

DOI: 10.54503/0571-7132-2025.68.4-327

ПЯТЕННАЯ АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗД ДВИЖУЩИХСЯ ГРУПП ПО ДАННЫМ АРХИВА МИССИИ TESS

И.С.САВАНОВ, Н.Е.КОНДРАТЬЕВ

Поступила 12 июля 2025

Принята к печати 17 декабря 2025

По данным архива телескопа TESS выполнен анализ проявлений пятенной активности звезд пяти выбранных движущихся групп, ассоциаций и скоплений с возрастными от 10 до 425 млн лет. Получены значения периодов вращения P , доли запятненности S и площади пятен A_{spot} для 704 анализируемых объектов. На примере рассмотренных скоплений, движущихся групп и звездных ассоциаций получены свидетельства эволюции активности звезд со временем. Показано, что средний уровень запятненности более старых звездных групп ниже среднего уровня запятненности более молодых. Рассмотрены и представлены количественные оценки изменения запятненности объектов одного возраста в зависимости от их эффективной температуры. Проведено сопоставление полученных оценок запятненности звезд солнечного типа различного возраста (10-790 млн лет) с запятненностью Солнца.

Ключевые слова: *звезды: активность: пятна: движущиеся группы, ассоциации и скопления*

1. Введение. Благодаря данным высокой фотометрической точности, доступным из архива космических миссий Кеплер и TESS, стали возможными качественно новые подходы при изучении активности звезд поздних спектральных классов. Среди новых научных задач, решаемых с помощью данных, полученных в ходе наблюдений космических миссий, важную роль играют исследования вращения молодых звезд, которые существенно дополняют выполненные ранее многочисленные работы по анализу эволюции углового момента звезд поздних спектральных классов разного возраста [1].

Кроме того стало возможным получение достаточно большого числа оценок параметра запятненности S (доли видимой поверхности звезды, занимаемой пятнами), характеризующего активность звезд (в том числе скоплений), и изучение его изменений в зависимости от периода вращения и других характеристик объектов [2-4]. В итоге это позволяет выполнить анализ информации об изменениях пятнообразовательной активности большого числа звезд одинакового возраста - членов одного и того же скопления. Их общее рассмотрение дает возможность сделать заключение об эволюции активности звезд различных масс со временем.

Скопления не являются единственным типом звездных групп, члены которых можно охарактеризовать одним возрастом. Существуют также движущиеся группы и ассоциации. Звезды в таких группах расположены менее плотно, чем у скоплений, распределены по большей небесной площади, при этом они также обладают общей кинематикой.

Начало работы миссии Gaia в 2013г. открыло возможность массовой идентификации и наблюдений таких движущихся групп. Данные миссии содержат собственные движения звезд, измеренные с очень высокой точностью. Это привело к уточнению принадлежности многих звезд к известным ранее группам, а также обнаружению новых звездных групп. Из-за того, что пиксели матрицы детекторов TESS крупнее, чем у матрицы телескопа Кеплер, возникают трудности с исследованием областей небесной сферы с тесно расположенными звездами в скоплениях. Так как в движущихся группах звезды распределены менее плотно, их изучение с использованием данных миссии TESS упрощается. Поэтому в дальнейшем будут проводиться исследования не только скоплений, но и движущихся групп и ассоциаций.

2. Выбор объектов исследования. В данной работе рассматривались следующие движущиеся группы, ассоциации и скопления (табл.1):

- Нижняя подгруппа Центавра - Южного Креста ОВ-ассоциации Скорпиона - Центавра (Lower Centaurus - Crux, LCC) [5]. В статье эта подгруппа носит название "Musca group". Авторы приводят данные для 108 звезд и оценивают возраст подгруппы как 11 ± 2 млн лет.

- Движущаяся группа (ассоциация) Тукана - Часов (Tucana - Horologium) [6]. В статье ее возраст оценивается как $38.5^{+1.6}_{-8.0}$ млн лет, в ней рассматриваются 90 звезд.

- Молодое рассеянное звездное скопление Blanco 1 [7] с возрастом около 130 млн лет. Оно содержит 603 кандидата в члены скопления.

- Звездная ассоциация MELANGE-5 [8], возраст которой оценен как 210 ± 27 млн лет, содержит 159 кандидатов в члены ассоциации.

