

NY Ser: ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И МУЛЬТИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА РАЗНЫХ ЕЕ СТАДИЯХ В 2014 И 2016гг.

А.С.СКЛЯНОВ¹, Е.П.ПАВЛЕНКО², О.И.АНТОНЮК²,
А.А.СОСНОВСКИЙ², В.П.МАЛАНУШЕНКО³, Н.В.ПИТЬ²,
К.А.АНТОНЮК³, А.Н.ХАЙРУТДИНОВА¹, Ю.В.БАБИНА², А.И.ГАЛЕЕВ^{1,4}

Поступила 5 августа 2017

Принята к печати 14 декабря 2017

В данной работе мы приводим результаты кампаний по наблюдениям карликовой новой звезды NY Ser, которые проводились в 2014 и 2016гг. Всего были получены данные по 126-ти ночам наблюдений в 2014г., которые включают 20 нормальных вспышек и одну сверхвспышку, и по 22-м ночам в 2016г., охватившим 5 нормальных вспышек. По форме кривых нормальных вспышек было показано наличие у данной системы вспышек типа "outside-in" и типа "inside-out". На разных стадиях вспышечной активности (спокойное состояние, вспышки и сверхвспышка) NY Ser показывала колебания блеска с разными периодами. В спокойном состоянии и в нормальных вспышках доминировал орбитальный период $0^d.097558(6)$. Во время сверхвспышки мы выделили две стадии эволюции сверхгорбов: стадию роста приливной нестабильности аккреционного диска (А) и стадию развитых сверхгорбов (В). Стадия А для NY Ser была выделена впервые, однако ее продолжительность и период однозначно не определены. На стадии В были зарегистрированы положительные сверхгорбы со средним периодом $0^d.10464(9)$ и избытком периода $\varepsilon = 0.072$, впервые обнаружены отрицательные сверхгорбы со средним периодом $0^d.0938(1)$ и дефицитом периода $\varepsilon = -0.038$.

Ключевые слова: *NY Ser: катаклизмические переменные: отрицательные сверхгорбы: эволюция сверхгорбов: аккреция*

1. **Введение.** Среди тесных двойных систем особое место занимает тип катаклизмических переменных. Данные системы состоят из белого карлика (главный компонент) и красного карлика (вторичный компонент), заполнившего свою полость Роша. Вещество перетекает через внутреннюю точку Лагранжа с вторичного компонента на главный, образуя вокруг него аккреционный диск (или аккреционные колонны, в случае белых карликов с сильным магнитным полем) [1].

Подтипом катаклизмических переменных являются карликовые новые звезды. У этих систем наблюдаются регулярные вспышки на 2-6^м с характерной длительностью от нескольких дней до нескольких недель. Механизмом появления данных вспышек принято считать возникновение тепловой нестабильности в аккреционном диске, которая приводит к увеличению темпа аккреции и

высвобождению гравитационной энергии [1].

Вспышки, вызываемые тепловой нестабильностью, делят на два типа, в зависимости от того, в какой части диска образовалась нестабильность. Тип 1 ("outside-in") - нестабильность возникает во внешних областях аккреционного диска и распространяется вовнутрь. Кривые блеска вспышек данного типа характеризуются быстрым ростом до максимума блеска по сравнению с более медленным спадом. Тип 2 ("inside-out") - нестабильность образуется во внутренних областях диска и распространяется во внешние области. Кривые блеска "inside-out" имеют более симметричные профили роста и спада блеска [2].

У карликовых новых выделяют подкласс звезд типа SU UMa с орбитальными периодами от 76 мин до ~3.18 час [3], отличительной особенностью которых являются два типа вспышек. Нормальные вспышки - имеют длительность несколько дней, а сверхвспышки - могут продолжаться 2-3 недели. Считается, что возникновение сверхвспышек связано с запуском в диске приливной нестабильности, вызванной достижением внешним радиусом диска резонанса 3:1 между вращениями диска и вторичного компонента [4]. Приливная нестабильность приводит к появлению апсидальной прецессии аккреционного диска. Во время сверхвспышек можно наблюдать колебания блеска с периодом на несколько процентов больше, чем орбитальный период системы, которые называют положительными сверхгорбами [4]. Они эволюционируют в течение сверхвспышки и в общем случае могут проходить три стадии: А, В и С [5]. Стадия А понимается как стадия роста приливной нестабильности. На ней происходит увеличение амплитуды сверхгорбов, период имеет наибольшую и постоянную величину. На стадии В наблюдаются более короткий период и его систематические изменения. Скорость изменения периода на этой стадии характеризуется величиной производной периода $P_{dot} = \dot{P}/P$, которая может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Данная величина является безразмерной. Стадия С соответствует относительно стабильный, более короткий, чем на стадии В, период сверхгорбов. Данная стадия у некоторых систем может продолжаться даже после окончания сверхвспышки [5], т.е., аккреционные диски еще какое-то время продолжают оставаться в приливно-нестабильном состоянии. Осаки и Като [6] обратили внимание на то, что в общем случае выражение для апсидальной прецессии имеет следующий вид:

$$\omega_{pr} = \omega_{dyn} + \omega_{pressure} + \omega_{stress},$$

где ω_{dyn} - динамическая прецессия, вызванная приливым возмущением вторичного компонента, $\omega_{pressure}$ - эффект давления, усиливающий ретроградную (обратную) прецессию и ω_{stress} - малое взаимодействие между волнами. Если пренебречь значением ω_{stress} , то остаются два члена, из них значение $\omega_{pressure}$ дает меньший вклад на стадии роста приливной неста-

бильности (А), чем на стадии развитых сверхгорбов (В). Таким образом, как было показано ранее Осаки и Като [7], наблюдения во время стадии А имеют особую важность, поскольку, используя период сверхгорбов на этой стадии и орбитальный период, можно наиболее корректно оценить отношение масс системы.

Кроме апсидальной прецессии, аккреционные диски иногда могут показывать нодальную прецессию, следствием которой будет появление так называемых отрицательных сверхгорбов с периодом меньше орбитального [8-10]. Отрицательные сверхгорбы карликовых новых типа SU UMa наблюдаются, как правило, в неактивном состоянии и в нормальных вспышках. Исключением являются три объекта: ER UMa, V1504 Cyg и V344 Lyr, у которых они наблюдались во время сверхвспышек [11,7,12,13].

Распределение орбитальных периодов катаклизмических переменных показывает значительно меньшее количество систем с периодами, находящимися в промежутке от 2.15 до 3.18 часов. Данный промежуток получил название "пробел (или провал) периодов" ("period gap") и связан с переключением механизма потери углового момента системой с магнитного торможения (для систем с периодами больше 3.18 часа) и излучением гравитационных волн (для систем с периодами меньше 2.15 часа) [3].

Первой карликовой новой типа SU UMa в пробеле периодов оказалась NY Ser. Она была обнаружена как ультрафиолетовый объект PG 1510+234 и позднее была классифицирована как карликовая новая [14,15]. Во время длительной вспышки в апреле 1996г., у этой системы были обнаружены сверхгорбы, что позволило классифицировать ее как карликовую новую типа SU UMa [16]. Орбитальный период системы был определен в 2003г. и составил 0.0975 сут. [17]. Период сверхгорбов по разным данным определялся в промежутке от $0^d.106$ до $0^d.104$, что, возможно, связано с использованием данных на разных стадиях сверхвспышки [16,17]. Среднее значение периода сверхгорбов $0^d.104531(37)$ было получено Павленко и др. [18] по данным 12 ночей наблюдений в 2013г. в течение плато сверхвспышки, причем этот период сосуществовал одновременно с орбитальным периодом.

NY Ser оказалась одной из первых карликовых новых "пограничного типа", сочетающей свойства систем как до "пробела" так и после него [18]. С одной стороны, как звезда типа SU UMa, она демонстрирует сверхвспышки и положительные сверхгорбы во время них, с другой - многообразие нормальных вспышек, самая длинная из которых длилась около 12-ти суток [18], что уже сравнимо с длительностью сверхвспышек у карликовых новых, однако, сверхгорбы в течение этой длинной вспышки зарегистрированы не были.

Несмотря на проводившиеся кампании по наблюдению NY Ser, до сих пор не удавалось засечь стадию А у данной звезды, и отношение масс в этой

системе остается неизвестным. Нами были проведены две кампании по фотометрии NY Ser в 2014 и 2016гг., включавшие наблюдения на различных долготах. Основная цель исследований - определение вспышечной активности системы, периодических процессов на разных ее стадиях и эволюции периода сверхгорбов во время сверхвспышки.

