

ПЕРЕМЕННЫЕ ТИПА UX Ori В СКОПЛЕНИИ IC 348

О.Ю.БАРСУНОВА¹, В.П.ГРИНИН^{1,2}, С.Г.СЕРГЕЕВ³,
А.О.СЕМЕНОВ^{1,2}, С.Ю.ШУТАРОВ^{4,5}

Поступила 11 декабря 2014

Представлены результаты многолетних фотометрических (VR_{cI_c}) наблюдений трех переменных звезд типа T Тельца из скопления IC 348: V712 Per, V719 Per и V909 Per. Все три звезды демонстрируют фотометрическую активность, характерную для звезд типа UX Ori. При этом активность V719 Per за последние 10 лет существенно повысилась: амплитуда алголеподобных минимумов увеличилась примерно в 4 раза и достигла трех звездных величин в полосе I. Периодограммный анализ кривых блеска не подтвердил наличие периодов, найденных ранее другими авторами на основе более коротких рядов наблюдений. По наклону цветовых треков на диаграммах "цвет-величина" определены параметры закона покраснения исследуемых звезд, обусловленного селективным поглощением околозвездной пылью. Моделирование этих параметров на основе теории Ми показало, что максимальный размер пылинок a_{max} в протопланетных дисках исследуемых звезд в 1.5-2 раза больше, чем в межзвездной среде. У звезд V712 Per и V909 Per основная по массе часть пылевых частиц сосредоточена вблизи a_{max} , тогда как у V719 Per - наоборот, средняя масса пылинок определяется минимальными размерами частиц. Следует подчеркнуть, что эти выводы опираются на результаты анализа оптической переменности исследуемых звезд.

Ключевые слова: *звезды: переменные типа UX Ori: скопление IC 348*

1. Введение. Исследование молодых скоплений дает возможность изучать разные типы фотометрической активности молодых звезд в пределах сравнительно небольшой площадки на небе и даже в пределах одного ПЗС изображения (см., например, [1]). В наших предыдущих статьях [2,3] мы исследовали фотометрическую активность двух звезд скопления IC 348, возраст членов которого по данным Хербига [4] составляет от 2 до 10 миллионов лет. У одной из них (V718 Per) блеск меняется с периодом 4.7 года, и это объясняется периодическими затмениями звезды возмущенной областью околозвездного газопылевого диска. Источником возмущений предположительно является маломассивный компаньон с массой, не превышающей 6 масс Юпитера [2]. У другой звезды (V695 Per), расположенной на этой же площадке, тоже наблюдаются периодические затмения, но с периодом всего 7.6 дня [3,5]. Наиболее вероятной причиной таких изменений является поглощение излучения звезды искривленной внутренней областью околозвездного диска. Источником возмущения в этом случае является магнитосфера звезды, наклоненная относительно оси вращения звезды [6,7].

В данной статье представлены результаты фотометрии еще трех членов скопления IC 348, расположенных на той же площадке. Это молодые холодные звезды типа Т Тельца. Информация о них приведена в табл.1. Наблюдения выполнялись в течение 11 лет в Крымской астрофизической обсерватории на телескопе АЗТ-8 (0.7м) и частично (в течение трех лет) - в обсерватории Словацкой Академии Наук. На более коротких интервалах времени это скопление исследовали ранее Хербст и др. [8], Нордхаген и др. [5], Литтлфэйр и др. [9], Кизилогжу и др. [10], Коэн и др. [11].

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАБЛЮДАЕМЫХ ЗВЕЗД

Объект	Сп. класс	Тип	$M, M_{\odot}$	$R, R_{\odot}$	A_V	Литература
V712 Per	K 6	CTTS	0.9	2.2	2.8	12, 13
V719 Per	M 1.25	WTTS	0.44	1.31	3.6	12, 14, 15
V909 Per	K0	CTTS	2.08	2.82	6.1	8, 12, 16

2. *Наблюдения.* Оптические наблюдения проводились на телескопах АЗТ-8 (0.7м) Крымской астрофизической обсерватории (ПЗС камера AP7p размером 511x511 пикселей и с размером пиксела 24 микрона) и G1 (0.5м) Словацкой Академии Наук (ПЗС камера ST10-ХМЕ размером 2184x1472 пикселей и с размером пиксела 6.8 микрона). Наблюдения выполнялись в трех полосах v , r , i и приводились к фотометрической системе Johnson - Cousins V , R_c , I_c . Поскольку ниже все фотометрические параметры приводятся в этой фотометрической системе, мы опускаем для простоты символ "с". Измерения блеска звезд выполнялись методом апертурной фотометрии. В качестве звезд сравнения были использованы находящиеся на этой же площадке звезды с наиболее стабильным фотометрическим поведением из работы [2]: H139¹, H205 и H210. Точность апертурной фотометрии для V712 Per и V909 Per составляет 0^m.03 в фильтрах V и R и около 0^m.02 в фильтре I . Для V719 Per точность фотометрии ~0^m.03 - в максимуме блеска в полосах V , R , I ; в глубоких минимумах точность падает до 0^m.7 и 0^m.3 в фильтрах R и I , соответственно.

