

## АКТИВНОСТЬ МОЛОДОГО СОЛНЕЧНОГО АНАЛОГА — ЗВЕЗДЫ С ЭКЗОПЛАНЕТОЙ DS Tuc

© 2020 г. И. С. Саванов<sup>1\*</sup>, Е. С. Дмитриенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт астрономии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Поступила в редакцию 12.02.2020 г.

После доработки 13.02.2020 г.; принята к публикации 25.02.2020 г.

Представлены результаты анализа фотосферной и хромосферной активности звезды DS Tuc (DS Tuc A, HD 222259A), которая является членом группы Tucana-Horologium (Tuc-Hor) с возрастом 45 млн лет. Звезда DS Tuc может рассматриваться как прототип молодого Солнца, а планетная система — как прототип молодой Солнечной системы. Используя данные из архива наблюдений миссии TESS, мы выполнили анализ активности этой звезды. По нашей оценке, период вращения звезды равен  $P = 2.85 \pm 0.18$  сут, что совпадает с известными оценками. Методом решения обратной задачи восстановления карт поверхностных температурных неоднородностей проведен анализ кривой блеска. Показано, что на этих картах имеются концентрации пятен на двух долготах. Положения пятен претерпевают изменения. Доля S запятненной поверхности звезды составляет величину около 3.3 %. Изучено положение объекта на диаграммах S—возраст, S—период вращения и S—числа Россби, и сделан вывод о его соответствии общему характеру зависимостей, установленных ранее для молодых звезд с планетными системами и звезд солнечного типа. По наблюдениям обзора All Sky Automated Survey впервые получена оценка возможного цикла активности DS Tuc, равного 1610 сут (4.4 года).

*Ключевые слова:* переменные звезды.

DOI: 10.31857/S0320010820030043

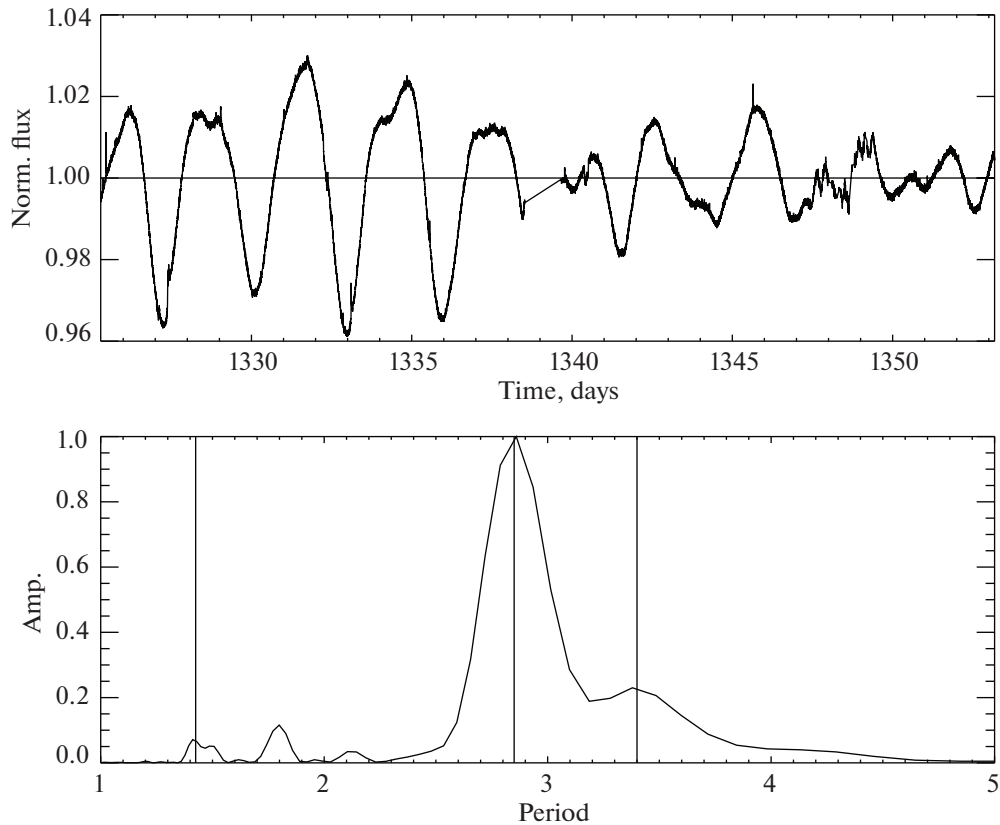
### ВВЕДЕНИЕ

Космическая миссия TESS (<https://heasarc.gsfc.nasa.gov>, <http://stess.mit.edu>) предоставляет уникальную возможность для исследования фотометрической переменности блеска звезд (в том числе с планетными системами) в молодых движущихся группах (YMG). YMG являются динамически несвязанными ассоциациями звезд, которые идентифицированы на основе их общего движения. Возраст YMG достигает 300 млн лет, их исследования позволяют изучать объекты в непрерывном диапазоне возрастов, в отличие от анализа молодых звездных скоплений. По плотности звезд YMG также отличаются от высокоплотных звездных скоплений, таких как Ясли или Плеяды. Кластеры YMG менее компактны, и поэтому звездные динамические взаимодействия в них встречаются реже. Как следствие этого, их свойства могут быть более характерными для предшественников экзопланетных систем, которые вращаются вокруг типичных звезд поля. Динамические исследования

показывают, что звездные взаимодействия в открытых скоплениях вряд ли разрушают планетные системы, но более мягкие воздействия, такие как изменения эксцентриситета планетных орбит, вполне возможны (см. об этом более подробно вместе с соответствующими ссылками в Ньютон и др., 2019). Наконец, большинство известных YMG значительно ближе, чем звездные скопления, что обеспечивает дополнительные преимущества для нахождения детальных характеристик экзопланетных систем в YMG с помощью таких методов, как транзитная спектроскопия и измерения лучевой скорости.