2. Наблюдения и редукция данных. Кампания по наблюдениям звезды NY Ser в 2014г. проводилась с 30 марта по 24 августа с использованием телескопов К-380 (38-см, матрица APOGEE ALTA E47) и АЗТ-11 (1.25-м, матрица ProLine PL23042) Крымской Астрофизической Обсерватории (КрАО), ARCSAT (50-см, матрица APOGEE U-47UV) обсерватории Апачи-Пойнт (США) и 1.5-м российско-турецкого телескопа РТТ-150 с помощью прибора TFOSC, оснащенного матрицей Fairchild. Объект наблюдался в течение 126 ночей (333.3 часа), из них в течение 86-ти на К-380, 23-х на АЗТ-11, 3-х на РТТ-150 и 14-ти на ARCSAT. В 2016г. наблюдения проводились с 4 июля по 12 августа на телескопе К-380 КрАО. На этом участке были получены данные в течение 22-х ночей (78 часов). На К-380, АЗТ-11 и РТТ-150 ПЗС-снимки были получены без использования фильтров. На телескопе ARCSAT использовался фильтр R_c . Журнал наблюдений 2014г. приведен в табл.1, а 2016г. - в табл.2. В таблицах приведены название телескопа, начало и конец наблюдений, фотометрическая система (w , сокр. от white, означает, что наблюдения проводились в интегральном свете). Качество изображений, определявшееся по полуширине изображения звезды (FWHM), для большинства ночей было лучше 3.5 угловых секунд. Исключениями были ночи 2456773, 2456843 и 2456846, у которых качество изображений находилось в диапазоне от 3.5 до 5-ти угловых секунд.

Наблюдательные данные проходили стандартную процедуру обработки и калибровки в программе MaxIm DL. Дифференциальная фотометрия объекта проводилась относительно звезды USNO B1.0 1132-0246239, использовавшейся в качестве фотометрического стандарта [18]. Для привязки данных, полученных без фильтра, была использована звездная величина в полосе R_c , для которой чувствительность матриц телескопов К-380, АЗТ-11 и РТТ-150 является максимальной. Так как наблюдения проводились без светофильтров, то для оценок звездных величин будет существовать неопределенность нуль-пункта, которая может достигать нескольких десятых звездной величины. Данная неопределенность в нуль-пункте не будет влиять на результат анализа временных рядов. Так как для относительной фотометрии мы использовали R_c -величины звезд сравнения, то и определяемые нами значения блеска переменной звезды будем обозначать как величины в фильтре R_c . Для наблюдений, полученных на телескопе ARCSAT, данные приводились по шкале R_c .

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ NY Ser B 2014г.

Телес- коп	Начало-конец наблюдений JD-2456000		Фот. сист.	Телес- коп	Начало-конец наблюдений JD-2456000		Фот. сист.	Телес- коп	Начало-конец наблюдений JD-2456000		Фот. сист.
A3T-11	693.4701	693.6217	W	A3T-11	805.4040	805.4156	W	K-380	857.3136	857.3136	W
A3T-11	694.5301	694.6345	W	A3T-11	806.4103	806.4765	W	K-380	858.2868	858.2922	W
A3T-11	695.4433	695.6287	W	K-380	807.2946	807.3744	W	PTT-150	859.3029	859.3921	W
A3T-11	696.4577	696.6411	W	K-380	808.2685	808.3287	W	PTT-150	860.2523	860.2613	W
A3T-11	699.4043	699.4299	W	K-380	809.2693	809.2764	W	K-380	860.2732	860.2997	W
A3T-11	701.4047	701.5714	W	K-380	816.3222	816.3927	W	PTT-150	861.2650	861.2901	W
A3T-11	710.4343	710.5814	W	K-380	817.3330	817.4369	W	K-380	861.2704	861.2975	W
A3T-11	720.4248	720.5068	W	ARCSAT	818.6495	818.9114	R ₁	A3T-11	861.2897	861.4324	W
A3T-11	722.3437	722.6116	W	ARCSAT	819.6581	819.9043	R ₂	A3T-11	862.3299	862.3939	W
A3T-11	732.4428	732.4568	W	K-380	820.3096	820.3292	W	K-380	864.2791	864.2899	W
K-380	747.3599	747.3694	W	ARCSAT	820.6748	820.8682	R ₃	K-380	865.2651	865.2759	W
K-380	748.3759	748.4633	W	ARCSAT	821.8625	821.9128	R ₁	K-380	866.2652	866.2760	W
K-380	751.3550	751.5903	W	K-380	822.2844	822.3226	W	K-380	867.2651	867.2759	W
K-380	755.3936	755.4699	W	K-380	823.3421	823.4292	W	A3T-11	867.3291	867.4156	W
K-380	756.3744	756.5866	W	ARCSAT	823.6501	823.9116	R ₁	K-380	868.2726	868.2834	W
K-380	757.3534	757.5803	W	K-380	824.3241	824.3795	W	A3T-11	868.3830	868.4469	W
K-380	758.3219	758.3261	W	ARCSAT	824.6367	824.8892	R ₂	K-380	869.2727	869.2889	W
K-380	762.3311	762.4881	W	K-380	825.2786	825.3909	W	A3T-11	869.3047	869.4375	W
K-380	763.3614	763.5795	W	K-380	826.3176	826.3176	W	K-380	870.2667	870.2829	W
K-380	764.3080	764.3335	W	K-380	833.2868	833.4565	W	A3T-11	870.2705	870.4382	W
K-380	765.2803	765.5566	W	K-380	834.3225	834.5198	W	K-380	871.2620	871.2674	W
K-380	770.3346	770.5002	W	K-380	837.2851	837.5227	W	K-380	872.2646	872.2808	W
K-380	773.2585	773.3353	W	K-380	838.3088	838.4511	W	A3T-11	874.2700	874.4221	W
K-380	774.2708	774.4744	W	K-380	839.2879	839.5211	W	K-380	874.2723	874.2885	W
K-380	775.2554	775.3509	W	K-380	841.2897	841.5160	W	K-380	875.2587	875.2749	W
K-380	780.2959	780.3659	W	K-380	842.2973	842.4219	W	A3T-11	875.3445	875.4276	W
K-380	781.3060	781.5266	W	K-380	843.3080	843.3903	W	A3T-11	876.2527	876.4210	W
K-380	782.2759	782.3183	W	K-380	844.3184	844.4774	W	K-380	876.2666	876.2828	W
K-380	786.2594	786.3231	W	K-380	845.3107	845.4730	W	K-380	877.2772	877.2934	W
K-380	788.2570	788.3588	W	K-380	846.3424	846.4820	W	K-380	879.2685	879.2847	W
K-380	790.2816	790.5426	W	K-380	847.2844	847.4971	W	K-380	880.2542	880.2704	W
ARCSAT	793.6348	793.9705	R ₁	K-380	848.2817	848.4960	W	K-380	881.2541	881.2704	W
K-380	794.2934	794.3253	W	K-380	849.2943	849.4793	W	K-380	882.2514	882.2677	W
ARCSAT	794.6382	794.9559	R ₂	K-380	850.2931	850.3863	W	K-380	883.2478	883.2684	W
K-380	795.2701	795.3656	W	K-380	851.2823	851.4413	W	K-380	884.2511	884.3948	W
ARCSAT	795.6414	795.9645	R ₁	K-380	852.2856	852.3775	W	K-380	885.2515	885.2677	W
ARCSAT	796.8425	796.9436	R ₁	K-380	853.2812	853.4272	W	K-380	886.2495	886.2657	W
ARCSAT	797.6350	797.9520	R ₁	K-380	854.2868	854.4750	W	K-380	887.2433	887.2596	W
ARCSAT	798.6499	798.9035	R ₁	A3T-11	854.2892	854.4708	W	K-380	889.2389	889.2562	W
K-380	799.2780	799.5363	W	K-380	855.2864	855.4386	W	K-380	892.2389	892.2551	W
ARCSAT	799.6433	799.9617	R ₁	K-380	856.2759	856.2813	W	K-380	893.2367	893.2529	W
ARCSAT	802.8524	802.9606	R ₁	A3T-11	856.2873	856.3150	W	K-380	894.2355	894.2529	W

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ NY Ser В 2016г.