- Движущаяся группа Большой Медведицы (Ursa Major) [9]. В статье рассматривается 130 кандидатов в члены группы, а ее возраст оценивается как 414 ± 23 млн лет.

В целом рассмотренные скопления, движущиеся группы и звездные ассоциации охватывают диапазон возрастов от 10 до 425 млн лет. В общей сложности в ходе исследования проведен анализ 704 звезд. Кроме того, для сравнения использовались данные по скоплению Ясли (Praesepe, M44, Beehive) из [2]. Оценка возраста этого скопления составляет 790 млн лет и в статье исследовалось 674 кандидата в его члены.

В работе использовались кривые блеска из архива данных MAST. В

Таблица 1

ГРУППЫ ЗВЕЗД РАССМАТРИВАЕМЫЕ В ДАННОЙ РАБОТЕ

Название группы	Возраст из статьи, млн лет	Число кандидатов в члены	Число звезд с кривыми блеска в архиве MAST	Число звезд с полученными значениями запятненности
Нижняя подгруппа Центавра - Южного Креста ОВ-ассоциации Скорпиона - Центавра (Lower Centaurus - Crux, LCC) [5]	11 ± 2	108	38	35
Движущаяся группа (ассоциация) Тукана - Часов [6]		90	61	53
Молодое рассеянное звездное скопление Blanco 1 [7]	около 130	603	476	251
Звездная ассоциация MELANGE-5 [8]	210 ± 27	159	78	41
Движущаяся группа Большой Медведицы (Ursa Major) [9]	414 ± 23	130	51	51
Скопление Ясли (Praesepe, M44, Beehive) [2]	790	674	-	-

архиве кривые блеска существуют не для всех звезд из списка кандидатов в члены групп. Поэтому число исследованных звезд для каждой группы меньше, чем число используемых кандидатов в их члены.

Оценки периодов вращения звезд получены на основе метода Ломба-Скаргла. Для оценки пятенной активности звезд по амплитуде блеска использовалась величина доли запятненности звезды S (в английской литературе "spottedness"), вычисляемая по формуле:

$$S = \frac{A_{spot}}{A_{star}} = \left(1 - \left(\frac{T_{spot}}{T_{star}} \right)^4 \right)^{-1} \frac{\Delta F}{F} = \left(1 - \left(\frac{T_{spot}}{T_{star}} \right)^4 \right)^{-1} \left(1 - 10^{-0.4 \Delta m} \right), \quad (1)$$

где температура пятен T_{spot} оценивалась по температуре звезды T_{star} по формуле:

$$T_{spot} = -3.58 \cdot 10^{-5} T_{star}^2 + 0.751 T_{star} + 808,$$

см., например, [10]; Δm - разность звездных величин в максимуме и минимуме

блеска звезды в выбранном секторе TESS с учетом тренда. В качестве температур звезд T_{star} использовались данные из входного каталога TESS - TIC [11].

Такая оценка является нижней границей действительной доли запятненности звезды в данном секторе. Действительно, данная формула получена в предположении, что:

1. Существует момент времени, когда мы видим полусферу звезды полностью без пятен (максимальная величина блеска за интервал наблюдений).

2. Пятна имеют одинаковую температуру, соответствующую модели. Отсутствуют полутени и другие особенности пятен.

3. Всеми остальными эффектами, например, потемнением к краю, наличием наклона к лучу зрения, можно пренебречь.

В дальнейшем выбиралась максимальная величина доли запятненности звезды по всем секторам. Чтобы уменьшить влияние шумов, для определения разности Δm применялась скользящая медиана, в качестве величин максимума и минимума блеска использовались значения медианы для 1% точек-медиан с наибольшим и наименьшим блеском. Медиана была использована для борьбы с шумами, возможными вспышками на звезде и выбросами, связанными с инструментом и обработкой TESS.

Аналогичная методика для определения параметра S по фотометрическим наблюдениям (см. также в [12]) уже применялась нами ранее [2-4]. Выше указывалось, что параметр S равен отношению площади всех пятен на поверхности к площади всей видимой поверхности звезды. Несомненное преимущество такой методики состоит в возможном ее применении к достаточно большим выборкам объектов для последующего статистического анализа и установления зависимостей общего характера.