3. *Результаты.* На рис.1 представлены гистограммы фотометрической активности исследуемых звезд. Они имеют вид, характерный для звезд типа UX Ori: глубокие минимумы блеска, обусловленные прохождением по лучу зрения околос звездных пылевых облаков, редки. Большую часть времени звезды наблюдаются вблизи яркого состояния.

¹ В работе [2] нами была допущена опечатка: на самом деле в качестве звезды сравнения была использована звезда H 139, а не H 140.

На рис.2 показана кривая блеска V719 Per в полосе *I*. Видно, что изменения блеска имеют иррегулярный характер с алгоподобными затмениями с амплитудой до 3^m и продолжительностью порядка одной

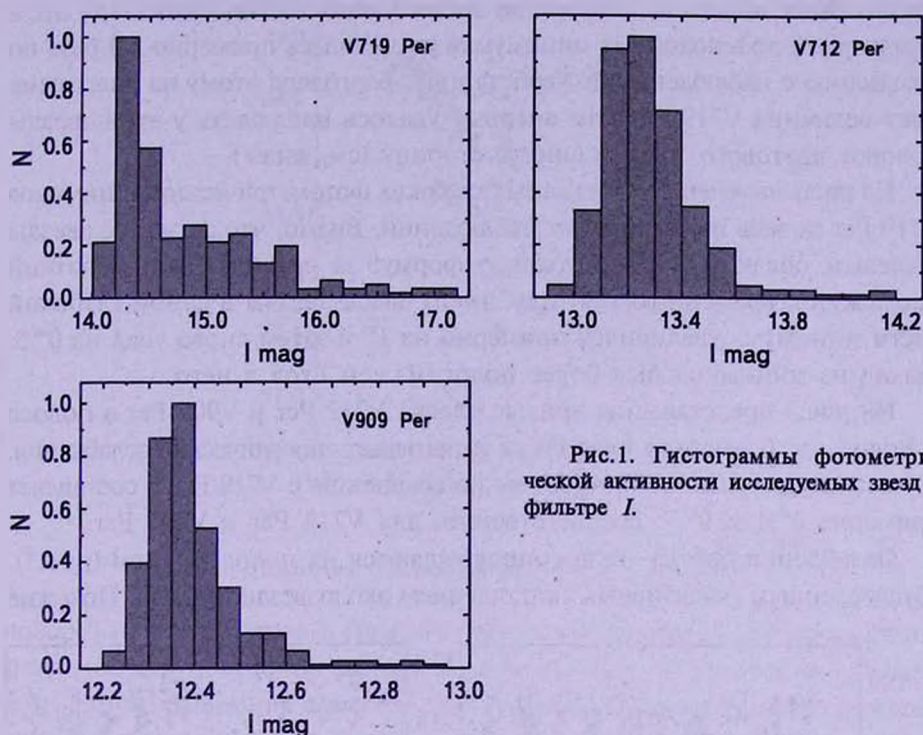


Рис.1. Гистограммы фотометрической активности исследуемых звезд в фильтре *I*.

недели. Видно также, что наблюдается плавное уменьшение блеска звезды в ярком состоянии (вне минимумов) примерно на $0^m.3$ на временном

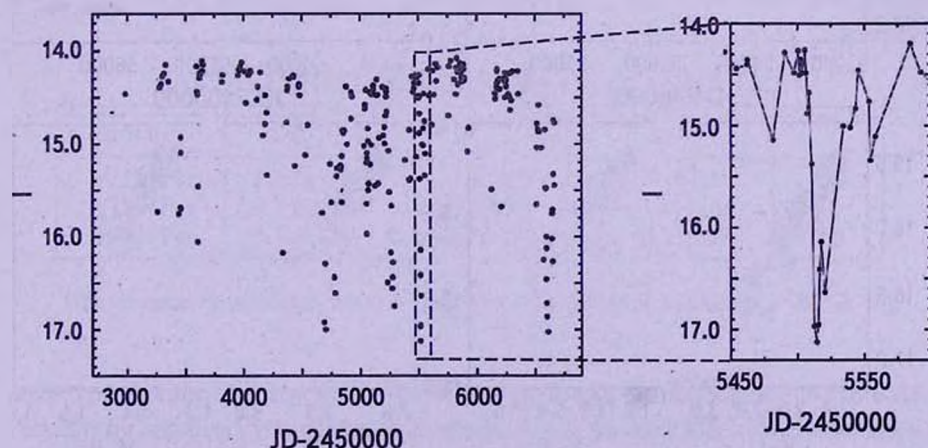


Рис.2. Кривая блеска V719 Per в фильтре *I*. Справа показан самый глубокий минимум блеска.

