


УДК 523.4-44-14

ОЦЕНКИ ПОТЕРИ ВЕЩЕСТВА АТМОСФЕРАМИ ДВУХ ПЛАНЕТ У МОЛОДОГО АНАЛОГА СОЛНЦА TIC 434398831 ИЗ ДВИЖУЩЕЙСЯ ГРУППЫ THEIA 116

© 2026 И. С. Саванов^{1*} ¹Институт астрономии Российской академии наук, Москва, 119017 Россия

Поступила в редакцию 5 сентября 2025 года; после доработки 24 февраля 2026 года; принята к публикации 26 марта 2026 года

Представлены результаты анализа проявлений активности молодой звезды солнечного типа (спектрального класса G4V) TIC 434398831, принадлежащей к движущейся группе Theia 116 с возрастом порядка 61 млн лет. Также приведены оценки потери вещества атмосферами планет TIC 434398831 b и c. По данным миссии TESS определен период вращения звезды ($P \approx 1^d.75$) и высказано предположение о возможной эволюции пятен (холодных областей) на ее поверхности. Для TIC 434398831 найдена величина параметра дифференциального вращения звезды: $\Delta\Omega = 0.081$ рад/сут. Получены оценки площадей холодных пятен на поверхности звезды, многократно превышающие максимальную площадь пятен на Солнце и для разных секторов варьирующиеся в диапазоне 47 140–103 090 м.д.п. Кроме того, исследованы свойства вспышечной активности TIC 434398831. Для наиболее достоверного события измерена относительная продолжительность вспышки (около 50 с), излученная энергия составила 2.1×10^{33} эрг. По данным обзора Kamogata Wide-field Survey (KWS) установлена величина цикла долговременной активности звезды: 2500 дней (6.8 года). Представлены результаты расчетов величин потери вещества атмосфер планетами TIC 434398831 b и c (\dot{M}) по двум моделям потери атмосферы: с ограничением по энергии (ОЭ) и с гидродинамической аппроксимацией (ГА) — для двух значений параметра $\log R'_{HK}$ (величин потока XUV-фотонов). Расчеты с моделью ГА дают более низкие оценки параметра \dot{M} . Диапазоны изменений параметра \dot{M} для TIC 434398831 b лежат в интервале от 1.8×10^{10} до 1.7×10^9 г с⁻¹ (модель с ОЭ) и от 5.1×10^9 до 4.8×10^8 г с⁻¹ (модель с ГА), а для TIC 434398831 c — от 1.7×10^{10} до 1.6×10^9 г с⁻¹ (модель с ОЭ) и от 4.3×10^9 до 4.0×10^8 г с⁻¹ (модель с ГА).

Ключевые слова: *методы: анализ данных* — *звезды: активность* — *звезды: маломассивные* — *экзопланеты*

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение свойств планет моложе 100–200 млн лет помогает протестировать различные модели формирования и эволюции. Разнообразные процессы (продолжающийся процесс выпадения планетезималей, магнитная активность центральной молодой звезды, выражающаяся в ее избыточном УФ, рентгеновском излучении и в корональных выбросах) могут оказывать воздействие на физические и химические свойства формирующихся планет. Наиболее интенсивные проявления механизмов формирования и эволюции планет наблюдаются в первые сотни миллионов лет после возникновения планетных систем. Сведения о выявленных планетных системах и статистических свойствах таких систем в близлежащих

молодых скоплениях, областях звездообразования и OB-ассоциациях, а также движущихся группах звезд можно найти в литературе. Например, они представлены в серии исследований ZEIT (поиск «зодиакальных экзопланет во времени»), основанных на данных миссии K2. Продолжением ZEIT является проект THYME (TESS Hunt for Young and Maturing Exoplanets). В рамках этой программы ведется поиск и дальнейший анализ характеристик транзитных планет в молодых звездных ассоциациях возрастом 10–20 млн лет и в близлежащих молодых движущихся группах (YMG) возрастом менее 200 млн лет. Результаты наших исследований активности звезд из объектов программ ZEIT и THYME изложены в ранее опубликованных работах (см. краткий обзор в Savanov, 2021). Цель наших исследований — проанализировать проявления пятенной и вспышечной активности объектов и выявить связанные с ними

*E-mail: igs231@mail.ru

закономерности как для холодных карликов и звезд солнечного типа, так и для звезд с планетными системами.