Площадь пятен A_{spot} можно найти, зная долю запятненности звезды S и площадь звезды A_{star} . A_{spot} принято измерять в миллионных долях солнечной полусферы (м.д.п.). В такой форме особенно удобно сравнивать оценки размера звездных пятен с размером пятен на Солнце.

Из формулы (1) следует, что

$$A_{spot} = SA_{star} = S \frac{A_{star}}{A_{Sun}} \cdot 10^6 \text{ м.д.п.} = S \left(\frac{R_{star}}{R_{Sun}} \right)^2 \cdot 10^6 \text{ м.д.п.} \quad (2)$$

Величины радиусов звезд R_{star} были взяты из TIC [11].

В табл.2 приведены средние уровни запятненности звезд для различных групп с шагом 400 К.

3. *Периоды вращения.* На рис.1 представлено сравнение полученных оценок величин P_{rot} с периодами из [5-9]. Для большинства звезд они совпадают. Для ряда звезд полученная оценка величины периода в два раза превосходит величины периода из [5-9], что, вероятно, связано с трудностями

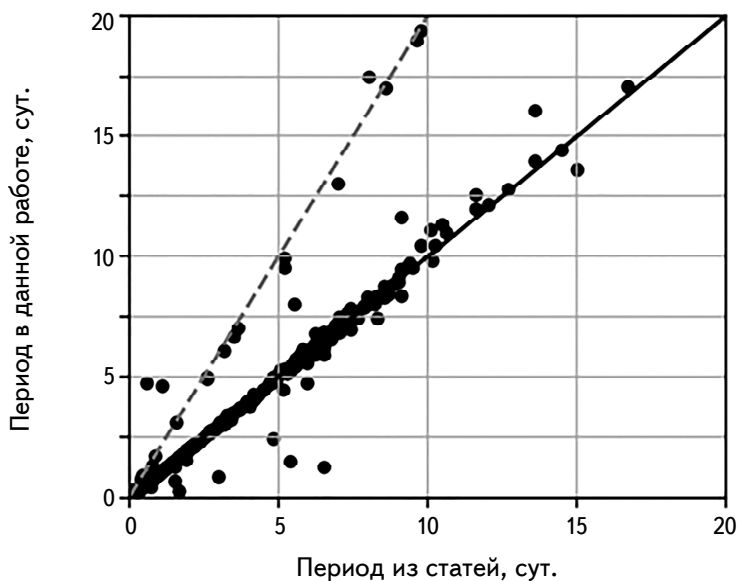


Рис.1. Сравнение полученных в данной работе величин периодов вращения звезд и периодов из статей [5-9]. Сплошная линия соответствует равенству периодов, штриховая - соответствует удвоенному значению периода.

определения кратных периодов.

4. *Активность звезд.* На рис.2, 3 приведены зависимости полученных величин периодов вращения P (в сутках), доли запятненности S и площади пятен A_{spot} (в миллионных долях солнечной полусферы) от эффективных температур звезд T . Сравнение полученных результатов между собой и с результатами по скоплению Ясли из [2] позволяет сделать вывод о том, что при равных массах (температурах) более молодые звезды вращаются быстрее, а запятненность для них выше, чем для более старых звезд.

Доля запятненности для молодых звезд выше, т.е. пятнами покрыта большая доля поверхности, чем для более старых звезд. Это свидетельствует о большей магнитной активности у молодых звезд.

В статье [2] приводятся усредненные данные для рассматриваемых звезд по интервалам масс в $0.1 M_{\odot}$. В текущей работе проведено аналогичное усреднение, но по интервалам эффективных температур звезд. Результаты этого усреднения приведены на рис.4.

