrk 290	Sy1	15 35 52.4	+57 54 09.2	62	8	1	9

Для обнаружения возможных переменных звезд в полях AGN мы использовали критерий χ^2 .

BVRcIc звездные величины всех измеренных нами звезд даны в табл.2. Для каждой звезды в табл.2 указаны: в колонке 1 ее обозначение в нашем поле с указанием переменности звезды (*var*), если она обнаружена; в колонках 2 и 3 даны координаты звезды, взятые нами из интерактивной программы Aladin в пакете SIMBAD. В колонках 4-13 указаны средние звездные величины в фильтрах *BVRcIc* и их ошибки. Поскольку наш фильтр *R1* близок к фильтру *I* в системе Кузинса, то мы получили две различных версии звездной величины *Ic*: одна определялась по наблюдениям в фильтре *R1* и соответствующая колонка в табл.2 обозначена как *Ic1*, а другая система *Ic* величин получена из наблюдений в фильтре *I* и соответствующая колонка в табл.2 обозначена как *Ic2*. Стандартные отклонения, помещенные в табл.2, включают все типы неопределенностей и дополнительные ошибки, полученные эмпирически и подробно обсуждаемые в первой части работы [1]. Для звезд почти 15 зв. величины типичные неопределенности составляют: $\sigma \approx 0^m.010$, $0^m.011$ в фильтрах *B*, *V*, $\sigma \approx 0^m.008$ в фильтре *R* и $\sigma \approx 0^m.012$ в фильтре *I*.

4. Обсуждение исследованных полей.

4.1. *MCG +08-23-067.* Этот объект принадлежит к сейфертовским галактикам первого типа (Sy1). Для этой области мы использовали

BVRcIc ВЕЛИЧИНЫ ЗВЕЗД СРАВНЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ AGN

Объект	Координаты 2000		B		V		Rc		Ic1		Ic2	
MCG+8-23-67	12 ^h 36 ^m 51 ^s .0	+45°39'03".1										
1	12 37 03	+45 33 04	15.031	0.006	14.435	0.007	14.067	0.004	13.714	0.007	13.713	0.006
2	12 37 17	+45 33 18	15.197	0.009	14.758	0.009	14.472	0.006	14.205	0.007	14.205	0.009
3	12 37 14	+45 32 03	16.934	0.024	15.944	0.019	15.310	0.010	14.647	0.010	14.630	0.013
4	12 36 12	+45 35 43	15.677	0.011	14.986	0.010	14.596	0.009	14.233	0.010	14.227	0.011
5	12 36 29	+45 38 02	17.360	0.043	16.005	0.016	15.165	0.009	14.427	0.009	14.428	0.010
6	12 36 17	+45 42 04	16.288	0.019	15.015	0.011	14.201	0.008	13.436	0.008	13.419	0.008
7	12 37 16	+45 42 44	16.064	0.014	15.220	0.010	14.723	0.008	14.272	0.009	14.275	0.011
8	12 37 13	+45 41 29	16.708	0.021	15.891	0.012	15.418	0.011	14.988	0.014	14.994	0.017
9	12 36 42	+45 39 19	18.565	0.131	17.161	0.040	16.265	0.018	15.443	0.018	15.451	0.017
Mrk 817	14 36 22.2	+58 47 39.3										
3	14 36 07	+58 50 39	14.566	0.016	13.660	0.010	13.167	0.008	12.716	0.009	12.715	0.008
1	14 35 37	+58 46 31	16.484	0.031	15.903	0.023	15.542	0.021	15.183	0.025	15.181	0.019
2	14 36 59	+58 51 31	16.428	0.030	15.110	0.013	14.281	0.007	13.566	0.008	13.572	0.008
4	14 36 32	+58 50 01	16.220	0.023	15.658	0.021	15.305	0.011	14.968	0.017	14.982	0.020
5	14 36 42	+58 50 33	16.087	0.017	15.165	0.016	14.644	0.008	14.186	0.010	14.187	0.010
6	14 36 36	+58 46 00	16.126	0.019	15.455	0.016	15.052	0.011	14.693	0.013	14.700	0.016
8	14 37 05	+58 44 17	16.400	0.019	15.813	0.027	15.433	0.015	15.067	0.015	15.070	0.017
Mrk 290	15 35 52.4	+57 54 09.2										
1	15 35 25	+57 56 42	14.926	0.008	14.078	0.015	13.600	0.009	13.180	0.009	13.188	0.011
2	15 35 33	+57 49 04	14.599	0.008	13.880	0.006	13.466	0.006	13.054	0.006	13.061	0.006
3	15 36 15	+57 54 22	15.616	0.010	15.075	0.008	14.731	0.007	14.420	0.009	14.431	0.007
4	15 35 36	+57 49 50	16.138	0.012	15.213	0.009	14.648	0.007	14.137	0.007	14.143	0.008
5	15 36 23	+57 51 55	14.514	0.009	13.461	0.008	12.836	0.007	12.319	0.007	12.328	0.006
6	15 35 28	+57 54 56	16.086	0.013	15.470	0.009	15.091	0.006	14.736	0.008	14.748	0.010
7	15 35 42	+57 56 46	16.094	0.012	15.454	0.010	15.059	0.006	14.666	0.007	14.675	0.008
9 var	15 36 22	+57 50 55	16.001	0.050	14.758	0.043	13.923	0.031	13.121	0.026	13.122	0.023

