

УДК 524.38-735:520.826.2

## UVV-ФОТОМЕТРИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ СИСТЕМЫ С КРАСНЫМ ГИГАНТОМ КЛАССА M2 III V934 ГЕРКУЛЕСА (4U 1700+24)

© 2012 В. П. Горанский<sup>1\*</sup>, Н. В. Метлова<sup>2</sup>, Е. А. Барсукова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ, Университетский проспект, 13, Москва, 119992, Россия

<sup>2</sup>Крымская станция ГАИШ МГУ, пос. Научный, Бахчисарайский р-н, А.Р. Крым, 98409, Украина

<sup>3</sup>Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 17 октября 2011 г.; принята в печать 18 ноября 2011 г.

V934 Her — разделенная система, состоящая из холодного гиганта и нейтронной звезды. Нейтронная звезда аккрецирует вещество из звездного ветра гиганта. По многоцветным фотоэлектрическим наблюдениями 1997–2011 годов обнаружен период 415 дней, близкий к периоду, открытому спектроскопическим методом по лучевым скоростям. Этот период считается орбитальным периодом обращения нейтронной звезды вокруг красного гиганта. Наибольшую амплитуду  $0^m12$  имеет волна с этим периодом в полосе *U*. Обнаружены также мультипериодические пульсации красного гиганта. В кривой блеска в полосе *V* доминирует волна пульсаций с периодом 28.82 дня и амплитудой  $0^m10$ .

Ключевые слова: звёзды: рентгеновские двойные — звёзды: поздних типов — звёзды: нейтронные — звёзды: V934 Her (4U 1700+24)

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Рентгеновский источник 4U 1700+24 был впервые зарегистрирован на спутниках *Uhuru* [1] и *ArielV* [2]. В рентгеновском спектре источника происходят значительные и сложные изменения в длительной шкале времени. Спектральные свойства источника лучшим образом описываются комптонизацией с избытком в области менее 1 кэВ, причем этот избыток хорошо представляется моделью абсолютно черного тела с  $kT_{\text{ВВ}} \sim 1$  кэВ. На уровне слабых потоков избыток излучения исчезает и не регистрируется [3]. По данным спутника *RXTE/ASM* у источника наблюдалось две рентгеновские вспышки. Первая произошла в 1997–1998 г., продолжалась 100 дней и достигла максимума около JD 2450780. Вторая была в 2002 г., продолжалась 250 дней, и максимум наблюдался около JD 2452480. При увеличении светимости рентгеновский спектр становится более жестким. При первой вспышке в спектре появлялся жесткий хвост излучения, распространявшийся до 100 кэВ [3]. С новым значением расстояния в 420 пс [3] светимость источника в диапазоне 2–10 кэВ меняется в пределах  $2 \times 10^{32} - 1 \times 10^{34}$  эрг/с. Такой светимостью может обладать нейтронная звезда, аккрецирующая

вещество из звездного ветра соседней нормальной звезды. В некоторых работах в результате слежения в рентгеновских лучах были зарегистрированы даже квазипериодические колебания потока с периодами вблизи 900 с (в [4] с прибором *IPC* космической обсерватории *Einstein* и в [5] на обсерватории *ROSAT*). В работе [3], однако, при слежении на четырех обсерваториях зарегистрирован только хаотический шум в шкалах десятки — тысячи секунд.

Оптический двойник рентгеновского источника 4U 1700+24 был отождествлен в [4] с позиционной точностью прибора *IPC* обсерватории *Einstein*. Он оказался красным гигантом HD 154791 ( $17^h 06^m 34^s 52 + 23^\circ 58' 18''$ .6; 2000), который, несмотря на жесткое рентгеновское облучение, имеет “абсолютно нормальный” оптический спектр. Позднее в работе [5] это отождествление было подтверждено с камерой высокого разрешения *HRI* рентгеновской обсерватории *ROSAT*. Спектр звезды классифицирован как M2 III [6]. В этом спектре не обнаружено каких-либо эмиссионных линий, характерных для рентгеновских систем с аккрецией (H $\alpha$ , H $\beta$ , He II 4686 Å) [4]. Однако в ультрафиолетовом спектре, полученном со спутником *IUE*, были обнаружены эмиссионные линии C IV 1550 Å, N V 1238 Å и Mg II 2800 Å, которые обычно не встречаются у M-гигантов [4, 7]. Причем

\*E-mail: goray@sai.msu.ru

эти линии показывали значительную переменность. Отмечалось также исчезновение эмиссионных компонентов в абсорбционной линии Ca II 3933 Å.

Значительной переменности в фильтрах  $B$  и  $V$  не наблюдалось, но в фильтре  $U$  временами регистрировалась переменность в шкале недели с малой амплитудой до  $0^m 15$  [8]. Как сообщалось в работе [9], даже в большой рентгеновской вспышке 1997 г., когда поток излучения в диапазоне 2–10 кэВ достиг максимума в 35 mCrab, в спектре высокого разрешения в широком диапазоне от  $\text{Nd}$  до  $\text{H}\alpha$  ничего не произошло, и никаких эмиссионных линий не появилось. Тем не менее, фотометрические наблюдения на спутнике *Hipparcos* показали переменность в пределах  $7^m 62 - 7^m 78$  в инструментальной системе с возможным периодом  $31^d 41$ , что явилось основанием для группы ОКПЗ обозначить звезду как переменную V934 Her и отнести ее к типу SRb.