Ньютон и др. (2019) сообщили об обнаружении близкой экзопланеты с радиусом между радиусами Нептуна и Сатурна около звезды DS Tuc (DS Tuc A, HD 222259A), члена Tucana-Horologium (Tuc-Hor) YMG. DS Tuc — визуально двойная система с первичной G6V и вторичной K3V звездами, отстоящими на 5 угл. сек (см. Ньютон и др., 2019). Кутиспото и др. (2002) приводят отличающуюся оценку спектральных классов для компонентов K3/4V и K5V соответственно.

\*Электронный адрес: [isavanov@inasan.ru](mailto:isavanov@inasan.ru)



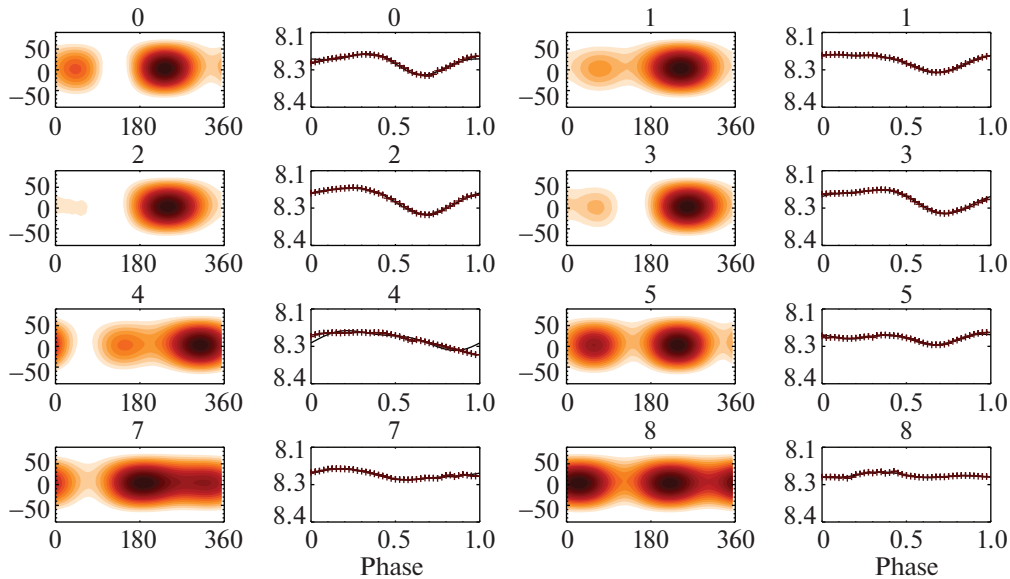
**Рис. 1.** Кривая блеска DS Tuc по наблюдениям с космической миссией TESS. По оси ординат — нормированный на среднее значение поток излучения, по оси абсцисс — время. Внизу: Спектр мощности, основной пик соответствует периоду вращения звезды  $P = 2.85 \pm 0.18$  сут.

DS Tuc наблюдалась космической миссией TESS, начиная с первого сектора научных исследований с конца июля по август 2018 г., и была предварительно выбрана для дальнейшего анализа из-за своего членства в молодой движущейся группе Tucana-Hoglogium. Как и в работе Ньютон и др. (2019), в нашем исследовании мы использовали данные наблюдений звезды, представленные в каталоге MAST (<https://mast.stsci.edu>).

Цель нашей работы состоит в изучении активности звезды с планетной системой DS Tuc, которая может рассматриваться как прототип молодого Солнца. Методика выполненного исследования была аналогичной проводимой нами ранее при анализе данных из архива космического телескопа Кеплер и из архива наблюдений миссии TESS, включая восстановление карт поверхностных температур и оценку цикла активности звезды. Располагая оценками параметров активности звезды, мы проверили их на соответствие общему характеру зависимостей, установленных нами ранее для молодых звезд с планетными системами.

### ОПИСАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ ОБРАБОТКА

Для DS Tuc мы использовали данные наблюдений, полученные с временным разрешением в 2 мин. Их обработка была аналогичной проводимой нами ранее для данных из архива космического телескопа Кеплер (см., например, Саванов, Дмитриенко, 2011; Саванов, 2011, 2015) и из архива наблюдений миссии TESS (см., например, Саванов, 2019б). На рис. 1 (вверху) представлена кривая блеска DS Tuc. Видна периодическая модуляция, показывающая заметную переменность амплитуды. Согласно результатам Ньютон и др. (2019), период вращения DS Tuc  $P$  составляет 2.85 сут. На построенном нами спектре мощности (рис. 1, внизу) имеется пик  $P = 2.85 \pm 0.18$  сут. Кроме того, для величины  $P/2$  имеется небольшой пик, который, как правило, интерпретируется как проявление наличия активных областей на противоположных полушариях звезды. Пики, соответствующие основному периоду  $P$  и полупериоду  $P/2$ , отмечены вертикальными линиями на рис. 1. Кроме того, на рис. 1 еще одной линией отмечен пик, соответствующий



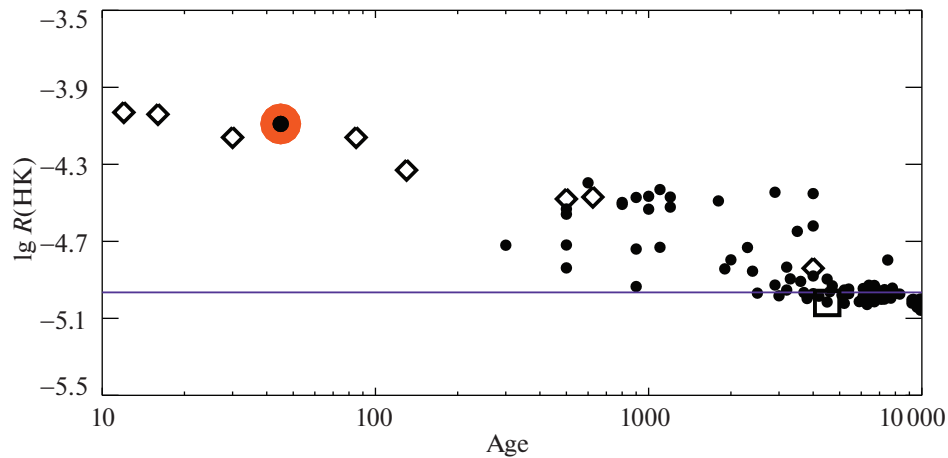
**Рис. 2.** Пример результатов восстановления температурных неоднородностей на поверхности DS Tuc для 8 сетов наблюдений. Более темные области на рисунках соответствуют более высоким значениям факторов заполнения  $f$ . Также приводятся наблюдаемые кривые блеска и теоретические, построенные по восстановленной модели.

ющий периоду в 3.4 сут. По методике, примененной для определения параметров дифференциального вращения 12 300 звезд из данных наблюдений телескопа Кеплер, опубликованных Рейнхолд и Гизон (2015), с найденными нами значениями периодов (2.85 и 3.4 сут соответственно) мы оценили для DS Tuc параметр дифференциального вращения звезды  $\Delta\Omega$  (различие угловых скоростей вращения на экваторе и на полюсе). Общепринято, что закон дифференциального вращения описывается уравнением вида  $\Omega(\theta) = \Omega(\text{eq}) (1 - \alpha \sin^2(\theta))$ , где  $\theta$  — широта. По нашей оценке, DS Tuc имеет параметр  $\Delta\Omega = 0.357 \pm 0.010$  рад/сут. Полученная величина выше, чем характерные величины  $\Delta\Omega$  для звезд солнечного типа (Саванов и др., 2018а), но сопоставима с максимальными из найденных в Фолсом и др. (2018) методом доплеровского картирования.

Дальнейший анализ фотометрической переменности звезды был сделан нами со средним фотометрическим периодом, составляющим 2.85 сут. Как и в наших предыдущих исследованиях карликов поздних спектральных классов (Саванов, Дмитриенко, 2011; Саванов, 2011), мы выполнили анализ каждой индивидуальной кривой блеска с помощью программы iPH (Саванов, Штрассмейер, 2008). Программа решает обратную задачу восстановления температурных неоднородностей на поверхности звезды по кривой блеска в двухтемпературном приближении (интенсивность излучения от каждой элементарной площадки на поверхности звезды складывается из двух компонент: фотосферы и

холодного пятна). Полное описание программы и ее тесты представлены нами в Саванова и Штрассмейер (2008). Подробности анализа можно найти в наших предыдущих публикациях (см., например, Саванов, 2011; Дмитриенко, Саванов, 2017а). Согласно данным Ньютон и др. (2019), температура фотосферы DS Tuc была принята равной  $5428 \pm 80$  К. Как и в большинстве предыдущих исследований, мы воспользовались стандартным соотношением между температурами пятен и невозмущенной фотосферы (см. обсуждение в работе Саванова, 2019в) и установили, что для исследуемой нами звезды можно ожидать, что температура запятненной поверхности ниже температуры фотосферы на 1000 К. Согласно нашей методике, для каждой элементарной площадки размером  $6^\circ \times 6^\circ$  на поверхности звезды был определен фактор заполнения  $f$  (доля поверхности элементарной площадки, занимаемая пятнами). В расчетах были использованы данные сетки моделей Куруца. Вычисления были проведены при значении параметра угла наклона оси вращения звезды к лучу зрения  $i = 82^\circ$  (Ньютон и др., 2019).

