

DOI: 10.54503/0571-7132-2022.65.3-379

ПЕРЕМЕННЫЕ ТИПА UX Ori В СКОПЛЕНИИ IC 348: РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

О.Ю.БАРСУНОВА¹, В.П.ГРИНИН^{1,2}, С.Г.СЕРГЕЕВ³, С.Ю.ШУГАРОВ^{4,5},
Н.В.ЕФИМОВА¹, С.В.НАЗАРОВ³

Поступила 10 июня 2022

В статье представлены результаты длительного (17 лет) фотометрического мониторинга пяти звезд типа Т Тельца в полосах VRI. Все исследуемые объекты являются членами молодого скопления IC 348 и демонстрируют переменность типа UX Ori, обусловленную изменениями околозвездной экстинкции. Три из них (V712 Per, V716 Per, V909 Per) являются классическими звездами типа Т Тельца, другие две (V695 Per, V715 Per) - звезды типа Т Тельца со слабыми эмиссионными линиями (WTTS). Их кривые блеска демонстрируют большое разнообразие. У трех объектов наблюдается комбинация двух разных типов активности: стохастическая переменность типа UX Ori и периодические колебания блеска, похожие на те, которые наблюдаются у звезд типа AA Tau. У двух звезд наблюдалась лишь переменность блеска, вызванная флуктуациями околозвездной экстинкции на разных характерных временах. В статье детально обсуждаются особенности фотометрической активности исследуемых звезд.

Ключевые слова: *фотометрия: звезда типа T Tau, UX Ori, IC 348*

1. *Введение.* Внутренние слои протопланетных дисков в динамическом отношении являются самыми активными. Здесь диск взаимодействует с магнитосферой звезды, порождая сложный комплекс наблюдательных проявлений. В области радиусом порядка нескольких а.е. рождаются планеты и планетные системы. Эти процессы также сопровождаются сильными возмущениями внутренних областей протопланетных дисков, которые вызывают изменения околозвездной экстинкции, что сказывается на характере фотометрической активности молодых звезд. В наиболее яркой форме эти изменения проявляются в фотометрическом поведении звезд типа UX Ori, которые демонстрируют спорадические алгоподобные ослабления блеска с амплитудой 2-4 звездной величины и продолжительностью от нескольких дней до нескольких недель. Такой характер переменности наблюдается в основном у молодых звезд типа Ae Хербига и является следствием небольшого наклона их околозвездных дисков относительно направления на наблюдателя [1].

У более холодных молодых звезд типа Т Тельца картина переменности осложняется присутствием на их поверхности горячих (аккреционных) и холодных пятен. Поэтому в изменениях блеска таких звезд часто наблюдается

комбинация разных механизмов переменности. Особый интерес представляют звезды типа WTTS (weak line T Tauri star), для которых характерен низкий уровень аккреционной активности и небольшие избытки излучения в ближней инфракрасной (ИК) области спектра. Это свидетельствует о малом количестве околозвездного вещества в ближайшем окружении звезды. Тем удивительнее тот факт, что у таких звезд также может наблюдаться фотометрическая активность типа UX Ori, вызванная сильными изменениями околозвездной экстинкции.

Скопление IC 348 содержит большое количество молодых звезд поздних спектральных типов [2,3] и идеально подходит для изучения их фотометрической активности. Согласно [4], среднее расстояние до скопления ~ 315 пк, возраст членов скопления составляет в среднем ~ 2 Млн. Все скопление занимает на небе площадку размером $\sim 20'$. Это позволяет на одном ПЗС-изображении скопления изучать большую часть его членов.

В данной статье представлены результаты фотометрии пяти членов скопления. В табл.1 приведены данные по этим объектам, взятые из литературы (ссылки на статьи указаны в скобках). Наблюдения выполнялись в течение 17 лет в Крымской астрофизической обсерватории на телескопе АЗТ-8 (0.7 м) и частично (в течение 7 лет) - в обсерватории Словацкой Академии Наук. Первые результаты наших наблюдений опубликованы в статьях [5-8]. На более коротких интервалах времени это скопление ранее исследовали в статьях [9-13,23].

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАБЛЮДАЕМЫХ ЗВЕЗД

Параметры	Объекты				
	V695 Per	V712 Per	V715 Per	V716 Per	V909 Per
Тип	WTTS [4,14]	WTTS/CTTS [2,3]	WTTS [2,3,24]	WTTS/CTTS [2,25,26]	WTTS/CTTS [2,3]
Спектр. тип	M3.75 [4]	K6 [4]	K6 [4]	M1.25 [4]	G8 [4]
Расстояние, пк	305.9 [15]	318.5 [15]	338.6 [15]	308.9 [15]	326.1 [15]
A_V	2.91 [4]	3.36 [21]	2.25 [21]	2.1 [27]	4.62 [21]
$V \sin i$, км/с	12.16 [16]	16.76 [16]	20.22 [16]	14.53 [16]	33.89 [16]
P , дни	7.6 [5,10,17,18]	32.28 [12], 8.6 [18]	5.1-5.23 [6,9,10,11,13,18,23]	7.3-7.69 [2,7,9,12,13,18,23]	6.536 [14]
M , M_\odot	0.303 [9]	0.9 [22]	0.56 [20]	0.31 [11], 0.7 [25]	2.08 [24]
R , R_\odot	1.55 [20]	2.2 [22]	2.09 [24]	2.1 [4]	2.82 [24]
L , L_\odot	0.26 [4,20]	0.99 [4]	1.5 [4,14,20]	0.72 [4]	2.8 [28]

2. *Наблюдения.* Оптические наблюдения проводились на телескопе АЗТ-8 Крымской астрофизической обсерватории (0.7 м, ПЗС камера AP7p размером 511x511 пикселей и с размером пиксела 24x24 мкм) и телескопах Словацкой Академии Наук (Tatranska Lomnica) G1 (0.5 м, ПЗС камера ST10-XME размером 2184x1472 пикселей и с размером пиксела 6.8 мкм) и G2 (0.6 м, ПЗС камера FLIML-3041 размером 2048x2048 пикселей и с размером пиксела 15x15 мкм). 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 [29]: H139¹, H205 и H210. Для звезд V909 Per и V712 Per средняя точность апертурной фотометрии составляла 0^m.03 в фильтрах V и R и около 0^m.02 в фильтре I. Ошибка измерений V715 Per и V716 Per в фильтре V зависит от состояния блеска звезд: от 0^m.03 (максимум блеска) до 0^m.3 (минимум блеска); точность фотометрии этих звезд в фильтрах R и I в среднем не хуже 0^m.03. Звезда V695 Per - достаточно слабая, особенно в полосе V, поэтому в среднем ошибки для нее больше: не хуже ~0^m.1 (фильтр V, яркое состояние), не хуже ~0^m.3 (фильтр V, слабое состояние), не хуже 0^m.04 (фильтр R), не хуже 0^m.05 (фильтр I).