наблюдения с 21.03.2007 по 14.07.2007, всего 60 ночей. Нами были выбраны 9 звезд в качестве кандидатов в звезды сравнения. Главная звезда №1 (рис.1) была калибрована относительно звезды №1 в поле NGC 3227 по 23 общим ночам хорошего качества, удовлетворяющих перечисленным выше условиям, а также по звезде №1 в поле NGC 3516 (30 ночей), по звезде G4 в поле NGC 4051 (33 ночи) и по звезде №2 в поле NGC 5548 (32 ночи). За окончательную оценку было принято среднее значение из этих калибровок. Среди выбранных звезд не было обнаружено переменных звезд в указанный наблюдательный период. Мы не нашли в литературе ссылок на работы, где были бы исследованы звезды в окрестностях этой галактики.

4.2. *Mrk 817*. Это сейфертовская галактика I типа. Использовались наблюдения в течение 70 ночей за время с 20.03.2007 по 17.07.2007. В качестве главной звезды была выбрана звезда №3 (рис.1). Она была

калибрована относительно звезды №1 в поле NGC 3227 по 23 ночам хорошего фотометрического качества, а также по звезде №1 в поле NGC 3516 (36 ночей), по звезде G4 в поле NGC 4051 (38 ночей) и по звезде №2 в поле NGC 5548 (36 ночей). Среднее значение из этих калибровок было принято за окончательную оценку. Затем была выполнена дифференциальная фотометрия еще 6-ти звезд относительно звезды №3. Среди исследованных звезд не были обнаружены звезды, которые за исследованный период показали бы переменность, значимо превышающую ошибки наблюдений. Три звезды (№3, №4 и №6) оказались общими со звездами, измеренными в работе [4], имевшими у авторов обозначения соответственно №6, №7 и №2. Однако звездные величины в работе [4] сделаны в нестандартной довольно узкополосной системе. Поэтому их невозможно сравнивать с нашими данными, даже если использовать приводимые авторами соотношения для перевода их значений в обычные BV величины.

4.3. *Mrk 290*. Мы анализировали наблюдения этой Sy1 галактики, полученные в течение 62 ночей за период с 20.03.2007 по 17.07.2007. В качестве кандидатов в звезды сравнения были выбраны 8 звезд, а среди них в качестве главной взята звезда №1 (рис.1), которая была калибрована относительно звезды №1 в поле NGC 3227 по 25 ночам, по звезде №1 в поле NGC 3516 (35 ночей), по звезде G4 в поле NGC 4051 (38 ночей) и по звезде №2 в поле NGC 5548 (35 ночей) и окончательно в таблице приводится средняя величина из этих калибровок во всех фильтрах. В опубликованной литературе лишь в работе [4] имеются оценки звезд сравнения в поле этой галактики. Две звезды (№6 и №7) являются общими со звездами соответственно №5 и №6 из работы [4], но по причине, указанной выше, оказалось невозможным сравнить их звездные величины. Среди исследованных звезд одна звезда (№9) оказалась явно переменной звездой.

