АСТРОФИЗИКА

ТОМ 43 НОЯБРЬ, 2000 ВЫПУСК 4

УДК: 524.337:520.82

ПЗС - ФОТОМЕТРИЯ КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ SW URSAE MAJORIS НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ СВЕРХВСПЫШКИ 2000г.

Е.П.ПАВЛЕНКО[1], С.Ю.ШУГАРОВ[2], Н.А.КАТЫШЕВА[2]

Поступила 12 мая 2000
Принята к печати 21 июля 2000

ПЗС - фотометрия катаклизмической переменной SW UMa во время угасания последней (февраль - апрель 2000г.) сверхвспышки была проведена нами в Крымской астрофизической обсерватории, Крымской лаборатории ГАИШ и в студенческой обсерватории в Москве на Воробьевых горах (ГАИШ, МГУ). Получена подробная картина поздней эволюции сверхгорбов, анализ которой дал величину периода "поздних" сверхгорбов 0.1197 суток и позволил сделать вывод об увеличении их периода с течением сверхвспышки. Такое поведение сверхгорбов воспроизводится от одной сверхвспышки к другой и происходит с одинаковой скоростью. Наши наблюдения также не противоречат существованию 15.9 - мин колебаний, по крайней мере в течение нескольких циклов.

1. *Введение*. Переменность звезды SW UMa была открыта еще в 1909г. Церасской [1]. Позже Паренаго [2] из анализа 57 пластинок Московской обсерватории 1906-1937гг. пришел к выводу, что звезда принадлежит к редкому тогда классу звезд типа U Geminorum. Последние исследования показали, что диапазон изменения ее яркости составляет 9.7-17.0 зв. величин в фильтре *V*.

Этот класс еще называют карликовыми новыми, которые представляют собой тесные двойные системы, где маломассивная звезда позднего спектрального класса, заполняющая свою полость Роша, вращается вокруг более массивного белого карлика [3,4]. Эта звезда, называемая вторичным компонентом системы, теряет свое вещество через внутреннюю точку Лагранжа, которое, прежде чем попасть на белый карлик, образует вокруг него аккреционный диск. Газовая струя, ударяя в диск, образует на нем горячее пятно. Если белый карлик обладает магнитным полем порядка (7-8) МГаусс, то оно препятствует образованию диска и вещество струи выпадает на полюса белого карлика. Такие объекты называются полярами. В промежуточном случае, когда магнитное поле имеет величину (0.1-4) МГаусс, может наблюдаться и та и другая аккреция, а тесные двойные, содержащие такой белый карлик, называются промежуточными полярами. Период вращения белого карлика обычно много меньше орбитального периода системы.

Как и классические новые звезды, карликовые новые также вспыхивают, однако амплитуда их вспышек в целом ниже, чем у классических новых и составляет 2 - 6 зв. вел., а частота вспышек - выше: от нескольких недель до 300 дней [3]. Если вспышка классической новой вызвана взрывом во внешних слоях белого карлика, то вспышка карликовой новой - аккреционными процессами в диске. Вообще же аккреционные диски карликовых новых и в низком состоянии яркости вносят основной вклад в изучение системы в видимом диапазоне.

К какому точно классу взрывных переменных относится SW UMa, пока неизвестно.

С одной стороны, она обладает чертами звезд типа SU UMa, для которых характерны два вида вспышек: обычные, более частые, и, так называемые сверхвспышки, которые на 0.5-1.0 зв. вел. ярче, длятся дольше, воспроизводятся реже. Во время сверхвспышек у звезд типа SU UMa наблюдается модуляция блеска - так называемые сверхгорбы, или суперхампы, которые на несколько минут больше орбитального периода. Согласно современным представлениям [5,6], в результате приливной нестабильности в тесных двойных с отношением масс компонентов $q < 0.25$ ($q = M_2 / M_1$, где M_1 - масса белого карлика, а M_2 - вторичного компонента системы), аккреционный диск во время сверхвспышки становится эллиптичным и начинает медленно процессировать. Сверхгорбы возникают в результате периодических приливных сотрясений диска, вызываемых вторичным компонентом. Их период $P_{свг}$ связан с орбитальным периодом $P_{орб}$ и периодом прецессии $P_{пр}$ соотношением $P_{пр}^{-1} = P_{орб}^{-1} - P_{свг}^{-1}$.

Для SW UMa эти периоды составляют: $P_{орб} = 81.8$ мин [7,8] (минимальное состояние блеска) и $P_{свг} = 83.8$ мин [9](по сверхвспышке 1986г.). У SW UMa такие явления случаются примерно каждые 950 дней, когда яркость звезды увеличивается на 6.6 зв. вел. и длятся около двух недель [10]. Обычные вспышки происходят примерно через 14 дней. Хоуэлл и др. [11] полагают, однако, что у SW UMa бывает также и третий - "промежуточный" тип вспышек, подобный сверхвспышкам, но на 1-1.5 зв. вел. слабее и более короткий по продолжительности. Период же между сверхвспышками они считают равным примерно 1500 дням, а между "промежуточными" - 200-600 дням. Период между вспышками в 523 дня (от 366 до 804 дней) был обнаружен также по 711 Зоннебергским пластинкам (1928-1982гг.) Рихтером [12] и Венцелем и Рихтером [13].

