

УДК 524.31

**ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ
ПЕРЕМЕННОСТЬ АКТИВНОСТИ DR TAU****Н.З.ИСМАИЛОВ, А.Н.АДЫГЕЗАЛЗАДЕ, Г.Р.БАХАДДИНОВА*****Шамахинская Астрофизическая Обсерватория АНАН******ismailovn@yahoo.com***

В работе приведены результаты анализа UBVRi фотометрических наблюдений звезд типа Т Тельца DR Тау, выполненные по разным архивным данным. Построена сводная V кривая блеска, охватывающая период наблюдений более 30 лет. Показано, что среднегодовое изменение блеска незначительна, в то время как наблюдаются значительные сезонные изменения, амплитуда которого различается в разные годы. Обнаружена квазициклическая переменность активности с периодом около 15 лет. Изменение показателей WDTNF U-B, B-V можно объяснить в рамках модели холодного пятна на поверхности звезды с температурой ниже 1000 К чем температуры звезды.

Ключевые слова: широкополосная фотометрия, звезды типа TTTS, нестационарность, DR Тау

Звезда DR Тау ($\alpha_{2000}=4^{\text{h}}47^{\text{m}}06^{\text{s}}$, $\delta_{2000} = 16^{\circ}58'48''$, Sp K5Ve) является одним из классических звезд типа Т Тельца (CTTS). После вспышки, которая произошла в начале 1978 г. визуальный блеск звезды был увеличен на $\sim 3^{\text{m}}$ величин [1], после чего звезда оставалась в относительно ярком состоянии ($V \sim 11^{\text{m}}-12^{\text{m}}$) и показывала активную иррегулярную переменность блеска. По данным разных авторов были обнаружены отличающиеся друг от друга периоды в изменении блеска около суток (см. например, [2, 3]). Недавно Перси и др. [4] обнаружили период около 5.0 дней. Аналогичный период по данным ИК фотометрии был обнаружен в работе Кеньёна и др. [5], где авторами был объяснен следствие вращения звезды при присутствии горячего пятна на поверхности. Недавно Артеменко и др. [6], применяя автокорреляционный анализ, не обнаружили устойчивых периодов в изменении блеска звезды.

Исследования, проведенные за последние 40 лет показали, что кратковременные изменения блеска у звезд типа Т Тельца с амплитудой $0.^{\text{m}}1-0.^{\text{m}}3$ часто связаны с осевым вращением звезды: при этом предполагается, что из-за неоднородности физических условий на поверхности звезды при

осевом вращении наблюдается модуляция блеска с периодами от 2 до 15 дней [7, 8]. Однако, причина изменения блеска у звезд типа Т Тельца с амплитудой больше $0.^m3$ и за более длительный период времени пока остается необъяснимой.

В работе [9] было показано, что долговременная переменность блеска DR Тау может быть представлена комбинацией двух вероятно существующих периодов 2 и 6 лет. В этой работе мы приводим анализ кривой блеска звезды DR Тау, полученный за более длительный промежуток времени.

Наблюдательный материал и результаты

UBVRI величины звезды нами были собраны по литературным данным, накопленным в архивах [7, 10]. Здесь было получено около 1200 *V*-значений блеска звезды охватывающий наблюдательный период 1978-2003 гг. Наблюдения в полосах *V*, *I* за период 2002-2009 гг. было взято по данным каталога ASAS [11] (www.astrouw.edu.pl/asas). При составлении каталогов [7, 10] в некоторых датах была допущена механическая ошибка – перепутаны местами цветовые показатели *U-B* и *B-V* [12], поэтому нами было выполнено соответствующее исправление данных. Сравнения показали, что хотя средняя ошибка измерений по данным ASAS хуже ($V \pm 0.05^m$), чем по данным ($V \pm 0.01^m$) [7, 10], систематических различий по этим каталогам не обнаруживается.

На рис.1 приведена сводная *V*-кривая блеска звезды DR Тау. Темными точками обозначены данные [7, 10], светлыми – данные из каталога ASAS. Общий интервал наблюдений охватывает 31 год. В начале 1978 г. блеск звезды был на уровне 11.2^m , затем до 1980 г. наблюдается медленное падение блеска, и снова подъем, до уровня максимума 10.62^m в 1983 г. Согласно сводной кривой блеска звезды, построенной по данным наблюдений 1900-1980 гг. и приведённый в работе [1], начиная с глубокого минимума 1974 года, блеск звезды в визуальной полосе показывает значительную активность. Затем наблюдается увеличение блеска до максимума в 1978 г., затем снова минимум в 1980 г. и максимум в 1983 г. Таким образом, сводная кривая, приведенная в работе [1] удовлетворительно согласуется с результатами фотоэлектрической фотометрии, приведенной в [7, 10].