4.4. *Исследование звезды №9 в поле Mrk 290*. По каталогу NOMAD1 [<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/cats/I.htm>] эта звезда имеет номер 1478-0314015 и координаты $\alpha = 15^{\text{h}}36^{\text{m}}22^{\text{s}}.56$, $\delta = +57^{\circ}50'53''.9$ (2000.0). Звезда находится на галактической широте $b = 47^{\circ}.9$ и, скорее всего, межзвездное поглощение невелико. Действительно, согласно данным Шлегеля и др. [5], в направлении на эту звезду $E(B - V) = 0^{\text{m}}.013$ и поглощение в полосе $V = 0^{\text{m}}.043$. $BVRI$ данные по звезде №9 за 62 ночи наблюдений были проанализированы методом Диминга [6] на предмет поиска периодичности. На рис.2а, 2б приведены периодограмма в полосе V и спектральное окно данных. В спектральном окне четко выделяется пик на частоте $\nu_w = 1.001$ циклов в сутки, а на самой периодограмме

присутствуют пики на частоте $\nu_1 = 0.659$ циклов в сутки ($P = 1.5178$ дня) и на частотах $\nu_2 = 0.342$ и $\nu_3 = 1.659$ циклов в сутки, которые появляются в результате взаимодействия частоты спектрального окна ν_w с частотой ν_1 : $\nu_2 = \nu_w - \nu_1$ и $\nu_3 = \nu_w + \nu_1$. Пик на частоте $\nu_4 = 1.343$ тоже появляется в результате сопряжения частоты ν_2 с частотой ν_w : $\nu_4 = \nu_w + \nu_2$. Заметим также, что вычитание кривой блеска с периодом $P = 1.5178$ дня из основной кривой блеска и последующее построение периодограммы для разностной кривой не привело к появлению на периодограмме каких-либо пиков, превышающих уровень шума (см. рис.2с).

