

УДК 524.338–43/54

ЭВОЛЮЦИЯ СВЕРХГОРБОВ КАРЛИКОВОЙ НОВОЙ ЗВЕЗДЫ ТИПА WZ SGE ASASSN-14CV НА СТАДИИ ПОВТОРНЫХ ПОЯРЧАНИЙ

© 2016 А. С. Склянов^{1*}, Е. П. Павленко^{2**}, О. И. Антонюк², К. А. Антонюк²,
А. А. Сосновский², А. И. Галеев^{1,3,4}, Н. В. Пить², Ю. В. Бабина²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия

²Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, 098409 Россия

³Академия наук Татарстана, Казань, 420013 Россия

⁴Национальная обсерватория TUBITAK, Анталья, 07350 Турция

Поступила в редакцию 16 ноября 2015 года; принята в печать 1 июня 2016 года

Мы приводим результаты наблюдений карликовой новой звезды типа WZ Sge ASASSN-14cv, проведенных в 2014 году и охватывающих окончание сверхвспышки и стадию повторных поярчаний (ребрайтингов). У этого объекта нами зафиксировано восемь ребрайтингов. По форме их кривых блеска сделан вывод о наличии как вспышек типа «outside-in», так и вспышек типа «inside-out». На всем протяжении стадии ребрайтингов мы обнаружили колебания блеска, средний период которых $P = 0^d06042(8)$ идентифицирован нами как период сверхгорбов на стадии В сверхвспышки. Характер зафиксированной эволюции сверхгорбов может быть описан либо аппроксимацией параболой с отрицательным значением $P_{\text{dot}} = -1.1 \times 10^{-5}$, либо аппроксимацией двумя линейными участками с соответствующими периодами $0^d06074(3)$ и $0^d06046(9)$.

Ключевые слова: аккреция, аккреционные диски — звезды:карликовые новые — звезды:индивидуальные:ASASSN-14cv — звезды:катаклизмические переменные

1. ВВЕДЕНИЕ

Катаклизмические переменные звезды — это двойные системы, состоящие из белого и красного карликов, главного и вторичного компонентов соответственно. Вещество перетекает со вторичного компонента, заполнившего свою полость Роша, на главный через внутреннюю точку Лагранжа.

Карликовые новые звезды — подтип катаклизмических переменных, которым свойственны периодические вспышки на 2^m – 6^m с характерной длительностью от нескольких дней до нескольких недель. В качестве механизма возникновения вспышек предполагается высвобождение гравитационной энергии, вызванное резким увеличением темпа аккреции вещества из-за возникновения тепловой неустойчивости в аккреционном диске, образованном в результате перетекания вещества.

Звезды типа SU UMa являются подклассом карликовых новых звезд. Для них характерно наличие двух типов вспышек: нормальные вспышки с продолжительностью в несколько дней и сверхвспышки, длящиеся до нескольких недель.

Сверхвспышки связывают с появлением приливной неустойчивости в диске, возникающей при достижении критического радиуса для резонанса 3:1 [1]. Пределы орбитальных периодов для звезд типа SU UMa находятся в промежутке от 76 минут до приблизительно 3 часов [2]. Во время сверхвспышек наблюдаются периодические колебания блеска, называемые сверхгорбами. В среднем их период на несколько процентов больше, чем орбитальный период системы. Появление сверхгорбов объясняют апсидальной прецессией эллиптического аккреционного диска. Они эволюционируют в течение плато сверхвспышки и в общем случае могут проходить три стадии: А, В и С [3]. На стадии А, во время которой происходит рост сверхгорбов, величина их периода наибольшая. Для стадии В характерны более короткий период и его систематические изменения. У систем с короткими орбитальными периодами P_{orb} производная периода $P_{\text{dot}} \equiv \dot{P}/P$ имеет положительное значение, что соответствует увеличению периода сверхгорбов. Стадия С соответствует относительно стабильный, более короткий, чем на стадии В, период сверхгорбов. Стадия С может продолжаться даже после окончания сверхвспышки [3].

*E-mail: ssklyanov@yandex.ru

**E-mail: eppavlenko@gmail.com

Звезды типа WZ Sge — это подгруппа звезд типа SU UMa. Они характеризуются яркими вспышками с амплитудой, достигающей примерно 8^m с периодом повторения порядка 10 лет. Звезды данного типа имеют несколько отличительных особенностей. Одной из них является наличие сверхгорбов с раздвоенным профилем на ранней стадии сверхвспышки, период которых близок к орбитальному периоду. Данный эффект называется ранними сверхгорбами. Предполагается, что ранние сверхгорбы вызываются резонансом 2:1 в аккреционном диске [4]. Другой особенностью является наличие у некоторых систем типа WZ Sge повторных поярчений (ребрайтенингов), возникающих после окончания плато сверхвспышки. Согласно классификации, предложенной Имада и др. [5], сверхвспышки систем типа WZ Sge могут быть четырех видов: с длительными ребрайтенингами (тип А), с многократными последовательными ребрайтенингами (тип В), с одиночным ребрайтенингом (тип С), с отсутствием ребрайтенинга (тип D). В 2014 г. к данной классификации добавился ещё один тип вспышек с ребрайтенингами: двойные сверхвспышки (тип Е) [6]. В настоящее время природа ребрайтенингов доподлинно неизвестна, но выдвигаются предположения о возможной их связи с сохранением состояния высокой вязкости в аккреционном диске после окончания сверхвспышки [7]. Также высказываются предположения о связи ребрайтенингов с возможным усилением перетекания вещества во время сверхвспышки [8].

На данный момент информация о наличии сверхгорбов во время ребрайтенингов у звезд типа WZ Sge очень скудна. Это объясняется отсутствием рядов наблюдений из-за скоротечности каждого из ребрайтенингов и пониженной яркостью объекта по сравнению со вспышкой.