Для того чтобы подтвердить идентичность рентгеновского источника 4U 1700+24 и М-гиганта V934 Her, в работе [6] проведено тщательное спектроскопическое исследование звезды в оптике по материалам 1982–1996 годов и проанализирован ряд рентгеновского мониторинга *RXTE/ASM* 1996–2002 годов. В лучевых скоростях М-гиганта найден период  $404 \pm 3$  дня. В среднем полуамплитуда кривой лучевой скорости оказалась равной  $K = 0.75 \pm 0.12$  км/с при средней системной скорости  $-48.7 \pm 0.1$  км/с. Движение может быть орбитальным, тогда эксцентриситет орбиты составил бы  $0.26 \pm 0.15$ , проекция полуоси орбиты  $a \times \sin i = (4.2 \pm 0.7) \times 10^6$  км, а долгота периастро  $\omega = 260^\circ \pm 40^\circ$ . Не исключается также, что движение относится к пульсациям М-гиганта. В данных *RXTE/ASM* обнаружен период модуляции  $404 \pm 13$  дней с синусоидальной кривой потока и амплитудой  $0.108 \pm 0.012$  отсчетов *ASM*. Период в 400 дней был обнаружен независимо в работе [3] в этих же данных. В работе [6] был, однако, выявлен и другой значимый период — 383 дня. В этой работе отмечается сходство V934 Her с системой GX 1+4, у которой очень богатый эмиссионный спектр, так что обе системы рассматриваются как подобные симбиотическим системам.

В работе [10] снова анализировались данные *RXTE/ASM* в том же временном диапазоне JD 2450087–2452383 (1996–2002 г.), и присутствие 400-дневного периода и других значимых периодов не было подтверждено.

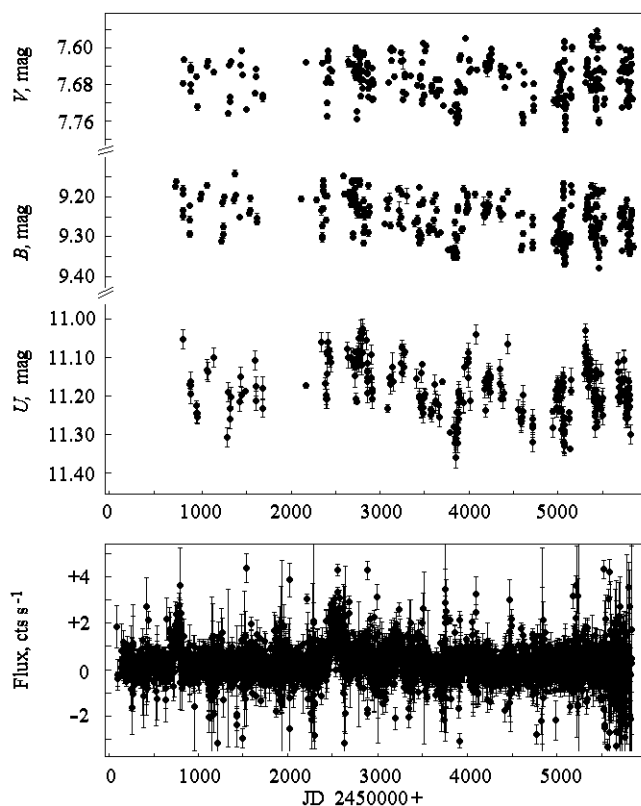
## 2. НАБЛЮДЕНИЯ

Мы начали регулярные фотоэлектрические UBV-наблюдения V934 Her на 60-см рефлекторе Цейсса Крымской станции ГАИШ сразу после

вспышки 1997 г., и эти наблюдения продолжаются до настоящего времени. Наблюдения проводятся на UBV-фотометре конструкции В. М. Лютого и являются однородными. Все наблюдения получены Н. В. Метловой. Мы анализируем ряд в 467 наблюдений (302 ночи) во временном диапазоне JD 2450783–2455825. Текущие кривые блеска и показатели цвета доступны для просмотра с Java-совместимым браузером по Интернет-адресу <http://jet.sao.ru/~goray/v934her.htm>. Таблицы наблюдений содержатся в той же директории в файле v934her.dat. Кроме наблюдений, выполненных на Крымской станции ГАИШ, файл содержит наблюдения из двух других литературных источников. В столбцах этого файла находятся, соответственно, юлианские даты в формате JD Hel.-2400000, величины  $V$ ,  $B$ ,  $U$ ,  $R$  и примечание из двух букв, указывающее на источник информации. При проведении наблюдений использовалась звезда сравнения GSC 2060-0124 ( $17^h 06^m 15^s 05 + 23^\circ 50' 37''.9; 2000$ ), для которой получены следующие величины:  $V = 10.230$ ,  $B = 10.803$ ,  $U = 10.710$ , и две контрольные звезды GSC 2060-0622 ( $17^h 06^m 22^s 46 + 23^\circ 51' 54''.2; 2000$ ) и GSC 1985-0222 ( $17^h 06^m 45^s 19 + 23^\circ 50' 42''.9; 2000$ ), которые подтверждают стабильность блеска звезды сравнения. Фотоэлектрические измерения GSC 2060-0622 изменяются в пределах  $V$  (11.57–11.60),  $B$  (12.65–12.66),  $U$  (13.61–13.70), а GSC 1985-0222 — в пределах  $V$  (11.13–11.15),  $B$  (11.81–11.83),  $U$  (11.93–11.97).

Для частотного анализа все наблюдения за ночь были усреднены, и определено среднеквадратичное уклонение, если число наблюдений превышало 2. Точность наблюдений определена как  $0^m 005 - 0^m 009$  в фильтре  $V$ ,  $0^m 008 - 0^m 013$  в фильтре  $B$  и  $0^m 010 - 0^m 030$  в фильтре  $U$ . В указанных пределах точность зависела от прозрачности неба, высоты объекта над горизонтом и фона неба (наблюдения проводились и при полной Луне).

