

УДК 524.33-3:520.82

## ПОИСК LBV-КАНДИДАТОВ В ГАЛАКТИКЕ М 33

© 2010 А. Ф. Валеев\*, О. Н. Шолухова, С. Н. Фабрика

*Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия*

Поступила в редакцию 7 октября 2009 г.; принята в печать 26 ноября 2009 г.

По результатам апертурной фотометрии отобраны 185 кандидатов в яркие голубые переменные звезды (LBV) с  $V < 18^m.5$ . Основным критерий выделения кандидатов — наличие  $H\alpha$ -эмиссии у голубых звезд. Чтобы не пропустить LBV-кандидаты с заметным межзвездным покраснением, составлен дополнительный список 25 красных звезд ( $0^m.35 < B - V < 1^m.2$ ,  $V < 18^m.5$ ), кандидатов в эмиссионные звезды. Сравнение со списком известных переменных звезд в галактике М 33 показало, что 29% отобранных нами кандидатов имеют переменность блеска. Найдено также хорошее согласие со списками эмиссионных объектов, полученных в предыдущих работах другими методами.

Ключевые слова: *звезды — свойства и классификация*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Голубые яркие переменные (Luminous Blue Variable) — наиболее массивные звезды, находящиеся на одной из финальных стадий своей эволюции [1]. Это достаточно кратковременная стадия, которая характеризуется высоким темпом потери массы и выбросами вещества в межзвездную среду во время вспышек. Боллометрическая светимость у таких звезд близка к Эддингтоновскому пределу, до которого давление излучения еще уравновешивается гравитационными силами.

При современных модельных расчетах часто изначально закладывают время начала LBV-стадии и продолжительность (см., например, [2]), поскольку невозможно ее получить просто при самосогласованном моделировании. При этом входные параметры задаются с учетом последних данных, полученных в наблюдениях. Сложность при моделировании возникает еще и потому, что не существует общепринятой эволюционной последовательности массивных звезд, спорным, например, остается вопрос даже о переходе  $LBV \rightarrow WR$  ([3–5]). По небольшому количеству известных LBV-звезд нашей Галактики невозможно проверить соответствие модельных треков наблюдательным данным.

Необходимо заметно увеличить количество известных и изученных массивных звезд, находящихся на финальных стадиях эволюции: LBV-звезд, WR-звезд, В[e]-сверхгигантов, а также сверхгигантов и гипергигантов разных температур. Наблюдательные проявления этих объектов весьма различны. Лишь имея достаточное количество звезд

с известными параметрами, возможно надежное отождествление результатов моделирования эволюции массивных звезд с наблюдаемыми объектами. С другой стороны, это позволит улучшить надежность в интерпретации модельных расчетов. Открытие и изучение новых массивных звезд на финальных стадиях эволюции (мы их будем называть “LBV-подобными” звездами) подведет необходимый базис для связи теории и наблюдений, и исследования LBV-звезд перестанут быть в основном описательными.

Основная цель нашей работы — поиск и выделение LBV-кандидатов. В нашей Галактике такие объекты в основном скрыты сильным межзвездным поглощением в диске Галактики. Сейчас они обнаруживаются при ИК-обзорах неба (например, [6]). Галактика М 33 Местной группы идеально подходит для поиска LBV-подобных звезд, благодаря удачной ориентации и наличию достаточно большого количества звезд ранних спектральных классов [7]. Мы принимаем модуль расстояния до галактики  $24^m.9$  (например, [8]), что соответствует расстоянию 950 кпк.

В обзоре Humphreys и Davidson [1] сделано обобщение всех данных, известных о LBV-звездах на тот момент: к списку подтвержденных LBV в галактике М 33 были отнесены Var B, Var C, Var 2, Var 83 и к кандидатам V 532 (GR 290, “звезда Романо” [9]). LBV-статус последней позднее был подтвержден спектрально [10] и фотометрически [11]. Звезда исследовалась более детально в последующих работах [12–14]. Звезду Var A в галактике М 33 сейчас принято классифицировать как холодный гипергигант [13, 15, 16]. Хотя она также показывает все особенности, свойственные

\*E-mail: azamat@sao.ru

LBV-звездам: в 1950–1953 гг. звезда внезапно увеличила свой блеск [17] и была одной из самых ярких в М 33 со спектром класса F, но в настоящий момент звезда имеет нетипичный для классических LBV спектральный класс M. Однако, учитывая немногочисленность изученных LBV-звезд, известные классические состояния LBV [1] вполне могут не исчерпывать всех свойств этих объектов. Как по светимости (массе), так и по переменности блеска звезда Var A полностью соответствует классу LBV [18].

В результате спектроскопии кандидатов в LBV-подобные звезды из нашего списка мы обнаружили новую (седьмую) LBV-звезду N93351 в галактике М 33 [18]. Используя немногочисленные архивные данные, удалось построить кривую блеска и обнаружить переменность блеска на уровне примерно  $0^m.4$  в год. Необходимы дальнейшие наблюдения N93351, как фотометрические, так и спектральные, чтобы подтвердить эволюционный статус этой звезды.

Поиск LBV-звезд в галактике М 33 проводился разными методами разными группами авторов [19–26]. В качестве основного метода используется поиск  $H\alpha$ -источников, совпадающих со звездами ранних спектральных классов. Хотя LBV-звезды не обязательно должны быть голубыми объектами [27], многие работы акцентировались на поиске именно звезд ранних спектральных классов. Некоторые работы были направлены на поиск объектов, подобных SS 443 [19, 21, 22]. Спектр SS 433 подобен спектрам поздних WR-звезд [28].

Новый шаг в исследование массивного звездного населения галактики М 33 был сделан группой Massey et. al [29]. Используя ПЗС-изображения галактики, был составлен фотометрический каталог 146622 звезд до 23 звездной величины с точностью 1–2%, содержащий измерения в широкополосных фильтрах. В следующей работе этой группы [30] был представлен список эмиссионных звезд в галактиках Местной группы, включая и галактику М 33. Основной целью было найти новые кандидаты в LBV-звезды, поэтому были выбраны сложные критерии: ограничение по потоку в линии  $H\alpha$ , превышение потока в линии  $H\alpha$  над потоком в линии [SII], превышение потока в линии [OIII] над континуумом, цвет звезды (подробнее см. [30]). В работе [30] сообщается о 37 LBV и LBV-кандидатах в М 33. Некоторые кандидаты из работы [30] уже были выделены ранее [10, 22, 24, 25, 31].