Среди вспышек, вызываемых тепловой нестабильностью, выделяют два типа: тип 1, также называемый «outside-in», в котором тепловая нестабильность возникает во внешних областях аккреционного диска и распространяется внутрь; тип 2, называемый еще «inside-out», в котором тепловая нестабильность возникает во внутренних областях диска и распространяется во внешние области. Кривые блеска вспышек «outside-in» характеризуются быстрым ростом до максимума блеска вспышки по сравнению с более медленным спадом. Вспышки «inside-out» имеют более симметричные профили роста и спада блеска [9].

Одним из представителей катаклизмических переменных типа WZ Sge является объект ASASSN-14cv. Он был обнаружен во вспышке 21 июня 2014 г. [10] автоматической системой обзора неба ASASSN (All-Sky Automated Survey for Supernovae). До вспышки звезда имела блеск $g = 19^m.2$ [10] в каталоге SDSS. Спустя несколько

дней она была классифицирована как карликовая новая во вспышке [11]. Последовавшая за этим кампания по наблюдению данного объекта позволила определить его как катаклизмическую переменную типа WZ Sge и выявить несколько стадий развития сверхгорбов: ранние сверхгорбы, стадию А и В, а также определить особенности эволюции периодов сверхгорбов. Стадия ранних сверхгорбов длилась около 12 дней, их период составил $0^d.05989(1)$, а средняя полная амплитуда переменности — $0^m.06$ [12]. Период сверхгорбов на этой стадии максимально близок к орбитальному периоду [4]. Стадия А продлилась 6 дней, для неё был найден период сверхгорбов $P_{sh} = 0^d.06163(3)$ [13]. Стадия В продлилась 8 дней, при этом период составил $P_{sh} = 0^d.06042(1)$ [14]. При определении отношения масс $q = m_2/m_1$ брался период сверхгорбов на стадии А, а в качестве орбитального — период на стадии ранних сверхгорбов. Было получено значение $q = 0.075$ [13]. Значение производной периода P_{dot} на стадии В составило $+1.8(0.9) \times 10^{-5}$ [14].

Нам представилась уникальная возможность пронаблюдать звезду на стадии ребрайтенингов, выявить наличие короткопериодических колебаний блеска во время их появления, отождествить эти вариации со сверхгорбами и проанализировать их эволюцию.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И РЕДУКЦИЯ ДАННЫХ

Наблюдения проводились с июля по сентябрь 2014 г., на телескопах Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) К-380 (диаметр главного зеркала 38 см, матрица APOGEE ALTA E47), АЗТ-11 (1.25 м, матрица ProLine PL23042) и ЗТШ (2.6 м, матрица APOGEE ALTA E47). Также использовались данные, полученные на 1.5-м российско-турецком телескопе РТТ-150 с помощью прибора TFOSC, оснащенного матрицей Fairchild. Наблюдения на телескопах К-380, АЗТ-11 и РТТ-150 проводились без использования фильтров (W — white), а на телескопе ЗТШ — с фильтром V . Мониторинг объекта продолжался 31 ночь на К-380, 13 — на АЗТ-11, по 2 ночи на ЗТШ и РТТ-150. Журнал наблюдений приведен в таблице 1. Было проведено 48 сетов наблюдений, охватывающих окончание сверхвспышки и 8 ребрайтенингов. Качество наблюдательных условий определялось по FWHM звезд в угловых секундах и делилось на две группы. До 3.5 угловых секунд — «хорошее», от 3.5 до 5 — «удовлетворительное».

Наблюдательные данные проходили стандартную процедуру обработки и калибровки в программе MaxIm DL. Дифференциальная фотометрия

Таблица 1. Журнал наблюдений ASASSN-14cv в 2014 г.

| Название телескопа | Начало наблюдений JD+2400000 | Окончание наблюдений JD+2400000 | Filter | Качество наблюдений | Название телескопа | Начало наблюдений JD+2400000 | Окончание наблюдений JD+2400000 | Filter | Качество наблюдений |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------|---------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------|---------------------|
| К-380 | 56856.292057 | 56856.535519 | W | хор | К-380 | 56881.279739 | 56881.534022 | W | хор |
| К-380 | 56857.346388 | 56857.519532 | W | хор | К-380 | 56882.274111 | 56882.54353 | W | хор |
| К-380 | 56858.308713 | 56858.389866 | W | хор | К-380 | 56883.272542 | 56883.536551 | W | хор |
| К-380 | 56859.484662 | 56859.533352 | W | хор | К-380 | 56884.274285 | 56884.535621 | W | хор |
| К-380 | 56860.325775 | 56860.531386 | W | хор | К-380 | 56885.275569 | 56885.519026 | W | хор |
| К-380 | 56861.307526 | 56861.372455 | W | хор | К-380 | 56886.275157 | 56886.516936 | W | хор |
| ЗТШ | 56862.28468 | 56862.39711 | V | хор | К-380 | 56887.267243 | 56887.328919 | W | хор |
| РТТ-150 | 56864.328819 | 56864.426505 | W | хор | АЗТ-11 | 56889.270008 | 56889.457596 | W | хор |
| К-380 | 56864.342592 | 56864.39233 | W | хор | АЗТ-11 | 56890.264523 | 56890.442765 | W | удов |
| К-380 | 56865.285873 | 56865.393541 | W | хор | АЗТ-11 | 56891.258974 | 56891.407942 | W | удов |
| К-380 | 56866.282591 | 56866.541206 | W | хор | ЗТШ | 56891.26911 | 56891.43449 | V | хор |
| К-380 | 56867.284467 | 56867.538706 | W | хор | К-380 | 56892.264593 | 56892.460164 | W | хор |
| К-380 | 56868.294647 | 56868.397423 | W | хор | К-380 | 56893.266073 | 56893.508385 | W | хор |
| К-380 | 56869.295395 | 56869.386286 | W | хор | К-380 | 56894.261207 | 56894.456155 | W | хор |
| К-380 | 56870.293331 | 56870.541143 | W | хор | АЗТ-11 | 56896.30933 | 56896.394692 | W | хор |
| К-380 | 56871.276383 | 56871.334742 | W | хор | АЗТ-11 | 56903.247054 | 56903.32339 | W | удов |
| РТТ-150 | 56872.279711 | 56872.397303 | W | хор | АЗТ-11 | 56904.234453 | 56904.242979 | W | удов |
| К-380 | 56872.289145 | 56872.472978 | W | хор | АЗТ-11 | 56905.337528 | 56905.341789 | W | удов |
| К-380 | 56874.295059 | 56874.542813 | W | хор | АЗТ-11 | 56906.235542 | 56906.244067 | W | хор |
| К-380 | 56875.286528 | 56875.553917 | W | хор | АЗТ-11 | 56907.250334 | 56907.254597 | W | хор |
| К-380 | 56876.293501 | 56876.559676 | W | хор | АЗТ-11 | 56908.223431 | 56908.23637 | W | хор |
| К-380 | 56877.299777 | 56877.53772 | W | хор | АЗТ-11 | 56913.21629 | 56913.220551 | W | удов |
| К-380 | 56879.260719 | 56879.438078 | W | хор | АЗТ-11 | 56918.235766 | 56918.240027 | W | удов |
| К-380 | 56880.284664 | 56880.538938 | W | хор | АЗТ-11 | 56919.313505 | 56919.317766 | W | удов |