В настоящей статье мы продолжаем исследовать планетные системы, обращающихся вокруг звезд солнечного типа. В этой работе проанализирована активность молодой звезды спектрального класса G4 V — TIC 434398831 — и оценена потеря вещества атмосферами планет TIC 434398831 b и c. Звезда принадлежит к движущейся группе Theia 116, возраст которой составляет 61 ± 6 млн лет (Vach et al., 2025). Она привлекает внимание исследователей своей пятенной и вспышечной активностью, а также наличием двух планет — класса мининептун и супернептун — с периодами обращения, свидетельствующими о возможном резонансе 5:3 в системе.

2. ПРОЯВЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ TIC 434398831

Основные данные о звезде TIC 434398831 и ее планетах приводятся в статье Vach et al. (2025). Эффективная температура звезды равна 5638 ± 50 К, логарифм ускорения силы тяжести $\log g = 4.42 \pm 0.10$, радиус $R/R_{\odot} = 0.909 \pm 0.048$ и масса $M/M_{\odot} = 0.992 \pm 0.018$. Внутренняя планета, TIC 434398831 b, обращается по орбите с периодом 3.69 суток, ее радиус $R_b = 3.51 R_{\oplus}$. Внешняя планета, TIC 434398831 c, имеет орбитальный период 6.21 суток, радиус $5.63 R_{\oplus}$. Расстояния от звезды до планет составляют 10.1 и 14.3 радиусов звезды, соответственно.

Наблюдения TIC 434398831 проводились в семи секторах (6, 33, 43, 44, 45, 71, 72) миссии TESS. Дальнейший анализ опирался на данные первых пяти из них.

Наша обработка была аналогична выполненной ранее в случае измерений для других объектов из архивов космического телескопа «Кеплер» и миссии TESS (см., например, Savanov, 2021).

На рис. 1 представлены кривые блеска TIC 434398831 по наблюдениям в указанных выше секторах, а также соответствующие спектры мощности и фазовые диаграммы. Хорошо видна периодическая модуляция блеска с переменной амплитудой. Во всех сетях наблюдений звезда демонстрировала разнообразную активность. На временных масштабах, сопоставимых с длительностью наблюдений в одном секторе (около 30 суток), это проявлялось в изменении формы фазовой кривой и положений максимумов и минимумов. Наиболее выраженные вариации зафиксированы в секторах 43–45.

Для каждого сета наблюдений TIC 434398831 мы оценили период вращения звезды P и площадь

Таблица 1. Величины периода TIC 434398831 и площади пятен на поверхности звезды, полученные для каждого сектора наблюдений

Сектор	P , сут.	A , м.д.п.
6	1.7664	49 120
33	1.7513	47 140
43	1.7814	56 725
44	1.7713	96 140
45	1.7545	103 090

пятен на поверхности (полученные результаты приведены в таблице 1), а также определили амплитуды переменности блеска.

Отметим, что Vach et al. (2025) нашли период вращения звезды $P = 1^{\text{d}}75 \pm 0^{\text{d}}12$. В пределах погрешности наши результаты совпадают с их данными. Также мы оценили площади пятен на поверхности TIC 434398831. Они превосходят максимальную площадь пятен на Солнце и лежат в диапазоне 47 140–103 090 м. д. п.

Кроме того, анализ диаграммы спектра мощности, построенного по данным всех сетов наблюдений, показал расщепление основного пика на компоненты с $P_1 = 1^{\text{d}}74$ и $P_2 = 1^{\text{d}}78$. По методике определения параметров дифференциального вращения (Reinhold and Gizon, 2015), примененной ранее к 12 300 звездам из архива телескопа «Кеплер», мы оценили для TIC 434398831 параметр дифференциального вращения $\Delta\Omega$ — различие угловых скоростей вращения на экваторе и на полюсе: $\Delta\Omega = 0.081$ рад/сут. Полученное значение сопоставимо с характерными показателями этого параметра для Солнца и звезд солнечного типа (см. Reinhold and Gizon, 2015, рис. 12).

Анализ долговременной переменности блеска TIC 434398831 выполнен нами по данным многолетнего обзора Kamogata Wide-field Survey¹⁾ (KWS). В обзоре представлены наблюдения звезды в фильтрах V и I_c , они охватывают длительный интервал наблюдений с 2011 года по настоящее время (февраль 2025 года). Всего рассмотрено 1072 оценки блеска звезды в фильтре V . Данные, представленные на рис. 2а, свидетельствуют о присутствии возможной цикличности изменения блеска. На основе построенного спектра мощности для блеска TIC 434398831 можно предположить существование возможного цикла активности около 2500 суток (6.8 года) (рис. 2б). Жирная оранжевая

¹⁾<https://kws.cetus-net.org>

линия на графике соответствует сезонной переменности с периодом 365 дней, присутствующей в данных.

