

ФОТОМЕТРИЯ КАРЛИКОВОЙ НОВОЙ V503 Cyg B 2010г. ОРБИТАЛЬНЫЙ И ДРУГИЕ ПЕРИОДЫ

Е.П.ПАВЛЕНКО¹, Д.А.САМСОНОВ¹, О.И.АНТОНЮК¹,
М.В.АНДРЕЕВ², А.В.БАКЛАНОВ¹, А.А.СОСНОВСКИЙ¹

Поступила 10 августа 2012

Принята к печати 12 сентября 2012

Фотометрические исследования карликовой новой V503 Cygni были проведены в течение 29 ночей в Крымской астрофизической обсерватории и в обсерватории Терскол в 2010г. Мы не обнаружили так называемых "отрицательных сверхгорбов", наблюдавшихся ранее в спокойном состоянии и в обычных (коротких) вспышках. Вместо этого в обычных вспышках, так же как и в сверхвспышке и некоторое время после ее окончания, мы зарегистрировали "положительные" сверхгорбы. В остальное время вне вспышек мы впервые обнаружили колебания блеска с орбитальным периодом 0.077760(3) сут., которые фотометрическим путем ранее не наблюдались.

Ключевые слова: *аккреция:аккреционные диски:карликовые новые: катаклизмические переменные*

1. *Введение.* Карликовые новые являются подклассом катаклизмических переменных - тесных двойных систем, находящихся на поздней стадии эволюции [2]. Они состоят из звезды позднего спектрального класса (звезды-донора), заполняющей свою полость Роша и теряющей вещество на первичный компонент системы - белый карлик, нейтронную звезду или черную дыру (звезду-аккретор). В немагнитных (дисковых) системах вещество, покидая звезду-донор, образует аккреционный диск вокруг звезды-аккретора. Аккреционный диск, будучи нейтральным и холодным в неактивном состоянии, по мере накопления в нем аккреционного вещества, в какой-то момент, вследствие достижения в нем критических условий, становится ионизованным и горячим, начинается его выпадение на белый карлик, сопровождаемое вспышкой [3,4].

Для звезд типа SU UMa характерна вспышечная активность двух типов: нормальные вспышки и сверхвспышки [2]. Нормальные вспышки имеют типичную продолжительность около 3-х суток, они менее яркие, чем сверхвспышки, продолжительность которых также больше (~10-14 сут.). Во время сверхвспышек регистрируются колебания блеска с периодом на несколько процентов больше орбитального периода - так называемые "положительные сверхгорбы", которые появляются вследствие апсидальной прецессии диска, запускаемой приливной нестабильностью в нем [5]. У

нескольких катаклизмических переменных были обнаружены колебания блеска с периодом, меньше орбитального. Они получили название "отрицательные сверхгорбы". Предполагается, что "отрицательные сверхгорбы" вызываются нодальной прецессией наклоненного диска [6-9]. Период как "положительных", так и "отрицательных" сверхгорбов P_{σ} связан с прецессионным $P_{пр}$ и орбитальным $P_{орб}$ периодами соотношением (1):

$$1/P_{пр} = 1/P_{орб} - 1/P_{\sigma} . \quad (1)$$

"Отрицательные" сверхгорбы регистрируются у всех типов катаклизмических переменных в неактивном состоянии, иногда - в нормальных вспышках. ER UMa - первая катаклизмическая переменная, у которой отрицательные сверхгорбы были зарегистрированы во время сверхвспышки [10,11].

Спектральные наблюдения в неактивном состоянии позволяют определить орбитальный период системы, однако фотометрическим путем обнаружить орбитальные колебания блеска удается не всегда.

V503 Cygni ($\alpha = 20^{\text{h}}27^{\text{m}}17^{\text{s}}.5$ и $\delta = 43^{\circ}41'22''$, 2000.0) является малоизученной катаклизмической переменной [12]. Спектральный класс звезды-донора - M6 [13]. Известно, что эта система относится к малочисленной подгруппе карликовых новых типа SU UMa, которая может изменять свою вспышечную активность: Харвей и др. [1] сообщили о "нечастых" вспышках, повторяющихся через ~30 сут. в течение 89-дневного интервала между сверхвспышками, а Като и др. [14], анализируя данные AAVSO, обнаружили, что в отдельные годы вспышечная активность системы радикальным образом усиливалась и нормальные вспышки повторялись каждые 7-9 сут. в течение практически неизменного по длительности сверхцикла (интервала между сверхвспышками). Во время сверхвспышки у звезды регистрировались "положительные" сверхгорбы с периодами 0.08101(4) сут. [1], 0.081767(45) сут. - 0.081022(18) сут. [15]. По спектральным наблюдениям в неактивном состоянии Харвей и др. [1] обнаружили орбитальный период 0.07771(28) сут., который фотометрически никак не проявлялся. В то же время авторы объявили об открытии в минимуме "отрицательных" сверхгорбов с периодом 0.07669(1) сут. Этот период (0.076 сут.) впервые был обнаружен Шкоди и др. [16] еще в 1988г., однако авторы ошибочно идентифицировали его как орбитальный период.