В процессе развития сверхвспышки период сверхгорбов, как правило, уменьшается. Этот факт связывают с уменьшением аккреционного диска по мере развития сверхвспышки или с распространением эксцентрических возмущений во внутренние части диска [14]. У SW UMa (также как у других звезд типа SU UMa: Al Com, V1028 Cyg, T Leo и HV Vir),

наоборот, период сверхгорбов во время сверхвспышки увеличивается.

С другой стороны, SW UMa - рентгеновский объект [8,9,15]. В отдельные ночи Шафтер и др. [8] и Робинсон и др. [9] обнаружили у звезды колебания рентгеновского и оптического потока с периодом 15.9 мин и предположили, что это связано с периодом вращения белого карлика, а SW UMa может быть промежуточным поляром. Однако Розен и др. [15] не подтвердили их результат. Других свидетельств замагниченности белого карлика у этой звезды до сих пор не найдено, поэтому природа объекта остается неизвестной. Так, в каталоге [16] она отнесена к возможным промежуточным полярам. Одна из последних интерпретаций - что 16- минутные осцилляции являются пульсациями белого карлика (типа ZZ Ceti) [17].

Измеренное расстояние до SW UMa составляет примерно 140 пк [16].

Во время сверхвспышки 1992г. Като и др. [18] открыли квазипериодические осцилляции (QPOs) с периодом 6 мин с огромной амплитудой до $0.^{m}2$ зв. вел., в сверхспышке 1996г. подобные QPOs не наблюдались [10]. После сообщения об очередной сверхвспышке этой звезды, произошедшей весной 2000г. (начало вспышки 12 февраля), была предпринята международная многодолготная компания по фотометрическому исследованию этой системы, в которой мы также приняли участие. Ниже представлены результаты и анализ только наших наблюдений, которые были начаты нами на нисходящей ветви сверхвспышки и закончены, когда звезда достигла своего минимального блеска.

2. *Наблюдения.* Наблюдения SW UMa проводились нами с 29 февраля по 10 апреля 2000г. в Крымской астрофизической обсерватории на телескопе К-38 и на телескопе Цейсс-600 Крымской лаборатории ГАИШ, на которых в качестве светоприемника использовалась ПЗС SBIG ST7, а также на рефракторе Цейсс-300 студенческой обсерватории ГАИШ в Москве на Воробьевых горах с помощью ПЗС-камеры ST-6. Температура ПЗС камер во время наблюдений поддерживалась около -20°С. Большинство наблюдений выполнено в инструментальной фотометрической полосе *r*. Несколько измерений блеска получено также в системах *v* и *i*. Далее результаты были пересчитаны в величины *VRI* Джонсона. Привязка осуществлялась к стандартным звездам № 954 и 955 из работы [19]. Сводка наблюдений дана в табл.1, где приведены дата, интервал наблюдений, количество кадров, время экспозиции и телескоп. Всего за 13 ночей было получено 794 измерения блеска переменной и звезды сравнения, что в сумме составило более 40 часов мониторинга.

Карта окрестностей, включающая переменную и звезду сравнения, приведена в каталогах [16 и 20]. Отметим, что в [16, часть II] на с. 219 для звезды SW UMa вместо $\alpha = 10^{h}36^{m}$... следует читать $8^{h}36^{m}$... Наша звезда сравнения (N10 в соответствии с обозначениями, данными в этих каталогах)

находилась в 90 секундах к востоку (по α) и 42 секундах к северу (по δ) от переменной, а контрольная (N15) - в 119 секундах к востоку и 12 секундах к югу. Измеренные нами и Мисслет в [21] величины звезды сравнения даны ниже. Различие для системы *R* объясняется тем, что Мисслет дает привязку к фотометрической системе *R* Кузинса (R_c), мы же приводим наблюдения к системе Джонсона (*R*).

Мисслет приводит: $B = 15.04$; $V = 13.506$; $R_c = 12.608$. Наше определение: $V = 13.48$; $R = 12.35$; $I = 11.40$.

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ SW UMa

Дата	HJD	*N*	Эксп. (с)	Телескоп
29.02	51604.4067 - .5315	57	120	30 см, Москва
2.03	51606.2799 - .4037	64	100	38 см, КрАО
3.03	51607.2581 - .2755	7	120	30 см, Москва
4.03	51608.2833 - .4447	98	120	38 см, КрАО
5.03	51609.3107 - .5321	79	120	38 см, Москва
6.03	51610.3616 - .4446	43	120	38 см, Москва
8.03	51612.3011 - .4174	67	100	38 см, КрАО
9.03	51613.2384 - .2676	17	120	38 см, КрАО
10.03	51614.4032 - .5554	56	120	30 см, Москва
11.03	51615.2161 - .3610	66	120	38 см, КрАО
13.03	51617.3951 - .5129	62	150	38 см, Москва
14.03	51618.2271 - .4579	99	180	38 см, КрАО
15.03	51619.2231 - .4461	79	180	38 см, КрАО
23.03	51627.4913 - .5147	9	60	60 см, ГАИШ
27.03	51631.2769	1	120	60 см, ГАИШ
6.04	51641.3411	1	60	60 см, ГАИШ
10.04	51645.3125	1	90	60 см, ГАИШ

3. *Обработка изображений*. Обработка изображений проводилась по программе апертурной фотометрии, любезно предоставленной В.П.Горанским (ГАИШ). После процедуры исправления изображений за плоское поле (которое мы получали, как правило, по сумеречному безоблачному небу), измерялась яркость переменной звезды и звезды сравнения внутри диафрагмы, размер которой составлял 8-15" в зависимости от качества изображения и яркости объектов в кадре. Для контроля точности наблюдений в некоторых случаях измерялась также контрольная звезда.

