

УДК: 524.337.7

МНОГОЦВЕТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ НОВОЙ ЯЩЕРИЦЫ
1910г. = DI LAC В 1962-2002гг.Е.П.ПАВЛЕНКО¹, Н.В.ПРИМАК², С.Ю.ШУГАРОВ³

Поступила 25 апреля 2002

Принята к печати 20 мая 2002

Нами представлен анализ поведения новой DI Lac спустя 52 года после вспышки в течение последующих 40 лет. Подобно карликовым новым, DI Lac демонстрирует вспышечную активность с характерным временем 36 суток и амплитудой около $0^m.6$. Профиль вспышки асимметричный, возрастание блеска длится около пяти дней, ослабление - около двадцати. Между основными вспышками иногда происходят более короткие. По поведению вспышек на диаграммах звездная величина - цвет их можно разделить на три типа. Восходящая и нисходящая ветви вспышек первого типа на диаграммах практически совпадают, второго типа - описывают петли против часовой стрелки, а третьего - петли по часовой стрелке. Первый и второй типы вспышек можно объяснить в рамках теории тепловой неустойчивости как возникающие вначале во внешних и внутренних частях аккреционного диска соответственно. Природа третьего типа вспышек пока неясна.

1. *Введение.* DI Lacertae как новая звезда была обнаружена Еспиным [1] в 1910г. В максимуме она достигла $4^m.3$ в полосе *B* [2]. Амплитуда ее вспышки была сравнительно невелика - около 11^m . Орбитальный период же, согласно Риттеру [3], а также Горанскому и др. [4], наоборот, находится в "долгопериодическом" хвосте распределения катаклизмических переменных по орбитальным периодам (около 0.5 суток). Спустя несколько десятков лет звезда заинтересовала исследователей тем, что у нее были обнаружены короткопериодические - с характерным временем 40 суток - поярчания, напоминающие вспышки карликовых новых, но с меньшей, чем у карликовых новых, амплитудой около $0^m.5$. Это открытие было сделано независимо Хонейкуттом и др. [5,6] и Шугаровым с Липатовым [7]. Подобная активность известна также и для небольшого числа других новых в послевспышечной стадии. GK Per, например, вспыхивает примерно раз в 14400 сут. [8], Q Cyg - ~ каждые 60 сут. [9], V841 Oph - через 35 сут., а V446 Her - через 22 сут. [5]. Длина цикла может быть довольно устойчивой некоторое время, а затем нарушаться. В течение указанных циклов могут также наблюдаться вспышки с гораздо меньшими амплитудами.

Такое поведение "состарившихся" новых предсказывается сценарием эволюции классических новых между вспышками, происходящими раз в 10^4 - 10^5 лет [10-13]. Напомним, что явление новой происходит в тесной двойной системе, состоящей из белого карлика и вторичного компонента

позднего спектрального класса, заполнившего свою полость Роша и теряющего вещество на белый карлик. В соответствии со сценарием, белый карлик претерпевает термоядерный взрыв, после чего его поверхность остается горячей еще сотню лет. Горячий (100 000 К) белый карлик нагревает обращенную к нему сторону вторичного компонента, что способствует поддержанию повышенной скорости потери вещества. После остывания белого карлика и прекращения подогрева вторичного компонента, последний несколько сжимается, уходит под полость Роша и потеря вещества им существенно уменьшается (если не прекращается вовсе). По выражению Ливлио [11], новая входит в так называемое состояние "спячки". Этот этап эволюции может длиться тысячи лет. Далее, гравитационное излучение и/или магнитное торможение приводит к заполнению вторичным компонентом полости Роша и увеличению скорости потери вещества. Вокруг белого карлика формируется аккреционный диск, и, если в нем создадутся условия для тепловой неустойчивости (температура внешних частей диска будет ниже температуры ионизации водорода) [14], такой диск будет циклически вспыхивать, т.е., будут наблюдаться вспышки типа карликовых новых. Шрейбер и др. показали, что определяющими здесь являются два фактора: температура белого карлика и скорость переноса вещества [15].

Так будет продолжаться до тех пор, пока давление и температура во внешних частях белого карлика, сформированных из аккреционного материала, обогащенного водородом, не достигнет критической величины и не запустит следующую термоядерную вспышку.

Насколько хорош данный сценарий, должны показать детальные и длительные наблюдения разных классических новых спустя десятки лет после взрыва. Опыт показывает, что количество старых классических новых, вступивших в "стадию карликовых новых", очень мало, но и они изучены недостаточно. До сих пор лучше всего исследованы только GK Per [16] и V446 Her [6].

В данной работе мы представляем многоцветное фотометрическое исследование поведения DI Lac с 1962г. по 2002г. Целью работы является детальное изучение вспыхивающей активности звезды на 40-летнем интервале, профилей вспышек и их развитие на диаграммах звездная величина-цвет.