Целью нашей работы было изучение периодических процессов в системе V503 Cygni на разных фазах вспышечной активности, спустя 16 лет после исследований Харвея и др., в частности, выяснить, насколько стабильно явление "отрицательных" сверхгорбов в спокойном состоянии системы.

2. *Наблюдения.* Наблюдения V503 Cygni проводились в 2010г. в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) на телескопе системы Кассегрен с диаметром зеркала 380 мм, оснащенного ПЗС SBIG-ST7, а также в Терскольской обсерватории на телескопе Цейс-600 с помощью

ПЗС PixelVision.

Наблюдения охватили интервал времени с 20 июня по 14 ноября 2010г. Они проводились без применения светофильтров в течение 29 сут. Общее число измерений составило 3719 (около 107 часов наблюдений). Полученные нами наблюдения приведены в табл.1. В ней указана Юлианская дата начала и конца наблюдений для каждой ночи, число измерений и место проведения наблюдений.

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

Начало	Конец	N	Обсерв.	Начало	Конец	N	Обсерв.
JD2455000+...	JD2455000+...			JD2455000+...	JD2455000+...		
375.3725	375.3900	223	Терскол	455.2821	455.4730	126	КрАО
378.3676	378.5148	272	Терскол	457.2356	457.4211	113	КрАО
379.3249	379.4228	174	Терскол	482.2834	482.4294	85	КрАО
380.3233	380.5101	350	Терскол	484.2642	484.2921	14	КрАО
418.2832	418.5561	154	КрАО	486.2461	486.2849	12	КрАО
422.2857	422.4055	37	КрАО	500.2230	500.4040	206	КрАО
423.2924	423.5623	70	КрАО	501.1773	501.3285	51	КрАО
424.2847	424.5356	145	КрАО	502.1995	502.5673	46	КрАО
426.2985	426.5612	241	КрАО	503.1983	503.3942	76	КрАО
427.3665	427.4446	44	Терскол	504.2263	504.3650	36	КрАО
428.2315	428.4382	568	Терскол	505.2422	505.3987	47	КрАО
431.2315	431.3397	201	Терскол	510.3338	510.3681	9	КрАО
432.2928	432.3843	164	Терскол	513.1582	513.1952	10	КрАО
452.2366	452.4384	125	КрАО	515.1634	515.3938	85	КрАО
454.4543	454.5110	35	КрАО				

Экспозиции в отдельные ночи подбирались таким образом, чтобы при наилучшем временном разрешении достигалось достаточное отношение сигнала к шуму. Погрешность наблюдений, определенная нами по непременным звездам как среднеквадратичная ошибка разности блеска контрольной звезды, блеск которой близок к блеску переменной звезды и звезды сравнения, в зависимости от телескопа и типа ПЗС-приемника, достигала значения $0^m.005 - 0^m.01$ в максимуме блеска и $0^m.08 - 0^m.1$ - в минимуме. В качестве звезды сравнения использовалась звезда из каталога USNO A2.0 1275-13934488 [17]. Для определения ее блеска в 2012г. (17 и 18 июня) на телескопе К-380 с помощью ПЗС APOGEE 47E+ были проведены специальные наблюдения в полосе R , Джонсона данной звезды сравнения и звезды сравнения C1 [18] в окрестности Новой Лебеда 1975 с известными $UBVR$ величинами в системе Джонсона (J). Оба объекта в моменты наблюдений находились на воздушных массах, разницей в которых можно было пренебречь. Путем фотометрического сравнения звезды USNO A2.0 1275-13934488 относительно звезды C1, была получена

ее величина в полосе R_r , равная $13^m.53 \pm 0^m.05$.