3. Результаты.

3.1. *Гистограммы активности и кривые блеска.* Графики с результатами наших наблюдений программных звезд (часть из них опубликована ранее в [5-8]) приведены на рис.1-4. На рис.1 представлены гистограммы фотометрической активности исследуемых звезд. У четырех звезд (V715 Per, V695 Per, V712 Per и V909 Per) они имеют вид, характерный для звезд типа UX Ori: большую часть времени звезды проводят в ярком состоянии, глубокие минимумы наблюдаются редко.

Мы не приводим здесь гистограмму активности V716 Per, поскольку, во-первых, она не сильно изменилась по сравнению с представленной в нашей предыдущей статье [7]: звезда по-прежнему большую часть времени проводит в мало-амплитудных колебаниях блеска с амплитудой около 0^m.3. Во-вторых, эта гистограмма слабо характеризует кривую блеска V716 Per из-за наличия крупномасштабного тренда (см. рис.2d).

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

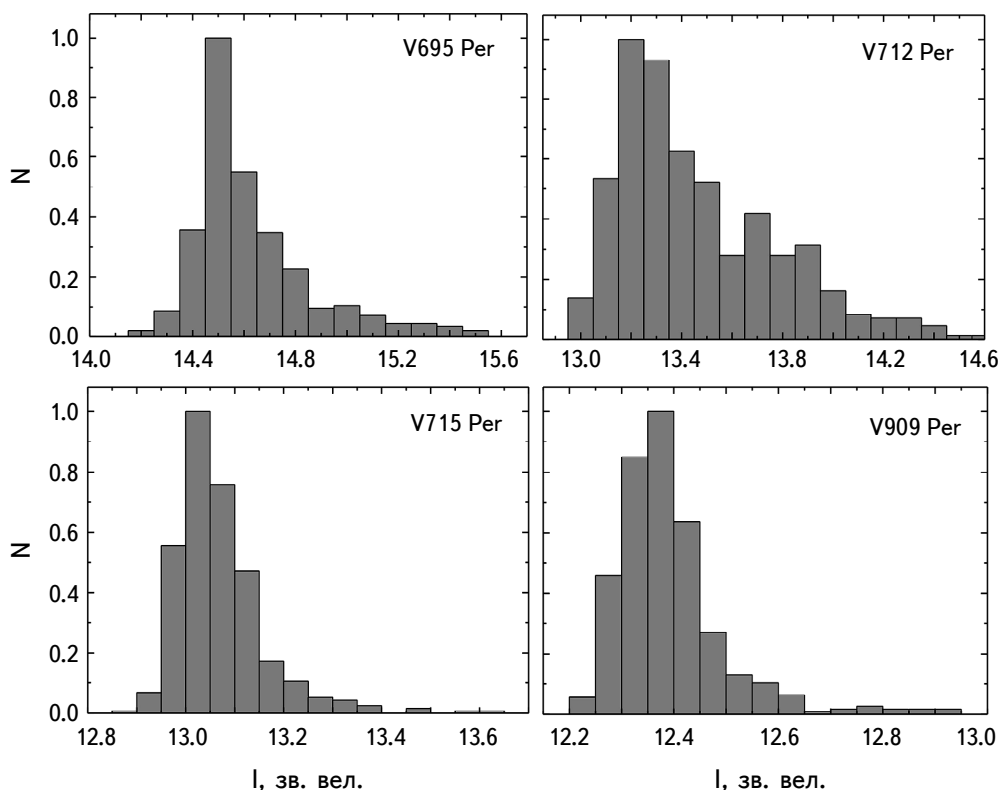


Рис.1. Гистограммы фотометрической активности исследуемых звезд в фильтре I.

3.2. Кривые блеска. На рис.2 представлены кривые блеска исследуемых объектов в полосе I.

Кривая блеска V715 Per, дополненная новыми наблюдениями, несколько изменилась по сравнению с опубликованной ранее в [6]: продолжилось увеличение амплитуды колебаний блеска, имеющих периодический характер ($P = 5.23^d$), и появилась отчетливо выраженная тенденция к уменьшению среднего блеска звезды. Одновременно с этим наблюдалось заметное смещение фазы колебаний по сравнению с предыдущими наблюдательными сезонами (рис.3а). Наблюдения трех последних сезонов подтвердили отмеченную нами ранее в [6] необычную особенность фотометрической активности этой звезды: алголеподобные ослабления блеска, наблюдавшиеся с нарастающей амплитудой до 2011 г., внезапно прекратились после завершения самого глубокого минимума в 2011 г. Согласно наблюдениям последнего сезона, систематическое уменьшение среднего уровня блеска звезды, происходившее в течение последних четырех лет, приостановилось.

Новые наблюдения V695 Per дополнили предыдущую фотометрическую

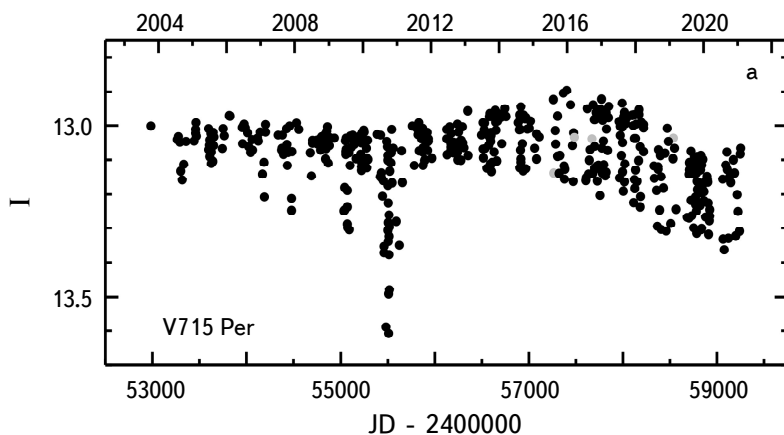


Рис.2а. Кривая блеска V715 Per в полосе I. Серыми кружками показаны данные, точность которых $\sim 0^m.15-0^m.3$.

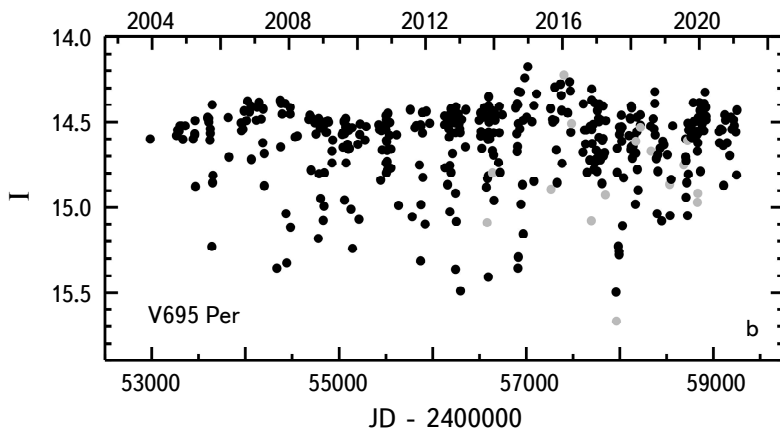


Рис.2б. Кривая блеска V695 Per в полосе I. Обозначения те же, что и на рис.2а.