2. Наблюдения. В разные годы 40-летнего интервала наблюдений, по мере развития светоприемной аппаратуры, фотометрия DI Lac проводилась различными методами: фотографическим, фотоэлектрическим и с помощью ПЗС-камеры в цветовых полосах *UBVRI*, близких к системе Джонсона и Моргана.

Информация о наблюдениях дана в табл.1, где в первом столбце указан интервал времени наблюдений, во втором - телескоп, затем *N* - количество измерений для данного метода регистрации изображений,

Таблица 1

Дата	Телескоп	<i>N</i>	Цв. система	Детектор
1962-1991	40-см астрограф	134	<i>Phg</i>	ORWO ZU-2
1991-1995	Цейсс-600, Крым	всего	<i>UBV</i>	Phe
	АЗТ-2, 70-см, Москва	343x3	<i>UBV</i>	Phe
2001-2002	Цейсс-600, Крым	всего	<i>BVRI</i>	ПЗС ST-7
	К-380, Крым	443	<i>BVRI</i>	ПЗС ST-8

цветовая система и, наконец, светоприемник.

Поисковая карта окрестностей с указанием звезд сравнения приведена в каталоге Черепашука и др. [17]. Фотографические измерения осуществлялись относительно звезд сравнения "а", "b", "с", "d", "е", "z" в окрестности DI Lac в полосе, близкой к *B*. Одновременные фотоэлектрические наблюдения в полосах *UBV* выполнялись относительно звезды "H", а *BVRI* ПЗС-наблюдения - относительно звезды "а".

Время экспозиции зависело от телескопа и приемника изображения. Типичная экспозиция при фотографических наблюдениях была 4-5 мин, для фотоэлектрических - 2-3 мин, а для наблюдений с ПЗС - 1-3 мин. Точность измерений для фотоэлектрических наблюдений определялась по статистике квантов и была равна $0^m.01 - 0^m.03$ в полосах *B*, *V* и $0^m.05$ в полосе *U*. Точность регистрации фотографических изображений и изображений, полученных в ПЗС, определялась по разности контрольной звезды и звезды сравнения и составляла $0^m.15 - 0^m.20$ (фотография), $0^m.01 - 0^m.04$ (ПЗС). Заметим, что при фотоэлектрических наблюдениях показатели цвета *U-B*, *B-V* определялись одновременно, привязка к звезде сравнения осуществлялась раз в несколько десятков минут. Показатели цвета при наблюдениях с ПЗС вычислялись при последовательных измерениях звезды в полосах *BVRI* с минимальной разницей во времени, составлявшей не более 5 мин. Звезда сравнения же регистрировалась одновременно с переменной, так как она попадала в поле зрения как ПЗС ST7 на телескопе Цейсс-600, составлявшее ($5' \times 4'$), так и в поле зрения ПЗС ST8 на телескопе К-380 ($10' \times 8'$). В данной работе мы приводим редуцированные к системе Джонсона величины *U-B*, *B-V* и относительные (с произвольным нуль-пунктом) величины *V-R* и *V-I*.

3. *Вспышечная активность.* Все три светоприемника дают нам возможность проследить долговременное - на 40-летнем интервале - поведение звезды в спектральной полосе *B*, на 10-летнем интервале - в полосе *V*. По фотографическим измерениям яркость DI Lac в 1962-1991гг. колеблется в среднем от 15^m до $14^m.3$. На рис.1 приведены шесть кривых блеска для нескольких лет наблюдений с 1983г. по 1989г. Поскольку звезда фотографировалась не непрерывно, трудно проследить за эволюцией вспышечной активности на этом интервале времени. В

1987г. вообще не было замечено сколько-нибудь значимых поярчений, но очень вероятно, что они как раз пришились на пропуски в наблюдениях.