На рис. 2 в качестве примера представлены результаты восстановления температурных неоднородностей на поверхности DS Tuc для ряда сетов наблюдений. Там же приведены наблюдаемые и теоретические (построенные по восстановленной модели) кривые блеска. Как правило, на поверхностных картах имеются концентрации пятен на двух долготах — их значения регистрировались на-



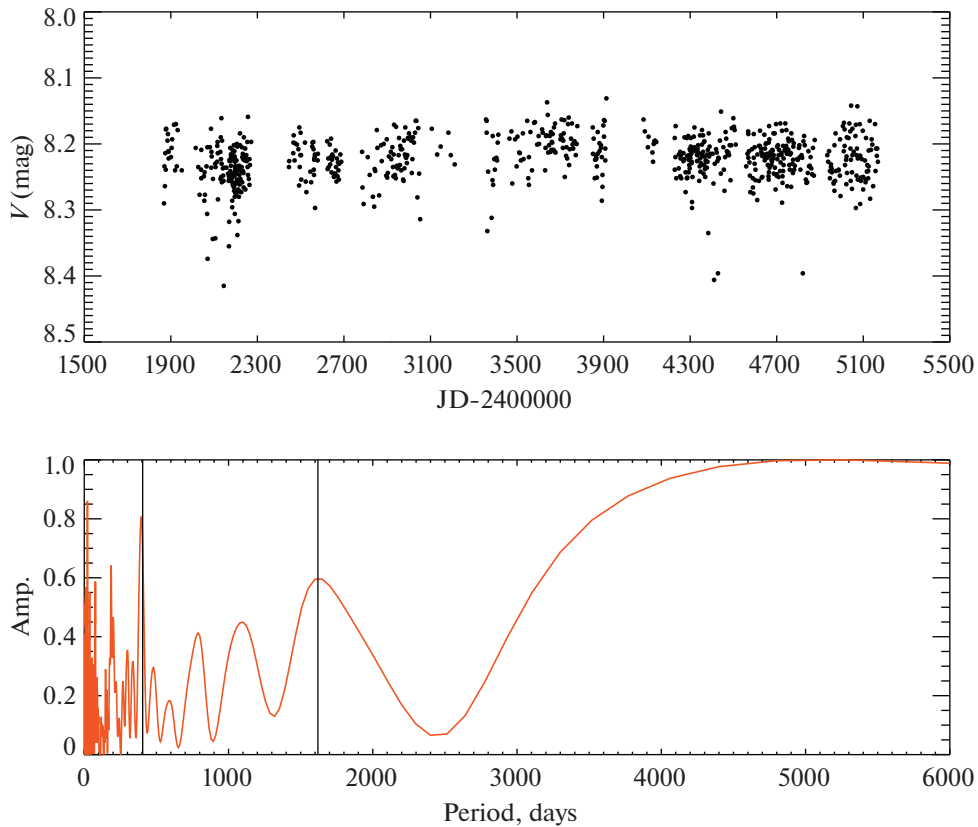
**Рис. 3.** Зависимость индексов  $R'_{HK}$  от возраста (в млн лет) для изученных звезд — близнецов Солнца по данным БороСаикии и др. (2018). Горизонтальная линия и квадрат соответствуют данным о хромосферной активности Солнца. Ромбы — результаты определения средних величин индекса  $R'_{HK}$  для звездных скоплений с возрастом 0.6–4.5 млрд лет. Оконтуренный кружок — данные для DS Tuc.

ми как две независимые активные области (долготы, АД), примерно на фазах 0.15 и 0.75. Установлено, что площадь первой области, как правило, меньше, чем площадь второй. Мы будем называть их соответственно АД А и АД В. В течение наблюдений наиболее активной была АД В, причем ее положения претерпевали изменения менее значительные, чем у долготы А. Изменения в положениях и размерах активных областей (пятен) происходили во временных интервалах, сопоставимых по длительности с периодом вращения звезды. Значение величины параметра запятненности  $S$  для DS Tuc составляет в среднем  $3.3 \pm 0.2\%$ . Наибольшая погрешность определения  $S$  связана с установлением уровня блеска для звезды без пятен на поверхности. Общепринято, что он соответствует ее максимальному наблюдательному блеску.

### ХРОМОСФЕРНАЯ АКТИВНОСТЬ

Как указали Генри и др. (1996), DS Tuc следует отнести к числу объектов с высокой фотосферной и хромосферной активностью ( $\log R'_{HK} = -4.09$ ). Хромосферная активность является еще одним из хорошо известных индикаторов активности звезд. Измерение хромосферной активности многочисленной выборки звезд послужило предметом многолетних программ мониторинга обсерватории Маунт Вилсон, а в дальнейшем — и других обсерваторий (см. подробности в работе БороСаикаи и др., 2018). Как и скорость осевого вращения звезд, хромосферная активность (характеризуемая индексом  $R'_{HK}$ ) убывает с увеличением их возраста. Указанный параметр также можно