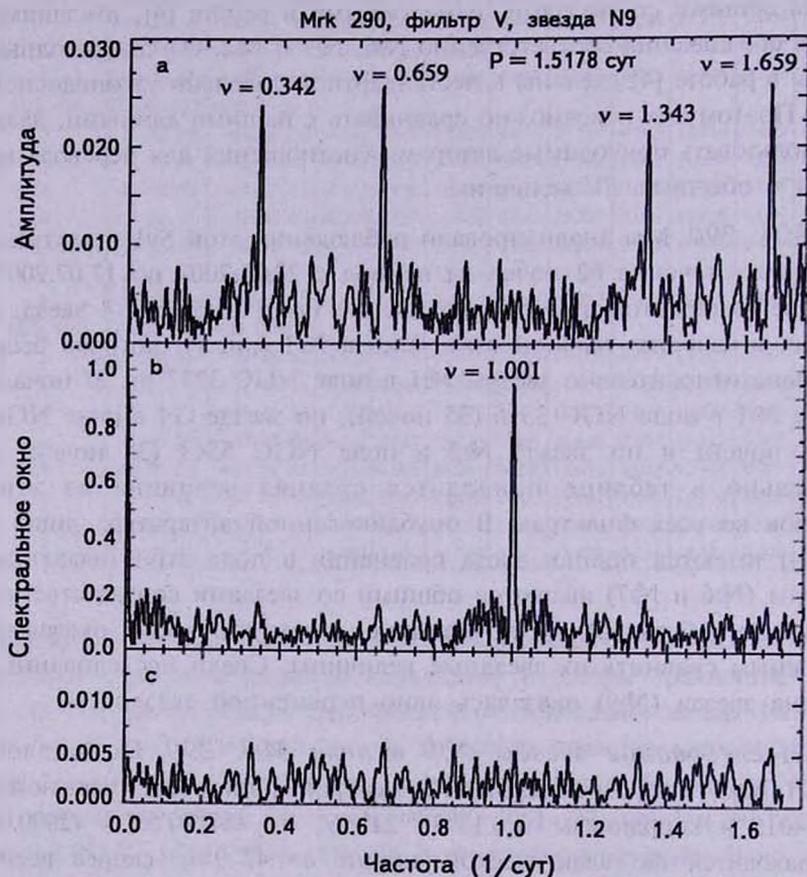


Рис.2. (а, б) Периодограмма и спектральное окно для данных в полосе V по звезде №9 в поле галактики Mrk 290. На рис.2с приведена периодограмма после вычитания из исходной кривой блеска периодических изменений с периодом $P = 1.5178$ суток. Аналогичные периодограммы получаются и для данных в остальных спектральных полосах.

На рис.3 приводится кривая блеска звезды №9 в полосе V и фазовая кривая, свернутая с периодом $P = 1.5178$ дня. Для фазовой кривой за начальную эпоху взято $JD = 2454180$. В других спектральных

полосах $V R c I c$ фазовые кривые похожи. Все они довольно симметричны. Амплитуда переменности, полученная по сглаженным фазовым кривым блеска, невелика: $\Delta B = 0^m.106$, $\Delta V = 0^m.098$, $\Delta R = 0^m.078$, $\Delta R I = 0^m.056$ и $\Delta I = 0^m.053$. Средняя звездная величина в полосе V и средние наблюдаемые показатели цвета таковы: $V = 14.758$, $B - V = 1.245$, $V - R c = 0.835$ и $V - I c = 1.637$. Наложение средней периодической кривой блеска на наблюдаемую кривую блеска не показало наличия достаточно больших отклонений, указывающих на присутствие сильных вспышек. Однако дисперсия точек около средней кривой довольно велика. Так, стандартное отклонение от средней фазовой кривой всегда больше средней ошибки наблюдений. Например, стандартные отклонения от средней фазовой кривой в полосах $BVRcIc$ равны соответственно 0.027, 0.023, 0.016 и 0.013 зв. величины, а характерная ошибка одного наблюдения в тех же спектральных полосах составляет 0.019, 0.011, 0.007 и 0.007 зв.