Кривые блеска V934 Her в полосах  $V$ ,  $B$  и  $U$  на Рис. 1 сравниваются с рентгеновской кривой потока по данным *RXTE/ASM*. Пределы переменности V934 Her, измеренные в звездных величинах в разных фильтрах, следующие: в фильтре  $V$  7.560–7.779, в фильтре  $B$  9.141–9.379, в фильтре  $U$  11.003–11.361. Наши наблюдения не захватывают и вторую рентгеновскую вспышку, начало которой было зарегистрировано на *RXTE/ASM* 15 июня 2002 г. (JD 2452440), а максимум порядка 40 дней позже [6]. Последняя дата в этот сезон наблюдений приходится на JD 2452446 (6 дней после ее начала), однако наблюдения не показывают каких-либо особенностей, как и наблюдения [9] во вспышке 1997 г. Наши наблюдения демонстрируют



**Рис. 1.** Кривые блеска V934 Her в фильтрах  $V$ ,  $B$  и  $U$  в сравнении с кривой рентгеновского потока на 2–10 кэВ, полученной с прибором *ASM* спутника *RXTE*. Две рентгеновские вспышки видны около JD 2450780 и 2452520.

быструю переменность в шкале недели, которая упоминалась исследователями и ранее.

### 3. ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ

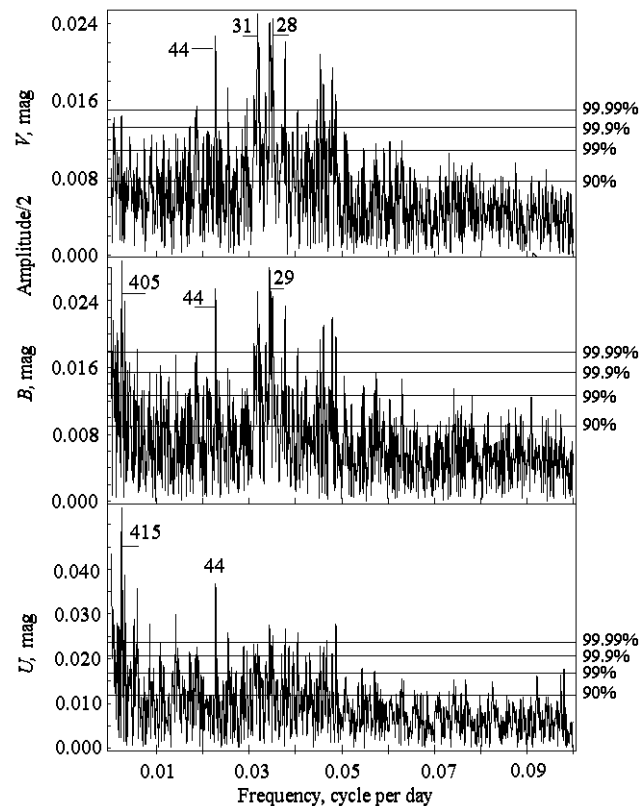
Для частотного анализа наблюдений использовалось дискретное Фурье-преобразование для временных рядов с произвольным распределением наблюдений по времени [11] и программа В. П. Горанского EFFECT, реализующая этот метод. Русский и английский варианты этой программы и инструкции для пользователей помещены на сайте <http://vgoray.front.ru/software>. Для оценки значимости пиков в амплитудном спектре был использован эмпирический метод В. Ю. Теребижа [12]. Метод основан на статистическом исследовании искусственных хаотических рядов, полученных путем перемешивания оригинальных рядов наблюдений, так что каждому значению момента времени оригинального ряда ставится в соответствие случайное значение звездной величины, выбранное из этого же ряда. Сравнение величин пиков в амплитудном спектре оригинальных рядов наблюдений с вероятностью появления пиков разной амплитуды в соответствующем хаотическом ряде дает возможность оценивать значимость найденных периодов.

Амплитудные спектры для кривых блеска V934 Her в полосах  $V$ ,  $B$  и  $U$  показаны на Рис. 2. Поиск периодичности проводился в интервале 10–5000 дней.

### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Частотный анализ кривых блеска V934 Her демонстрирует сложную картину периодических изменений, различную в разных частотных диапазонах. В полосе  $V$  в амплитудном спектре видно множество пиков в интервале периодов 20–44 дня с периодическими компонентами, имеющими полуамплитуды до  $0^m024$ . Здесь доминируют волны с периодами  $28^d5$ ,  $31^d4$  и  $44^d1$ . Соответствующие пики в спектре имеют сложную и многокомпонентную структуру, что свидетельствует о переменности этих периодов. Такой спектр характерен для красных полуправильных переменных типа SRb по классификации Общего каталога переменных звезд. Период 404 дня, найденный по спектроскопическим наблюдениям [6], в фильтре  $V$  никак не проявляется.

В амплитудном спектре кривой блеска в полосе  $B$  в области низких частот виден пик 406 дней, близкий к известному спектроскопическому периоду 404 дня. Различие незначимо и находится в



**Рис. 2.** Амплитудные спектры трех рядов наблюдений V934 Her в фильтрах  $V$ ,  $B$  и  $U$ . Горизонтальные линии с указанием процентов справа — уровни значимости пиков. Для наибольших пиков указаны периоды в сутках.

пределах ошибки определения порядка 20 дней. Полуамплитуда соответствующей волны  $0^m.029$ . В области более высоких частот видна серия пиков меньшей амплитуды с периодами, близкими тем, которые видны и в  $V$ -лучах:  $29^d.1$  и  $44^d.0$ .