3. *Анализ кривых блеска.* Общая кривая блеска V503 Cyg, полученная нами в 2010г., приведена на рис.1. Видно, что в течение наблюдений нам удалось пронаблюдать 5 фрагментов нормальных вспышек и фрагмент одной сверхвспышки. Нормальные вспышки имеют амплитуду $1^m.5 - 2^m$ и длительность цикла около 8-10 сут., соответствуя состоянию "частых вспышек"

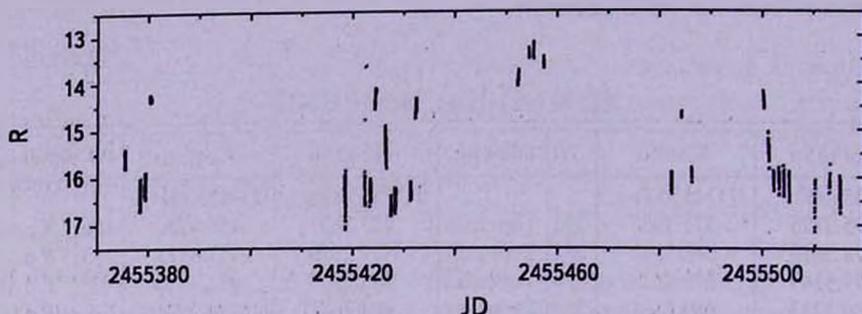


Рис.1. Вспышечная кривая блеска V503 Cyg в 2010г.

вспышечной активности. При рассмотрении нормальных вспышек видно, что возрастание яркости происходит в течение суток, в то время как возвращение в "спокойное" состояние занимает около двух - трех суток.

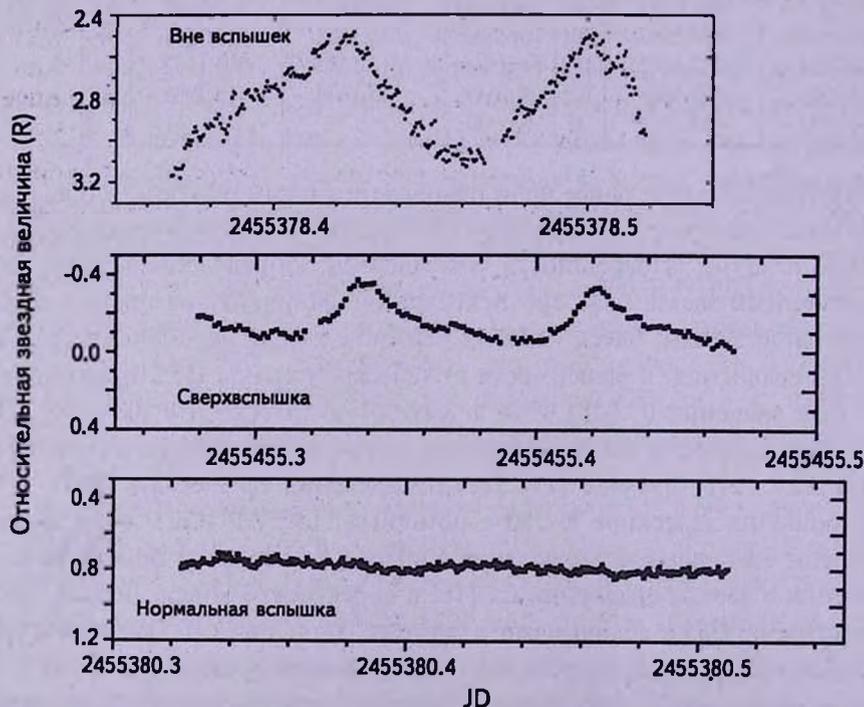


Рис.2. Примеры кривых блеска в неактивном состоянии во время сверхвспышки и в нормальной вспышке.

На всех фазах вспышечной активности - в спокойном состоянии, в нормальных вспышках и во время сверхвспышки, система демонстрировала короткопериодическую переменность с характерным временем 0.08 сут. На рис.2 представлены примеры колебаний блеска вне вспышек, в нормальной вспышке и во сверхвспышке. В неактивном состоянии амплитуда колебаний может достигать $0^m.5$, во время сверхвспышки - около $0^m.3$, а в нормальной вспышке - около $0^m.05$. Заметим, что амплитуда колебаний в минимуме по нашим данным почти в два раза была меньше, чем по наблюдениям Шкоди и др. [16] и Харвея и др. [1] ($0^m.9 - 1^m.0$).

Для выяснения природы колебаний, мы проанализировали данные, используя два метода: 1) периодограммный анализ временных рядов и 2) метод "O-C" - анализ хода разностей наблюдаемых моментов экстремумов "O" и расчетных "C".

4. *Сверхвспышка.* Учитывая, что изменения блеска происходили на шкале нескольких звездных величин, для корректного сравнения амплитуд короткопериодической переменности V503 Cygni на разных стадиях активности, мы предварительно перевели все данные в относительные интенсивности (Rel. units) согласно соотношению $I = 100 \cdot 10^{-0.4\Delta m}$, где Δm - дифференциальная звездная величина. Анализ был проведен отдельно для нескольких наиболее плотных групп данных во время сверхвспышки, в нормальных вспышках и в неактивном состоянии. Анализ временных рядов проводился с использованием пакета ISDA [19].