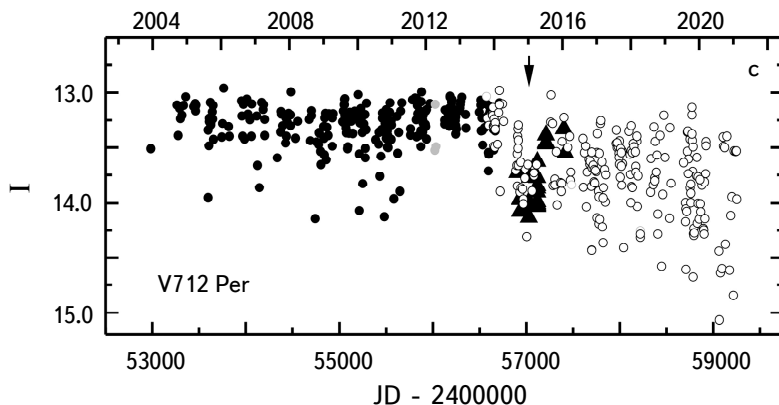


Рис.2с. Кривая блеска V712 Per в полосе I. Серыми кружками показаны данные, точность которых $\sim 0^m.15-0^m.2$. Треугольники - данные Gaia DR2. Открытыми кружками показаны наблюдения после 2013 г. Стрелкой отмечено продолжительное затмение, после которого кривая блеска звезды сильно изменилась.

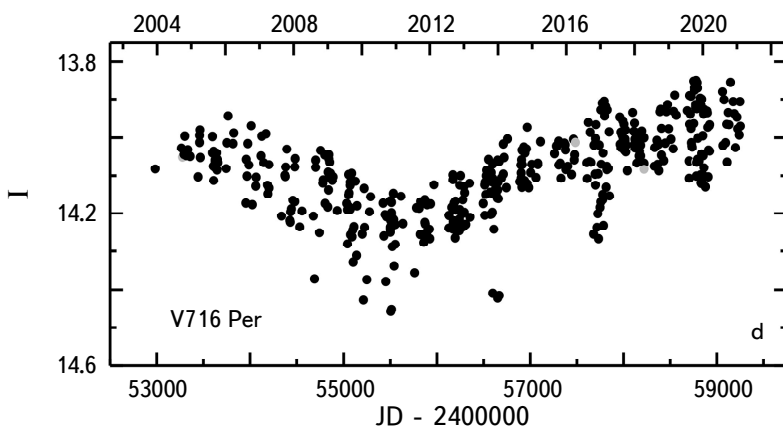


Рис.2d. Кривая блеска V716 Per в полосе I. Серыми кружками показаны данные, точность которых $\sim 0^m.15-0^m.2$.

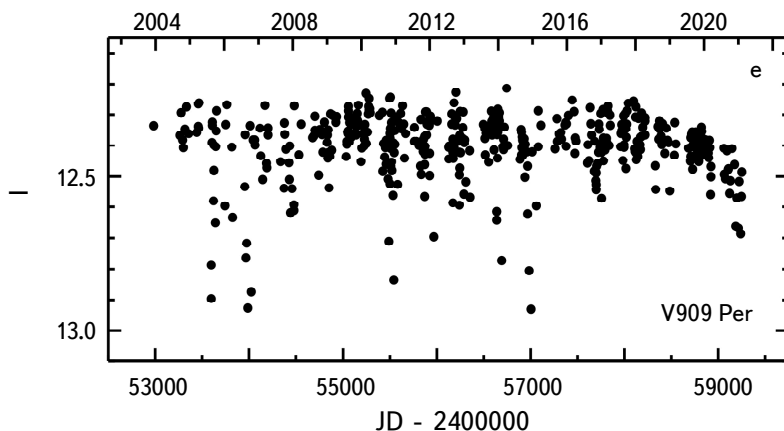


Рис.2е. Кривая блеска V909 в полосе I. Обозначения те же, что и на рис.2а.

историю этой звезды. Из рис.2b видно, что яркое состояние звезды испытывает медленные (продолжительностью около 10 лет) волнообразные изменения, на которые накладываются кратковременные минимумы с амплитудой около 1^m . Кривая блеска включает также периодическую составляющую с периодом 7.6 дня [5]. Ранее нами было показано [5], что алголеподобные ослабления блеска V695 Per группируются вблизи минимумов периодической составляющей. Новые наблюдения подтверждают эту закономерность (рис.3b).

Новые наблюдения V712 Per (они выделены на рис.2с открытыми кружками) показали, что фотометрическое поведение этой звезды сильно изменилось за последние 6 лет (для сравнения см. рис.3 в [8]). Начиная примерно с 2015 г., заметно увеличились частота появления алголеподобных минимумов и их амплитуда. В результате уровень яркого состояния звезды понизился примерно

на $0^m.5$. Этим событиям предшествовал продолжительный (около 1 года) минимум блеска глубиной около 1^m (рис.2с). Фотометрические данные из каталога Gaia DR2 (приведенные к фотометрической системе Джонсона-Козинса), хорошо согласуются с нашими наблюдениями.

Кривая блеска V716 Per имеет весьма необычный вид и включает три составляющие:

1) Медленное изменение среднего блеска: он систематически уменьшался с начала наших наблюдений вплоть до, примерно, 2011 г. После этого средний блеск звезды также плавно стал увеличиваться. Амплитуда этой долговременной переменности зависит от длины волны. Она максимальна в полосе V и составляет около $0^m.5$.

2) Периодические колебания с периодом 7.5 дня [7], о которых пойдет речь ниже в разделе 3.3. Их амплитуда меняется со временем. Например, в 2016-2017 гг. амплитуда колебаний была примерно в два раза больше по сравнению с последующими двумя сезонами. Примерно такая же картина наблюдалась в 2019-2020 гг.

