

АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДЫ С ЭКЗОПЛАНЕТОЙ AB Pic ИЗ МОЛОДОЙ АССОЦИАЦИИ Tuc-Hor

© 2021 г. И. С. Саванов*

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 21.01.2021 г.

После доработки 01.02.2021 г.; принята к публикации 02.02.2021 г.

На основе высокоточного материала из архива космической миссии TESS проведено исследование фотометрической переменности карлика спектрального класса K1 AB Pic (HD 44627) — члена Tuc-Hor ассоциации и обладающего удаленной планетой-гигантом массой 13.5 масс Юпитера. За интервал наблюдений с миссией TESS на звезде было зарегистрировано 48 вспышек с энергией 6.1×10^{32} – 3.4×10^{35} эрг. Выполнены оценки периода вращения звезды $P = 3.860 \pm 0.020$ сут и амплитуды переменности блеска, а также по стандартной методике получены оценки величин параметра запятанности A. Площадь пятен на поверхности AB Pic существенно превосходит площадь пятен на Солнце и изменяется в пределах от 54 000 до 95 000 м.д.п. Высказано предположение, что в течение интервала наблюдений площадь пятен на поверхности звезды обладала циклическими изменениями длительностью 233 сут, аналогом которых может быть так называемая периодичность Ригера на Солнце. Оценки более длительных циклов активности AB Pic были проведены по данным из архива наблюдений обзора All Sky Automated Survey и указали на возможные циклы активности в 258 сут, 1120 сут (3.1 года) и 2640 сут (7.2 года). Выполнены оценки диапазона возможных изменений величины массы СМЕ для этой звезды.

Ключевые слова: звезды, экзопланеты, активность.

DOI: 10.31857/S0320010821030074

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдения с космическим телескопом Кеплер привели к открытию у звезд солнечного типа супервспышек с энергией 10^{33} – 10^{36} эрг. Эти исследования были продолжены Ту и др. (2020) и Дойл и др. (2020) по первым доступным данным архива миссии TESS. Ту и др. (2020) представили результаты анализа 400 звезд солнечного типа и нашли у них 1216 супервспышек. Среди них три объекта принадлежат к числу потенциально обладающих планетными системами, кроме того, еще одна звезда DS Tuc и ее планетная система были детально исследованы (см. Ньютон и др., 2019; Саванов, Дмитриенко, 2020). Сопоставление списка изученных Дойл и др. (2020) звезд с данными архивов экзопланет позволило им заключить, что один из объектов списка, AB Pic (HD 44627), обладает удаленной планетой-гигантом с массой 13.5 масс Юпитера и с полуосью орбиты в 275 а.е. (Чавин и др., 2005). Звезда принадлежит к карликам спектрального класса K1, ее блеск в фильтрах B и V составляет $10^m 01$ и $9^m 205$ соответственно. Как и DS Tuc, AB Pic является членом Tuc-Hor

ассоциации, возраст которой оценивается равным 45 ± 4 млн лет. Согласно архиву данных exoFor (exoFor.ipac.caltech.edu), эффективная температура звезды равна 5027 K, а $\log g = 4.25$. За интервал наблюдений с миссией TESS Дойл и др. (2020) обнаружили на звезде 48 вспышек с энергией 6.1×10^{32} – 3.4×10^{35} эрг. Влияние вспышек даже столь высокой энергии, вероятно, не оказывает воздействие на атмосферу планеты вследствие ее удаленности, но в случае наличия магнитного поля у планеты может проявляться в полярных сияниях и прочих особенностях космической погоды в планетной системе.

Цель нашей работы состоит в изучении активности звезды с планетной системой AB Pic, карлика спектрального класса K1, члена молодой Tuc-Hor ассоциации по результатам наблюдений космической миссии TESS.

