

УДК 524.338.5

## Долговременные фотометрические наблюдения молодых запятненных звезд на Майданакской обсерватории

*К.Н. Гранкин, С.Ю. Мельников*

Астрономический институт АН РУз, Узбекистан

Поступила в редакцию 29 января 2006 г.

**Аннотация.** Проведен анализ многолетних BVR-наблюдений тридцати шести молодых запятненных звезд типа Т Тельца. Обсуждаются механизмы изменения амплитуды и формы периодических кривых блеска.

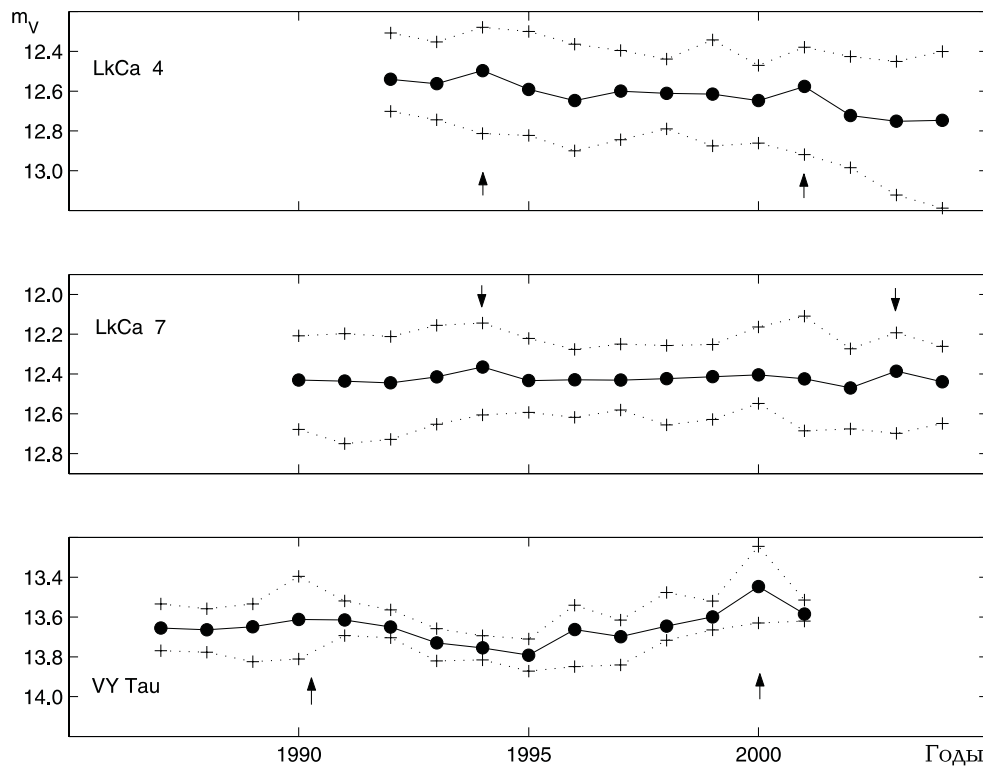
LONG-TERM PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF YOUNG SPOTTED STARS AT MOUNT MAIDANAK OBSERVATORY, *by K.N. Grankin, S.Yu. Melnikov.* An analysis of long-term BVR observations of thirty six young spotted T Tauri stars was carried out. The mechanisms of changes in the amplitude and shape of the periodic light curves are discussed.

**Ключевые слова:** звезды типа Т Тельца, фотометрия, активность, вращение

---

## 1 Введение

В настоящее время известно более сотни молодых звезд типа Т Тельца со слабыми эмиссионными линиями (weak-line T Tauris stars or WTTS), которые демонстрируют периодические изменения блеска с амплитудами от нескольких сотых до нескольких десятых звездной величины. Было показано, что существование фотометрических периодов у WTTS можно объяснить вращательной модуляцией звездного излучения протяженными холодными пятнами, которые расположены в фотосферах этих звезд (Ридгрэн и Врба, 1983). Хорошо известно, что кривая блеска запятненной звезды является чувствительным инструментом для определения долготы, размера и температуры пятен (Торрес и Мелло, 1973; Фогт, 1981; Алексеев и Гершберг, 1996). Таким образом, долговременные фотометрические наблюдения представительной выборки WTTS с возрастными от 1 до 40 млн лет позволяют исследовать эволюцию углового момента протозвезды при ее движении к главной последовательности и искать возможную зависимость звездной активности от возраста и/или от скорости осевого вращения. Не менее интересную задачу представляет поиск свидетельств существования циклов звездной активности. Для решения этих задач были предприняты долговременные фотоэлектрические наблюдения нескольких десятков WTTS в рамках программы LOTOS (Гранкин, 1997). В настоящей работе мы представляем основные результаты этой долговременной фотометрической программы.