рассматривать как индикатор возраста звезды. Ранее Саванов и Дмитриенко (2017) использовали результаты исследования Рамирез и др. (2014), в котором для звезд — близнецов Солнца были сопоставлены измеренные авторами индексы  $R'_{HK}$  с возрастными данными объектов (установленных по изохронам с погрешностью определений вплоть до 1.3 млрд лет) (рис. 3). Мы дополнили данные исследования Рамирез и др. (2014) результатами определений средних величин индекса  $R'_{HK}$  для звездных скоплений с возрастом 0.6–4.5 млрд лет (Мамаджек, Хилленбранд, 2008). Как следует из рис. 3, с увеличением возраста происходит уменьшение хромосферной активности, при этом для звезд старше 4 млрд лет она спадает до солнечного уровня (горизонтальная линия и квадрат соответствуют данным о хромосферной активности Солнца). Как отметил Саванов (2018), разброс параметра  $R'_{HK}$  частично может быть обусловлен его переменностью, например, в ходе цикла активности. При сопоставлении для изученных объектов диаграмм “ $R'_{HK}$ –возраст” и “параметр  $S$ –возраст” (см. также результаты Дмитриенко, Саванов, 2017а, и Саванов, Дмитриенко, 2017) можно заключить, что рассматриваемые на них зависимости обладают общими характерными особенностями, указывающими на повышенный уровень активности молодых объектов, относительно малые изменения активности объектов с возрастом 4–8 млрд лет и возможное дальнейшее уменьшение активности более старых звезд (Рамирез и др., 2014, отмечают, что спад активности наступает при возрасте звезд более 9 млрд лет). Данные о хромосферной активности молодой звезды DS Tuc,



**Рис. 4.** Сверху: Кривая блеска DS Tuc по данным, доступным из архива наблюдений All Sky Automated Survey. Внизу: спектр мощности для диапазонов периодов 1–6000 сут. Вертикальными линиями отмечены циклы продолжительностью 1610 и 360–400 сут.

обладающей возрастом в 45 млн лет, хорошо соответствуют зависимости параметра  $R'_{HK}$  от возраста, предложенной Мамаджек и Хилленбранд (2008) для звезд молодых скоплений. Таким образом, можно заключить, что зависимость, характеризующая связь параметра S и возраст, повторяет вид зависимости  $\log R'_{HK}$  — возраст. Также как и исследование связи между параметрами S и  $R_0$  для карликов спектрального класса M (Дмитриенко, Саванов, 2017a), наш анализ соотношения  $\log R'_{HK}$  — возраст дает основание предполагать, что полученная нами зависимость в дальнейшем дополнит и расширит возможности совместного анализа зависимости хромосферной и фотосферной активности звезд от возраста и найдет применение для уточнения параметров, характеризующих действие динамо-механизмов, в том числе для звезд, обладающих планетными системами. В то же время подчеркнем, что получение оценок параметра запятненности S менее трудоемко, чем определение рентгеновской светимости и даже чем спектральные исследования, являющиеся основой для получения величин  $\log R'_{HK}$ , так как оценки S

могут быть выполнены для многочисленных выборок объектов и по космическим, и по наземным наблюдениям.

## ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ

Для оценки возможного цикла активности DS Tuc мы использовали данные из архива наблюдений обзора All Sky Automated Survey <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>. Была рассмотрена 801 оценка блеска звезды в фильтре V. На основе построенного спектра мощности можно сделать заключение о наличии возможного цикла активности порядка 1610 сут (4.4 года) (рис. 4, нижняя диаграмма). На рис. 4 (нижняя диаграмма) отмечен еще один пик (порядка 360–400 сут), который рассматривается нами как артефакт, соответствующий сезонной цикличности наблюдений. По своей продолжительности 4.4-летний цикл активности звезды DS Tuc сопоставим с установленным Санч-Форкада и др. (2019) 1.6-летним циклом для еще одного молодого солнечного аналога  $\iota$  Hor (возраст 600 млн лет).

В работе Саванова и Дмитриенко (2019а) 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. Ее возраст соответствует 30–50 млн лет. Молодые звезды солнечного типа представляют особый интерес при изучении звездной активности и эволюции, так как они дают нам представление о том, каким могло быть в прошлом Солнце. На этой ранней стадии эволюции солнечные близнецы намного более магнитоактивны, чем Солнце в настоящее время. В статье Саванова и Дмитриенко (2019а) приведены основные свойства V889 Her. Как и следовало ожидать, молодая звезда V889 Her обладает быстрым вращением, период ее вращения  $P = 1.33$  сут. На построенном спектре мощности переменности блеска объекта хорошо выделяются пики, соответствующие циклам в 7.15 лет, 12.5 лет и около 35 лет. К сожалению, используемые нами данные для 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.

