

УДК 524.338.5

А. Ф. Пугач

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680 Киев, ул. Академика Заболотного 27

Быстрая переменность линии He I λ 587.6 нм в спектре Ae/Be-звезды Хербига WW Vul

Исследовано поведение относительно сильной абсорбционной линии He I λ 587.6 нм в спектре быстрой неправильной переменной звезды с алголе-подобными ослаблениями блеска WW Vul (Sp A3). 76 спектров этой звезды были получены на 2.6-м ЗТШ КрАО с помощью среднорешетчатого спектрографа СПЭМ. Показано, что изменяются не только средние за ночь значения эквивалентной ширины линии He I, но имеют место быстрые ее изменения с характерным временем десятки минут. Квази-одновременные наблюдения стандартных звезд с известными распределениями энергии позволили вычислить монохроматические величины переменной на длине волны $\lambda = 550$ нм. Корреляции эквивалентных ширин линии He I λ 587.6 нм с монохроматическим блеском звезды нет. Иногда в спектре заметен коротковолновый эмиссионный компонент линии He I. По профилю водородной линии H β подтвержден спектральный класс звезды A2—A3.

ШВИДКА ЗМІННІСТЬ ЛІНІЇ He I λ 587.6 нм У СПЕКТРІ Ae/Be-ЗІРКИ ХЕРБИГА WW Vul, Пугач О. Ф. — Досліджено поведінку відносно сильної абсорбційної лінії He I λ 587.6 нм у спектрі швидкої неправильної змінної зірки з алголеподібними послабленнями блиску WW Vul (Sp A3). 76 спектрів цієї зірки були отримані на 2.6-м ЗТШ КрАО за допомогою середньорешетчатого спектрографа СПЕМ. Показано, що змінюються не тільки середні за ніч значення еквівалентної ширини лінії He I, але й відбуваються швидкі її зміни з характерним часом десятки хвилин. Квазіодносимчасні спостереження стандартних зірок з відомими розподілами енергії дозволили обчислити монохроматичні величини змінної на довжині хвилі $\lambda = 550$ нм. Кореляції еквівалентних ширин лінії He I λ 587.6 нм з монохроматичним блиском зірки немає. Іноколи у спектрі спостерігається короткохвильовий емісійний компонент лінії He I. За профілем водневої лінії H β підтверджено спектральний клас зірки A2—A3.

RAPID VARIABILITY OF THE He I λ 587.6 nm LINE IN SPECTRA OF THE HERBIG Ae/Be WW VUL STAR, by Pugach A. F. — The behaviour of the relatively strong absorption line He I λ 587.6 nm with time in spectra of the rapid irregular variable star WW Vul (sp A3) is investigated. In all, 76 spectra were obtained at the 2.6-m ZTSh of the Crimean AO using the low-resolution spectrograph SPEM ($R \sim 3000$). It is found that both night-

averaged and fast changes in equivalent widths W_a of the He I λ 587.6 nm line with a characteristic time of some dozen minutes are present. As absolute energy distribution standards were concomitantly observed there was the possibility to calculate monochromatic magnitudes of the WW Vul at a wavelength of 550 nm. The night-averaged values of the W_a of the He I λ 587.6 nm line seem to be independent of monochromatic star's brightness. The blue-shifted emission component of He I absorption line sometimes arises, being very poor identified. The H_β absorption line profile was used to confirm the spectral type A3 of the WW Vul star.

ВВЕДЕНИЕ

WW Vul — одна из наиболее хорошо изученных быстрых неправильных переменных звезд с непериодическими ослаблениями блеска (тип Is(A)). Фотометрическая переменность, проявляющаяся в часто следующих друг за другом резких непредсказуемых падениях яркости, сопровождается неоднозначным изменением показателей цвета $B - V$ и $U - B$ [2, 5], при этом изменения блеска нередко достигают $0.2-0.3^m$ за сутки. WW Vul окружена хорошо развитой газопылевой оболочкой. На пыль указывают «покраснение» излучения и усиление собственной поляризации в минимумах, а индикатором околозвездного газа служит всегда наличная в спектре яркая эмиссионная линия H_α , мощность излучения которой варьирует в диапазоне $(1.47-6.26) \cdot 10^{25}$ Дж/с [7]. Интенсивность эмиссионной линии H_α неоднозначно связана с блеском звезды. Согласно измерениям [6] эквивалентная ширина линии H_α увеличивается с уменьшением блеска звезды, тогда как согласно наблюдениям [3] у звезды отмечены 15-кратные изменения эквивалентной ширины линии H_α при относительно спокойном поведении блеска в V -полосе. Общеизвестно, что причиной фотометрической переменности звезды служит появление на луче зрения пылевых структур разной морфологии (пылевые облака, сгустки протопланетного диска и даже кометообразные образования). Оценены эффективный размер пылинок (0.16 мкм), состав (силикаты) и общее количество частиц ($10^{36}-10^{37}$) [4].