объекта проводилась относительно двух звезд сравнения из каталога USNOA2: 1350–09322747 ($R = 14^m42$, $V = 14^m02$) и 1350–09323713 ($R = 14^m66$, $V = 14^m35$).

Для привязки данных, полученных без фильтра, были использованы их звездные величины в фильтре R . Проведенная нами проверка показала отсутствие у звезд сравнения переменности на шкале наших наблюдений. Все использованные в наблюдениях ПЗС-приемники имеют максимум чувствительности в красной области, совпадающей с по-

лосой R_c . Нуль-пункт шкалы дифференциальных наблюдений ближе всего будет соответствовать среднему блеску звезд сравнения в R_c . Из-за того, что звезды сравнения не являются фотометрическими стандартами, а наблюдения мы проводили без светофильтров, величина нуля-пункта будет иметь оценочный характер и от истинного может отличаться на несколько десятых звездной величины. Данная неопределенность в нуль-пункте, как и его величина, на результат анализа временных рядов не влияет. Исходя из вышесказанного, опре-

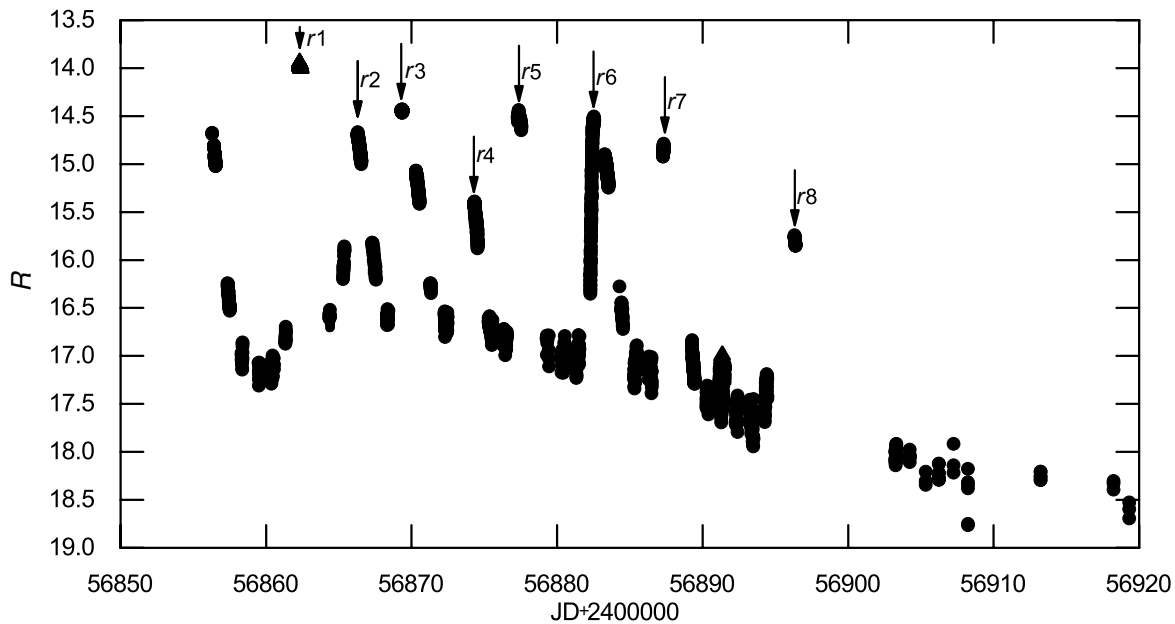


Рис. 1. Кривая блеска звезды ASASSN-14cv в июле—сентябре 2014 г. Стрелками отмечены максимумы блеска зарегистрированных ребрайтингов.

деляемые значения блеска переменной звезды мы будем обозначать как величины в фильтре R .

Дополнительно 21 февраля 2015 г. были проведены наблюдения объекта ASASSN-14cv на 2.6-м телескопе ЗТШ. Их целью была проверка наличия переменности блеска после окончания сверхвспышки 2014-го года. Использовался фильтр V . Редукция этих данных проводилась так же, как и основного массива наблюдений. Для относительной фотометрии использовались те же звезды сравнения, что и на стадии ребрайтингов. Точность единичного наблюдения составила $0^{\text{m}}06$.

