

## ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ ЗВЕЗДЫ FK Com

© 2023 г. И. С. Саванов<sup>1,\*</sup>, С. А. Нароенков<sup>1</sup>, М. А. Наливкин<sup>1</sup>, Е. С. Дмитриенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

\*E-mail: isavanov@inasan.rssi.ru

Поступила в редакцию 27.06.2023 г.

После доработки 01.08.2023 г.

Принята к публикации 28.08.2023 г.

Представлены результаты фотометрических наблюдений хромосферно активной звезды FK Com (прототипа одноименной группы), выполненные в течение последних 5 лет (2018–2023 гг.) на обсерваториях ИНАСАН в Звенигороде, в Симеизской обсерватории ИНАСАН и на Российско-Кубинской обсерватории в Гаване (Республика Куба). В общей сложности за период с 2018 по 2023 г. мы получили 9060 оценок блеска звезды в фильтре  $V$ . Наши измерения, а также данные из литературных источников и из архива Kamogata Wide-field Survey (KWS) были объединены в единый массив, включающий 17 653 измерений в интервале длительностью порядка 57 лет. На основе построенного по этим данным спектра мощности установлены возможные циклы активности  $P_{\text{cycl}}$ , которые составляют по нашей оценке 2.4, 5.63, 8, 13.6, 30 и 49 лет. Доминирующим является  $P_{\text{cycl}}$  продолжительностью в 5.63 года. Показано, что этот найденный нами по обширным данным доминирующий цикл с величиной порядка 5.63 лет (5.4–5.8 лет по другим литературным источникам) прослеживается и в результатах анализа предыдущих исследований. Результаты о циклах активности FK Com сопоставлены с данными о долговременной переменности еще двух звезд рассматриваемого типа – HD 199178 (V1794 Cyg) и ET Dra. На основе данных о  $P_{\text{cycl}}$  других хромосферно активных звезд (по литературным источникам и нашим измерениям) проанализирована диаграмма вида  $\log(1/P_{\text{tot}}) - \log(P_{\text{cycl}}/P_{\text{tot}})$ . Сделано заключение о сопоставимости выполненных нами определений величин циклов активности звезд типа FK Com с данными для звезд типа RS CVn.

*Ключевые слова:* звезды, активность, пятна, циклы активности

DOI: 10.31857/S0004629923120083, EDN: DFOFIR

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Хромосферно активная звезда FK Com является прототипом звезд типа FK Com – малочисленной группы одиночных быстро вращающихся гигантов позднего спектрального класса G–K. С уверенностью к звездам типа FK Com отнесены три звезды: FK Com, V1794 Cyg (HD 199178) и ET Dra (BD+70959). Другие звезды, ранее причисленные к данной группе, как оказалось, обладают двойственностью и были исключены из нее. Несмотря на большой интерес к уточнению эволюционного статуса звезд типа FK Com (см., напр., обсуждение в [1]) и установлению их возможной связи с переменными типа W UMa, за последние десятилетия достоверно не были выявлены другие звезды этого типа. В серии наших работ (см. более подробно в [2]) по фотометрическим наблюдениям телескопа Кеплер были выявлены кандидаты в объекты типа FK Com, которые

требуют уточнения статуса двойственности и принадлежности к звездам типа FK Com.

Одинокная звезда FK Com спектрального класса G5 III–G4 III обладает сильной хромосферной активностью [3, 4]. Величина проекции скорости вращения на луч зрения,  $V \sin i = 159\text{--}162$  км/с, является уникальной для одиночных гигантов. FK Com обладает заметным дифференциальным вращением, величина параметра дифференциального вращения установлена на уровне  $\Delta\Omega = 0.08$  рад/сут. Фотосфера звезды покрыта обширными холодными пятнами (областями) площадью до 30%. Большая часть исследований FK Com основана на фотометрических наблюдениях. По ним была выявлена переменность положения долготы активной области (примерно на  $180^\circ$ ), в дальнейшем получившая название “flip-flop” [5]. В ряде работ были найдены циклы активности FK Com продолжительностью от нескольких лет до десятилетия, но одно-

значной величины цикла активности установлено не было [6–8]. Спектр звезды обладает эмиссионными линиями H и K Ca II, водородными линиями бальмеровской серии, которые показывают значительную переменность. В седьмой статье из серии своих публикаций, авторы [9] рассмотрели спектральные наблюдения FK Com и проанализировали данные для линии H $\alpha$ , охватывающие более десяти лет. Результаты изучения хромосферной активности, полученные по данным H $\alpha$ , были сопоставлены с доплеровскими картами фотосферных пятен. В нашей работе [10] представлены новые результаты спектральных наблюдений звезды FK Com, проведенных в июне 2021 г. и июне 2022 г. в Симеизской обсерватории и в обсерватории Синлонг (Xinglong, NAOC, Китай) в 2022 г. По данным спектрополяриметрии установлено наличие магнитного поля, которое изменялось в период наблюдений от  $-100$  Гс до почти  $300$  Гс [11, 12].