3) Спорадические, кратковременные ослабления блеска с амплитудой несколько десятых звездной величины. Обращают на себя внимание три события, наблюдавшиеся на восходящей части кривой блеска звезды. Одно из них наблюдалось в конце 2013 - начале 2014 гг. и представляло собой три коротких (продолжительностью около 2-х дней) минимума глубиной $\sim 0^m.35$. Два других события, наблюдавшиеся в 2016-2017 гг. и 2019-2020 гг. также внешне похожи на небольшие по амплитуде минимумы блеска. Однако на самом деле, как мы увидим в разделе 3.3, во время этих двух эпизодов произошло *увеличение амплитуды периодических колебаний блеска*. В результате наблюдалось как понижение, так и повышение блеска с амплитудой, превышающей среднюю амплитуду периодических колебаний блеска в соседних наблюдательных сезонах.

Добавление новых наблюдений V909 Per не изменило наши представления о фотометрических свойствах этой звезды по сравнению с описанными ранее в [8]. Обращают на себя внимание отсутствие на кривой блеска алгоподобных минимумов в течение последних нескольких лет, а также систематическое уменьшение среднего блеска звезды в течение трех последних лет.

3.3. Периодическая модуляция блеска. У трех исследуемых звезд - V715 Per, V695 Per и V716 Per - стохастические минимумы блеска наблюдаются на фоне периодических колебаний, вызванных предположительно вращением магнитосфер звезд, оси которых наклонены относительно оси вращения самих звезд (переменность типа AA Tau) [5-8]. У двух из них (V715 Per и V716 Per) минимумы не коррелируют с фазой колебаний.

Из рис.3а видно, что фаза колебаний блеска V715 Per сохранялась в течение примерно 12 лет. Начиная с 2016 г., она стала медленно меняться, отставая от вращения звезды, и к концу наблюдений блеск звезды стал меняться в противофазе по сравнению с предыдущим интервалом времени. Интересно, что начало этого процесса совпало с началом отмеченного в разделе 3.2 систематического уменьшения среднего блеска звезды (рис.2а). Наблюдавшиеся у этой звезды минимумы блеска не коррелируют с периодическими колебаниями, что уже было показано нами ранее в [5]. Из рис.3а видно, что амплитуда колебаний V715 Per увеличивается со временем, что было отмечено ранее в [5].

В отличие от V715 Per, колебания блеска V695 Per с периодом 7.6 дня в первом приближении сохраняют фазу в течение всего интервала наших наблюдений (рис.3б). Небольшое изменение фазы колебаний блеска этой звезды было замечено в [23]. Такие флуктуации фазы, по-видимому, присутствуют и в нашем фотометрическом ряде, на что указывает большой разброс точек на фазовой кривой блеска (рис.3б). Алголеподобные минимумы V695 Per группируются с некоторым разбросом вблизи фазы минимума периоди-

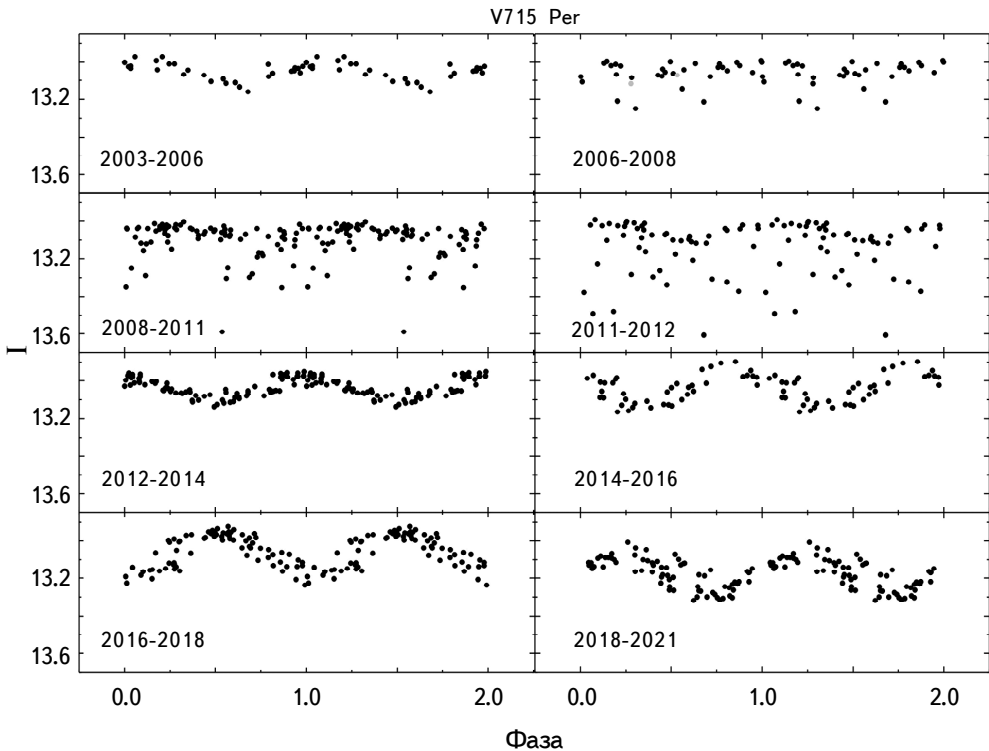


Рис.3а. Свертка кривой блеска V715 Per в полосе I с периодом 5.23^d , разбитая по наблюдательным сезонам.

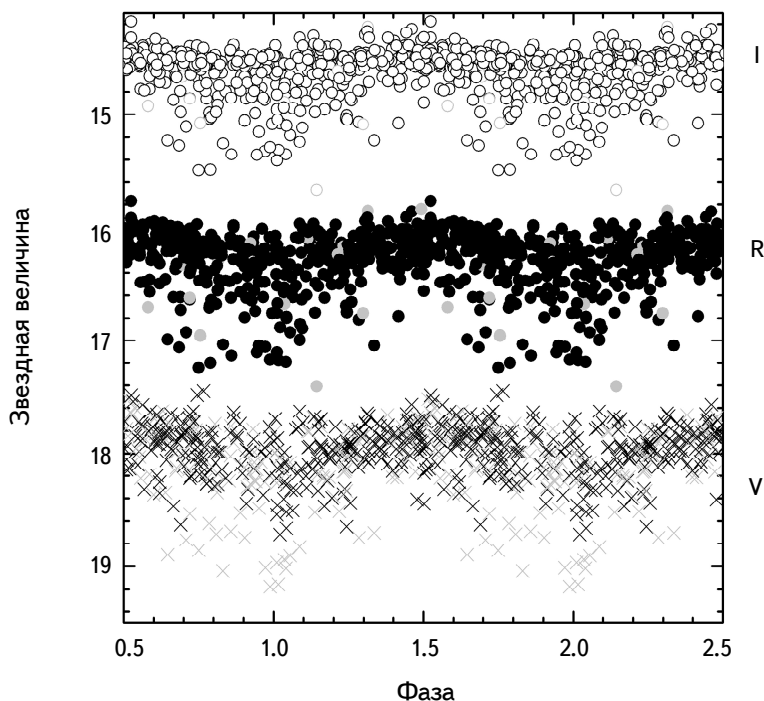


Рис.3б. Свертка кривой блеска V695 Per в трех оптических полосах VRI с периодом 7.6^d . Серыми символами показаны данные, точность которых лежит в пределах от 0.15 до $0^m.3$.

