

ГОРБЫ И СВЕРХГОРБЫ В СИСТЕМЕ КАРЛИКОВОЙ НОВОЙ ТИПА SU UMa 1RXS J161659.5+620014

Е.П.ПАВЛЕНКО, А.А.СОСНОВСКИЙ, К.А.АНТОНЮК,
Э.Р.ЛЮМАНОВ, Н.В.ПИТЬ, О.И.АНТОНЮК

Поступила 20 апреля 2020

Фотометрические исследования карликовой новой типа SU UMa 1RXS J161659.5+620014 были выполнены на 2.6-м и 1.25-м телескопах Крымской астрофизической обсерватории в 2017 и 2018 гг. в неактивном состоянии системы, во время нормальных вспышек и во время сверхвспышки. Найдено, что интервал между соседними нормальными вспышками составлял около 11 сут. в 2017 г. Наблюдения в 2017 г. в спокойном состоянии системы позволили обнаружить орбитальный период 0.06888(2) сут. Наблюдения в 2018 г. показали хорошую воспроизводимость характеристик сверхвспышки со сверхвспышками предыдущих лет. Был уточнен период положительных сверхгорбов на стадии "С", равный 0.071044(15) сут. и определены их цветовые индексы.

Ключевые слова: *1RXS J161659.5+620014: катаклизмические переменные: карликовые новые: отрицательные сверхгорбы*

1. *Введение.* Карликовые новые типа SU UMa относятся к подклассу катаклизмических переменных звезд. В системах типа SU UMa звезда-донор позднего спектрального класса (M-L) заполняет свою полость Роша и через внутреннюю точку Лагранжа теряет вещество на немагнитный белый карлик с массой в три и более раз превышающей массу компонента-донора [1]. Вещество донора не сразу аккрецирует на белый карлик, а образует вокруг него аккреционный диск, который время от времени вспыхивает, что вызывается тепловой неустойчивостью диска [2-4]. Системы типа SU UMa показывают два типа вспышек - так называемые "нормальные" вспышки и "сверхвспышки". Нормальные вспышки возникают с интервалом от нескольких суток до десятков суток, длятся 2-4 сут. и имеют амплитуду 2^m-5^m . Они располагаются между сверхвспышками, амплитуды которых больше, чем амплитуды нормальных вспышек, а длительности - от 10 сут. и более. В минимуме блеска между вспышками при благоприятном наклоне орбиты можно наблюдать "горбы" - колебания блеска с орбитальным периодом, а во время сверхвспышек - колебания блеска с периодом "положительных сверхгорбов", на несколько процентов превосходящих орбитальный период.

Впервые сверхгорбы были открыты независимо Фогтом [5] и Уорнером

[6] во время сверхвспышки 1972г. карликовой новой типа SU UMa VW Hyi. Если "горбы" связывают с условиями видимости "горячего пятна" и/или "горячей линии" [1,7], то причина "сверхгорбов" принципиально иная. Согласно современным представлениям [8-10], сверхгорбы являют собой приливные высвобождения энергии в диске. Они происходят, когда радиус диска достигает резонансной орбиты, соответствующей резонансу 3:1, при этом диск из кругового преобразуется в эллиптический и показывает апсидальную прецессию. Источник сверхгорбов находится во внешних частях диска, в том месте, где орбиты частиц пересекаются, а их период P_{sh} связан с орбитальным P_{orb} и прецессионным P_{prec} периодами соотношением:

$$1/P_{prec} = 1/P_{orb} - 1/P_{sh}.$$

Достичь данной резонансной орбиты могут только системы с отношением масс $q = m_2/m_1 < 0.25$, где m_2 и m_1 - массы донора и белого карлика соответственно, поскольку для систем с большим q радиус 3:1 резонанса будет находиться уже за границей приливного радиуса.

Като и др. [11] выделили и исследовали три стадии в изменении периода сверхгорбов в течение сверхвспышки. Это стадия А, которая характеризуется постоянным периодом; стадия В - с развитыми сверхгорбами и систематическими изменениями этого периода, причем, его средняя величина меньше, чем на стадии А; стадия С - с периодом, меньшим, чем на стадии В, видимая на поздней фазе сверхвспышки до пост-сверхвспышечной фазы. На данном этапе предполагается, что стадия А характеризуется скоростью динамической прецессии на радиусе 3:1 резонанса, стадия В отражает рост газового давления в диске [12-14]. Происхождение стадии С все еще остается неясным. Звезды типа WZ Sge редко показывают ярко выраженный переход к стадии С.

В 80-е годы последовал ряд работ по колориметрии сверхгорбов. Авторы отмечали, что в основном сверхгорбы "красные", т.е., показатели цвета наиболее красные, когда яркость сверхгорба достигает максимального значения [1]. Однако это единичные данные, и авторы отмечали, что для полноты картины данных наблюдений явно не хватает.