Оценку точности измерений слабых звезд мы получали как среднеквадратичное (стандартное) отклонение для ряда разностей между контрольной звездой (15^m) и звездой сравнения (12^m) и ("дифференциальная" фотометрия). Звезда сравнения была самым ярким объектом в поле зрения и для нее точность вычислялась "абсолютным" способом. Чтобы свести к минимуму вклад прозрачности атмосферы и изменений воздушной массы в разброс измерений яркости, мы выбирали по 10-15 наблюдений этой звезды

для каждой безоблачной ночи во время прохождения наблюдаемой области через зенит. Вычисленная точность являлась, таким образом, нижним пределом точности измерений яркой звезды.

Согласно полученным нами данным, характерная точность одного измерения звезды 15-й зв. вел. на телескопе К-38 в полосе *R* составляла 0ᵐ.03 за 100 с экспозиции, а 12-й - 0ᵐ.01. Самая высокая точность достигалась в ночи с наилучшим качеством изображений (около 2"): 0ᵐ.005 для 12-й величины за 100 с. Точность одного наблюдения на 30-см телескопе в условиях Москвы из-за сильной городской подсветки неба была хуже в 2-3 раза.

По нашим измерениям, за время наблюдений разность блеска контрольной и стандартной звезды не превышала 0ᵐ.02, что свидетельствует о постоянстве блеска обеих звезд на нашем интервале наблюдений.

4. *Сверхвспышка*. Кривая блеска сверхвспышки приведена на рис.1. Она построена по данным VSNET и нашим наблюдениям. На основании анализа кривой можно детально описать все фазы развития сверхвспышки. Менее чем за сутки блеск звезды возрос на 6ᵐ, достигнув 10ᵐ.5 в шкале визуальных зв. вел. Максимальный блеск держался около двух суток, после чего SW UMa еще 12 суток пребывала на плато вспышки, ослабевая со скоростью 0ᵐ.14 в сутки. Фаза медленного ослабевания сменилась стремительным падением блеска со скоростью 1ᵐ в сутки - этот процесс длился всего два дня. Такое поведение характерно практически для всех звезд со сверхвспышками, и в литературе часто состояние звезды после стремительного ослабления на несколько зв. вел. уже называют низким, или неактивным состоянием, подчеркивая тем самым, что вспышка уже закончилась. Однако мы видим, что после указанного ослабления на 2ᵐ SW UMa продолжала ослабевать с почти такой же скоростью, как и

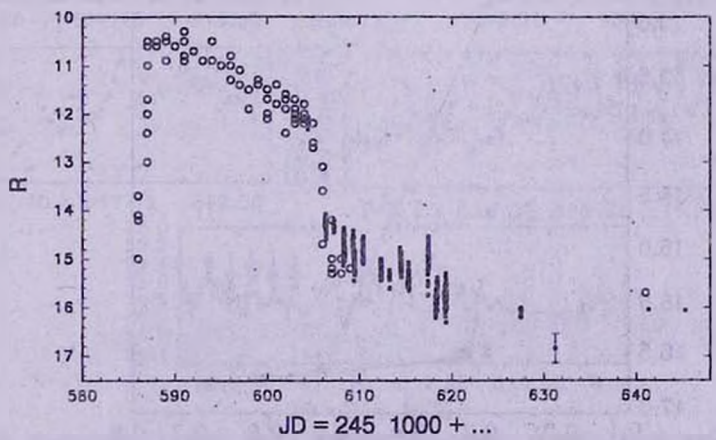

Рис.1. Кривая блеска сверхвспышки SW UMa. Открытыми кружками обозначены данные, взятые из всемирной сети наблюдателей переменных звезд (VSNET), заполненными кружками показаны наши данные.

находясь на плато вспышки (в среднем 0".14 в сутки). Это состояние мы бы назвали поздней стадией сверхвспышки. Ослабление яркости во время поздней стадии не было монотонным: в дату JD...617 было зарегистрировано кратковременное увеличение блеска почти на одну звездную величину, длившееся по крайней мере несколько часов, после чего звезда вернулась к предыдущему уровню яркости, который она имела до поярчания и продолжала ослабевать в прежнем темпе. Как показывают наши одиночные оценки, в минимуме звезда ослабела до величины R=16".5. Похоже, это уже "истинное" низкое состояние: Шафтер и др. [8] получили, что в 1983г. блеск SW UMa в низком состоянии колебался в полосе R от 16".5 до 17".

В целом нынешняя сверхвспышка длилась около 40 суток.