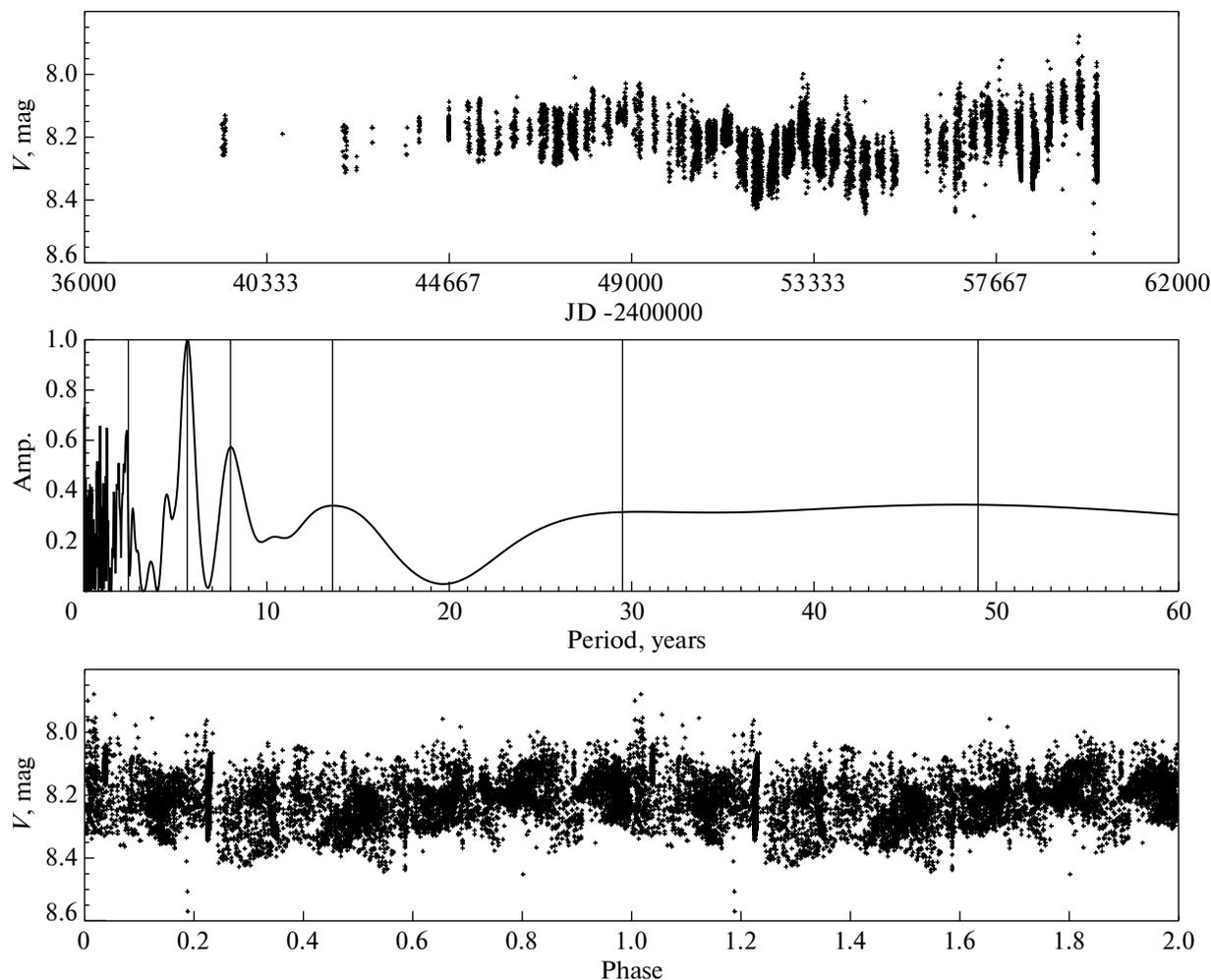
## 2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Постоянный мониторинг звезды FK Com начался в Звенигородской обсерватории ИНАСАН в 2015 г. В настоящей работе мы представляем данные за последние 5 лет (2018–2023 гг.), полученные на обсерваториях ИНАСАН в Крыму, Звенигороде и на Российско-Кубинской обсерватории в Гаване (Республика Куба). Новые наблюдения были получены на 2 роботизированных телескопах Officina Stellare RH-200 и Celestron RASA 11". На телескопе Officina Stellare RH-200 для получения изображений исследуемых объектов была использована ПЗС камера FLI Proline 16803 с колесом фильтров *UBVRI*. В такой конфигурации масштаб изображения составил  $3.1''/\text{пиксел}$ . На телескопе Celestron RASA 11" использовалась КМОП – камера ZWOASI 6200 Pro в комплекте с фильтром *V*. Для данного телескопа масштаб изображения был равен  $1.2''/\text{пиксел}$ . Так как два телескопа являются широкоугольными, анализируемое поле зрения получаемого кадра составляло  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  и  $3.2^\circ \times 2.2^\circ$ , соответственно. В такой комбинации научных инструментов один кадр включает в себя значительное количество объектов, что дает большой выбор звезд сравнения для дифференциальной фотометрии. Время экспозиции (от 20 до 60 с) подбиралось для каждого фильтра и ночи индивидуально.