На ПЗС-изображениях из работы [29] мы провели независимую апертурную фотометрию ярких объектов с  $V < 18^m.5$  во всех фильтрах (UBVRI и  $H\alpha$ ). Для отбора кандидатов в LBV был использован тот же метод, что и в работе [32]. На диаграмме “поток в полосе  $H\alpha$ –поток в полосе V”

эмиссионные объекты легко выделяются, поскольку они лежат выше области линейной зависимости, которую составляют объекты, не имеющие эмиссионной линии  $H\alpha$  (подробнее см. ниже).

В результате этой работы нами составлен список голубых кандидатов в LBV-подобные звезды в М 33. Для того, чтобы не пропустить объекты с сильным межзвездным покраснением, мы сформировали дополнительный список красных эмиссионных  $H\alpha$ -объектов, отобранных с более мягкими ограничениями по цвету.

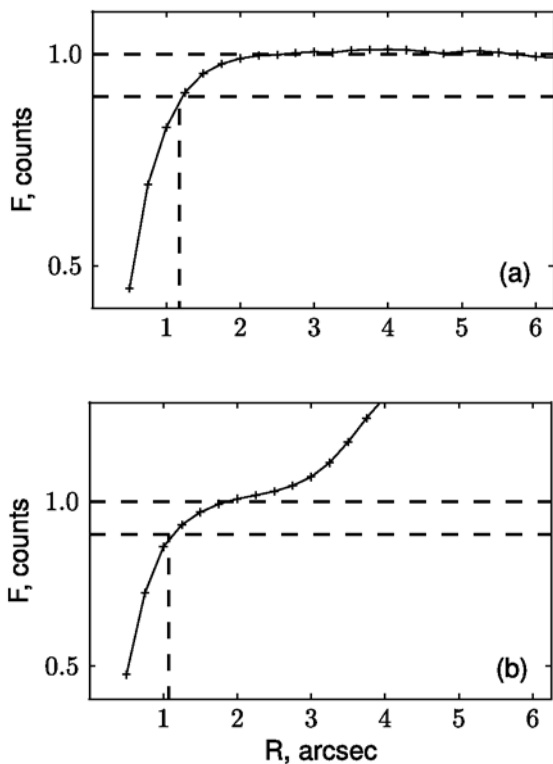
## 2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Из архива научных данных NOAO (<http://www.archive.noao.edu/nsa/>) нами были взяты все изображения галактики М 33 после первичной редукиции и с нанесенной сеткой координат из работы [29]. Наблюдения проводились на 4-м телескопах обсерваторий KPNO и CTIO в фильтрах UBVRI и узкополосном ( $50 \text{ \AA}$ )  $H\alpha$ -фильтре в октябре 2000 года и сентябре 2001 года. Изображения в UBVRI фильтрах получены в фотометрические ночи при размерах изображений от  $0''.6$  до  $0''.8$ , а в  $H\alpha$ -фильтре, при размерах изображений от  $0''.8$  до  $1''.0$ . В качестве приемника использовалась мозаика из 8 ПЗС детекторов размерами  $2048 \times 4096$  пикселей каждая. Поле зрения каждого изображения  $36' \times 36'$ , масштаб (после процедур первичной редукиции и исправления дисторсии) равен  $0''.26/\text{pix}$ . Галактика М 33 была разделена на 3 зоны и каждая зона снималась по 5 раз с небольшим сдвигом, чтобы заполнить зазоры между ПЗС матрицами в мозаике. В нашей работе было использовано по 15 мозаичных изображений в каждом фильтре. Подробнее о данных и первичной редукиции см. в [29].

## 3. АПЕРТУРНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Наша задача — отбор звезд с  $H\alpha$ -эмиссией, кандидатов в LBV. Поскольку на  $H\alpha$ -изображениях присутствуют как точечные, так и протяженные объекты, необходимо визуально контролировать при фотометрии, что измерения в разных фильтрах сделаны по одному и тому же объекту. Это условие должно выполняться даже в тесных полях и в сложных  $H\alpha$ -областях, что сложно реализовать при автоматической PSF-фотометрии сотен тысяч объектов [30].

Апертурная фотометрия в отличие от PSF-фотометрии имеет преимущество: можно получить полный поток от объекта, не вводя предположений о структуре объекта, о форме и параметрах функции рассеяния точки (PSF) в земной атмосфере. Усредненная PSF может давать ошибку в оценке



**Рис. 1.** Примеры типичных изменений нормированных потоков звезд с изменением радиуса апертуры для двух случаев фотометрии: изолированного объекта (а) и объекта с близким соседом (б). Крестиками обозначены результаты измерений. Горизонтальные линии проведены на уровне 0.9 и 1.0 от полного потока. Вертикальная линия обозначает радиус апертуры, при которой достигается уровень 0.9 от полного потока. На рисунке (б) после выхода на плато поток продолжает расти из-за вклада соседнего объекта.

потока, из-за изменения формы PSF по полю. При апертурной фотометрии в тесных полях возникает сложность: необходимо индивидуально для каждого объекта подбирать радиус апертуры, чтобы в нее попал только измеряемый объект. Еще одна задача, возникающая при апертурной фотометрии, это определение и применение апертурной поправки. Однако, когда задача не требует измерения полного потока, а необходимо лишь получить разницу потоков в разных фильтрах, можно измерить потоки одинаковой апертурой во всех фильтрах. Также важно, чтобы размеры изображения звезд (seeing) во всех фильтрах были примерно одинаковы. Это условие было выполнено при наблюдениях [29].

Фотометрия проводилась стандартными средствами в IRAF, все вспомогательные операции производились в пакетном режиме с помощью программ, написанных на python.

Для выбора оптимального размера апертуры мы фотометрировали каждый объект, изменяя радиус

апертуры  $R$  от  $0''.5$  до  $6''.0$  с шагом  $0''.25$ . Фон находился медианным средним в кольце радиусами от  $R$  до  $R + \Delta R$ , где  $\Delta R = 2''$ . При таком подходе поток от одиночного объекта при увеличении радиуса  $R$  вначале плавно увеличивается, а затем остается примерно постоянным (плато на Рис. 1а). Ордината точек выхода потока на плато соответствует полному потоку от звезды в данном фильтре. При выходе на плато поток практически перестает зависеть от радиуса апертуры, тогда как при подходе к плато эта зависимость очень сильная. Нами было принято определять оптимальный радиус объекта  $R_{0.9}$  как абсциссу точки, соответствующей 90% полного потока. Для проведения кривой по измеренным точкам проводилась интерполяция кубическим сплайном.

При наличии близкого соседнего объекта (см. Рис. 1б) после выхода на плато рост потока продолжается. Поток и оптимальный радиус апертуры выбирался одинаковым для всех фильтров в месте предполагаемого плато так, чтобы в измеряемую апертуру еще не попадало излучение от соседнего объекта.