5. *Звезды солнечного типа.* Особый интерес представляют звезды, близкие по своим параметрам к Солнцу. Исследование таких звезд позволяет сделать заключение об эволюции их характеристик со временем, а также дает представление о молодом Солнце. Часто в качестве таких звезд принято рассматривать звезды главной последовательности в диапазоне температур 5700-

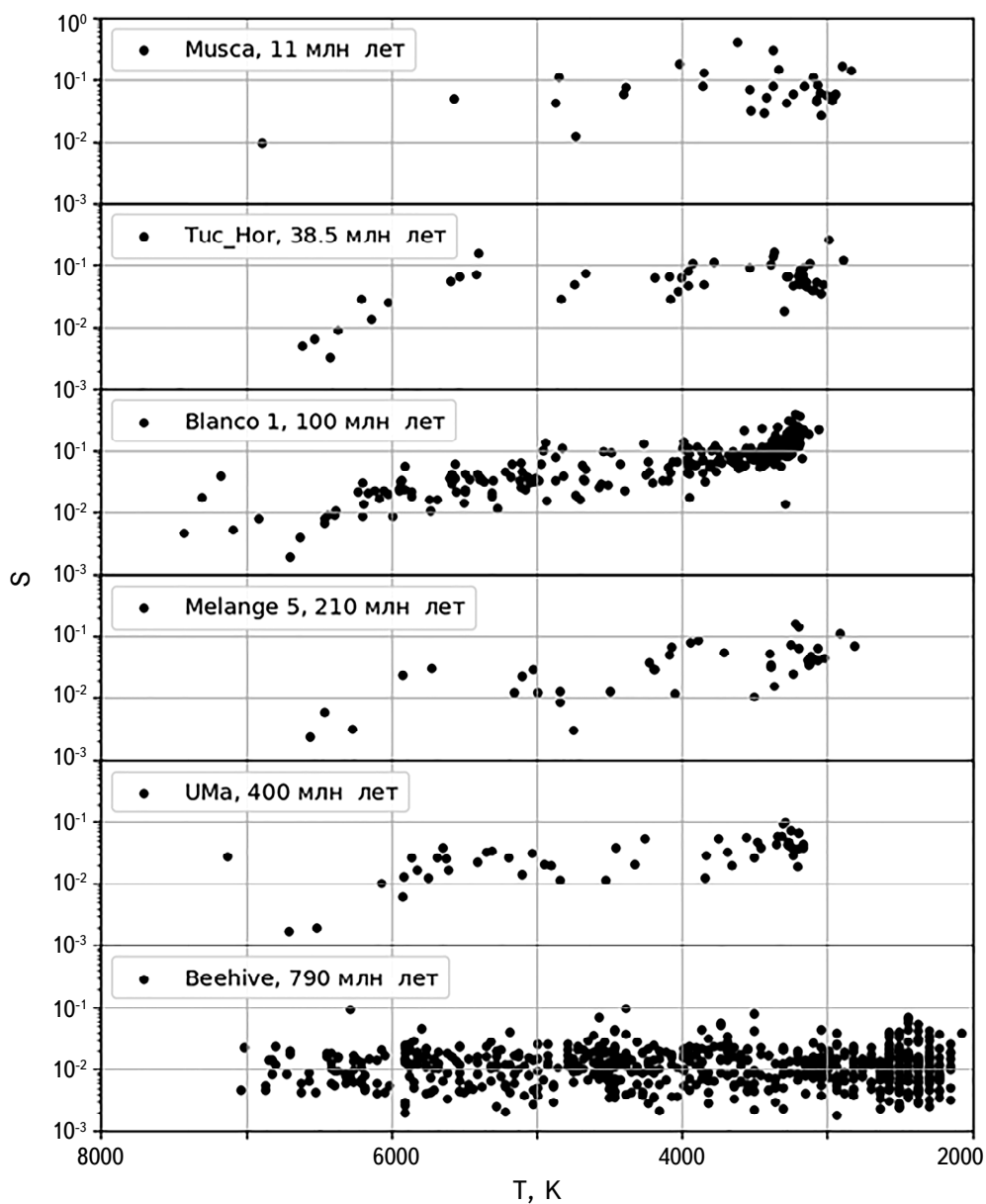


Рис.2. Зависимости полученных величин доли запятненности S от эффективных температур звезд T для различных групп.

5900 К. Однако в используемых данных количество звезд в этом диапазоне мало. Поэтому в нашей работе рассматривались звезды, эффективная температура которых находится в более широком диапазоне: от 5500 К до 6100 К. Запятненность этих звезд приведена в табл.3.