В 2018 г. в Звенигородской обсерватории ИНАСАН на телескопе Officina Stellare RH-200 мониторинг FK Com проводился с 3 по 20 мая (HJD 245 8242.36–245 8259.42). Всего было получено 1557 измерений блеска звезды в фильтре *V*. Точность единичного измерения в фильтре *V* составила не более  $0.01^m$ . В 2019 г. в Звенигородской

обсерватории ИНАСАН на телескопе Officina Stellare RH-200 мониторинг FK Com проводился с 2 февраля по 17 мая (HJD 245 8533.34–HJD 245 8621.5). В течение этого периода было получено по 1270 оценок блеска в фотометрических фильтрах *U*, *B*, *V*. Точность единичного измерения составляла примерно  $0.008\text{--}0.009^m$ . В 2020 г. в Звенигородской обсерватории ИНАСАН на телескопе Officina Stellare RH-200 мониторинг FK Com проводился с 15 марта по 11 апреля (HJD 245 8924.2–HJD 245 8948.57). Всего было получено по 1690 оценок блеска в фотометрических фильтрах *U*, *B*, *V*. Точность единичного измерения составляла примерно  $0.012^m$ . В 2021 г. эпизодические наблюдения FK Com проводились на телескопе Цейсс-1000 Симеизской обсерватории ИНАСАН, наблюдения были выполнены в феврале, апреле и октябре 2021 г. В 2022 г. телескоп Officina Stellare RH-200 с ПЗС-камерой FLI Proline 16803 был установлен в совместной Российско-Кубинской обсерватории (РКО) в Гаване (Республика Куба), а в Звенигородской обсерватории был установлен телескоп Celestron RASA 11" с КМОП-камерой ZWO ASI 6200 MMPro с фильтром *V*. Наблюдения FK Com были продолжены на двух обсерваториях. На РКО наблюдения FK Com были проведены с 29 марта по 21 апреля 2022 г. (HJD 245 9668.6–245 9690.87). Всего было получено 1500 оценок блеска в фотометрическом фильтре *V*. Точность единичного измерения составляла примерно  $0.07^m$ . В 2023 г. FK Com наблюдалась в Звенигородской обсерватории ИНАСАН на телескопе Celestron RASA 11". Мониторинг проводился с 20 апреля по 01 мая (HJD 245 8924.2–HJD 245 8948.57). Всего было получено 2200 измерений блеска в фотометрическом фильтре *V*. Точность единичного измерения составляла примерно  $0.02^m$ .

Полученные фотометрические наблюдения подверглись процессу стандартной обработки, который включал в себя следующие процедуры: вычитание кадров подложки (bias), вычитание темнового тока, учет плоского поля. Обработка наблюдений была проведена с использованием программы MaximDL. Для дифференциальной фотометрии звезды FK Com в качестве звезды сравнения использовалась звезда HD 117567 (F2,  $V = 7.62^m$ , каталог Simbad), находящаяся поблизости от исследуемой звезды. В общей сложности за интервал наблюдений с 2018 по 2023 г. нами было получено 9060 оценок блеска звезды в фильтре *V*.



**Рис. 1.** Вверху — блеск FK Com в фильтре  $V$  по данным объединенного массива наблюдений; средняя панель — спектр мощности для интервала 1–60 лет, вертикальные линии соответствуют циклам активности 2.4, 5.63, 8, 13.6, 30 и 49 лет; нижняя панель — фазовая диаграмма, построенная для цикла активности в 5.63 года.

### 3. ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ

Помимо наших наблюдений и ранее уже рассмотренных данных литературных источников мы воспользовались результатами многолетнего обзора Kamogata Wide-field Survey (KWS)<sup>1</sup>. В обзоре представлены наблюдения звезды в фильтрах  $B$ ,  $V$  и  $Ic$ , но мы ограничились только анализом данных для фильтра  $V$ , обладающих длительным интервалом наблюдений в 4516<sup>d</sup> (12.4 лет) (HJD 245 5557.366–246 0074.055). Всего нами была рассмотрена 1181 оценка блеска звезды в фильтре  $V$ . Эти данные несомненно свидетельствуют о присутствии цикличности в изменении блеска объекта. Учитывая их хорошее согласие как с измерениями других авторов, так и выполненными нами, мы посчитали возможным объединить все

<sup>1</sup> <http://kws.cetus-net.org>

имеющиеся измерения блеска звезды в единый массив (рис. 1). Полученный таким образом набор данных включает 17 653 измерений в интервале HJD 243 9253.438–246 0074.056 длительностью порядка 20 821<sup>d</sup> (57 лет).