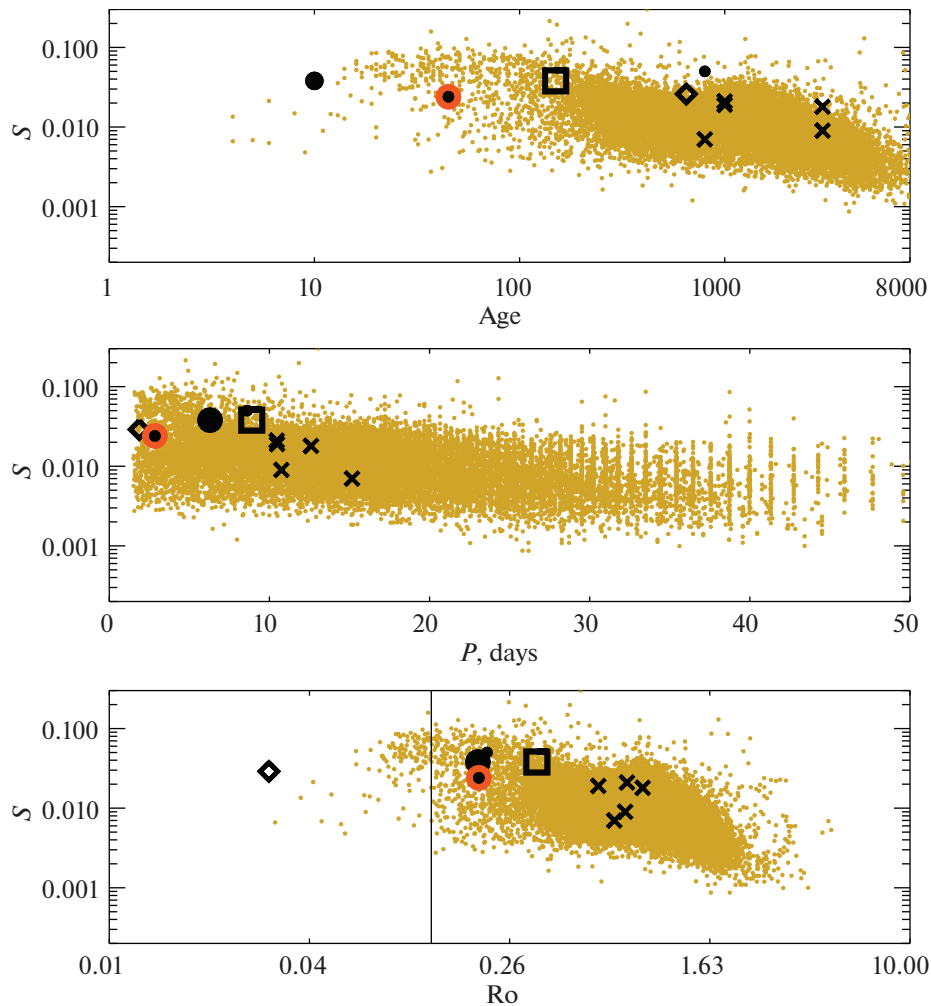
## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ранее в работе Саванова и Дмитриенко (2019б) мы привели результаты нашего исследования активности пяти молодых звезд, обладающих планетными системами: K2-231, EPIC 219388192, K2-136, Kepler-66 и Kepler-67. Возраст этих объектов был установлен по их принадлежности к скоплениям. Мы представили заключения о характере изменений блеска изучаемых звезд. Кроме того, нами были найдены или уточнены периоды их вращения, которые, как было показано, лежат в интервале 9–15 сут. Для Kepler-66 и Kepler-67 были получены оценки параметра дифференциального вращения  $\Delta\Omega$ , которые составили 0.04–0.05 рад/сут и 0.04 рад/сут соответственно. По фотометрическим данным мы построили карты температурных неоднородностей на поверхности пяти изученных звезд и сделали заключение о характере эволюции изменений положений активных областей. При этом были определены величины параметра  $S$  — площади запятненной поверхности звезд, которая для наших объектов находится в пределах  $0.7 \pm \pm 4.5\%$  от площади их полной видимой поверхности. Наконец, было изучено положение объектов на диаграммах  $S$ —возраст,  $S$ —период вращения и  $S$ —числа Россби, сделан вывод о его соответствии общему характеру зависимостей, установленных нами ранее для 1570 M карликов.

Исследование Саванова и Дмитриенко (2019б) явилось продолжением наших работ по анализу активности молодых звезд с экзопланетами. Ранее нами (Дмитриенко, Саванов, 2017б) были представлены результаты изучения планеты типа Нептун в системе M карлика EPIC 210490365 (K2-25) в скоплении Гиады (650–800 млн лет). В статье Саванова и др. (2018б) мы изучили два объекта — EPIC 211901114 из скопления Ясли и EPIC 205117205 (K2-33), входящий в подгруппу Upper Scorpius ассоциации Sco-Cep. Результаты нашего анализа активности молодого объекта EPIC 247267267 из ассоциации Cas-Tau с возрастом порядка  $46 \pm 8$  млн лет приводятся в работе Саванова (2018). Эта система (вместе с K2-33) является одной из наиболее молодых планетных систем, обнаруженных методом транзитов.

В настоящей работе мы сопоставили параметр запятненности  $S$  для DS Tuc и других молодых звезд с планетными системами (см. Саванов, Дмитриенко, 2019б, и ссылки) с параметром  $S$ , определенным для 18 140 звезд главной последовательности из статьи Рейнхолд и Гизон (2015) с эффективной температурой менее 6500 K и периодами вращения  $P$  от 1.5 до 60 сут. Величины параметра  $S$ , установленные по величинам  $R_{var}$  (амплитуды переменности блеска объектов — табл. 4 из Рейнхолд, Гизон, 2015), были рассмотрены нами в качестве индикаторов активности. Возраст объектов был оценен по уравнениям гирохронологической зависимости (см. в Рейнхолд, Гизон, 2015). Диаграмма, связывающая запятненность объектов  $S$  и их возраст, представлена на рис. 5 (верхняя панель). На рис. 5 также приведены данные об исследованных нами ранее звездах, обладающих планетными системами. На диаграмме положения DS Tuc представлено символом оконтуренного кружка. Можно заключить, что общее согласие между данными для параметра запятненности объектов, достоверно входящих в скопления с известным возрастом, и объектов из Рейнхолд и Гизон (2015), возраст которых найден по гирохронологической зависимости, указывает на достаточную надежность калибровки из Рейнхолд и Гизон (2015). На диаграмме зависимости параметра запятненности от периода вращения звезды (рис. 5, средняя панель) положения для DS Tuc хорошо согласуются со сделанными ранее в работе Дмитриенко и Саванова (2017а) заключениями об уменьшении активности (параметра запятненности) объектов с периодами вращения, превышающими 8–10 сут. Группа более быстро вращающихся объектов, исследованных нами ранее (периоды вращения  $P$  которых меньше 10–12 сут), характеризуется большими значениями параметра  $S$ . Несомненно, DS Tuc входит в группу быстро вращающихся