В кривой блеска в фильтре  $U$  доминирует волна с периодом 415 дней, который близок к известному спектроскопическому периоду 404 дня. Точность определения периода 415 дней составляет  $\pm 14$  дней. Различие между этими периодами незначимо из-за большой неправильной переменности блеска. Полуамплитуда волны составляет  $0^m.054$ . Из области высоких частот в ультрафиолетовых лучах проявляет себя только волна с периодом  $44^d.1$ . Таким образом, мы подтверждаем спектроскопический период 404 дня, обнаруженный в работе [6].

На Рис. 3 показаны фазовые кривые блеска V934 Her в полосах  $V$ ,  $B$  и  $U$ . Самая нижняя кривая на Рис. 3 — средняя фазовая кривая потока на 2–10 кэВ, построенная по современным данным *RXTE/ASM*. При ее вычислении методом скользящего среднего был использован большой фазовый интервал усреднения 0.2 и линейные элементы

$$T_0 = 2449090 + 415^d \times E, \quad (1)$$

где за начало отсчета принят момент прохождения периастра из работы [6]. С этими элементами фотометрический максимум в полосе  $U$  определяется надежно и попадает в фазу  $-0.07$ . Это фазовое различие между моментом максимума и моментом прохождения периастра в сутках составляет 29 дней и является значимым. Расчетная эпоха максимума в полосе  $U$  —  $JD\ 2455280 \pm 20$ . Кривая блеска в  $U$ -лучах слегка асимметрична.

Мы вычислили также амплитудные спектры V934 Her по самым последним данным *RXTE/ASM* ([http://xte.mit.edu/ASM\\_lc.html](http://xte.mit.edu/ASM_lc.html)) на 1 сентября 2011 г. (4800 усредненных за сутки наблюдений, из которых исключены наблюдения в двух вспышках), полный временной диапазон  $JD\ 2450087-2455805$ . Расчеты были сделаны в двух вариантах: с включением наблюдений двух рентгеновских вспышек и без них. В любом случае значимые пики в амплитудном спектре не ассоциируются со спектроскопическим периодом 404 дня. Нет значимого пика и вблизи периода 415 дней. На Рис. 3 (внизу) показана средняя кривая блеска по рентгеновским данным, вычисленная с периодом 415 дней (вспышки исключены из расчетов). Заметная периодическая составляющая с этим периодом все-таки существует, и максимум средней кривой блеска остается прежним,

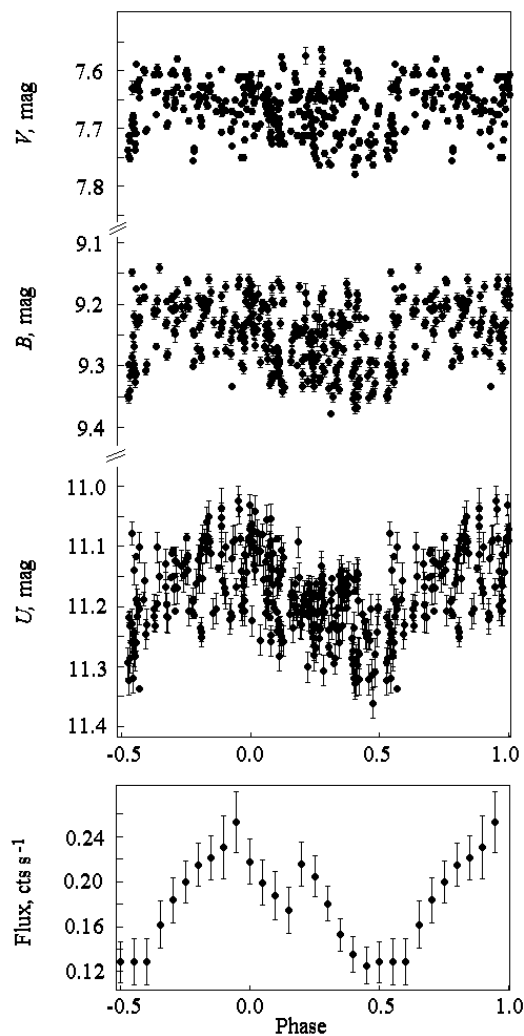


Рис. 3. Фазовые кривые блеска V934 Her в фильтрах  $V$ ,  $B$  и  $U$  для 415-дневного периода от элементов из уравнения (1). Внизу показана средняя кривая рентгеновского потока 2–10 кэВ по данным *RXTE/ASM*, фазы которой вычислены с теми же элементами.

заданным в работе [6]. Полная амплитуда этой составляющей близка к 0.1 отсчета *ASM* в секунду, что вдвое меньше, чем в работе [6].