**Рис. 1.** Многолетние кривые блеска трех WTTS в полосе V. Заполненные кружки - значения среднего уровня блеска, крестики – максимальный и минимальный уровень блеска для каждого сезона наблюдений. Вертикальные стрелки соответствуют тем сезонам, когда наблюдались максимальные значения среднего уровня блеска

## 2 Наблюдения

Систематические фотометрические BVR-наблюдения 36 WTTS в области звездообразования Телец-Возничий начались на Майданакской обсерватории Астрономического института АН Республики Узбекистан в 1990 г. (Гранкин, 1992; Гранкин, 1993; Гранкин, 1994). Все наблюдения получены на двух рефлекторах (АЗТ-14 и Т-60), оснащенных идентичными фотометрами на счете импульсов. Детальное описание аппаратуры, фотометрической UBVR системы, методики и обработки наблюдений можно найти в работе Гранкина и др., 1995. На рис. 1 представлены многолетние кривые блеска для трех WTTS. В таблице 1 приведены основные параметры долговременных фотометрических наблюдений 36 WTTS: имя звезды, спектральный класс, число наблюдательных сезонов, эпоха наблюдений, начальная эпоха, фотометрический период, минимальная и максимальная амплитуды периодических изменений блеска, зарегистрированные в течение наблюдений.

## 3 Основные результаты

В этом разделе мы обсудим основные результаты долговременных наблюдений 36 WTTS в области звездообразования Телец-Возничий.

Периоды вращения молодых запятанных звезд заключены в диапазоне от 0.7 до 9.9 суток, за одним исключением: фотометрический период V501 Aur близок к 56 суткам. Подавляющее большинство звезд (30 из 36) имеют периоды вращения в пределах от 0.7 до 4 дней. 44% звезд

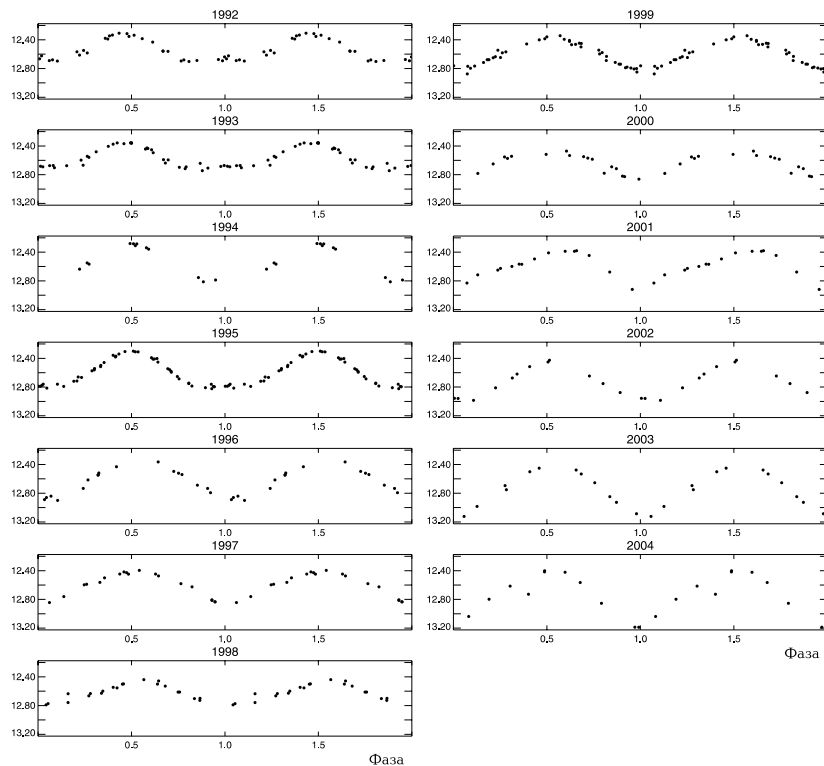
нашей выборки демонстрируют периоды вращения близкие к двум суткам, в диапазоне от 1.5 до 2.5 суток (см. табл. 1).