На рис.5 представлен график зависимости среднего периода P от возраста

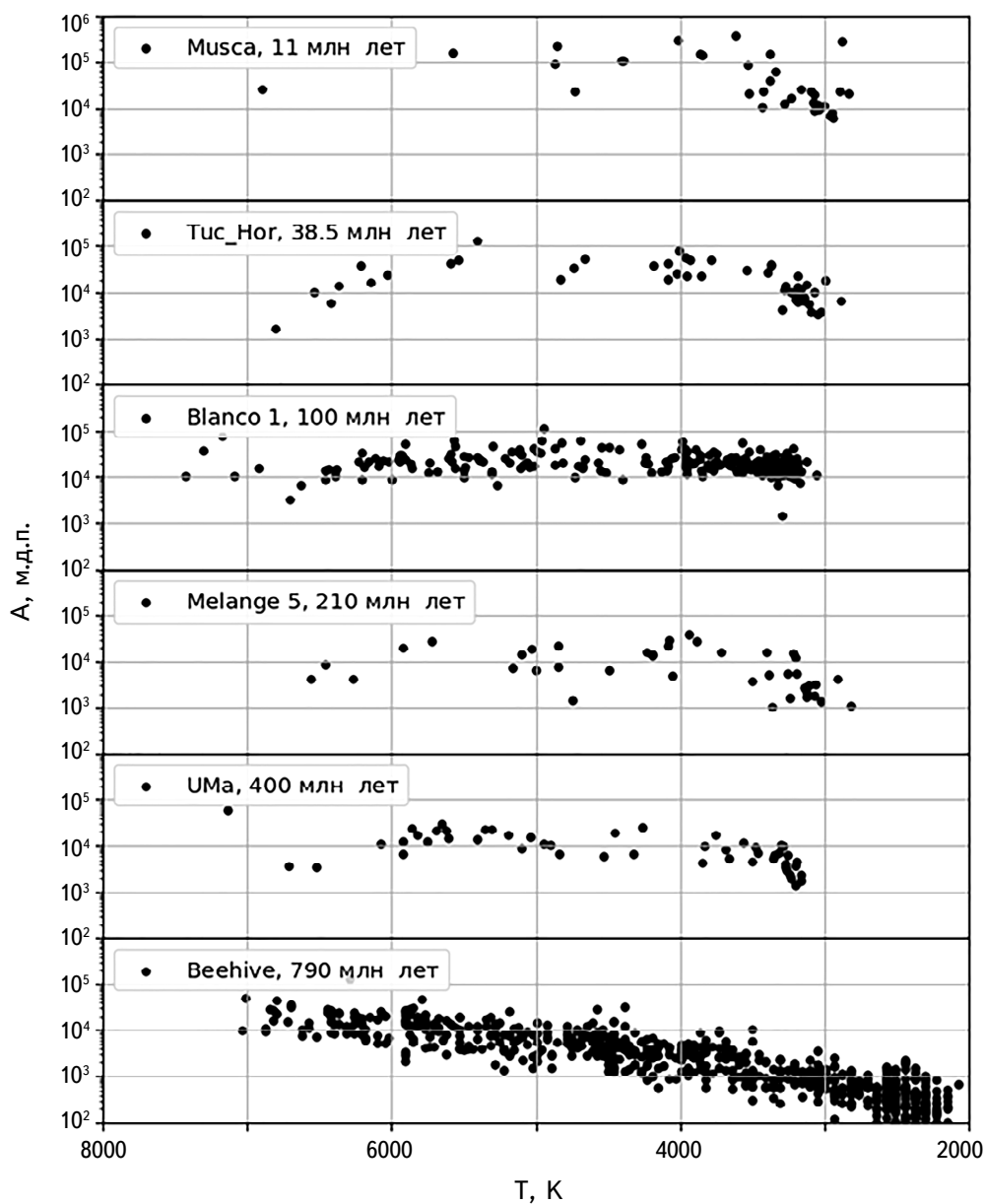


Рис.3. Зависимости полученных величин площади пятен A от эффективных температур T звезд для различных групп.

для звезд, близких по своим параметрам к Солнцу. Эмпирическая зависимость из [13] плохо описывает звезды моложе 500 млн лет, что и наблюдается на графике.