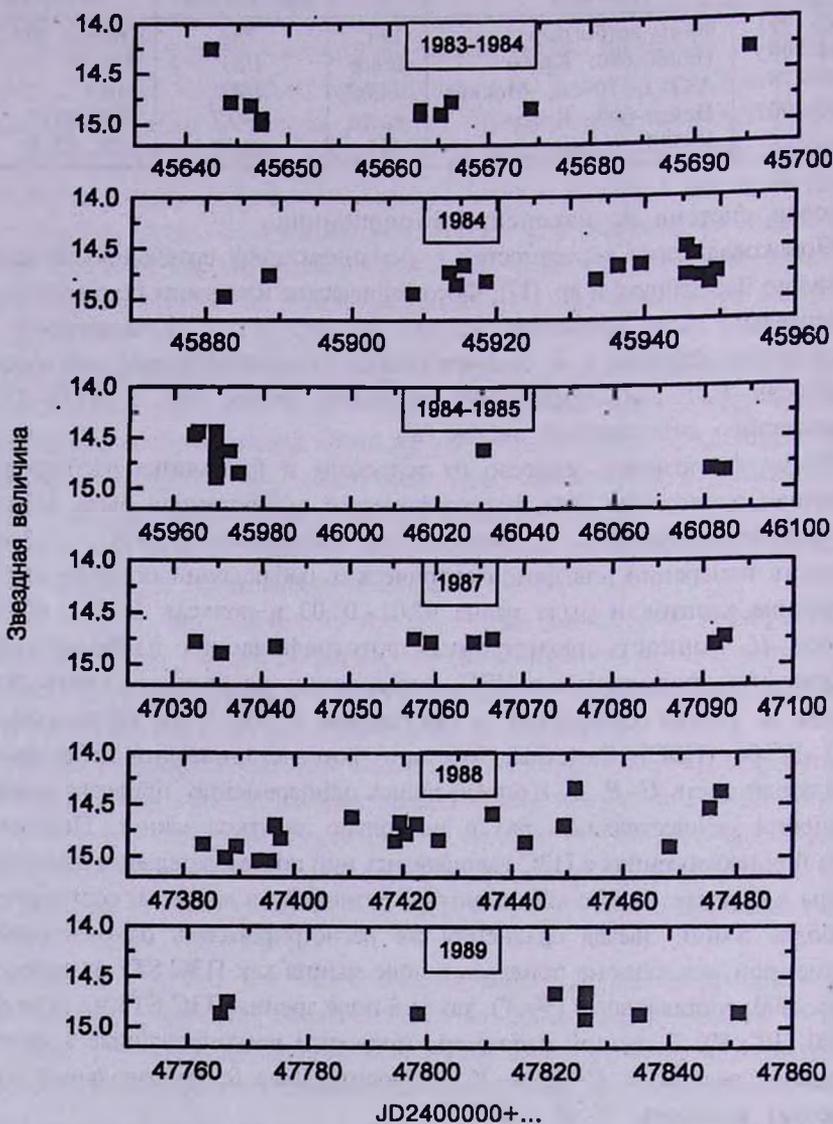


Рис.1. Некоторые кривые блеска по фотографическим измерениям, приведенным к полосе В. Каждая точка - результат усреднения нескольких измерений за ночь.

На рис.2 приведены наиболее плотные фотоэлектрические ряды наблюдений звезды в полосах *UBV* для 1991-1992гг. Максимальная (средняя за ночь!) яркость в полосе В достигала $14^m.5$, а минимальная - $15^m.1$, что сравнимо с данными фотографических измерений. Строго в этом же диапазоне колеблется и средняя яркость звезды в полосе В по измерениям с ПЗС десятью годами позже. На рис.3 показаны кривые блеска в полосах

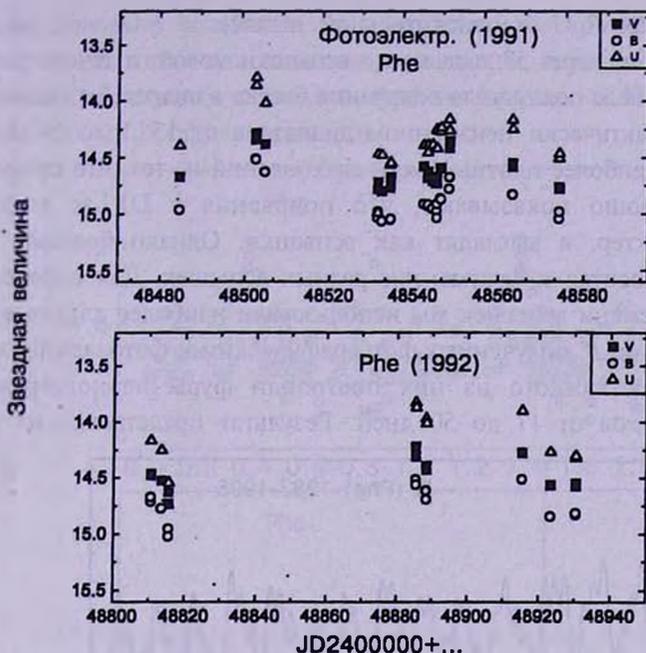


Рис.2. Некоторые кривые блеска по фотоэлектрическим наблюдениям в полосах *UBV*. Приведены средние оценки блеска за ночь.