Vach et al. (2025) отнесли TIC 434398831 к числу объектов с планетными системами, у которых были обнаружены вспышки. Анализ выявил восемь вспышек в пяти секторах наблюдений TESS и позволил авторам (Vach et al., 2025) рассчитать частоту звездных вспышек, которая, по их оценке, составила $(2.0\text{--}5.8) \times 10^{-2}$ вспышек в день. Оценок энергий вспышек не проводилось. В нашем исследовании мы попытались восполнить этот пробел. На рис. 3 приведен фрагмент кривой с единственной вспышкой, которая, на наш взгляд, обладает структурой, характерной для вспышек звезд позднего спектрального класса: резкий подъем, пик и стадия затухания. Мы ограничились рассмотрением только этой наиболее достоверной вспышки, которая позволит дать представление о свойствах вспышечной активности TIC 434398831. Продолжительность вспышки составляет 0.07–0.08 суток. Энергия излучения вспышки была вычислена по стандартной методике, принятой при анализе вспышечной активности звезд по наблюдениям с космическим телескопом «Кеплер» или миссией TESS (Tu et al., 2021). Данная методика неоднократно использовалась для определений энергии вспышек звезд по наблюдениям миссии TESS с учетом изменения полосы пропускания для этой космической миссии (см., например, описание в Günther et al., 2020) Как и в работе Günther et al. (2020), мы исходили из предположения, что вспышка характеризуется чернотельным излучением. Измеренная относительная продолжительность вспышки составила $RE = 50$ с. Вычисленная по формулам из Günther et al. (2020) энергия, излученная во вспышке, оказалась равной 2.1×10^{33} эрг. Качество наблюдательного материала не позволяет нам с надежностью обсуждать другие слабые вспышки (меньшей энергии).

Авторы Su et al. (2022) привели сведения о вспышечной активности звезд с планетными системами по наблюдениям телескопа «Кеплер» и миссии TESS. Зависимость энергии вспышек от эффективных температур звезд показана на рис. 4, где также нанесен наш результат для TIC 434398831. Наблюдается хорошее согласие данных, однако сопоставление вспышечной активности этого объекта с аналогичными показателями звезд из работы Su et al. (2022), имеющих близкие эффективные температуры, свидетельствует о его умеренной или слабой вспышечной активности.

Таким образом, рассматриваемая вспышка типична для звезды данного класса. Этот вывод подтверждается оценками частоты вспышек по данным Vach et al. (2025): она соответствует ожида-

емой для молодых звезд-карликов класса G или незначительно ниже.

3. ПОТЕРЯ ВЕЩЕСТВА ФТМОСФЕРАМИ ПЛАНЕТ TIC 434398831 b и c

Обе планеты звезды TIC 434398831 характеризуются как мининептун и супернептун с радиусами $3.51 R_{\oplus}$ и $5.63 R_{\oplus}$, с периодами 3.69 и 6.21 суток соответственно, что, вероятно, свидетельствует о возможном резонансе 5:3 в системе.

Как указывали Otegi et al. (2020), на диаграмме «масса–радиус» присутствуют две различные популяции, соответствующие каменистым и богатым летучими веществами экзопланетам; они перекрываются как по массам, так и по радиусам. Линия, соответствующая составу H_2O , разделяет эти популяции. Обе рассматриваемые нами экзопланеты попадают в область, для которой, согласно Otegi et al. (2020), справедливо соотношение $M_p = (1.74 \pm 0.38) \times R_p^{(1.58 \pm 0.10)}$. Массы экзопланет TIC 434398831 b и c составили $12.6 M_{\oplus}$ и $26.7 M_{\oplus}$ соответственно.

Это не измеренные, а прогнозируемые на основе статистического соотношения массы, что вносит дополнительную погрешность в расчеты потери массы.

На первом этапе для подсчета величины оттока вещества из атмосфер планет TIC 434398831 b и c мы использовали аппроксимационную формулу, часто называемую в литературе моделью потери атмосферы с ограничением по энергии (см., например, Savanov and Shematovich (2021), Koskinen et al. (2022), Erkaev et al. (2007) и Kalinicheva et al. (2022)).