Таким образом, WW Vul — быстрая неправильная переменная звезда раннего спектрального класса с типичным газово-пылевым окружением, у которой сложная картина фотометрического/поляриметрического поведения обусловлена не понятным пока взаимодействием излучения самой звезды с околозвездной оболочкой.

Недавно в спектрах некоторых звезд типа Ae/Be Хербига, к которому относится также и WW Vul, обнаружена линия нейтрального гелия He I λ 587.6 нм. Эта линия, как и линии многих металлов и водорода, претерпевает быстрые изменения от ночи к ночи [11]. Эта же линия обнаружена и в спектре WW Vul [12].

Настоящая работа посвящена предварительному исследованию быстрой переменности линии He I λ 587.6 нм, изученной по спектрам умеренной дисперсии и большого временного разрешения.

НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА

Наблюдения WW Vul и звезд-стандартов с известными абсолютными распределениями энергии в спектре выполнялись на 2.6-м ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории в 2003—2005 гг. Использовался среднечисленный спектрограф СПЭМ с большой проникающей силой, установленный в фокусе Нэсмита. В модернизированном недавно варианте он давал

Таблица 1. Характеристика наблюдений

Дата	N	τ , мин	S/N	V (550 нм)	Стандарт
26 сентября 2003 г.	1	25	132	11.38 ^m	HR 153
28 сентября 2003 г.	23	5	72	11.06 ^m	30 Per
19 сентября 2004 г.	2	20	171	11.05 ^m	30 Per
20 сентября 2004 г.	16	5	90	10.96 ^m	30 Per
21 сентября 2004 г.					
I серия	10	5	87	10.71 ^m	HD 191747
II серия	10	5	81	10.78 ^m	HD 191747
28 сентября 2005 г.	3	3	95	10.39 ^m	HR 153
29 сентября 2005 г.	11	3	106	10.77 ^m	BD +28°4211

возможность регистрировать за одну экспозицию спектральную область более 230 нм с разрешением около 0.177 нм/пкл.

Характеристики наблюдений приведены в табл. 1. Кроме даты наблюдений в последующих колонках таблицы указаны количество N полученных спектров WW Vul, продолжительность ta экспозиции одного спектра, отношение «сигнал/шум» S/N, монохроматическая звездная величина звезды WW Vul на длине волны λ 550 нм и звезда-стандарт.

Для абсолютизации измерений и вспомогательных целей получены спектры стандартных звезд с известными абсолютными значениями потоков энергии: BD +28°4211, HD 7964, HD 12216, HD 22928, HD 35076 и HD 35411 (в табл. 1 не указаны). Значения абсолютных потоков энергии для этих звезд взяты из работ [9, 10, 15].

При редукции спектров учитывались значения коэффициентов атмосферной экстинкции K_λ , полученные за период 1979—2000 гг. [13] для третьей декады сентября. К сожалению, наблюдения [13] не содержали данных о поведении K_λ в красной области. Их пришлось получить путем экстраполяции UBV -зависимостей на полосу R по известным значениям $UBVRI$ -коэффициентов экстинкции для некоторых других средневысотных обсерваторий. Эта упрощающая операция не могла существенно повлиять на конечный результат, поскольку в подавляющем большинстве случаев разность между воздушными массами переменной звезды и звезд-стандартов была невелика (< 0.3), а сами значения поправок для области $\lambda = 550$ нм были менее 0.1^m. В суммарном результате роль погрешности, связанной с учетом экстинкции, была намного меньше погрешности самих абсолютных измерений (около 10 %). Эти оценки вычислялись по расхождениям значений монохроматического блеска WW Vul на $\lambda = 550$ нм (V_{550}), полученных привязкой к разным стандартам, наблюдавшихся в ту же самую ночь.

Статистический параметр точности S/N определялся по области максимальных отсчетов на каждой спектрограмме.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На всех 76 спектрах WW Vul, полученных в течение 2003—2005 гг., хорошо видна абсорбционная линия He I λ 587.6 нм (рис. 1).