3. АНАЛИЗ КРИВЫХ БЛЕСКА

На рис. 1 представлена кривая блеска звезды ASASSN-14cv по наблюдениям в июле—сентябре 2014 г. Участок 56856—56858 соответствует окончанию сверхвспышки. На участке с 56869 до 56920 нами зафиксировано 8 ребрайтингов (отмечены стрелками) с амплитудами $2^{\text{m}}\text{--}3^{\text{m}}$ и характерной продолжительностью 3—4 дня. Можно заметить, что их профили отличаются. Профиль второго ребрайтинга (участок 56864—56868) симметричен, что характерно для вспышек типа «inside-out». В то же время на участках 56868—56872 и 56881—56885 (третий и шестой ребрайтинги соответственно) рост блеска происходит быстрее, чем его падение, что характерно для вспышек типа «outside-in». Для остальных ребрайтингов определить тип вспышки не представляется возможным из-за недостаточного количества наблюдений.

Однако даже из имеющихся данных можно сделать вывод о том, что на стадии ребрайтингов у звезды ASASSN-14cv имели место вспышки разных типов, как «inside-out», так и «outside-in». Блеск звезды в промежутках между ребрайтингами (до $\text{JD} = 2456886$) не уменьшался до величины $R = 17^{\text{m}}2$, до которой он опустился после окончания сверхвспышки. Можно заметить, что блеск в промежутках между ребрайтингами падал одновременно с блеском в максимумах (сделав поправку на то, что не для всех ребрайтингов было получено значение максимального блеска).

Анализируя кривую блеска, можно сделать вывод о том, что даже после окончания стадии ребрайтингов и до окончания наших наблюдений ($\text{JD} = 2456919$) блеск звезды не вернулся к величине $V = 19^{\text{m}}11$, которую звезда имела до начала сверхвспышки (значение в фильтре V было пересчитано из величин в фильтрах системы SDSS). Во всем промежутке, пока длились ребрайтинги, наблюдались периодические колебания блеска с амплитудой от $0^{\text{m}}03$ до $0^{\text{m}}35$.

На рис. 2 приведены примеры индивидуальных кривых блеска для ночей наблюдений на каждом этапе вспышечной активности: (а) в максимуме ребрайтинга, (b) на восходящей ветви, (c) на нисходящей ветви и (d) в промежутке между ребрайтингами. Можно видеть, что колебания блеска есть на всех этапах вспышечной активности. На кривой блеска (а) представлены наблюдения от 24 июля 2014 г. Точность фотометрии для этой ночи составила $0^{\text{m}}006$. В максимуме ребрайтинга виден

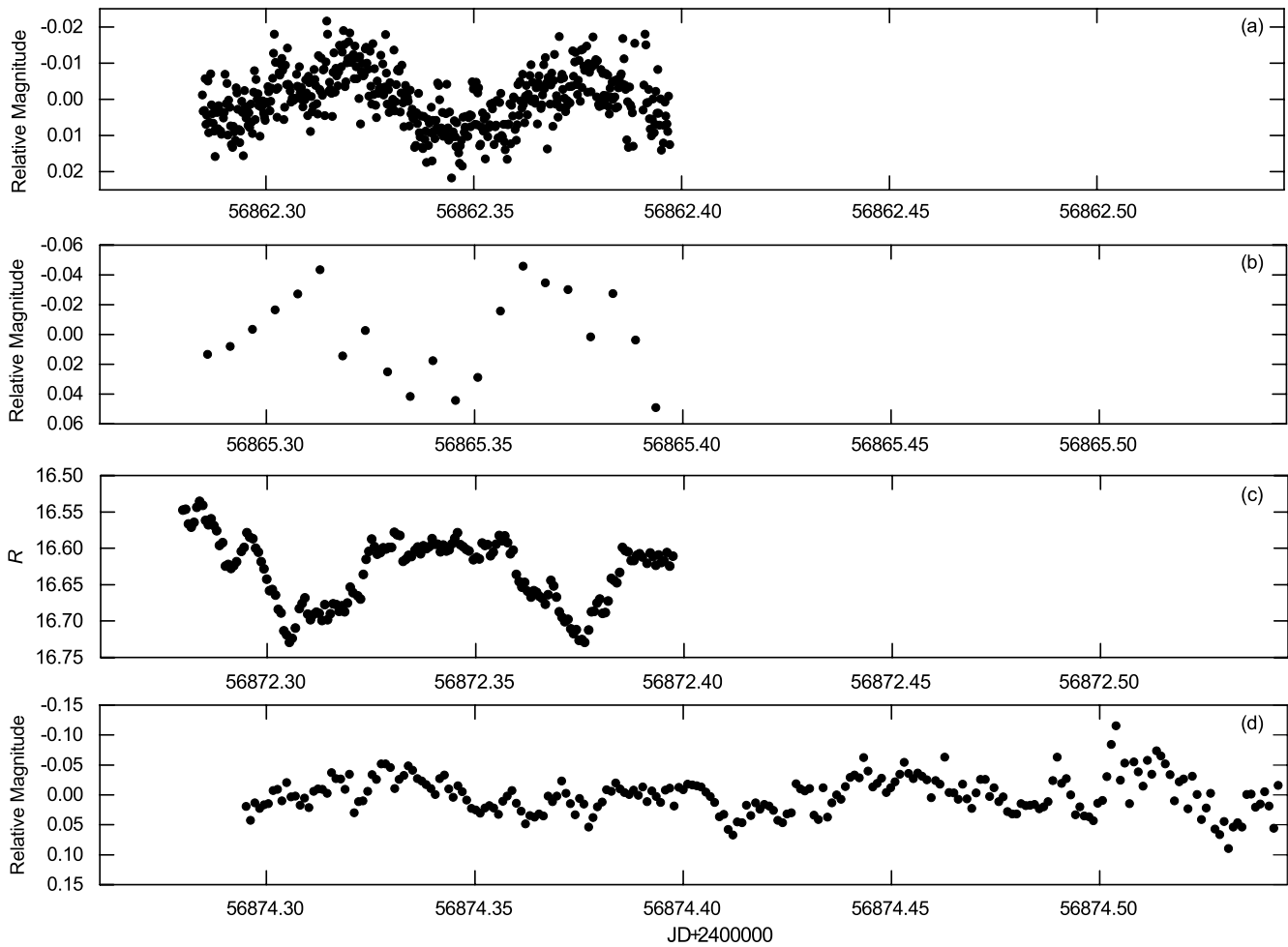


Рис. 2. Примеры индивидуальных кривых блеска на разных этапах вспышечной активности. Сверху вниз: (а) кривая блеска в максимуме ребрайтинга; (b) кривая блеска на восходящей ветви ребрайтинга; (с) кривая блеска в промежутке между ребрайтингами; (d) кривая блеска на нисходящей ветви ребрайтинга.