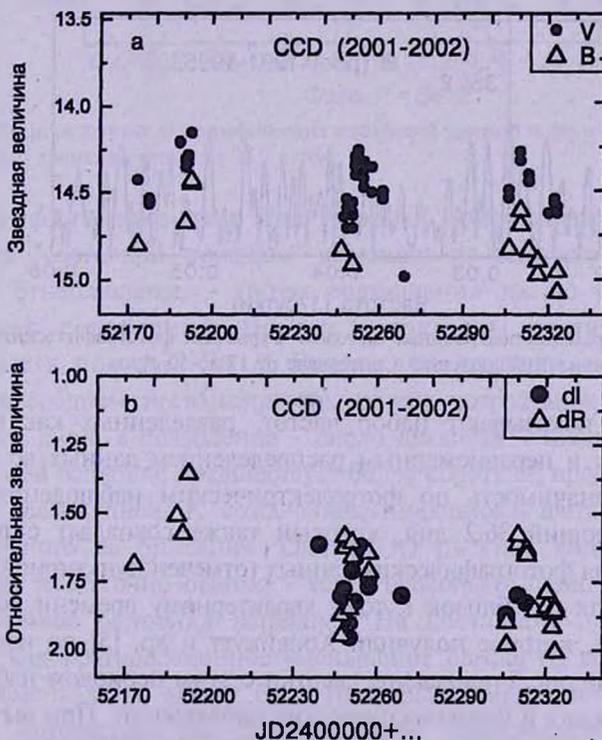


Рис.3. Кривые блеска по ПЗС-наблюдениям в полосах *BVRI*. Данные в *B* и *V* приведены к системе Джонсона и Моргана, а в *R* и *I* - в относительных звездных величинах.

B , V и в полосах R , I (в относительной шкале).

Таким образом, через 52 года после вспышки новой, в течение последующих 40 лет DI Lac показывала поярчания блеска в полосе B с амплитудой около $0^m.6$ в практически неизменном диапазоне от $15^m.1$ до $14^m.5$.

Некоторые наиболее плотные ряды наблюдений из тех, что приведены на рис.1-3, хорошо показывают, что поярчания у DI Lac носят не случайный характер, а выглядят как вспышки. Однако большая часть наблюдений относится к фрагментам разных вспышек. Для определения характерного времени вспышек мы использовали наиболее длинные ряды из данных в полосе B , полученных фотографическим и фотоэлектрическим методами, и для каждого из них построили фурье-периодограмму в интервале периодов от 17 до 50 дней. Результат представлен на рис.4.

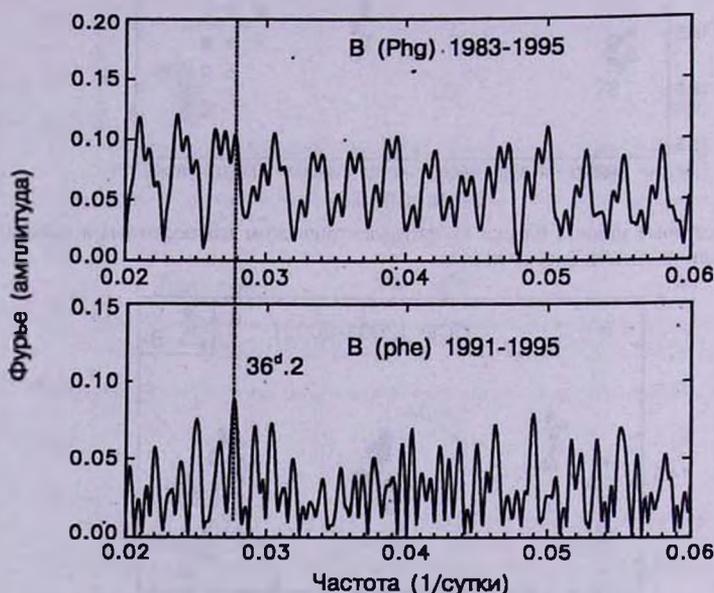


Рис.4. Периодограммы, построенные методом Фурье для фотографических (вверху) и фотоэлектрических (внизу) наблюдений в интервале от 17 до 50 суток.

Периодограммы показывают набор частот, разделенных как годичной скважностью, так и неравномерным распределением данных во времени. Максимальную значимость по фотоэлектрическим наблюдениям имеет пик, соответствующий 36.2 дня, который также совпадает с пиком на периодограмме для фотографических данных (отмечен пунктирной линией). Этот результат как раз близок к тому характерному времени вспышек у DI Lac (40 суток), которое получили Хонейкутт и др. [5] по измерениям с ПЗС в 1993г. На рис.5 приведены свертки с этим периодом наблюдений для фотографических и фотоэлектрических наблюдений. При вычислении фаз взята одна и та же начальная эпоха $JD = 2447798.4$. Несмотря на большое рассеяние точек, свертки показывают, что характерное время

вспышек довольно устойчиво на протяжении нескольких десятков лет. Однако, из-за того, что вспышки происходят именно с характерным временем, а не строгим периодом, фазовая кривая не может объективно отражать форму профиля вспышки.