Это обстоятельство находится в кажущемся противоречии с принадлежностью звезды WW Vul к спектральному классу A. Если бы спектральная классификация WW Vul выполнялась по этой линии гелия, а не по линиям водорода, то ее спектральный класс был бы не A3, а более ранним. Для оценки такого варианта классификации было проведено сравнение эквивалентной ширины W этой линии в спектре WW Vul (далее — W_a) и

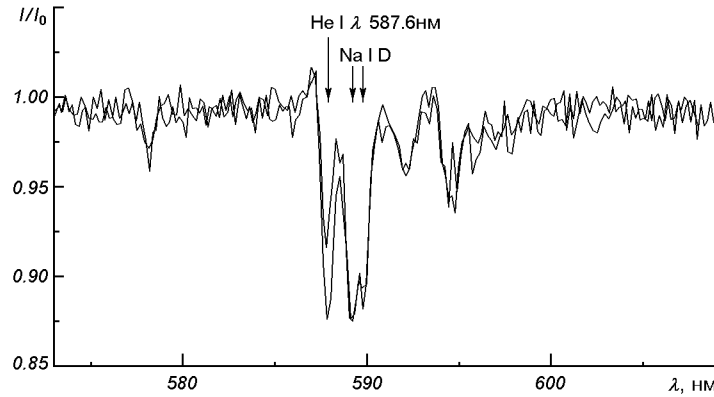
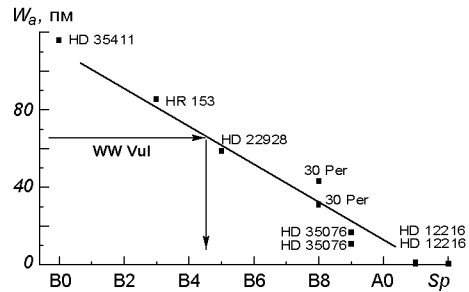


Рис. 1. Спектры WW Vul, полученные 26 сентября 2003 г. и 28 сентября 2005 г., на которых видны изменения линии He I λ 587.6 нм и наличие коротковолнового эмиссионного компонента

Рис. 2. Эмпирическая зависимость значений эквивалентной ширины линии He I λ 587.6 нм от спектрального класса для В-звезд разных подклассов



некоторых нормальных звезд. Для этого были выполнены наблюдения нескольких стандартных В-звезд разных спектральных подклассов. В результате получены своеобразные калибровочные кривые, специфичные только для данного метода, которые связывали спектральный подкласс и соответствующую ему эквивалентную ширину линии гелия (рис. 2). Видно, что среднему по ансамблю значению $W_a = 65.7 \pm 6.9$ пм (смотри ниже) соответствует спектральный диапазон В4—В5.

2. Оказалось несложным проверить, не изменился ли за последнее время спектральный класс переменной. Проверка была проведена по профилю водородной линии H_β , которая регистрировалась на тех же самых спектрах WW Vul, что и область линии гелия. Сравнение профиля линии H_β переменной с профилями линий H_β для двух звезд-стандартов HD 7964 (Sp A3) и HD 22928 (Sp B5) показано на рис. 3. Видно большое отличие профиля WW Vul от профиля В-звезды спектрального подкласса В5 и удовлетворительное совпадение профиля WW Vul с профилем звезды HD 7964 того же спектрального класса А3.

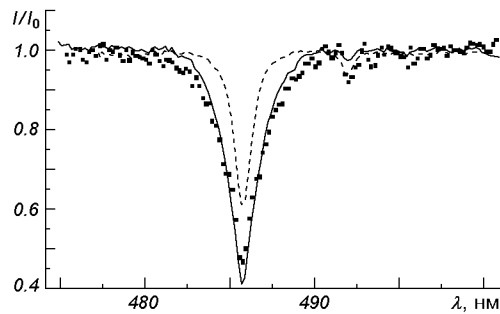


Рис. 3. Профили линии H_β звезды WW Vul (квадратики), а также HD 7964 (Sp A3) (сплошная линия) и HD 22928 (Sp B5) (штриховая линия)

Некоторое различие центральных интенсивностей WW Vul и HD 7964 вполне может быть объяснено наличием в линии H_{β} небольшого эмиссионного ядра. Как известно, бальмеровский эмиссионный декремент в спектрах звезд исследуемого типа довольно крутой [8], и часто в спектрах невысокого разрешения видна только эмиссия в линии H_{α} , поскольку в других линиях этой серии интенсивность эмиссии недостаточно велика.