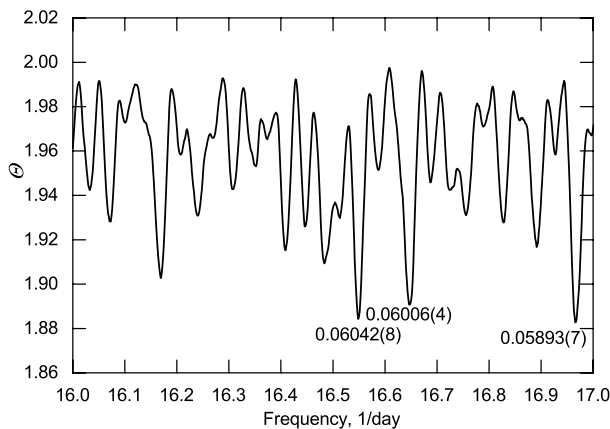


Рис. 3. Сегмент периодограммы, полученной методом Стеллингверфа по выборке из 33 ночей, за исключением относящихся к окончанию сверхвспышки. Для самых значимых частот указаны соответствующие им периоды.

четко прописанный относительно симметричный профиль колебания с амплитудой 0^m03 . Кривая блеска (b) получена по наблюдениям 26 июля 2014 г. с точностью данных 0^m012 . Эта ночь приходилась на восходящую ветвь ребрайтинга. На этой стадии мы также видим относительно симметричный профиль с амплитудой 0^m1 . На кривой блеска (c) приведены наблюдения от 2 августа 2014 г. Фотометрическая точность составила 0^m006 . Эта ночь попала в промежуток между ребрайтингами, поэтому вычет глобального тренда не проводился. И на этой кривой блеска заметен относительно симметричный профиль колебания с амплитудой 0^m25 , но есть плоский максимум, который не наблюдался во время других стадий. Результаты наблюдений нисходящей ветви ребрайтинга 4 августа 2014 г. приведены на нижней кривой блеска рис. 2. Точность оценок блеска составила 0^m02 . Здесь также можно видеть колебание с амплитудой 0^m1 , но с менее

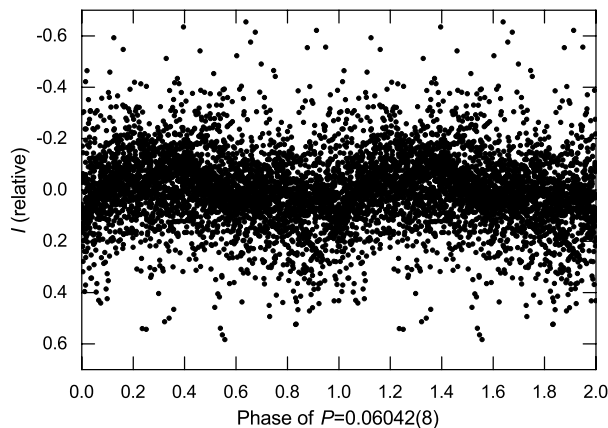


Рис. 4. Фазовая кривая, свернутая с периодом $P = 0^{\text{d}}06042(8)$ для данных на участке JD 2456859–2456896.

гладким профилем, который может быть вызван как меньшей точностью наблюдений в эту ночь, так и реальным изменением профиля.

Далее по данным в промежутке 2456859–2456896 юлианских дней, включающим 33 ночи и охватывающим все зарегистрированные ребрайтенинги, мы предприняли поиск периодических сигналов в окрестностях ранее известных периодов.

Различная амплитуда колебаний (вызванная, возможно, большим перепадом блеска) затрудняет статистический анализ временных рядов, поэтому для проведения частотного анализа данные были переведены в относительные интенсивности согласно соотношению:

$$I = 10^{-0^{\text{m}}4} \times 10^7.$$

Для частотного анализа использовался реализованный в программе ISDA метод Стеллингверфа, являющийся одной из модификаций метода PDM (Phase Dispersion Minimization) [15]. Сегмент полученной периодограммы в окрестности известных ранее периодов представлен на рис. 3.

Мы выделили три наиболее значимых пика, которым соответствуют периоды $0^{\text{d}}06042(8)$, $0^{\text{d}}06006(4)$ и $0^{\text{d}}05893(7)$. Один из этих периодов, $0^{\text{d}}06042(8)$, совпадает с полученным ранее периодом сверхгорбов на стадии В $P_{\text{sh}} = 0^{\text{d}}06042(1)$ [14]. Таким образом, колебания блеска во время ребрайтенингов мы идентифицировали со сверхгорбами стадии В. Также на периодограмме выделяются периоды $0^{\text{d}}06006(4)$ и $0^{\text{d}}05893(7)$, которые не являются суточными для периода $0^{\text{d}}06042(8)$. Из этих трех периодов мы отдали предпочтение периоду $P = 0^{\text{d}}06042(8)$, поскольку он совпадает с периодом сверхгорбов. На рис. 4 приведена

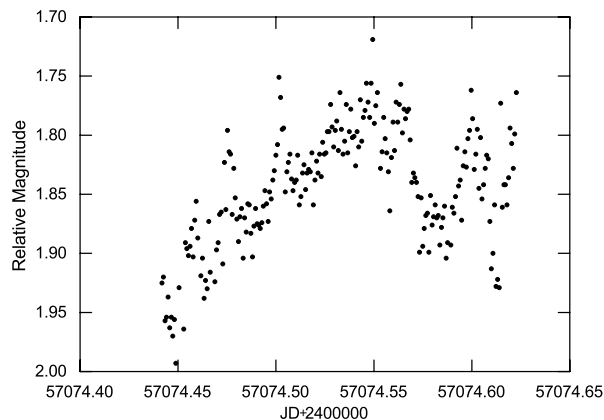


Рис. 5. Кривая блеска 21 февраля 2015 г., после окончания сверхвспышки 2014 г.