На рис.3 приведена периодограмма для данных фрагмента сверхвспышки, который, скорее всего, представлял ее начало (JD 2455454, 2455455, 2455457). Наиболее значимый пик периодограммы соответствует периоду 0.08135(11) сут., находясь в хорошем согласии с периодом положительных сверхгорбов, полученным Като и др. [15]. Свертка с этим периодом приведена на рис.3 (справа). Заметим, что этот период относится к первой

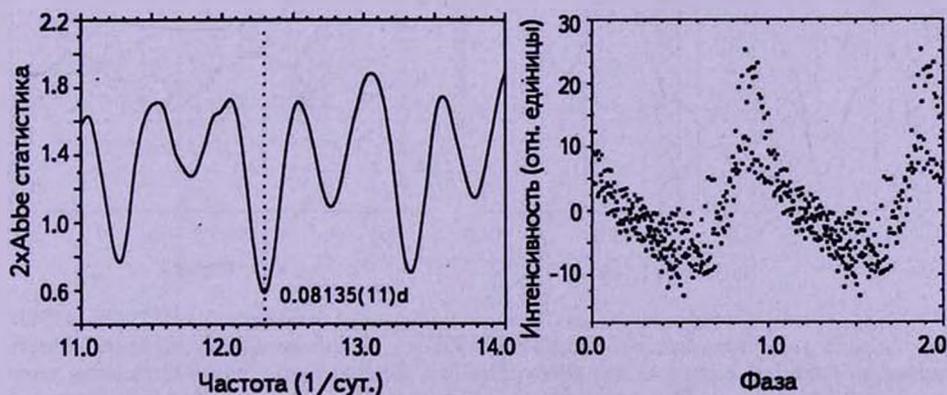


Рис.3. Слева: периодограмма в окрестности орбитального периода и периодов "положительных" и "отрицательных" сверхгорбов. Справа: свертка данных с периодом 0.08135 сут.

половине сверхвспышки. Амплитуда сверхгорбов во время максимума сверхвспышки вдвое превышает амплитуду до и после него. Сам профиль сверхгорбов крайне асимметричен.

5. Нормальные вспышки. Нормальные вспышки V503 Суг являются типичными для карликовых новых типа SU UMa: возрастание блеска длится около суток, а спад - около 2-х суток. Быстротечность вспышек ограничивает получение достаточно большого статистического материала, потому мы провели поиск периодов только для двух нормальных вспышек, а точнее, для их нисходящих ветвей: для вспышки, представленной датами JD 2455424 и 2455426 и для вспышки, представленной датами JD 2455500 и 2455501. Амплитуда колебаний во время нормальных вспышек не превосходила $0^m.05$. Результат периодограммного анализа показан на рис.4. На обеих периодограммах обращают на себя внимание совпадающие пики в окрестности частот 11.5 и 12.5, одна из которых вызвана суточной скважностью. Заметим, что вторая частота близка по величине к частоте положительных сверхгорбов, наблюдавшихся ранее во время сверхвспышки [1,15], что дает основание полагать ее истинной. Из-за недостаточной статистики нельзя сделать вывод о точной величине периода для каждой из ночей, однако можно говорить о том, что он наилучшим образом