АНАЛИЗ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ AB PIC

Для AB Pic в архиве TESS имеются данные двенадцати сетов наблюдений. Эти наблюдения были получены с временным разрешением в 2 мин,

*Электронный адрес: igs231@mail.ru

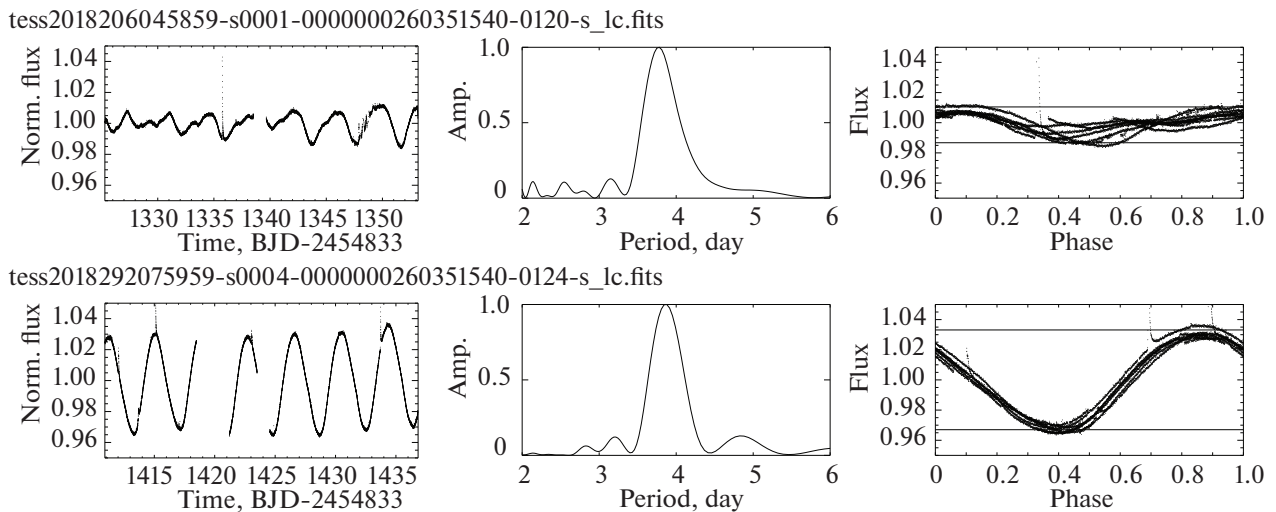


Рис. 1. Слева — кривая блеска для АВ Pic, в центре — спектр мощности переменности блеска, справа — фазовая диаграмма переменности блеска (горизонтальные линии характеризуют величину амплитуды переменности блеска). Данные приведены для наблюдений в секторах 1 и 4.

более высоким, чем для данных космического телескопа Кеплер в режиме LC. Их обработка была аналогична проводимой нами ранее для данных других объектов из архива космического телескопа Кеплер (см., например, Саванов и др., 2016) и из архива наблюдений миссии TESS (Саванов, 2019). На рис. 1 представлены кривые блеска АВ Pic, соответствующие им спектры мощности и фазовые диаграммы для наблюдений в секторах 1 и 4. Хорошо заметна периодическая модуляция блеска, обладающая заметной переменностью амплитуды.

На построенном нами по всему набору данных (172 399 измерений) спектре мощности имеется пик, соответствующий величине периода вращения звезды $P = 3.860 \pm 0.020$ сут. Амплитуда переменности блеска лежит в пределах 3–7% от уровня среднего блеска звезды. По стандартной методике нами были оценены величины параметра запятанности, изменения которых достигают 2–7% от площади поверхности звезды. Принимая оценку радиуса звезды $R = 1.019$ радиусов Солнца (данные архива эхогор), можно получить величину площади поверхности звезды A в абсолютной мере. В этом случае принято выражать площадь пятна в долях видимой полусферы Солнца (миллионных долях, м.д.п.). На Солнце средние по размерам пятна имеют площадь 10–200 м.д.п. (детали см. в Наволицын, Певцов, 2016). Площадь большой группы пятен может составлять 1–2 тыс. м.д.п. Площадь пятен на поверхности АВ Pic существенно превосходит площадь пятен на Солнце, она составляет от 54 000 до 95 000 м.д.п. Можно предположить, что в течение интервала наблюдений площадь пятен на поверхности звезды обладала циклическими изменениями (рис. 2). Характерное время такого цикла

составило 233 сут, амплитудный спектр мощности, построенный по 75 оценкам параметра A , приведен на нижней диаграмме рис. 2.

