СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ КЛАССИЧЕСКОЙ НОВОЙ V458 Vul, ВСПЫХНУВШЕЙ ВНУТРИ ПЛАНЕТАРНОЙ ТУМАННОСТИ

Т. Н. Тарасова

Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, АР Крым
e-mail: taya@crao.crimea.ua

Проанализированы спектральные данные Новой Лисички 2007 года (V458 Vul), полученные начиная с 9-х по 662-е сутки после максимума блеска. Были обнаружены суточные изменения профилей спектральных линий [Fe VII]. Мы полагаем, что эти изменения связаны с орбитальным движением конической ударной волны. Обнаружен цикл переменности по запрещённым линиям [Fe VII], равный 60 суткам и совпадающий с циклом фотометрической и рентгеновской переменности. Возможно, переменность связана с прецессией полярных струй вещества, истекающего с поверхности белого карлика. Оценены температура и плотность среды, где формируются линии [Fe VII]. Температура меняется со временем от 120 000–60 000 K до 30 000 K, плотность от 10^7 до $10^6\,\text{см}^{-3}$. Мы предполагаем, что спектральные линии [Fe VII] образуются за фронтом конической ударной волны.

ВВЕДЕНИЕ

Новая Лисички 2007 года (V458 Vul) была открыта 8-го августа 2007 года [7]. Интересной особенностью V458 Vul является то, что эта вторая из известных новых, вспышка которой произошла внутри планетарной туманности [15]. Хенден и Мунари [4] провели астрометрические наблюдения и отождествили новую по каталогу USNO-B1.0 1108-0460444 как объект, имеющий звёздные величины в полосе $B = 18.2^m$, в полосе $R = 17.8^m$, тем самым подтвердили, что наблюдалась вспышка новой. Имя V458 Vul было присвоено новой Самусем [11].

Первые спектры низкого разрешения были получены Буил и Фуджи [2], Мунари и др. [6] через сутки после открытия. В спектрах присутствовали кроме бальмеровских линий, линии Fe II. Все спектральные линии имели профили P Cyg. Поэтому звезда была классифицирована как Fe II, в соответствии со спектральной классификацией, которая была предложена Вильямс [17]. Однако более поздние наблюдения Шкода и др. [12], Тарасова [13], Поггиани [10] показали усиление линий He I и отсутствие в спектрах линий с профилем P Cyg, то есть Новая на этом этапе более походила на HeN-тип. Поэтому мы причислили её к гибридным новым [13]. Эта классификация была подтверждена Поггиани [10].

КРИВАЯ БЛЕСКА V458 Vul

На рис. 1 приведена кривая блеска V458 Vul, которая была построена нами на основании базы данных AAVSO. На врезке к этому рисунку показано падение блеска звезды в течение 20 суток после максимума. В это время на фоне плавного падения наблюдалось временное увеличение блеска на полторы звёздные величины на 4 и 10-е сутки после максимума. Кроме того, через год после максимума блеска Новая демонстрировала переменность как в течение суток, так и на протяжении более длительного периода. Причём последняя переменность имела характер цикла. Звёздная величина сначала в течение приблизительно 30 суток увеличилась почти на две звёздные величины, а затем за такой же период уменьшилась на такую же величину. Суточную фотометрическую переменность исследовал Горанский и др. [3]. Однако период, который был ими найден, около 0.6 суток, позднее не подтвердился [8].

По кривой блеска мы определили параметры t_2, t_3, равные 7 и 18 суткам [14] соответственно и характеризующие время падения блеска на 2 и 3 зв. вел. Используя статистические соотношения между абсолютной звёздной величиной и параметрами t_2, t_3, мы определили абсолютную звёздную величину в максимуме. Эта величина в среднем составила $M_v = -9.0$. Знание абсолютной звёздной величины позволило оценить расстояние до Новой, около 12.7 кпк, и массу белого карлика, равную $M_{wd} = 1.2\,M_\odot$ [14]. Таким образом, первичным компонентом Новой является массивный белый карлик.