Телес- коп	Начало-конец наблюдений JD-2456000			Фот. сист.	Телес- коп	Начало-конец наблюдений JD-2456000			Фот. сист.	Телес- коп	Начало-конец наблюдений JD-2456000			Фот. сист.
K-380	574.3318	574.3449	W	K-380	585.2935	585.4700	W	K-380	596.2885	596.4497	W			
K-380	576.3245	576.5031	W	K-380	586.2970	586.4604	W	K-380	607.3359	607.4142	W			
K-380	578.2897	578.4923	W	K-380	587.2855	587.4686	W	K-380	609.2643	609.3994	W			
K-380	579.2785	579.3199	W	K-380	591.2699	591.4529	W	K-380	610.2491	610.3761	W			
K-380	581.2742	581.4899	W	K-380	592.2810	592.4510	W	K-380	612.2589	612.3942	W			
K-380	582.2974	582.4869	W	K-380	593.2799	593.4171	W	K-380	613.2851	613.3896	W			
K-380	583.2821	583.4847	W	K-380	594.2656	594.4486	W							
K-380	584.2871	584.3721	W	K-380	595.2678	595.4508	W							

3. *Вспышечные кривые блеска 2014 и 2016гг.* В 2014г. мы провели плотный мониторинг NY Ser в течение 126-ти суток с JD = 2456747 по JD = 2456894. За это время мы зарегистрировали 20 нормальных вспышек (или

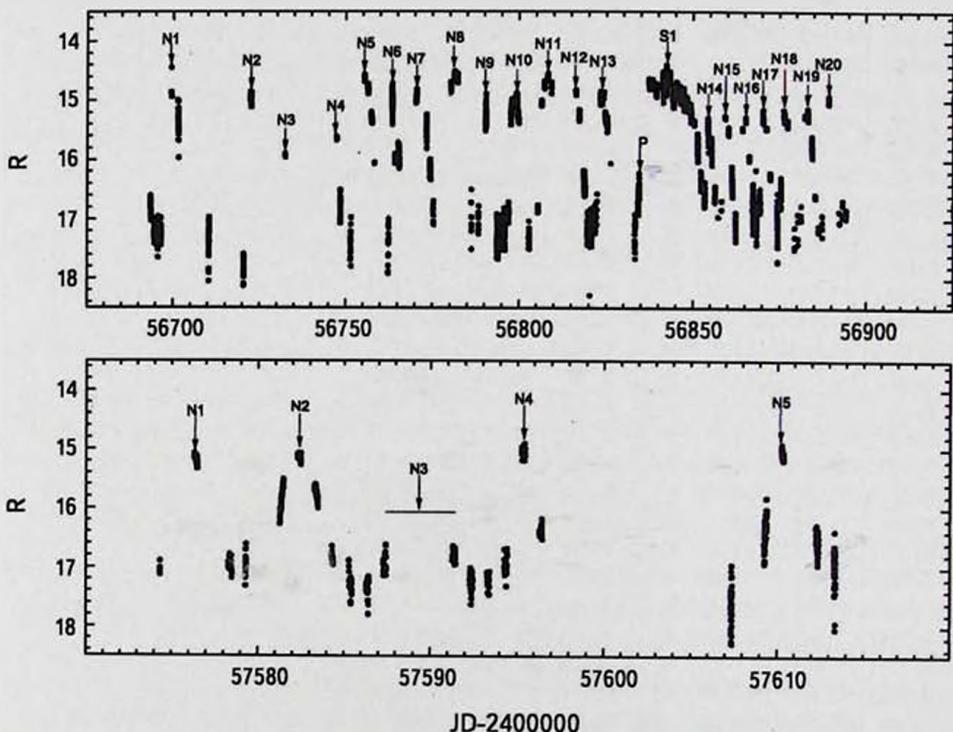


Рис.1. Вспышечные кривые блеска звезды NY Ser в 2014 и 2016гг. Буквой N обозначены нормальные вспышки, S - сверхвспышка, P - предшествующий (прекурсор) сверхвспышки S1.

их фрагментов) и одну сверхвспышку. В 2016г. в течение 22-сут. интервала с $JD = 2457574$ по $JD = 2457613$ мы пронаблюдали 5 нормальных вспышек или их фрагментов. Полученные вспышечные кривые представлены на рис.1.

3.1. *Вспышечная активность, циклы и сверхцикл.* По наиболее плотному ряду наблюдений 2014г. средний интервал между нормальными вспышками (до сверхвспышки) составил 7-9 сут. (более точно определить интервал нельзя из-за имеющихся пропусков наблюдений в отдельные даты), их продолжительность - 4-7 сут., а амплитуда - 2^m-3^m . В промежутках между нормальными вспышками блеск переменной звезды опускался до значений $17^m-17^m.5$, а в максимуме возрастал до $14^m.5$. После сверхвспышки частота нормальных вспышек в среднем увеличилась и средний интервал между ними составил 5-6 сут., продолжительность сократилась до 3-х сут., а амплитуда упала до $1^m.5-2^m$. В промежутке между вспышками блеск опускался до $17^m.2-16^m.8$, во время вспышки поднимался до $15^m.3-15^m.0$. Такие значения амплитуд, продолжительностей и частот нормальных вспышек находятся в согласии с данными 2013г. [18]. Можно отметить, что профили нормальных вспышек соответствуют профилям вспышек "outside-in".

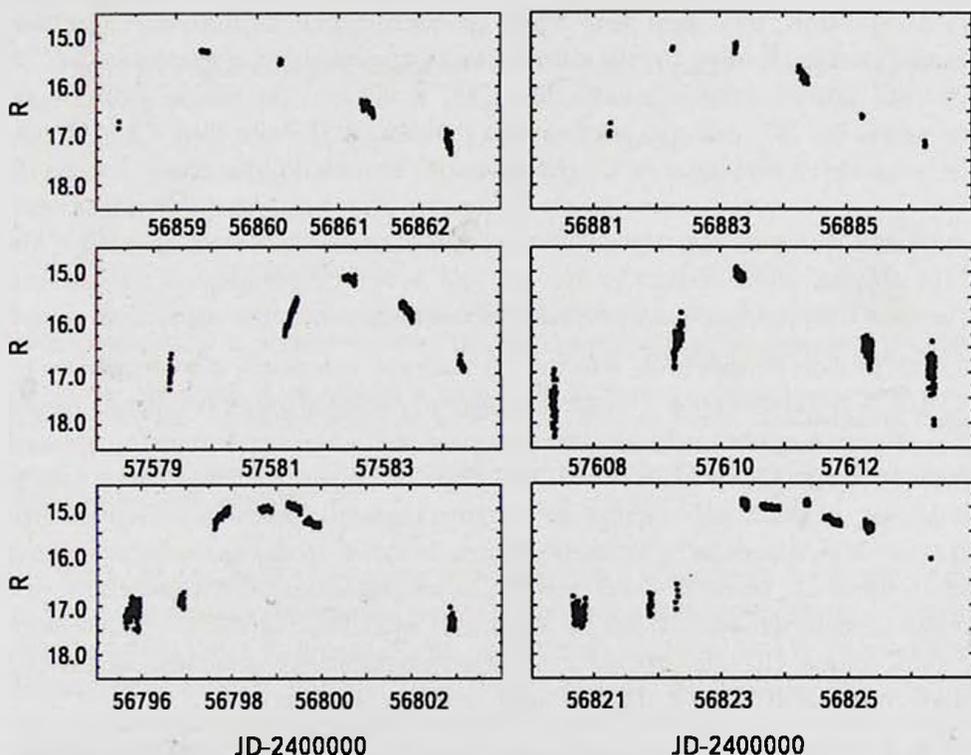


Рис.2. Примеры нормальных вспышек разной продолжительности и формы.

По данным 2016г. средний интервал между нормальными вспышками составил 6-7 сут., продолжительность 3-4 сут., а амплитуда - $2^m.5-3^m$. Значение блеска в промежутках между вспышками опускалось до $17^m.5$, а во время вспышки поднималось до $15^m.0$. Эти данные также соответствуют ранее полученным значениям для 2013г. [18]. Примеры наиболее хорошо прописанных нормальных вспышек разной продолжительности и формы представлены на рис.2.

Большинство этих вспышек асимметричны, однако профиль вспышки N2 относительно симметричен, что позволяет классифицировать ее как вспышку "inside-out". Это отличает ее от нормальных вспышек, зарегистрированных в 2013г. Профили вспышек N1, N3, N4 и N5 недостаточно хорошо прописаны, чтобы сделать вывод об их принадлежности к определенному типу.

По итогам проведенной наблюдательной кампании можно отметить, что в период наших наблюдений "широкие" нормальные вспышки, описанные в статье Павленко и др. [18], не были зарегистрированы.