Известно, что кроме положительных сверхгорбов, аккреционные диски могут демонстрировать и отрицательные сверхгорбы, период которых на несколько процентов меньше орбитального [15]. В отличие от положительных сверхгорбов, которые бывают только во время сверхвспышек, они наблюдаются у катаклизмических переменных и родственных объектов на различных этапах эволюции (для различных орбитальных периодов) [15-17]. Число известных таких систем невелико, а их происхождение связывают с нодальной прецессией наклонного диска (см., например, [16]). У карликовой новой V1504 Cyg по данным космического телескопа Кеплер Осаки и Като [18] обнаружили

сильную корреляцию изменения длительности интервала (цикла) между нормальными вспышками с появлением (или исчезновением) отрицательных сверхгорбов. У большинства катаклизмических переменных цикл относительно стабилен, однако есть несколько систем, где частота нормальных вспышек может изменяться драматически от S (короткий цикл) до L (длинный цикл), согласно исследованиям Смака [19]. Осаки и Като [18] предположили, что появление отрицательных сверхгорбов может уменьшать частоту нормальных вспышек. Однако это справедливо, как заметили авторы, для вспышек типа "inside-out" ("извне-вовнутрь"), у которых тепловая нестабильность сначала зарождается во внешних частях диска, а затем распространяется во внутренние. Связь появления или/и исчезновения отрицательных сверхгорбов с изменением частоты цикла, предсказанная Осаки и Като, была найдена еще для V503 Cyg [20,21] и NY Her [22] по наземным наблюдениям.

Целью нашей работы было исследование периодических процессов у IRXS J161659.5+620014 на разных стадиях вспышечной активности, изучение цветовых характеристик сверхгорбов, а также определение характеристик самой вспышечной активности в течение сезона наблюдений.

1.1. *IRXS J161659.5+620014*. Первоначально объект был выделен как рентгеновский, он занесен в каталог ROSAT. Объект также известен как MASTER OT J161700.81+620024.9 [23] (далее - IRXS J1616), авторы обнаружили его в ярком состоянии 11 сентября 2012г. и предположили, что это карликовая новая. Через несколько лет было подтверждено, что объект является карликовой новой типа SU UMa [24]. Его блеск во сверхвспышке 2017г. был 14^m.9. Период сверхгорбов на стадии В оказался равен 0.071370 сут., а на стадии С - 0.071063 сут.

Орбитальный период системы к настоящему времени был неизвестен. Като и др. [24] определили этот объект как активную карликовую новую (т.е., с коротким сверхциклом ~90 сут.) и заметили у нее «нечастые» для такого сверхцикла нормальные вспышки. Авторы предположили, что увеличение интервала между вспышками могло произойти из-за наклона аккреционного диска над орбитальной плоскостью (в этом случае аккреционная струя большую часть времени попадает не в край диска, а в его центральные части, и требуется больше времени для достижения критических условий, необходимых для запуска тепловой нестабильности). Вследствие этого можно было бы ожидать появление нодальной прецессии диска и отрицательных сверхгорбов на кривых блеска.

2. *Наблюдения*. Наблюдения были выполнены на двух телескопах КрАО: 2.6-м телескопе им. Г.А.Шайна (ЗТШ) с ПЗС камерой Apogee Alta E47 и 1.25-м телескопе (АЗТ-11) с ПЗС камерой ProLine PL230. Журнал

наблюдений представлен в табл.1, где указаны начало-конец наблюдений, число экспозиций, телескоп, цветовая система и статус вспышечной активности. В качестве звезды сравнения использовалась звезда USNO B1 = 1519-0236952 ($B = 14.74$, $R = 13.00$, $I = 12.53$). Все наблюдения 2017г. проводились без применения светофильтров, а во время сверхвспышки - в полосах фотометрической системы Джонсона-Кузинса $BVRc$ (за исключением первой ночи, когда объект наблюдался в интегральном свете). Кривые реакции обоих ПЗС-фотометров имеют максимумы чувствительности в красной области спектра. Точность единичной оценки блеска по наблюдениям на ЗТШ составила $0^m.005-0^m.07$, а на АЗТ-11 - $0^m.02-0^m.07$ в зависимости от яркости объекта и погодных условий наблюдений.

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

Начало-конец наблюдений HJD 2458000+...	N	Телескоп	Цветовая система	Статус вспышечной активности
038.17486-038.32644	223	ЗТШ	Без фильтра	Минимум
039.17447-039.36167	257	ЗТШ	Без фильтра	Минимум
043.20146-043.36860	77	АЗТ-11	Без фильтра	Вспышка
044.22010-044.37231	72	АЗТ-11	Без фильтра	Вспышка
045.19102-045.28075	43	АЗТ-11	Без фильтра	Минимум
046.20416-046.28762	40	АЗТ-11	Без фильтра	Минимум
050.18918-050.27813	41	АЗТ-11	Без фильтра	Минимум
051.19126-051.31055	57	АЗТ-11	Без фильтра	Минимум
053.25747-053.28090	12	АЗТ-11	Без фильтра	Вспышка
054.20112-054.33112	61	АЗТ-11	Без фильтра	Вспышка
262.29500-262.37608	543	ЗТШ	Без фильтра	Сверхвспышка
264.27756-264.54642	1152	ЗТШ	$BVRc$	Сверхвспышка
265.26600-265.54503	1209	ЗТШ	$BVRc$	Сверхвспышка
266.25976-266.54530	1212	ЗТШ	$BVRc$	Сверхвспышка
268.30443-268.31101	10	АЗТ-11	Без фильтра	Сверхвспышка
269.35477-269.36144	10	АЗТ-11	Без фильтра	Сверхвспышка