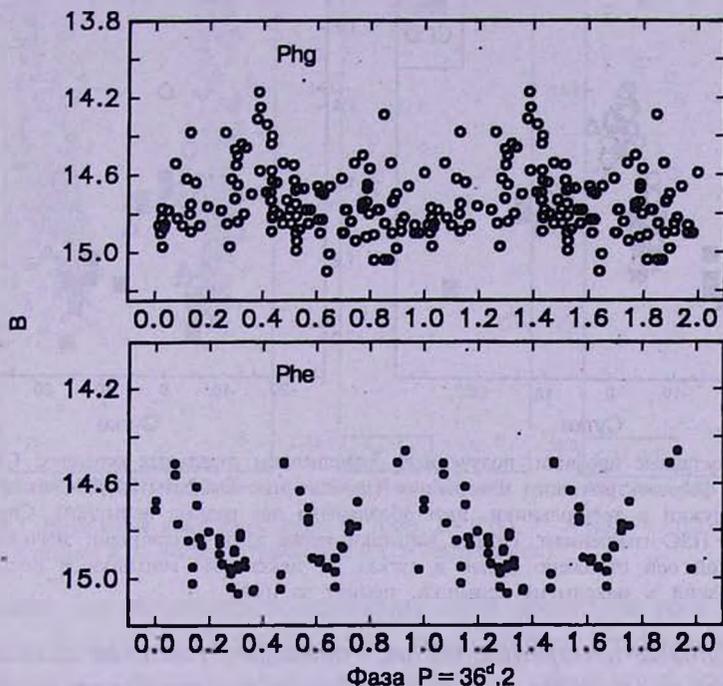


Рис.5. Свертки данных фотографических измерений (вверху) и фотозлектрических (внизу) с характерным временем вспышек 36.2 суток.

4. *Профиль вспышек.* Для решения этой задачи мы попытались воссоздать "составной профиль" вспышки из тех, что были наиболее детально отнаблюдены, - путем совмещения их по оси времени до наилучшего совпадения. На рис.6 показаны составные профили, полученные в полосах *V* и *R*. Похоже, что профиль вспышки в обеих полосах в среднем несимметричен: резкое возрастание яркости длится около пяти дней, а ослабление - около двадцати. Можно предположить, что основной вспышке предшествует более короткая, продолжительностью не более десяти дней. К сожалению, имеющихся данных недостаточно для детального ее описания. Однако из рисунка видно, что ее спад происходит достаточно быстро - всего несколько дней, после чего сразу же начинается основная вспышка. На составном профиле (*V*) это выглядит как кратковременное уменьшение блеска на восходящей ветви, и этот момент легко может быть пропущен наблюдателями, а профиль вспышки истолкован как симметричный, синусоидоподобный (как и было отмечено Хонейкуттом и др.). С другой стороны, возможно и сам

основной профиль имеет непостоянную форму, и предвспышка не всегда ему сопутствует. Разрешить этот вопрос нам представляется возможным только усилиями длительного многодолготного мониторинга.

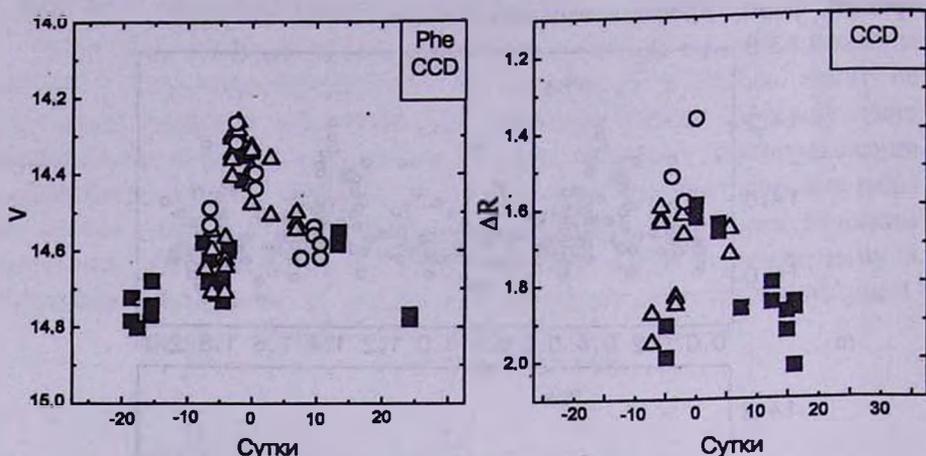


Рис.6. Составные профили, полученные совмещением отдельных вспышек. Слева: в полосе V по фотоэлектрическим измерениям (заполненные квадраты) и ПЗС-измерениям (открытые кружки и треугольники, ими обозначены две разные вспышки). Справа: в полосе R по ПЗС-измерениям. Разные вспышки также даны различными значками. По горизонтальной оси отложено время в сутках до максимума вспышки и после нее. Момент, близкий к максимуму вспышки, принят за нуль.