Для установления природы более быстрой переменности мы рассмотрели отдельный ряд последних трех сезонов 2009–2011 годов (JD 2454942–2455825), которые наиболее плотно покрыты наблюдениями. На кривых блеска в это время наблюдались колебания переменной амплитуды. В амплитудном спектре этого фрагмента ряда в полосе  $V$  доминирует пик, соответствующий периоду 28.82 дня с синусоидальной кривой блеска, имеющей полуамплитуду  $0^m050$ . Фазовая кривая блеска в полосе  $V$  этого фрагмента представлена на Рис. 4. Она рассчитана с линейными элементами

$$\text{Max} = 2455428.27 + 28^d823 \times E. \quad (2)$$

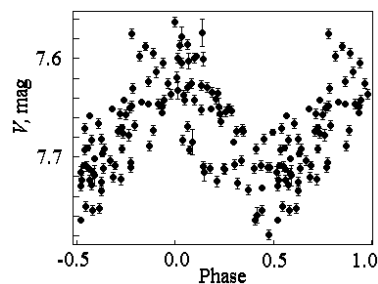
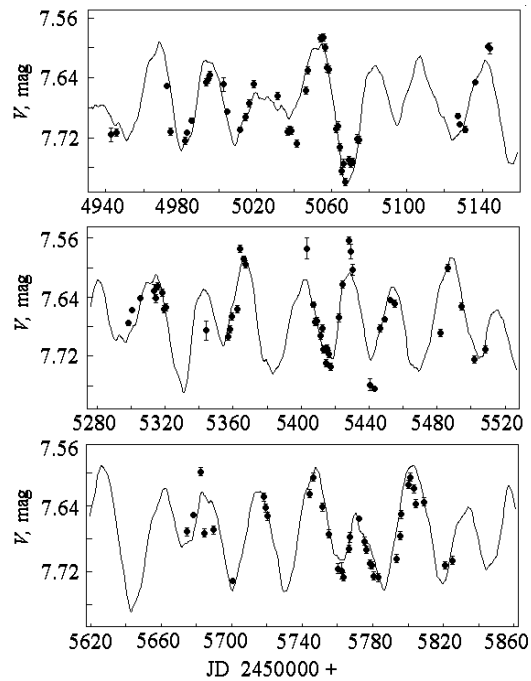


Рис. 4. Фазовая кривая блеска для волны с периодом  $28^d82$  в фильтре  $V$  по наблюдениям 2009–2011 годов, построенная с элементами (2).

Есть еще сильный пик годично-сопряженного периода  $31.27$  дня с полуамплитудой волны  $0^m046$ , который совпадает с периодом, определенным по базе данных спутника *Hipparcos*. Фурье-разложение кривой блеска выявило дополнительные значимые периодические компоненты (в скобках указаны полуамплитуды периодической составляющей):  $44^d19$  ( $0^m030$ ),  $63^d84$  ( $0^m025$ ) и  $21^d65$  ( $0^m010$ ).

Качество представления оригинальных наблюдений суммой волн четырех выявленных периодических составляющих видно на Рис. 5. Этот график дает возможность классифицировать быструю переменность во временных масштабах 20–44 дня как мультипериодические пульсации  $M$ -звезды. Так как пульсации звезды происходят в короткой шкале времени, период 415 дней можно считать орбитальным. На Рис. 6 показаны диаграммы цвет–величина  $V - (U - B)$ ,  $U - (B - V)$  и двухцветная диаграмма  $(U - B) - (B - V)$ . Для диаграмм цвет–величина по осям были нанесены независимые параметры. Изменения показателей цвета очень малы: основная часть наблюдений ограничена диапазоном  $\Delta(B - V) = 0^m1$ , а  $\Delta(U - B) = 0^m2$ . Есть слабая зависимость показателя цвета  $B - V$  от блеска: цвет становится немного более голубым с увеличением яркости звезды в полосе  $U$ . Зависимости между двумя показателями цвета не заметно. На двухцветной диаграмме на Рис. 6 мы нанесли кривой линией последовательность для красных гигантов III класса светимости с нулевым покраснением. Использовались данные для нормальных звезд этой последовательности из работы [13]. Фотометрические данные, приведенные на этом рисунке, показывают, что V934 Her имеет нулевое межзвездное покраснение, что подтверждает близкое расстояние до нее. К тому же незаметен ультрафиолетовый избыток, который мог бы быть сформирован при аккреции на нейтронную звезду. Наоборот, заметен даже некоторый ультрафиолетовый недостаток относительно нормальных звезд, величина которого



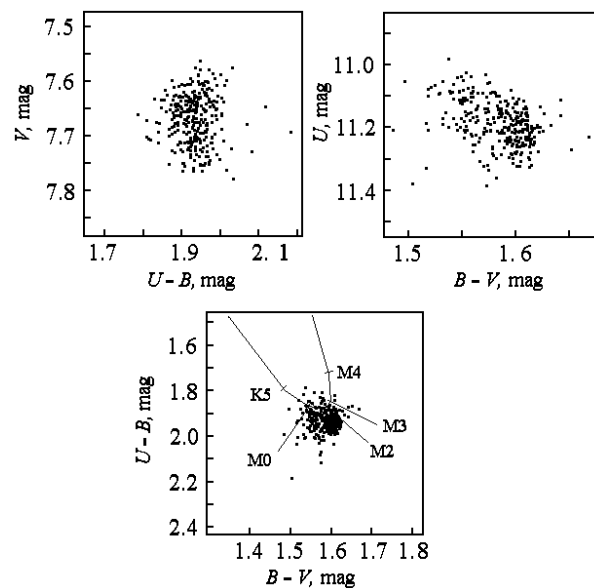
**Рис. 5.** Мультипериодические пульсации V934 Her. Наблюдения в фильтре V представлены суммой 4-х пульсационных волн (кривая линия), выявленных в результате Фурье-разложения кривой блеска.

порядка  $0^m05$ . Так что и многоцветная фотометрия не показывает никаких особенностей, отличающих M-гигант в этой системе от обычных M-гигантов этого класса светимости.

## 5. СПЕКТР V934 HER

Оптический спектр V934 Her ранее рассматривался в работах [3, 4, 6, 8, 9]. 6 апреля 2006 г. в  $23^h 48^m$  UT мы получили спектр звезды на 1-м рефлекторе Цейсса САО РАН со спектрографом UAGS. Спектральный диапазон  $\lambda 4478\text{--}7256 \text{ \AA}$ , разрешение  $4 \text{ \AA}$ . Наблюдения были сделаны сквозь тонкие циррусы, и поэтому спектр не удалось прокалибровать в абсолютных единицах.