3. 2017г.: нормальные вспышки и горбы на кривых блеска в спокойном состоянии. Наши наблюдения в 2017г. вне сверхвспышки охватили две нормальные вспышки и фрагменты спокойного состояния между ними. Кривая блеска приведена на рис.1. (слева). Амплитуда вспышек, как видно из рисунка, была не менее $2^m.0$. Пропуски в наблюдениях не дают возможности точно определить длину цикла (интервал между соседними вспышками). Если предположить, что они хорошо воспроизводятся, то их

появление не противоречит ~ 11 -дневному циклу (рис.1, справа).

Для анализа переменности блеска в спокойном состоянии мы исключили данные трех ночей, приходящиеся на нормальные вспышки, вычли тренд, соответствующий небольшим колебаниям среднего блеска от ночи к ночи и провели анализ временных рядов, используя метод Стеллингверфа, реализованный в пакете программ ISDA [25]. Результат приведен на рис.2.

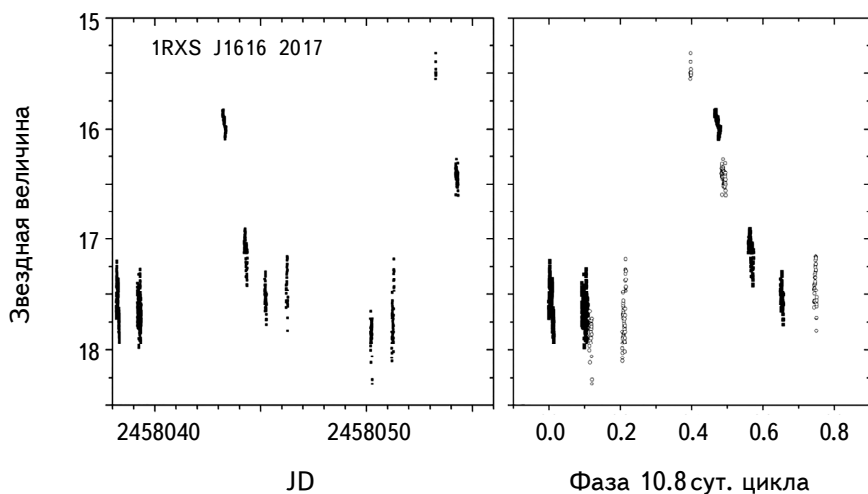


Рис.1. Слева: кривая блеска 2017г., охватившая две вспышки и спокойное состояние. Справа: свертка данных с вероятным циклом вспышек 10.8 сут. Заполненными кружками показаны данные первого цикла, а открытыми - второго. Поскольку кривые реакции светоприемников имеют максимальную чувствительность в красной области спектра, нуль-пункт шкалы звездных величин условно принят для R_c .

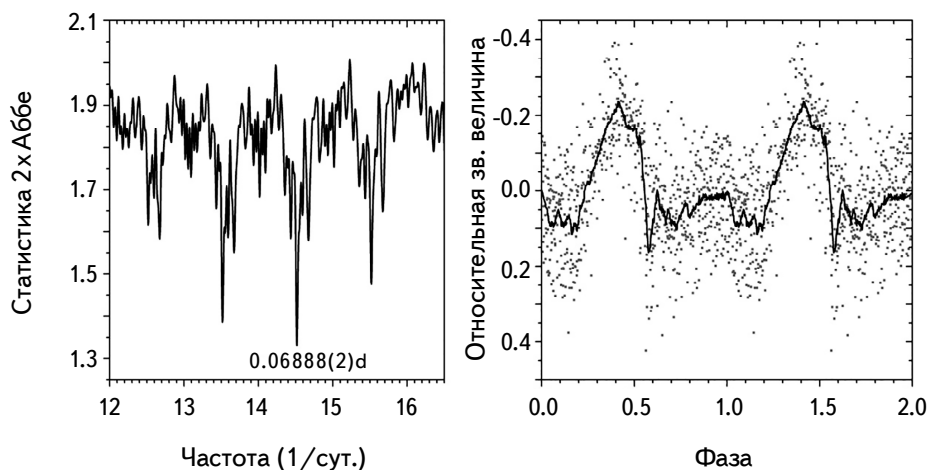


Рис.2. Периодограмма для данных семи ночей спокойного состояния 2017г. (слева) и свертка данных с периодом 0.06888(2) сут. (справа). Серые точки - индивидуальные значения. Сплошной линией проведена сглаженная кривая. Начальная эпоха соответствует HJD 2458038.17486.