5. *Цветовые измерения.* На рис.7 приведено изменение показателей цвета $U-B$, $B-V$, $V-R$, $V-I$ с изменением яркости в полосе V . Для получения зависимости использованы все имеющиеся данные, полученные с помощью электрофотометра и ПЗС. Видно, что DI Lac в целом более голубая в максимуме вспышки и более красная в минимуме, однако в разных цветовых полосах это происходит по-разному. При уменьшении яркости показатель цвета $U-B$ уменьшается в среднем от $-0^m.7$ до $-0^m.5$, рассеяние точек увеличивается от $0^m.2$ до $0^m.4$. Показатель цвета $B-V$ по фотоэлектрическим данным практически не изменяется по мере ослабления вспышки, он заключен внутри полосы $0^m.15 - 0^m.4$. Данные, полученные с ПЗС, совпадают с фотоэлектрическими только частично: они показывают небольшое покраснение от $0^m.25$ (в максимуме вспышки) до $0^m.45$ (ослабев наполовину), а затем изменяется в пределах от $0^m.3$ до $0^m.5$. Относительная величина показателя цвета $V-R$ показывает большое рассеяние в течение почти всего развития вспышки, изменяясь примерно на $0^m.5$, но в минимуме звезда и здесь более красная. Аналогично ведет себя и показатель цвета $V-I$, его покраснение с ослаблением блеска еще более ярко выражено, чем для $V-R$.

Полосы рассеяния на диаграммах могут быть вызваны тем, что показатели цвета для восходящих и нисходящих ветвей вспышек не

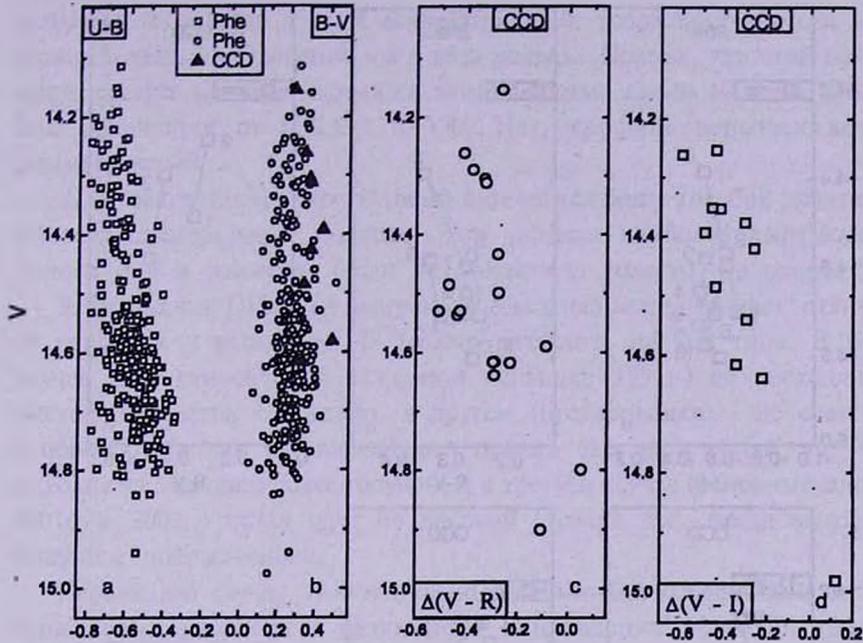


Рис.7. Изменение показателя цвета $U-B$ (a), $B-V$ (b), $V-R$ (c), $V-I$ (d) с изменением яркости в полосе V по фотоэлектрическим и ПЗС-измерениям.

совпадают. Для детального исследования этого эффекта из всех данных мы выбрали только наиболее плотные ряды фотоэлектрических и ПЗС наблюдений, которые наилучшим образом описывают вспышки, и рассмотрели их поведение на диаграммах звездная величина - показатель цвета в хронологическом порядке. Таких вспышек оказалось три: первая наблюдалась в 1991г. фотоэлектрически между JD2448530 и JD2448575, вторая и третья - с помощью ПЗС в 2001г. (JD2452243-2452270) и в 2002г. (JD2452305-2452325) соответственно. Поведение первого события, включающего в себя предвспышку и основную вспышку, показано на диаграммах V , $U-B$ и V , $B-V$ (рис.8, а-б). Видно, что предвспышка (точки 1-6) на обеих диаграммах описывает петлю против часовой стрелки: звезда входит во вспышку более красной, а возвращается - более голубой. В обоих случаях "ширина" вспышки, т.е., диапазон изменения показателя цвета не превосходит $0^m.1$. Основная вспышка на обеих диаграммах практически не описывает петли. Любопытно, что другая основная вспышка в координатах V , $B-V$, наблюдавшаяся 11-ю годами позже, с помощью CCD, описывает петлю по часовой стрелке (точки 1-4 на рис.8с) шириной $0^m.15$. Эта вспышка развивается по часовой стрелке и на диаграмме V , $V-R$ (точки 1-6 на рис.8d), где $V-R$ изменяется в пределах $0^m.2$. Вспышка 2001г. лучше всего представлена на диаграмме V , $V-I$ (см. рис.8е). Она также описывает петлю по часовой стрелке (из общего хода, однако, выпадает точка "3" с изменением $V-I$ на $0^m.5$).

