

ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ ЗВЕЗДЫ СОЛНЕЧНОГО ТИПА HD 111395

Е.С.ДМИТРИЕНКО¹, И.С.САВАНОВ²

Поступила 26 января 2025

Принята к печати 4 июня 2025

Представлены результаты анализа проявлений активности яркой звезды солнечного типа HD 111395 с целью дальнейшего сопоставления ее фотосферной, хромосферной и корональной активности. Установлена более высокая активность HD 111395 по сравнению с Солнцем. Величины периода вращения звезды P_{rot} лежат в диапазоне от 15.25 до 18.88 сут, что указывает на дифференциальный характер вращения ее поверхности. По данным секторов 23 и 49 из архива миссии TESS были оценены величины параметра запятненности звезды и площадей пятен на ее поверхности (7500 м.д.п. и 8900 м.д.п., для секторов 23 и 49, соответственно), которые превосходят средние солнечные характеристики, но сопоставимы с максимальным уровнем у Солнца. По данным архива Kamogata Wide-field Survey (KWS) были найдены величины P_{cycl} , которые составляют 930 сут (2.5 года), 1830 сут (5.0 лет) и 3800 сут (10.4 года), а по измерениям ASAS – 1800 сут (4.9 года). Полученные результаты сопоставлены с данными о циклах активности, которые были установлены по хромосферным проявлениям и наблюдаемым долгосрочным изменениям в потоке рентгеновского излучения.

Ключевые слова: звезды: пятна: фотометрия: переменность: циклы активности

1. *Введение.* Авторы [1] выполнили обширное исследование проявлений активности звезды G5V HD 111395 с целью установления их цикличности. Были проанализированы данные наземных телескопов, архива миссии TESS и рентгеновского телескопа eROSITA на борту SRG. Анализ данных указал на возможное наличие долгосрочных циклов.

В частности, при использовании доступных литературных данных по индексу S, в [1] была оценена вероятная продолжительность потенциальных долгосрочных циклов в 12-15 лет. По данным о хромосферной активности были определены величины периодов вращения P_{rot} звезды для каждого сезона наблюдений и найден средний период вращения, равный 16.76 ± 0.36 сут, усредненный по всем сезонам наблюдений и хромосферным показателям. Значительные различия средних величин периодов вращения по сезонам интерпретированы как признак дифференциального вращения поверхности.

Цель нашего исследования состоит в установлении проявлений активности HD 111395 по наземным и космическим фотометрическим наблюдениям и в сопоставлении их с результатами, полученными в [1] из анализа хромо-

сферных индексов.

Основные данные о HD 111395 содержатся в работе [1] и цитируемых в ней литературных источниках. Блеск звезды составляет 6.29 зв. вел. в фильтре V и 6.98 - в фильтре В. Величина периода осевого вращения звезды $P_{rot} = 16 - 17$ сут. HD 111395 является достаточно близко расположенным к нам G карликом, расстояние до него составляет 17.098 ± 0.009 пк.

2. Вращение HD 111395. Авторы [2] на основе фотометрических наблюдений с роботизированным телескопом определили период вращения P_{rot} звезды, который по их оценке составил 15.8 сут. В дальнейшем величина P_{rot} также была измерена на основе данных о переменности линий CaII H и K, а также IRT [3], которая оказалась равной 16.2 ± 0.1 сут; оба приведенных выше значения примерно согласуются друг с другом.

Наблюдения HD 111395 с телескопами миссии TESS в 2020 и 2022 гг. были проанализированы в [1]. Подобно нашему выводу в [4], авторы [1] заключили, что определение периода вращения на основе указанных данных TESS является проблематичным из-за соотношения между продолжительностью ожидаемого периода вращения и длины временного ряда, поскольку в каждом секторе можно наблюдать только около одного полного цикла вращения; кроме того, в самих измерениях могут содержаться инструментальные систематические отклонения. Таким образом, авторы [1] не сочли возможным привести оценки величины P_{rot} , но указали, что у HD 111395 несомненно присутствует переменность блеска, характерная для звезд с холодными пятнами на поверхности и амплитуда переменности блеска у этой звезды солнечного типа не менее, чем в 8 раз превосходит солнечную величину.