В табл.2 собраны все доступные нам многоцветные измерения SW UMa,

Таблица 2

ДАННЫЕ МНОГОЦВЕТНОЙ ФОТОМЕТРИИ SW UMa

Дата	*U*	*B*	*V*	*R*	*I*	*J*	*K*	Ссылка
Май 1981	15.82	16.92	16.50	-	-	14.0	13.0	[23]
49413.76	-	15.69	15.56	15.22	-	-	-	Мисслет
51604.54	-	-	12.42	12.15	-	-	-	наши измерения
51627.51	-	-	16.55	16.02	-	-	-	-"-
51641.34	-	-	16.66	16.04	-	-	-	-"-
51645.31	-	-	16.39	16.06	15.48	-	-	-"-

включая и наши. На рис.2 представлено изменение показателя цвета $V-R$ от V по мере угасания сверхвспышки, полученное по нашим данным. Точки на графике соединены в хронологическом порядке. Хорошо видно, что ослабление

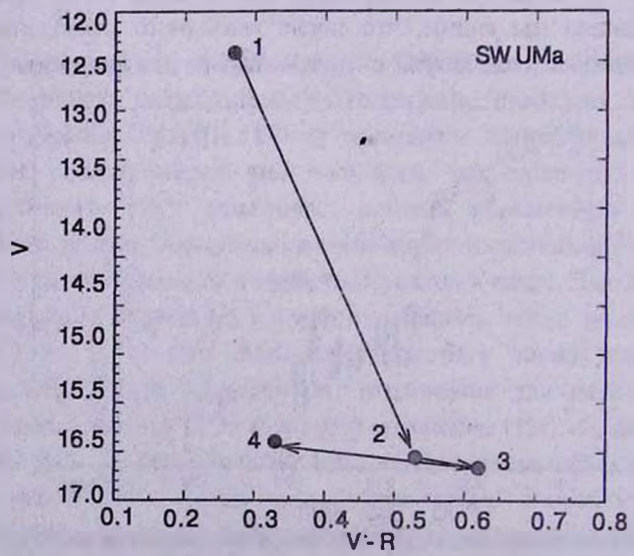

Рис.2. Изменение показателя цвета $V-R$ с изменением блеска V.Точки, полученные последовательно во времени, соединены линией. Хронология изменений указана стрелкой.

блеска сопровождается покраснением системы, а уже в низком состоянии показатель цвета начинает уменьшаться. По всей видимости, данные цветовые изменения SW UMa указывают на то, что мы заметили часть петли, которую описывают показатели цвета карликовых новых в цикле вспышка - низкое состояние - вспышка [22].

5. *Поздняя эволюция сверхгорбов*. Наиболее продолжительные ряды наблюдений в течение ночи показаны на рис.3. Видно, что во время наших наблюдений по мере угасания сверхвспышки "классические" сверхгорбы уже, очевидно, разрушились, и наблюдаемая картина представляла сложную