Периодограмма указывает на наиболее значимый пик 0.06888(2) сут. среди пиков, разделенных суточной скажностью. Средняя кривая блеска, построенная по этим ночам, имеет один горб с амплитудой около $0^m.4$, длящийся ~ 0.4 периода и резкое (затменнообразное) кратковременное ослабление блеска на фазе 0.55, напоминая своим видом известные орбитальные кривые, приведенные, например, в [1,26]. На этих кривых горб объясняется различными условиями видимости горячего пятна на диске в процессе движения по орбите. Для проверки предположения, является ли обнаруженный период орбитальным периодом, мы определили величину избытка периода ε [1], используя величину периода сверхгорбов на стадии В, взятую из [24].

$$\varepsilon = (P_{sh} - P_{orb}) / P_{orb},$$

где P_{sh} - период положительных сверхгорбов, P_{orb} - предположительно орбитальный период, найденный по нашим данным.

По нашим данным мы получили значение $\varepsilon = 0.036$. На рис.3 приведена эмпирическая зависимость между величинами орбитального периода и ε для положительных и отрицательных сверхгорбов, куда мы также нанесли найденную нами величину для 1RXS J1616 в предположении, что обнаруженные периодические изменения блеска происходят с орбитальным периодом. Из рисунка видно, что положение ε для 1RXS J1616 хорошо укладывается на эмпирическую зависимость и, следовательно, гипотеза орбитального периода верна. Таким образом, мы не обнаружили отрицательные сверхгорбы в минимуме блеска при цикле 11 сут.

Кратковременное ослабление блеска на фазе 0.58 вероятно связано с

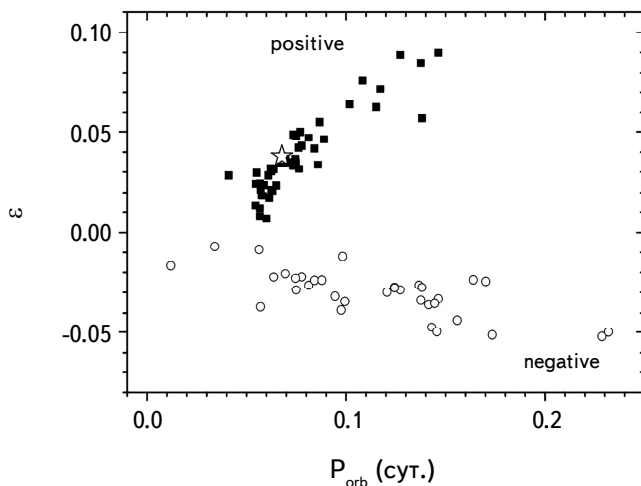


Рис.3. Избыток периода ε для положительных (positive) и отрицательных (negative) сверхгорбов (заполненные кружки и квадраты, соответственно). Данные взяты из [26-39]. Звездочкой обозначено положение 1RXS J1616, полученное по нашим данным.

касательным затмением диска вторичным компонентом. На рис.4 показаны свертки с орбитальным периодом для наиболее точных данных, полученных на ЗТШ по двум ночам. Поскольку в течение ночи ряд наблюдений охватывал несколько орбитальных циклов, свертки приведены для каждого цикла. Видно, что профиль кривой блеска несколько изменяется от цикла к циклу, причем эти изменения больше в интервале фаз 0.62-0.22, чем в интервале 0.22-0.62, где наблюдается горб. Подобная нестабильность кривых была отмечена нами ранее для другой карликовой новой с частным затмением IRXS J0038 [26].

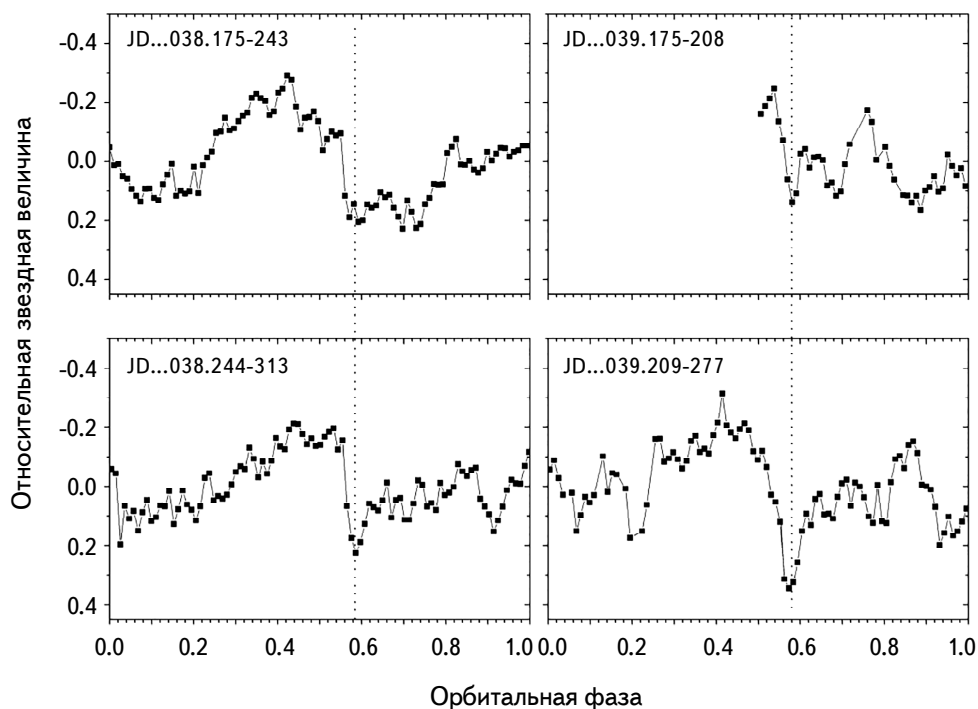


Рис.4. Примеры фазовых кривых блеска для отдельных орбитальных циклов двух ночей наблюдений. Указаны интервалы юлианской даты (три последние цифры) для соответствующих кривых. Пунктирная линия на фазе 0.58 соответствует фазе затменнообразного минимума.