В данной статье рассмотрены наблюдения HD 111395 в секторах 23 и 49 из архива миссии TESS (рис.1). Обработка кривых блеска была аналогична

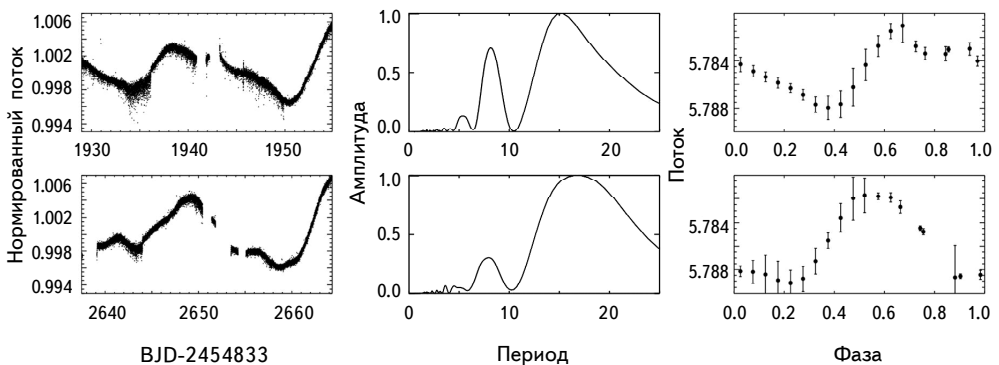


Рис.1. Слева - кривые блеска для HD 111395, в центре - спектры мощности переменности блеска, справа - фазовые диаграммы переменности блеска, усредненные по 20 фазам. Данные приведены для наблюдений в секторах 23 и 49.

проводимой ранее в случае измерений для других объектов из архивов космического телескопа Кеплер и миссии TESS (см., например, [5]).

На построенных спектрах мощности (средние диаграммы на рис.1) имеются характерные широкие пики, соответствующие величинам периода вращения P_{rot} звезды 15.3 и 16.5 сут для секторов 23 и 49. Эти значения согласуются с приведенными в [2,3], но отметим, что точность их определений невысока, они несимметричны и имеют большую ширину.

Таким образом, выполненный нами анализ и результаты предыдущих исследований, прежде всего, [1] (см. в частности табл.6), позволяют предположить, что имеющиеся различия в определениях величины P_{rot} связаны с тем, что в разные моменты наблюдений доминирующими являются пятна, расположенные на различных широтах на поверхности дифференциально вращающейся звезды.

Полученные в [1] величины P_{rot} по индексам хромосферной активности, средние за сезон наблюдений с 2014 по 2022гг., лежат в диапазоне 15.25 ± 0.17 - 18.88 ± 0.08 сут. Наименьшие величины P_{rot} достигались в 2020 и 2021гг., 15.75 ± 0.05 и 15.25 ± 0.17 , соответственно. Имеется их примерное согласие с величинами периода вращения P_{rot} звезды 15.3 и 16.5 сут для секторов 23 и 49 данных архива TESS, выполненных, как указывалось, в 2020 и 2022гг.

Амплитуда переменности блеска составляет 0.84 и 1.0% от уровня среднего блеска звезды (для секторов 23 и 49, соответственно). По стандартной методике нами были оценены величины параметра запятненности звезды, которые достигают 1.0 и 1.2% от площади поверхности звезды. Принимая оценку радиуса звезды $R = 0.94$ радиусов Солнца (архив TESS), можно получить величину площади поверхности A звезды в абсолютной мере (в миллионных долях видимой полусферы Солнца, м.д.п.). На Солнце средние по размерам пятна имеют площадь 10-200 м.д.п. (детали см. в [6]). Площадь пятен на поверхности HD 111395 составляет величину порядка 7500 м.д.п. и 8900 м.д.п. (для секторов 23 и 49, соответственно). По этим оценкам запятненность звезды становится сопоставимой с максимальной запятненностью Солнца (см. подробнее в [7]). Так, например, общая площадь солнечных пятен для Гринвической группы пятен 14886 по наблюдениям 8 апреля 1947г. составила 6132 м.д.п. [8].