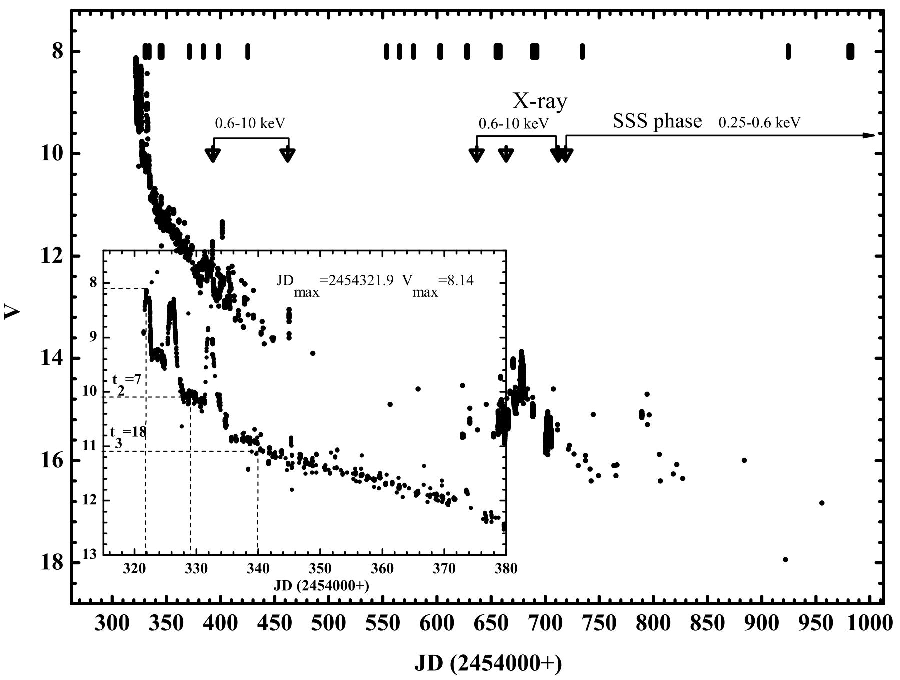


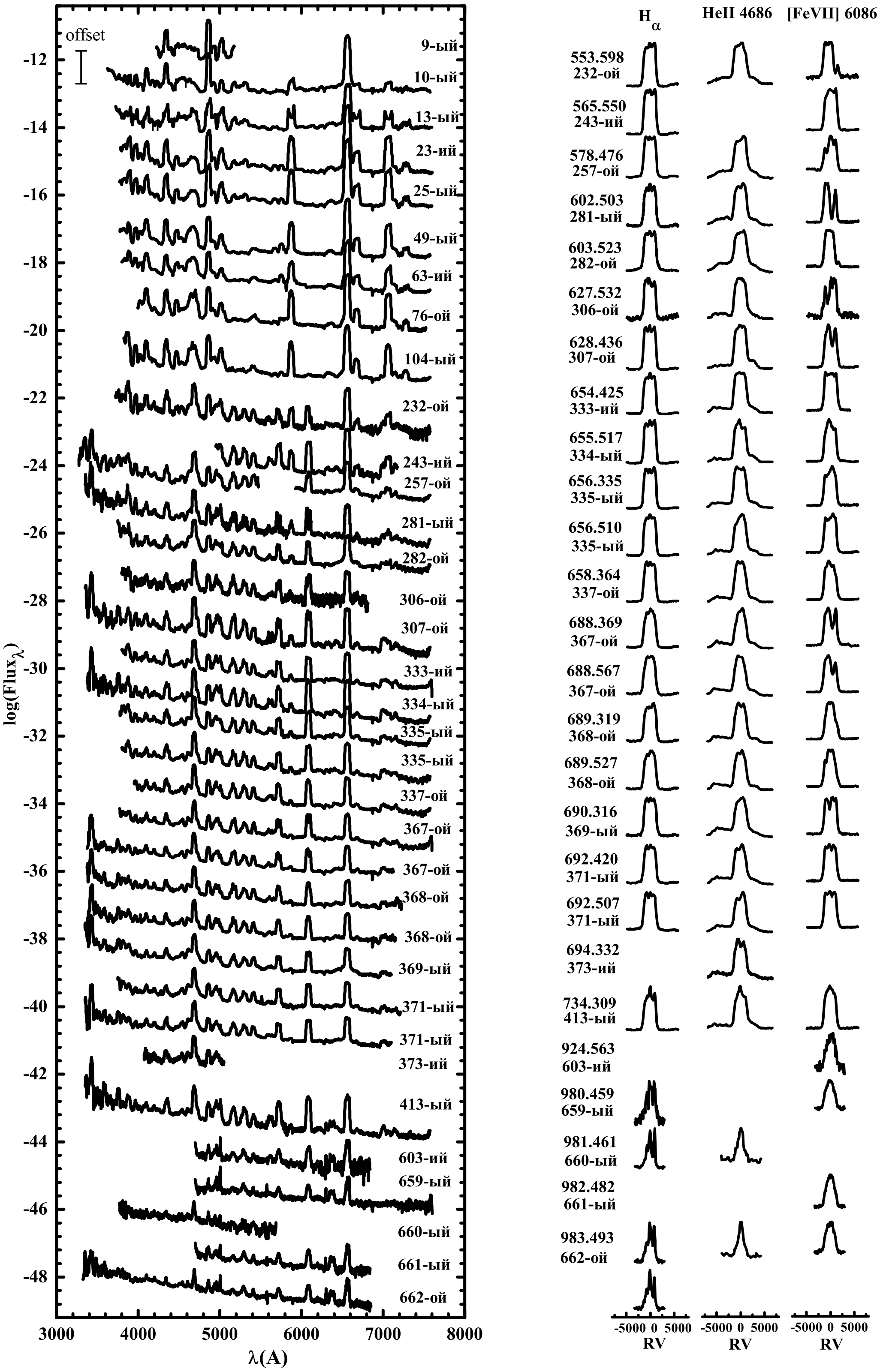
Рис. 1. Кривая блеска Новой Лисички 2007 года (V458 Vul), построенная по данным AAVSO