Наш спектр получен в JD 2453832, при минимальном блеске в фазе 0.43 периода 415 дней, если отсчитывать ее от максимума кривой блеска в лучах U от элементов (1). Спектр показан на Рис. 7. В нем видны молекулярные полосы поглощения TiO, абсорбционные линии H $\alpha$  (эквивалентная ширина  $EW = 0.79 \text{ \AA}$ ), H $\beta$  ( $EW = 0.45 \text{ \AA}$ ). Дублет Na I D $_2$ D $_1$  ( $EW = 0.65$  и  $0.31 \text{ \AA}$ ), очевидно, является звездным компонентом, так как эта деталь в спектре характерна для холодных звезд. Мы отождествили также линии Ba II, Fe I, триплет Mg I 5167, 5172 и 5183  $\text{ \AA}$  в поглощении. Эти линии в спектре обычны для звезды класса M2 III.



**Рис. 6.** Диаграммы цвет-величина  $V - (U - B)$ ,  $U - (B - V)$  и двухцветная диаграмма  $(U - B) - (B - V)$ . На диаграмме внизу кривой линией нанесена последовательность красных гигантов III класса светимости. Видно отсутствие ультрафиолетового избытка M-звезды относительно нормальных звезд.

В работе [8] сообщается, что в спектрах 1995 и 1996 г. линии H $\alpha$ , H $\beta$ , He I 5016, 5875 и 6867  $\text{ \AA}$  видны в эмиссии пекулярной формы, одинаковой для всех линий, — широким эмиссионным профилем с узкой центральной абсорбцией [8, Рис. 2]. В нашем спектре с таким же спектральным разрешением эти линии похожи на линии в [8] даже в мелких деталях. Однако мы не можем интерпретировать их как эмиссионные или имеющие эмиссионный компонент в профилях, так как те же детали наблюдаются и у нормальных звезд, например, у звезды класса M3 III SAO 63349 [14]. А линию 6867  $\text{ \AA}$  мы отождествляем с полосой поглощения атомарного кислорода в земной атмосфере.

Так что мы не обнаружили в оптическом спектре эмиссионных линий, которые могли бы сформироваться в аккреционном диске или в холодной атмосфере гиганта под действием рентгеновского излучения.

## 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

V934 Her относят к редкому классу SyXB, симбиотических рентгеновских систем [15]. Среди более чем полутора сотен рентгеновских маломассивных систем таких известно шесть: V934 Her (объект настоящего исследования); V2116 Oph = GX 1 + 4 [16, 17]; 4U 1954+31 [18]; Sct X-1 [19]; IGR J16194-2810 [15] и

1XRS J180431.1–273932 [20]. Среди этих систем только у GX 1+4 обнаружены типичные свойства симбиотической системы в полном наборе: М-гигант, переменный голубой континуум и богатый эмиссионными линиями спектр. В эмиссии видны H I, He I, Fe II, [Fe VII] и, возможно, [Fe X]. У нескольких систем в рентгеновском диапазоне обнаружены пульсации от вращающейся нейтронной звезды: V2116 Oph ( $P_{\text{spin}} = 120$  с); Sct X-1 ( $P_{\text{spin}} = 112$  с); 1RXS J180431.1–273932 ( $P_{\text{spin}} = 494$  с) [10]. У системы 4U 1954+31 найден рентгеновский период 5.09 часа, который интерпретирован как период вращения нейтронной звезды [10].

V934 Her нельзя отнести даже к классическим симбиотическим звездам, так как здесь отсутствует голубой континуум и газовая оболочка, излучающая эмиссионный спектр. Вероятно, это широкая пара с компактным компонентом, которым может быть нейтронная звезда. По спектру V934 Her относится к кислородной ветви холодных звезд. Это значит, что V934 Her — звезда с нормальным, близким к солнечному, содержанием химических элементов. Период вращения компактного компонента не выявлен в рентгеновском диапазоне, хотя сообщалось о квазипериодических изменениях рентгеновского излучения с характерным временем в шкале порядка 900 с по наблюдениям со спутника *Einstein* [5]. Возможно, это связано с ослабленным магнитным полем нейтронной звезды или его отсутствием. На разных рентгеновских обсерваториях установлено, что объект наблюдается постоянно на типичном уровне потока  $(1 - 10) \times 10^{-11}$  эрг см $^{-2}$  с $^{-1}$  в диапазоне 2–10 кэВ. Кроме того, у него происходят рентгеновские вспышки [6].

В нашей работе наблюдались пульсации в оптическом диапазоне, но они относятся не к нейтронной звезде, а к красному гиганту. При расстоянии 420 пс абсолютная величина  $M_V$  оценивается в среднем как  $-0^m.47$ , а с учетом болометрической поправки  $BC = -1^m.65$  для звезд класса M2 III [13] болометрическая величина звезды составляет  $M_{\text{bol}} = -2^m.12$  и светимость  $L = 560L_{\odot}$ . При такой малой светимости и при малой полной амплитуде пульсаций (порядка  $0^m.10$ ) в окружающее пространство выбрасывается очень малое количество вещества, чтобы проявиться в спектре. Заметим для сравнения, что у красных сверхгигантов (при  $M_{\text{bol}} = -7^m$ ) того же спектрального класса, которые в соседних галактиках находятся на вершинах ветви красных гигантов и еще пульсируют с амплитудами 3–7 $^m$  в лучах  $R$ , механизм выброса вещества в околозвездную среду действует очень эффективно, и в спектрах наблюдаются сильные бальмеровские эмиссии [21, 22]. В галактиках

IC 1613 и M33 такие красные сверхгиганты имеют периоды пульсаций около 650 $^d$ . Очевидно, как следует из зависимостей период–светимость для пульсирующих красных звезд (см., например, [23]), V934 Her со своей малой светимостью не может иметь период пульсаций 404 $^d$ , так что этот период имеет совсем другую природу.