фазовая кривая, свернутая с указанным периодом по данным 33 ночей, которые были использованы для его поиска. Она показывает колебание блеска с амплитудой порядка $0.4I$ и симметричным профилем с одним горбом за период. Кривая блеска по наблюдениям, проведенным через 245 суток после начала сверхвспышки 2014 г. (21 февраля 2015 г.) на 2.6-метровом телескопе ЗТШ, представлена на рис. 5. Модуляции блеска с периодом около $0^{\text{d}}06$ не наблюдаются (т.е. сверхгорбы на данной стадии исчезли, а следовательно, аккреционный диск уже вышел из состояния приливной неустойчивости). Вместо этого есть поярчение на $0^{\text{m}}15$ в течение приблизительно 2.5 часов, затем затменообразный провал на $0^{\text{m}}07$. Также видна более быстрая переменность с амплитудой примерно $0^{\text{m}}1$, которая, вероятно, связана с аккреционным диском.

4. ДИАГРАММА $O - C$

При помощи комбинирования метода совмещения хорошо прописанного профиля сверхгорба с изучаемой кривой блеска и метода хорд нами были определены моменты максимумов для всех ночей, где это было возможно. Полученные моменты и амплитуды максимумов приведены в таблице 2.

Используя период $P = 0^{\text{d}}06042$, мы построили диаграмму $O - C$ для наблюдений во время ребрайтенингов (рис. 6).

Полученная диаграмма $O - C$ может иметь два разных варианта объяснения:

1) во время ребрайтенингов определенный нами период сверхгорбов изменялся, что приводит к образованию параболы на диаграмме $O - C$, при аппроксимации которой величина изменения периода за период P_{dot} равна -1.1×10^{-5} ;

Таблица 2. Моменты максимумов в HJD и их амплитуды

| HJD+2400000 | Амплитуда колебания, зв. вел. | HJD+2400000 | Амплитуда колебания, зв. вел. | HJD+2400000 | Амплитуда колебания, зв. вел. |
|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 56856.48662 | 0.1 | 56872.34445 | 0.15 | 56883.35052 | 0.08 |
| 56858.38689 | 0.4 | 56872.34125 | 0.3 | 56883.40742 | 0.08 |
| 56860.45136 | 0.4 | 56872.40645 | 0.3 | 56884.4356 | 0.15 |
| 56862.31843 | 0.04 | 56874.32901 | 0.1 | 56885.33778 | 0.15 |
| 56862.37593 | 0.04 | 56874.39361 | 0.1 | 56889.38629 | 0.15 |
| 56864.38989 | 0.2 | 56874.45181 | 0.1 | 56890.29167 | 0.15 |
| 56865.31268 | 0.1 | 56875.47979 | 0.15 | 56891.32994 | 0.3 |
| 56865.36948 | 0.1 | 56877.34885 | 0.08 | 56891.39084 | 0.3 |
| 56866.51896 | 0.08 | 56880.32259 | 0.2 | 56892.29672 | 0.35 |
| 56867.49984 | 0.1 | 56880.38839 | 0.2 | 56893.321 | 0.3 |
| 56868.34512 | 0.2 | 56881.35897 | 0.15 | 56893.39 | 0.3 |
| 56869.356 | 0.3 | 56882.38574 | 0.1 | 56896.34013 | 0.1 |
| 56871.30807 | 0.1 | | | | |