Данные единого массива включают измерения, выполненные фотоэлектрическим методом, и наблюдения, полученные с ПЗС-приемниками (см. также описание отдельных частей массива и результаты анализа этих данных в [12–14]). Периодограммный анализ выполнялся с помощью стандартной программы IDL LNP-TEST, основанной на методике Ломба–Скаргла для неравноотстоящих данных.

На основе построенного спектра мощности для данных о блеске FK Com можно предположить существование возможных циклов активности  $P_{\text{cycl}}$  более 1 года (рис. 1, средняя диаграмма). Величины циклов долговременной активности

составляют 2.4, 5.63, 8, 13.6, 30 и 49 лет. Доминирующим является  $P_{\text{cycl}}$  продолжительностью в 5.63 года, на нижней панели рис. 1 приведена построенная для него фазовая диаграмма. Долговременные циклы активности FK Com очевидно присутствуют, однако их конкретная величина (30 и 49 лет) несомненно требует уточнения. Пока значения этих циклов сопоставимы с длительностью имеющихся у нас результатов наблюдений.

Изучение долговременной переменности звезды FK Com и установление циклов ее активности являлись предметом многочисленных исследований (см. [4, 6, 8]). Отметим, что различающиеся по временным интервалам данные для разных параметров не позволяют получить однозначные оценки продолжительности того или иного цикла. Например, по данным [8] для измененной положений активных областей были установлены квазипериодические циклы в  $5.8 \pm 0.4$  и  $5.2 \pm 0.4$  года, а периодограммный анализ изменений площади пятен на поверхности FK Com указал на величину  $6.35 \pm 0.41$  года. Авторы [15] установили, что для интервала наблюдений 1990–2005 гг. в фотометрическом поведении звезды доминировал цикл с продолжительностью около 5.8 лет. Согласно [16], продолжительность цикла фотометрической активности составляет 4.5–6.1 года.

В работе [12] мы провели независимое установление свойств переменности FK Com и вычислили амплитудные спектры для ряда параметров, характеризующих ее переменность. Нами были рассмотрены временные ряды для блеска звезды в фильтрах  $U$ ,  $B$  и  $V$ , амплитуды переменности блеска, суммарной площади пятен на поверхности звезды (запятненности)  $S_p$  и среднего значения блеска для каждого рассматриваемого нами сета. Графики всех спектров мощности имеют широкие пики для нескольких наборов характерных времен переменности. Было показано, что переменность с характерными временами около 400, 900, 1600, 2100 и  $2800^d$  прослеживается для данных о запятненности звезды, но отсутствует в изменениях амплитуды переменности блеска. Очевидно, что наиболее достоверными являлись результаты анализа спектров мощности для фильтра  $V$  (для той эпохи он был построен по 7044 наблюдательным точкам, в то время, как данные в  $U$  и  $B$  фильтрах получены по 2650 и 3773 измерениям, соответственно). Наиболее ярко выраженной оказалась переменность 2100 и  $2650^d$  (5.7 и 7.3 года, соответственно). Отметим, что период в 5.4 года ранее был установлен в [5] для средних по сезонам наблюдений значений блеска звезды.

Резюмируя, можно сделать выводы о том, что по мере накопления новых данных и удлинения

интервала фотометрических наблюдений происходит уточнение значений о долговременных циклах активности, при этом найденный нами по существенно более многочисленным данным доминирующий цикл с величиной порядка 5.63 лет (5.4–5.8 лет) прослеживается и в результатах анализа предыдущих исследований.

Представляется возможным сопоставить полученные нами результаты о циклах активности FK Com и двух других звезд, входящих в группу рассматриваемого типа (обобщенные данные о трех объектах представлены в табл. 1). Саванов и др. (в печати, 2023) собрали и проанализировали уникальный ряд фотометрических данных за период более ста лет для быстровращающегося одиночного G5 III-IV гиганта HD 199178 (V1794 Cyg), принадлежащего к группе звезд типа FK Com. Выполненный нами анализ долговременной периодичности активности этой звезды основан на всех доступных по литературным источникам измерениях ее блеска в фильтре  $B$ . Для оценки блеска HD 199178 в эпоху, предшествующую фотоэлектрическим и ПЗС-наблюдениям, были проведены измерения фотопластинок из архива ГАИШ, снятых в Краснопресненской обсерватории МГУ в Москве (4 пластинки, снятые с 1898 по 1903 г., и 41 пластинка за период с 1935 по 1958 г.). В итоге всего было получено 2142 оценки блеска звезды в фильтре  $B$ . Они обладают уникальной продолжительностью в 118.3 года и охватывают интервал времени с 1898 г. по июль 2016 г. Найденны свидетельства о существовании долговременных циклов фотометрической переменности с величинами порядка 25–60 лет. Сделано предположение о существовании возможных циклов активности в 2000, 3165, 5050, 9000 и  $21600^d$  (соответственно 5.5, 8.7, 16.6, 24.7 и 59.2 лет). Полученные результаты сопоставлены с другими оценками циклов активности у HD 199178. Наиболее достоверным следует признать существование цикла величиной 8.7–9 лет. В статье [18] мы представили новые результаты исследования третьей звезды типа FK Com – ET Dra, основанные на наблюдениях, проведенных в Звенигородской обсерватории ИНАСАН, с помощью телескопа FRAM ORM обсерватории Ла Пальма (Испания) и широкополосной оптической системы мониторинга Mini MegaTORTORA CAO РАН. Мы изучили изменения формы кривой блеска, вызванные вращательной модуляцией звезды с пятнами на поверхности, долговременную переменность блеска звезды, а также выполнили независимое определение периода вращения по всем доступным нам сетам наблюдений. Наблюдения, полученные в CAO РАН продолжительностью более 2200 сут, дали возможность изучить долговременную переменность блеска ET Dra. Найденны указания на существова-