3. *Циклы активности.* Наше исследование циклов активности звезды было начато с данных многолетнего обзора Kamogata Wide-field Survey (KWS) (<http://kws.cetus-net.org>). В обзоре представлены наблюдения звезды в фильтрах V и Ic, они охватывают длительный интервал наблюдений с декабря 2010г. по май 2024 года, общей продолжительностью 4887 сут, 13.4 лет (HJD 2455557.3 - 2460445.0). Всего было рассмотрено 1363 оценки блеска звезды в фильтре V. Представленные на рис.2 (вверху) данные свидетельствуют о

присутствии возможной цикличности его изменений. На основе построенного спектра мощности для блеска HD 111395 можно предположить существование возможных циклов активности около 930 сут (2.5 года), 1830 сут (5.0 лет) и 3800 сут (10.4 года) (вероятно, существует кратность измеренных величин) (рис.2, средняя диаграмма). Светлая линия на графике соответствует 365 сут - сезонной переменности, присутствующей в данных. На нижней диаграмме рис.2 приведен спектр мощности для интервала 1 - 100 сут (ось абсцисс дана в логарифмической шкале). Вертикальной светлой линией отмечено положение, соответствующее периоду вращения звезды P (16.76 ± 0.36 сут [1]). В рассматриваемом интервале периодов (1-100 сут) не имеется деталей, которые могли бы указывать на период вращения звезды, единственный пик соответствует суточной периодичности наблюдений.