Как видно из рис.1, средний уровень блеска звезды после вспышки 1978-1983 гг. практически не изменялся, в то время как, сезонные наблюдения (за один год) показывали значительное изменение блеска, иногда достигающие до 1.8^m (например, в 1995 г.). Также видно, что в каждый отдельно взятый сезон наблюдений интервал изменений блеска различается. Например, в интервале JD 2447500-2450000 амплитуда изменений блеска внутри сезона доходит до 2^m , при JD2451000-2453000 значительно меньше – около 1^m , а в остальное время снова увеличена.

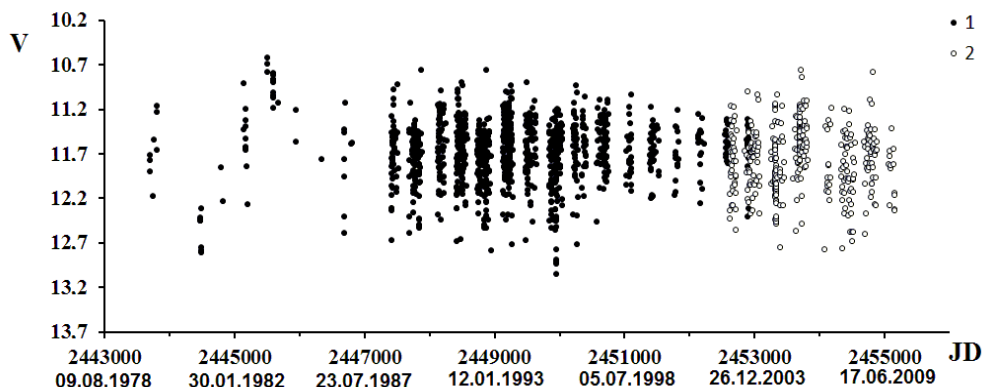


Рис.1. Сводная V-кривая блеска DR Тау за 1978-2010 гг. Темные кружки (1), - данные из [7, 10], светлые (2) – из каталога ASAS.

На рис.2 на верхней панели приведена кривая блеска звезды, усредненная за год наблюдений. Каждая точка соответствует одному сезону (году) наблюдений. В нижней панели рис.2 приведены величины интервала изменений блеска ΔV по сезонам. Условно назовем эту величину амплитудой переменности блеска за год. Как видно, можно заметить определенный цикл изменений амплитуды блеска по разным годам. Поиск периодичности в таком изменении амплитуды с применением программы *Perio04* показало 5534-дневный (15-летний) цикл. Программа, используя фурье-анализа, выполняет поиск периодичности статистического ряда с неравноотстоящими по времени данными (см. <http://univie.ac.at/tops/Perio04/>).

На рис.2 приводится фазовая кривая блеска по периоду 15 лет. Как видно, амплитуда среднегодовых изменений блеска имеет циклический характер.

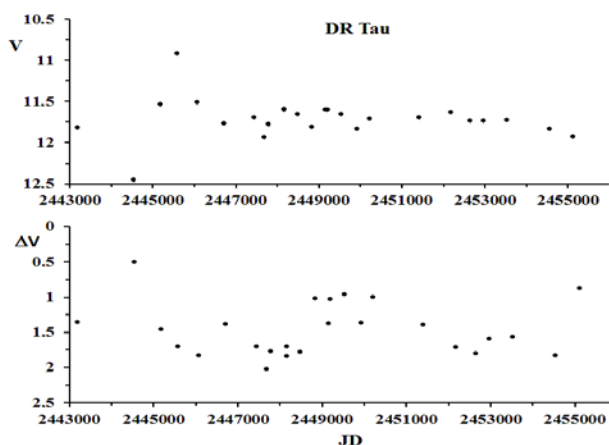


Рис.2. Среднегодовая кривая блеска DR Тау (наверху) и сезонное изменение амплитуды блеска (внизу).