Для вычислений по этой формуле требуются оценки величины потока XUV-фотонов (F_{XUV}). С этой целью мы применили аналитические зависимости из Sreejith et al. (2020), связывающие F_{XUV} и параметр $\log R'_{HK}$ для звезд спектральных классов от F до M. Поскольку данные о величине $\log R'_{HK}$ для TIC 434398831 на момент проведения наших исследований в литературе отсутствовали, мы, как и в предшествующих работах, использовали данные Gomes da Silva et al. (2021) о распределении этого параметра для звезд солнечного типа. Было установлено, что распределение $\log R'_{HK}$ для звезд спектрального класса G имеет два четко выраженных пика: максимумы приходятся на значения около -5.0 dex у малоактивных звезд и -4.5 dex — у активных. На основании этого мы решили проводить вычисления величин потока XUV-фотонов, соответствующих указанным значениям. Отметим, что оценки потоков для активных и малоактивных звезд различаются более чем в десять раз.

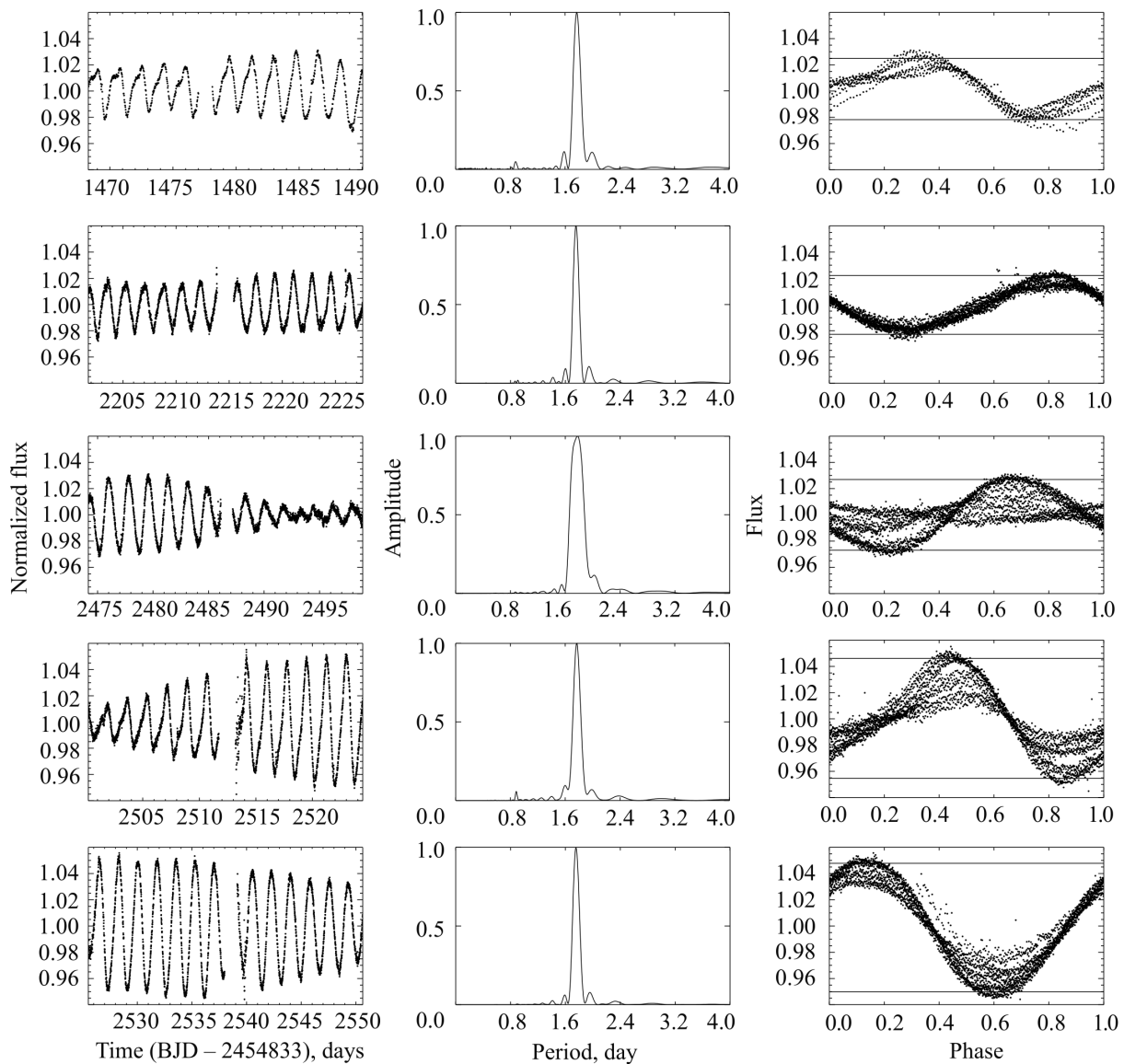


Рис. 1. Слева — кривые блеска для TIC 434398831, в центре — спектры мощности переменности блеска, справа — фазовые диаграммы переменности блеска (горизонтальные линии характеризуют величину амплитуды переменности блеска). Данные приведены для наблюдений в секторах 6, 33, 43, 44, 45.