ческих колебаний. Аналогичная картина наблюдается и у AA Tau [30].

Из рис.3с видно, что фаза колебаний блеска V716 Per в течение десяти лет с 2006 по 2016 гг. сохранялась или изменялась в небольших пределах. Новая серия наблюдений 2016-2020 гг. показала, что в последующие наблюдательные сезоны у V716 Per начались сильные смещения фазы колебаний. Интересно, что этим смещениям предшествовало значительное уменьшение амплитуды колебаний. Как видно из рис.3с, такая ситуация повторилась уже два раза. Интересно также то, что наличие крупномасштабного тренда с резкой сменой в 2011 г. знака градиента блеска звезды привело к систематическому уменьшению амплитуды периодических колебаний блеска и никак не повлияло на фазу колебаний.

Согласно табл.1 у двух исследуемых звезд ранее были обнаружены фотометрические периоды: для V909 Per был получен период 6.536 дня [12]. По данным этой же работы фотометрический период у V712 Per составил 32.28 дня. Другая оценка периода - 8.6 дня - была получена в [18], где было высказано предположение, что период 32.28 дня - это гармоника реального периода. Периодограммный анализ, выполненный на более продолжительных

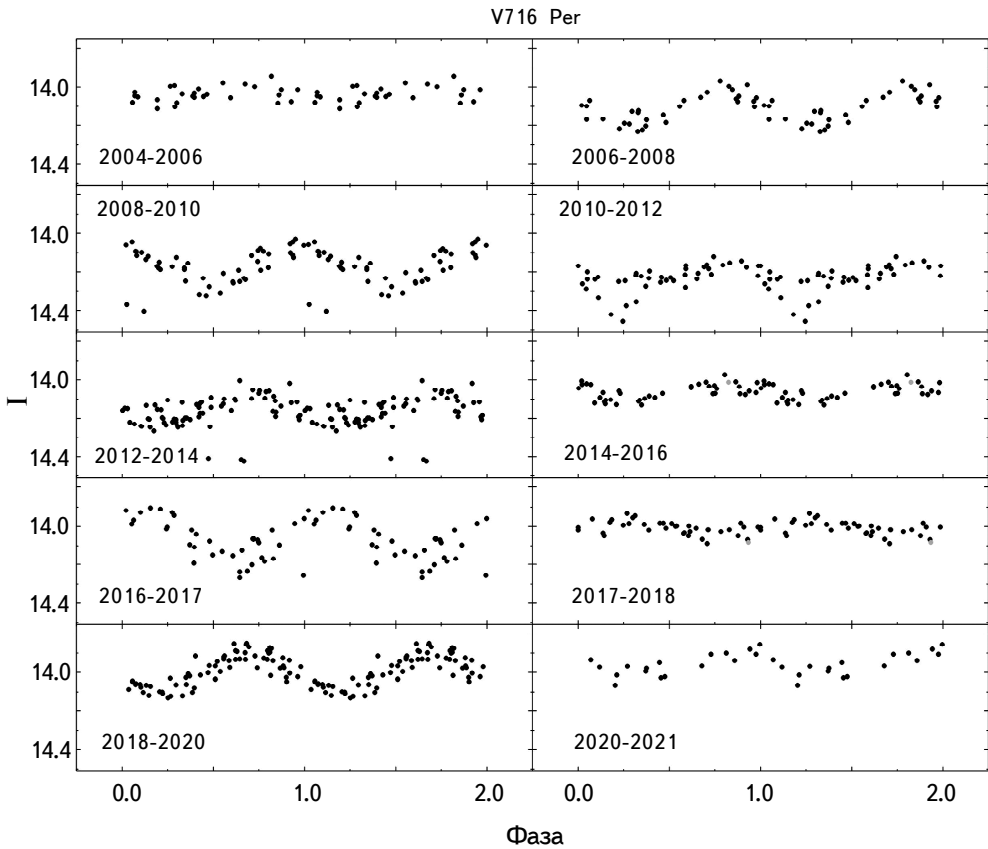


Рис.3с. Свертка кривой блеска V716 Per периодом 7.5^d в полосе I, разбитая по наблюдательным сезонам.

рядах наблюдений [8], показал, что обнаруженные в указанных выше работах фотометрические периоды являются на самом деле квазипериодами и на длительных интервалах времени не сохраняются.

3.4. *Диаграммы "цвет-величина"*. На рис.4 показаны диаграммы "цвет-величина" исследуемых объектов. Заполненными серыми кружками показаны данные, точность которых лежит в пределах от 0.15 до $0^m.3$. Стрелками показано направление стандартного закона межзвездного поглощения.

Диаграммы "цвет-величина" V715 Per (рис.4а) несколько отличаются от приведенных в статье [5]. Добавление новых наблюдений и более точный учет фона неба в окрестности звезды выявили небольшой наклон верхних участков цветовых треков относительно нижних. Видно, что цветовые треки начинают раздваиваться при падении блеска звезды, т.е. закон покраснения в периодической составляющей кривой блеска немного отличается от закона покраснения

в неперриодических минимумах. В первом случае он соответствует более крупным частицам. Это говорит о том, что пылевые частицы, участвующие в периодических затмениях звезды, имеют в среднем более крупные размеры по сравнению с пылинками, создающими спорадические затмения.

Из диаграммы "цвет-величина" V712 Per (рис.4b) видно, что в интервале 2014-2020 гг. изменился закон покраснения: он стал более нейтральным, что свидетельствует о появлении на луче зрения большого количества крупных

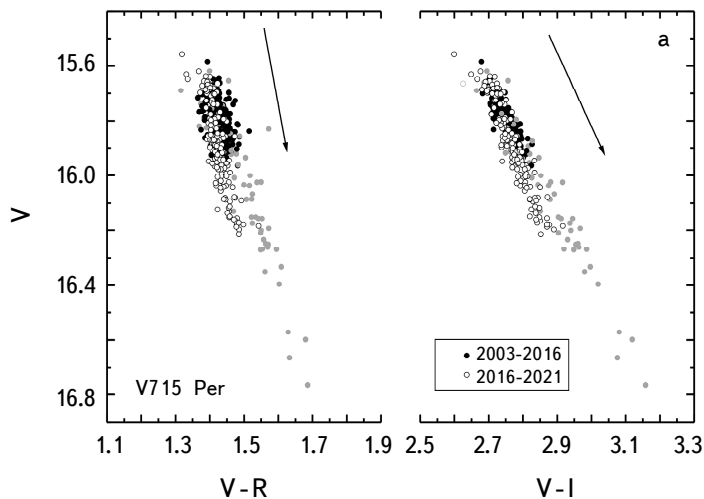


Рис.4а. Диаграммы "цвет-величина" V715 Per. Закрытые кружки - наблюдения 2003-2016 гг.; открытые кружки - наблюдения 2016-2020 гг.