ние циклов продолжительностью  $580^d$  и  $810^d$  (1.55 и 2.23 года соответственно).

#### 4. ДИАГРАММА $\log(1/P_{\text{rot}}) - \log(P_{\text{cycl}}/P_{\text{rot}})$

По мере увеличения продолжительности наблюдений активных звезд появляется возможность установления все более и более длительных циклов с величинами порядка 20–40 лет. Традиционным является анализ диаграмм вида  $\log(1/P_{\text{rot}}) - \log(P_{\text{cycl}}/P_{\text{rot}})$  (см., напр., [16]). Коэффициент линейной зависимости между этими величинами  $m$  пропорционален числу динамо DN (см. подробнее, напр., в [19]). Согласно результатам предыдущих исследований наклон зависимости, представленной на диаграммах такого вида, составляет величину в диапазоне 0.74–0.84 в соответствии с тем, как выбирались объекты, данные для которых использовались при построении зависимости (возраст, уровень активности и др.). В одном из наиболее современных, однородном и обширном исследовании [19] авторы по выборке в 67 звезд умеренной активности нашли величину параметра  $m = 1.02 \pm 0.06$  ( $m = 1$  соответствует отсутствию корреляции). Этот результат хорошо согласуется с определениями  $m$ , выполненными в работах [20, 21]. Более детальное обсуждение можно найти в [19]. Рисунок 2 (внизу) построен на основе данных [19], тонкие сплошные линии проведены для данных, охарактеризованных этими авторами как главные и вторичные циклы.

Светлыми кружками на рис. 2 представлены наши данные (слева направо) для ET Dra, HD 199178 и FK Com. Крупными символами выделены доминирующие циклы. Для сравнения циклы активности Солнца представлены на рис. 2 квадратами (снизу вверх) – циклы Ригера, Швабе, Хейла, Глейсберга, де Врис и Холлштатта [22]. Вероятно, солнечные данные для циклов Швабе и Хейла укладываются на предложенные нами зависимости. К сожалению, продолжительность, однородность, качество и скважность выполненных наблюдений пока не позволяют выявить по имеющимся данным аналоги циклов Ригера, Глейсберга и более длительных циклов для исследуемых нами трех звезд.

Следует отметить, что помимо возможной связи с переменными типа W UMa, по своим характеристикам объекты типа FK Com во многом сопоставимы со звездами типа RS CVn, за исключением одного параметра – отсутствия у них двойственности. Звезды RS CVn представляют собой двойные системы, где первичный горячий компонент является субгигантом или гигантом спектрального класса между F и K, а вторичный холодный компонент является карликом или субгигантом спектрального типа от G до M (см. подробнее описание и многочисленные ссылки,