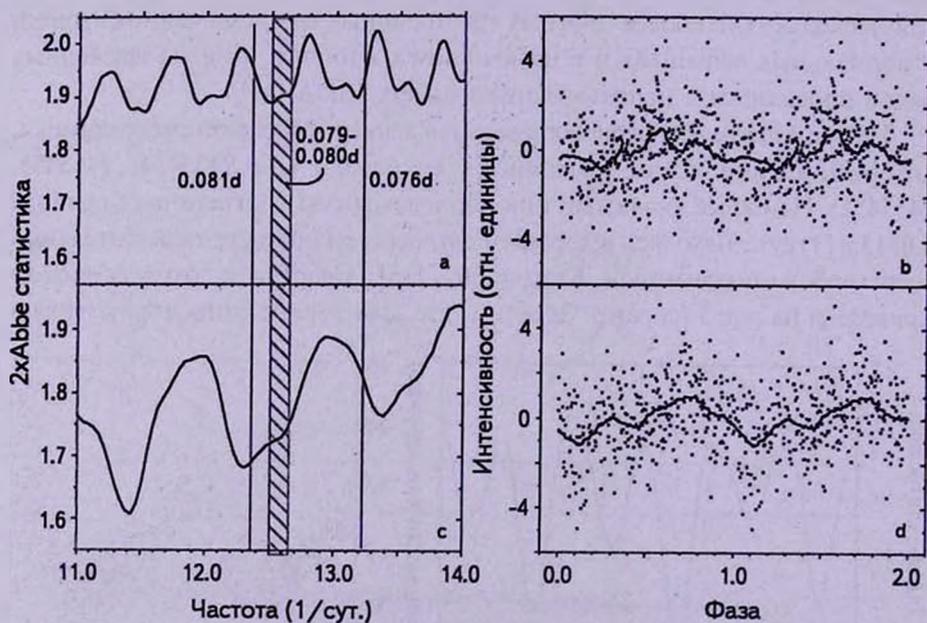


Рис.4. Слева: периодограмма для данных нормальной вспышки JD 2455424-2455426 (a) и нормальной вспышки JD 2455500-2455501 (c). Заштрихованной показана область периодов, наиболее вероятная для обеих вспышек. Вертикальные линии проведены через периоды "положительных" и "отрицательных" сверхгорбов, которые наблюдали Харвей и др. [1]. Свертки данных с периодом 0.08 сут. приведены справа (b, d).

совпадает в интервале 0.079 - 0.081 сут. Этот результат отличен от того, что получили Харвей и др. [1]. По их данным, во время нормальных вспышек колебания блеска происходили с периодом "отрицательных" сверхгорбов.

6. *Неактивное состояние.* Для поиска периодов в неактивном состоянии (вне вспышек), мы выделили 4 участка на общей кривой блеска. 1-й участок охватил ночи JD 2455375, 2455378, 2455379; 2-й - JD 2455418, 2455422, 2455423; 3-й - JD 2455427, 2455428, 2455431; 4-й - JD 2455502, 2455503, 2455504, 2455505. Периодограммы для каждой группы данных приведены на рис.5а - d, сверху вниз в хронологическом порядке. Оказалось, что для всех четырех участков нет единого общего наилучшего периода. Однако для трех из них (b, c, d) такой период есть и он равен 0.0777 сут.

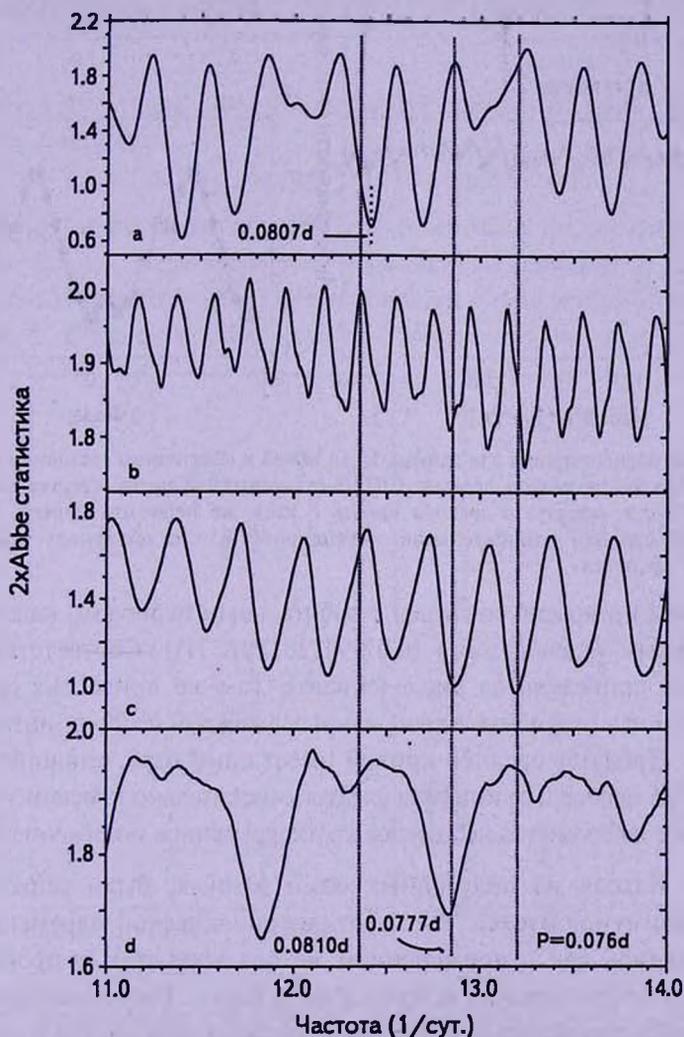


Рис.5. Периодограммы для отдельных фрагментов неактивного состояния V503 Суг

В то же время интервалу (а) соответствует период 0.0807 сут., а на интервале (с), помимо периода 0.0777 сут., периодограмма содержит пик на периоде 0.076 сут., который пропадает после процедуры отбеливания. Данные трех интервалов разделены пятью вспышками и сверхвспышкой, однако фаза периода 0.0777 сут., довольно хорошо держится: на рис.6 (слева) представлена периодограмма для выборки, объединяющей эти три группы данных. Период 0.077760(3) сут. является единственным для данной выборки, никаких других значимых сигналов не остается после его вычитания.