Для двумерной гауссианы 90% от полного потока достигается при  $R_{0.9} = 1.95\sigma$ , где  $\sigma$  — параметр функции Гаусса. Ширина на половине интенсивности (FWHM) в двумерной функции Гаусса (что соответствует по определению размеру изображения точечного источника), достигается при радиусе апертуры  $R_{FWHM} = 1.18\sigma$ . Тогда при размерах изображений  $0''.6-0''.8$ , которые были во время наблюдений, мы можем ожидать для точечных объектов, что их размеры на ПЗС, согласно нашему определению, будут  $R_{0.9} = 1''.0 - 1''.3$ .

Для нахождения оптимальной апертуры  $R$  (или размера объекта) усреднены величины  $R_{0.9}$  для четырех широкополосных фильтров. В узком  $H\alpha$ -фильтре измерен поток в той же апертуре  $R_{0.9}$  и поделен на 0.9 для того, чтобы найти полный поток. Если объект является точечным в  $H\alpha$ -фильтре, найденная нами величина будет полным потоком. В случае протяженного объекта в полосе  $H\alpha$  (HII-область) найденная величина будет оценкой потока от той части протяженного источника, в которой был измерен точечный источник в широкополосных фильтрах.

Итак, для оценки размера объекта мы использовали величину  $R_{0.9}$ , а для оценки потоков в фильтрах мы использовали отсчет на уровне плато Рис. 1.

Поскольку изображение галактики получалось по зонам и со сдвигами в каждой зоне, то многие объекты в отдельно взятом фильтре были получены по несколько раз. Каждое измерение было исправлено за воздушную массу, умножением на  $1/\cos z$ , где  $z$  — зенитное расстояние. Для построения

средней зависимости величины потока от радиуса апертуры по всем измерениям в каждом фильтре проводилось медианное усреднение зависимостей по индивидуальным измерениям. Индивидуальные зависимости различаются в основном из-за разных размеров изображений в разные ночи наблюдений. При усреднении было установлено, что результаты отдельных измерений одного объекта различаются не более чем на 7–10%, что является приемлемой точностью для наших целей отбора объектов.

В работе [29] показано, что изображение с каждого ПЗС детектора в мозаичном изображении необходимо обрабатывать отдельно, из-за сильных различий в параметрах детекторов (gain, шум считывания, спектральная чувствительность). Поэтому каждое составное изображение мы разделили на 8 частей, соответствующих разным детекторам, и каждая часть обрабатывалась отдельно.

Наша задача выделения объектов, имеющих превышение потока в фильтре  $H\alpha$ , не требует определения калиброванных потоков излучения, мы проводили отбор объектов в инструментальных потоках. Только на последнем этапе работы инструментальные потоки были переведены в звездные величины, используя следующие усредненные калибровочные коэффициенты.

$$m_U = -2.5 \lg(F_U) + 30.20$$

$$m_B = -2.5 \lg(F_B) + 29.43$$

$$m_V = -2.5 \lg(F_V) + 29.61$$

$$m_R = -2.5 \lg(F_R) + 29.84$$

$$m_{H\alpha} = -2.5 \lg(2 \times 10^{-16} \times F_{H\alpha}/300),$$

где  $F$  — поток объекта в инструментальной системе, полученный за время экспозиции в соответствующем фильтре. Усредненные калибровочные коэффициенты получены нами путем фотометрии одиночных звезд и сравнением их инструментальных звездных величин со звездными величинами в каталоге [29], лишь калибровка в  $H\alpha$  была взята из работы [30]. Еще раз отметим, что для решения нашей основной задачи калибровка потоков не требуется.

#### 4. ОТБОР КАНДИДАТОВ В LBV-ПОДОБНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Для фотометрии из каталога [29] были выбраны 2304 объекта с  $V < 18^m.5$ . Мы принимаем, что среднее межзвездное поглощение наиболее ярких звезд в галактике М 33 составляет  $A_V \approx 1^m.0$  (например, [33]  $A_V \approx 0^m.95 \pm 0^m.05$ ), и модуль расстояния

до М 33  $24^m.9$  [8]. При выбранных нами критериях ( $V < 18^m.5$  и  $(B - V) < 0^m.35$ ) в наш основной список попадут звезды с  $M_V < -7^m.4$  и  $(B - V)_0 \leq 0^m.0$ . Это все яркие сверхгиганты классов светимости Iab и ярче, и наиболее горячие сверхгиганты (со спектрами B0 и ранее) класса Ib [34]. Следовательно в наш финальный список попадут все потенциальные кандидаты в LBV-звезды.