Высокая плотность наблюдений исключила возможность пропустить еще одну допустимую сверхвспышку в интервале $JD = 2456751 - JD = 2456833$. Вероятно, что точки, принадлежащие предположительно нормальным вспышкам N3 и N4 2014г., на самом деле лежат на восходящей и нисходящей ветвях сверхвспышки. В этом случае длительность сверхвспышки равнялась бы 16 сут., что короче сверхвспышек 2013 [18] и 2014г., но длина сверхцикла составила бы 102 дня, что согласуется с оценкой Ногами [16] - 85-100 сут. Сокращение длительности сверхвспышки, возможно, вызвано наклоном аккреционного диска, что может привести к возникновению нодальной прецессии и появлению отрицательных сверхгорбов (как это было у ER UMa [11]). Другая возможность - это то, что в этом промежутке находилась "широкая" нормальная вспышка [18], что маловероятно, так как в этом случае сверхцикл составил бы не менее 140 сут.

3.2. Сверхвспышка 2014г. Амплитуда сверхвспышки составила около 3^m , а общая ее продолжительность, от начала роста блеска до резкого падения, - около 20 сут. ($JD = 2456834 - JD = 2456853$). Перед началом плато сверхвспышки, похоже, наблюдался ее предшественник (precursor). Нормальная вспышка N14, имеющая продолжительность 2-3 сут. и профиль, соответствующий типу "outside-in", вероятно была повторным поярчением на спаде сверхвспышки (rebrightening), однако только по внешнему виду окончательное заключение сделать нельзя. Продолжительность плато сверхвспышки составила 10 дней со скоростью ослабления 0.115 звездных величин в сутки.

4. Короткопериодические колебания блеска на разных фазах развития нормальных вспышек и в неактивном состоянии. Данные

каждой ночи 2014 и 2016гг. показывают короткопериодические (порядка 2.5-х часа) колебания блеска независимо от того, была ли система в неактивном состоянии, в нормальной вспышке или сверхвспышке. Примеры индивидуальных кривых блеска для разных фаз развития нормальных вспышек представлены на рис.3. Амплитуды кривых изменяются от $0^m.05$ в нормальных вспышках до $0^m.2-0^m.5$ в неактивном состоянии между ними.

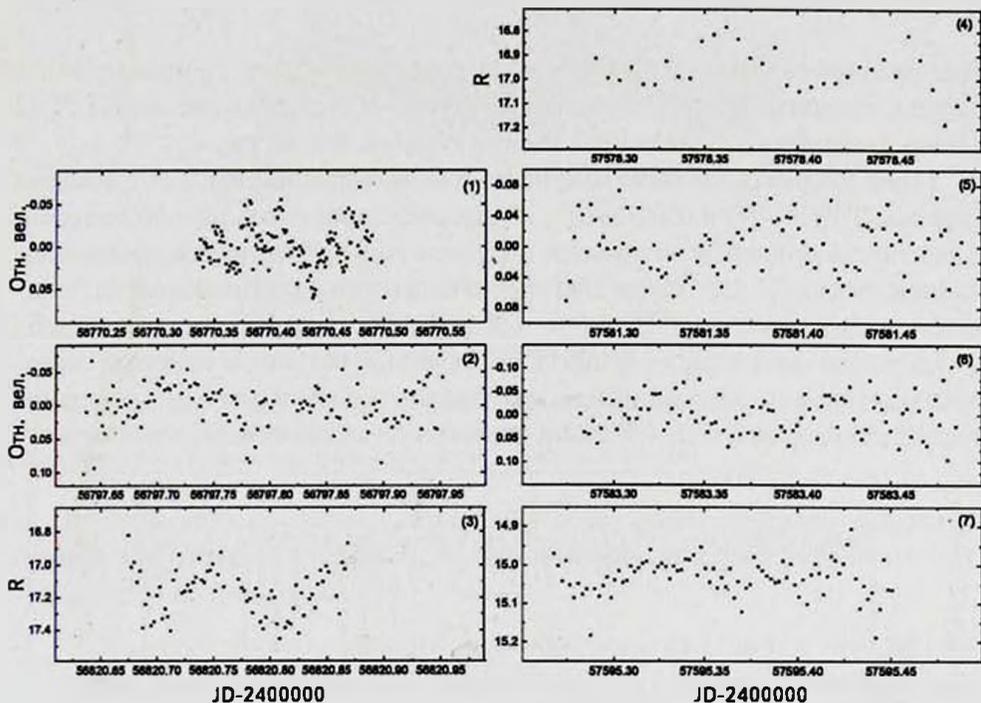


Рис.3. Примеры индивидуальных кривых блеска на разных этапах вспышечной активности. Левая панель, сверху вниз: кривые блеска 2014г. на (1) нисходящей ветви нормальной вспышки; (2) восходящей ветви нормальной вспышки; (3) интервале между нормальными вспышками. Из данных, приведенных на верхней и средней панелях, убран долгопериодический тренд, соответствующий систематическому уменьшению и увеличению блеска. Правая панель, сверху вниз: кривые блеска 2016г. (4) на интервале между нормальными вспышками; (5) восходящей ветви нормальной вспышки; (6) нисходящей ветви нормальной вспышки; в (7) максимуме блеска нормальной вспышки.

Чтобы разобраться в характере переменности и возможной зависимости его от фазы сверхцикла (интервала между последовательными сверхвспышками), мы подвергли данные 2014 и 2016гг. частотному анализу. Для этого на общей вспышечной кривой блеска 2014г. мы выделили следующие три участка: 1) JD 2456747-2456826 до начала сверхвспышки, содержащий 13 нормальных вспышек; 2) JD 2456833-2456855, содержащий сверхвспышку; 3) JD 2456856-2456894 после сверхвспышки, содержащий 7 нормальных вспышек.

Проанализируем переменность блеска вне сверхвспышки (первый и третий участки 2014г. и все данные 2016г.) отдельно в окрестностях ранее известных периодов для данной системы. Для уменьшения влияния зависимости амплитуды колебаний от яркости системы на статистический анализ временных рядов, данные были переведены в относительные интенсивности (I) согласно соотношению:

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

Для частотного анализа использовался реализованный в программе ISDA метод Стеллингверфа [19], являющийся одной из модификаций метода PDM (Phase Dispersion Minimization). Результат приведен на рис.4.

Наиболее сильными сигналами на участке до сверхвспышки 2014г. являются периоды $0^d.097974(6)$ и $0^d.097558(6)$, из них последний очень хорошо совпадает с величиной орбитального периода, полученного в предыдущих исследованиях данной звезды [17,18]. Также достаточно сильными являются сигналы, соответствующие периодам $0^d.093298(6)$ и $0^d.103706(7)$, не являющиеся суточными гармониками орбитального периода, но, вероятно, связанные суточной скважностью. Точность данных на третьем участке недостаточна для проведения периодограммного анализа. В 2016г. господствует исключительно орбитальный

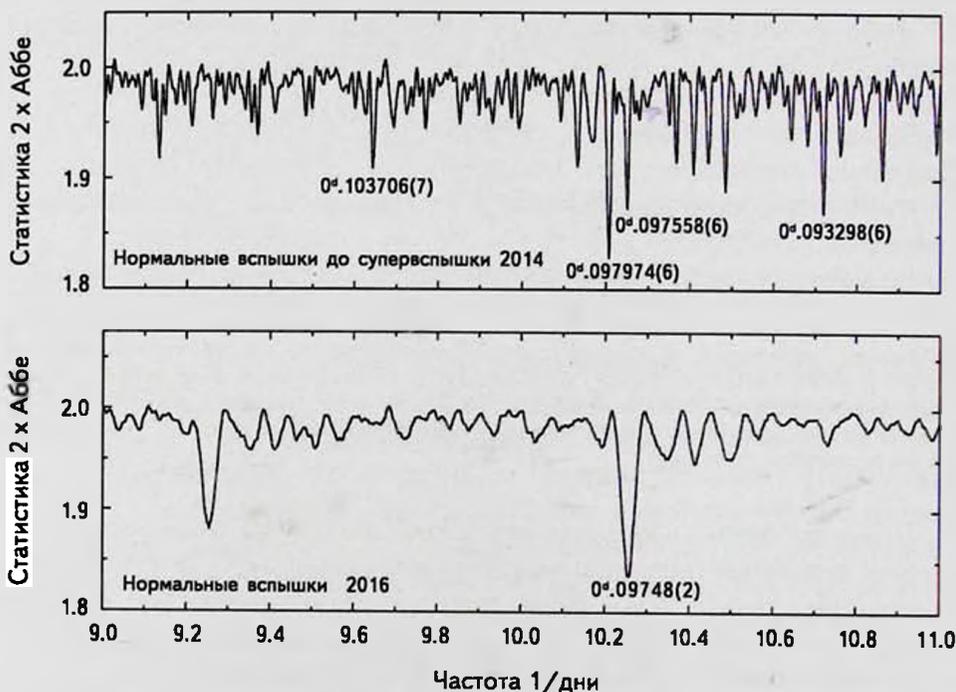


Рис.4. Периодограммы для данных вне сверхвспышки: до сверхвспышки 2014г. (верхняя панель), для всех данных 2016г. (нижняя панель).