Таблица 1. Основные параметры долговременных фотометрических наблюдений 36 WTTS

| Звезда         | SpT | $N_s$ | Эпоха набл. | Нач. Эпоха<br>JDH 2400000+ | Период<br>(сутки) | $\Delta V_{min}$<br>(mag) | $\Delta V_{max}$<br>(mag) |
|----------------|-----|-------|-------------|----------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| V410 Tau       | K3  | V 19  | 1986-2004   | 46659.6                    | 1.87197           | 0.39                      | 0.63                      |
| VY Tau         | M0  | V 17  | 1985-2001   | 44610.7                    | 5.36995           | 0.11                      | 0.31                      |
| LkCa 7         | K7  | V 17  | 1990-2004   | 45998.7                    | 5.6638            | 0.33                      | 0.58                      |
| V830 Tau       | K7  | V 15  | 1990-2004   | 45252.6                    | 2.74079           | 0.15                      | 0.45                      |
| V819 Tau       | K7  | V 15  | 1990-2004   | 45195.2                    | 5.5302            | 0.12                      | 0.27                      |
| LkCa 4         | K7  | V 15  | 1992-2004   | 46296.8                    | 3.374             | 0.35                      | 0.79                      |
| V827 Tau       | K7  | V 14  | 1990-2004   | 44896.0                    | 3.75886           | 0.07                      | 0.51                      |
| V397 Aur       | K7  | V 13  | 1992-2004   | 48848.7                    | 9.345             | 0.10                      | 0.21                      |
| V1075 Tau      | K7  | V 13  | 1992-2004   | 48858.0                    | 2.424             | 0.11                      | 0.39                      |
| LkCa 11        | M2  | V 13  | 1993-2004   | 48952.0                    | 1.5396            | 0.13                      | 0.18                      |
| HDE283572      | G5  | IV 13 | 1992-2004   | 48850.3                    | 1.529             | 0.08                      | 0.24                      |
| LkCa 19        | K0  | V 13  | 1990-2004   | 48179.8                    | 2.236             | 0.07                      | 0.15                      |
| V836 Tau       | K7  | V 12  | 1990-2004   | 45250.2                    | 6.7584            | 0.39                      | 0.62                      |
| HBC408         | K0  | IV 12 | 1993-2004   | 49195.3                    | 3.039             | 0.05                      | 0.13                      |
| DI Tau         | M0  | V 10  | 1986-1995   | 46710.0                    | 7.587             | 0.07                      | 0.15                      |
| V1197 Tau      | K1  | V 10  | 1994-2004   | 49658.0                    | 2.662             | 0.06                      | 0.16                      |
| V1199 Tau      | K0  | V 10  | 1994-2004   | 49658.9                    | 1.812             | 0.06                      | 0.21                      |
| V1200 Tau      | K2  | V 10  | 1994-2004   | 49659.3                    | 1.605             | 0.08                      | 0.13                      |
| V1202 Tau      | K0  | V 10  | 1994-2004   | 49658.8                    | 2.7136            | 0.06                      | 0.19                      |
| V1207 Tau      | K7  | V 10  | 1994-2004   | 49656.9                    | 7.741             | 0.06                      | 0.14                      |
| V501 Aur       | K2  | V 10  | 1994-2004   | 49653.0                    | 55.95             | 0.05                      | 0.24                      |
| V1076 Tau      | K7  | V 8   | 1992-2004   | 48859.5                    | 9.909             | 0.09                      | 0.21                      |
| V1072 Tau      | K1  | V 8   | 1992-2004   | 48858.5                    | 2.734             | 0.05                      | 0.13                      |
| LkCa 2         | K7  | V 7   | 1992-1998   | 49950.3                    | 1.3614            | 0.05                      | 0.18                      |
| LkCa 3         | M1  | V 7   | 1992-1998   | 48856.5                    | 7.35              | 0.08                      | 0.16                      |
| TAP 40         | K5  | V 6   | 1992-1997   | 48859.8                    | 1.5548            | 0.09                      | 0.12                      |
| TAP 26         | K7  | V 6   | 1992-1997   | 48619.6                    | 0.7135            | 0.08                      | 0.27                      |
| HBC366         | M0  | V 6   | 1992-1997   | 48951.7                    | 6.493             | 0.11                      | 0.20                      |
| LkCa 1         | M4  | V 5   | 1993-1997   | 49212.9                    | 2.496             | 0.06                      | 0.14                      |
| RXJ0405.1+2632 | K2  | V 5   | 1999-2004   | 51427.1                    | 2.036             | 0.05                      | 0.11                      |
| V1201 Tau      | K0  | V 5   | 1999-2004   | 51426.1                    | 3.206             | 0.07                      | 0.17                      |
| HD28150        | G5  | V 5   | 1999-2004   | 51427.1                    | 0.696             | 0.04                      | 0.12                      |
| RXJ0452.5+1730 | K4  | V 5   | 1999-2004   | 51427.1                    | 0.826             | 0.03                      | 0.07                      |
| RXJ0452.8+1621 | K6  | V 5   | 1999-2004   | 51426.6                    | 1.4195            | 0.09                      | 0.16                      |
| RXJ0455.7+1742 | K3  | V 5   | 1999-2004   | 51428.3                    | 2.71              | 0.06                      | 0.10                      |
| RXJ0459.7+1430 | K4  | V 5   | 1999-2004   | 51427.4                    | 1.2308            | 0.09                      | 0.26                      |