Цикл такой продолжительности может рассматриваться как аналог так называемой солнечной периодичности Ригера продолжительностью 154 сут (155–160 сут, Гургенашвили и др., 2017, и см. также раздел ниже). Примеры наличия данной периодичности у звезд немногочисленны (см., например, Масси и др., 2005). Изменения параметра A обладают теми же характерными свойствами, что встречаются в случае Солнца: в ходе цикла более резкий подъем и более замедленный спад. Второй минимум цикла пропущен, наблюдается только его начало. Однако не исключено, что в нашем ограниченном интервале наблюдений доступна лишь часть изменения параметра A в течение циклов активности в 3.1 года или 7.2 года (см. ниже), характеризующая, например, максимум пятенной активности с раздвоением пика. Этот вариант, который в некотором смысле подобен обсуждаемому в Гургенашвили и др. (2017) для Солнца, представляется нам более предпочтительным.

ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ

Оценка возможного цикла активности АВ Pic была проведена по данным из архива наблюдений обзора All Sky Automated Survey www.astrouw.edu.pl/asa. Всего было рассмотрено 739 оценок блеска звезды в фильтре V (рис. 3). На основе построенного спектра мощности можно сделать заключение о наличии возможных циклов активности в 1120 сут (3.1 года) и 2640 сут (7.2 года) (рис. 3, нижняя диаграмма). На рис. 3 (нижняя диаграмма) отмечен