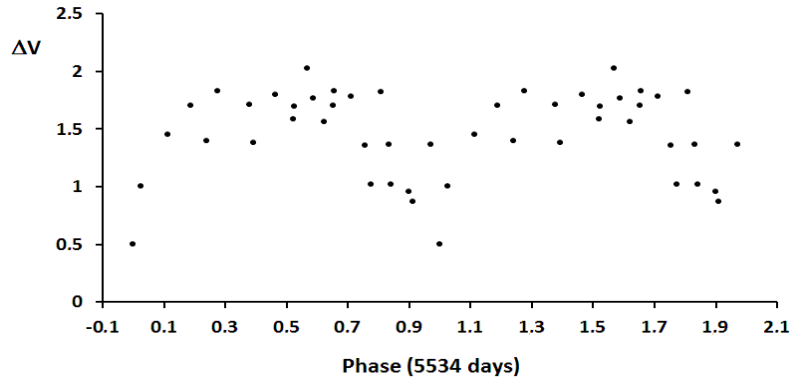


Рис.3. Фазовая кривая сезонного цикла изменения амплитуды блеска.

Нами была применена модель холодного пятна для объяснения изменений блеска V и цветовых показателей $U-B$ и $B-V$ [13, 14]. Была использована простая геометрическая модель пятна, относительная площадь которой изменяется в пределах 0-1, т.е. с чистой фотосферы, до полностью покрытой пятнами излучающей поверхности диска.

Можно использовать следующую формулу:

$$\Delta m = -2.5 \lg[1 + G(B_s/B^* - 1)]$$

Здесь Δm – величина изменения блеска в данной полосе, B_s и B^* , планковское излучение при температуры пятна T_s и звезды T^* , G – относительная площадь пятна, определяемая отношением площади пятна к площади видимого диска звезды $G = S_s/S^*$.

Температура звезды при спектре $K5V$ взята 4400 К, а температура пятна варьировалась с шагом 100 К от 2500 до 4000 К. Для показателей цвета звезды наилучшее согласие получено при температуре пятна 3400 К и при изменении относительной площади от 0 до 1. Например, на рис. 4 приведена зависимость V -значений блеска от показателя цвета $B-V$ для двух наиболее близких значений температуры пятна 3200 К и 3400 К. Как видно, при полном интервале изменений блеска $V \sim 10.5^m - 13.5^m$ для описания наблюдаемых всевозможных значений показателей цвета $B-V$ необходимо менять относительную площадь в интервале 0-1. На самом деле, так как в отдельные циклы активности изменение блеска ΔV значительно меньше, и варьирует в пределах от 0.5 до 1, что при температуры пятна 3400 К требует изменение относительной площади пятна до 0.5.

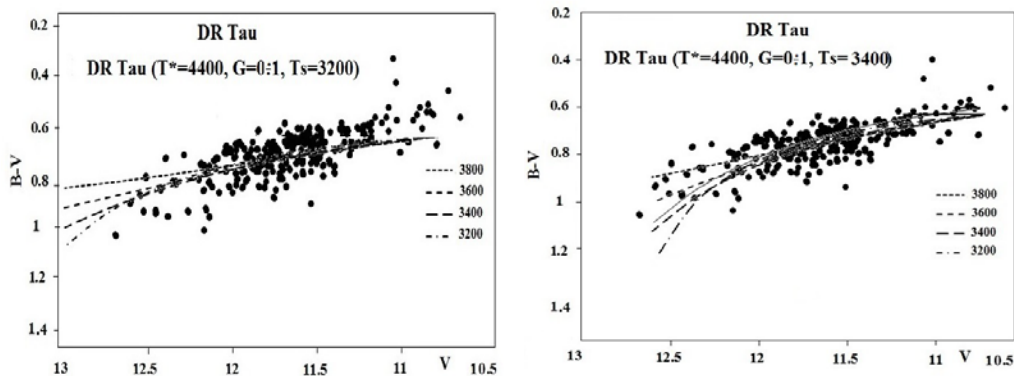


Рис.4. Зависимость цветных показателей $B-V$ от V -значений блеска. Разные линии соответствуют модели холодного пятна с разными температурами, приведенными на рисунках. Наилучшее описание наблюдений получено при температуре пятна 3400 К (справа)

Закключение и выводы

Как известно, одним из механизмов активности звезд типа Т Тельца является нестационарная аккреция из околос звездного диска. Как показывали разные авторы, блеск звезды показывает значительные изменения в течении отдельных сезонов. Наиболее коротким периодом изменений блеска получено около 5 дней [4, 6]. В работе Аленкар и др. [15] было показано, что профили спектральных линий меняются, но не всегда одинаковым периодом. Аналогичный результат был получен в работе Артеменко и др.[6] по анализу данных по фотометрии. Это показывает, что локальное образование с определенными физическими условиями является неустойчивым. Такое локальное образование может быть, например, холодное пятно на поверхности звезды.