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ НОВОЙ V458 Vul

Спектральные наблюдения проводились на спектрографе СПЭМ, установленном в фокусе Нэсмита на 2.6-м зеркальном телескопе им. Шайна (ЗТШ) в Крымской астрофизической обсерватории. Все спектры, за исключением двух, получены с дисперсией около 2 Å/пкл в интервале длин волн 3200–7500 Å. Два спектра получены со средней дисперсией 0.75 Å/пкл в интервале длин волн 4200–5300 Å. На кривой блеска, представленной на рис. 1, отмечены даты, когда были получены спектральные данные. На рис. 2, *а* представлены спектры V458 Vul, начиная с 9-х суток и заканчивая 669-ми сутками после максимума.

Раннюю спектральную эволюцию Новой на рис. 2, *а* демонстрируют первые пять спектров. Интересной особенностью этой фазы является резкое изменение потоков, ширин и формы профилей спектральных линий после второго поярчания, на 13-е сутки после максимума. Причём в линиях He I произошло увеличение потока излучения, а в линиях H I потоки уменьшились [13, 14]. Ширины спектральных линий H I и He I на 13-е сутки после максимума показывают повышение, почти на четверть, скорости оболочки. Кроме того, двугорбая форма профилей спектральных линий He I и сложный профиль P Cyg линий H I рис. 2, *а* указывают на изменившуюся структуру оболочки. Такая структура профилей линий может быть связана с газовым диском или же с полярными выбросами вещества [1]. Несмотря на то, что формы профилей линий H I и He I различаются, не исключено, что они отражают одинаковую структуру оболочки. Так как они могут быть представлены как сумма одногорбого профиля от сферической оболочки и двугорбого от диска, или осесимметричного выброса. Мы предполагаем, что наблюдаемые изменения связаны не с диском, а с кратковременными симметричными выбросами вещества. Основанием для нашего предположения являются профили P Cyg спектральных линий в максимуме второго поярчания. Такие профили линий указывают на дополнительные выброса вещества. Профили спектральных линий, полученные сразу же после первого [12] и второго поярчания [13] идентичны: сложные профили P Cyg линий H I и двугорбые профили линий He I, то есть мы наблюдаем одни и те же структуры после первого и второго поярчания Новой. Подтверждением того, что мы наблюдали эпизодические выбросы, также является исчезновение впоследствии пекулярной формы профилей линий H I и He I [10, 13].

На рис. 2, *а* видно, что фаза запрещённых линий развилась в период со 104-х по 232-е сутки. В спектре, кроме линий водорода и линий He II (4542, 4686, 5412, 6311), выделяются линии [Fe VII] (3586, 3759, 5159, 5721, 6086), линии [Ne III] (3869, 3968), [Ne V] (3346, 3426), линии [Ar V] (6435, 7006), а также, по-видимому, [Ca V] 5309. На этом этапе мы обнаружили сильную переменность профилей запрещённых линий [Fe VII]



а б

Рис. 2. Спектры Новой V458 Vul с 9-х по 662-е сутки после максимума блеска. Отмечены сутки после максимума блеска (*а*). Профили линий H$_\alpha$, He II 4686 и [Fe VII] 6086. Дополнительно к суткам отмечена JD-2454000 (*б*) и [Ne V] (рис. 2, *а, б*). Переменными были и рекомбинационные линии H I, He I, He II (рис. 2, *а, б*). Но эта переменность была менее выражена и, кроме того, профили спектральных линий H I, He II и [Fe VII] не были похожи. Разное поведение рекомбинационных и запрещённых линий показывает, что оболочка на данном этапе всё ещё не прозрачна для излучения, исходящего от белого карлика, и спектральные линии H I и [Fe VII] образуются в разных областях системы.