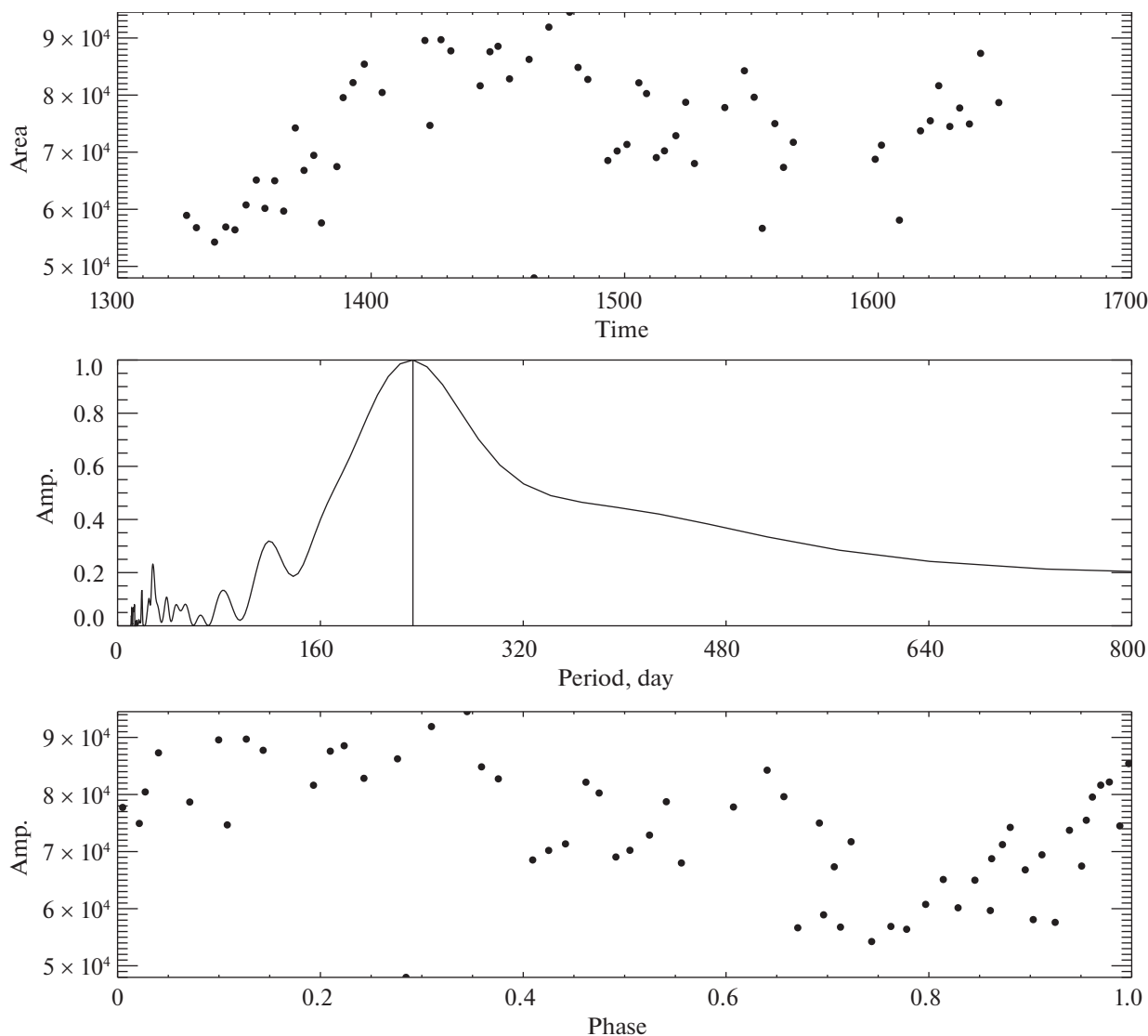


Рис. 2. Вверху — изменения параметра запятненности A . В центре — амплитудный спектр мощности, вертикальная линия соответствует величине 233 сут (см. текст). Внизу — фазовая диаграмма.

еще один пик (~ 258 сут), который сопоставим с периодом изменения запятненности звезды и делает нашу оценку цикличности изменений параметра A более достоверной. По своей продолжительности найденные нами циклы активности AB Pic сопоставимы с 4.4-летним циклом активности звезды DS Tuc, а также с установленным в Санч-Форсада и др. (2019) 1.6-летним циклом для молодого солнечного аналога ι Ног (возраст 600 млн лет).

В Саванов и Дмитриенко (2019) мы привели результаты анализа активности одиночной звезды спектрального класса G2V V889 Her (HD 171488, HIP 91043), которая является молодым солнечным аналогом и характеризуется как переменная типа BY Draconis. На построенном спектре мощности переменности блеска этой звезды хорошо выделяются пики, соответствующие циклам в 7.15 лет,

12.5 лет и около 35 лет. К сожалению, используемые нами данные для AB Pic и DS Tuc из архива наблюдений обзора All Sky Automated Survey вследствие своей недостаточной продолжительности не позволяют установить наличие циклов с длительностью более 6–8 лет.

СВОЙСТВА СМЕ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

В ходе анализа данных из архива миссии TESS Доил и др. (2020) обнаружили на AB Pic 48 вспышек с энергией $E(\text{fl})$ $6.1 \times 10^{32} - 3.4 \times 10^{35}$ эрг. Величина максимальной энергии вспышек AB Pic сопоставима с максимальными для звезд с аналогичными эффективными температурами, а диапазон