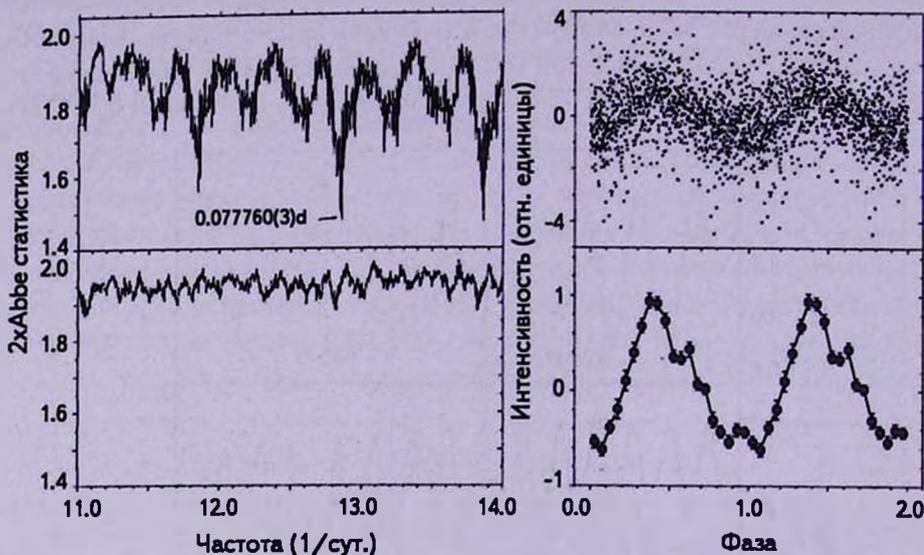


Рис.6. Слева: периодограмма для данных 13-ти ночей в неактивном состоянии (вверху) и этих же данных после вычета периода 0.07776 сут. (внизу). Справа: свертка данных с периодом 0.07776 сут. (вверху) и средняя кривая с этим же периодом (внизу). Данные нормированы к средней относительной интенсивности, что объясняет появление "отрицательных" величин.

Этот период прекрасно совпадает с орбитальным периодом, найденным по спектральным наблюдениям (0.07771(28) сут. [1]). Соответствующая свертка с ним приведена на рис.6 (справа). Там же приведена средняя кривая, полученная путем усреднения данных в каждом из 20-ти интервалов фаз периода. Профиль средней кривой имеет один горб, длящийся чуть более половины периода, за которым следует относительно плоский участок. На самом горбе наблюдается небольшое кратковременное понижение блеска.

7. *O-C*. Исходя из полученных нами данных, были определены моменты максимумов блеска "O" короткопериодической переменности. Они определялись как с применением метода хорд, так и программы Марсаковой и Андропова [20] и приведены в табл.2. Расчетные моменты "C" ("calculated") определялись с помощью соотношения (2), где в качестве "стартовой" величины периода взят орбитальный период из работы Харвея

Таблица 2

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИЕ МОМЕНТЫ МАКСИМУМОВ БЛЕСКА.
JD Hel + 2400000

55375.430	55423.350	55428.410	55482.325	55503.305
55378.420	55423.420	55431.300	55484.290	55503.380
55378.500	55423.500	55452.260	55486.265	55504.310
55379.370	55424.492	55452.330	55500.380	55505.275
55380.360	55426.300	55452.400	55501.190	55505.350
55380.435	55426.390	55454.475	55501.250	55513.175
55418.535	55426.450	55455.340	55501.290	55515.205
55422.300	55426.550	55455.420	55502.210	55515.280
55422.375	55428.270	55457.310	55502.280	55515.350

и др. [1], а начальная эпоха соответствует первому из табл.2 наблюденному моменту максимума.

$$HJD_{\max} = 2455375.435 + 0.07771 \cdot E. \quad (2)$$

На рис.7 представлен ход $O-C$ и соответствующие два фрагмента общей кривой блеска, охватывающие нормальную вспышку с последующим неактивным состоянием. Из рисунка видно, что во время вспышки и после нее ход $O-C$ изменяет свой наклон. Это означает, что на стадии вспышки