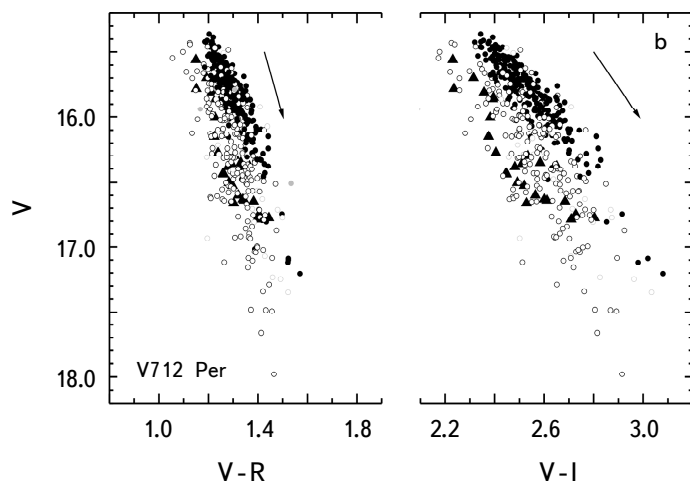


Рис.4б. Диаграммы "цвет-величина" V712 Per. Открытые и закрытые кружки соответствуют открытым и закрытым кружкам на кривой блеска этой звезды (рис.2с), треугольники - данные Gaia DR2.

пылинок, как в случае с CQ Тау [31]. После продолжительного минимума 2014 г. увеличился разброс точек на цветовых диаграммах; они сместились в левую часть графиков. В результате при одинаковом блеске в полосе V звезда стала немного голубее по сравнению с предшествующим периодом (до 2014 г.).

Добавление новых наблюдений не повлияло на вид диаграмм "цвет-величина" V909 Per. Направление цветовых треков на них хорошо согласуется с законом межзвездного покраснения. В случае V695 Per разброс точек на

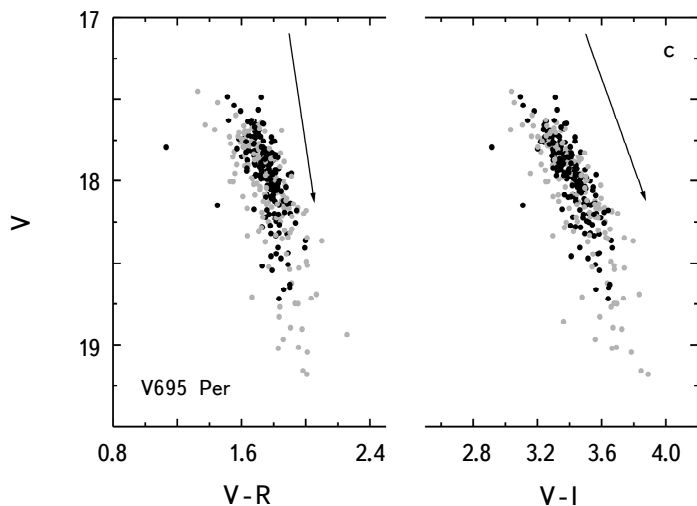


Рис.4с. Диаграммы "цвет-величина" V695 Per. Серыми кружками показаны данные, точность которых лежит в пределах от $0^m.15$ до $0^m.3$.

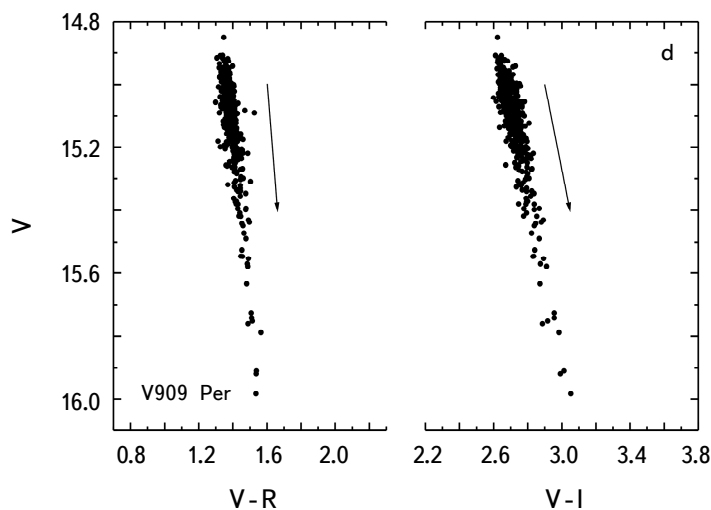


Рис.4d. Диаграммы "цвет-величина" V909 Per.

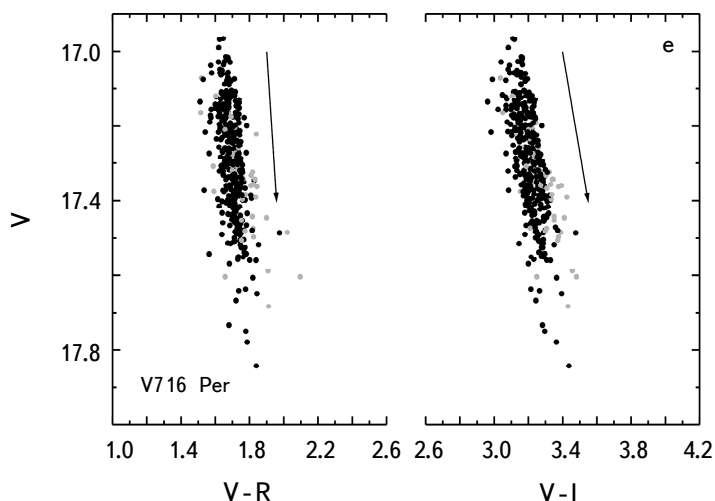


Рис.4е. Диаграммы "цвет-величина" V716 Пер. Серыми кружками показаны данные, точность которых $\sim 0^m.15$ до $0^m.2$.

диаграммах "цвет-величина" указывает на влияние излучения горячих аккреционных пятен при затмениях звезды [32].

Учитывая особенности кривой блеска V716 Пер (рис.2d), мы проанализировали поведение показателей цвета звезды отдельно на нисходящей и восходящей ее частях, но не нашли значимых различий. Поэтому на рис.4е представлены диаграммы "цвет-величина" для всей кривой блеска звезды. Из представленных выше диаграмм "цвет-величина" следует, что околозвездная пыль в окрестностях исследуемых звезд по своим оптическим характеристикам близка к межзвездной пыли.