На рис.6 приведены графики зависимости доли запятненности S и площади

Таблица 2

**СРЕДНИЙ УРОВЕНЬ ЗАПЯТНЕННОСТИ ЗВЕЗД ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ
ГРУПП ПО ТЕМПЕРАТУРАМ С ШАГОМ 400 К.**

	Musca [5]		Tuc-Hor [6]		Blanco 1 [7]		Melange-5 [8]		UMa [9]		Beehive [2]	
T, K	S	A, м.д.п.	S	A, м.д.п.	S	A, м.д.п.	S	A, м.д.п.	S	A, м.д.п.	S	A, м.д.п.
2200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.013	500
2600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.015	500
3000	0.258	35000	0.078	10000	0.197	16500	0.057	2500	0.042	2000	0.012	1000
3400	0.093	49000	0.082	19000	0.127	19000	0.062	7500	0.052	6000	0.013	1500
3800	0.209	227500	0.080	42500	0.074	25000	0.075	28000	0.030	9000	0.017	3000
4200	0.133	211500	0.053	43000	0.061	24500	0.038	17000	0.037	16000	0.013	4000
4600	0.038	69500	0.063	45500	0.044	26000	0.008	4000	0.025	12500	0.015	6000
5000	0.079	163500	0.029	21000	0.052	36000	0.017	13000	0.021	11500	0.012	7000
5400	0.051	163000	0.088	77000	0.032	25500	-	-	0.030	20000	0.012	9000
5800	-	-	-	-	0.025	24000	0.028	24500	0.020	18000	0.014	
15000												
6200	-	-	0.019	24500	0.017	19000	0.003	4500	0.010	11500	0.013	
17500												
6600	-	-	0.005	8000	0.006	9500	0.004	6500	0.002	3500	0.011	
19000												
7000	0.010	27500	0.001	1500	0.018	36000	-	-	0.027	62000	0.012	
25000												
7400	-	-	-	-	0.011	25000	-	-	-	-	-	-

В первом столбце приведена средняя температура для диапазона усреднения. Величина A выражена в миллионных долях солнечной полусферы.

пятен A от возраста звезд, близких по своим параметрам к Солнцу. На каждом графике средние значения запятненности для групп аппроксимируются линейной зависимостью. Данные для Солнца также согласуются с указанными зависимостями.

6. Заключение. В статье представлены результаты анализа проявлений пятенной активности звезд, полученные с использованием кривых блеска (данные архива телескопа TESS) звезд пяти выбранных движущихся групп, ассоциаций и скоплений с возрастными от 10 до 425 млн лет.

Получены значения периодов вращения P , доли запятненности S и площади пятен A для 704 анализируемых звезд. Найденные значения периодов согласуются со значениями периодов из литературных источников.

На примере рассмотренных скоплений, движущихся групп и звездных ассоциаций получены свидетельства эволюции активности звезд со временем. Показано, что средний уровень запятненности более старых звездных групп

ниже среднего уровня запятненности более молодых. Рассмотрены и представлены количественные оценки изменения запятненности объектов одного возраста в зависимости от их эффективной температуры.