В данной работе нами показано, что в простой геометрической модели холодного пятна можно объяснить весь интервал изменения V -значений блеска и показателей цвета $B-V$, $U-B$. При этом, чтобы изменить блеск звезды в интервале $V \sim 10.5^m - 13.5^m$ нужно изменить площадь пятна в интервале 0-1 при постоянной температуре пятна на 1000 К ниже чем температура звезды.

Зная расстояние до звезды 140 пс [16], нормальный показатель цвета для звезды Главной Последовательности $(B-V)_0 = 1.15^m$ и коэффициента экстинкции $R=3.1$, для величины межзвездного покраснения получим $A_V = 0.93^m \pm 0.3^m$. Это значение хорошо согласуется с данными [17]. Тогда для абсолютной и болометрической звездных величин получим

$$M_V = m + 5 - 5 \lg R - A_V = 5^m.04$$

$$BC = -0.66, \quad M_{bol} = M_V + BC = 4.43^m$$

Зная для Солнца болометрическую абсолютную звездную величину $M_{bol\odot} = 4.74^m$ и светимость $L_{\odot} = 3.83 \cdot 10^{26} \text{ Vt}$, можно оценить светимость звезды по выражению

$$L = L_{\odot} 10^{0.4(M_{bol\odot} - M_b)}$$

где получено $L = 5 \cdot 10^{26} \text{ Vt}$. Теперь используя закон

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \text{ и } \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Vt} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4},$$

для радиуса звезды получим $R = 1.4 \cdot 10^9 \text{ m} = 1.9 R_{\odot}$. Заметим, что радиус звезды ранее был определен в работе [17] как $R = 1.46 R_{\odot}$, а в [18] и [19] от $1.2 R_{\odot}$ до $2.7 R_{\odot}$, соответственно.

Таким образом, в настоящей работе получены следующие результаты:

1. Результаты фотоэлектрической фотометрии последних 30 лет показали, что среднегодовой уровень блеска звезды практически остается постоянным. При этом наблюдаются значительные сезонные изменения, с амплитудой $\Delta V = 1^m - 1.5^m$.
2. Сезонные изменения блеска показывают изменение амплитуды с квазициклом около 15 лет.
3. Наблюдаемую переменность блеска и показателей цвета звезды в первом приближении можно описать в рамках холодного пятна с температурой, ниже на 1000 К, чем эффективная температура звезды.

Работа выполнена при поддержке научной программы по приоритетным направлениям научных исследований Национальной Академии Наук Азербайджана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chavarria-K., C. Radial velocity determinations in the expanding atmosphere of LK H alpha 120, Astronomische Gesellschaft, Wissenschaftliche Tagung, Tuebingen, West Germany, Sept. 4-8, 1978. Astronomische Gesellschaft, Mitteilungen, no. 45, 1979, pp. 157, 158.
2. Richter, M., Basri, G., Perlmutter, S., & Pennypacker, C. Automated CCD photometry of T Tauri stars 1992, Astronomical Society of the Pacific, Publications (ISSN 0004-6280), vol. 104, no. 682, p. 1144-1151.
3. Bouvier, J., Covino, E., Kovo, O., et al. COYOTES II: SPOT properties and the origin of photometric period variations in T Tauri stars. 1995, Astronomy and Astrophysics, v.299, pp.89
4. Percy, J. R., Grinko, S., Seneviratne, R., & Hebst, W. Self-Correlation Analysis of the Photometric Variability of T Tauri Stars. II. A Survey, 2010, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 122, issue 893, pp.753-765