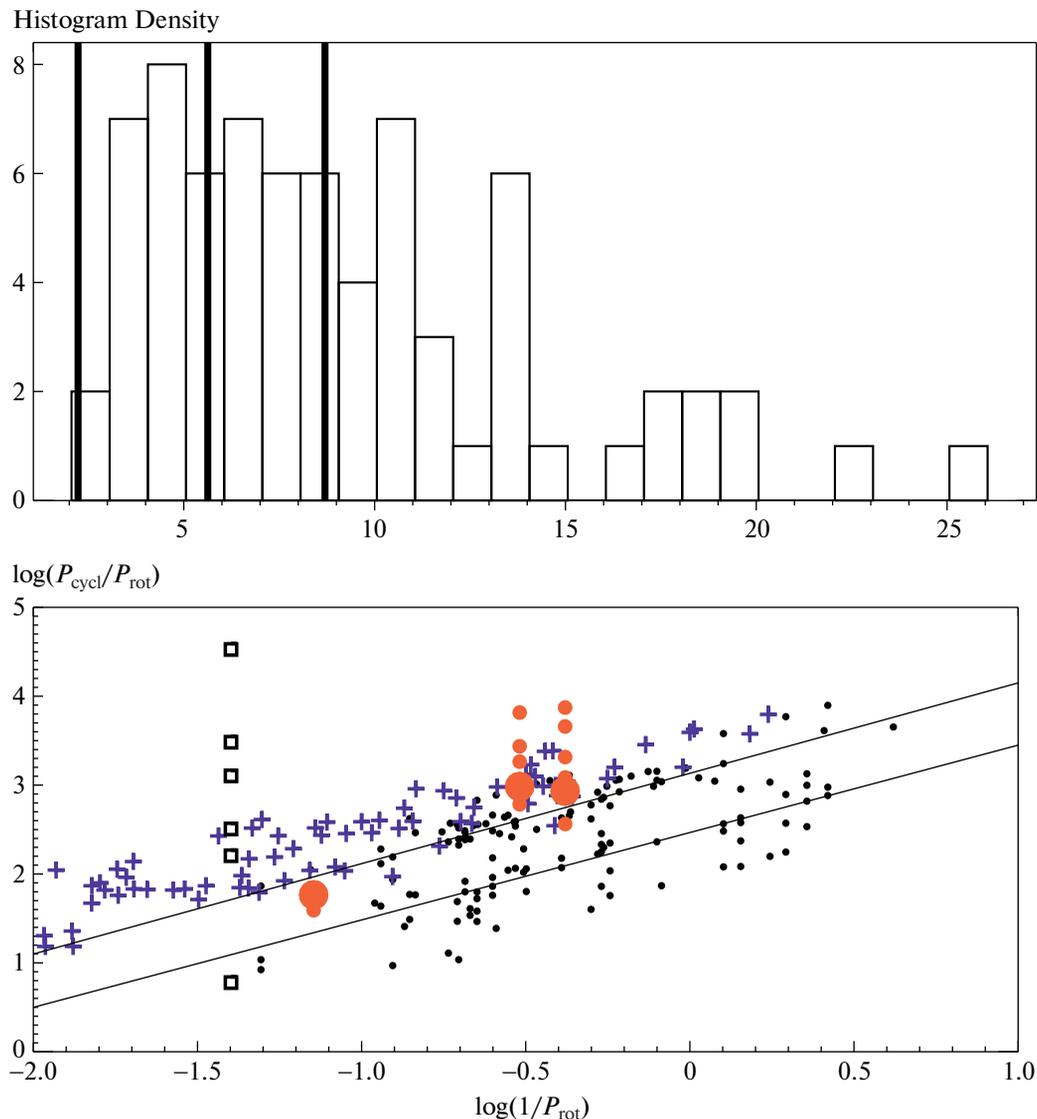
**Таблица 1.** Циклы активности звезд типа FK Com

Звезда	$P_{\text{rot}}$ , сут	$P_{\text{cycl}}$
FK Com	2.401155 [13]	880, <b>2050</b> , 2900, 4965, 10950, 17900 <sup>d</sup> (2.4, <b>5.63</b> , 8, 13.6, 30 и 49 лет)
HD 199178	3.30025 [15]	2000, <b>3165</b> , 5050, 9000, 21600 <sup>d</sup> (5.5, <b>8.7</b> , 16.6, 24.7 и 59.2 лет)
ET Dra	13.9820 [17]	580 и <b>810<sup>d</sup></b> (1.55 и <b>2.23</b> года)

Примечание. Выделены доминирующие циклы (см. текст).

напр., в [23]). Прототипом, давшим название группе, является затменная двойная система RS Canum Venaticorum. Из-за меньшей яркости холодной компоненты большинство этих систем относятся к типу SB1. Эти звезды являются быстрыми ротаторами, синхронизированными приливным взаимодействием, и поэтому более активны, чем одиночные звезды с теми же характеристиками. Они обычно демонстрируют значительную эмиссию в линиях H $\alpha$ , Ca II, сильное рентгеновское и микроволновое излучение. В этой активности доминирует горячий компонент – быстро вращающийся гигант. В оптическом диапазоне наиболее заметной особенностью является периодическая фотометрическая переменность, намного большая, чем у отдельных звезд с тем же спектральным типом. Эта переменность обусловлена модуляцией блеска крупными звездными пятнами, покрывающими до 10% поверхности звезды. Хорошо известно, что звезды типа RS CVn также являются сильными источниками рентгеновского излучения, обладающие переменностью на шкале времени порядка периода вращения звезды. С другой стороны, многие из этих систем демонстрируют долгосрочные вариации хромосферной и фотосферной активности и циклы активности. Изучение этих циклов является ключом к пониманию связи между вращением звезд и долговременной активностью, а также проявлений механизма, ответственного за генерацию и поддержание магнитных полей звезд (см. ссылки в наших предыдущих статьях и в работе [23]).