Модель потери атмосферы с ограничением по энергии во многих случаях достаточно хорошо воспроизводит темпы убегания, полученные с помощью детального моделирования верхней атмосферы экзопланет (см., например, Kubyshkina et al., 2018a). Однако данное приближение может существенно недооценивать величину темпа потери массы. Способы преодоления этого недостатка обсуждаются, в частности, в той же работе Kubyshkina et al. (2018a).

Решить проблему позволяет подход, описанный там же: он предполагает использование сетки гидродинамических моделей верхних атмосфер и определение темпа потери массы методом интерполяции между ячейками сетки. В исследовании

Kubyshkina et al. (2018b) представлена обширная сетка гидродинамических моделей верхних атмосфер, рассчитанных для параметров планет в диапазоне 1–39 масс Земли, а также предложен метод интерполяции для получения модельных выходных параметров.

Гидродинамическая аппроксимация основана на сетке из почти 7000 одномерных гидродинамических моделей водородной верхней атмосферы для систем, удовлетворяющих следующим ограничениям: планета массой 1–39 масс Земли, радиусом 1–10 радиусов Земли, равновесной температурой 300–2000 К; родительская звезда массой 0.4–1.3 M_{\odot} , радиус орбиты 0.002–1.3 а.е. и светимость в диапазоне XUV 10^{26} – 5×10^{30} эрг s^{-1} .

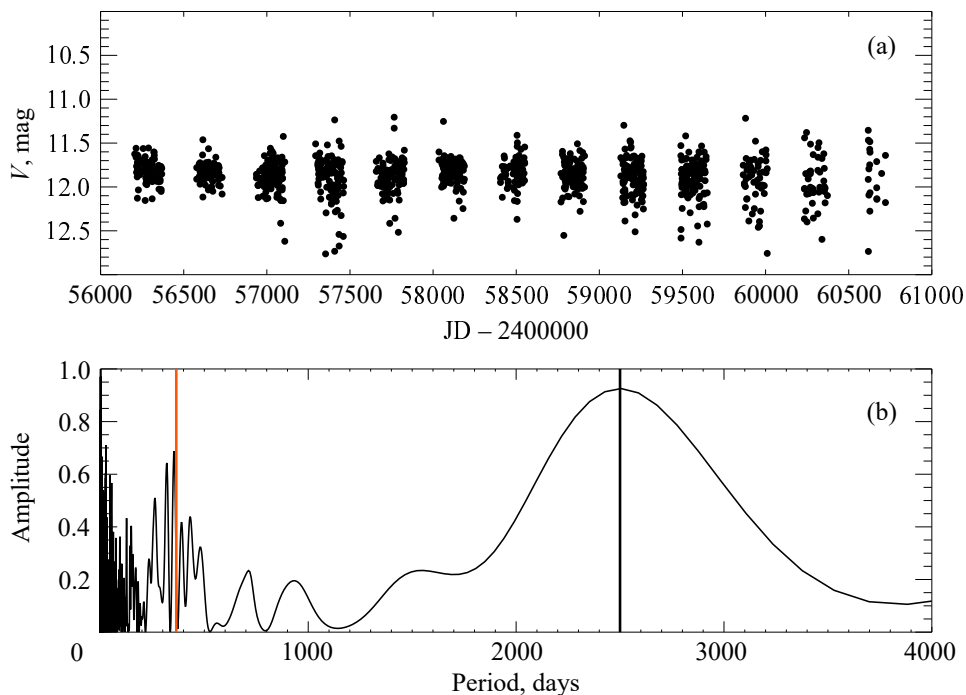


Рис. 2. Панель (а) — кривая блеска TIC 434398831 по данным обзора KWS. Панель (б) — спектр мощности для диапазона периодов 1–4000 сут. Обращает на себя внимание пик, указывающий на цикл с характерным временем в 2500 дней (6.8 лет) (вертикальная линия). На рисунке оранжевой линией отмечен пик, соответствующий годовичному периоду.