Поскольку у WW Vul есть эмиссия в линии H_{α} , то должно быть хотя бы небольшое эмиссионное ядро в линии H_{β} , неразрешимое на наших спектрах, которое косвенно проявляет себя тем, что заливают центральную область фотосферной линии H_{β} и тем самым увеличивает центральную интенсивность линии.

Наблюдаемое на рис. 3 не совсем точное совпадение крыльев линии звезд WW Vul и HD 7964, может свидетельствовать о том, что на самом деле спектральный класс переменной на 1-2 подкласса более ранний, чем указано в ОКПЗ, во всяком случае ранее спектр этой звезды классифицировали как A0. Таким образом, простое сопоставление профилей линий исключает необходимость ревизии спектрального класса WW Vul, который остается в пределах A3 или на 1-2 подкласса более ранним.

3. Измерение эквивалентных ширин подтвердило то, что хорошо было заметно на регистрограммах визуально: величина W_a не остается постоянной. В табл. 2 приведены среднесуточные значения W_a и погрешности определения среднего значения, а также приведены значения эквивалентных ширин эмиссионного компонента линии He I λ 587.6 (W_e).

Исследования показали, что вариации величины W_a намного превышают величины возможных погрешностей и являются статистически достоверными. Изменения W_a происходят как от сезона к сезону, так и от ночи к ночи (см. результаты за 20 и 21 сентября 2004 г.). Более того, наблюдения 20 сентября 2004 г. позволили установить, что характерное время изменений W_a может измеряться десятками минут. Эти быстрые изменения показаны на рис. 4. Для сравнения на этом рисунке показано значение среднего стандартного отклонения (погрешность σ единичного определения W_a). Учитывая то обстоятельство, что спектры получены с высоким отношением S/N, и что речь идет об измерениях довольно больших эквивалентных ширин, нас не должен смущать тот факт, что спектральное разрешение прибора СПЭМ не очень велико. В данном случае оно адекватно поставленной задаче, и полученные спектрограммы вполне пригодны для измерения эквивалентной ширины данной линии He I с необходимой точностью.

Таблица 2. Среднесуточные значения эквивалентных ширин

Дата	N	W_a , пм	Погрешность среднего	W_e , пм
26 сентября 2003 г.	1	96.0	—	-6.1
28 сентября 2003 г.	23	60.3	± 1.7	—
19 сентября 2004 г.	2	45.4	—	-6.3
20 сентября 2004 г.	16	49.3	± 2.4	-5.7
21 сентября 2004 г.				
I серия	10	8.21	± 2.5	-1.3
II серия	10	95.2	± 1.8	-3.7
28 сентября 2005 г.	3	65.7	± 2.1	-7.9
29 сентября 2005 г.	11	60.1	± 1.8	-2.9

Стандартное отклонение $\sigma = 8.1$ пм рассчитано как средневесовое значение величин σ_i , полученных в другие ночи, когда быстрая переменность не наблюдались, и все вариации можно считать связанными только с погрешностью измерений.

Таким образом, быстрые изменения эквивалентной ширины линии He λ 587.6 нм, наряду с ее вариациями от ночи к ночи, можно считать установленным фактом.

4. Еще одна интересная деталь в профиле линии He λ 587.6 нм заслуживает описания. Речь идет об эмиссионном компоненте, иногда наблюдаемом на коротковолновом крыле линии. Недостаточно высокое разрешение аппаратуры не позволяет дать подробное описание этой детали, которая, к тому же, наблюдается не всегда. Так, например, она отсутствовала на всех спектрах, полученных 28 сентября 2004 г.

Две среднесуточные спектрограммы, показанные на рис. 1, получены во время высокой интенсивности эмиссионного компонента. В табл. 2 указаны также эквивалентные ширины W_e этой эмиссии, однако приведенные значения близки к оценке стандартного отклонения, и их следует скорее рассматривать как чисто качественное указание на наличие эмиссии, требующей более скрупулезного изучения. Несмотря на маргинальный характер гелиевой эмиссии, небезынтересным кажется тот факт, что расположена она на коротковолновом крыле линии, а средняя величина ее смещения относительно центра абсорбционной линии, измеренная по усредненным спектрограммам за семь ночей, составляет

$$\Delta\lambda = -695 \pm 73 \text{ пм,}$$

что соответствует скорости 355 км/с.