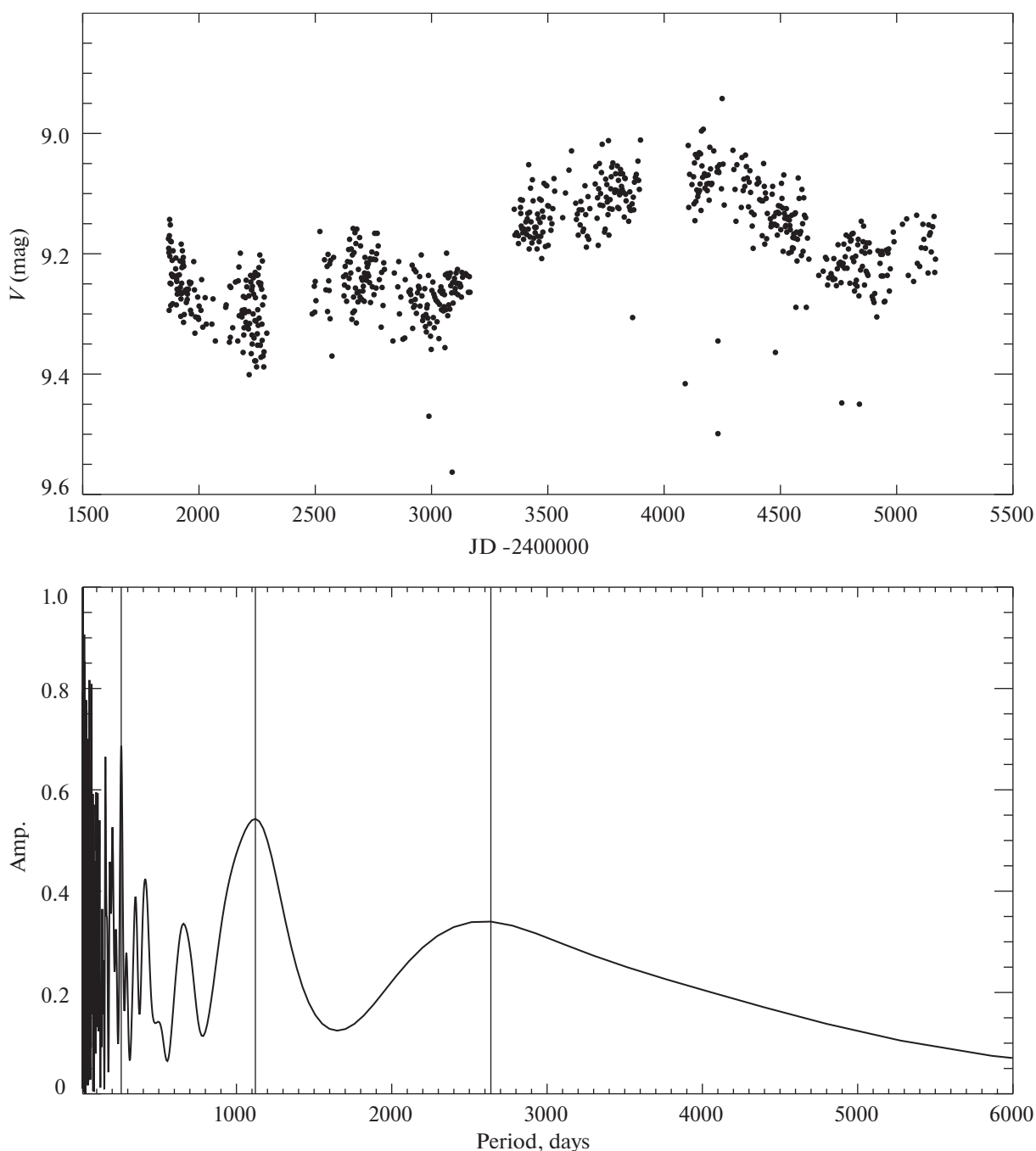


Рис. 3. Вверху — кривая блеска АВ Pic по данным из архива наблюдений All Sky Automated Survey. Внизу — спектр мощности для диапазонов периодов 1–6000 сут. Вертикальными линиями отмечены циклы продолжительностью 258, 1120 и 2640 сут.

изменений $E(\lambda)$ перекрывает характерные изменения $E(\lambda)$ этих звезд (Гонтер и др., 2020). Вследствие удаленности планеты от звезды вспышки даже столь высокой энергии, вероятно, не оказывают существенного воздействия на атмосферу планеты, но не исключено, что оно может проявляться в полярных сияниях и прочих изменениях космической погоды в планетной системе. Следуя идее солнечно-звездной аналогии, на других звездах (и

на АВ Pic) также можно ожидать существование корональных выбросов массы (СМЕ), связанных со вспышечной активностью. Для оценки свойств СМЕ может быть использована эмпирическая зависимость между энергией вспышки и массой СМЕ (Аарнио и др., 2012; Гонтер и др., 2020). Зависимость может быть применима к объектам с энергией вспышек до 10^{38} эрг, что соответствует массе

СМЕ до 10^{22} г. Поскольку зависимость из Аарнио и др. (2012) была установлена по измерениям энергии вспышек в рентгеновском диапазоне спектра, мы, аналогично Гюнтер и др. (2020), будем использовать измененное соотношение, в котором рассматривается болометрическая энергия вспышки. Применение зависимости к данным для АВ Ріс по наблюдениям миссии TESS привело к выводу о том, что для этой звезды диапазон возможных изменений величины массы СМЕ составляет от 6.7×10^{19} г до 3.6×10^{21} г (для наиболее массивного СМЕ). Отметим, что эта величина существенно выше, чем наблюдается у Солнца. Найденные нами оценки делают звезду хорошим кандидатом для проведения в будущем совместных фотометрических и спектральных наблюдений с целью получения одновременных оценок переменности блеска, энергии вспышек и скорости движения СМЕ (по анализу профилей спектральных линий) (см. результаты аналогичных исследований для ультрабыстровращающегося М4 карлика V374 Peg, Вида и др., 2016).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе высокоточного материала из архива космической миссии TESS проведено исследование фотометрической переменности карлика спектрального класса K1 АВ Ріс (HD 44627) — члена Тус-Ног ассоциации, возраст которого оценивается как 45 ± 4 млн лет и который обладает удаленной планетой гигантом массой 13.5 масс Юпитера. В течение интервала наблюдений миссии TESS на звезде было зарегистрировано 48 вспышек с энергией $6.1 \times 10^{32} - 3.4 \times 10^{35}$ эрг. По всем доступным наблюдениям мы выполнили оценку периода вращения звезды $P = 3.860 \pm 0.020$ сут и амплитуды переменности блеска, а также по стандартной методике оценили величины параметра запятненности A , выраженные в абсолютной мере. Площадь пятен на поверхности АВ Ріс существенно превосходит площадь пятен на Солнце и изменяется в пределах от 54 000 до 95 000 м.д.п. У звезды обнаружены и высокая вспышечная активность, и высокая пятенная активность. Высказано предположение, что в течение интервала наблюдений площадь пятен на поверхности звезды обладала циклическими изменениями длительностью 233 сут, аналогом которых может быть на Солнце так называемая периодичность Ригера. Оценки более длительных циклов активности АВ Ріс были проведены по данным из архива наблюдений обзора