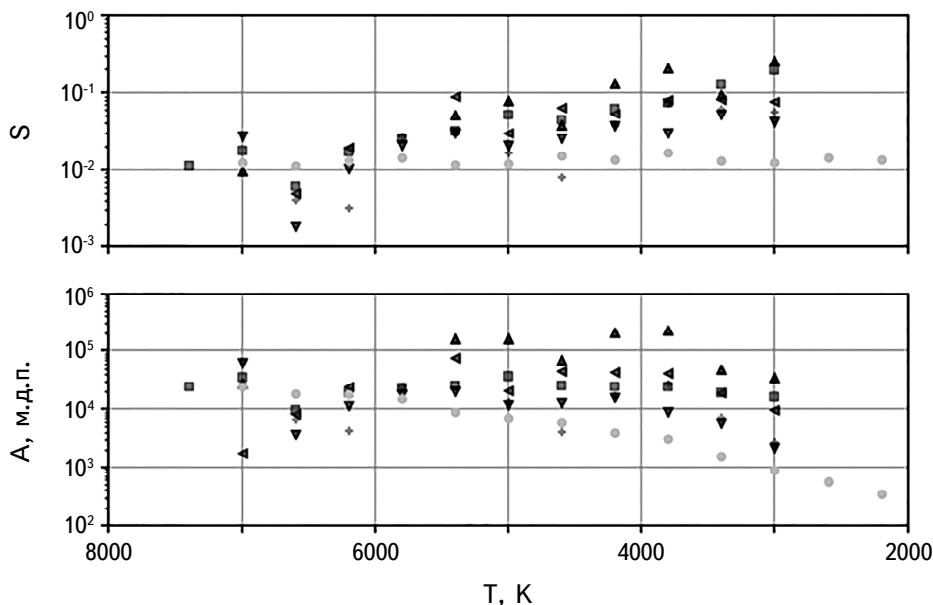


Рис.4. Средний уровень запятненности звезд для различных групп по эффективным температурам с шагом 400 К. Обозначения для скоплений: Musca - треугольник острием вверх, Tuc_{Hor} - треугольник острием влево, Blanco 1 - квадрат, Melange 5 - темный кружок, UMa - треугольник острием вниз, Ясли - светлый кружок, Солнце - звезда.

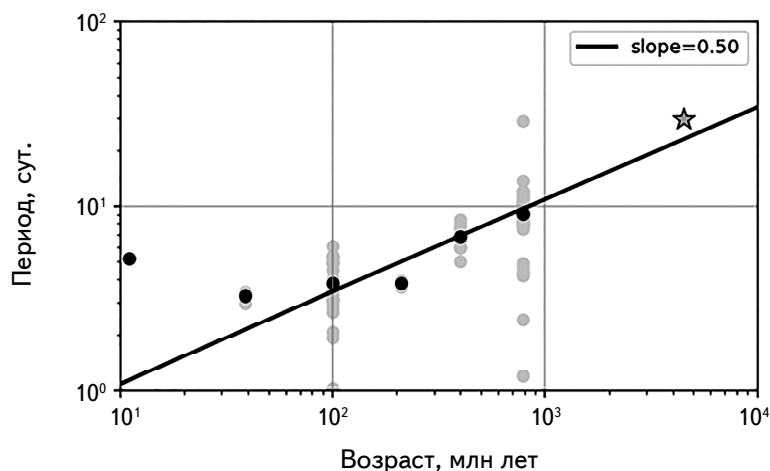


Рис.5. График зависимости среднего периода P от возраста для звезд, близких по своим параметрам к Солнцу. Серыми точками нанесены данные для индивидуальных звезд, черными - средние по группе. Звездочкой отмечено положение Солнца [14]. Прямая проведена по данным для групп с возрастом старше 100 млн лет. Наклон зафиксирован и равен 0.5 в соответствии с зависимостью из [13].

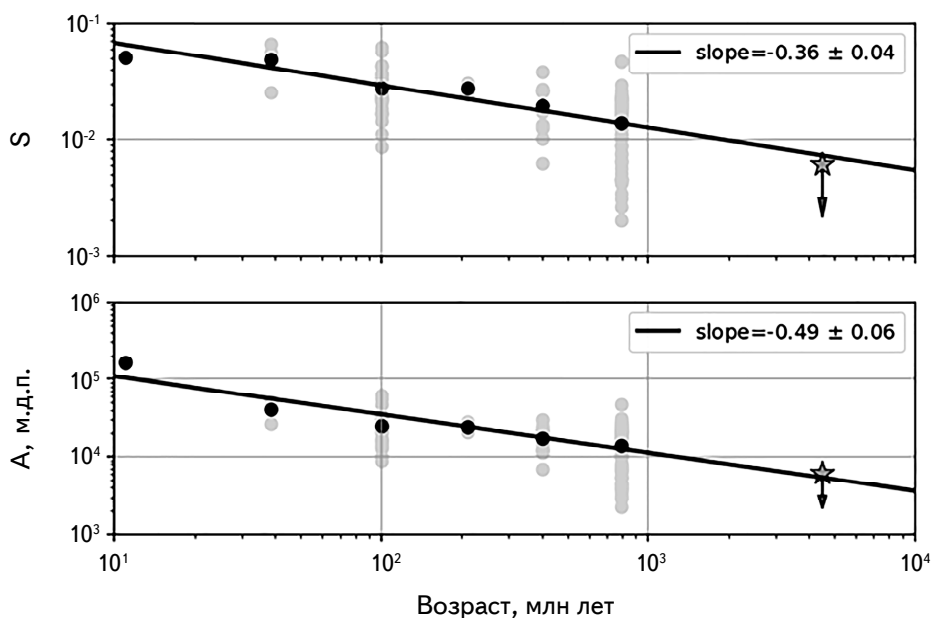


Рис.6. Графики зависимости доли запятненности S и площади пятен A от возраста для звезд, близких по своим параметрам к Солнцу. Серыми точками нанесены данные для индивидуальных звезд, черными - средние по группе. Звездочкой отмечено положение Солнца [14].