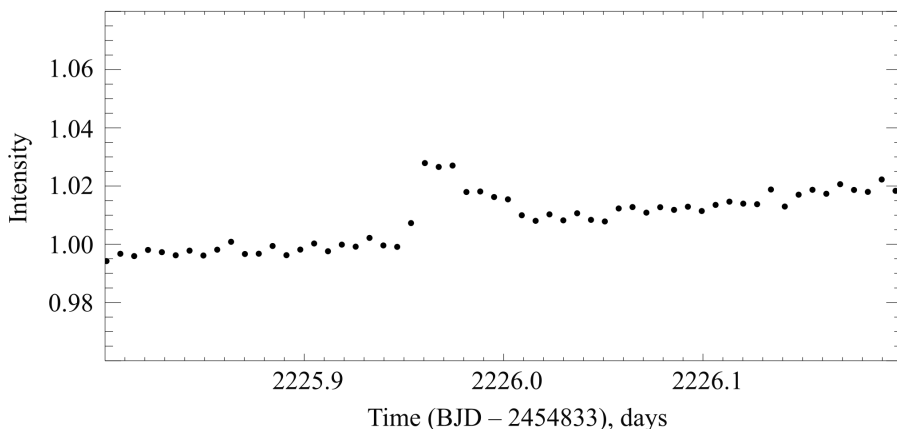


Рис. 3. Фрагмент кривой блеска TIC 434398831 со вспышкой.

Эти параметры полностью соответствует характеристикам изучаемых экзопланет.

Данная аппроксимация задается выражением

$$\dot{M} = e^{\beta} F_{\text{XUV}}^{\alpha_1} d^{\alpha_2} R^{\alpha_3} \Lambda^{\zeta + \theta \ln d}, \quad (1)$$

где $\beta, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \zeta, \theta$ — вычисленные в Kubyshkina et al. (2018b) коэффициенты, выбираемые в зависимости от режима истечения оболочки; d — радиус орбиты в астрономических единицах; R — радиус планеты в радиусах Земли; Λ — джинсовский параметр системы.

В таблице 2 представлены результаты расчетов \dot{M} по моделям потери атмосферы с ограничением по энергии (ОЭ) и с гидродинамической аппроксимации (ГА) для планет TIC 434398831 b и c при различных величинах $\log R'_{\text{HK}}$. Значения параметра \dot{M} для TIC 434398831 b лежат в интервале от 1.8×10^{10} до $1.7 \times 10^9 \text{ г с}^{-1}$ (модель с ОЭ) и от 5.1×10^9 до $4.8 \times 10^8 \text{ г с}^{-1}$ (модель с ГА), а для TIC 434398831 c — от 1.7×10^{10} до $1.6 \times 10^9 \text{ г с}^{-1}$

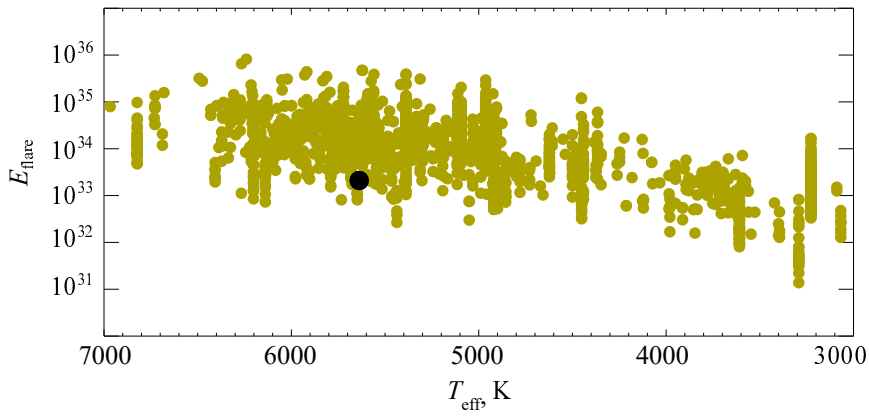


Рис. 4. Зависимость величин энергии вспышек от эффективных температур звезд. Светлые кружки — данные из работы Su et al. (2022) для звезд с планетными системами. Крупный темный кружок — данные для TIC 434398831.