**Рис. 5.** Сверху: Зависимость параметра запятности  $S$  для звезд главной последовательности (Рейнхолд и Гизон, 2015) от их возраста (возраст приводится в млн лет). Средняя диаграмма: Зависимость  $S$  от периода  $P$  вращения звезд. Внизу: Зависимость  $S$  от чисел Россби. Вертикальная линия соответствует величине параметра  $Ro$  (насыщения) = 0.13. На всех диаграммах положение объектов из работы Рейнхолд и Гизон (2015) отмечено светлыми кружками. Положению K2-25 соответствует символ ромб. Большой темный кружок представляет данные для K2-33, а средний темный кружок — для EPIC 211901114, квадрат — для EPIC 247267267. Положения пяти объектов из статьи Дмитриенко и Саванова (2019б) представлены символами крестик. Положение DS Tuc — околуренный кружок.

объектов, при этом величина параметра запятности  $S$  для этой звезды составляет  $3.3 \pm 0.2\%$ .

Дмитриенко и Саванов (2017а) высказали предположение о том, что диаграмма  $S-Ro$  повторяет классическую зависимость рентгеновской светимости активных звезд от числа Россби, и что режим насыщения достигается при той же величине параметра  $Ro$  (насыщения) = 0.13. Это заключение было получено нами из анализа данных МакКуиллан и др. (2013). В статье Саванова и Дмитриенко (2019б) сделан вывод, что оно подтверждается также по другому набору данных из Рейнхолд и Гизон (2015). При установленных числах Россби пяти исследуемых нами звезд их положение на диаграмме

$S-Ro$  свидетельствует о возможной применимости для них оценок Райт и др. (2011). Единственным из рассматриваемых объектов, лежащим на диаграмме  $S-Ro$  в области насыщения, является K2-25 (число Россби для него составляет 0.03). По полученным оценкам рентгеновская светимость DS Tuc равна  $\lg(R_x) = -3.99$  ( $R_x = L_x/L_{bol}$ ), что существенно выше солнечной величины  $\lg(R_x) = -6.24$  (см. Армстронг и др., 2016). До получения результатов точных рентгеновских наблюдений эта оценка может быть использована при моделировании влияния активности звезды на входящие в ее систему планеты.

Благодаря своему сравнительно яркому блеску,

система DS Tuc A предоставляет широкие возможности для детальных исследований экзопланет на их ранних стадиях эволюции. Как отмечается в статье Ньютон и др. (2019), измерение массы планеты в молодой системе DS Tuc позволило бы сравнить ее плотность с плотностью более старых планет. Стандартные соотношения, основанные на изучении экзопланет у более старых звезд, могут приводить к переоценкам массы планеты в рассматриваемом случае, так как в них не учитывается, что планета со временем может подвергаться воздействию от звезды (фотоиспарение атмосферы вследствие облучения ультрафиолетовым потоком звезды, вспышечная активность звезды, корональные выборы массы и проч.). Вопрос о том, будут ли при этом одновременно изменяться и радиус, и масса планеты (Ньютон и др., 2019), остается открытым.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Космическая миссия TESS предоставляет уникальную возможность для исследования фотометрической переменности блеска звезд с планетными системами в молодых движущихся группах и в скоплениях различного возраста. Ньютон и др. (2019) сообщили об обнаружении близкой экзопланеты с величиной радиуса между радиусами Нептуна и Сатурна около звезды DS Tuc (DS Tuc A, HD 222259A), которая является членом группы Tucana-Horologium (Tuc-Hor) с возрастом порядка 45 млн лет. DS Tuc — визуально двойная система, состоящая из первичной G6V и вторичный K3V звезд. Компонент спектрального класса G6V может рассматриваться как прототип молодого Солнца, а сама планетная система — как прототип молодой солнечной системы. Мы выполнили анализ активности горячего компонента G6V. Обработка данных аналогична проводимой нами ранее при анализе данных из архива космического телескопа Кеплер и из архива наблюдений миссии TESS. По нашей оценке, период вращения звезды равен  $P = 2.85 \pm 0.18$  сут, что совпадает с литературными оценками. Если интерпретировать появление на спектре мощности второго пика, соответствующего периоду в 3.4 сут, как указание на наличие дифференциального вращения звезды, то параметр дифференциального вращения DS Tuc  $\Delta\Omega = 0.357 \pm 0.010$  рад/сут. Дальнейший анализ фотометрической переменности звезды был выполнен нами со средним фотометрическим периодом, составляющим 2.85 сут. Методом решения обратной задачи восстановления карт поверхностных температурных неоднородностей проведен детальный анализ кривой блеска. Показано, что, как правило, на поверхностных картах имеются концентрации пятен на двух долготах. Положения и

размеры пятен претерпевают изменения и временами нестабильны. Доля запятненной поверхности звезды S составляет величину около 3.3%.