4. 2018г.: сверхвспышка и сверхгорбы.

4.1. *Период сверхгорбов.* Большая часть наших наблюдений 2018г. пришлась на вторую половину плато вспышки. Периодограмма, построенная в окрестности ожидаемого периода сверхгорбов по всем данным плато и свертка с наиболее значимым периодом приведены на рис.5. Средний период сверхгорбов оказался равным 0.071164(60) сут. Профиль фазовой кривой блеска асимметричен, представляет собой резкий подъем блеска и небольшой

вторичный горбик на нисходящей ветви. Средняя амплитуда профиля сверхгорба - около $0^m.15$. В табл.2 приведены гелиоцентрические моменты максимумов сверхгорбов.

Таблица 2

МОМЕНТЫ МАКСИМУМОВ СВЕРХГОРБОВ В
ПОЛОСЕ R_c HJD 2458000+...

262.325	264.466	265.461	266.386
264.324	265.32	265.532	266.455
264.395	265.388	266.313	266.525

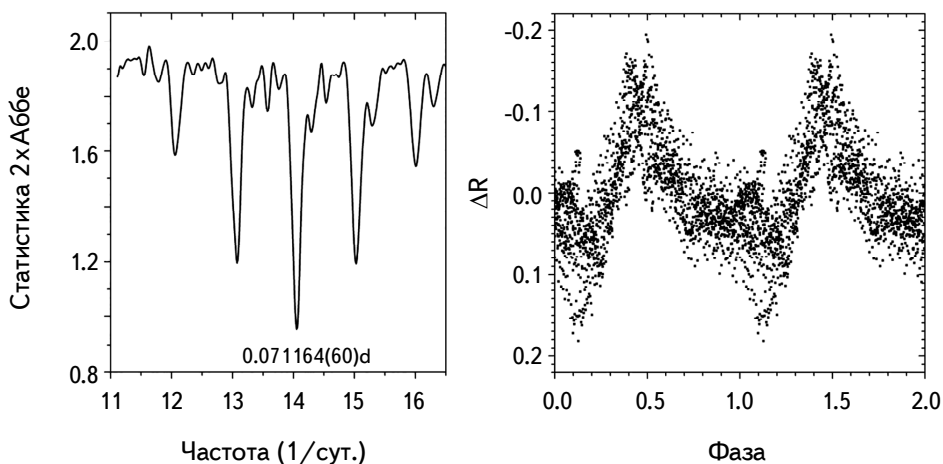


Рис.5. Периодограмма в окрестности периода сверхгорбов, построенная по данным трех ночей сверхвыспышки 2018г. в полосе R_c и соответствующая свертка с периодом 0.071164 сут.

Далее были определены величины О-С (разности наблюдаемых (О) и рассчитанных (С) моментов максимумов блеска сверхгорбов), рассчитанные для периода 0.071373 сут., с которым определялись аналогичные величины О-С для сверхвыспышки 2017г. [24]. Мы сравнили ход О-С для различных сверхвыспышек, наблюдавшихся в 2016, 2017 [24] и 2018гг. (наши данные). Результат представлен на рис.6. Там же приведена и наша кривая блеска сверхвыспышки 2018г. Наблюдения, очевидно, пришлись на ее вторую половину.

Из диаграммы видна хорошая воспроизводимость данных О-С для различных сверхвыспышек. В частности, по всем данным определен излом зависимости О-С от номера цикла в районе $E=0$, соответствующий переходу от стадии В к стадии С в эволюции периода сверхгорбов. Период на стадии С, определенный с помощью метода О-С по всем доступным данным 2016-2018гг., оказался равен 0.071044(15) сут. Он меньше периода, полученного