Как показали результаты частотного анализа, 404-дневный период выявляется только в синих и ультрафиолетовых лучах. На Рис. 3 наиболее четко волна с этим периодом проявляется на нижнем уровне распределения точек. Причем периодические изменения с этим периодом хорошо заметны даже в лучах  $V$ , где этот период частотным анализом не выявляется. У некоторых рентгеновских систем малой массы похожее явление наблюдается в фазовых кривых блеска, например, у Cyg X-2 (V1341 Cyg). У этой системы на нижнем уровне активности видна двойная за орбитальный период волна из-за эллипсоидальности вторичного компонента — донора аккреции, когда вклад аккреционного диска минимален и близок к нулю [24]. Причем, в низком состоянии показатели цвета, как и у V934 Her, меняются незначительно. При увеличении вклада аккреционного диска в состоянии активности системы Cyg X-2 яркость в разных фильтрах отклоняется вверх, а показатели цвета уменьшаются.

V934 Her ведет себя несколько по-другому. У нее одиночная волна за период. Возможно, это связано с эллиптичностью орбиты нейтронной звезды. Отклонения от нижнего уровня происходят вверх не из-за переменного вклада аккреционного диска, а из-за пульсаций красного компонента. С периодом 415 дней есть небольшие колебания показателей цвета. Наблюдается систематический тренд показателя цвета  $B - V$  со временем, он стал на  $0^m.04$  более красным за период наблюдений. Кривые блеска на Рис. 3 можно объяснить дополнительным излучением более горячего континуального источника, вклад которого в суммарный блеск системы очень мал и к тому же уменьшается с увеличением длины волны, так как вуалируется красной звездой относительно высокой светимости. Является ли этим источником ближайшая к нейтронной звезде часть поверхности М-звезды — неясно. В этом случае жесткое рентгеновское и ультрафиолетовое излучение нейтронной звезды и ее окружения будет взаимодействовать с холодным молекулярным газом внешних слоев оболочки М-звезды. Вероятно, жесткое излучение все-таки подогревает часть поверхности красного гиганта со стороны падающего потока, и образуется более теплое пятно, которое имеет более ранний спектральный класс. Излучение этого пятна при наложении на холодный молекулярный спектр будет

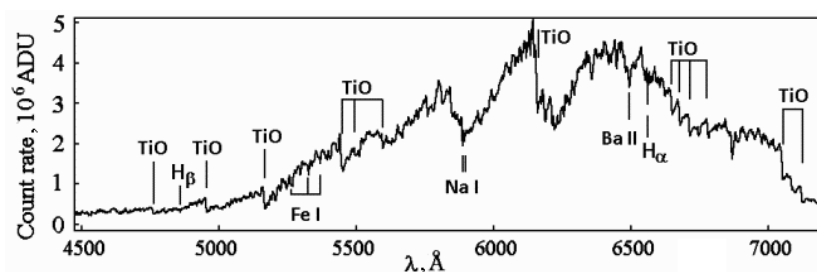


Рис. 7. Спектр V934 Her. По оси ординат отложены отсчеты в аналого-цифровых единицах ПЗС, по оси абсцисс — длина волны в ангстремах.

вносить заметный вклад только в коротковолновом диапазоне оптического спектра.

Важные и интересные наблюдения такого взаимодействия авторам данной работы удалось получить при известном событии в системе красной новой V838 Mon. Там произошло сближение, и даже захват и поглощение горячей звезды класса B3V холодным компонентом позднего класса M — остатком взрыва красной новой [25, 26]. В том случае при значительном удалении B-звезды еще за 2 года до столкновения и захвата в синей области спектра появились запрещенные слабые эмиссии ионов железа [Fe II] 4244.0, 4287.4, 4359.3, 4413.8, 4814.6 Å и бленды 4452.1/4458.0 Å. То есть излучение приближающейся горячей звезды начало ионизовать разреженный звездный ветер, в то время как оно никак не подействовало на молекулярный спектр атмосферы красного гиганта. Мы полагаем, что следы этих эмиссий стоит поискать в спектрах V934 Her с высоким разрешением в фазах 415-дневного периода вблизи максимума блеска в ультрафиолетовых лучах.

Представляет большой интерес исследование эмиссий в далекой ультрафиолетовой части спектра: C IV 1550 Å, N V 1238 Å и Mg II 2800 Å, которые обычно не встречаются у M-гигантов, но видны и переменны у V934 Her [4, 7]. Может существовать зависимость интенсивностей этих эмиссий от фазы 415-дневного периода.

Источником рентгеновского излучения из системы V934 Her может быть аккреция разреженного газа на нейтронную звезду из звездного ветра красного гиганта [3]. Вероятнее всего это энергия, выделяющаяся при столкновении слабого потока ветра с поверхностью нейтронной звезды. Горение водорода на поверхности нейтронной звезды — процесс нестационарный, так как требует накопления критической массы. Взрыв критической массы водорода обычно приводит к рентгеновским вспышкам. В некоторых случаях стационарное горение водорода возможно в магнитных полюсах нейтронной звезды. Однако в этом случае следует ожидать значительной модуляции оптического и рентгеновского излучения с периодом вращения

нейтронной звезды, что не наблюдается. По нашему мнению, рентгеновские вспышки в системе могут быть связаны также с падением на нейтронную звезду кометных ядер, подобных тем, которые существуют в окрестностях солнечной системы и регулярно падают на Солнце. Свое “облако Оорта” может существовать и вокруг системы V934 Her. А захват таких объектов компонентами двойной системы более вероятен, чем захват одиночной звездой.