Изучено положение объекта на диаграммах S—возраст, S—период вращения и S—числа Россби, и сделан вывод о его соответствии общему характеру зависимостей, установленных нами ранее для молодых звезд с планетными системами. Впервые получена оценка возможного цикла активности DS Tuc в 1610 сут (4.4 года) по наблюдениям All Sky Automated Survey <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>.

Исследование выполнено в рамках проекта “Исследование звезд с экзопланетами” по гранту Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашение № 075-15-2019-1875).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Армстронг и др. (D.J. Armstrong, C.E. Pugh, A.-M. Broomhall, D. J.A. Brown, M.N. Lund, H.P. Osborn, and D.L. Pollacco), *MNRAS* **455**, 3110 (2016).
2. БороСаикиа и др. (S. Boro Saikia, C.J. Marvin, S.V. Jeffers, A. Reiners, R. Cameron, S.C. Marsden, P. Petit, J. Warnecke, and A. P. Yadav), *Astron. Astrophys.* **616**, A108 (2018).
3. Генри и др. (T.J. Henry, D.R. Soderblom, R.A. Donahue, and S.L. Baliunas), *Astronom. J.* **111**, 439 (1996).
4. Дмитриенко, Саванов (E.S. Dmitrienko and I.S. Savanov), *Astron. Rep.* **61**, 122 (2017a).
5. Дмитриенко, Саванов (E.S. Dmitrienko and I.S. Savanov), *Astron. Rep.* **61**, 871 (2017b).
6. Кутиспото и др. (G. Cutispoto, L. Pastori, L. Pasquini, J.R. de Medeiros, G. Tagliaferri, and J. Andersen), *Astron. Astrophys.* **384**, 491 (2002).
7. МакКуиллан и др. (A. McQuillan, S. Aigrain, and T. Mazeh), *MNRAS* **432**, 1203 (2013).
8. Мамаджек, Хилленбранд (E.E. Mamajek and L.A. Hillenbrand), *Astrophys. J.* **687**, 1264 (2008).
9. 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**, 15 (2019).
10. Райт и др. (N.J. Wright, J.D. Drake, E.E. Mamajek, and G.W. Henry), *Astrophys. J.* **743**, 48 (2011).
11. Рамирез и др. (I. Ramirez, J. Melendez, J. Bean, M. Asplund, M. Bedell, T. Monroe, L. Casagrande, L. Schirbel, et al.), *Astron. Astrophys.* **572**, A48 (2014).
12. Рейнхольд, Гизон (T. Reinhold and L. Gizon), *Astron. Astrophys.* **583**, A65 (2015).
13. Саванов (I.S. Savanov), *Astron. Rep.* **55**, 341 (2011).
14. Саванов (I.S. Savanov), *Astrophys. Bull.* **70**, 292 (2015).



15. Саванов (I.S. Savanov), *Proceed. of the 2018 acad. A.A. Boyarchuk Memorial Conference, INASAN Science Proceedings* (Ed. D.V. Bisikalo and D.S. Wiebe, Moscow: Yanus-K, 2018), p. 73.
16. Саванов (I.S. Savanov), *INASAN Sci. Rep.* **3**, 179 (2019a).
17. Саванов (I.S. Savanov), *Astrophys. J.* **62**, 513 (2019б).
18. Саванов (I.S. Savanov), *INASAN Sci. Rep.* **3**, 244 (2019в).
19. Саванов, Дмитриенко (I.S. Savanov and E.S. Dmitrienko), *Astron. Rep.* **55**, 890 (2011).
20. Саванов, Дмитриенко (I.S. Savanov and E.S. Dmitrienko), *Astron. Rep.* **61**, 461 (2017).
21. Саванов, Дмитриенко (I.S. Savanov and E.S. Dmitrienko), *INASAN Sci. Rep.* **3**, 173 (2019a).
22. Саванов, Дмитриенко (I.S. Savanov and E.S. Dmitrienko), *Astron. Rep.* **63**, 595 (2019б).
23. Саванов, Штрассмейер (I.S. Savanov and K.G. Strassmeier), *Astron. Nachrichten* **329**, 364 (2008).
24. Саванов и др. (I.S. Savanov, E.S. Dmitrienko, D.S. Pandei, and S. Karmakar), *Astrophys. Bull.* **73**, 454 (2018a).
25. Саванов и др. (I.S. Savanov, E.S. Dmitrienko, S. Karmakar, and J.C. Pandey), *Astron. Rep.* **62**, 532 (2018б).
26. Санч-Форкада и др. (J. Sanz-Forcada, B. Stelzer, M. Coffaro, S. Raetz, and J.D. Alvarado-Gómez), *Astron. Astrophys.* **631**, A45 (2019).
27. Фолсом и др. (C.P. Folsom, J. Bouvier, P. Petit, A. Lkre, L. Amard, A. Palacios, J. Morin, J.-F. Donati, and A.A. Vidotto), *MNRAS* **474**, 4956 (2018).