Авторы [23] рассмотрели данные для 121 звезд типа RS CVn, охватывающие широкий диапазон светимостей и периодов вращения, для поиска циклов активности этих объектов. Для каждой системы в [23] были рассмотрены архивные фотометрические данные и результаты собственных наблюдений и определены периоды вращения и возможные циклы активности. По результатам анализа из [23] мы рассмотрели данные для 73 систем с надежными определениями  $P_{\text{cycl}}$  и  $P_{\text{rot}}$ . На верхней диаграмме рис. 2 представлена гистограмма распределений циклов активности звезд



**Рис. 2.** Вверху – гистограмма распределений циклов активности звезд RS CVn по данным [23]. Толстые вертикальные линии показывают циклы активности ET Dra, FK Com и HD 199178 (слева направо). Внизу – диаграмма  $\log(1/P_{\text{rot}}) - \log(P_{\text{cycl}}/P_{\text{rot}})$ . Маленькие кружки – данные [19], сплошные линии проведены для данных, охарактеризованных этими авторами, как главные и вторичные циклы. Светлые кружки – наши данные (слева направо) для ET Dra, HD 199178 и FK Com. Крупными символами выделены доминирующие циклы. Циклы активности Солнца представлены квадратами (снизу вверх): циклы Ригера, Швабе, Хейла, Глейсберга, де Врис и Холлштатта [22]. Символ плюс – данные [23].

RS CVn по данным [23]. Вертикальные толстые линии соответствуют данным для доминирующих циклов активности ET Dra, FK Com и HD 199178 (слева направо). Имеется хорошее согласие между величинами  $P_{\text{cycl}}$  для рассматриваемых нами звезд и большинства объектов типа RS CVn. На нижней диаграмме рис. 2 данные [23] представлены символами “+”. Они образуют последовательность, расположенную выше данных, охарактеризованных в [19], как вторичные (более длительные) циклы. Полученные нами значения

доминирующих циклов для FK Com и HD 199178 хорошо укладываются на эту последовательность. Имеющиеся данные для ET Dra лежат ниже последовательности, что, возможно, объясняется недостаточной длительностью имеющихся наблюдений для обнаружения сопоставимых  $P_{\text{cycl}}$ . В целом можно сделать заключение о сопоставимости выполненных нами определений величин циклов активности для звезд типа FK Com и данных для звезд типа RS CVn. Такой вывод еще раз свидетельствует о том, что, по своим характери-

стикам объекты типа FK Com (за исключением одного параметра — отсутствия у них двойственности) во многом схожи со звездами типа RS CVn.

## 5. ВЫВОДЫ

В данной работе представлены результаты фотометрических наблюдений хромосферно активной звезды FK Com, выполненные в течение последних 5 лет (2018–2023 гг.), на обсерваториях ИНАСАН в Звенигороде, в Симеизской обсерватории ИНАСАН и на Российско-Кубинской обсерватории в Гаване (Республика Куба). В общей сложности за интервал наблюдений с 2018 по 2023 г. нами было получено 9060 оценок блеска звезды в фильтре  $V$ . Все доступные измерения, включая литературные источники, наши измерения и данные архива Kamogata Wide-field Survey (KWS) были объединены в единый массив. Полученный таким образом набор данных включает 17653 измерений в интервале длительностью порядка 20821 сут (57 лет). На основе построенного спектра мощности можно предположить существование возможных циклов активности  $P_{\text{cycl}}$  с величиной 2.4, 5.63, 8, 13.6, 30 и 49 лет. Доминирующим является  $P_{\text{cycl}}$  продолжительностью в 5.63 года. Установлено, что найденный нами по существенно более многочисленным данным доминирующий цикл с величиной порядка 5.63 лет (5.4–5.8 лет) прослеживается и в результатах анализа предыдущих исследований. Полученные нами результаты о циклах активности FK Com сопоставлены с данными о долговременной переменности двух других звезд, входящих в группу рассматриваемого прототипа — HD 199178 (V1794 Cyg) и ET Dra. На основе данных о циклах активности хромосферно активных звезд по литературным источникам и нашим измерениям проанализирована диаграмма вида  $\log(1/P_{\text{rot}}) - \log(P_{\text{cycl}}/P_{\text{rot}})$ . Сделано заключение о сопоставимости полученных нами определений величин циклов активности для звезд типа FK Com с данными для звезд типа RS CVn.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