## 7. ВЫВОДЫ

В настоящей работе по многоцветным UVV-наблюдениям обнаружен 415-дневный период, близкий к спектроскопическому периоду, найденному в работе [6] по лучевым скоростям красного гиганта. Этот период является орбитальным периодом движения нейтронной звезды вокруг холодного компонента класса M2 III. Открыты мультипериодические пульсации холодного компонента.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны А. Н. Буренкову (САО РАН) за помощь в получении спектра V934 Her на 1-м телескопе САО РАН. В работе использованы открытая база данных *RXTE/ASM*, астрометрические каталоги USNO B1.0 и Guide Star Catalogue Космического телескопа Хаббл, база данных Общего каталога переменных звезд и система астрофизических данных SAO/NASA. Е.А.Б. благодарит Российский фонд фундаментальных исследований за финансовую поддержку грантами 09-02-00163 и 10-02-00463. Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт 16.518.11.7073).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W. Forman, C. Jones, L. Cominsky, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **38**, 357 (1978).



2. B. A. Cooke, M. J. Ricketts, T. Maccacaro, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **182**, 489 (1978).
3. N. Masetti, D. Dal Fiume, G. Cusumano, et al., *Astronom. and Astrophys.* **382**, 104 (2002).
4. M. Garcia, S. L. Baliunas, R. Doxey, et al., *Astrophys. J.* **267**, 291 (1983).
5. W. A. Morgan, Jr., and M. R. Garcia, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **113**, 1386 (2001).
6. D. K. Galloway, J. L. Sokoloski, and S. J. Kenion, *Astrophys. J.* **580**, 1065 (2002).
7. D. Dal Fiume, J. M. Poulsen, F. Frontera, et al., *Nuovo Cimento* **13C**, 481 (1990).
8. S. Gaudenzi and V. F. Polcaro, *Astronom. and Astrophys.* **347**, 473 (1999).
9. L. Tomasella, U. Munari, T. Tomov, et al., *Inform. Bull. Var. Stars No. 4537*, 1 (1997).
10. R. H. D. Corbet, J. L. Sokoloski, K. Mukai, et al., *Astrophys. J.* **675**, 1424 (2008).
11. T. J. Deeming, *Astrophys. and Space Science* **36**, 173 (1975).
12. В. Ю. Теребиж, *Анализ временных рядов в астрофизике*, (Наука, Москва, 1992).
13. В. Страйжис, *Звезды с дефицитом металлов*, (Мокслас, Вильнюс, 1982).
14. G. H. Jacoby, D. A. Hunter, and C. A. Christian, *Astrophys. J. Suppl.* **56**, 257 (1984).
15. N. Masetti, R. Landi, M. L. Pretorius, et al., *Astronom. and Astrophys.* **470**, 331 (2007).
16. A. Davidsen, R. Malina, and S. Bowyer, *Astrophys. J.* **211**, 866 (1977).
17. D. Chakrabarty and P. Roche, *Astrophys. J.* **489**, 254 (1997).
18. N. Masetti, M. Orlandini, E. Palazzi, et al., *Astronom. and Astrophys.* **453**, 295 (2006).
19. D. L. Kaplan, A. M. Levine, D. Chakrabarty, et al., *Astrophys. J.* **661**, 437 (2007).
20. A. A. Nucita, S. Carpano, and M. Guainazzi, *Astronom. and Astrophys.* **474**, L1 (2007).
21. R. Kurtev, L. Georgiev, J. Borissova, et al., *Astronom. and Astrophys.* **378**, 449 (2001).
22. E. A. Barsukova, V. P. Goranskij, K. Hornoch, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **413**, 1797 (2011).
23. S. M. G. Hughes and P. R. Wood, *Astronom. J.* **99**, 784 (1990).
24. В. П. Горанский и В. М. Лютый, *Астрон. ж.* **65**, 381 (1988).
25. E. A. Barsukova, V. P. Goranskij, P. K. Abolmasov, and S. Fabrika, *ASP Conf. Ser.* **363**, 206 (2007).
26. V. P. Goranskij, N. V. Metlova, S. Yu. Shugarov, et al., *ASP Conf. Ser.* **363**, 214 (2007).

## UBV PHOTOMETRY OF X-RAY SYSTEM WITH M2 III TYPE RED GIANT V934 HER (4U 1700+24)

**V.P. Goranskij, N.V. Metlova, E.A. Barsukova**

V934 Her is a detached system, consisting of a cool giant and a neutron star. The neutron star accretes matter from the stellar wind of the giant. Multicolor photoelectric observations made in 1997–2011 revealed a 415-day period, close to that, discovered spectroscopically from radial velocities. This period is considered to be the orbital period of orbital motion of the neutron star around the red giant. The wave with this period in the *U*-band has the largest amplitude  $0^m12$ . We also detected multiperiodic pulsations of the red giant. The light curve in the *V*-band is dominated by a pulsation wave with the period of 28.82 days and the amplitude of  $0^m10$ .

Keywords: *X-rays: binaries—stars: late-type—stars: neutron—stars: individual: V934 Her (4U 1700+24)*