5. Корреляция W_a и W_e с блеском. Неожиданным оказалось отсутствие корреляции между W_a и монохроматической звездной величиной V_{550} (рис. 5).

Этот факт не может быть объяснен ошибками измерений, поскольку разброс среднесуточных значений более чем на порядок превышает статистическую погрешность. Помимо этого, отсутствие корреляции демонстрирует также тот факт, что 26 сентября 2003 г. и 20 сентября 2004 г., когда блеск WW Vul был почти одинаков ($V_{550} = 10.94^m$ и 10.95^m), значения W_a отличались почти в два раза (96 и 49 пм соответственно). С другой стороны,

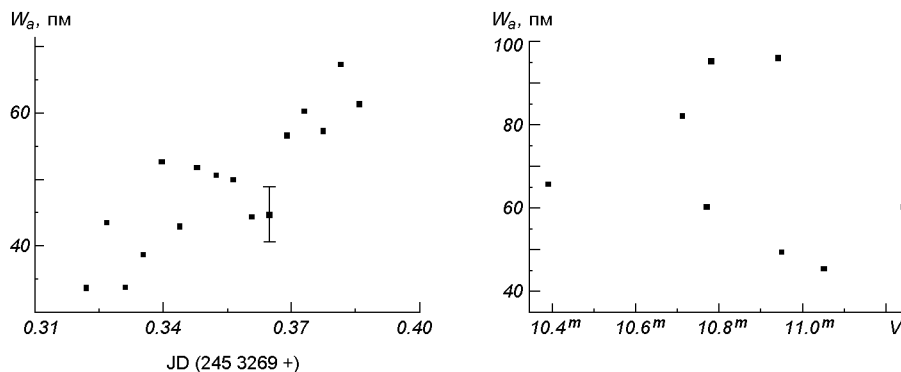


Рис. 4. Быстрые изменения эквивалентной ширины W_a He I λ 587.6 нм звезды WW Vul 20 сентября 2004 г.

Рис. 5. Сопоставление монохроматических звездных величин и W_a

28—29 сентября 2005 г., когда блеск в течение суток упал на 0.38^m , эквивалентная ширина почти не изменилась (66 и 60 пм).

Полученные значения W_e также не показывают корреляции с блеском. На нашем материале ее нельзя выявить, поскольку измеренные значения W_e меньше величины стандартного отклонения. Однако мы обращаем внимание на важность исследования этой зависимости, поскольку от нее во многом зависит модель, претендующая на объяснение всей совокупности феноменов, ассоциированных с переменностью линии He I λ 587.6 нм.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ряде работ [11, 14] было показано, что в спектрах некоторых звезд типа Ae/Be Хербига, в том числе и у WW Vul, присутствует и претерпевает быстрые и значительные изменения линия He I λ 587.6 нм.

Сам факт наличия относительно сильной линии поглощения гелия в спектре А-звезды, а также быстрая переменность профиля этой линии с характерным временем менее суток определенно указывают на то, что эта линия имеет не фотосферное происхождение. Считается, что эта линия возникает в аккреционном диске, в той его внутренней области, где температура превышает 10^4 К. Эквивалентная ширина этой линии для WW Vul достигает 96 пм, т. е. близка к тому, что наблюдается у звезд спектрального класса B2—B3, где эта линия наиболее сильная. Это обстоятельство может пролить свет на то, каким образом в картинной плоскости взаимно расположены видимый диск звезды и область, в которой возникает линия гелия (активная область). Исходя из того, что значение W_a He I близко к максимально наблюдаемому у В-звезд, можно предполагать, что размер активной области не меньше размеров самой звезды (в проекции на диск звезды), и что активная область почти полностью проецируется на звезду. В противном случае к наблюдателю попадала бы значительная часть фотосферного излучения, в котором линия гелия отсутствует. Такое «вуалирование» неизбежно привело бы к уменьшению эквивалентной ширины линии гелия, и мы не регистрировали бы значения W_a , близкие к максимально возможным.

Все сказанное однозначно свидетельствует в пользу предположения, что в данном случае дисковая структура вокруг звезды WW Vul видна с ребра или в положении, близком к этому. Очевидно, что при наблюдении звезды с полюса нефотосферная линия He I λ 587.6 нм либо отсутствовала бы на спектрах умеренного разрешения, либо была бы слабой. Предположение о наблюдаемом положении звезды «on edge» подтверждается большой зарегистрированной величиной проекции скорости вращения. Согласно наблюдениям [14] параметр $V \sin i$ для WW Vul составляет

$$V \sin i = 220 \pm 22 \text{ км/с.}$$

Таким образом, WW Vul видна сквозь дисковую структуру. Быстрые изменения эквивалентной ширины линии He I λ 587.6 нм с характерным временем в десятки минут указывают на быстрые изменения температуры и/или плотности газа в той части диска, где возникает эта линия.