Таблица 2. Результаты расчетов величин потери вещества атмосфер (\dot{M}) планетами TIC 434398831 b и c по моделям потери атмосферы с ограничением по энергии (ОЭ) и с гидродинамической аппроксимацией (ГА) в зависимости от вариаций параметра $\log R'_{HK}$ при различных оценках масс планет. В столбцах указаны: (1) — параметр $\log R'_{HK}$, (2) и (3) — радиус и оценка массы планеты, (4) и (5) — \dot{M} по модели ОЭ и по ГА соответственно, (6) — отношение $\dot{M}_{ОЭ}/\dot{M}_{ГА}$, полученных по моделям с ограничением по энергии и с гидродинамической аппроксимацией, (7) — параметр убегания Джинса Λ

$\log R'_{HK}$	R_{pl}/R_{\oplus}	M_{pl}/M_{\oplus}	$\dot{M}_{ОЭ}, \text{г с}^{-1}$	$\dot{M}_{ГА}, \text{г с}^{-1}$	Ratio	Λ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
planet b						
-4.5	3.51	12.6	1.8×10^{10}	5.1×10^9	3.6	33.1
-5.0	3.51	12.6	1.7×10^9	4.8×10^8	3.6	33.1
planet c						
-4.5	5.63	26.7	1.7×10^{10}	4.3×10^9	4.0	51.8
-5.0	5.63	26.7	1.6×10^9	4.0×10^8	4.0	51.8

(модель с ОЭ) и от 4.3×10^9 до $4.0 \times 10^8 \text{ г с}^{-1}$ (модель с ГА).

Данные таблицы 2 позволяют сопоставить полученные оценки \dot{M} в зависимости от вариаций параметра $\log R'_{HK}$ (и, соответственно, от величин потока XUV-фотонов). В таблице 2 также указаны величины отношений результатов расчетов \dot{M} по моделям с ОЭ и ГА (Ratio) и величины параметра Джинса Λ . Видно, что расчеты с моделью ГА для TIC 434398831 c дают более низкие оценки параметра \dot{M} по сравнению с TIC 434398831 b, но величины Ratio находятся в диапазоне от 3.6 до 4 и соответствуют характерным значениям, приведенным в Kubyshkina et al. (2018b) (см. оценки на рис. 3 в их статье).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение планетной системы TIC 434398831 является продолжением серии наших исследований планетных систем, в которых центральной звездой является молодой активный аналог Солнца. В первой части статьи представлены результаты анализа проявлений активности карлика солнечного типа TIC 434398831. По данным миссии TESS мы нашли период вращения звезды ($P \approx 1^{\text{d}}75$) и высказали предположение о возможной эволюции пятен (холодных областей) на ее поверхности. Для TIC 434398831 мы вычислили величину параметра дифференциального вращения звезды, которая составила $\Delta\Omega = 0.081 \text{ рад/сут}$.

Мы оценили площади холодных пятен на поверхности звезды: они многократно превосходят максимальную площадь пятен на Солнце и лежат в диапазоне 47 140–103 090 м.д.п.

Рассмотрены свойства вспышечной активности TIC 434398831. Для наиболее достоверного события измерена относительная продолжительность вспышки, которая составила 50 с. Излученная во вспышке энергия составила 2.1×10^{33} эрг.

По результатам многолетнего обзора Kamogata Wide-field Survey выполнен анализ проявлений активности TIC 434398831. Цикл долговременной активности звезды оценивается примерно в 2500 дней (6.8 лет). Его длительность короче, чем у Солнца, при этом TIC 434398831 вращается существенно быстрее Солнца.

Во второй части статьи мы представили результаты расчетов потерь вещества атмосферами (\dot{M}) планет TIC 434398831 b и c по двум моделям: с ограничением по энергии (ОЭ) и с гидродинамической аппроксимацией (ГА) (таблица 2). Данные таблицы 2 позволяют сопоставить полученные оценки \dot{M} в зависимости от вариаций параметра $\log R'_{HK}$ (и, соответственно, от величин потока XUV-фотонов). Расчеты по модели ГА дают более низкие оценки параметра \dot{M} , однако отношение значений \dot{M} , полученных по моделям с ОЭ и ГА, лежит в интервале 3.6–4 и соответствует характерным величинам, указанным в работе Kubyshkina et al. (2018b).