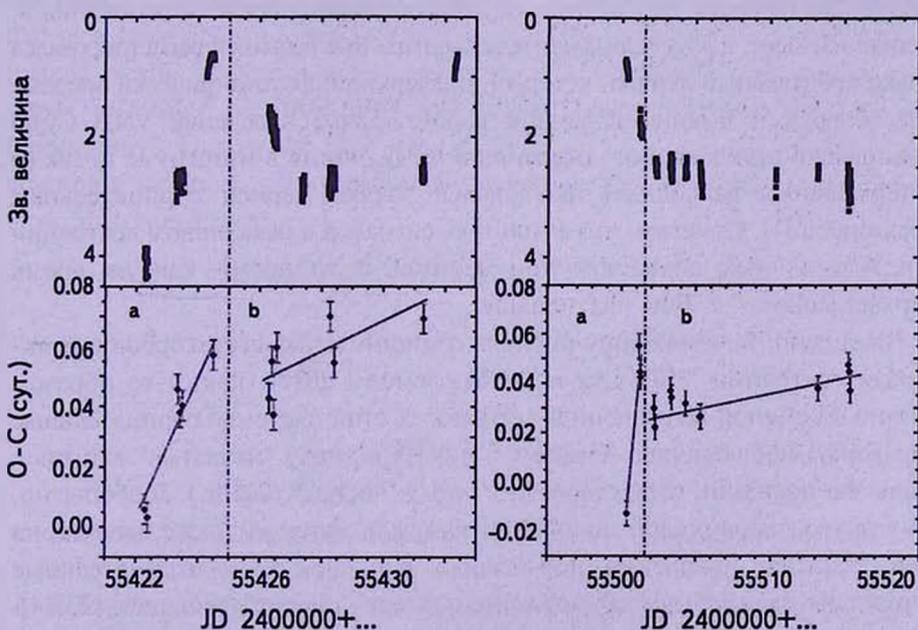


Рис.7. Кривые блеска двух вспышек и соответствующий ход $O-C$, рассчитанный по эфемериде (2). Штрих-пунктирной линией обозначен возможный момент переключения одного периода на другой.

и после нее регистрировались различные периоды. Проведя соответствующие расчеты, мы получили, что для восходящей ветви нормальной вспышки, наблюдавшейся в интервале JD 2455422 - 2455424, колебания блеска происходили с периодом 0.0801(24) сут., а в последующем спокойном состоянии - с периодом 0.07814(42) сут. Во время второй вспышки (JD 2455501 - 2455502) колебания блеска имели период 0.08289 ± 0.0052 сут., а после нее - 0.07781(8) сут. Результат в пределах ошибок находится в согласии с результатом периодограммного анализа. Для первой вспышки смена периодов произошла, вероятно, между JD 2455424 и 2455426, а для второй - сразу после ее окончания, между JD 2455501 и 2455502. Точнее момент смены периодов, из-за скажности в наблюдениях, определить невозможно.

Таким образом, мы впервые зарегистрировали фотометрическую переменность в минимуме, являющуюся орбитальным периодом. Профиль средней кривой блеска орбитального периода, приведенный на рис.6, указывает на то, что орбитальная модуляция блеска вызвана скорее переменным вкладом горячего пятна [2] или горячей линии [21] в общее излучение системы в течение орбитального периода, чем переменным вкладом нагретой стороны вторичного компонента.

8. *Обсуждение.* Совместный периодограммный и *O-C* анализ показал, что в 2010г. в системе V503 Cygni действовало только два периодических процесса. Первый - это колебания блеска с периодом положительных сверхгорбов во время сверхвспышки, некоторое время после ее окончания и, по крайней мере, в двух нормальных вспышках. Вне вспышек регистрировался только орбитальный период, который, подчеркнем, фотометрически впервые был обнаружен именно в данной работе. Такое поведение V503 Cygni кардинально отличается от поведения в 1994г., когда в минимуме (а также в нормальных вспышках) наблюдался только период отрицательных сверхгорбов [1]. Отметим, что амплитуда сигналов в неактивном состоянии и в нормальных вспышках соизмерима, в то время как во время сверхвспышки - в 7-10 раз меньше.

Возможно, исчезновение периода отрицательных сверхгорбов в неактивном состоянии V503 Cyg по наблюдениям 2010г. каким-то образом связано со сменой вспышечной активности этой системы: отрицательные сверхгорбы наблюдались Харвеем и др. [1] в эпоху "нечастых" вспышек и, как мы показали, отсутствовали в эпоху "частых" (2010г.). Любопытно, что у другой карликовой новой MN Dra, для которой также характерна смена частоты появления нормальных вспышек [22], отрицательные сверхгорбы также были обнаружены в эпоху "редких" вспышек [23,24]. Однако детальных наблюдений MN Dra в минимуме во время частых вспышек [25] не было, поэтому неизвестно, существовали тогда отрицательные сверхгорбы или нет. Очевидно, необходимы дальнейшие иссле-

дования таких систем для выявления возможной связи вспышечной активности с возникновением/исчезновением отрицательных сверхгорбов.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность анонимному рецензенту за полезные замечания.