ВЫВОДЫ

Полученные по обширному спектральному материалу результаты подтверждают постоянное наличие абсорбционной линии He I λ 587.6 нм в спектре звезды WW Vul, которая относится к спектральному классу A3. Установлен факт быстрой переменности профиля этой линии с характерным временем

порядка десятков минут. Удалось показать, что изменение эквивалентной ширины линии He I λ 587.6 нм не связано с изменением монохроматического блеска звезды на длине волны 550 нм. Подтвержден факт наличия транзиентного эмиссионного компонента на коротковолновом крыле линии гелия, смещенного относительно центра абсорбционной линии на величину около 355 км/с.

Обнаруженные факты добавляют новые важные штрихи к общей картине переменности звезд типа Is(A) с непериодическими ослаблениями блеска.

Амплитуда изменения монохроматического блеска WW Vul на длине волны 550 нм за время наблюдений составила около 1^m (10.38^m — 11.39^m).

Автор благодарит руководство НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», предоставившее возможность наблюдений на ЗТШ, сотрудников КраО В. И. Проника и С. Г. Сергеева, обеспечивших проведение наблюдений, а также С. Г. Кравчука и Я. В. Павленко за ценные замечания.

1. Гринин В. П., Киселев Н. Н., Минукулов Н. Х. и др. Наблюдения линейной поляризации в глубоких минимумах WW Vul // Письма в астроном. журн.—1988.—14, № 6.—С. 514—525.
2. Зайцева Г. В. Фотоэлектрическая фотометрия WW Лисички // Перемен. звезды.—1983.—22, № 1.—С. 1—8.
3. Зайцева Г. В., Тарасов А. Е., Щербаков А. Г. О переменности эмиссии H_{α} в максимуме блеска WW Vul // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1985.—72.—С. 85—89.
4. Зайцева Г. В., Чугайнов П. Ф. Изменения блеска WW Vul и их интерпретация // Астрофизика.—1984.—20, № 3.—С. 447—465
5. Кардополов В. И., Филиппов Г. К. Четырехлетний ряд фотоэлектрических UBVRI измерений блеска WW Лисички // Перемен. звезды.—1983.—22, № 2.—С. 122—125.
6. Колотилов Е. А. Спектральные и фотометрические наблюдения быстрых неправильных переменных звезд // Астрофизика.—1977.—13, № 1.—С. 33—49.
7. Пугач А. Ф. О мощности излучения некоторых антивспыхивающих звезд в линии H_{α} // Астрофизика.—1988.—29, № 3.—С. 448—457.
8. Пугач А. Ф., Ковальчук Г. У. Бальмеровский эмиссионный декремент в спектрах трех звезд с непериодическими ослаблениями блеска // Кинематика и физика небес. тел.—1993.—9, № 5.—С. 44—51.
9. Харитонов А. В., Терещенко В. М., Князева Л. Н. Сводный спектрофотометрический каталог звезд. — Алма-Ата: Наука, 1978.—199 с.
10. Glushneva I. N., Kharitonov A. V., Kniazeva L. N., Shenavrin V. I. Secondary spectrophotometric standards // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1992.—92.—P. 1—29.
11. Grinin V. P., Kozlova O. V., Natta A., et al. Optical spectra of five UX Orionis—type stars // Astron. and Astrophys.—2001.—379, N 2.—P. 482—495.
12. Kozlova O. V., Grinin V. P., Rastopchina A. N. Non stationary gas accretion on UX Ori type stars // Astron. and Astrophys. Trans.—1998.—15, N 1-4.—P. 153—157.
13. Metlov V. G. Seasonal and long-term variations in the atmospheric extinction in Crimea // Astron. and Astrophys. Trans.—2004.—23.—P. 197—207.
14. Mora A., Merin B., Solano E., et al. Spectral classification and projected rotation velocities of Vega-type and pre-main sequence stars // Astron. and Astrophys.—2001.—378, N 1.—P. 116—131.
15. Oke J. B. Faint spectrophotometric standard stars // Astron. J.—1990.—99, N 5.—P. 1621—1631.

Поступила в редакцию 17.10.06