Максимальные амплитуды периодических изменений блеска лежат в диапазоне от  $0.07^m$  до  $0.8^m$  в полосе V. 30 из 36 звезд показывают максимальные амплитуды в пределах  $0.07^m - 0.3^m$ . Максимум распределения по амплитудам приходится на  $0.15^m$ . Рекордные амплитуды зарегистрированы у четырех объектов: LkCa 4 ( $0.79^m$ ), V410 Tau ( $0.63^m$ ), V863 Tau ( $0.62^m$ ) и LkCa 7 ( $0.58^m$ ).

10 из 36 звезд демонстрируют удивительную стабильность фазы минимума блеска в течение 5-19 наблюдательных сезонов. Пожалуй, это один из наиболее интересных результатов нашей долговременной фотометрической компании. Суть феномена состоит в том, что фазовая кривая блеска может сохранять фазу минимума блеска в течение нескольких лет. Лучше всего этот феномен наблюдается у V410 Tau. В течение 19 лет наших наблюдений, изменения фазы минимума

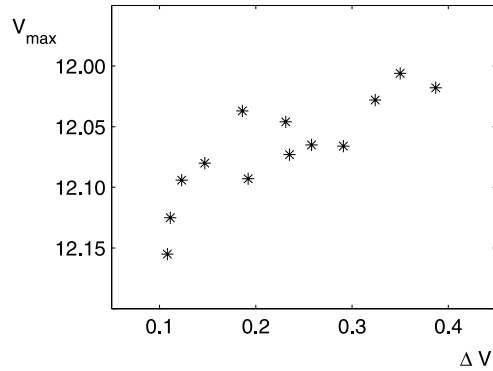


**Рис. 2.** Фазовые кривые блеска LkCa 4 в полосе V для каждого сезона отдельно. Для построения фазовых кривых блеска использовались начальная эпоха и фотометрический период, приведенные в таб. 1.

блеска не превысили  $0.16 P$ , где  $P$  – период вращения (Гранкин, 1999; Стелзер и др., 2003). На рис. 2 представлены фазовые кривые блеска LkCa 4 в полосе V для каждого сезона отдельно. Из рисунка видно, что фаза минимума блеска практически не менялась в течение 13 лет наблюдений. Мы полагаем, что феномен стабильности фазы минимума блеска обусловлен продолжительным существованием так называемых “активных долготных интервалов” или “активных долгот”, внутри которых расположены протяженные короткоживущие запятненные области (Гранкин и др., 1995). Из физики Солнца известно, что активные долготы сохраняют свое положение на поверхности, по крайней мере, в течение двух 11-летних циклов (Витинский и др., 1986). Кроме того, было показано, что активные долготы существуют в течение многих лет на поверхностях звезд типа RS CVn (Батлер, 1996).