интервале около 5 лет, завершившееся серией глубоких минимумов. Сравнение кривой блеска V719 Per в полосе I , опубликованной в статье Хербста и др. [8], с рис.2 показывает, что фотометрическая активность звезды была значительно выше во время наших наблюдений. При этом амплитуда алголеподобных минимумов увеличилась примерно в 4 раза по сравнению с наблюдениями Хербста и др. Благодаря этому на диаграмме цвет-величина V719 Per нам впервые удалось наблюдать у этой звезды поворот цветового трека в синюю сторону (см. ниже).

На рис.2 выделен один из самых глубоких фотометрических минимумов V719 Per за весь период наших наблюдений. Видно, что затмение звезды пылевым облаком имело сложную форму: за сравнительно короткий промежуток времени (около трех дней) блеск звезды в самой глубокой части минимума увеличился примерно на 1^m и затем снова упал на $0^m.5$. Выход из минимума был более пологим, чем вход в него.

На рис.3 представлены кривые блеска V712 Per и V909 Per в полосе I . Видно, что блеск этих звезд также испытывает спорадические ослабления. Их амплитуда существенно меньше по сравнению с V719 Per и составляет примерно $1^m.1$ и $0^m.7$, соответственно, для V712 Per и V909 Per.

Ослабления блеска звезд сопровождаются их покраснением (рис.3), обусловленным селективным поглощением околозвездной пыли. Похожие

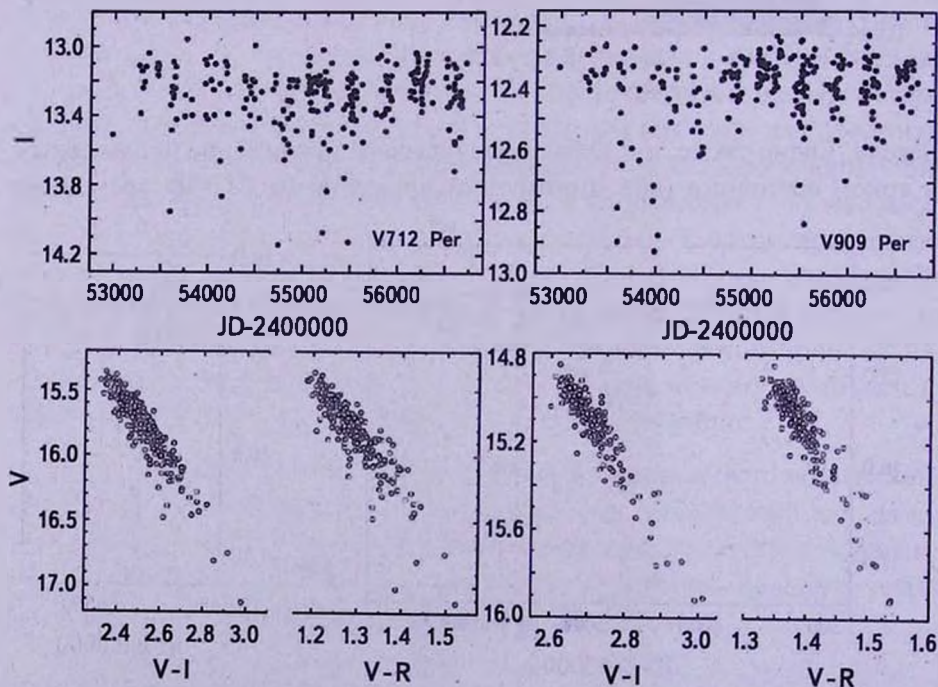


Рис.3. Вверху - кривые блеска V712 Per и V909 Per в фильтре I и внизу - соответствующие им диаграммы "цвет-величина" $V/(V-I)$ и $V/(V-R)$.

изменения показателей цвета при ослаблениях блеска наблюдаются также и у V719 Per. Однако в отличие от V712 Per и V909 Per на диаграмме "цвет-величина" V719 Per наблюдается характерный для звезд типа UX Ori

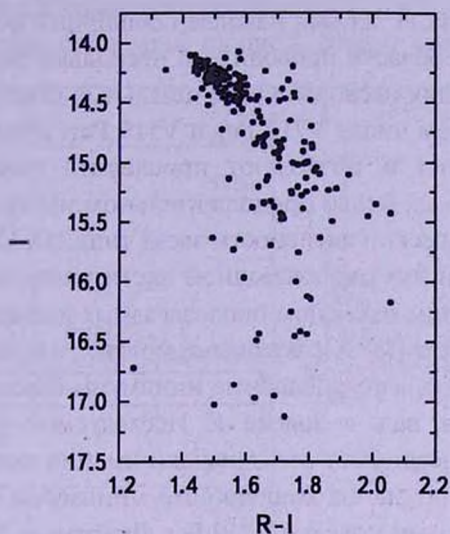


Рис.4. Диаграмма "цвет-величина" $I/(R - I)$ V719 Per.