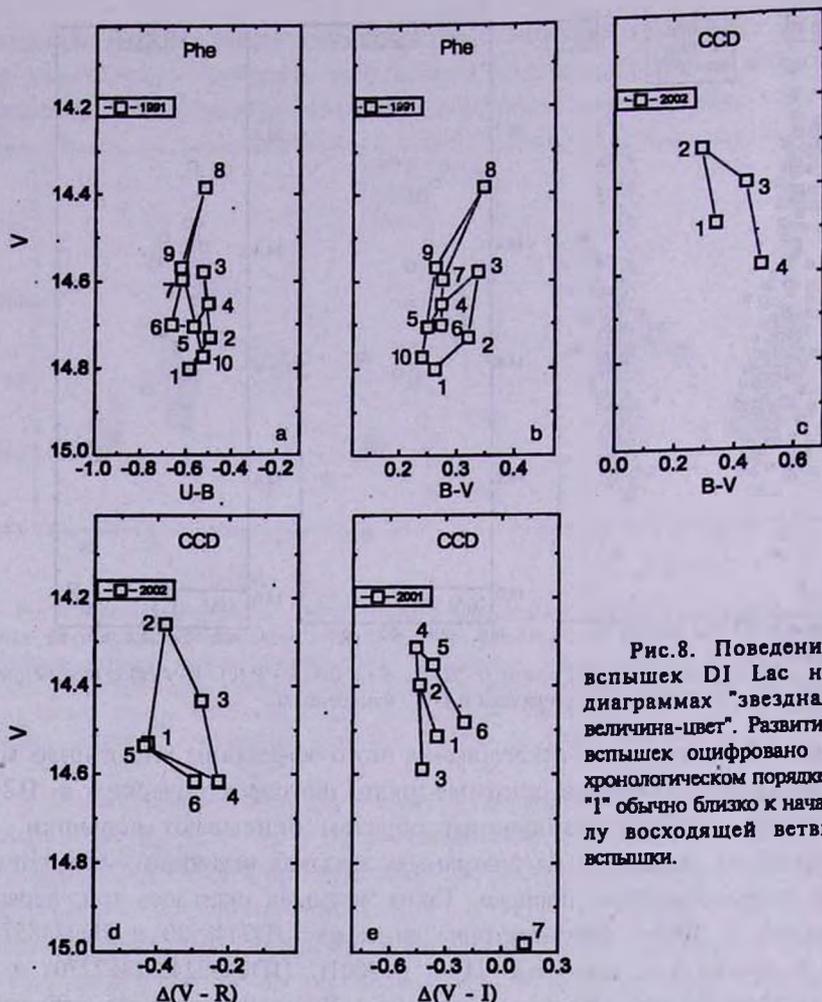


Рис.8. Поведение вспышек DI Lac на диаграммах "звездная величина-цвет". Развитие вспышек оцифровано в хронологическом порядке, "1" обычно близко к началу восходящей ветви вспышки.

Возможно ли объяснить такое необычное поведение вспышки каким-нибудь инструментальным эффектом, например, эффектом Форбса (DI Lac в 2002г. наблюдалась на низких воздушных массах)? Очевидно, нет. Звезда сравнения "а", использовавшаяся при ПЗС-наблюдениях, согласно базе данных SIMBAD, где обозначена как "HN95 DI Lac-12", имеет показатель цвета $B-V=0^m.75$. Т.е. она не настолько краснее новой, чтобы на низких воздушных массах эффект Форбса оказался соизмеримым с наблюдаемой шириной петли. Кроме того, другая "обратная" петля получена и в условиях наблюдений DI Lac в 2001г. на минимальной воздушной массе.

6. Обсуждение. Анализ многолетних наблюдений DI Lac выявил следующие ее особенности:

1. В течение последних нескольких десятков лет звезда вспыхивает с характерным временем 36 дней и амплитудой около $0^m.6$. Средний профиль

вспышки в полосах V и R асимметричный: возрастание блеска длится около 5 дней, а ослабление - в 4 раза дольше. Похоже, что этой вспышке предшествует меньшая вспышка длительностью около 10 дней. Этим DI Lac отличается от GK Per и V446 Her, профиль вспышек которых симметричный.

2. С увеличением яркости звезда становится более голубой практически во всех спектральных полосах. Этот эффект наиболее выразителен в полосе $V-I$ и наименее (если не отсутствует совсем) - в полосе $B-V$.

3. Поведение DI Lac на диаграммах "звездная величина-цвет" отличается от вспышки к вспышке. Их можно разделить на три типа. В первом случае (это относится к основной вспышке 1991г.) ее восходящая и нисходящая ветви совпадают, в другом (предвспышка) - не совпадают, а образуют петлю, развивающуюся против часовой стрелки, т.е. звезда выходит из вспышки более голубой, и в третьем случае (основные вспышки 2001г. и 2002г.) петля идет по часовой стрелке, т.е. звезда выходит из вспышки покрасневшей.