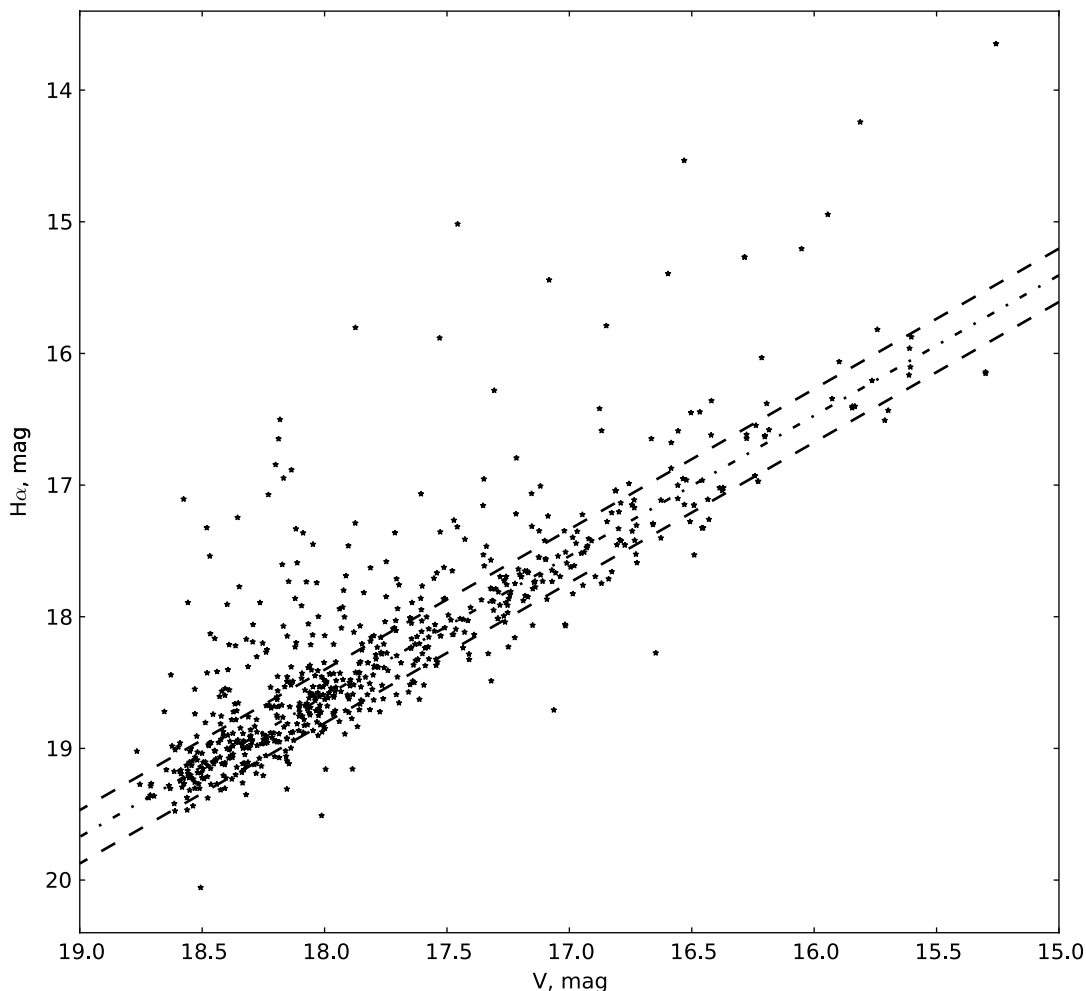
При фотометрии тесных групп из двух и более объектов, когда на зависимости “радиус апертуры—поток” удавалось обнаружить плато во всех широкополосных фильтрах только при апертурах больших, чем для точечного объекта, мы принимали эту тесную группу как единый объект. Очевидно, что при лучшем пространственном разрешении часть “одиночных” объектов окажутся группой звезд. При нашей фотометрии в тесную группу могли входить по несколько объектов из исходного каталога [29]. Получаемое измерение приписывалось одному из объектов каталога, а остальные члены группы повторно не фотометрировались. В случае, если один из объектов в этой тесной группе является эмиссионной  $H\alpha$ -звездой, у группы будет превышение потока в фильтре  $H\alpha$ .

Из всей выборки удалось профотометрировать 2075 объектов. Оставшиеся 229 либо невозможно было профотометрировать: край галактики или отсутствие плато на зависимости “радиус апертуры—поток”, либо они входили в состав одной из тесных групп.

После этапа фотометрии отбирались эмиссионные кандидаты методом, описанным в работе [32]. Строилась зависимость  $V - H\alpha$ , где большая часть объектов попадает в широкую полосу линейной зависимости (Рис. 2). Эмиссионные объекты располагались выше этой зависимости, из-за заметного превышения потока в  $H\alpha$  относительно остальной неэмиссионной части выборки объектов. Пример зависимости  $V - H\alpha$  показан на рисунке 2.

Очевидно, что эта линейная “основная последовательность” обусловлена тем, что более яркая звезда в полосе  $V$  является также более яркой в полосе  $H\alpha$ . Основная последовательность достаточно широкая. Это связано как с наличием абсорбционных звезд, так и со спектральными особенностями звезд разной температуры. Но, тем не менее, она очень хорошо определяется.

На следующем этапе из всей выборки 2075 объектов для дальнейшей работы использовались только 707 объектов с  $B - V < 0^m.35$ . На Рис. 2 представлены именно эти звезды. Если всю выборку не разделить на данном этапе на красные и голубые звезды, то на графике  $V - H\alpha$  будет наблюдаться две частично перекрывающиеся параллельные последовательности. Это связано с



**Рис. 2.** Изменение звездной величины в фильтре  $H\alpha$  с изменением звездной величины в фильтре  $V$  для 707 объектов с  $B - V < 0^m.35$ . Штрихпунктирной линией обозначена линейная зависимость для неэмиссионной выборки. Пунктирными линиями показаны уровни  $\pm 1\sigma$ . Объекты, расположенные выше уровня  $1\sigma$ , представлены в Таблице 1 как эмиссионные объекты.

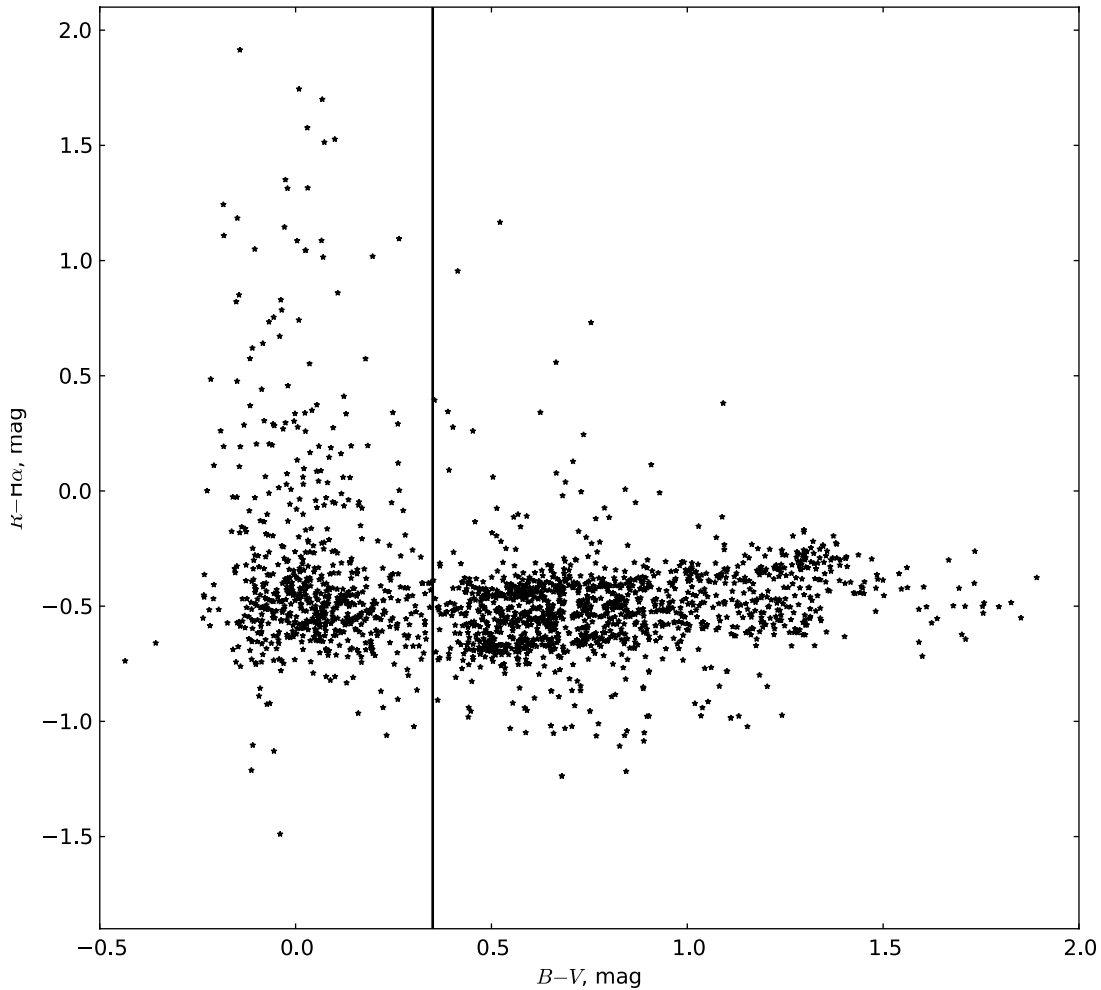
наличием красных звезд в  $M33$ , а также фоновых звезд Галактики.