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, 075-15-2022-1109).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *A. D. Costa, B. L. Canto Martins, J. P. Bravo, F. Paz-Chinchón, et al.*, *Astrophys. J. Letters* **807** (2), id. L21 (2015).
2. *I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko*, *Astrophys. Bull.* **77**, 150 (2022).
3. *H. Korhonen, S. V. Berdyugina, T. Hackman, R. Dummmler, I. V. Ilyin, and I. Tuominen*, *Astron. and Astrophys.* **346**, 101 (1999).
4. *H. Korhonen, S. V. Berdyugina, T. Hackman, I. V. Ilyin, K. G. Strassmeier, and I. Tuominen*, *Astron. and Astrophys.* **476**, 881 (2007).
5. *L. Jetsu, J. Pelt, and I. Tuominen*, *Astron. and Astrophys.* **278**, 449 (1993).
6. *T. Hackman, J. Pelt, M. J. Mantere, L. Jetsu, et al.*, *Astron. and Astrophys.* **553**, id. A40 (2013).
7. *Z. Kolláth and K. Oláh*, *Astron. and Astrophys.* **501**, 695 (2009).
8. *K. Oláh, H. Korhonen, Z. Kövári, E. Forgács-Dajka, and K. G. Strassmeier*, *Astron. and Astrophys.* **452**, 303 (2006).
9. *K. Vida, H. Korhonen, I. V. Ilyin, K. Oláh, M. I. Andersen, and T. Hackman*, *Astron. and Astrophys.* **580**, id. A64 (2015).
10. *I. S. Savanov, M. E. Sachkov, V. B. Puzin, X. Jiang, et al.*, *INASAN Sci. Rep.* **7**, 255 (2022).
11. *H. Korhonen, S. Hubrig, S. V. Berdyugina, T. Granzer, et al.*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **395**, 282 (2009).
12. *V. B. Puzin, I. S. Savanov, E. S. Dmitrienko, I. I. Romanuk, et al.*, *Astrophys. Bull.* **71**, 189 (2016).
13. *L. Jetsu*, arXiv:1808.02221 [astro-ph.SR] (2019).
14. *I. Savanov, S. Naroenkov, M. Nalivkin, and A. Shugarov*, *Contrib. Astron. Observ. Skalnaté Pleso* **49**, 415 (2019).
15. *K. Panov and D. Dimitrov*, *Astron. and Astrophys.* **467**, 229 (2007).
16. *K. Oláh, Z. Kolláth, T. Granzer, K. G. Strassmeier, et al.*, *Astron. and Astrophys.* **501**, 703 (2009).
17. *L. Jetsu, R. Anttila, E. Dmitrienko, K. N. Grankin, et al.*, *Astron. and Astrophys.* **262**, 188 (1992).
18. *I. S. Savanov, S. V. Karpov, G. M. Beskin, A. V. Biryukov, et al.*, *Astrophys. Bull.* **77**, 422 (2022).
19. *E. Distefano, A. C. Lanzafame, A. F. Lanza, S. Messina, and F. Spada*, *Astron. and Astrophys.* **606**, id. A58 (2017).
20. *J. Lehtinen, L. Jetsu, T. Hackman, P. Kajatkari, and G. W. Henry*, *Astron. and Astrophys.* **588**, id. A38 (2016).
21. *I. S. Savanov*, *Astron. Rep.* **56**, 716 (2012).
22. *J. Beer, S. M. Tobias, and N. O. Weiss*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **473**, 1596 (2018).
23. *C. I. Martínez, P. J. D. Mauas, and A. P. Buccino*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **512**, 4835 (2022).

**ACTIVITY CYCLES OF FK COM****I. S. Savanov<sup>a</sup>, S. A. Naroenkov<sup>a</sup>, M. A. Nalivkin<sup>a</sup>, and E. S. Dmitrienko<sup>b</sup>**<sup>a</sup>*Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*<sup>b</sup>*Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia*

New results of photometric observations of the chromospherically active star FK Com (a prototype of the group of the same name) performed during the past 5 years (2018–2023) at the INASAN observatories in Zvenigorod, Simeiz Observatory INASAN and Russian–Cuban Observatory in Havana, Republic of Cuba, are presented. In total during this observation interval we obtained 9060 estimates of the brightness of the star in V band. Our measurements as well as data from the literature and from the Kamogata Wide-field Survey (KWS) archive were combined into the array comprising 17653 measurements in an interval of about 57 years. Based on the power spectrum constructed from these data, P values of the cycle activity have been established, which according to our estimate are equal to 2.4, 5.63, 8, 13.6, 30 and 49 years. The dominant is the P cycle lasting 5.63 years. It is shown that this dominant cycle with a period of about 5.63 years found by us according to more extensive data (5.4–5.8 years in other sources) can be traced in the results of the analysis of previous studies. The results on the activity cycles of FK Com are compared with data on the long-term variability of two more stars of the type under consideration – HD 199178 (V1794 Cyg) and ET Dra. Based on the data on the P cycle of other chromospherically active stars (according to literature sources and our measurements) a diagram  $\log(1/P_{\text{rot}}) - \log(P_{\text{cycl}}/P_{\text{rot}})$  is analyzed. The conclusion about the comparability of the values of the activity cycles of the FK Com type stars with the data for stars of the RS CVn type is made.

*Keywords:* stars, activity, spots, cycles