Вполне возможно, что фаза минимума блеска совпадает с моментом максимальной видимости одной из таких активных долгоживущих долгот. Понятно, что длительное существование активной долготы на поверхности WTTS не исключает возможности появления, исчезновения или перемещения отдельных пятен или их групп в пределах этой активной долготы. Об этом свидетельствуют значительные изменения формы и амплитуды фазовых кривых блеска, наблюдаемые у всех WTTS (см. рис. 2).

У 11 из 36 WTTS наблюдается достаточно строгая зависимость между изменением максимального уровня блеска и изменением амплитуды периодического процесса от сезона к сезону. Мы обнаружили, что увеличение амплитуды периодического процесса сопровождается ростом максимального уровня блеска и наоборот. На рис. 3 представлена зависимость между максимальным уровнем блеска и амплитудой периодического процесса для V1075 Tau. Такую зависимость трудно объяснить в рамках модели с одним или двумя протяженными околополярными пятнами, которая очень часто применяется при исследовании WTTS (см. Хербст, 1989). Увеличение



**Рис. 3.** Зависимость между амплитудой периодического процесса ( $\Delta V$ ) и максимальным уровнем блеска ( $V_{max}$ ) для V1075 Tau

площади одиночного околополярного пятна будет сопровождаться увеличением амплитуды и уменьшением максимального уровня блеска, что противоречит нашим результатам. Обнаруженную нами зависимость можно объяснить существованием большого числа пятен, которые расположены на различных широтах. В этом случае, амплитуда периодического процесса будет зависеть не от общей площади небольших пятен, а от распределения этих пятен по поверхности звезды.

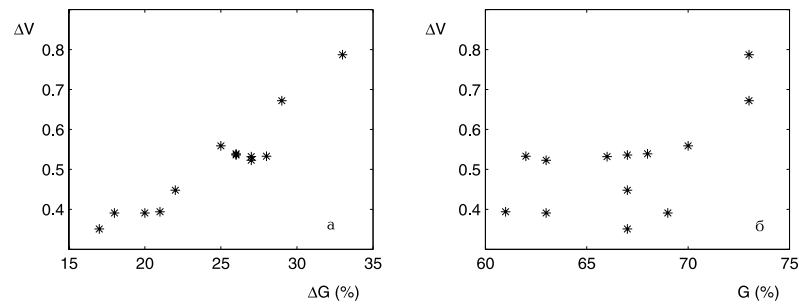
#### 4 Результаты численного моделирования

Для определения количественных параметров запятненных областей мы использовали простую модель, чьи параметры не зависят от количества, формы и положения пятен. Эта модель позволяет оценивать общую площадь и среднюю температуру пятен (Гранкин, 1998). Для звезд с наибольшими амплитудами переменности блеска эта модель показала, что запятненные области покрывают от 17 до 73% видимой звездной фотосферы и что средняя температура этих областей ниже температуры окружающей фотосферы на 500 – 1400° К (Гранкин, 1998; Гранкин, 1999).

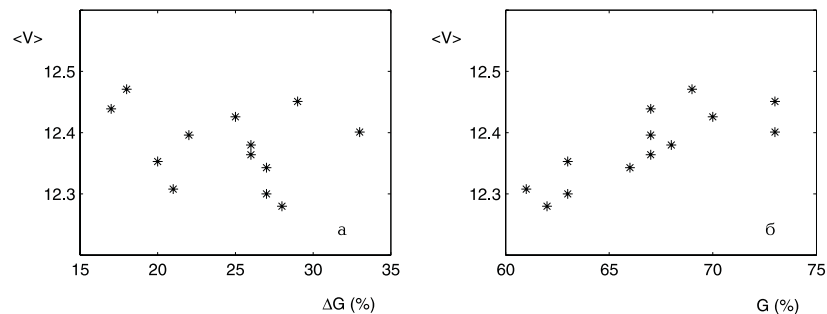
Результаты моделирования подтвердили наше предположение о том, что амплитуда периодического процесса зависит, прежде всего, от распределения пятен по поверхности, а не от их общей площади. На рис. 4 представлена зависимость амплитуды периодического процесса от степени неоднородности распределения пятен и от их общей площади в случае LkCa 4. Из этого рисунка видно, что амплитуда не зависит от общей площади пятен. Напротив, наблюдается очевидная зависимость амплитуды от степени неоднородности в распределении пятен по поверхности звезды. В нашей модели степень неоднородности распределения пятен определялась как:  $\Delta G = G_{min} - G_{max}$ , где:  $G_{min}$  и  $G_{max}$  - площадь пятен на фазе минимального и максимального блеска. В то время, как амплитуда увеличилась с 0.35 до 0.79<sup>m</sup>, степень неоднородности распределения пятен увеличилась с 17 до 33%.