Для отбора эмиссионных звезд на графике  $V-H\alpha$  была использована следующая методика. Через все точки выборки проводилась прямая. Таким образом находилась основная последовательность неэмиссионных звезд, а затем вычислялось среднеквадратичное отклонение (далее  $\sigma$ ) точек от этой линейной зависимости. На следующем этапе из последовательности выбрасывались объекты с превышением по  $H\alpha$ -величине более  $2.5\sigma$ , проводилась новая последовательность, находилось новое значение  $\sigma$  по оставшимся точкам. После 7–8 итераций количество звезд в выборке не менялось, и было вычислено итоговое значение  $\sigma$  для ректифицированной основной последовательности.

Для выбора минимального превышения, выше которого объекты следует считать эмиссионными,

мы нашли, что объект  $H\alpha 7$ , имеющий эмиссионную линию  $H\alpha$  с эквивалентной шириной  $3\text{\AA}$  [24], в нашем случае имеет превышение над основной последовательностью в  $1.01\sigma$  (номер 018246). Поэтому мы приняли, что превышение для эмиссионных объектов должно составлять  $\geq 1.0\sigma$ , и по указанному критерию было отобрано 185 объектов, список которых приведен в Таблице 1.

В первых трех столбцах в Таблице 1 приведены номер объекта и координаты на эпоху 2000.0 года по каталогу [29], в следующих столбцах — измеренные нами звездная величина  $V$  и показатель цвета ( $B - V$ ),  $s$  — превышение относительно основной последовательности в единицах  $\sigma$  (как оценка интенсивности предполагаемой эмиссии в фильтре  $H\alpha$ ),  $R$  — усредненный по четырем широкополосным фильтрам размер апертуры  $R_{0.9}$  в угловых секундах. Полная версия таб-



**Рис. 3.** Результат фотометрии всех 2075 объектов выборки с  $V < 18^m.5$ . Объекты в левой верхней части рисунка с  $B - V < 0^m.35$  были изучены по критерию, представленному на рис. 2. Объекты, находящиеся в правой верхней части рисунка, показавшие превышение в цвете  $R - H\alpha$ , представлены в Табл. 2 как потенциальные LBV-кандидаты с сильным межзвездным поглощением.

лицы доступна по адресу <http://jet.sao.ru/~azamat/LBVsearch/blue.dat>.

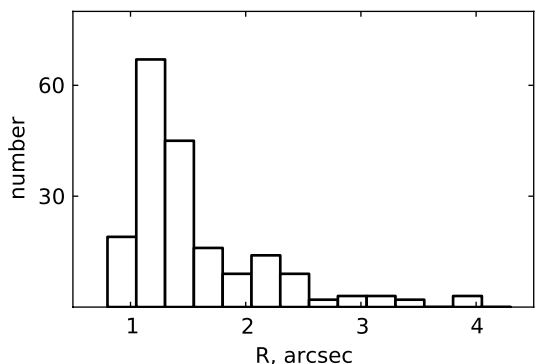
Поскольку красные звезды с  $(B - V) \geq 0^m.35$  также могут быть LBV-кандидатами (примером является звезда  $\eta$  Cas с заметным межзвездным покраснением), мы провели отбор кандидатов в эмиссионные объекты для остальных звезд нашего списка с  $V < 18^m.5$ . На диаграмме  $(B - V) - (R - H\alpha)$  для объектов с  $(B - V) \geq 0^m.35$ , показанной на Рис. 3, мы определили среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  описанным ранее способом. В список LBV-кандидатов (Таблица 2) мы включили только объекты, показавшие превышение в цвете  $(R - H\alpha)$  над основной последовательностью звезд с  $(B - V) \geq 0^m.35$  более  $2\sigma$ .

Для красных звезд в таблице 2 мы ввели дополнительное ограничение по цвету  $(B - V) < 1^m.2$ . Заметим, что в интервале  $(B - V) = 1^m.2 - 1^m.3$  мы

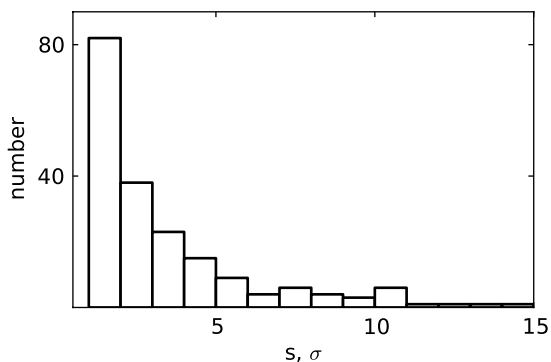
не выделили ни одного объекта с превышением потока в  $H\alpha$ . Ориентируясь на известные свойства LBV-звезд [1], мы можем ожидать, что температура фотосферы LBV не может быть ниже 7000K, что соответствует  $(B - V)_0 \approx 0^m.25$ . Даже при поглощении света  $A_V = 3^m.0$  наблюдаемый цвет такой звезды будет  $(B - V) \approx 1^m.2$ . Кроме того, в спектрах звезд с показателями цвета  $(B - V)_0 > 1^m.3$  уже наблюдаются полосы поглощения TiO, которые вполне могут имитировать эмиссию в  $H\alpha$ . Учитывая эти соображения принятое нами ограничение  $(B - V) < 1^m.2$  представляется разумным.