Таблица 3

**ЗАПЯТНЕННОСТЬ ЗВЕЗД, БЛИЗКИХ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ
К СОЛНЦУ, ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ИССЛЕДУЕМЫХ
В ДАННОЙ РАБОТЕ ГРУПП**

Исследуемая группа	Возраст, млн лет	Период вращения P , сут	Доля запят- ненности S	Площадь пятен A , м.д.п.
LCC, Musca group [5]	11	5.158	0.051	163200
Tucana - Horologium	38.5	3.246	0.049	40600
Blanco 1 [6]	100	3.823	0.028	25400
MELANGE-5 [7]	210	3.793	0.028	24300
Ursa Major [8]	400	6.802	0.019	17300
Ясли (Praesepe, Beehive) [2]	790	9.073	0.014	14100
Солнце [14]	4500	29.5	0.006	6132

Проведено сопоставление полученных оценок запятненности звезд солнечного типа различного возраста (10-790 млн лет) с запятненностью Солнца.

Учреждение Российской академии наук Институт астрономии РАН,
Москва, Россия, e-mail: igs231@mail.ru

SPOT ACTIVITY OF STARS OF MOVING GROUPS
FROM TESS MISSION ARCHIVE

I.S.SAVANOV, N.E.KONDRATEV

On the base of TESS telescope archive data an analysis of the spot activity of stars of five selected moving groups, associations and clusters with ages from 10 to 425 million years was performed. The values of the rotation periods P , spottedness S , and the area of spots A_{spot} for 704 analyzed objects were obtained. Using the data under consideration evidence of the evolution of stellar activity over time was carried out. It is shown that the average level of spottedness of older stellar groups is lower than the average level of spottedness of younger ones. Quantitative estimates of the change in S of objects of the same age depending on their effective temperature are considered and presented. The obtained estimates of the S of solar-type stars of various ages (10-790 million years) with the spottedness of the Sun are compared.

Keywords: *stars: activity: stars: activity: spots: moving groups, associations and clusters*

ЛИТЕРАТУРА

1. *L.M.Rebull, J.R.Stauffer, L.A.Hillenbrand et al.*, Astron. J., **164**, 80, 2022.
2. *I.S.Savanov, E.S.Kalinicheva, E.S.Dmitrienko*, Astron. Rep., **62**, 352, 2018.
3. *I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, Astron. Rep., **62**, 238, 2018.
4. *I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, Astron. Rep., **61**, 996, 2017.
5. *A.W.Mann, M.L.Wood, S.P.Schmidt et al.*, Astron. J., **163**, 156, 2022.
6. *P.A.B.Galli, N.Miret-Roig, H.Bouy et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **520**, 6245, 2023.
7. *L.Sha, A.M.Vanderburg, L.G.Bouma*, Astrophys. J., **977**, 103, 2024.
8. *P.C.Thao, A.W.Mann, M.G.Barber et al.*, Astron. J., **168**, 41, 2024.
9. *B.K.Capistrant, M.Soaes-Furtado, A.Vanderburg et al.*, Astron. J., **167**, 54, 2024.
10. *K.Herbst, A.Papaioannou, V.S.Airapetian et al.*, Astrophys. J., **907**, 89, 2021.
11. *M.Paegert, K.G.Stassun, K.A.Collins et al.*, arXiv e-prints, arXiv:2108.04778, 2021.
12. *I.S.Savanov*, Astron. Rep., **55**, 341, 2011.
13. *S.A.Barnes*, Astrophys. J., **586**, 464, 2003.
14. *E.W.Cliver, C.J.Schrijver, K.Shibata et al.*, Living Reviews in Solar Physics, **19**, 2, 2022.