На профилях спектральных линий [Fe VII], полученных на 281, 306, 307, 367-е сутки (рис. 2, *б*), видны глубокие депрессии, причём их интенсивность и лучевая скорость оказалась почти одинаковой на 307 и 367-е сутки, то есть наблюдается некоторый цикл переменности, равный 60 суткам. Промежуток времени между повторяющимися профилями (60 суток) такой же, как и цикл фотометрической переменности (рис. 1). Следует отметить, что такой же цикл наблюдается по рентгеновским данным [8]. Мы предполагаем, что депрессии в спектральных линиях [Fe VII] связаны с изменением плотности газа в направлении на луче зрения. Возможно, плотность меняется вследствие того, что истечение вещества продолжается преимущественно в виде коллимированного ветра с полюсов белого карлика. Струя газа при этом прецессирует, меняется плотность вещества на луче зрения, и мы наблюдаем депрессии в запрещённых линиях. С другой стороны, в профилях рекомбинационных линий, отсутствуют характерные особенности, указывающие на существование коллимированных потоков вещества. Возможно, это связано с тем, что интенсивность излучения оболочки в рекомбинационных линиях преобладает над излучением от струи вещества, и, кроме того, лучевые скорости абсорбционных компонентов не превышают скорость оболочки. Тем не менее, переменность профилей в рекомбинационных линиях присутствует, хотя и менее выраженная. Однако цикл переменности по рекомбинационным линиям не наблюдается.

Кроме того, были обнаружены изменения профилей линий за сутки. Следует отметить, что заметные изменения в профилях линий происходили в течение четырёх часов (рис. 2, *б*). Это самый короткий промежуток времени между нашими наблюдениями. Мы попытались найти период по лучевым скоростям депрессий в запрещённых линиях. Наилучший период, который нам удалось найти составляет около 2.6 суток. Однако из-за низкой значимости мы не уверены в его достоверности. Кроме того, Вессон и др. [16] по спектральным наблюдениям высокого разрешения получили существенно более короткий период, равный 98 минутам. Мы предполагаем, что короткопериодическую переменность профилей запрещённых линий можно объяснить вращением конической ударной волны, вызванным орбитальным движением компонентов системы. Высокоскоростной ветер от белого карлика сталкивается с веществом планетарной туманности. В результате большой разности скоростей фронт ударной волны, возникающей за вторичным компонентом, представляет собой конус, внутри которого находится более разреженный газ. Орбитальное движение закручивает фронт и мы наблюдаем переменность профилей запрещённых линий Новой V458 Vul. В пользу такого предположения свидетельствует рентгеновское излучения в диапазоне 0.6–10 кэВ [8] (рис. 1), которое может быть следствием ударной волны в системе, образующейся в результате столкновения двух потоков вещества. Подобная переменность профилей линий была исследована в массивных двойных системах, состоящих из Вольфа–Райе и O-звезды [5]. Переменные с фазой орбитального движения модельные профили спектральных линий запрещённых переходов удивительным образом совпадают с профилями линий [Fe VII].

Мы рассмотрели физические условия, в которых возникают запрещённые линии [Fe VII]. Для этого было вычислено отношение потоков в линиях [Fe VII] 3760 и 6086. Отношение потоков в спектральных линиях [Fe VII] 3760 и 6086 на 257 и 281-е сутки равно 1.54 и 1.38, что согласно расчётам Нассбаумер и др. [9] соответствует температурам от 60 000 до 120 000 K и плотности газа около 10^7 см$^{-3}$. Последующие значения отношения потоков, значения которых составляли от 0.84 до 1.13, показывают, что температура понизилась и составила 30 000–20 000 K, а плотность уменьшилась до 10^6 см$^{-3}$. Температуры и плотность среды, где формируются линии [Fe VII] не противоречат, на наш взгляд, предположению, что они образуются за фронтом ударной волны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы спектральные наблюдения Новой 2007 года V458 Vul, проводившиеся начиная с 9-х по 662-е сутки после максимума блеска. Данные наблюдений показывают, что в общих чертах, спектральная эволюция V458 Vul похожа на эволюцию классических новых подобного типа, например, на Новую Змееносца 1988 года (V2214 Oph). Однако были обнаружены и заметные отличия. Блеск звезды на фоне плавного падения два раза увеличивался на полторы звёздные величины в самом начале его падения, и спектральные наблюдения показали, что изменились потоки излучения, скорость и структура оболочки. Мы полагаем, что эти изменения связаны с кратковременными выбросами вещества во время поярчания.