## 5. СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ КАТАЛОГАМИ

Мы провели кросскорреляцию координат объектов нашего списка голубых кандидатов в эмиссионные объекты с другими известными списками. Кросскорреляция проводилась программой



**Рис. 4.** Гистограмма распределения размеров  $R_{0.9}$  для выделенных нами объектов (табл. 1). Максимум распределения  $1''.0-1''.3$  соответствует ожидаемому размеру для точечных объектов (см раздел 3). Объекты с большими размерами соответствуют группам, которые фотометрировались нами как один объект.



**Рис. 5.** Гистограмма распределения превышений потока в фильтре  $H\alpha$  над основной последовательностью неэмиссионных звезд в единицах  $\sigma$  (Табл. 1).

ТОРСАТ по стандартному алгоритму попадания объекта из первого каталога в  $\epsilon$ -окрестность объекта из другого каталога. Радиус  $\epsilon$ -окрестности (или “квадрат ошибок”) задавался индивидуально для каждой пары каталогов.

При кросскорреляции со списками источников, зарегистрированных на рентгеновских телескопах Chandra [35] и XMM Newton [36] с размерами квадрата ошибок  $5''.0$  было выявлено одно пересечение. Этот рентгеновский объект (остаток вспышки сверхновой SNR B013059+30177 [37]), уже имеет надежное оптическое отождествление и пространственно располагается рядом с объектом N085197 (J013348.03+303304.8) из Табл. 1. При сравнении со списком ультрафиолетовых источников [23] (UIT) было найдено 23 пересечения при квадрате ошибок  $3''.0$ , из них всего 4 еще не классифицированы спектрально.

Классические LBV характеризуются непра-

вильной переменностью блеска на разных временных шкалах, поэтому была проведена корреляция с каталогом переменных звезд в M 33 [38], который содержит более 36000 переменных звезд с пределом до  $V \approx 24^m.0$  и точностью координат  $0''.2$ . Было найдено 54 пересечения, что составляет 29% от нашего полного списка голубых объектов с  $H\alpha$ -эмиссией.

Было также проведено сравнение с двумя списками эмиссионных объектов, полученных в разные годы [30, 32]. По очевидному критерию полного совпадения координат нашего списка с координатами LBV-кандидатов, отобранными в работе [30], было выявлено 113 пересечений, а при кросскорреляции с каталогом [32] с квадратом ошибок  $2''.0$  было найдено 50 пересечений.

## 6. ОБСУЖДЕНИЕ

На Рис. 4 представлено распределение размеров 185 отобранных голубых эмиссионных объектов из Табл. 1. Максимум распределения наблюдается вблизи  $1''.0-1''.3$ , что соответствует ожидаемой величине для точечных объектов при размере изображений во время наблюдений  $0''.6-0''.8$  (см. раздел 3). Объекты с большими размерами соответствуют группам объектов.

На Рис. 5 представлено распределение превышения потоков  $s$  в  $H\alpha$ -фильтре для отобранных голубых объектов относительно основной линейной зависимости неэмиссионных объектов. Видно, что количество объектов с увеличением превышения потока в  $H\alpha$  непрерывно уменьшается.

Заметим, что в диапазоне  $V \approx 14^m.0-15^m.5$  в Табл. 1 объектов нет. Это говорит о том, что 7 объектов с  $V < 14^m.0$  скорее всего являются фоновыми звездами нашей Галактики, но превышение потока в фильтре  $H\alpha$  у этих объектов сможет объяснить только спектроскопия. Совпадение нашего списка голубых объектов на уровне 62% со списком эмиссионных объектов Massey et al. [30] показывает, что оба метода отбора применимы для поиска LBV-кандидатов. Несовпадающие объекты из обоих списков также заслуживают дополнительного изучения, чтобы понять какой подкласс эмиссионных объектов отбрасывается каждым методом.

В дополнительном списке кандидатов (Табл. 2) мы ограничились лишь объектами  $V > 16^m.0$ , поскольку в диапазоне  $V \approx 15^m.0-16^m.0$  красных объектов не отобрано, а более яркие красные звезды определенно являются фоновыми. Тот факт, что два красных эмиссионных объекта (N006862 и N141751), которые пересекаются с каталогом [30] и спектрально классифицированы там как горячие

LBV-кандидаты, подтверждает необходимость поиска покрасневших звезд.

Мы проводим последовательную спектроскопию голубых эмиссионных объектов на 6-м телескопе БТА. В работе [18] мы обнаружили звезду N93351, в спектре которой имеются широкие эмиссии водорода и многочисленные эмиссии FeII и [FeII]. Было построено распределение энергии в диапазоне длин волн 3000–80000Å и показано, что эта звезда, также как и Vag A, имеет сильный инфракрасный избыток. По результатам нашего анализа сделан вывод [18], что звезда N93351 должна быть отнесена к классу LBV-звезд.

### 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По архивным ПЗС-изображениям галактики М 33 в полосах UBVR и Hα была проведена апертурная фотометрия всех объектов с  $V < 18^m.5$  из каталога [29]. Выполнен отбор кандидатов в LBV-звезды в галактике М 33 по критерию превышения потока в полосе Hα над потоком в полосе V. Всего было отобрано 185 голубых звезд кандидатов в эмиссионные объекты с  $(B - V) < 0^m.35$ .

Одним из свойств классических LBV-звезд является переменность блеска на разных временных шкалах, поэтому мы провели кросскорреляцию с каталогом переменных звезд в галактике М 33 [38] и нашли, что 29% голубых кандидатов нашего списка имеют переменность блеска. Часть LBV-звезд являются горячими звездами и должны излучать в ультрафиолетовом диапазоне. Сравнение со списком ультрафиолетовых источников показало, что 23 голубых кандидата в LBV-звезды

действительно были детектированы космическим телескопом UIT [23]. Наш список кандидатов в голубые эмиссионные объекты на 27% совпадает со списком [32], полученным по фотометрическим изображениям с использованием подобных простых критериев. Наш список также совпадает на 62% со списком кандидатов в LBV [30], который был получен на том же наблюдательном материале, но с использованием более сложных критериев для выделения LBV-кандидатов.

LBV-звезды могут испытывать заметное межзвездное покраснение, которое иногда может быть достаточно большим. Поэтому мы составили дополнительный список из 25 красных звезд с  $0^m.35 < B - V < 1^m.2$ . Эти объекты были отобраны по критерию превышения цвета  $R - H\alpha$ . Они могут являться покрасневшими LBV-звездами.

Таким образом мы представляем полный список кандидатов в LBV-звезды в галактике М 33 до  $18^m.5$  звездной величины в фильтре V. Для того, чтобы детально классифицировать звезды нашего каталога, на 6-м телескопе БТА проводится их последовательная спектроскопия. Ее результаты будут опубликованы в последующих работах.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Российский Фонд Фундаментальных Исследований за поддержку настоящей работы: гранты № 09-02-00163 и № 07-02-00909.