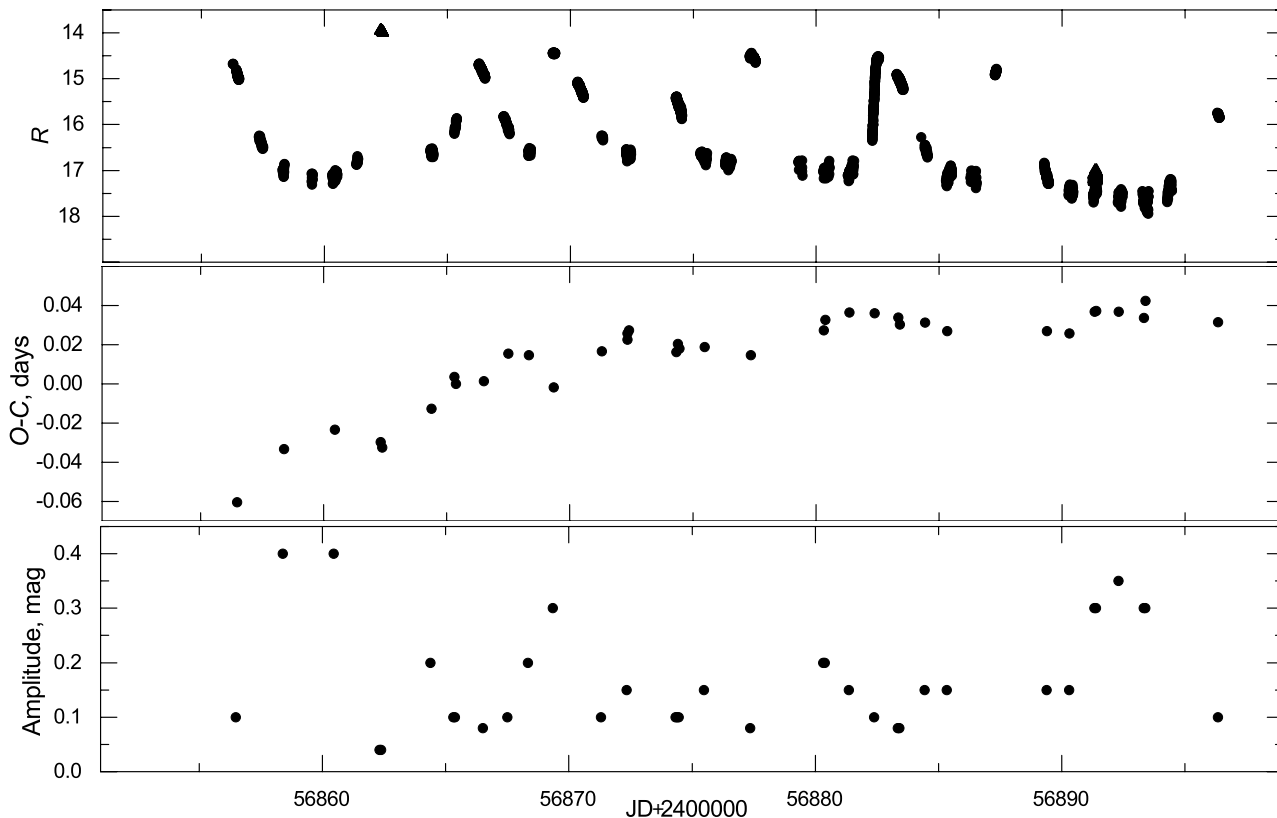


Рис. 6. Диаграмма $O - C$ и амплитуды колебаний.

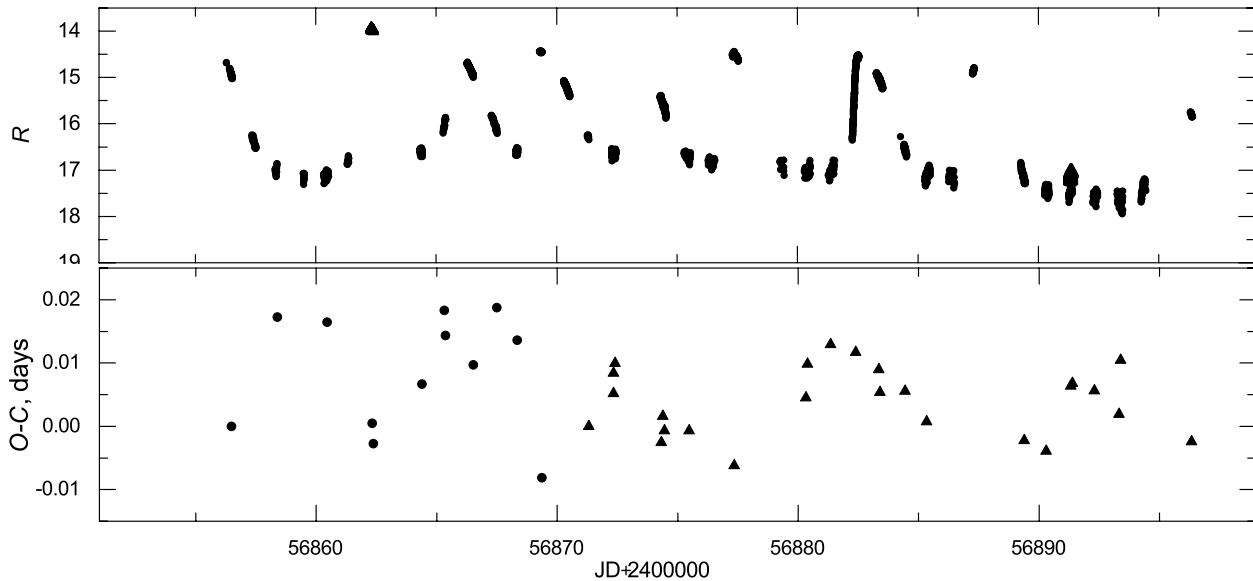


Рис. 7. Уточненная диаграмма $O - C$, посчитанная с использованием двух периодов. Данные для первого участка диаграммы отмечены кружками, для второго участка треугольниками.

2) во время ребрайтенигов действовало два периода, один из которых, в промежутке JD 2456856–2456869, был короче взятого нами периода $P = 0^d06042(8)$, а другой, в промежутке JD 2456871–2456896 — несколько длиннее, т. е. диаграмма $O - C$ объясняется двумя линейными участками, принадлежащими разным периодам.

По изменению амплитуды сверхгорбов можно сделать следующие заключения:

- в среднем амплитуда сверхгорбов была меньше во время ребрайтенигов, чем в промежутке между ними;
- максимальной амплитуды сверхгорбы достигали после окончания сверхвспышки (до первого ребрайтенинга), а также во время длительной задержки между седьмым и восьмым ребрайтенигами.

Стоит отметить, что первые две точки на диаграмме $O - C$ относятся к окончанию сверхвспышки, и их положение на диаграмме неоднозначно. Кроме варианта, приведенного на рис. 6, возможен ещё вариант, со смещением этих точек на один период вверх из-за просчета на один цикл.

Аппроксимация диаграммы $O - C$ двумя линейными участками дала меньшее среднеквадратичное отклонение, чем аппроксимация параболой. По наклону аппроксимирующих прямых нами были посчитаны значения периодов для обоих участков, которые позволили бы убрать линейный тренд с диаграммы $O - C$. Для участка

JD 2456856–2456869 уточненный период составил $0^d06074(3)$, для участка JD 2456871–2456896 — $0^d06046(9)$. Далее мы пересчитали значения $O - C$, используя уточненные периоды для соответствующих участков диаграммы. Полученная диаграмма $O - C$ представлена на рис. 7. Мы не нашли возможной зависимости между средним блеском звезды и $O - C$.