период $0^d.09748(2)$.

В качестве примера мы приводим фазовую кривую, полученную с периодом $P = 0^d.09748(2)$ для данных на участке JD 2457574-2457596 2016г. (рис.5).

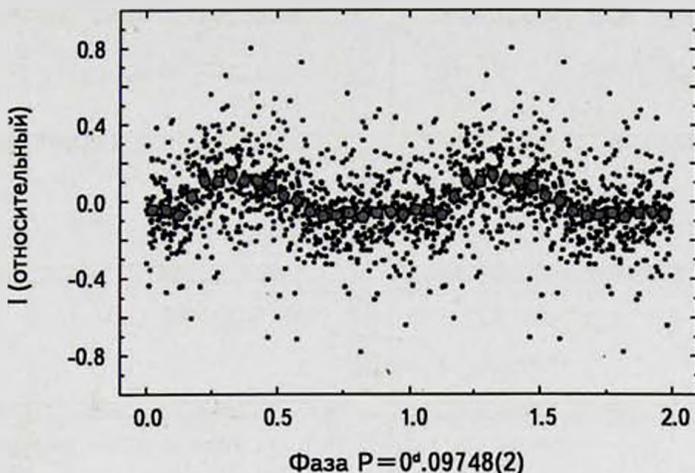


Рис.5. Данные 2016г. (JD = 2457574 - 2457596), свернутые с периодом $P = 0^d.09748(2)$. Серыми точками обозначены средние значения с шагом 0.05 фазы. Размер серых кружков примерно соответствует среднеквадратичной ошибке измерения.

Профиль кривой блеска представляет собой горб, длящийся половину периода с амплитудой около $0.2I$. В течение второй половины периода блеск практически не изменяется.

5. Сверхвспышка: анализ эволюции сверхгорбов во время сверхвспышки 2014г. На рис.6 приведен пример некоторых кривых блеска во время сверхвспышки.

Поиск периода был проведен для данных 19-ти ночей участка JD = 2456833 - 2456855. Полученная периодограмма представлена на рис.7. Наиболее значимые пики указывают на периоды $0^d.10463(2)$ и $0^d.09466(2)$, связанные суточной скважностью. Так как период $0^d.10463(2)$ близок к периоду сверхгорбов, полученному в более ранних работах [17,18], мы делаем вывод о том, что во время сверхвспышки наблюдались положительные сверхгорбы. Однако стоит отметить, что пики на периодограмме являются очень широкими, что может говорить об изменении значения периода за время наблюдений.

При помощи комбинирования метода совмещения хорошо прописанного профиля сверхгорба с изучаемой кривой блеска и метода хорд, нами были определены моменты максимумов для всех ночей сверхвспышки, где это было возможно. Полученные моменты и амплитуды максимумов приведены в табл.3.

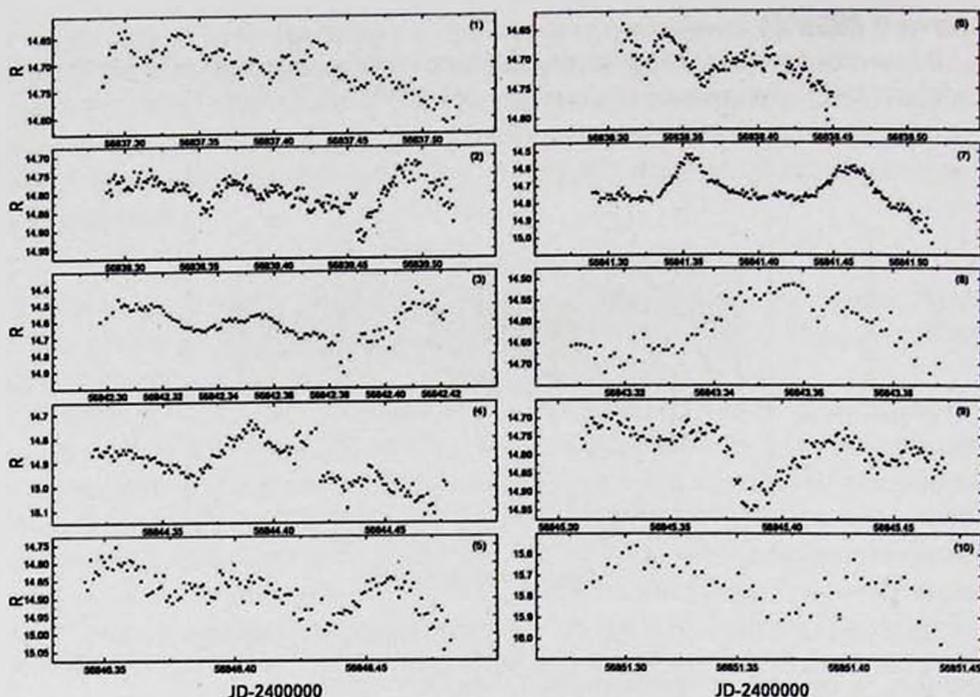


Рис.6. Пример индивидуальных кривых блеска во время сверхвыспки.

Далее мы использовали среднюю величину периода сверхгорбов, полученную из частотного анализа, $P_{\text{ш}} = 0^{\text{d}}.10463(2)$ для построения диаграммы О-С (рис.8). Так как присутствует неопределенность, вызванная возможным просчетом циклов,

Таблица 3

МОМЕНТЫ МАКСИМУМОВ (HJD) И ИХ АМПЛИТУДЫ

HJD-2400000	Амплитуда колебания (зв. вел.)	HJD-2400000	Амплитуда колебания (зв. вел.)
56837.3374	0.043	56846.3540	0.078
56837.4256	0.052	56846.4612	0.118
56838.4116	0.050	56847.3400	0.083
56839.3919	0.067	56847.4420	0.082
56839.4941	0.163	56848.3751	0.089
56841.3561	0.223	56851.3186	0.147
56841.4658	0.187	56851.4120	0.205
56842.3187	0.090	56852.3562	0.200
56843.3588	0.136	56854.4248	0.117
56844.3926	0.202	56855.3750	0.218
56845.4268	0.195		

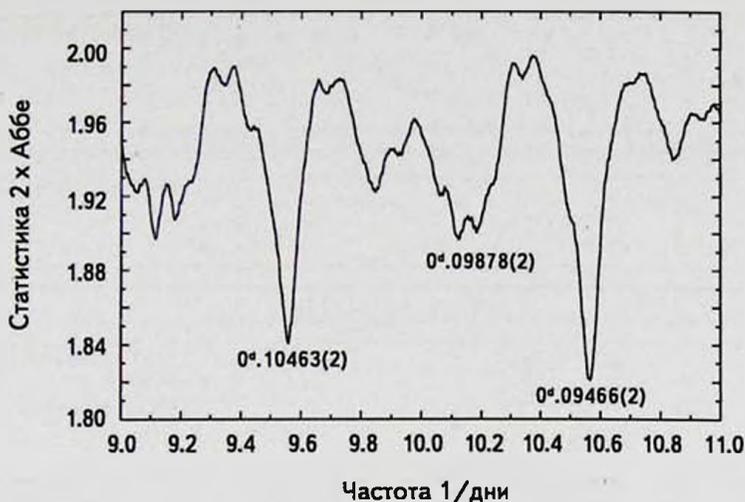


Рис.7. Сегмент периодограммы по выборке из 19-ти ночей сверхвысшики 2014г. Для самых значимых частот указаны соответствующие им периоды.

мы приводим 2 варианта диаграммы, обозначенные как var1 и var2. Для большей наглядности мы также нанесли на рисунок с диаграммой О-С кривые блеска звезды и амплитуды сверхгорбов.

На графике изменения амплитуд сверхгорбов их значения находятся в пределах от $0^m.04$ до $0^m.22$. Резкий рост амплитуды происходит на участке 2456839, а резкое ее падение в ночь 2456841. Далее, в течение сверхвысшики наблюдаются волнообразные изменения амплитуды.

Для первого варианта (var1) можно видеть, что диаграмма О-С состоит из 3-х линейных участков 2456837-2456841, 2456842-2456846 и 2456847-2456855. В данном представлении есть неоднозначность в принадлежности точки 2456842, так как ее можно отнести к обеим линиям. На отрезке 2456847-2456855 наклон О-С соответствует периоду $0^d.1043$ - несколько меньшему, чем тот, который мы использовали для построения данной диаграммы.