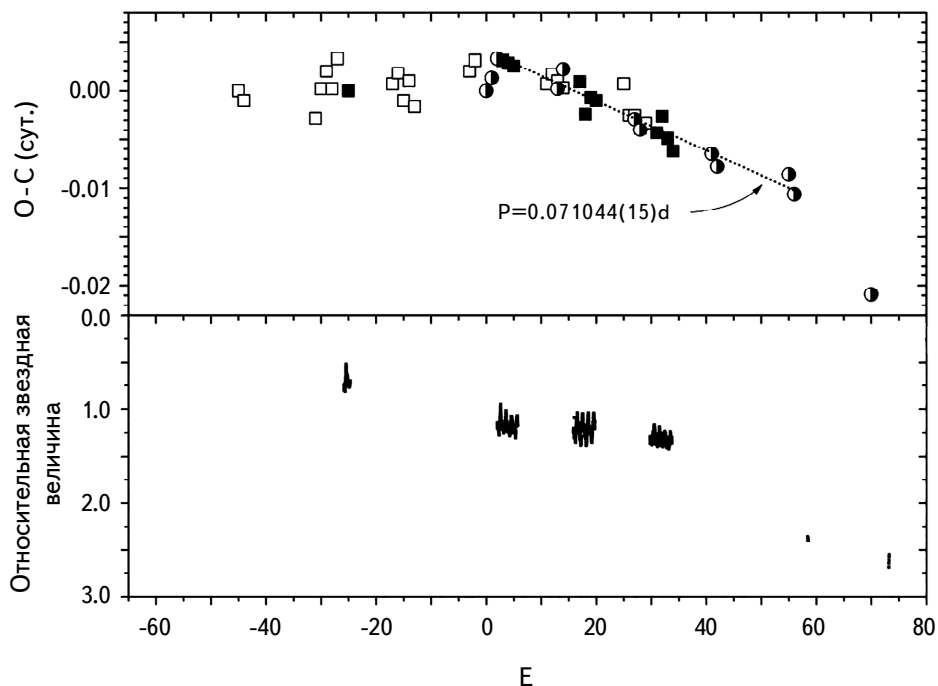


Рис.6. Вверху: ход О-С для моментов максимумов блеска в зависимости от номера цикла E . Заполненными квадратами обозначены наши данные 2018 г., кружками и открытыми квадратами - данные 2016 и 2017гг., соответственно. Начальные эпохи для разных сверхвспышек смещены до наилучшего совпадения О-С. Внизу: Кривая блеска 2018г. по нашим данным. Цикл $E = -25$ соответствует $JD = 2458262.3$, а $E = -40$ - $JD = 2458268.3$.

нами периодограммным методом, поскольку в последнем случае в выборку данных были включены и данные первой ночи, приходящейся на стадию В с большим периодом. Существенное отклонение последней точки на диаграмме вызвано, очевидно, тем, что она приходится на окончание стадии С (или после нее), когда основной (если не единственный) вклад в изменение блеска уже вносил орбитальный период.

4.2. Колориметрия сверхгорбов. Исходные кривые блеска в полосах $BVRc$ приведены для каждой из трех ночей плато сверхвспышки на рис.7.

Видно, что средние амплитуды кривых сверхгорбов слегка изменяются от ночи к ночи в пределах $0^m.25$ - $0^m.13$ в полосе B , $0^m.27$ - $0^m.17$ в полосе V и $0^m.29$ - $0^m.16$ в полосе Rc , т.е., амплитуда немного увеличивалась с длиной волны. Чтобы сравнить наши результаты с данными исследований показателей цвета других авторов (которые представлены в крайних полосах из наблюдавшихся полос спектра), мы вычислили показатели цвета $B-Rc$, а чтобы увеличить статистическую значимость, сделали это по всем трем ночам

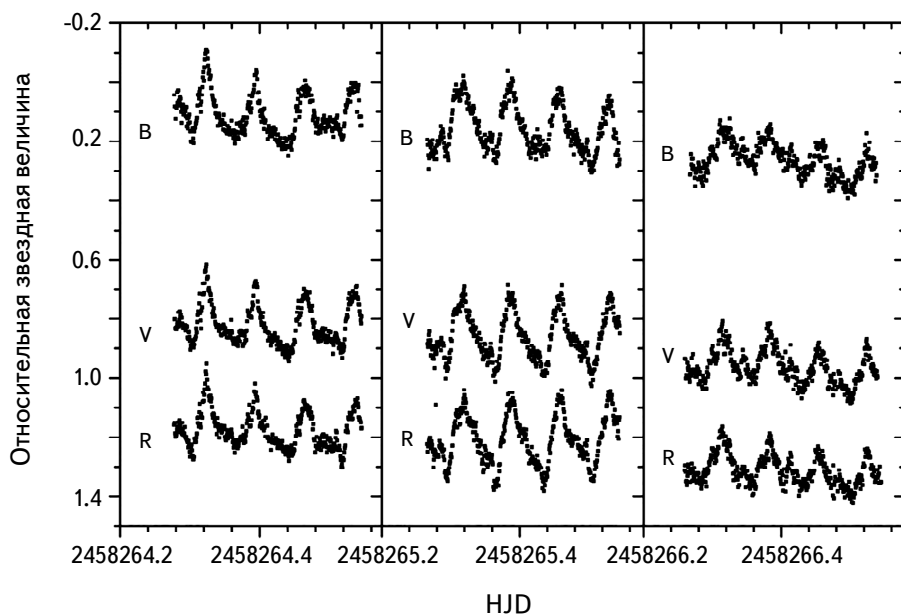


Рис.7. Кривые блеска для трех последовательных ночей плато сверхвысписки в полосах $BVRc$.