поворот цветового трека в синюю сторону (рис.4). Эта особенность фотометрического поведения звезды свидетельствует об увеличении вклада рассеянного излучения околозвездного диска [17] в суммарное излучение (звезда + диск) и наблюдается только во время глубоких минимумов звезд типа UX Ori.

Для каждой звезды по наклону цветовых треков на диаграммах $V/(V-R)$ и $V/(V-I)$ мы определили параметры $R_{VR} = dV/d(V-R)$ и $R_{VI} = dV/d(V-I)$,

Таблица 2

ЗАКОН ОКОЛОЗВЕЗДНОГО ПОКРАСНЕНИЯ

Объект	R_{VR}	R_{VI}	ΔV	N
V712 Per	5.3 (0.19)	2.21 (0.07)	15.36-17.21	230
V719 Per	3.7 (0.21)	1.96 (0.04)	17.13-18.58	61
V909 Per	5.3 (0.17)	2.48 (0.07)	14.85-15.92	259

Примечание: в скобках указана точность определения параметров R_{VR} и R_{VI}

характеризующие этот наклон и зависящие от закона околозвездной экстинкции. Результаты анализа суммированы в табл.2. В ней для каждой звезды приведены значения R_{VR} и R_{VI} , интервалы звездных величин ΔV и количество наблюдений, использованных для этого анализа. В случае V719 Per для анализа были

использованы наблюдения на начальном (прямолинейном) участке цветового трека на диаграммах $V/(V-R)$ и $V/(V-I)$.

4. *Обсуждение.* В ходе изучения окрестностей звезды V718 Per в скоплении IC 348 нами за 11 лет был накоплен обширный фотометрический материал. Ранее в этой области проводилось несколько фотометрических мониторингов, выявивших несколько потенциальных кандидатов в звезды типа UX Ori [8,11], в том числе V712 Per и V719 Per. Наши наблюдения продолжают эти работы и позволяют проследить поведение блеска отобранных нами звезд на более продолжительном интервале времени.

Природа фотометрической активности звезд типа UX Ori заключается, как известно, в изменениях околозвездной экстинкции на луче зрения, обусловленных небольшим наклоном околозвездных дисков относительно направления на наблюдателя [18]. Характерными фотометрическими признаками такой активности являются алголеподобные минимумы блеска, достигающие у некоторых звезд 4 зв. вел. в полосе V . Исследуемые в нашей статье молодые объекты демонстрируют все признаки именно такой активности. Максимальные по амплитуде алголеподобные минимумы (до 3 зв. вел. в полосе I) наблюдались нами у звезды V719 Per. Диаграмма "цвет-величина" у этой звезды (рис.4) имеет вид, характерный для звезд типа UX Ori: покраснение звезды на начальной фазе затмений, обусловленное селективным поглощением околозвездной пыли, заканчивается поворотом цветового трека в противоположном направлении. Такой вид диаграммы обусловлен, как отмечалось выше, усилением вклада рассеянного излучения по мере ослабления прямого излучения звезды. У остальных двух звезд амплитуда алголеподобных минимумов значительно меньше, чем у V719 Per. По этой причине мы видим на соответствующих диаграммах "цвет-величина" (рис.3) только участок покраснения звезд. Сравнение наклона цветовых треков для всех трех объектов с соответствующими данными для звезд типа UX Ori из статьи Пугача [19] показало, что значения параметра R_{vr} из табл.2 попадают в интервал значений, полученных этим автором (заметим, что в статье [19] приводятся значения параметра b , равные $1/R_{vr}$). Ниже в разделе 4.3 мы используем значения этого параметра для оценки характерных размеров пылинок в околозвездных дисках исследуемых звезд.

4.1. *Периодограммный анализ кривых блеска.* Ранее в работах [10] и [20] у всех трех исследуемых звезд были обнаружены фотометрические периоды. Для V909 Per был получен период 6.536 дня [10]. По данным этой же работы фотометрический период у V712 Per составил 32.28 дня. В [20] была получена другая оценка периода - 8.6 дня и было высказано предположение, что период 32.28 дня - это гармоника реального периода. Аналогичная ситуация возникла и в случае V719 Per: оценка фото-

метрического периода 22.51 дня, полученная в [10], по данным работы [20] является гармоникой реального периода, равного 10.6 дня.