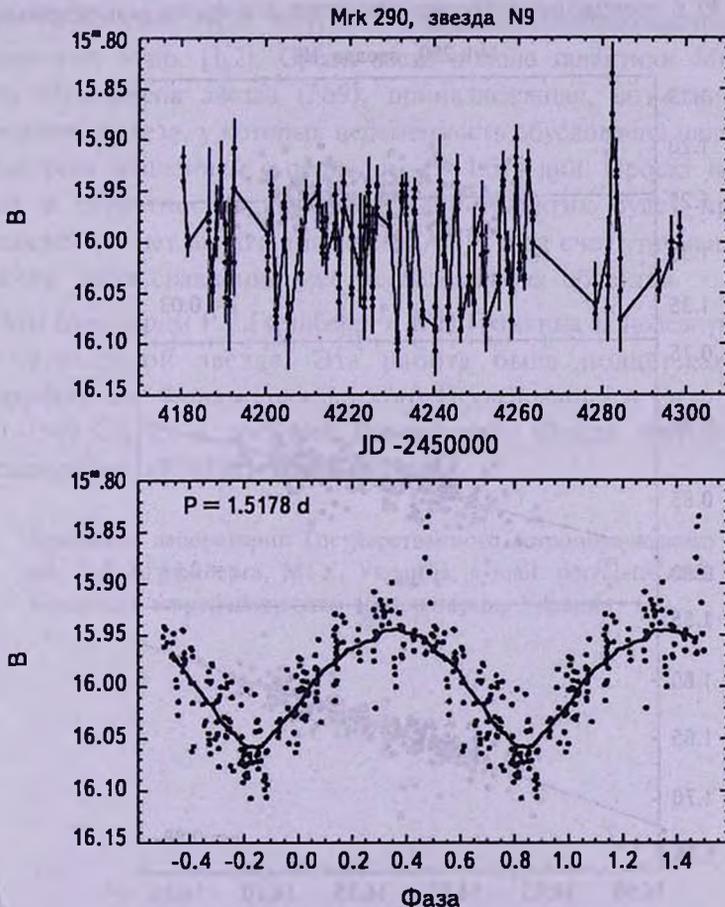


Рис.3. Кривая блеска в зависимости от времени и фазовая кривая блеска с периодом $P = 1.5178$ дня в полосе V . Сплошной линией на фазовых кривых показано усреднение скользящим средним.

величины. Это позволяет предположить, что в дисперсию точек вокруг средней фазовой кривой, помимо ошибок наблюдения, вносят вклад еще какие-то нестационарности. Не исключено, что нам удалось даже отнаблюдать возможную небольшую голубую вспышку с амплитудой $\Delta B \sim 0^m.1$, которая произошла 30 июня 2007г. (JD = 2454282.416).

Пока трудно точно определить тип переменности, не имея спектра этой звезды. По показателю цвета $B - V$ звезду можно отнести к спектральному классу K5-K6. Однако почти симметричная форма фазовых кривых блеска (рис.3), а также изменения показателей цвета в зависимости от блеска, показанные на рис.4, характерны для "запятненных" звезд: при увеличении блеска показатель цвета $B - V$ практически не меняется, а показатели цвета $V - R$ и $V - I$ уменьшаются, т.е. звезда "голубеет". Зависимость " $V - (B - I)$ " свидетельствует против принадлежности исследуемой звезды к классу цефеид, поскольку у цефеид ($B - I$) с изменением блеска меняется и в фазах максимального

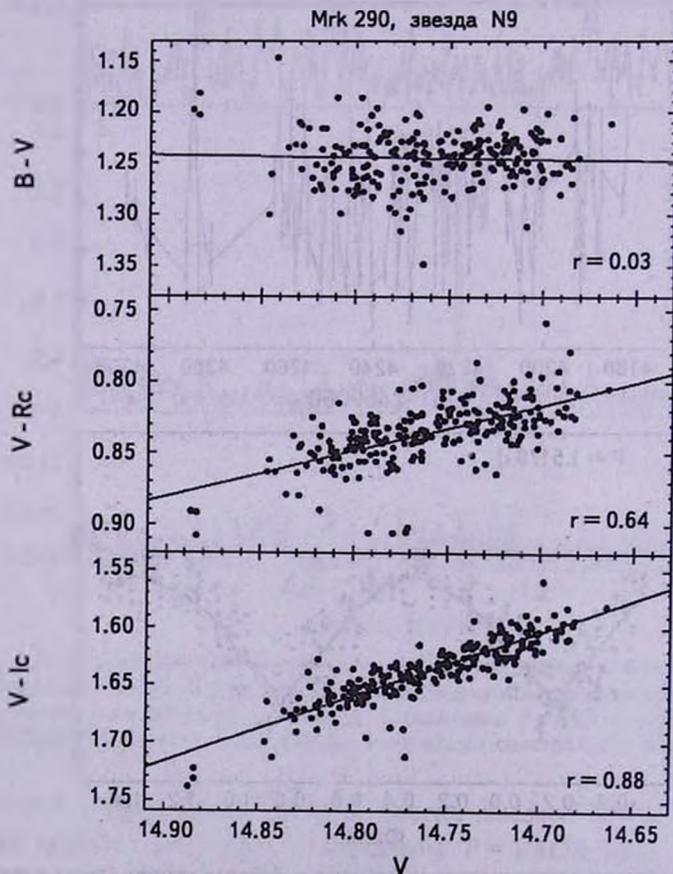


Рис.4. Соотношения "показатели цвета $B - V$, $V - Rc$ и $V - Ic$ против блеска в полосе V " для звезды №9.

блеска показатель цвета обычно бывает меньше, чем в фазах минимального блеска [7]. Кроме того, при периоде $P=1.5$ дня показатели цвета $B-V$ цефеид должны быть около $0^m.6$, что не согласуется с наблюдаемым нами показателем цвета у звезды №9 - ($B-V=1.24$) [8].