(рис.8). Усредненная картина выглядит так: средняя амплитуда кривой в полосе Rc по трем ночам составила $0^m.17$, а показателя цвета $B-Rc$ всего $0^m.027$, причем, показатель цвета $B-Rc$ имеет тенденцию быть наиболее "голубым" в минимуме блеска сверхгорба и наиболее "красным" в его максимуме (более точно - он наиболее "красный" от максимума до середины нисходящей ветви, и наиболее "голубой" от минимума до середины восходящей ветви профиля сверхгорбов).

На сегодняшний день в литературе имеется не очень много данных по колориметрии положительных сверхгорбов. Однако известно, что для систем типа WZ Sge голубой пик показателя цвета имеет тенденцию совпадать с минимумом на кривой блеска положительного сверхгорба, например, показатели цвета $g'-Ic$ для CSS130418:174033+414756 [40]; HV Vir и OT J012059.6+325545 [41]; $g'-I'$ для EZ Lyn [42]; $B-I$ для SSS J122221.7-311525 [43]. Описание фотометрической системы SDSS (Sloan Digital Sky Survey) $u'g'r'i'z'$ и ее связь с системой Джонсона-Кузинса $UBVRcIc$ даны в работе [44]. В то же время, Мацуи и др. [45] сообщили о том, что голубой пик на кривой показателя цвета $g'-Ic$ приходится на восходящую ветвь профиля положительного сверхгорба у V455 And. Подобное поведение замечено Шугаровым и др. [46] у RZ Leo для показателя цвета $B-Rc$. Отметим, что наш результат согласуется

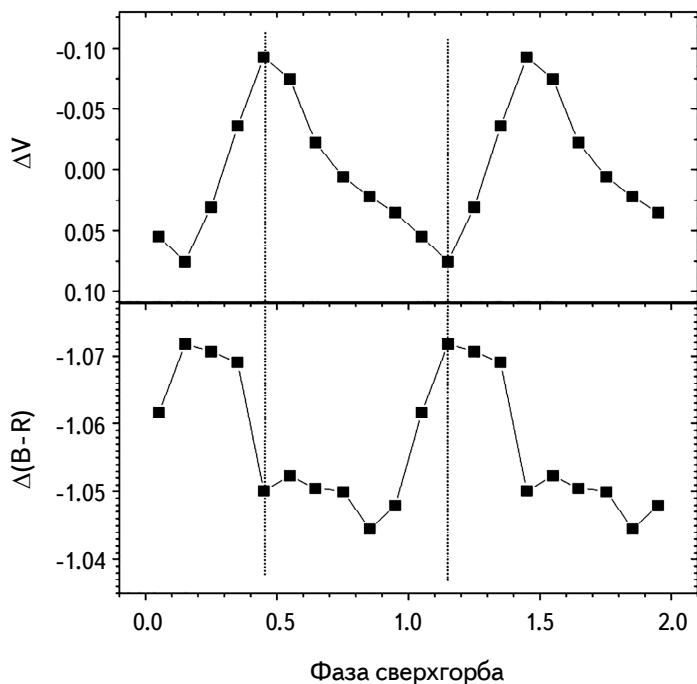


Рис.8. Средний профиль кривой блеска в полосе R_c и показателя цвета $B-R_c$ по трем ночам сверхвыпущки 2018г. Размер значка соизмерим с ошибкой. Линии проведены через максимум и минимум кривой блеска.

с данными из литературы. Вышеупомянутые авторы замечают, что различное поведение показателей цвета может зависеть от стадии развития сверхгорбов. По их мнению, особенности показателей цвета могут иметь разную причину - эффект давления в аккреционном диске или указывать на холодную область во внешних его частях за пределами 3:1 резонансного радиуса. Совершенно очевидно, что необходимо продолжение колориметрических исследований положительных сверхгорбов на разных стадиях их развития у разных систем для увеличения статистики и в конечном итоге - для понимания особенностей аккреционного диска.

5. Заключение.

1. По данным 2017г. интервал между соседними нормальными вспышками составил около 11 сут.
2. Впервые обнаружен орбитальный период системы 0.06888 сут.
3. Определены цветовые характеристики для стадии С сверхгорбов: показатель цвета $B - R_c$ наиболее "красный" от максимума до середины нисходящей ветви, и наиболее "голубой" от минимума до середины восходящей ветви профиля сверхгорбов.

4. Вопреки предположению, мы не обнаружили наличия отрицательных сверхгорбов у 1RXS J1616. Вероятно, их появление должно было бы соответствовать циклу нормальных вспышек больше 11 сут., а данный цикл можно классифицировать как относительно короткий цикл "S" для 1RXS J1616 в 2017г.

Анализ наблюдений карликовой новой 1RXS J1616 выполнен за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10063).