Для проверки реальности этих периодов мы выполнили периодограммный анализ полученных нами фотометрических рядов методом Ломб-Скэргла. Результаты анализа приведены на рис.5. Видно, что на спектрах мощности

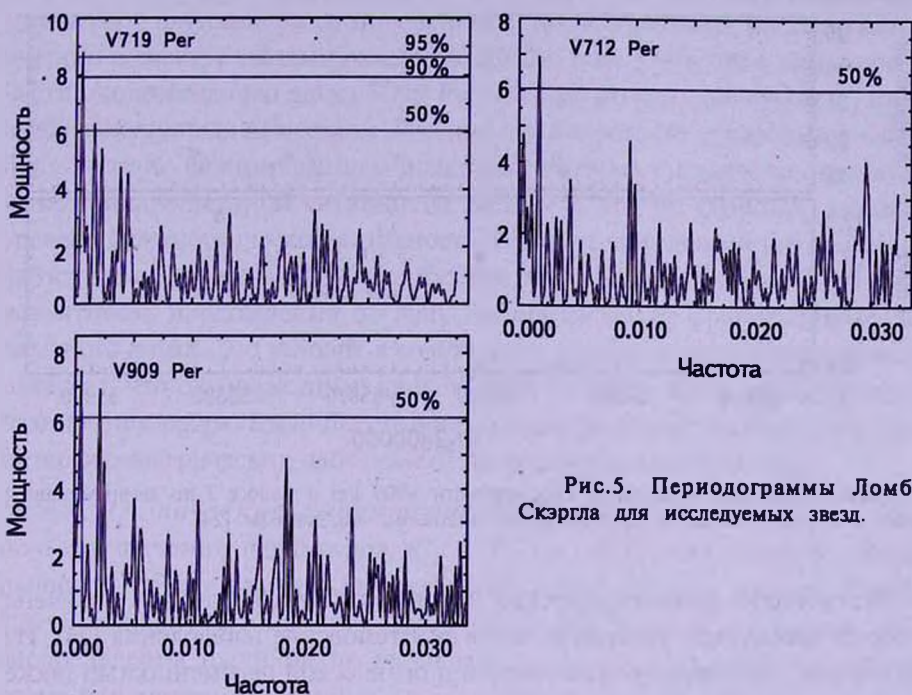


Рис.5. Периодограммы Ломб-Скэргла для исследуемых звезд.

исследуемых звезд нет ни одного статистически значимого периода. Это означает, что полученные в [10] и [20] фотометрические периоды на самом деле являются квази-периодами и на длительных интервалах времени не сохраняются. Заметим, что в отличие от исследуемых здесь трех звезд, у звезды V695 Per, исследованной нами в предыдущей статье [3], фотометрический период (7.60 дня) оказался устойчивым на временной шкале свыше 10 лет.

4.2. V909 Per - особый случай. Из трех исследованных нами звезд V909 Per (LkNa 92) отличается своей высокой активностью в рентгеновском диапазоне. По данным одного из самых первых рентгеновских мониторингов [21] у этой звезды была заподозрена периодическая модуляция рентгеновского потока. В дальнейшем, однако, это предположение не подтвердилось [22]. Рентгеновский спутник ROSAT зарегистрировал в мягком рентгеновском диапазоне (0.1-2.4 КэВ) гигантскую вспышку на этой звезде, продолжавшуюся около 3.5 дня [23]. В максимуме вспышки рентгеновский поток от звезды был в 50 раз мощнее, чем до вспышки. При этом полная

энергия вспышки составила примерно 4×10^{36} эрг, что на два порядка мощнее по сравнению с типичными рентгеновскими вспышками звезд типа Т Тельца. Как показали дальнейшие наблюдения [24], между рентгеновской переменностью и переменностью в ИК-диапазоне нет корреляции.

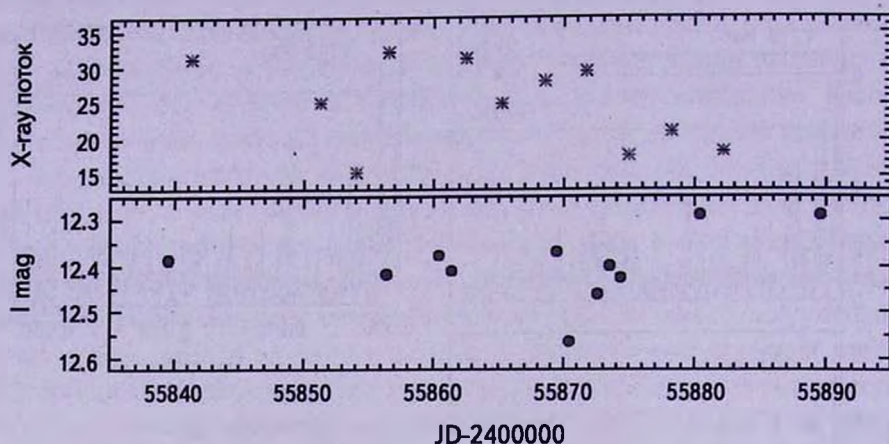


Рис.6. Сравнение оптической переменности V909 Per в полосе I по данным нашей статьи с переменностью в рентгеновском диапазоне по данным [24].