¹ НИИ "Крымская астрофизическая обсерватория", Научный, Украина, e-mail: erpavlenko@gmail.com

² Международный центр астрономических, медицинских и экологических исследований НАНУ, Украина

³ Астрономический институт РАН, Пик Терскол, Россия

PHOTOMETRY OF THE DWARF NOVA V503 Cygni IN 2010. THE ORBITAL AND OTHER PERIODS

E.P.PAVLENKO¹, D.A.SAMSONOV¹, O.I.ANTONYUK¹,
M.V.ANDREEV², A.V.BAKLANOV¹, A.A.SOSNOVSKIJ¹

The photometric investigations of the dwarf nova V503 Cygni have been carried out during 29 nights in the Crimean astrophysical observatory and in the Terskol observatory in 2010. We did not find so-called "negative superhumps" that have been observed earlier in a quiet state and in ordinary (short) outbursts. Instead of this in both ordinary outbursts and superoutburst as well as over some time after the superoutburst's end we have registered the "positive superhumps". During the rest time apart from outbursts we first found the brightness variations with period 0.077760(3) d, that never have been found by a photometric way.

Key words: accretion:accretion disks:dwarf novae:cataclismic variables

ЛИТЕРАТУРА

1. D.Harvey, D.Skillman, D.J.Patterson, F.Ringwald, Publ. Astron. Soc. Pacif., 107, 551, 1995.
2. B.Warner, Cataclysmic variable stars, Cambridge Astrophysics Series. Cambridge, New York: Cambridge University Press. p.568.
3. S.A.Balbus, J.F.Hawley, Astrophys. J., 376, 214, 1991.
4. Y.Osaki, Publ. Astron. Soc. Pacif., 108, 39, 1996.

5. *R.Whiterhurst*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **232**, 35, 1988.
6. *J.M.Bonnet-Bidaud, C.Motch, M.Mouchet*, *Astron. Astrophys.*, **143**, 313, 1985.
7. *M.A.Wood, C.J.Burke*, *Astrophys. J.*, **661**, 1042, 2007.
8. *P.Barrett, D.O'Donoghue, B.Warner*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **233**, 759, 1988.
9. *M.Montgomery, D.Bisikalo*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **405**, 1397, 2010.
10. *T.Ohhima et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 2012 in press.
11. *T.Kato et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **64**, 21, 2012.
12. *Т.С.Хрузина, С.Ю.Шугаров*, Атлас Катаклизмических переменных звезд типа U Geminorum, ред. А.М.Черепашук. М., МГУ, 1991.
13. *R.Ishioka, K.Sekiguchi, H.Maehara*, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **59**, 929, 2007.
14. *T.Kato, R.Ishioka, M.Uemura*, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **54**, N6, 1029, 2002.
15. *T.Kato et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **61**, S395, 2009.
16. *P.Szkody, S.Howell, M.Mateo, T.Kreidl*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **101**, 899, 1989.
17. *D.Monet et al.*, USNO-A2.0. A Catalog of Astrometric Standards, U.S. Naval Observatory, Washington, DC, 1980.
18. *Ja.Kaluzny, I.Semeniuk*, *Acta Astronomica*, **37**, 349, 1987.
19. *Ja.Pelt*, Frequency Analysis of Astronomical Time Series. Valgus Publ., Tallinn, 1980.
20. *V.I.Marsakova, I.L.Andronov*, *Odessa Astron. Publ.*, **9**, 127, 1996.
21. *D.V.Bisikalo, A.A.Boyarchuk, A.A.Kil'pio et al.*, *Astron. Rep.*, **45**, 611, 2001.
22. *D.Nogami, M.Uemura, R.Ishioka et al.*, *Astron. Astrophys.*, **404**, 1067, 2003.
23. *Е.П.Павленко, И.Б.Волошина, М.В.Андреев и др.*, *Астрон. ж.*, **87**, 8, 2010.
24. *E.Pavlenko et al.*, AIP Conf. Proc. 1273, 17th European White Dwarf Workshop, ed. K.Werner, T.Rauch, Maryland: AIP, **320**, 2010.
25. *S.V.Antipin, E.P.Pavlenko*, *Astron. Astrophys.*, **391**, 565, 2002.