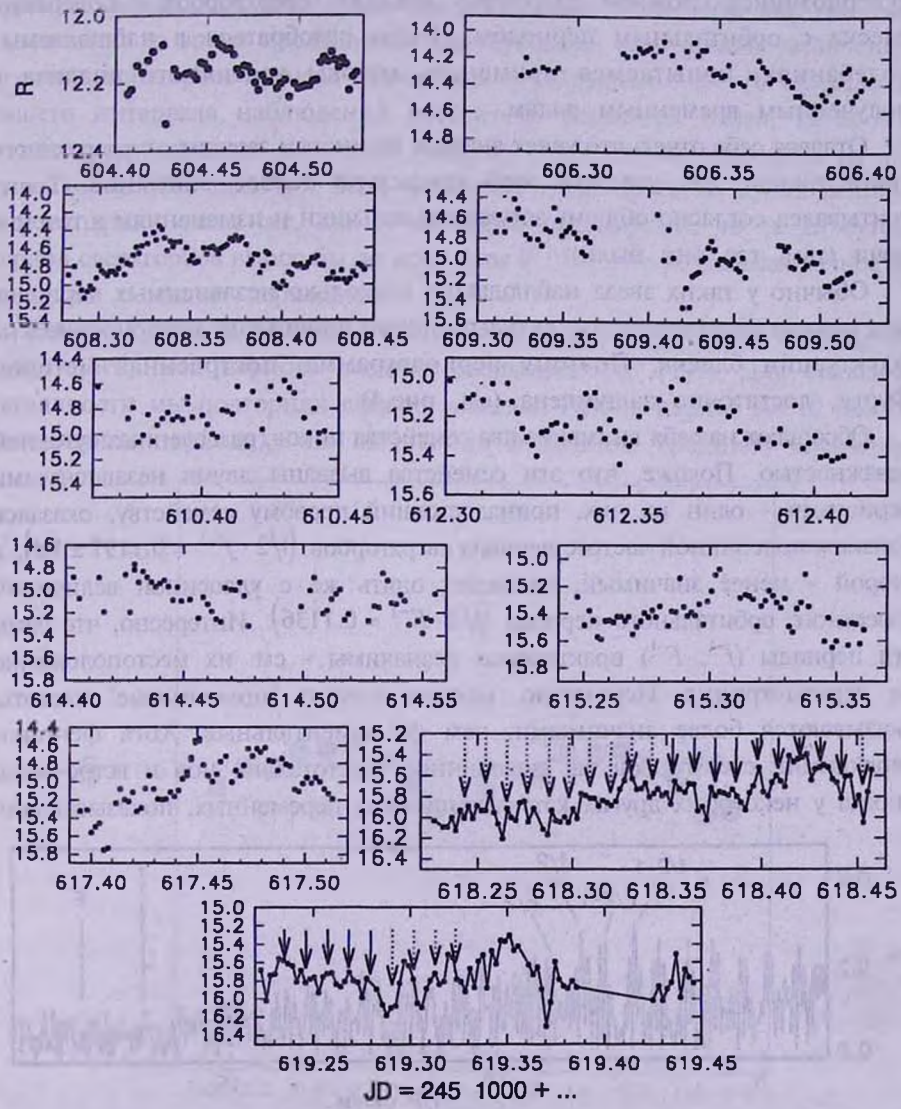

Рис.3. Изменения блеска SW в течение отдельных ночей. Приведены наиболее продолжительные ряды наблюдений. Для двух последних ночей стрелочками отмечены моменты времени, отстоящие через 15.9 мин.

структуру колебаний. Для всех без исключения ночей видна модуляция блеска с характерным временем либо около $0^d.06$ (например, JD ...618, 619), либо с вдвое большим (JD ...606, 615, 617), а иногда - и с вдвое меньшим (JD ...612). В дату JD ...612 наблюдался одновременно набор указанных периодов. Амплитуда изменений блеска колебалась от нескольких сотых до почти $0^m.4$. Иногда дополнительно к указанным колебаниям наблюдался и более долгопериодический тренд: так, в одну из ночей (JD ...618) за 5 часов наблюдений звезда поярчала на $0^m.4$.

Можно предположить, что такое поведение SW UMa вызвано суперпозицией сложной структуры "поздних" сверхгорбов и колебаний блеска с орбитальным периодом. Чтобы разобраться в наблюдаемых колебаниях, попытаемся применить методы частичного анализа к полученным временным рядам.

Отдавая себе отчет, что успех анализа во многом зависит от корректного учета тренда, мы уделили этой процедуре особое внимание. Тренд учитывался согласно общему затуханию вспышки и изменениям в течение ночи (там, где они были).

Обычно у таких звезд наблюдается несколько независимых периодов или циклов переменной амплитуды, а также происходят непериодические флуктуации блеска. Поэтому периодограмма, построенная методом Фурье, достаточно зашумлена (см. рис.4).

Обращают на себя внимание два семейства пиков, разделенных суточной скважностью. Похоже, что эти семейства вызваны двумя независимыми периодами - один из них, принадлежащий первому семейству, оказался близким половинной частоте периода сверхгорбов $\left(1/2 \cdot f^{-1} = 0.1197 \pm 1d\right)$, а второй - менее значимый, совпадает опять же с удвоенной величиной известного орбитального периода $\left(1/2 \cdot F^{-1} = 0.1136\right)$. Интересно, что сами эти периоды (f^{-1}, F^{-1}) практически незначимы - см. их местоположение на периодограмме. Непонятно, однако, почему "половинные" частоты оказываются более значимыми, чем фундаментальные. Хотя феномен наблюдений сверхгорбов на "половинных" частотах не нов и встречается иногда у некоторых других катаклизмических переменных, показывающих

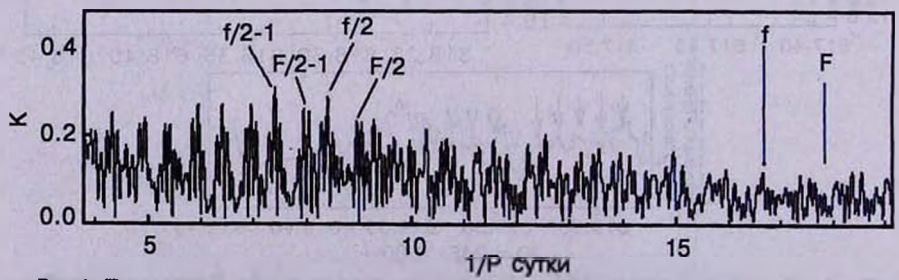

Рис.4. Периодограмма, построенная методом Фурье в интервале JD 2451606-620, тренд снят. Обозначения на рисунке: F и f - частоты и их гармоники, соответствующие орбитальному периоду, и периоду суперхампов.

сверхгорбы - об этом упомянули Гарвей и др. [24]. Объяснений такому явлению пока нет.

Отметим, что для всех пиков на периодограмме наблюдается также более тонкое расщепление, для которого разность частот соседних компонентов равна $0.1d^{-1}$. Это связано с важностью наблюдений: в спектре "спектрального окна" кроме характерных частот в 1 и $2d^{-1}$ проявляется также и указанная выше величина.

Обратимся опять к частоте $2f$. Период, соответствующий частоте f, равен $0^d.05985$. Это несколько больше известной величины (среднего) периода сверхгорбов ($0^d.05818$). Однако Ногами и др. [10], как мы уже упоминали, во время предыдущей сверхвспышки обнаружили увеличение периода сверхгорбов по мере их развития со скоростью $=5.1\cdot10^{-6}$. Середина нашего интервала наблюдений отстоит от середины плато, которому соответствует средняя величина периода сверхгорбов, примерно на 20 суток (около 300 циклов). Если поведение сверхгорбов во время данной сверхвспышки такое же, как и во время предыдущей, то за 20 суток период сверхгорбов вырос бы до величины $0^d.0597$, что в пределах точности совпадает с нашим периодом.