Таким образом, мы приходим к выводу, что обнаруженная нами переменная звезда, вероятно, принадлежит к «пятнистым» карликовым звездам спектрального класса K5-K6.

5. *Заключение.* В этой работе мы представили *BVRcIc* фотометрию 24 звезд в окрестностях 3 сейфертовских галактик: MCG +08-23-067, Mrk 817 и Mrk 290. Звездные величины наблюдаемых звезд покрывают область звездных величин от $13^m.5$ до $17^m.2$ в полосе *V*. Типичная неопределенность для звезд 15^m составляет $0^m.010$, $0^m.011$ в фильтрах *B* и *V*, $0^m.008$ в фильтре *R*, и $0^m.011$ в фильтре *I*. Для калибровки звезд мы использовали вторичные стандарты в звездных полях вокруг NGC 3227, NGC 3516, NGC 4051 и NGC 5548, опубликованные в работах Дорошенко и др. [1,2]. Среди звезд в поле галактики Mrk 290 нами была обнаружена звезда (№9), принадлежащая, возможно, к классу переменных звезд, у которых переменность обусловлена наличием пятен и быстрым вращением с периодом $P=1.518$ дня. Проект исследования звезд в окрестностях активных ядер галактик будет продолжен и расширен за счет включения новых AGN и за счет уточнения звездных величин звезд сравнения уже исследованных объектов.

Мы благодарим Р.Е.Гершберга и К.Н.Гранкина за полезную дискуссию по переменной звезде. Эта работа была поддержана грантом Американского Фонда Гражданского Исследования и Развития (CRDF) UP1-2549-CR-03 и грантом Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ) № 06-02-16843.

¹ Крымская лаборатория Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга, МГУ, Украина, e-mail: dorvalen@mail.ru

² Крымская астрофизическая обсерватория, Украина

BVRI CCD-PHOTOMETRY OF COMPARISON STARS
IN THE FIELDS OF ACTIVE GALAXIES. IVV.T.DOROSHENKO^{1,2}, S.G.SERGEEV², YU.S.EFIMOV²,
S.A.KLIMANOV², S.V.NAZAROV²

We present results of the CCD *BVRI* observations of 24 comparison stars in the fields of 3 Seyfert galaxies MCG +08-23-067, Mrk 817 и Mrk 290. The stellar magnitudes of observed stars cover the range from 13.5 to 17.2 in the filter *V*. Typical photometric uncertainty for stars 15 mag is 0.011, 0.010, 0.008 and 0.010 mag in *BVRI* bands respectively. *BVRI* magnitudes of all stars have never been published before. In the fields of Mrk 290 we revealed variable star with $V=14.8$ and periodical changes of brightness ($P=1.518$ days), which probably belongs to the class of spotted stars. Finding charts with the field of view about $14' \times 14'$ are also presented. These results can be used for differential photometry of AGNs in *BVRI* bands.

Key words: *AGN:comparison stars:optical photometry*

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Т.Дорошенко, С.Г.Сергеев, Н.И.Меркулова и др., *Астрофизика*, 48, 191, 2005.
2. В.Т.Дорошенко, С.Г.Сергеев, Н.И.Меркулова и др., *Астрофизика*, 48, 365, 2005.
3. В.Т.Дорошенко, С.Г.Сергеев, Ю.С.Ефимов и др., *Астрофизика*, 50, 57, 2007.
4. W.Webb, M.Malkan, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 130, 165, 2000.
5. D.J.Schlegel, D.P.Finkbeiner, M.Davis, *Astrophys. J.*, 500, 525, 1998.
6. T.J.Deeming, *Astrophys. Space Science*, 36, 137, 1975.
7. "Пульсирующие звезды", под ред. Б.В.Кукаркина, Наука, М., 1970.
8. Y.Alibert, I.Baraffe, P.Hauschildt, F.Allard, *Astron. Astrophys.*, 344, 551, 1999.