Первые два случая, действительно, напоминают особенности вспышек карликовых новых для различного направления развития тепловой нестабильности в аккреционном диске: из внешних слоев во внутренние (предвспышка) и из внутренних - наружу (основная вспышка). Такое поведение было получено при модельных расчетах Смаком [18] и подтверждено наблюдениями нескольких карликовых новых (например, VW Hui [19], SS Cyg [20], AN Her [21], V1504 Cyg [22]). Поведение третьего типа вспышек еще требует своего объяснения.

В заключение авторы выражают благодарность В.П.Маланушенко за обсуждение рукописи. Данная работа была частично спонсирована Фондом фундаментальных исследований Украины (02.07.00451).

¹ Крымская астрофизическая обсерватория,
Украина, e-mail: pavlenko@crao.crimea.ua

² Киевский национальный университет им. Т.Г.Шевченко, Украина

³ Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга,
Россия

MULTICOLOR PHOTOMETRY OF THE NOVA LACERTAE 1910=DILAC IN 1962-2002

E.P.PAVLENKO¹, N.V.PRIMAK², S.Yu.SHUGAROV³

We present multicolour study of the old Nova DI Lac over 40 years since 52 years after its explosion. DI Lac displays dwarf nova - like outburst activity

with typical time 36 days and amplitude of $0^m.6$. The outburst is asymmetrical: an ascending branch lasts ~ 5 days, while a descending one lasts ~ 20 days. The shorter outbursts could occur between the main outbursts. We define three types of outbursts in DI Lac, basing on their behaviour on the magnitude - colour diagrams. The 1st type of outbursts shows no loops, the 2nd type shows the counter-clockwise loop and the 3rd one shows the loop which develops clockwise. The first two types could be explained in the frame of theory of tidal instability. The nature of the third type is yet unknown.

Key words: (stars:) novae - stars:individual:DI Lac

ЛИТЕРАТУРА

1. *S.W.Burnham*, *Astron. Nachr.*, **186**, 390, 1911.
2. *B.A.Vorontsov-Velyaminov*, "Gasnebel und Neue Sterne", Kultur und Fortschritt, Berlin, 1953.
3. *H.Ritter*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **85**, 1179, 1990.
4. *V.P.Goransky, S.Yu.Shugarov, E.S.Dmitrienko, E.P.Pavlenko*, *Astronomical Time Ser.*, Eds. D.Maoz, A.Strenberg, E.Leibowitz, ASC Libr., **218**, 219, 1997.
5. *R.K.Honeykutt, J.W.Robertson, G.W.Turner*, *Cataclysmic Variables*, Eds. A.Bianchini, M.Della Valle, M.Orio, ASC Libr., **205**, 76, 1995.
6. *R.K.Heneycutt, J.W.Robertson, G.W.Turner, A.A.Henden*, *Astrophys. J.*, **495**, 933, 1998.
7. *Ю.В.Лунатов*, *Дипломная работа*, МГУ, М., 1993.
8. *F.Sabbadin, A.Bianchini*, *Astron. Astrophys.*, **54**, 393, 1983.
9. *S.Yu.Shugarov*, *Peremen. Zvezdy*, **21**, 807, 1983.
10. *M.Livio*, *Comm. in Astrophys.*, **12**, 87, 1987.
11. *M.Livio*, in "Interacting Binaries", Proc. of 22nd SAAS Fee Advanced Course, ed. H.Nussbaumer, 1993.
12. *M.M.Shara*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **101**, 5, 1988.
13. *P.Szkody*, *Astron. J.*, **108**, 639, 1994.
14. *Y.Osaki*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **108**, 30, 1996.
15. *M.R.Schreiber, B.T.Gansicke, J.K.Cannizzo*, *Astron. Astrophys.*, **362**, 268, 2000.
16. *A.Bianchini, F.Sabbadin, G.C.Favero, I.Dalmeri*, *Astron. Astrophys.*, **160**, 367, 1986.
17. *A.M.Cherepashchuk, N.A.Katysheva, T.S.Khruzina, S.Yu.Shugarov*, *Highly Evolved Close Binary Stars: Catalog*, Eds. A.M.Cherepashchuk, Gordon&Breach Publishers, Brussel, 1996.
18. *J.Smak*, *Acta Astronomica*, **34**, 161, 1984.
19. *R.Haefner, R.Schoembs, N.Vogt*, *Astron. Astrophys.*, **77**, 7, 1979.
20. *M.C.Zuckerman*, *Ann. Astrophys.*, **24**, 431, 1961.
21. *P.Szkody*, *Astrophys. J.*, **210**, 1968, 1976.
22. *Е.П.Павленко, О.И.Дудка*, *Астрофизика*, **45**, 5, 2002.