Часть наших фотометрических наблюдений V909 Per была получена в том же временном интервале, что и рентгеновские наблюдения [24]. Из рис.6 видно, что между рентгеновской и оптической переменностью также нет никакой связи. В принципе, этот отрицательный результат неудивителен, поскольку оптическая переменность V909 Per вызвана изменениями экстинкции в околзвездном газопылевом диске, тогда как рентгеновское излучение образуется в высокотемпературной плазме с температурой порядка 10^6 K.

Следует отметить, что по данным Хербста и др. [8], основанным на спектральных наблюдениях Хербига [4], V909 Per относится к семейству звезд типа CTTS. В то же время, согласно Луман и др. [12], эквивалентная ширина линии H α в спектре этой звезды может принимать значения около 2 ангстрем, что характерно для звезд типа WTTS. Такой разброс значений $EW(H\alpha)$ означает, что V909 Per является, по-видимому, объектом промежуточным между CTTS и WTTS и характеризуется сильными вариациями темпа аккреции. V909 Per - единственная звезда типа UX Ori, демонстрирующая одновременно высокую рентгеновскую и оптическую переменность, которые, как мы убедились выше, никак не связаны между собой.

4.3. V719 Per - самая холодная звезда типа UX Ori. Согласно табл.1 эта звезда имеет спектральный класс M1.5 и является самой холодной из всех известных на сегодня звезд типа UX Ori. Кроме того,

V719 Per - единственная звезда, принадлежащая этому семейству звезд и являющаяся одновременно звездой типа WTTS. Представляет большой интерес тот факт, что несмотря на низкую эффективную температуру, мы не наблюдали у этой звезды фотометрической активности (характерной для многих холодных звезд типа Т Тельца), вызванной горячими аккреционными пятнами на ее поверхности. Моделирование распределения энергии в спектре звезды показало (ЛеБланк и др. [14]), что в центральной части околозвездного диска V719 Per имеется полость радиусом 0.71 а.е., слабо заполненная веществом. Именно эта полость (ее образование может быть вызвано формированием планетной системы) и является причиной низкой аккреционной активности звезды. С другой стороны, высокий уровень фотометрической активности V719 Per, обусловленной сильными флуктуациями околозвездной экстинкции, предполагает достаточно высокую вероятность прохождения по лучу зрения пылевых фрагментов околозвездного диска. Это условие в сочетании с наличием внутренней полости означает, что околозвездный диск V719 Per должен быть ориентирован к нам почти с ребра. Было бы интересно проверить этот вывод с помощью интерферометрических наблюдений на интерферометре ALMA.

4.4. *Оптические характеристики околозвездной пыли.* Используя значения параметров R_{VR} и R_{VI} из табл.2, мы оценили размер пылинок, ответственных за ослабление света на луче зрения. Следуя обычной практике (см., например, [25,26]), мы приняли степенной закон распределения пылинок по размерам: $n(a) \sim a^{-q}$ [27] характеризуемый тремя параметрами - минимальным и максимальным размерами частиц (a_{min} и a_{max}) и показателем степени q .

Варьируя отношение содержания графита и силиката в смеси частиц, мы пришли к выводу, что наилучшее совпадение расчетных и измеренных параметров R_{VR} и R_{VI} может быть получено для чисто силикатной смеси, хотя графит дает существенный вклад в экстинкцию для коротких длин волн. Следуя результатам анализа типичного состава пыли в протопланетных дисках из [28], мы взяли смесь силикатов, состоящую из 60% оливина и 40% пироксена и отношением $Fe/(Mg+Fe)$ равным 0.3. Коэффициенты экстинкции Q_{ext} рассчитывались нами по теории Ми для однородной изотропной сферы с помощью процедур, изложенных в [29]. Данные по оптическим параметрам силикатных частиц взяты из базы данных OCCD Jena (Database of Optical Constants for Cosmic Dust: <http://www.astro.uni-jena.de/Laboratory/OCDB/>). Рассчитанные нами значения Q_{ext} хорошо согласуются с табулированными значениями для "астрономического силиката" из статьи [30]. Из этой же статьи мы взяли коэффициенты ослабления для графита.