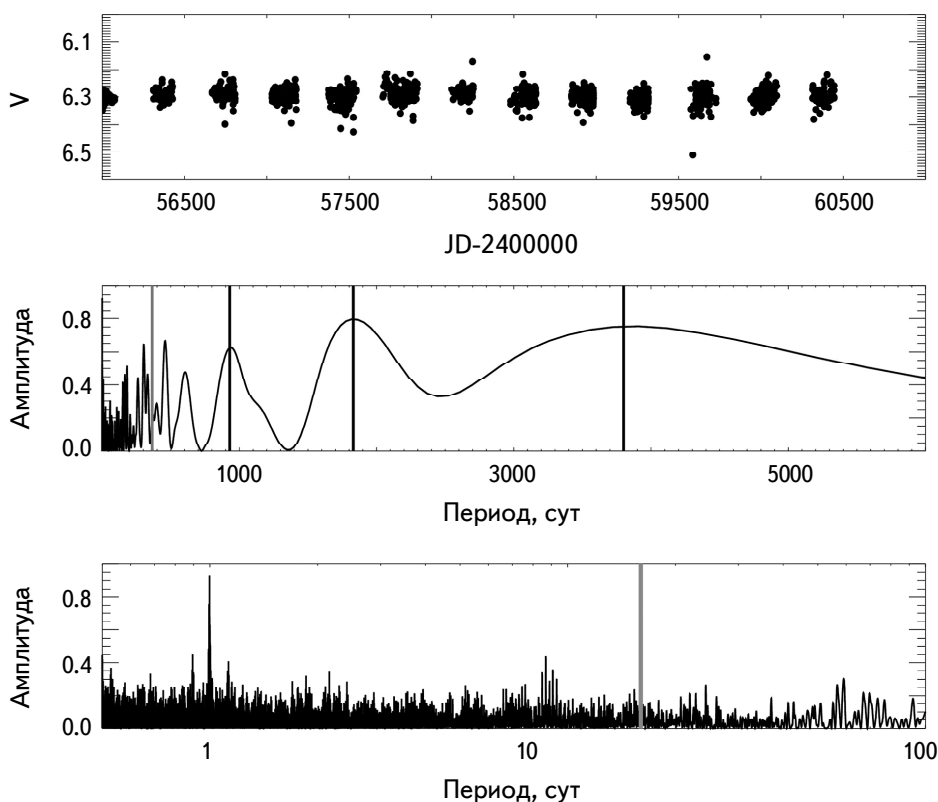


Рис.2. Вверху - блеск HD 111395 в фильтре V по данным обзора Kamogata Wide-field Survey (KWS); средняя панель - спектр мощности для интервала 1 - 6000 сут. Вертикальными линиями отмечены циклы продолжительностью 365 сут (1 год) (светлая) и 930 сут (2.5 года), 1830 сут (5.0 лет) и 3800 сут (10.4 года) (темные) (см. текст). Внизу - спектр мощности для интервала 1 - 100 сут (ось абсцисс дана в логарифмической шкале). Вертикальной светлой линией отмечено положение, соответствующее периоду вращения звезды P (16.76 ± 0.36 сут (см. текст)).

Независимая оценка возможных величин P_{cycl} для HD 111395 была проведена по данным из архива наблюдений обзора All Sky Automated Survey (ASAS). Всего было рассмотрено 290 оценок блеска звезды в фильтре V. Однако наш анализ показал, что часть наблюдений, выполненных в даты ранее JD 2453000, обладает значительными погрешностями. Они были исключены и в дальнейшем рассматривались 222 измерения блеска в фильтре V.

Представленные на рис.3 (вверху) данные свидетельствуют о возможном присутствии цикличности в изменении блеска звезды с характерной