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе использованы данные обзора Kamogata Wide-field Survey (<https://kws.cetus-net.org>) базы данных Simbad (<https://simbad.cds.unistra.fr/>) и архива космических телескопов В.А. Микулски (<https://mast.stsci.edu/portal>).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках проекта «Исследование звезд с экзопланетами» по гранту Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашения № 075-15-2019-1875, 075-15-2022-1109).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. V. Erkaev, Y. N. Kulikov, H. Lammer, et al., *Astron. and Astrophys.* **472** (1), 329 (2007). DOI:10.1051/0004-6361/20066929
2. J. Gomes da Silva, N. C. Santos, V. Adibekyan, et al., *Astron. and Astrophys.* **646**, id. A77 (2021). DOI:10.1051/0004-6361/202039765
3. M. N. Günther, Z. Zhan, S. Seager, et al., *Astron. J.* **159** (2), id. 60 (2020). DOI:10.3847/1538-3881/ab5d3a
4. E. S. Kalinicheva, V. I. Shematovich, and I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **66** (12), 1318 (2022). DOI:10.1134/S1063772922110087
5. T. T. Koskinen, P. Lavvas, C. Huang, et al., *Astrophys. J.* **929** (1), id. 52 (2022). DOI:10.3847/1538-4357/ac4f45
6. D. Kubyshkina, L. Fossati, N. V. Erkaev, et al., *Astron. and Astrophys.* **619**, id. A151 (2018a). DOI:10.1051/0004-6361/201833737
7. D. Kubyshkina, L. Fossati, N. V. Erkaev, et al., *Astrophys. J.* **866** (2), article id. L18 (2018b). DOI:10.3847/2041-8213/aae586
8. J. F. Otegi, F. Bouchy, and R. Helled, *Astron. and Astrophys.* **634**, id. A43 (2020). DOI:10.1051/0004-6361/201936482
9. T. Reinhold and L. Gizon, *Astron. and Astrophys.* **583**, id. A65 (2015). DOI:10.1051/0004-6361/201526216
10. I. S. Savanov, *Astrophysics* **64** (2), 178 (2021). DOI:10.1007/s10511-021-09679-y
11. I. S. Savanov and V. I. Shematovich, *Astrophysical Bulletin* **76** (4), 450 (2021). DOI:10.1134/S199034132104012X
12. A. G. Sreejith, L. Fossati, A. Youngblood, et al., *Astron. and Astrophys.* **644**, id. A67 (2020). DOI:10.1051/0004-6361/202039167
13. T. Su, L.-y. Zhang, L. Long, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **261** (2), id. 26 (2022). DOI:10.3847/1538-4365/ac7151
14. Z.-L. Tu, M. Yang, H.-F. Wang, and F. Y. Wang, *Astrophys. J. Suppl.* **253** (2), id. 35 (2021). DOI:10.3847/1538-4365/abda3c
15. S. Vach, G. Zhou, C. X. Huang, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **540** (1), 806 (2025). DOI:10.1093/mnras/staf726

Atmospheric Loss Estimates in Two Planets of the Young Sun-Like Star TIC 434398831 from the Moving Group Theia 116

I. S. Savanov¹

¹Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

We present here the results of analysis of the activity of a young solar-type star (spectral class G4 V) TIC 434398831, belonging to the Theia 116 co-moving association, aged approximately 61 Myr. The atmospheric mass loss estimates of the TIC 434398831 b and c planets are also found. Using the data from the TESS mission, the rotation period of the star ($P \approx 1^d.75$) is determined, and a hypothesis is put forward regarding the possible evolution of spots (cold regions) on its surface. For TIC 434398831, the differential rotation parameter of the star is found to be $\Delta\Omega = 0.081$ rad/day. The areas of cold spots on the surface of the star are estimated to exceed manifold the maximum area of spots on the Sun, varying for different sectors in the range of 47 140–103 090 МН. In addition, the properties of TIC 434398831 flare activity are studied. For the most reliable event, the relative duration of the flare is measured (about 50 s), the emitted energy was 2.1×10^{33} erg. According to the Kamogata Wide-field Survey (KWS), the long-term activity cycle of the star is found to be 2500 days (6.8 years). The results of calculations of the atmospheric mass loss values for the planets TIC 434398831 b and c (\dot{M}) are presented using two atmospheric loss models: with an energy constraint (EC) and with a hydrodynamic approximation (HA) for two values of the $\log R'_{HK}$ parameter (the XUV photon-flux values). Calculations with the HA model yield lower estimates of the \dot{M} parameter. The ranges of the \dot{M} parameter variations for TIC 434398831 b lie in the interval from 1.8×10^{10} to 1.7×10^9 g s⁻¹ (the model with EC) and from 5.1×10^9 to 4.8×10^8 g s⁻¹ (the model with HA), and for TIC 434398831 c they are from 1.7×10^{10} to 1.6×10^9 g s⁻¹ (the model with EC) and from 4.3×10^9 to 4.0×10^8 g s⁻¹ (the model with HA).

Keywords: *methods: data analysis; stars: activity; stars: low-mass; exoplanets*