5. Kenyon, S. J., Hartmann, L., Hewett R., et al. The hot SPOT in DR Tauri 1994, The Astronomical Journal (ISSN 0004-6256), vol. 107, no. 6, pp. 2153-2163
6. Artemenko S. A., Grankin K. N., Petrov P. P.. Astronomy Reports, A search for Keplerian periods in the brightness variations of T Tauri and Ae Herbig stars 2010, Vol. 54, No. 2, pp. 163–172.
7. Herbst W., Herbst D. K., Grossman E. J., Weinstein D. Catalogue of *UBVRI* photometry of T Tauri stars and analysis of the causes of their variability. 1994, Astron. J., 108, pp. 1906-1923.
8. Herbst W., Shevchenko V. S. Photometric Catalog of Herbig Ae/Be Stars and Discussion of the nature and cause of the variations of UX Orionis Stars. 1999, Astron.J., 118, pp.1043-1060.
9. Исмаилов Н.З., Шустарев П.Н., Адыгезалзаде А.Н., Мамедханова Г.Б. Спектральный Фурье-анализ кривой блеска DR Тау, 2013, Известия НАНА №5, стр. 124-128,.
10. Grankin K.N., Melnikov S.Yu., Bouvier J., et al., Results of the ROTOR-program. I. The long-term photometric variability of classical T Tauri stars., 2007, Astron.Astrophys. 461, pp.183-195.
11. Pojmanski G. The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. I. 0^h - 6^h Quarter of the Southern Hemisphere. 2002, Acta Astronomica, pp.52, 397.
12. Исмаилов Н.З., Шустарев П.Н. Ошибки в каталоге фотометрических данных молодых звезд. Астрон.цирк. 2013, № 1601.
13. Bouvier J., Bertout C., Bouchet P. DN Tauri - A spotted T Tauri star, 1986, Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 158, no. 1-2, April 1986, pp. 149-157.
14. Bouvier J., Cabrit S., Fernandez M., Martin E.L., Matthews J.M. COYOTES I: the photometric variability and rotational evolution of T Tauri stars. 1993, A&A 272, pp. 176-206.
15. Alencar S.H. P., Johns.-Krill Ch. M., Basri G. The Spectral Variability of the Classical T Tauri star DR Tauri. 2001, Astron.J., 122:3335-3360,
16. Bertout, C., & Genova, F. A kinematic study of the Taurus-Auriga T association 2006, Astronomy and Astrophysics, Volume 460, Issue 2, December III 2006, pp. 499-518
17. P. P. Petrov, G.F.Gahm, H.C.Stempels, F.M.Walter, S. A. Artemenko. Accretion-powered chromospheres in classical T Tauri stars. Astron&Astrophys. 2011, 535, A6.
18. Bertout, C., & Basri, G. Accretion disks around T Tauri stars., 1988, Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 330, July 1, 1988, pp. 350-373.
19. Johns-Krull, C. M., & Gafford, A. D. New Tests of Magnetospheric Accretion in T Tauri Stars, 2002, The Astrophysical Journal, Volume 573, Issue 2, pp. 685-698.

DR TAU ULDUZUNDA UZUNMÜDDƏTLİ FOTOMETRİK DƏYİŞMƏLƏR

N.Z.İSMAİLOV, H.N.ADIGÖZƏLZADƏ, G.R.BAHƏDDİNOVA

XÜLASƏ

İşdə T Buğa tipli DR Tau ulduzunun müxtəlif arxivlərdən götürülmüş *UBVRI* fotometrik müşahidə nəticələrinin analizi verilmişdir. 30 illik dövrü əhatə edən ümumi *V*-ışığı əyrisi qurulmuşdur. Göstərilmişdir ki, orta illik parlaqlıq az dəyişdiyi halda, müxtəlif illərdə amplitudu müxtəlif olan güclü sezon dəyişmələri baş verir. Ulduzun fotometrik aktivliyində 15 illik perioda malik kvaziperiodiklik aşkar edilmişdir. Ulduzun *U-B*, *B-V* rəng göstəricilərinin dəyişməsi temperaturu 1000 K ulduz temperaturundan aşağı olan soyuq ləkə modeli çərçivəsində izah edilə bilər.

Açar sözləri: enlizolaqlı fotometriya, TTS tipli ulduzlar, qeyri-stasionarlıq, DR Tau

**THE LONG TIME PHOTOMETRIC VARIABILITY OF T TAURI STARS:
DR TAU**

N.Z.ISMAILOV, H.N.ADIGOZALZADE, G.R.BAHADDINOVA

SUMMARY

The paper presents the results of the analysis of T Tauri type star DR Tau on the basis of various archive photometric *UBVRI observations*. There has been constructed a *V*-light curve covering the data of the last 30 years' observations. There has been discovered a quasi-cyclic variability in brightness with the period of 15 year. It is shown that the variability of *U-B*, *B-V* color indexes can be explained in the framework of cool spot model with temperature of the spot 1000K lower than the star temperature.

Key words: band photometry, stars TTS type, non-stationary, DR Tau

Поступила в редакцию: 27.10.2015 г.

Подписано к печати: 12.02.2016 г.