4. Обсуждение и заключение. Представленные выше результаты показывают, что фотометрическая активность исследуемых молодых звезд отличается большим разнообразием. Алголеподобные минимумы, наблюдаемые у V715 Пер и V716 Пер, не коррелируют с фазой мало-амплитудных периодических колебаний блеска (рис.3а и 3с). Это свидетельствует об отсутствии у этих звезд связи между двумя разными механизмами фотометрической переменности.

Противоположная картина наблюдается у V695 Пер: короткоживущие алголеподобные ослабления блеска наблюдаются преимущественно вблизи фаз минимумов периодической составляющей кривой блеска. Это напоминает фотометрическое поведение известной звезды типа Т Тельца AA Тау, вызванное наклоном оси магнитосферы относительно оси вращения звезды (Бувье и др. [30]). В результате этого внутренняя область возмущенного (warped) околозвездного диска периодически экранирует звезду.

Особенность фотометрического поведения V715 Per состоит в возможном существовании двух периодов. Один из них $P_1 = 5.23^d$ - наблюдался в течение всего фотометрического мониторинга как в оптике, так и в ИК полосах JHK [5], другой - $P_2 = 14.7^d$ - наблюдался в ИК полосах на 3.6 и 4.5 мкм в течение примерно трех периодов [14], но не был найден в наших ИК наблюдениях [8]. Поэтому вопрос о его существовании остается открытым.

Изменения показателей цвета при ослаблениях блеска исследуемых звезд в первом приближении похожи на ожидаемые в случае стандартного закона покраснения. Это говорит о том, что пыль в околозвездных дисках этих звезд все еще достаточно молодая. При этом разброс показателей цвета при фиксированном блеске может достигать у некоторых звезд $0^m.2 - 0^m.3$. Такой разброс, как показано в [32], может быть вызван флуктуациями интенсивности излучения аккреционных пятен на поверхности звезд.

Ранее, в статье [5], для объяснения периодической модуляции блеска V715 Per была использована модель звезды AA Tau, предложенная Бувье и др. [30]. Согласно этой модели, V715 Per периодически экранируется внутренней областью околозвездного диска, возмущенной магнитосферой, ось которой не совпадает с осью вращения звезды. Такой тип переменности наблюдается у ряда классических звезд типа Т Тельца (см. например, [33,34]). В поддержку этой модели свидетельствует корреляция между оптической и ИК переменностью V715 Per (см. рис.9 в [5]), согласующаяся с результатами модельных расчетов [35]. Что касается систематического увеличения амплитуды периодических колебаний блеска звезды, то в рамках этой модели возможно только одно объяснение: уменьшение темпа аккреции газа [5]. Это вызвано тем обстоятельством, что радиус возмущенной области диска, определяющий амплитуду колебаний блеска, по порядку величины равен альвеновскому радиусу, а последний увеличивается с уменьшением темпа аккреции: $r_A \sim \dot{M}_{acc}^{-2/7}$.

Недавно Нагель и Бувье [36] предположили, что периодические затмения V715 Per могут быть созданы также крупными частицами пыли, проникающими вместе с газом непосредственно в магнитосферу звезды. Сделанный выше вывод о более крупных пылинках, участвующих в периодических затмениях звезды, не противоречит этой модели. Хотя эта модель физически совместима с моделью, принятой в статье [5], она по-другому объясняет наблюдаемое увеличение амплитуды периодических колебаний блеска звезды. Для этого необходимо, чтобы темп аккреции увеличивался. Очевидно, что для проверки этих двух противоположных предсказаний аккреционной активности V715 Per необходимы спектральные наблюдения звезды в линии H α (в настоящее время известно всего одно такое наблюдение, выполненное в 2006-2007 гг. Дамом [24]).

В связи с наблюдавшимся у V715 Per в 2016-2020 гг. сдвигом фазы периодической компоненты кривой блеска (рис.3а), возникает вопрос: можно ли такой сдвиг объяснить в рамках рассмотренных выше моделей, основанных на взаимодействии околос звездного диска с наклонной магнитосферой звезды?

Аналогичный вопрос возникает также и в связи с наблюдавшимся смещением фазы периодических колебаний блеска V716 Per (рис.3с). Особенность этого процесса, как отмечалось выше, состоит в том, что каждый раз смещению фазы на $1/2$ периода предшествовало уменьшение амплитуды колебаний блеска. Другой особенностью фотометрической активности V716 Per является наличие тренда на кривой блеска звезды на временной шкале порядка 20 лет. По своей форме он напоминает фрагмент периодической модуляции блеска в моделях молодых двойных систем, наблюдаемых под небольшим углом к плоскости системы [37]. Поэтому эта звезда представляет большой интерес в плане поиска других наблюдательных проявлений двойственности, включая интерферометрические и спектральные наблюдения.

Как было отмечено выше, значительному усилению фотометрической активности V712 Per, наблюдавшемуся в последние 6 лет, предшествовал продолжительный минимум блеска в 2015 г., вызванный экранированием звезды протяженным пылевым облаком (рис.2с). Естественно связать последовавшее за этим событием увеличение частоты и амплитуды минимумов с разрушением облака на более мелкие фрагменты.

Если периодическая модуляция блеска, наблюдаемая у трех исследуемых звезд: V695 Per, V715 Per, V716 Per, действительно, вызвана наклоном магнитосфер относительно осей вращения звезд, то возникает вопрос: как в рамках этой модели объяснить смещение фазы колебаний, которое довольно отчетливо наблюдалось у двух из них - V716 Per и V715 Per? Вызвано ли это смещение дрейфом магнитных полюсов магнитного диполя на звезде, или это результат отклонения вращения возмущенной области внутреннего диска от твердотельного вращения? Изучение этой особенности вращательной модуляции блеска исследуемых звезд представляет большой интерес и заслуживает отдельного рассмотрения.

Представленные выше результаты показывают важность длительного фотометрического мониторинга молодых звезд типа UX Ori и родственных им молодых объектов. Такой мониторинг позволяет изучать на большой временной шкале изменения фотометрической активности звезд, обусловленные взаимодействием внутренних областей протопланетных дисков с магнитосферами звезд. Учитывая это, мы планируем расширять эту программу наблюдений, вовлекая в работу новые молодые скопления нашей Галактики. Очень важно также привлечь к такому мониторингу спектральные наблюдения

программных звезд в окрестности линии $H\alpha$, позволяющие контролировать темп аккреции на звезды.

Авторы благодарят рецензента Е.Н.Копецкую за полезные замечания. Работа В.П.Г., О.Ю.Б. и Н.В.Е. поддержана грантом Министерства Образования и Науки РФ № 075-15-2020-780. Работа С.Ю.Ш. поддержана грантом APVV-15-0458 Словацкого Агентства по научным исследованиям и разработкам и грантом VEGA 2/0030/21 Словацкой Академии наук.