All Sky Automated Survey. Сделаны заключения о наличии возможных циклов активности в 258 сут, 1120 сут (3.1 года) и 2640 сут (7.2 года). Показано, что для этой звезды диапазон возможных изменений величины массы СМЕ составляет от 6.7×10^{19} г до 3.6×10^{21} г.

Автор признателен правительству Российской Федерации и Министерству высшего образования и науки РФ за поддержку по гранту 075-15-2020-780 (N13.1902.21.0039).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аарнио и др. (A.N. Aarnio, S.P. Matt, and K.G. Stassun), *Astrophys. J.* **760**, 9 (2012).
2. Вида и др. (K. Vida, L. Kriskovics, K. Oláh, M. Leitzinger, P. Odert, Zs. Kovári, H. Korhonen, R. Greimel, et al.), *Astron. Astrophys.* **590**, A11 (2016).
3. Гургенашвили и др. (E. Gurgenashvili, T.V. Zaqarashvili, V. Kukhianidze, R. Oliver, J.L. Ballester, M. Dikpati, and S.W. McIntosh), *Astrophys. J.* **845**, 137 (2017).
4. Гюнтер и др. (M.N. Günther, Z. Zhan, S. Seager, P.B. Rimmer, S. Ranjan, K.G. Stassun, R.J. Oelkers, T. Daylan, et al.), *Astron. J.* **159**, 60 (2020).
5. Дойл и др. (L. Doyle, G. Ramsay, and J.G. Doyle), *MNRAS* **494**, 3596 (2020).
6. Масси и др. (M. Massi, J. Neidhöfer, Y. Carpentier, and E. Ros), *Astron. Astrophys.* **435**, L1 (2005).
7. Наговицин, Певцов (Y.A. Nagovitsyn and A.A. Pevtsov), *Astrophys. J.* **833**, 94 (2016).
8. Ньютон и др. (E.R. Newton, A.W. Mann, B.M. Tofflemire, L. Pearce, A.C. Rizzuto, A. Vanderburg, R.A. Martinez, J.J. Wang, et al.), *Astrophys. J. Lett.* **880**, L17 (2019).
9. Саванов (I.S. Savanov), *Astrophys.* **62**, 513 (2019).
10. Саванов и др. (I.S. Savanov, N.G. Gladilina, and E.S. Dmitrienko), *Astron. Rep.* **60**, 1006 (2016).
11. Саванов, Дмитриенко (I.S. Savanov and E.S. Dmitrienko), *INASAN Sci. Rep.* **3**, 173 (2019).
12. Саванов И.С., Дмитриенко Е.С., *Письма в Астрон. журн.* **46**, 184 (2020) [I.S. Savanov and E.S. Dmitrienko, *Astron. Lett.* **46**, 177 (2020)].
13. Санч-Форсад и др. (J. Sanz-Forcada, B. Stelzer, M. Coffaro, S. Raetz, and J.D. Alvarado-Gómez), *Astron. Astrophys.* **631**, A45 (2019).
14. Ту и др. (Z.-L. Tu, M. Yang, Z.J. Zhang, and F.Y. Wang), *Astrophys. J.* **890**, 46 (2020).
15. Чавин и др. (G. Chauvin, A.M. Lagrange, B. Zuckerman, C. Dumas, D. Mouillet, I. Song, J.-L. Beuzit, P. Lowrance, and M.S. Bessell), *Astron. Astrophys.* **438**, L29 (2005).