Во втором варианте (var2) мы предположили возможный просчет на один цикл в интервале юлианских дат 2456837-2456839 и 2456847-2456855. В этом случае изменения О-С оказываются внутри более узкой полосы значений, чем в первом варианте. Обсуждение хода диаграммы О-С для обоих вариантов будет дано далее.

Из хода О-С для var1 можно сделать вывод, что во время сверхвысшики действовали три постоянных периода, один из которых был длиннее выбранного нами периода $P_{sh} = 0^d.10463(2)$, а два других - короче. По наклону графика О-С мы определили эти периоды: для участка 2456837-2456841 это $P_{sh} = 0^d.1090$, для 2456842-2456846 $P_{sh} = 0^d.1034$, для 2456847-2456855 $P_{sh} = 0^d.1043$. Для var2

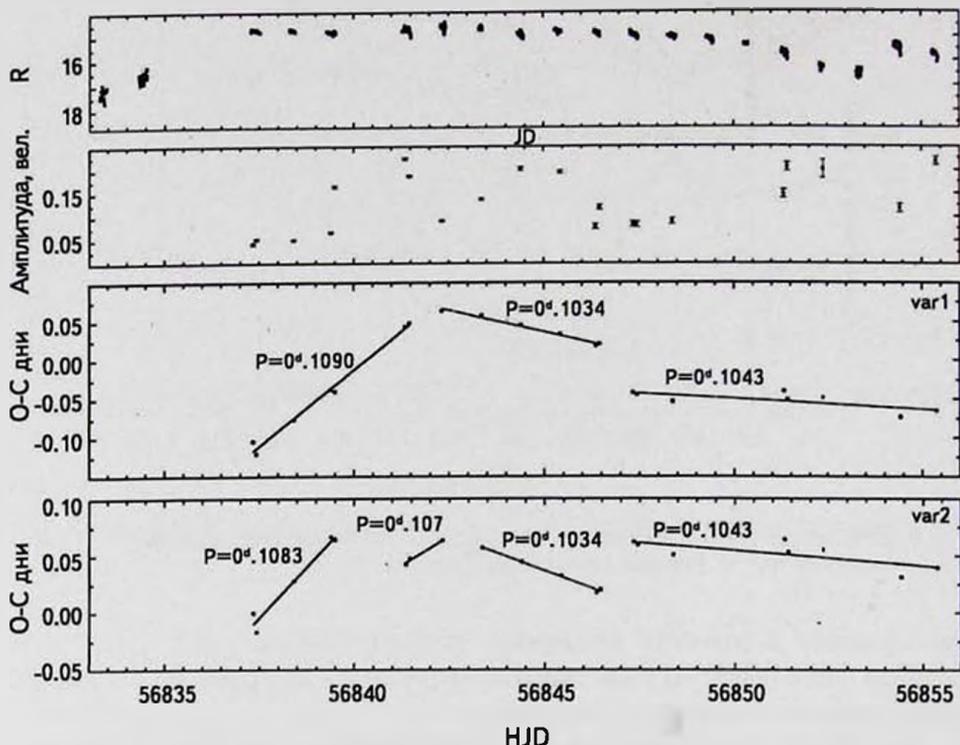


Рис.8. Сверху вниз: кривая блеска сверхвыспки; кривая изменения амплитуды сверхгорбов; оба варианта хода О-С максимумов сверхгорбов var1 и var2. Ошибки определения амплитуды соответствуют одному среднеквадратичному отклонению. На графиках О-С нанесены значения периодов, соответствующих линейной аппроксимации на данном участке.

периоды составили: на 2456837-2456839 - $P_{\text{дн}} = 0^{\text{д}}.1083$, 2456841-2456842 - $P_{\text{дн}} = 0^{\text{д}}.107$, 2456842-2456846 $P_{\text{дн}} = 0^{\text{д}}.1034$ и на 2456847-2456855 - $P_{\text{дн}} = 0^{\text{д}}.1043$.

Для определения действующих периодов, наличие которых предполагается по диаграмме О-С, был проведен частотный анализ для разных участков сверхвыспки. Результат показан на рис.9.

Самый сильный пик для данных участка сверхвыспки $JD = 2456837-2456841$ (прекурсор) соответствует периоду $0^{\text{д}}.1091(1)$, который совпадает со значением $0^{\text{д}}.1090$, определенным по наклону графика О-С. Пик на периоде $0^{\text{д}}.0984(1)$ является суточно-сопряженным для $0^{\text{д}}.109(1)$. Также наблюдаются пики для периодов $0^{\text{д}}.0933(1)$ и $0^{\text{д}}.1033(1)$, близкие к тем значениям, которые мы получили для данных, предшествовавших сверхвыспке.

На периодограмме участка сверхвыспки $JD = 2456842-2456846$ сильнейшие пики соответствуют периодам $0^{\text{д}}.0938(1)$ и его суточной гармонике $0^{\text{д}}.1034(1)$. Можно отметить, что данные пики также присутствовали на первом участке, хотя значимость их была меньше.

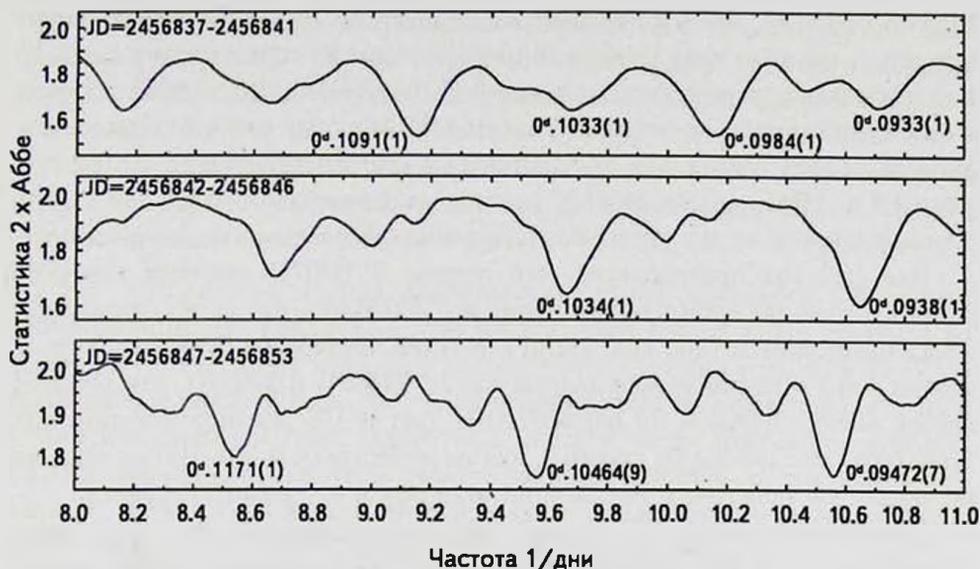


Рис.9. Периодограммы для сверхвыпрыски 2014г. На графиках указан диапазон юлианских дат, для которых проводился частотный анализ.

На участке $JD = 2456847 - 2456853$ доминируют пик, соответствующий $0^d.10464(9)$ и его суточные гармоники на периодах $0^d.1171(1)$ и $0^d.09472(7)$. Также стоит отметить, что добавление данных ночей $JD = 2456854$ и $JD = 2456855$ не изменяет периодограмму, из чего можно сделать вывод, что в эти даты действовал тот же период. Этот результат также согласуется с выводом из анализа О-С.

Таким образом, частотный анализ подтвердил наличие 3-х разных доминирующих периодов, с первой сменой периодов в точке изменения наклона диаграммы О-С $JD = 2456842$, соответствующей максимальному блеску сверхвыпрыски. Второй переход произошел в окрестности $JD = 2456846 - 2456847$.

6. Обсуждение. Здесь мы приводим возможные интерпретации полученных периодов для каждого из вариантов построения диаграммы О-С, а также рассматриваем их сильные и слабые стороны.

Для var1 мы предполагаем, что в течение 2456837-2456841 наблюдалась стадия А эволюции сверхгорбов с периодом $0^d.1091(1)$. В пользу вывода о наличии стадии А говорит сильное увеличение амплитуды сверхгорбов в этом интервале. Период $0^d.0938(1)$ на участке $JD = 2456842 - 2456846$ мы интерпретируем как период отрицательных сверхгорбов. В статье Павленко и др. [18] делалась оценка величины предполагаемого периода отрицательных сверхгорбов, которая составила $-0^d.094$, что хорошо согласуется с нашим результатом.