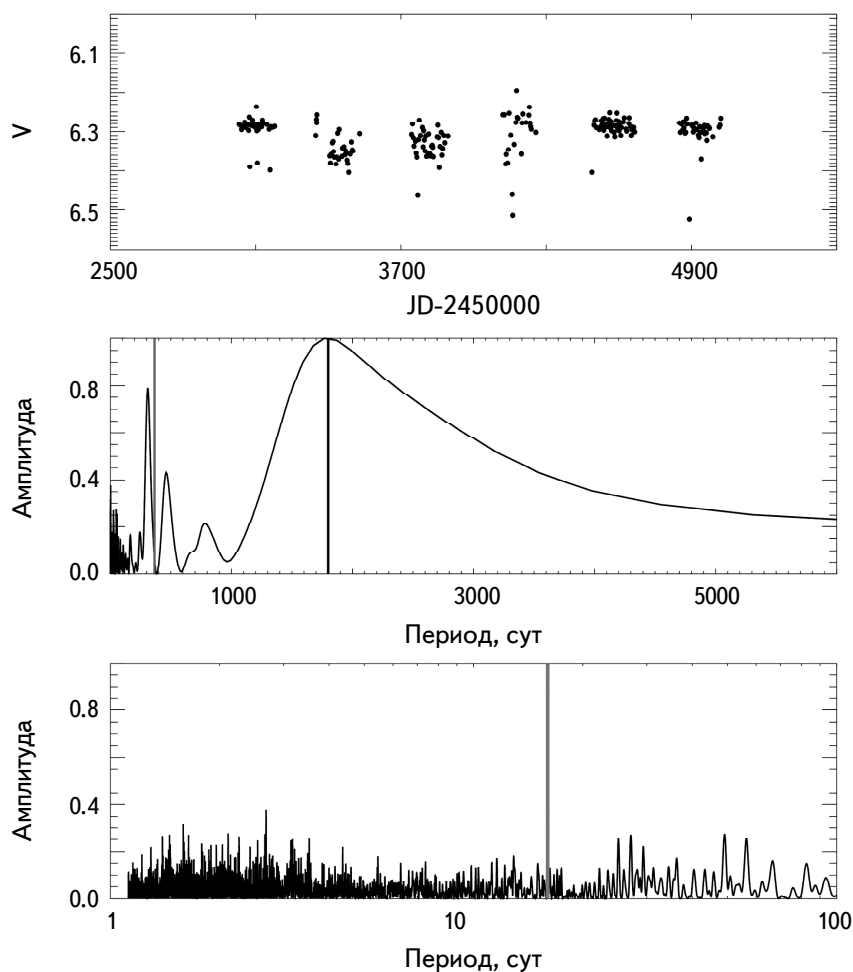


Рис.3. Вверху - блеск HD 111395 в фильтре V по данным обзора ASAS-3; средняя диаграмма - спектр мощности для интервала 1 - 6000 сут. Вертикальными линиями отмечены циклы продолжительностью 365 сут (1 год) (светлая) и 1800 сут (4.9 года) (темная). Внизу - спектр мощности для интервала 1 - 100 сут (ось абсцисс дана в логарифмической шкале). Вертикальной светлой линией отмечено положение, соответствующее периоду вращения звезды P_{rot} (16.76 ± 0.36 сут, см. текст).

длительностью около 1800 сут (4.9 года). На спектре мощности для интервала 1 - 100 сут (рис.3, внизу) нет деталей, которые могли бы указывать на период вращения звезды.

Таким образом, можно заключить, что результаты анализа переменности блеска звезды и измерений набора индексов, характеризующих ее хромосферную активность (см. в [1]), указывают на наличие долгопериодической переменности объекта. По данным архива Kamogata Wide-field Survey (KWS) найденные нами величины P_{cycl} составляют 930 сут (2.5 года), 1830 сут (5.0 лет) и 3800 сут (10.4 года), а по измерениям ASAS - 1800 сут (4.9 года). Авторы [1] пришли к выводу о существовании для рассматриваемых ими данных о хромосферных индексах HD 111395 короткого цикла активности, равного 950 сут (см рис.3 в [1]). Это хорошо согласуется с величиной цикла в 930 сут, установленной нами по фотометрической переменности звезды. Отметим, что периодограммы, построенные в [1], также содержат информацию о возможных циклах большей длительности (широкий асимметричный пик около 1500 - 1600 сут). Не исключена вероятность того, что амплитуда этого пика стала заниженной после снятия тренда в данных. Использование дополнительных архивных измерений хромосферной активности HD 111395 позволило авторам [1] найти циклы активности порядка 12 или 15 лет. Учитывая неопределенность (ширину пика) найденной нами величины $P_{cycl} = 3800$ сут (10.4 года), можно говорить о ее примерном согласии с результатом в 12 лет из [1].

Кроме того, авторы [1] постарались выяснить, можно ли также определить цикл активности, рассматривая поток рентгеновского излучения в качестве индикатора корональной активности. Рентгеновский телескоп SRG (Спектр-Рентген-Гамма)/eROSITA отсканировал положение HD 111395 во время каждого из четырех обзоров всего неба, проведенных к настоящему времени. В итоге имеются четыре измерения потока рентгеновского излучения от объекта, выполненные с интервалом примерно в 180 дней. Однако эти данные не являются достаточными для того, чтобы определить цикл активности HD 111395 в рентгеновских лучах, визуальное сравнение данных о хромосферной активности с потоками рентгеновского излучения (рис.6 в [1]) позволяет предположить, что наблюдаемые долгосрочные изменения в потоке рентгеновского излучения согласуются с переменностью хромосферной активности звезды.

В результате можно заключить, что имеется совпадение в проявлениях активности, установленной по фотометрической переменности звезды, из анализа данных о хромосферной активности и, возможно, измерений потока рентгеновского излучения.

4. *Заключение.* В статье представлены результаты анализа проявлений

активности яркой звезды солнечного типа HD 111395 с целью дальнейшего сопоставления ее фотосферной, хромосферной и корональной активности.