На рис.5 приведена свертка данных после вычета тренда с величиной найденного нами периода поздних сверхгорбов ($0^d.1197$). Для большей наглядности мы повторили свертку дважды. Разбив период на 10 бинов (интервалов периода), мы вычислили в каждом среднюю величину

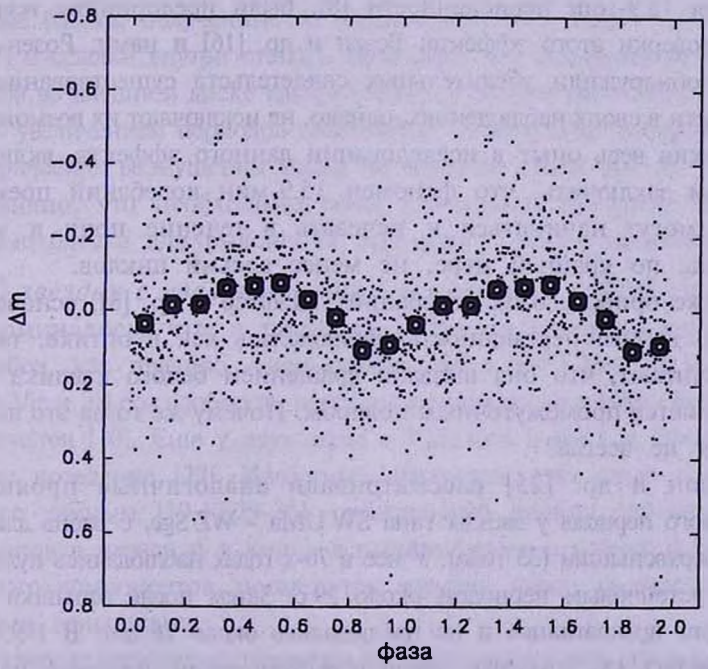

Рис.5. Свертка данных SW UMa с периодом "поздних" сверхгорбов 0.1179 дней. Открытыми кружками дана средняя кривая блеска. Ошибка среднего не превышает размер кружка.

блеска и также нанесли на график. Видно, что средняя амплитуда данного сигнала составила 0".2.

6. *Быстрая переменность*. Мы также проанализировали наши данные на предмет существования 15.9-мин периодичности, о которой упоминали выше. Для этого были отобраны только две самые продолжительные ночи, максимально приближенные к низкому состоянию яркости (в котором и были впервые открыты эти колебания). Просматривая кривые, можно заметить сищественование короткопериодической переменности блеска с искомым характерным временем, однако не на всем протяжении кривых, а только на определенных их участках. Например, в ночь JD ...618 характер быстрой переменности согласуется с 15.9-мин колебаниями, начиная где-то с середины ряда на протяжении 8 циклов, а для даты JD ...619 пожожие колебания наблюдались в начале ночного ряда наблюдений и существовали на протяжении всего 4 циклов. На рис.4 колебания, неплохо согласующиеся с 15.9-мин периодом, отмечены сплошными стрелочками, а плохо или совсем не согласующиеся - пунктирными. Амплитуда этих колебаний составляет 0".2-0".3. Отметим, что такую же амплитуду в полосе *R* наблюдали Шафтер и др. [8]. Кстати, максимальная продолжительность ряда наблюдений в течение ночи у них как раз была около восьми 15.9-мин циклов, поэтому трудно заключить, сколь устойчивы эти колебания.

7. *Обсуждение: загадка 15.9-мин колебаний*. Итак, после обнаружения 15.9-мин периодичности [8], были предприняты всего две попытки проверки этого эффекта: Розен и др. [16] и нами. Розен и др., хотя и не обнаружили убедительных свидетельств существования этой периодичности в своих наблюдениях, однако, не исключают их возможности.

Подытожив весь опыт в исследовании данного эффекта, включая и наш, можем заключить, что феномен 15.9-мин колебаний преходящ, колебания могут начинаться и исчезать в течение ночи и иногда существовать, по крайней мере, не менее восьми циклов.

Какова же природа этих колебаний? Шафтер и др. [8], основываясь на том, что данная переменность наблюдалась как в оптике, так и в рентгене, считают, что она вызвана вращением белого карлика и что SW UMa является промежуточным поляром. Почему же тогда это явление наблюдается не всегда?

Паттерсон и др. [25] рассматривали аналогичные проявления пульсационного периода у звезды типа SW UMa - WZ Sge, с очень длинным периодом сверхвспышки (33 года). У нее в 70-х годах наблюдались пульсации с довольно устойчивым периодом около 29 с. Затем после вспышки 1978г. эти пульсации прекратились и не наблюдались около 16 лет. В 1995г. они вновь проявились как в оптике, так и в рентгеновском диапазоне (спутник ASCA). Анализировались два предположения о возникновении данного периода

- нерадиальные пульсации белого карлика (типа ZZ Ceti) и его вращение. Авторы склоняются к версии, что все-таки WZ Sge имеет слабое магнитное поле ~ $(1-5)\cdot 10^4$G и полагают, что отсутствие пульсаций во время вспышки и после нее связано именно с незначительностью магнитного поля и быстрым вращением белого карлика, когда магнитное поле не может удержать большой поток вещества в канале аккреции. Возможно, что подобное происходит и в случае SW UMa: белый карлик обладает слабым магнитным полем, которое во время сверхвспышки подавляется веществом диска, а в минимальном состоянии блеска, когда аккреция стабилизируется, появляется возможность для аккрецирующего вещества падать на магнитные полюса. При этом пульсации могут начаться через достаточно большое время после вспышки. Так, для WZ Sge прошла половина периода сверхвспышки (16 лет) перед обнаружением вновь короткопериодических пульсаций.