Варьируя значения a_{min} , a_{max} и q , мы добивались совпадения рассчи-

танных параметров R_{vR} и R_{vI} с наблюдаемыми. Ввиду того, что при не очень больших значениях q основной вклад в экстинкцию дают наиболее крупные частицы, результат моделирования параметров R_{vR} и R_{vI} мало-чувствителен к величине a_{min} . Обычно для протопланетных дисков используют значение a_{min} около 0.01 мкм [25,26]. Это значение a_{min} было принято и в наших расчетах.

Значения q и a_{max} , полученные путем минимизации отклонений расчетных и наблюдаемых параметров R_{vR} и R_{vI} представлены в табл.3. В скобках отмечены интервалы значений этих параметров, полученные с учетом погрешностей наблюдаемых значений R_{vR} и R_{vI} .

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ОКОЛОЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ

Объект	a_{min} (мкм)	a_{max} (мкм)	q
V712 Per	0.01	0.31 (0.31-0.39)	2.5 (2.5-3.6)
V719 Per	0.01	0.47 (0.40-0.50)	4.5 (4.3-4.5)
V909 Per	0.01	0.52 (0.45-1.0)	4.0 (3.8-4.1)

Полученные значения a_{max} несколько больше значения, принимаемого для межзвездной пыли ($a_{max} = 0.25$ мкм). Показатель степени q для V712 Per получился меньше значения 3.5, характерного для межзвездной пыли, а для V719 Per и V909 Per - больше. Похожие отличия показателей степени q получены ранее в [31] для двух звезд типа UX Ori (WW Vul и самой UX Ori) - у первой показатель степени q равен 5.0, а у второй 3.5.

5. Заключение. Представленные выше результаты показывают, что фотометрическая активность молодых звезд, обусловленная изменениями околозвездной экстинкции, может наблюдаться не только у звезд типа UX Ori с молодыми околозвездными дисками, но и у звезд типа WTTS (V719 Per), околозвездные диски которых уже частично диссипировали. Эта парадоксальная на первый взгляд ситуация объясняется тем, что одновременно с диссипацией дисков происходит уменьшение аккреционной активности звезд. Флуктуации светимости горячих аккреционных пятен на поверхности классических звезд типа Т Тельца носят спорадический характер и "вуалируют" переменность блеска, вызванную флуктуациями околозвездной экстинкции. У звезд же типа WTTS влияние этого вуалирующего эффекта отсутствует, либо сильно ослаблено, что и позволяет наблюдать у них переменность типа UX Ori в чистом виде (при ориентации околозвездных дисков почти с ребра).

Данный тип переменности интересен тем, что позволяет изучать оптические свойства околозвездной пыли, используя начальные (прямолинейные) участки цветовых треков на диаграммах "цвет-величина". Опираясь на

наши наблюдения, мы оценили с помощью теории Ми параметры смеси пылевых частиц в околозвездных дисках исследуемых звезд. Максимальный размер пылинок a_{max} у всех трех звезд оказался несколько больше по сравнению с межзвездной средой. В случае V712 Per и V909 Per этот результат можно считать прямым наблюдательным свидетельством процесса укрупнения околозвездной пыли путем коагуляции. Однако в случае V719 Per, параметр $q=4.5$ и основная масса пылевых частиц сосредоточена вблизи a_{min} . Это говорит о том, что свойства пылевых частиц в протопланетных дисках молодых звезд (в тех областях, которые вносят основной вклад в переменную околозвездную экстинкцию) могут сильно отличаться от объекта к объекту.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы Президиума РАН П21 и гранта научной школы НШ 625.2012.2.

¹ Главная (Пулковская) Обсерватория РАН, С.-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург, Россия, e-mail: vgsrao@mail.ru

³ Крымская Астрофизическая Обсерватория, п. Научный, Россия

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

⁵ Астрономический Институт Словацкой Академии Наук, Татранска Ломница, Словакия

UX Ori TYPE STARS IN THE YOUNG CLUSTER IC 348

O.Yu.BARSUNOVA¹, V.P.GRININ^{1,2}, S.G.SERGEEV³,
A.O.SEMENOV^{1,2}, S.Yu.SHUGAROV^{4,5}

We present results of the long lasting photometric (VR_cI_c) observations of three variable stars from the young cluster IC 348. They are the T Tauri stars V712 Per, V719 Per and V909 Per. All three stars demonstrate a variability which is typical for UX Ori type stars. An activity of V719 Per increased during the last 10 years: an amplitude of the Algol-type minima increased by a factor of 4 and reached 3 stellar magnitudes in the I -band. An analysis of the light curves did not confirm a presence of the periods found by other authors based on the shorter series of observations. Using an incline of the color tracks on the color-magnitude diagrams, we determined the reddening law for each star. It is caused by a selective extinction by the circumstellar dust. Modeling these parameters with the Mie theory showed that the maximum size of the dust

grains $a_{\max}$ in the protoplanetary disks of these stars was 1.5 - 2 times larger than in the interstellar medium. In V712 Per and V909 Per, the most massive part of the dust grains is concentrated near $a_{\max}$ while in V719 Per, to the contrary, the mean mass of the grains is determined by the particles with minimum sizes. It should be noted that this conclusion is based on the analysis of the optical variability of the stars considered.