Исследования переменности блеска звезды указывают на то, что HD 111395 гораздо более активна, чем Солнце. По имеющимся оценкам периода вращения звезды величина P_{rot} лежит в диапазоне от 15.25 до 18.88 сут. Имеющиеся различия в определениях величины P_{rot} связаны с тем, что в разные моменты наблюдений доминирующими являются пятна, расположенные на различных широтах на поверхности дифференциально вращающейся звезды. По данным секторов 23 и 49 из архива миссии TESS нами были оценены величины параметра запятненности звезды (1.0 и 1.2% от площади ее поверхности), а также площадей пятен на поверхности HD 111395 (7500 м.д.п. и 8900 м.д.п., для секторов 23 и 49, соответственно). По этим оценкам запятненность звезды превосходит солнечную, но сопоставима с ее максимальным уровнем.

Для установления долгопериодической переменности объекта выполнено исследование литературных данных о блеске звезды, которое дополнило изучение набора индексов, характеризующих хромосферную активность HD 111395 (см. в [1]). По данным архива Kamogata Wide-field Survey (KWS) были найдены величины P_{cycl} , которые составляют 930 сут (2.5 года), 1830 сут (5.0 лет) и 3800 сут (10.4 года), а по измерениям ASAS - 1800 сут (4.9 года). Авторы [1] пришли к выводу о существовании для рассматриваемых ими данных о хромосферных индексах звезды короткого цикла активности, равного 950 сут, что сопоставимо с величиной цикла в 930 сут, установленного нами по фотометрической переменности звезды. Учитывая неопределенность (ширину пика) найденной нами величины $P_{cycl} = 3800$ сут (10.4 года), можно говорить о ее примерном согласии с результатом в 12 лет из [1].

Принимая во внимание, что наблюдаемые долгосрочные изменения в потоке рентгеновского излучения согласуются с переменностью хромосферной активности HD 111395, можно сделать вывод, что имеется совпадение в проявлениях активности, установленной по фотометрической переменности звезды, из анализа данных о хромосферной активности и измерений потока рентгеновского излучения.

¹ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга,
Москва, Россия, e-mail: issesd@rambler.ru

² Учреждение Российской академии наук Институт астрономии РАН,
Москва, Россия, e-mail: igs231@mail.ru

ACTIVITY CYCLES OF SOLAR TYPE STAR HD 111395

E.S.DMITRIENKO¹, I.S.SAVANOV²

The results of analysis of the activity of a bright solar-type star HD 111395 are presented in order to compare its photospheric, chromospheric, and coronal activity. The star HD 111395 has been found to be more active than the Sun. The values of the stars's rotation period P_{rot} are in the range from 15.25 to 18.88 days indicating the differential nature of the rotation of stellar surface. Based on data from sectors 23 and 49 from the TESS mission archive the values of the star's spotting parameter and the areas of spots on the surface of HD 111395 (7500 MSH and 8900 MSH for sectors 23 and 49, respectively) were estimated, which exceed the average solar characteristics, but are comparable to the maximum solar level. P_{cycl} values of 930 days (2.5 years), 1830 days (5.0 years) and 3800 days (10.4 years) were found on the base of the Kamogata Wide-field Survey (KWS) archive and 1800 days (4.9 years) - according to ASAS measurements. Obtained results are compared with data on activity cycles determined by chromospheric manifestations and observed long-term changes in the X-ray flux.

Keywords: *stars: spots: photometry: variability: activity cycles*

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.Mittag, J.H.M.M.Schmitt, B.Fuhrmeister et al.*, Astron. Astrophys., **682**, A86, 2024.
2. *K.G.Strassmeier, E.Serkowitsch, T.Granzer*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **140**, 29, 1999.
3. *M.Mittag, A.Hempelmann, J.H.M.M.Schmitt et al.*, Astron. Astrophys., **607**, A87, 2017.
4. *I.S.Savanov*, Astrophysics, **64**, 178, 2021.
5. *I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, Astron. Lett., **46**, 177, 2020.
6. *Y.A.Nagovitsyn, A.A.Pevtsov*, Astrophys. J., **906**, 27, 2021.
7. *Y.A.Nagovitsyn, A.A.Osipova*, Astron. Lett., **49**, 421, 2023.
8. *H.W.Newton*, Vistas in Astron., **1**, 666, 1955.