Есть и третья возможность. Не могут ли данные колебания представлять собой также некие квазипериодические колебания блеска с преимущественной частотой, воспроизводящейся от года к году - как это наблюдается, например, у новоподобной MV Lyr с появлением 20 и 48-мин колебаний, которые связываются с неустойчивыми процессами в аккреционном диске [26,27]? Для SW UMa периоду 15.9 мин соответствует кепплеровская орбита с радиусом $0.34a$, где a - расстояние между компонентами. Еси эта переменность связана с неустойчивостью в диске, то она локализована во внешних его частях, так как имеющиеся оценки размеров аккреционных дисков в минимуме блеска, полученные из наблюдений, составляют $0.22-0.35a$ (см. [28], [27] и ссылки внутри статьи). Возможно, что появление неустойчивых процессов во внешнем диске как-то связано с другим необычным свойством звезды - увеличением периодов сверхгорбов со временем (распространением эксцентрических возмущений также во внешние части диска).

Очевидно, что необходимо более длительное изучение SW UMa в минимуме блеска для выяснения природы 15.9-мин колебаний.

8. *О звездах с увеличивающимся периодом суперхампов*. Ранее уже упоминалось, что в процессе развития сверхвспышки период сверхгорбов, как правило, уменьшается. Но у SW UMa, AL Com, V1028 Cyg, HV Vir и T Leo, наоборот, период сверхгорбов во время сверхвспышки увеличивается [10]. Еще у двух звезд - V436 Cen и OY Car предполагается такое же поведение [29]. Известные параметры этих звезд приведены в табл.3 по данным [10,17,29-35]: орбитальный период, средний период суперхампов в начале и в конце вспышки, масса и радиус первичного и вторичного компонентов, промежуток времени между сверхвспышками и обычными вспышками.

Отклонение периодов суперхампов от орбитальных у всех вышеприведенных звезд очень мало - всего 0.09-1.02%.

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ЗВЕЗД С ВОЗРАСТАЮЩИМИ ПЕРИОДАМИ СВЕРХГОРБОВ

Объект	*P* орб	*P* свг	*M*1	*R*1	*M*2	*R*2	*T*	*t*
SW UMa	0.05681	0.05818 0.05985	0.7	0.014	0.10	0.14	950	14
AL Com	0.05666	0.05729 0.05735	-	0.004	-	-	7300	325
V1028 Cyg	0.0607*	0.06154 0.06181	-	-	-	-	1000	-
HV Vir	0.05799	0.05833 0.05865	-	-	-	-	3500	-
T Leo	0.05882	0.06025	0.6	0.01	0.02	-	-	450
V436 Cen	0.06250	0.06379	-	-	-	-	-	-
OY Car	0.06312	0.06454	0.68	-	-	-	346	25-50

Что можно сказать об этих звездах.

1. Их периоды очень малы (81-91мин), т.е. все они находятся на краю распределения периодов звезд, в то же время у них достаточно длинные промежутки между сверхвспышками. Возможно, что они принадлежат подтипу звезд типа WZ Sge. Относительно AL Com это обсуждалось в работах [30-32].

2. Принадлежность к промежуточным полярам: у AL Com наблюдается период 42 мин с амплитудой 0.1-0.25 зв. вел. Через год после сверхвспышки 1995г., как отмечают [30], были найдены периоды от 12 до 50 мин, что позволило делать предположение о магнитной природе объекта [30-32].

У SW UMa иногда наблюдается период 15.9 мин с амплитудой 0.2-0.3 зв. вел. [8,9, наст. статья].

Паттерсон и др. [25] отмечают, что также сама WZ Sge может являться промежуточным поляром, несмотря на исчезновение периода вращения белого карлика во время сверхвспышки и в течение длительного срока (16 лет) после нее.

9. *Заключение*. Детальный мониторинг угасания сверхвспышки катаклизмической переменной SW UMa, проведенный нами в феврале-апреле 2000г., позволил выявить особенности поздней стадии эволюции сверхгорбов - их сложную форму и переменную амплитуду. Кроме того, эффект сверхгорбов оказывается более значителен на половинной частоте, соответствующей 0.1197 дням. Поведение сверхгорбов согласуется с картиной увеличивающегося периода сверхгорбов по мере угасания сверхвспышки, с той же скоростью, которая была найдена для предыдущего события. Найденное нами фотометрическое поведение звезды является скорее типичным для звезд типа SU UMa, нежели для промежуточных поляров, а наличие рентгеновского излучения встречается у обеих групп звезд.

Авторы выражают искреннюю признательность В.П.Горанскому за предоставление программы обработки ПЗС-изображений, С.Н.Фабрике за обсуждение проблемы звезд типа ZZ Ceti и Д.Ю.Цветкову за помощь в наблюдениях. Данная работа была частично поддержана грантами РФФИ 00-15-96553 (Ведущие научные школы), 99-02-17589а и 00-02-16471 (Инициативные проекты).