**Таблица 1.** Таблица LBV-кандидатов с  $(B - V) < 0^m.35$ . В столбцах последовательно приведены номер объекта и его координаты из работы [29], наши измерения звездной величины V и показателя цвета  $(B - V)$ , а также s — превышение Hα-потока относительно основной последовательности в единицах  $\sigma$ , R — усредненный по четырем широкополосным фильтрам размер объекта  $R_{0.9}$  в угловых секундах. В последней колонке показаны результаты совпадений с каталогами эмиссионных объектов [30] (M) и [32] (SFZ), переменных звезд [38] (HBS), ультрафиолетовых источников [23] (UIT). При наличии у объекта комментария в каталоге [29] он также приведен здесь в формате “m (комментарий)”. Полная версия таблицы доступна по адресу <http://jet.sao.ru/~azamat/LBVsearch/blue.dat>.

N	$\alpha$	$\delta$	V	$B - V$	s	$R(″)$	комментарий
1	2	3	4	5	6	7	8
000029	01:31:48.14	30:32:06.9	17.61	-1.10	2.04	1.18	
001429	01:32:27.81	30:21:46.8	18.40	0.32	3.09	0.95	
001705	01:32:29.08	30:34:04.2	17.71	0.30	1.73	2.23	SFZ515, HBS260273
003562	01:32:34.31	30:38:17.3	13.58	-0.21	2.41	1.1	
003935	01:32:35.25	30:30:17.6	18.08	0.04	4.69	1.98	HBS250024, M(hot LBV cand)
004926	01:32:37.72	30:40:05.6	17.48	-0.03	3.83	0.93	SFZ005, UIT003, m(Ofpe/WN9_M33WR2), M



Табл. 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
005705	01:32:39.64	30:24:51.9	18.30	-0.09	4.24	2.15	M
006389	01:32:41.30	30:22:31.2	18.10	-0.03	3.9	1.32	HBS340115, M(HII)
008043	01:32:44.62	30:34:59.5	18.14	-0.15	9.21	1.23	HBS250385, M
008581	01:32:45.68	30:39:06.9	18.19	-0.14	11.35	0.82	HBS250451
008632	01:32:45.75	30:38:55.8	16.88	-0.04	4.89	1.4	m(WN_M33WR6)
009925	01:32:48.26	30:39:50.4	17.22	0.09	4.82	2.48	SFZ517, M
012779	01:32:52.95	30:34:50.3	18.10	0.07	1.18	1.18	
013846	01:32:54.37	30:30:50.6	17.88	0.24	1.78	1.07	
014939	01:32:55.68	30:35:34.7	17.65	0.04	1.64	1.15	SFZ022,m(B5Ia_ob21-40)
015651	01:32:56.47	30:35:30.9	18.53	-0.04	1.26	1.73	HBS250999
017442	01:32:58.71	30:31:52.9	17.96	0.07	1.05	1.05	HBS251139
018246	01:32:59.74	30:38:54.8	17.77	0.14	1.01	0.88	SF <sub>x</sub> xZ033, M(HII?)
019512	01:33:01.24	30:30:51.3	18.30	0.22	3.59	1.05	M(HII 2)
021012	01:33:03.09	30:31:01.8	17.16	0.09	3.16	1.18	SFZ041, M(HII)
021189	01:33:03.31	30:11:21.8	18.20	-0.07	1.77	1.25	M
021331	01:33:03.50	30:33:23.1	18.39	-0.13	4.0	2.0	SFZ042, HBS251493,M
024824	01:33:07.60	30:42:59.0	16.76	0.34	1.44	1.85	SFZ049
024835	01:33:07.61	30:42:43.0	18.41	-0.14	2.44	1.23	M
025221	01:33:08.04	30:46:12.8	12.98	0.08	1.09	1.65	
025981	01:33:08.99	30:29:56.3	17.53	0.14	3.68	1.55	m(B8Iacomp_ob127-15),M
026091	01:33:09.14	30:49:54.5	18.24	-0.01	2.92	0.95	SFZ052, HBS150200, m(Ofpe/WN9_M33WR22,UIT045),M
027321	01:33:10.43	30:38:49.4	17.85	0.10	1.17	1.32	M
028115	01:33:11.25	30:45:15.4	15.26	0.10	10.04	3.92	M, UIT049, m(BI+neb)
028158	01:33:11.30	30:29:33.5	18.18	0.18	5.86	3.92	HBS240638
028322	01:33:11.45	30:29:51.3	17.12	0.06	3.25	2.2	M(HII)
028576	01:33:11.70	30:22:58.9	17.75	0.28	2.42	1.43	
028741	01:33:11.85	30:38:52.7	16.59	-0.01	2.06	1.25	
028771	01:33:11.88	30:38:53.5	16.42	0.00	2.77	1.57	m(WNL_M33WR25=MC17)
029660	01:33:12.81	30:30:12.6	17.48	0.17	1.96	1.07	HBS240772,M
030009	01:33:13.17	31:04:59.3	18.20	0.08	1.01	0.95	

Таблица 2. Таблица LBV-кандидатов с  $V > 16^m 0$  и  $0^m 35 < B - V < 1^m 2$ . Обозначения аналогичны Табл. 1

N	$\alpha$	$\delta$	V	$B - V$	s	R(")	комментарий
1	2	3	4	5	6	7	8
002627	01:32:31.94	30:35:16.7	17.47	0.56	2.12	1.1	
006862	01:32:42.26	30:21:14.1	17.33	0.52	14.07	1.6	M(hot LBV)
009835	01:32:48.06	30:24:50.3	18.07	0.76	2.33	1.18	
021266	01:33:03.40	30:30:51.2	17.49	0.59	3.33	1.18	
031584	01:33:14.81	30:45:59.3	18.47	0.5	2.72	1.35	
045901	01:33:27.40	30:30:29.5	17.51	0.5	4.76	1.3	
052581	01:33:31.80	30:22:59.1	16.27	0.66	8.95	1.73	
057412	01:33:34.61	30:40:56.2	18.08	0.57	3.4	1.38	
058746	01:33:35.33	30:41:46.1	17.39	0.67	4.9	1.88	
061849	01:33:37.04	30:36:37.6	16.38	0.46	3.12	1.05	
073136	01:33:42.52	30:32:58.6	17.67	0.4	6.58	1.12	
075866	01:33:43.71	30:39:05.1	17.65	0.39	7.15	1.35	
077435	01:33:44.40	30:44:28.1	17.75	0.56	3.29	1.35	
077731	01:33:44.52	30:44:32.3	18.47	0.41	12.29	1.07	M(HII/OB+neb)
078101	01:33:44.67	30:36:11.4	17.63	1.18	2.14	1.15	
079224	01:33:45.15	30:36:20.1	16.59	0.4	2.01	1.12	
086876	01:33:48.89	30:21:48.6	17.73	0.74	2.56	1.32	
088927	01:33:49.94	30:29:28.8	18.23	0.78	2.38	1.38	M(HII)
104139	01:33:58.96	30:41:39.5	16.93	0.51	3.61	1.07	
115963	01:34:07.32	30:47:32.4	18.58	0.35	7.57	1.18	HBS130137,m(HII)
124485	01:34:14.93	30:34:36.4	18.49	0.77	2.02	1.93	HBS221202
124864	01:34:15.23	30:37:04.9	17.68	0.84	4.31	1.0	
125093	01:34:15.42	30:28:16.4	17.47	0.73	4.22	1.12	
141751	01:34:42.14	30:32:16.0	17.56	0.77	3.24	1.4	M(hot LBV cand?)
146528	01:35:23.21	31:06:38.5	17.63	0.75	10.41	1.35	