Key words: *stars: variables of OX Ori type: cluster IC 348*

ЛИТЕРАТУРА

1. C.B.Henderson, K.Z.Stanek, O.Pejcha, J.L.Prieto, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **194**, 27, 2011.
2. В.П.Гринин, О.Ю.Барсунова, С.Г.Сергеев и др., *Письма в Астрон. ж.*, **32**, 918, 2006, (*Astron. Lett.*, **32**, 827, 2006).
3. О.Ю.Барсунова, В.П.Гринин, С.Г.Сергеев, *Астрофизика*, **56**, 429, 2013, (*Astrophysics*, **56**, 395, 2013).
4. G.H.Herbig, *Astrophys. J.*, **497**, 736, 1998.
5. S.Nordhagen, W.Herbst, K.L.Rhode, E.C.Williams, *Astron. J.*, **132**, 1555, 2006.
6. J.Bouvier, A.Chelli, S.Allain et al., *Astron. Astrophys.*, **349**, 619, 1999.
7. M.M.Romanova, G.V.Ustyugova, A.V.Koldoba, R.V.E.Lovelace, *Astrophys. J.*, **610**, 920, 2004.
8. W.Herbst, J.A.Maley, E.C.Williams, *Astron. J.*, **120**, 349, 2000.
9. S.P.Littlefair, T.Naylor, B.Burningham, R.D.Jeffries, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **358**, 341, 2005.
10. Ü.Kiziloğlu, N.Kiziloğlu, A.Baykal, *Astron. J.*, **130**, 2766, 2005.
11. R.E.Cohen, W.Herbst, E.C.Williams, *Astron. J.*, **127**, 1602, 2004.
12. K.L.Luhman, J.R.Stauffer, A.A.Muench et al., *Astrophys. J.*, **593**, 1093, 2003.
13. C.Espaillet, L.Ingleby, J.Hernández et al., *Astrophys. J.*, **747**, 103, 2012.
14. T.S.LeBlank, K.R.Covey, K.G.Stassun, *Astron. J.*, **142**, 55, 2011.
15. N.J.Evans II, M.M.Dunham, J.K.Jorgensen et al., *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **181**, 321, 2009.
16. S.E.Dahm, *Astron. J.*, **136**, 521, 2008.
17. В.П.Гринин, *Письма в Астрон. ж.*, **14**, 65, 1988, (*Sov. Astron. Lett.*, **14**, 27, 1988).
18. V.P.Grinin, N.N.Kiselev, N.Kh.Minikhulov et al., *Astrophys. Space. Sci.*, **186**, 283, 1991.
19. А.Ф.Пузач, *Астрон. ж.*, **81**, 517, 2004, (*Astron. Rep.*, **48**, 470, 2004).
20. L.Cieza, N.Baliber, *Astrophys. J.*, **649**, 862, 2006.
21. T.Preibisch, H.Zinnecker, *Astron. J.*, **123**, 1613, 2002.
22. T.Preibisch, H.Zinnecker, *Astron. Astrophys.*, **422**, 1001, 2004.

23. *T.Preibisch, H.Zinnecker, J.H.M.Schmitt*, Astron. Astrophys., **279**, L33, 1993.
24. *K.M.Flaherty, J.Muzerolle, S.J.Wolk et al.*, Astrophys. J., **793**, 2, 2014.
25. *A.Banzatti, L.Testi, A.Isella et al.*, Astron. Astrophys., **525**, A12, 2011.
26. *A.Isella, A.Natta*, Astron. Astrophys., **438**, 899, 2005.
27. *J.S.Mathis, W.Rumpl, K.H.Nordsieck*, Astrophys. J., **217**, 425, 1977.
28. *J.B.Pollack, D.Hollenbach, S.Beckwith et al*, Astrophys. J., **421**, 615, 1994.
29. *C.F.Bohren, D.F.Huffman*, Absorption and Scattering of Light by Small Particles, New York, Wiley, p.530, 1983.
30. *B.T.Draine*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **57**, 587, 1985.
31. *N.V.Voshchinnikov, V.P.Grinin, V.V.Karyukin*, Astron. Astrophys., **294**, 547, 1995.