[1]Крымская астрофизическая обсерватория, Украина
[2]Государственный астрономический институт им. Штернберга,Россия

CCD PHOTOMETRY OF THE CATACLYSMIC VARIABLE SW URSAE MAJORIS DURING THE LATE DECLINE OF 2000 SUPEROUTBURST

E.P.PAVLENKO, S.Yu.SHUGAROV, N.A.KATYSHEVA

CCD photometry of the cataclysmic variable SW UMa has been carried out in the Crimean Astrophysical Observatory, Crimean Laboratory of the Sternberg Astronomical Institute and in Moscow during the 2000 superoutburst (February-April). The detail analysis of the old superhumps evolution gave the late superhump period 0.1197 days. We conclude that the superhump period increases during the course of every superoutburst with the same rate. Our data which are obtained at the low brightness stage are consistent with the 15.9-min light modulation at least over several cycles.

ЛИТЕРАТУРА

1. *L.P.Ceraski*, Astron. Nachr., **183**, 110, 1909.
2. *P.Parenago*, Перем. зв., **5**, 217, 1938.
3. *M.Hack*, *C. la Dous.*, Cataclysmic variables and related objects, NASA, 1993.
4. *S.Yu.Shugarov*, Eruptivnie zvezdy (Eruptive Stars), Masevich, A.G., Ed., MID RF, 1996.
5. *R.Whitehurst*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **232**, 35, 1988.
6. *M.Hirose*, *Y.Osaki*, Publ. Astron. Soc. J., **42**, 135, 1990.
7. *A.W.Shafter*, IBVS, №2354, 1983.
8. *A.W.Shafter*, *P.Szkody*, *J.Thorstensen*, Astrophys. J., **308**, 765, 1986.

9. *E.L.Robinson, A.W.Shafter, J.A.Hill et al*, Astrophys. J., **313**, 772, 1987.
10. *D.Nogami, H.Baba, T.Kato, R.Novak*, PASJ, **50**, 297, 1998.
11. *O.S.B.Howell, P.Szkody, G.Sonneborn et al*, Astrophys. J., **453**, 454, 1995.
12. *G.A.Richter*, Astron. Nachr., **4**, 221, 1986.
13. *W.Wenzel, G.A.Richter*, Astron. Nachr., **3**, 209, 1986.
14. *Y.Osaki*, PASP, **108**, 39, 1996.
15. *S.R.Rosen, K.L.Clayton, J.P.Osborne, P.A.McGale*, Mon. Notic. Astron. Soc., **269**, 913, 1994.
16. *A.M.Cherepashchuk, N.A.Katysheva, T.S.Khruzina, S.Yu.Shugarov*, Highly Evolved Close Binary Stars: Catalog. Part I; Finding Charts. Part II. Ed. A.M.Cherepashchuk. Brussel: Gordon and Breach Science Publishers, 1996.
17. *B.Warner*, In: "13th North Americal Workshop on Cataclysmic Variables and Related Objects", eds. S.B.Howel, E.Kuulkers, C.Woodward. p.2., San Francisco: 1998.
18. *T.Kato, R.Hirata, S.Mineshige*, PASJ, **44**, L215, 1992.
19. *T.Persinger, M.W.Castelaz*, Astron. J., **100**, 1621, 1990.
20. *Т.С.Хрузина, С.Ю.Шугаров*, Атлас катаклизмических переменных. Звезды типа U Geminorum. ч.2, М., Изд-во МГУ, 1991.
21. *K.A.Misselt*, PASP, **108**, 146, 1996.
22. *G.Tovmassian, J.Echevarria, E.Perez et al*, Cataclysmic Variables and Related Objects, Proc. IAU Coll. №158, Evans, A. and Wood, J.H., Eds., Dordrecht: Kluver, 1996.
23. *M.R.Sherrington, R.F.Jameson*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **205**, 265, 1983.
24. *D.Harvey, D.S.Skillman, J.Kemp et al.*, Astrophys. J, Letters, in press.
25. *J.Patterson, H.R.Richman, J.Kemp*, PASP, **110**, 403, 1998.
26. *G.V.Borisov*, AAp, **261**, 154, 1992.
27. *Е.П.Павленко*, Астрон. ж., **75**, 231, 1998.
28. *И.Б.Волошина, Т.С.Хрузина*, Астрон. ж., **77**, 109, 2000.
29. *P.Szkody, D.W.Hoard, E.M.Sion et al*, Astrophys. J., **497**, 928, 1998.
30. *I.Semeniuk, A.Olech, T.Kwast, M.Nalezytt*, Acta Astron., **47**, 201, 1997.
31. *H.Baba, T.Kato, D.Nogami, R.Hirata*, PASJ, in press, 2000.
32. *D.Nogami, T.Kato, R.Hirata*, PASJ, **48**, 607, 1996.
33. K.: *T.Kato*, PASJ, **49**, 583, 1997.
34. *T.Kato, D.Nogami, H.Baba*, PASJ, **48**, L21, 1996.
35. *D.Nogami, T.Kato, H.Baba et al*, Astrophys. J., **490**, 840, 1997.