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. M. Humphreys and K. Davidson, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **106**, 1025 (1994).
2. G. Meynet, P. Eggenberger, and A. Maeder, *IAU Symposium No 241*, La Palma, Spain, 2006, p. 13.
3. N. Smith and S. P. Owocki, *ApJL* **645**, L45 (2006).
4. N. Smith and P. S. Conti, *Astrophys. J.* **679**, 1467 (2008)
5. N. Smith, in *IAU Symposium No 250*, Kanai, USA, 2007, p. 193.
6. V. V. Gvaramadze, A. Y. Kniazev, and S. Fabrika, arXiv:0909.0458
7. G. R. Ivanov, W. L. Freedman, and B. F. Madore, *Astrophys. J. Suppl.* **89**, 85 (1993).
8. A. Z. Bonanos, K. Z. Stanek, R. P. Kudritzki, et al., *Astrophys. J.* **652**, 313 (2006)[arXiv:astro-ph/0606279].
9. G. Romano, *Astronom. and Astrophys.* **67**, 291 (1978).
10. S. Fabrika, in *Thermal and Ionization Aspects of Flows from Hot Stars*, Ed. by H. Lamers and A. Sagar, *ASP Conf.* **204**, 57 (2000).

11. R. Kurtev, O. Sholukhova, J. Borissova, and L. Georgiev, *Rev. Mex. Astron. Astrof.* **37**, 57 (2001)[arXiv:astro-ph/0102020].
12. S. Fabrika, O. Sholukhova, T. Becker, et al., *Astronom. and Astrophys.* **437**, 217 (2005) [arXiv:astro-ph/0503586].
13. R. F. Viotti, C. Rossi, V. F. Polcaro, et al., *Astronom. and Astrophys.* **458**, 225 (2006).
14. R. F. Viotti, S. Galletti, R. Gualandi, et al., *Astronom. and Astrophys.* **464**, L53 (2007).
15. R. M. Humphreys, T. J. Jones, and R. D. Gehrz, *Astronom. J.* **94**, 315 (1987).
16. R. M. Humphreys, T. J. Jones, E. Polomski, et al., *Astronom. J.* **131**, 2105 (2006)[arXiv:astro-ph/0601116].
17. E. Hubble and A. Sandage, *Astrophys. J.* **118**, 353 (1953).
18. A. F. Valeev, O. Sholukhova, and S. Fabrika, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **396**, L21 (2009).
19. C. L. Neese, T. E. Armandroff, and P. Massey, *IAU Symposium No 143*, Sanur, Indonesia, 1991, p. 651.
20. F. Spiller, PhD Thesis, Landessternwarte Heidelberg/Königstuhl (1992).
21. D. Calzetti, A. L. Kinney, H. Ford, et al., *Astronom. J.* **110**, 2739 (1995).
22. S. Fabrika and O. Sholukhova, *Astrophys. and Space Sci.* **226**, 229 (1995).
23. P. Massey, L. Bianchi, J. B. Hutchings, and T. P. Stecher, *Astrophys. J.* **469**, 629 (1996).
24. O. N. Sholukhova, S. N. Fabrika, V. V. Vlasjuk, and A. N. Burenkov, *Astronomy Letters* **23**, 458 (1997).
25. O. Sholukhova and S. Fabrika, *ASP Conf.* **221**, 171 (2000).
26. L. J. Corral and A. Herrero, in *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, **16**, 265 (2003).
27. C. Sterken, A. M. van Genderen, A. Plummer, and A. F. Jones, *Astronom. and Astrophys.* **484**, 463 (2008).
28. S. Fabrika, *Astrophysics and Space Physics Reviews* **12**, 1 (2004)[arXiv:astro-ph/0603390].
29. P. Massey, K. A. G. Olsen, P. W. Hodge, et al., *Astronom. J.* **131**, 2478 (2006).
30. P. Massey, R. T. McNeill, K. A. G. Olsen, et al., *Astronom. J.* **134**, 2474 (2007).
31. L. J. Corral, *Astronom. J.* **112**, 1450 (1996).
32. S. Fabrika and O. Sholukhova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **43**, 149 (1997).
33. S. Fabrika and O. Sholukhova, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **140**, 309 (1999).
34. К. У. Аллен, *Астрофизические величины*. (М. Мир, 1977).
35. H. Grimm, J. McDowell, A. Zezas, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **161**, 271 (2005).
36. W. Pietsch, Z. Misanovic, F. Haberl, et al., *Astronom. and Astrophys.* **426**, 11 (2004).
37. S. M. Gordon, R. P. Kirshner, K. S. Long, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **117**, 89 (1998).
38. J. D. Hartman, D. Bersier, K. Z. Stanek, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **371**, 1405 (2006)[arXiv:astro-ph/0603527].

## SEARCH FOR LBV CANDIDATES IN THE M 33 GALAXY

A.F. Valeev, O.N. Sholukhova, S.N. Fabrika

A total of 185 luminous blue variable star (LBV) candidates with  $V_{j18^m5}$  are selected based on the results of aperture photometry. The primary selection criterion is that the prospective candidate should be a blue star with  $H\alpha$  emission. In order not to overlook appreciably reddened LBV candidates, we compose an additional list of 25 red ( $0^m35jB - V_{j1^m2}, V_{j18^m5}$ ) emission star candidates. A comparison with the list of known variables in the M 33 galaxy showed 29% of our selected candidates to be photometrically variable. We also find our list to agree well with the lists of emission-line objects obtained in earlier papers using different methods.

Key words: *stars—properties and classification*