ФГБУН "Крымская астрофизическая обсерватория РАН",
Россия, e-mail: eppavlenko@gmail.com

HUMPS AND SUPERHUMPS IN THE SU UMa-TYPE DWARF NOVA, 1RXS J161659.5+620014

E.P.PAVLENKO, A.A.SOSNOVSKIJ, K.A.ANTONIUK, E.R.LUMANOV,
N.V.PIT, O.I.ANTONIUK

Photometric investigations of the SU UMa-type dwarf nova, 1RXS J161659.5+620014 were carried out at 2.6-m and 1.25-m telescopes of the Crimean Astrophysical Observatory in 2017 and 2018 years during quiescent, normal outbursts and superoutburst. We found the interval between normal outbursts to be about 11 d in 2017. Observations in 2017 during quiescence allowed to find the orbital period 0.06888(2) d. Observations in 2018 displayed good reproducibility of the the superoutburst characteristics with these of previous years. We improved a period of positive superhumps at stage "C" to be 0.071044(15) d. The color indexes of superhumps were defined.

Keywords: *1RXS J161659.5+620014: cataclysmic variable: dwarf nova: negative superhumps*

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.Warner*, Cataclysmic Variable Stars, Cambridge University Press, 1995.
2. *J.K.Cannizzo*, Astrophys. J., **419**, 318, 1993.
3. *Y.Osaki*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **108**, 39, 1996.
4. *J.-P.Lasota*, NewAR, **45**, 449, 2001.
5. *N.Fogt*, Astron. Astrophys., **36**, 369, 1982.

6. *B.Warner*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **170**, 219, 1975.
7. *D.V.Bisikalo, A.A.Boyarchuk, V.M.Chechetkin et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **300**, 39, 1998.
8. *R.Whitehurst*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **232**, 35, 1988.
9. *D.O'Donoghue*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **246**, 29, 1990.
10. *M.Hirose, Y.Osaki*, PASJ, **42**, 135, 1990.
11. *T.Kato, A.Imada, M.Uemura et al.*, PASJ, **61**, 395, 2009.
12. *S.H.Lubow*, Astrophys. J., **401**, 317, 1992.
13. *J.R.Murray*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **314**, L1, 2000.
14. *T.Kato, Y.Osaki*, PASJ, **65**, 115, 2013.
15. *C.Hellier*, Cataclysmic Variable Stars, Springer, 2001.
16. *M.M.Montgomery, E.L.Martin*, Astrophys. J., **722**, 989, 2010.
17. *M.Montgomery, D.V.Bisikalo*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **405**, 1397, 2010.
18. *Y.Osaki, T.Kato*, PASJ, **65**, 50, 2013.
19. *J.Smak*, Acta Astron., **59**, 419, 2009.
20. *E.Pavlenko, D.Samsonov, O.Antonyuk et al.*, Astrophysics, **55**, 49, 2012.
21. *N.Pit, E.Pavlenko, K.Antoniuk et al.*, RAA, 2020, in press.
22. *A.Sosnovskij, E.Pavlenko, N.Pit et al.*, Inf. Bull. Var. Stars, **6216**, 1, 2017.
23. *P.Balanutsa, D.Denisenko, E.Gorbovskey et al.*, ArXiv, **1307.7396**, 2013.
24. *T.Kato, K.Isogai, F.-J.Hambsch et al.*, PASJ, **69**, 75, 2017.
25. *J.Pelt*, Frequency analysis of astronomical time series, Valgus, 1980.
26. *E.P.Pavlenko, A.A.Sosnovskij, N.A.Katysheva et al.*, Astrophysics, **59**, 304, 2016.
27. *T.Kato, Y.Osaki*, PASJ, **65**, L13, 2013.
28. *T.Ohshima*, PASJ, **66**, 67, 2014.
29. *Y.Osaki, T.Kato*, PASJ, **66**, 15, 2014.
30. *J.Patterson*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **110**, 1132, 1998.
31. *E.Armstrong, J.Patterson, E.Michelsen et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **435**, 707, 2013.
32. *R.Cornelisse, M.M.Kotze, J.Casares et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **436**, 910, 2013.
33. *V.P.Kozhevnikov*, New Astron., **41**, 59, 2015.
34. *A.Olech, A.Rutkowski, A.Schwarzenberg-Czerny*, Acta Astron., **57**, 331, 2007.
35. *M.A.Wood, M.D.Still, S.B.Howell et al.*, Astrophys. J., **741**, 105, 2011.
36. *J.Smak*, Acta Astron., **69**, 79, 2019.
37. *G.V.Ramsay, M.A.Wood, J.K.Cannizzo et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **469**, 950, 2017.
38. *A.Retter, Y.Chou, T.R.Bedding et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **330**, L37, 2002.
39. *A.Sklyanov, E.Pavlenko, O.Antonyuk et al.*, Astrophysics, **61**, 64, 2018.
40. *A.Imada, K.Isogai, K.Yanagisawa et al.*, PASJ, **70**, 79, 2018.
41. *A.Imada, K.Isogai, T.Raki et al.*, PASJ, **70**, 2, 2018.
42. *M.Isogai, A.Arai, A.Yonehara et al.*, PASJ, **67**, 1, 7, 2015.
43. *V.N.Neustroev et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **467**, 597, 2017.
44. *J.A.Smith et al.*, Astron. J., **123**, 2121, 2002.
45. *R.Matsui et al.*, PASJ, **61**, 1081, 2009.
46. *S.Y.Shugarov, N.A.Katysheva, D.Chochol et al.*, Astrophys. Space Sci, **363**, 100, 2018.