5. ОБСУЖДЕНИЕ

Можно отметить, что смена периода во втором варианте объяснения диаграммы $O - C$ совпадает с промежутком между вторым ребрайтенигом, имеющим симметричный профиль, что характерно для вспышек типа «inside-out», и третьим ребрайтенигом, имеющим явно более быстрый подъем блеска, чем спад (характерно для вспышек типа «outside-in»).

Также стоит отметить, что полученная нами диаграмма $O - C$ похожа на диаграмму $O - C$, представленную на рис. 10 в статье Като и др. [16] для карликовой новой типа WZ Sge EZ Lyn = SDSS J080434.20+510349.2. Глобальное изменение ее периода было аппроксимировано параболой с положительным $P_{\text{dot}} = 0.5 \times 10^{-5}$, однако на упомянутом рисунке можно отметить участок 2453812–2453843, на котором изменение периода может быть аппроксимировано параболой с отрицательным P_{dot} или двумя линейными участками.

Подобное поведение диаграммы $O - C$ на стадии ребрайтенигов можно также видеть и на

рис. 129, приведенном для звезды WZ Sge в работе Като и др. [3], где диаграмма $O - C$ аппроксимируется двумя линейными участками, а в случае аппроксимации параболой также имела бы отрицательное значение P_{dot} .

6. ВЫВОДЫ

Нами проведены уникальные наблюдения карликовой новой звезды ASASSN-14cv. Они позволили зарегистрировать восемь ребрайтенингов у этой системы и построить для наблюдавшихся сверхгорбов на стадии ребрайтенингов зависимость $O - C$.

Полученный нами средний период на стадии ребрайтенингов $0^{\text{d}}06042(8)$ совпадает с периодом сверхгорбов $0^{\text{d}}06042(1)$, полученным для стадии В во время сверхвспышки.

Показана эволюция сверхгорбов на стадии ребрайтенингов, которую можно представить одним из двух вариантов:

1) непрерывное изменение периода с отрицательным $P_{\text{dot}} = -1.1 \times 10^{-5}$;

2) скачкообразное изменение периода с $0^{\text{d}}06074(3)$ для участка JD 2456856–2456869 на $0^{\text{d}}06046(9)$ для участка JD 2456871–2456896.

Из имеющихся данных нам представляется проблематичным сделать вывод о физике полученных нами результатов. Возможно, накопление большей статистики по эволюции сверхгорбов на стадии ребрайтенингов у карликовых новых звезд типа WZ Sge поможет лучше понять происходящие на этой стадии физические процессы.

БЛАГОДАРНОСТИ

А. С. Склянов и А. И. Галеев выражают благодарность ТЮБИТАК, КФУ и АН РТ за частичную поддержку в использовании телескопа РТТ-150

(Российско-Турецкий 1.5-м телескоп в Анталии). Данная работа была частично поддержана субсидией Правительства РФ, направленной на повышение конкурентоспособности Казанского федерального университета среди мировых научно-исследовательских центров. Данная работа была частично выполнена в рамках грантов РФФИ №15-02-06178 и РФФИ №15-32-50920.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Osaki, Publ. Astron. Soc. Pacific **108**, 39 (1996).
2. C. Knigge, Monthly Notices Royal Astron. Soc. **373**, 484 (2006).
3. T. Kato, A. Imada, M. Uemura, et al., Publ. Astron. Soc. Japan **61**, S395 (2009).
4. Y. Osaki and F. Meyer, Astron. and Astrophys. **383**, 574 (2002).
5. A. Imada, K. Kubota, T. Kato, et al., Publ. Astron. Soc. Japan **58**, L23 (2006).
6. T. Kato, F.-J. Hambsch, H. Maehara, et al., Publ. Astron. Soc. Japan **66**, 30 (2014).
7. Y. Osaki, F. Meyer, and E. Meyer-Hofmeister, Astron. and Astrophys. **370**, 488 (2001).
8. J. Patterson, G. Masi, M. W. Richmond, et al., Publ. Astron. Soc. Pacific **114**, 721 (2002).
9. J. Smak, Acta Astronomica **34**, 161 (1984).
10. K. Stanek, vsnet-alert 17395 (2014).
11. P. Berardi, T. Lester, and F. Teyssier, Astronomer's Telegram **6258** (2014).
12. T. Kato, vsnet-alert 17415 (2014).
13. T. Kato, vsnet-alert 17466 (2014).
14. T. Kato, vsnet-alert 17499 (2014).
15. R. F. Stellingwerf, Astrophys. J. **224**, 953 (1978).
16. T. Kato, E. P. Pavlenko, H. Maehara, et al., Publ. Astron. Soc. Japan **61**, 601 (2009).

Superhump evolution of WZ Sge type dwarf nova ASASSN-14cv on rebrightening stage**A. S. Sklyanov, E. P. Pavlenko, O. I. Antonyuk, K. A. Antonyuk, A. A. Sosnovskij, A. I. Galeev, N. V. Pit,
and J. V. Babina**

We report the results of observations of a WZ Sge-type dwarf nova ASASSN-14cv, acquired in 2014 and covering the end of a superoutburst and a rebrightening stage. We detected 8 rebrightenings of this star. Based on the light curve profiles of the rebrightenings, we conclude on the existence of both the inside-out and outside-in outbursts. During the entire course of the rebrightening stage, a brightness variability with the mean period of $P = 0^d06042(8)$ was detected, which was identified as a superhump period during the stage B of the superoutburst. The character of the registered superhump evolution can be either described by a parabolic approximation with the negative $P_{\text{dot}} = -1.1 \times 10^{-5}$, or by an approximation with 2 linear areas with the corresponding periods of $0^d06074(3)$ and $0^d06046(9)$.

Keywords: *accretion:accretion disks—stars:dwarf novae—stars:individual ASASSN-14cv—stars:cataclysmic variables*