Можно отметить, что этот период наблюдался не только во время сверхвспышки, но и до нее. Период $0^d.10464(9)$ хорошо соответствует периоду положительных сверхгорбов на стадии В $0^d.104531(37)$, который был получен в более ранних работах по данной звезде [18]. Поэтому мы тоже определяем данный период как период положительных сверхгорбов стадии В. Так как ночи $JD = 2456854$ и $JD = 2456855$ также показывают данный период, то мы классифицируем их как повторное поярчание (ребрайтинг) сверхвспышки.

Для var2 мы предполагаем, что период $0^d.1091(1)$ является суточно-сопряженным для орбитального периода $0^d.097558(6)$, что также согласуется с маленькой амплитудой колебаний в течение прекурсора сверхвспышки. К стадии А мы относим только данные для $JD 2456841$ и 2456842 , для которых грубая оценка периода по наклону О-С дает $0^d.107$. Данное значение мы принимаем как период на стадии А или на переходе от А к В. Интерпретация периодов для остальных участков не отличается от первого варианта.

Длительность стадии А для var1 находится в пределах от 4 до 8 дней, в зависимости от того, считать ли две первые ночи данного участка частью стадии А. Данная длительность соответствует количеству циклов от 36 до 73. Для var2 длительность стадии А будет ~ 10 циклов. Однако возможно, что стадия А началась раньше, но данную частоту на периодограмме перекрывала гармоника орбитального периода или его суточно-сопряженная. Считается, что длительность стадии А характеризует силу приливного взаимодействия в системе, чем длиннее стадия А, тем меньше приливные силы [20].

Так как участок стадии В является линейным, то величина изменения периода P_{det} близка к нулю.

Кривые блеска, полученные в течение 4 ночей, которые мы в var1, относим к стадии А сверхвспышки 2014г., можно увидеть на рис.6 (графики (1), (2), (6) и (7)).

6.1. Отношение масс. В предположении, что наша интерпретация верна и мы выделили стадию А, можно оценить отношение масс компонент системы для обоих вариантов значения периода.

Для получения оценки отношения масс компонент в двойной системе $q = M_2/M_1$, использовались формулы, приведенные в статье Като и Осаки [6]:

$$\varepsilon = (P_{\text{sh}} - P_{\text{orb}})/P_{\text{orb}}, \quad (1)$$

$$\varepsilon^* = 1 - P_{\text{orb}}/P_{\text{sh}}, \quad (2)$$

$$q = -0.0016 + 2.60\varepsilon^* + 3.33(\varepsilon^*)^2 + 79.0(\varepsilon^*)^3. \quad (3)$$

Величина ε показывает избыток периода сверхгорбов. В качестве значения P_{sh} брался период на стадии А, так как на этой стадии можно пренебречь

эффектом давления газа в аккреционном диске [5]. Для var1 бралось значение $0^d.1091(1)$, а для var2 - $0^d.107$. В качестве орбитального периода мы берем значение $0^d.097558(6)$ и получаем следующие величины: 1.) для var1 $\epsilon = 0.118$, $\epsilon^* = 0.106$, $q = 0.404$; для var2 $\epsilon = 0.097$, $\epsilon^* = 0.088$, $q = 0.308$.

Мы также определили величины ϵ для положительных сверхгорбов стадии В и отрицательных сверхгорбов. Их значения составили $\epsilon = 0.072$ и $\epsilon = -0.038$, соответственно.

6.2. Сравнение с результатами других авторов. В первой интерпретации диаграммы O-C var1 мы получаем длительность стадии А на уровне 36-ти или более циклов, что согласуется с предположением о слабом приливном взаимодействии. Это предположение также подкрепляется наличием у данной системы "широких" нормальных вспышек, не достигнувших приливной неустойчивости [18]. Минусом данного варианта является то, что получаемое по нему значение q является очень большим. Однако данное значение также может быть связано со слабым приливным взаимодействием в системе.

Плюсом второго варианта var2 является меньшее значение q , которое не выходит за пределы ограничения $q \sim 0.33$ [21]. Слабой стороной данной интерпретации является малая продолжительность стадии А ~ 10 дней, что противоречит предположению о слабом приливном взаимодействии. Однако можно предположить, что длительность стадии А была больше, но из-за

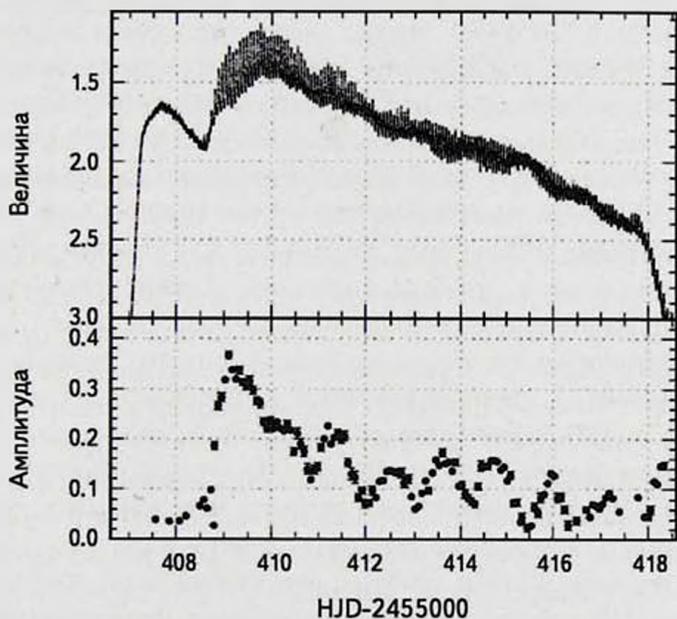


Рис.10. Кривая блеска сверхвспышки и эволюция амплитуды сверхгорбов V1504 Суг по данным телескопа Кеплер. Июль-Август 2010г.

малой амплитуды сверхгорбов ее не удалось обнаружить на фоне орбитальной переменности.

Одной из основных проблем выбора между двумя полученными результатами является близость периода сверхгорбов стадии А для $\text{var1} \sim 0^{\text{d}}.109$ и суточной гармонике орбитального периода $\sim 0^{\text{d}}.108$. Из-за этого, мы не можем сделать однозначный выбор одного из двух вариантов и приводим оба как правдоподобные возможности.

Что касается особенностей изменения амплитуды сверхгорбов, подобные особенности были обнаружены у системы типа SU UMa V1504 Cug по наблюдениям на космическом телескопе Кеплер [22] (рис.10).

На данном рисунке можно видеть, что рост амплитуды происходит быстрее, чем за сутки. Падение амплитуды от $0^{\text{m}}.36$ до $0^{\text{m}}.24$ также происходит менее чем за сутки. Таким образом, мы видим, что особенности изменения амплитуды сверхгорбов у NY Ser и V1504 Cug схожи.

Для разных вариантов описания диаграммы O-C нами были получены соответствующие величины q . Значение для var1 находится несколько выше предела отношения масс, при котором теоритически возможен резонанс 3:1 $q \sim 0.33$ [21], а значение для var2 не выходит за границы данного предела. Далее мы решили сравнить полученные нами результаты $q = 0.404$ и $q = 0.308$ с другими звездами типа SU UMa, попадающими в "пробел" периодов. Для звезды V1006 Cug значение q было определено в пределах от 0.26 - 0.34, для MN Dra - 0.258(5) - 0.327(5) [23]. Можно видеть, что у обеих звезд отношение масс близко к пределу стабильности резонанса 3:1. Также стоит отметить большую продолжительность стадии А (в var1) у звезды NY Ser от 36-ти или более циклов, что соотносится со значениями для звезд V1006 Cug - 32-го цикла и MN Dra - 18-39 циклов [23]. Такая продолжительность объясняется медленным ростом резонанса для долгопериодических систем типа SU UMa [20].

Для рассмотрения полученных значений q и ϵ , точки для известных значений q и ϵ звезд в "пробеле периодов", а также полученные нами значения, были добавлены к оригинальным данным из статьи Паттерсона и др. [24], где значения q и ϵ получены независимо друг от друга. Результат представлен на рис.11. Данные для звезд в "пробеле периодов" взяты из статьи Като и др. [23], также были нанесены точки, полученные для звезды NY Ser в данной работе. Для звезды MN Dra были нанесены обе пары значений. Для NY Ser мы нанесли оба варианта значений q и ϵ , полученных нами. Стоит учесть, что данные, взятые из работы Като и др. [23], рассчитывались по формуле Като и др. [5], поэтому они могут иметь сдвиг. На графике видно, что добавленные значения хорошо ложатся на прямую, из чего мы можем сделать вывод, что обе пары полученных нами значений q и ϵ не выбиваются из общей зависимости. Также было проверено, как

полученные нами величины ложатся на зависимость $\log \epsilon$ от $\log P_{\text{orb}}$, представленную в работе [25]. Оба наших значения ϵ попадают выше линейной аппроксимации, однако значение $\text{var}2$ имеет меньшее отклонение.