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: vgcrao@mail.ru

² Астрономический институт им. В.В.Соболева, Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург, Россия

³ Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Крым, п. Научный, Россия

⁴ Астрономический институт Словацкой академии наук, Татранска Ломница, Словакия

⁵ Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Московский государственный университет, Москва, Россия

UX Ori TYPE STARS IN THE YOUNG CLUSTER IC 348: RESULTS OF THE LONG-TERM PHOTOMETRIC MONITORING

O.Yu.BARSUNOVA¹, V.P.GRININ^{1,2}, S.G.SERGEEV³, S.Yu.SHUGAROV^{4,5},
N.V.EFIMOVA¹, S.V.NAZAROV³

The results of long-lasting (17 years) photometric (VRI) monitoring of five T Tauri stars are presented. All investigated objects are members of the young cluster IC 348 and show variability which is typical for UX Ori type stars and caused by changes in circumstellar extinction. Three of them (V712 Per, V716 Per, V909 Per) are classical T Tauri stars (CTTS), the other two (V695 Per, V715 Per) are weak-line T Tauri stars (WTTS). Their light curves have various character. Three objects show a composition of two different types of activity: stochastic UX Ori type variability and periodic brightness variations similar to those observed in AA Tau type stars. The two stars demonstrate only brightness variability caused by fluctuations in circumstellar extinction at different characteristic times. Their photometric activity peculiarities are discussed in details.

Keywords: *photometry: T Tau stars, UX Ori, IC 348*

ЛИТЕРАТУРА

1. *V.P.Grinin, N.N.Kiselev, N.Kh.Minikhulov et al.*, *Astrophys. Space Sci.*, **186**, 283, 1991.
2. *G.H.Herbig*, *Astrophys. J.*, **497**, 736, 1998.
3. *K.L.Luhman, G.H.Rieke, C.J.Lada et al.*, *Astron. J.*, **508**, 347, 1998.
4. *K.L.Luhman, J.R.Stauffer, A.A.Muench et al.*, *Astrophys. J.*, **593**, 1093, 2003.
5. *В.П.Гринин, О.Ю.Барсунова, С.Г.Сергеев и др.*, *Астрон. ж.*, **95**, 716, 2018, (*Astron. Rep.*, **62**, 677, 2018).
6. *О.Ю.Барсунова, В.П.Гринин, А.А.Архаров и др.*, *Астрофизика*, **59**, 171, 2016, (*Astrophysics*, **59**, 147, 2016).
7. *О.Ю.Барсунова, В.П.Гринин, С.Г.Сергеев*, *Астрофизика*, **56**, 429, 2013, (*Astrophysics*, **56**, 395, 2013).
8. *О.Ю.Барсунова, В.П.Гринин, С.Г.Сергеев и др.*, *Астрофизика*, **58**, 209, 2015, (*Astrophysics*, **58**, 193, 2015).
9. *W.Herbst, J.A.Maley, E.C.Williams*, *Astron. J.*, **120**, 349, 2000.
10. *S.Nordhagen, W.Herbst, K.L.Rhode et al.*, *Astron. J.*, **132**, 1555, 2006.
11. *S.P.Littlefair, T.Naylor, B.Burningham et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **358**, 341, 2005.
12. *Ü.Kızıloğlu, N.Kızıloğlu, A.Baykal*, *Astron. J.*, **130**, 2766, 2005.
13. *R.E.Cohen, W.Herbst, E.C.Williams*, *Astron. J.*, **127**, 1602, 2004.
14. *K.M.Flaherty, J.Muzerolle, G.Rieke et al.*, *Astron. J.*, **145**, 66, 2013.
15. *C.A.L.Bailer-Jones, J.Rybizki, M.Fouesneau et al.*, *Astron. J.*, **156**, 58, 2018.
16. *M.Cottaar, K.R.Covey, M.R.Meyer et al.*, *Astrophys. J.*, **794**, 125, 2014.
17. *K.L.Luhman, K.K.McLeod, N.Goldenson*, *Astrophys. J.*, **623**, 1141, 2005.
18. *L.Cieza, N.Baliber*, *Astrophys. J.*, **649**, 862, 2006.
19. *H.Kirk, P.C.Myers*, *Astrophys. J.*, **727**, 64, 2011.
20. *T.S. Le Blanc, K.R.Covey, K.G.Stassun*, *Astron. J.*, **142**, 55, 2011.
21. *E.Trullols, C.Jordi*, *Astron. Astrophys.*, **324**, 549, 1997.
22. *C.Espaillet, L.Ingleby, J.Hernández et al.*, *Astrophys. J.*, **747**, 103, 2012.
23. *D.J.Fritzewski, M.Kitze, M.Mugrauer et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **462**, 2396, 2016.
24. *S.E.Dahm*, *Astron. J.*, **136**, 521, 2008.
25. *K.M.Flaherty, J.Muzerolle, G.Rieke et al.*, *Astrophys. J.*, **748**, 71, 2012.
26. *T.Preibisch, H.Zinnecker, G.H.Herbig*, *Astron. Astrophys.*, **310**, 456, 1996.
27. *C.J.Lada, A.A.Muench, K.L.Luhman et al.*, *Astron. J.*, **131**, 1574, 2006.
28. *M.M.Dunham, L.E.Allen, N.J.II.Evans et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **220**, 11, 2015.
29. *В.П.Гринин, О.Ю.Барсунова, С.Г.Сергеев и др.*, *Письма в Астрон. ж.*, **32**, 918, 2006, (*Astronomy Letters*, **32**, 827, 2006).
30. *J.Bouvier, A.Chelli, S.Allain et al.*, *Astron. Astrophys.*, **349**, 619, 1999.
31. *Д.Н.Шаховской, В.П.Гринин, А.Н.Ростопчина*, *Астрофизика*, **48**, 165, 2005, (*Astrophysics*, **48**, 135, 2005).

32. *Д.В.Дмитриев, В.П.Гринин, О.Ю.Барсунова*, Письма в Астрон. ж., **47**, 22, 2021, (Astron. Rep., **65**, 864, 2021).
33. *S.H.P.Alencar, P.S.Teixeira, M.M.Guimarães et al.*, Astron. Astrophys., **519**, A88, 2010.
34. *P.T.McGinnis, S.H.P.Alencar, M.M.Guimarães et al.*, Astron., Astrophys., **577**, A11, 2015.
35. *E.Nagel, J.Bouvier*, Astron. Astrophys., **625**, A45, 2019.
36. *E.Nagel, J.Bouvier*, Astron. Astrophys., **643**, A157, 2020.
37. *Т.В.Демидова, В.П.Гринин*, Письма в Астрон. ж., **43**, 129, 2017, (Astron. Lett., **43**, 106, 2017).