Мы полагаем, что существует много пятен или их групп на различных широтах WTTS. В то же самое время, нельзя исключать возможность того, что некоторые пятна или их группы могут располагаться и на высоких широтах. Доплер-изображение поверхности V410 Tau обеспечивает свидетельство для существования нескольких высокоширотных и низкоширотных пятен, что соответствует нашим предположениям (Райс и Штрассмайер, 1996).

Компьютерное моделирование показало, что изменение среднего уровня блеска запятненной звезды зависит от общей площади пятен и не зависит от степени неоднородности в распределении пятен (рис. 5). Таким образом, циклы звездной активности могут проявляться в квазициклических изменениях среднего уровня блеска от сезона к сезону. Некоторые WTTS из нашей выборки демонстрируют такие квазициклические изменения среднего уровня блеска (см. рис. 1). Такое фотометрическое поведение может быть результатом существования циклов звездной активности.



**Рис. 4.** Зависимость амплитуды периодического процесса от степени неоднородности в распределении пятен (а) и от общей площади пятен (б) в случае LkCa 4



**Рис. 5.** Зависимость среднего уровня блеска от степени неоднородности в распределении пятен (а) и от общей площади пятен (б) в случае LkCa 4

Мы планируем продолжить фотометрический мониторинг избранных молодых запятненных звезд с целью обнаружения и исследования циклов звездной активности.

## Литература

- Алексеев, Гершберг (Алексеев И.Ю., Гершберг Р.Е.) // Астрон. журн. 1996. Т. 73. С. 589.  
 Батлер (Butler C.J.) // Stellar surface structure. IAU Symp. N. 176. Eds Strassmeier K.G., Linsky. J.L. Dordrecht: Kluwer Academic Publ. 1996. P. 423.  
 Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В. // Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука. 1986.  
 Гранкин (Grankin K.N.) // Low Mass Star Formation – from Infall to Outflow. IAU Symp. N. 182. Eds Malbet F., Castets A. Dordrecht: D. Reidel Publ. Company. 1997. P. 281.  
 Гранкин (Grankin K.N.) // Inform. Bull. Var. Stars. 1992. N3720.  
 Гранкин (Grankin K.N.) // Inform. Bull. Var. Stars. 1993. N3823.  
 Гранкин (Grankin K.N.) // Inform. Bull. Var. Stars. 1994. N4042.  
 Гранкин К.Н., Ибрагимов М.А., Кондратьев В.Б., Мельников С.Ю., Шевченко В.С. // Астрон. журн. 1995. Т. 72. С. 894.  
 Гранкин К.Н. // Письма в Астрон. журн. 1998. Т. 24. С. 580.  
 Гранкин К.Н. // Письма в Астрон. журн. 1999. Т. 25. С. 611.  
 Райс, Штрассмайер (Rice, J.B., Strassmeier K.G.) // Astron. Astrophys. 1996. V. 316. P. 164.  
 Ридгрэн, Врба (Rydgren A.E., Vrba F.J.) // Astrophys. J. 1983. V. 267. P. 191.  
 Стелзер и др. (Stelzer B., Fernandez M., Costa V.M., Gameiro J.F., Grankin K., Henden A., Guenther E., Mohanty S., Flaccomio E., Burwitz V., Jayawardhana R., Predehl P., Durisen R.H.) // Astron. Astrophys. 2003. V. 411. P. 517.

- Торрес, Мелло (Torres C.A.O., Mello S.) // *Astron. Astrophys.* 1973. V. 27. P. 231.  
Фогт (Vogt S.S.) // *Astrophys. J.* 1981. V. 250. P. 327.  
Херbst (Herbst W.) // *Astron. J.* 1989. V. 98. P. 2268.