Были обнаружены суточные изменения формы профилей как запрещённых, так и рекомбинационных спектральных линий. Изменения, которые мы наблюдали в профилях запрещённых линий, сильнее, и они не совпадают с рекомбинационными линиями. Короткопериодические изменения, которые мы обнаружили, по-видимому, связаны с вращением конической ударной волны, вызванным орбитальным движением. Оценки физических условий среды, где формируются линии [Fe VII] показывают, что температура составляла от 120 000–60 000 K, плотность 10^7 на 257 – 281-е сутки после максимума блеска, а на 334-е сутки температура упала до 30 000 K, а плотность до 10^6 см$^{-3}$. Мы предполагаем, что линии [Fe VII] образуются за фронтом конической ударной волны.

Обнаружен цикл переменности по запрещённым линиям [Fe VII], равный 60 суткам и совпадающий с циклом фотометрической и рентгеновской переменности. Мы считаем, что эта переменность связана с прецессией струи вещества, истекающего в виде коллимированного ветра с поверхности белого карлика.

Данная работа была выполнена при частичной финансовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований Украины (код проекта Ф28.2/081).

[1] *Боярчук А. А, Гершберг Р. Е.* Исследование новой Лебедя 1975 = V1500 Cyg в Крымской астрофизической обсерватории // Астрон. журн. – 1977. – **54**. – С. 488–493.

[2] *Buil C., Fujii M.* Nova Vulpeculae 2007 // IAU Circ. – 2007. – **8862**. – P 2.

[3] *Goranskij V. P., Metlova N. V., Barsukova E. A., et al.* The Orbital Period of the Classical Nova V458 Vul // ATel. –2008.– 1631.

[4] *Henden A., Munari U.* Photometric sequences and astrometric positions of Nova Sgr 2007 and Nova Vul 2007 // IBVS. – 2007. – **5803**. – 1.

[5] *Ignace R., Bessey R., Price C. S.* Modelling forbidden line emission profiles from colliding wind binaries // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 2009. – **395**, N 2. – P. 962–972.

[6] *Munari U., Moretti S., Tomaselli S.* Nova Vulpeculae 2007 // CBET. – 2007. – **1029**. – 1.

[7] *Nakano S., Kadota K., Waagen E., et al.* Possible Nova in Vulpecula // IAU Circ. – 2007. – **8861**. – P 2.

[8] *Ness J. U., Drake J. J., Beardmore A. P., et al.* Swift X-Ray and ultraviolet monitoring of the classical Nova V458 Vul (Nova Vul 2007) // Astron. J. – 2009. – **137**, N 5. – P. 4160–4168.

[9] *Nussbaumer H., Storey P. J., Storey P. J.* Forbidden emission lines of Fe VII // Astron. and Astrophys. – 1982. – **113**, N 1. – P. 21–26.

[10] *Poggiani R.* The early spectroscopic evolution of nova V458 Vul (Nova Vulpeculae 2007) // Astrophys. and Space Sci. – 2008. – **315**, N 1–4. – P. 79–85.

[11] *Samus N. N.* V458 Vulpeculae = Nova Vulpeculae 2007 // IAU Circ. – 2007. – **8863**. – P. 2.

[12] *Skoda P., Kubat J., Votruba V., et al.* Nova Vulpeculae 2007 // CBET. – 2007. – **1035**, N 1.

[13] *Tarasova T. N.* Early spectral evolution of Nova Vul 2007 = V458 Vul // IBVS. – 2007, – **5807**. – P. 1.

[14] *Tarasova T. N.* Spectroscopic monitoring of Nova Vulpeculae 2007 (V458 Vul) // Odessa Astron. Publ. – 2008. – **21**. – P. 120.

[15] *Wesson R., Barlow M. J., Corradi R. L. M., et al.* A Planetary nebula around Nova V458 Vulpeculae undergoing flash ionization // Astrophys. J. – 2008. – **688**, N 1. – P. L21–L24.

[16] *Wesson R, Barlow M. J., Corradi R. L. M., et al.* V458 Vul – a classical nova inside a planetary nebula // The 14th North American Workshop on Cataclysmic Variables and Related Objects, 15–19 March 2009, University of Arizona, Tucson, Arizona.

[17] *Williams R. E.* The Formation of novae spectra // Astron. J. – 1992. – **104**, N 2. – P. 725–733.