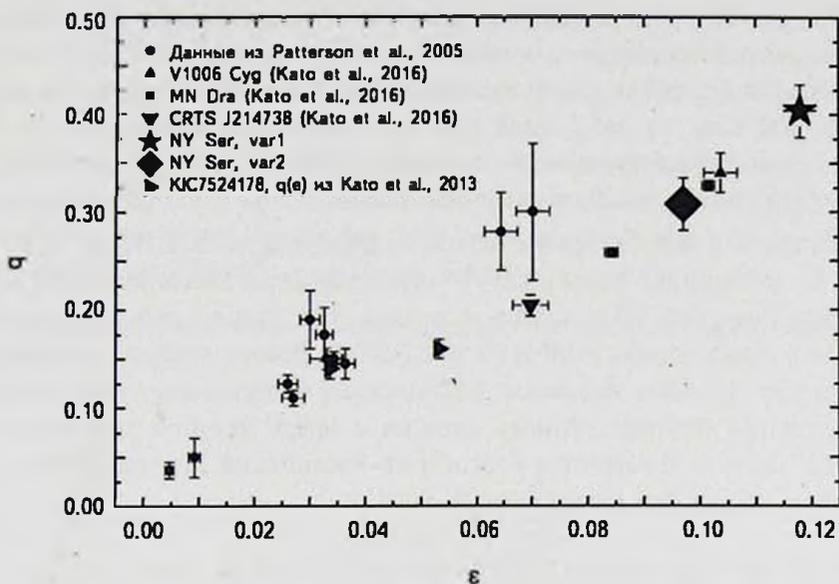


Рис.11. Зависимость q от ϵ , построенная по данным из работы Паттерсона и др. [24] и дополненная новыми данными для звезд в "пробеле периодов".

Похожий результат получается при нанесении наших точек на зависимость q от P_{orb} , представленную в работе [26]. Здесь данные $\text{var}2$ ложатся на теоретическую кривую, а данные для $\text{var}1$ лежат немного выше нее.

Для уверенного определения стадии А необходимы детальные многодолготные наблюдения на разных этапах развития сверхвспышки.

7. Выводы. Нами была проведена кампания по наблюдениям звезды NY Ser в 2014 и 2016 гг., позволившая получить уникальные наблюдения данной звезды как во время сверхвспышки, так и во время нормальных вспышек.

Впервые была построена диаграмма хода О-С максимумов сверхгорбов для сверхвспышки у данной звезды. Получено 2 варианта интерпретации диаграммы О-С, имеющие свои сильные и слабые стороны. Во время сверхвспышки была впервые выделена стадия А, а также впервые обнаружены отрицательные сверхгорбы. Были измерены периоды сверхгорбов для всех обнаруженных стадий в 2-х вариантах интерпретации. Стадия А: для $\text{var}1$ $P_{\text{sb}} = 0^{\text{d}}.1091(1)$, для $\text{var}2$ $P_{\text{sb}} = 0^{\text{d}}.107$. Средний период отрицательных сверхгорбов составил $0^{\text{d}}.0938(1)$, средний период положительных сверхгорбов стадии В - $0^{\text{d}}.10464(9)$. Были получены величины избытка периода сверхгорбов на стадии

В $\varepsilon = 0.072$ и дефицита периода отрицательных сверхгорбов $\varepsilon = -0.038$.

Для обоих вариантов хода О-С были получены величины избытка периода сверхгорбов на стадии их роста: $\varepsilon = 0.118$, $\varepsilon^* = 0.106$ (для var1) и $\varepsilon = 0.097$, $\varepsilon^* = 0.088$ (для var2). Соответствующие оценки отношения масс для каждого их 2-х вариантов составили $q = 0.404$ и $q = 0.308$.

Было показано, что характер изменения амплитуды сверхгорбов схож со звездой V1504 Cyg.

Также было показано наличие у данной системы нормальных вспышек как типа "outside-in", так и типа "inside-out".

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 частично выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-32-50096. Работа частично выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (3.9780.2017/8.9). О.И.Антонюк благодарит Российский Научный Фонд за финансовую поддержку (грант N14-50-00043).

¹ ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) Федеральный Университет", 420008, Кремлевская 18, Казань, Россия, e-mail: ssklyanov@yandex.ru

² ФГБУН "Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН", 298409, пгт. Научный, Крым, Россия, e-mail: eppavlenko@gmail.com

³ Apache Point Observatory, New Mexico State University, 2001 Apache Point Road, P.O. Box 59, Sunspot, New Mexico 88349-0059, USA

⁴ Академия наук Республики Татарстан, 420111, ул. Баумана, 20, Казань, Россия

NY Ser: OUTBURST ACTIVITY AND MULTI-PERIODIC PROCESSES ON DIFFERENT STAGES IN 2014 AND 2016

A.S.SKLYANOV¹, E.P.PAVLENKO², O.I.ANTONYUK³, A.A.SOSNOVSKIY³,
V.P.MALANUSHENKO³, N.V.PIT², K.A.ANTONYUK²,
A.N.KHAIRUTDINOVA¹, Yu.V.BABINA², A.I.GALEEV^{1,4}

The paper presents the results of observation campaigns of dwarf nova NY Ser, which took place in 2014 and 2016 years. In total, we obtained data from 126 nights in 2014, which includes 20 normal outbursts and one superoutburst, and 22 nights in 2016, which includes 5 normal outbursts. Using the profile of normal outbursts

light curves the presence of "outside-in" type outbursts, as well as "inside-out" type outbursts was demonstrated in this system. On different stages of outburst activity (quiescent stage, normal outbursts and superoutburst) NY Ser showed brightness variability with different periods. In "quiescent" stage and normal outbursts orbital period $0^d.097558(6)$ was dominating. During superoutburst we distinguished two stages of superhump evolution: stage of growth of tidal instability in accretion disk (A) and stage of developed superhumps (B). Stage A for NY Ser was distinguished for the first time, but her length and period were not firmly established. On stage B positive superhumps were registered with mean period of $0^d.10464(9)$ and period excess of $\epsilon = 0.072$ and, for the first time, negative superhumps were registered with mean period of $0^d.0938(1)$ and period deficit of $\epsilon = -0.038$.

Key words: *NY Ser: cataclysmic variables: negative superhumps: superhump evolution: accretion*

ЛИТЕРАТУРА

1. B.Warner, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **226**, 187, 1995.
2. J.Smak, *Acta Astronomica*, **34**, 161, 1984.
3. C.Knigge, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **373**, 484, 2006.
4. Y.Osaki, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **108**, 39, 1996.
5. T.Kato, A.Imada, M.Uemura et al., *Publ. Astron. Soc. Japan*, **61**, S395, 2009.
6. T.Kato, Y.Osaki, *PASJ*, **65**, 115, 2013.
7. Y.Osaki, T.Kato, *PASJ*, **65**, 95, 2013.
8. D.Harvey et al., *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **107**, 551, 1995.
9. J.Patterson et al., *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **109**, 468, 1997.
10. M.A.Wood, C.J.Burke, *Astrophys. J.*, **661**, 1042, 2007.
11. T.Ohshima et al., *PASJ*, **64**, L3, 2012.
12. M.Still et al., *ApJL*, **717**, L113, 2010.
13. T.Ohshima et al., *PASJ*, **66**, 67, 2014.
14. R.F.Green, D.H.Ferguson, J.Liebert et al., *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **94**, 560, 1982.
15. R.F.Green, M.Schmidt, J.Liebert, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **61**, 305, 1986.
16. D.Nogami, T.Kato, H.Baba et al., *PASJ*, **50**, L1, 1998.
17. J.Patterson et al., *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **115**, 1308, 2003.
18. E.P.Pavlenko et al., *PASJ*, **66**, 111, 2014.
19. R.F.Stellingwerf, *Astrophys. J.*, **224**, 953, 1978.
20. T.Kato et al., *PASJ*, **66**, 90, 2014.
21. J.Murray, B.Warner, D.Wickramasinghe, *New Astron. Rev.*, **44**, 51, 2000.
22. Y.Osaki, T.Kato, *PASJ*, **65**, 50, 2013.

23. *T.Kato et al.*, PASJ, 68, 65, 2016.
24. *J.Patterson et al.*, Publ. Astron. Soc. Pacif., 117, 1204, 2005.
25. *M.Otulakowska-Hupka, A.Olech, J.Patterson*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 460, 2526, 2016.
26. *J.Patterson, J.R.Thorstensen, J.Kemp*, Publ. Astron. Soc. Pacif., 117, 427, 2005.