

УДК 524.31-56

АКТИВНОСТЬ ET DRA — ЗВЕЗДЫ ТИПА FK COM

© 2022 И. С. Саванов^{1*}, С. В. Карпов^{2,3,4}, Г. М. Бескин^{2,3}, А. В. Бирюков^{5,3},
С. Ф. Бондарь⁶, Е. А. Иванов^{2,6}, Н. В. Ляпсина², А. В. Перков⁶, В. В. Сасюк³,
 С. А. Нароенков¹, М. А. Наливкин¹, В. Б. Пузин¹, Е. С. Дмитриенко⁵

¹Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия

⁴Центральноевропейский институт космологии и фундаментальной физики, Институт физики, Чешская академия наук, Прага, 18221 Республика Чехия

⁵Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

⁶НПК СПП, Москва, 111024 Россия

Поступила в редакцию 11 августа 2022 года; после доработки 29 августа 2022 года;
 принята к публикации 5 сентября 2022 года

Нами представлены новые результаты исследования 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, и долговременную переменность блеска звезды. Было выполнено независимое определение периода вращения P_{phot} по всем доступным нам сетам наблюдений. Во время наблюдений с телескопом FRAM-ORM увеличение блеска звезды во всех трех фильтрах около HJD 2459044 было интерпретировано нами, как вспышка звезды. Наши оценки энергии во вспышке составляют 2.8×10^{37} , 1.9×10^{37} и 1.5×10^{37} эрг в диапазонах B , V и R соответственно. Наблюдения, полученные в CAO РАН продолжительностью более 2200 суток, открыли возможность для анализа долговременной переменности блеска ET Dra. Найдены указания на существование циклов продолжительностью 580 суток и 810 суток (1.55 и 2.23 года соответственно).

Ключевые слова: *звезды: активность—звезды: отдельные: FK Com*

1. ВВЕДЕНИЕ

Звезда FK Com является прототипом одиночных быстро вращающихся хромосферно-активных звезд спектральных типов G—K (Worp and Stencel 1981), число которых чрезвычайно мало. В дополнение к самому прототипу FK Com, к ним относятся HD 199178 и ET Dra (BD +70 959). Звезда UZ Lib была исключена из списка объектов, принадлежащих к этому типу, после установления ее двойственности. FK Com является активной звездой позднего спектрального типа, которая интенсивно изучалась и продолжает изучаться в ходе наземных фотометрических и спектральных наблюдений, а также многочисленных космических ультрафиолетовых и гамма-наблюдений (подробнее о них см. работы Hackman et al. (2013), Korhonen

et al. (2007)). Основные свойства FK Com также можно найти в работе Jetsu et al. (1993) и в серии статей Korhonen et al. (2007). Несмотря на большой интерес к уточнению эволюционного статуса звезд типа FK Com и установлению их возможной связи с переменными типа W UMa, за последние десятилетия было опубликовано относительно небольшое количество исследований, посвященных этому интересному типу звезд. Результаты попыток найти новых кандидатов в звезды FK Com представлены в работах Puzin et al. (2014), Puzin et al. (2017), Sikora et al. (2020). Однако до тех пор, пока не будут проведены обширные спектральные наблюдения, чтобы выявить отсутствие двойственности, найденные объекты будут рассматриваться только как кандидаты в звезды FK Com.

ET Dra (BD +70 959, 1E 1751.0+7046) — наименее изученная звезда типа FK Com. Подробное описание свойств ET Dra можно найти в статье

*E-mail: isavanov@inasan.ru

Ambruster et al. (1997), в которой была уточнена спектральная классификация звезды (K0 III) и дана точная оценка параметра $v \sin i = 23 \text{ км с}^{-1}$. Спектральные наблюдения, сделанные авторами в KPNO, привели к выводу, что в спектре ET Dra присутствовала сильная линия лития 6707 \AA с эквивалентной шириной 90 m\AA , что позволило определить содержание лития в атмосфере звезды — $\lg A(\text{Li}) = 1.8$. Существенные доказательства высокой магнитной активности ET Dra были получены путем анализа ее ультрафиолетовых наблюдений с помощью спутника IUE, а также рентгеновских наблюдений (например, Ambruster et al. (1997)). Результаты наиболее подробного фотометрического анализа ET Dra были представлены в статье Jetsu et al. (1992), которые оценили фотометрический период вращения звезды $P = 13^{\text{d}}.9820 \pm 0^{\text{d}}.0078$ на основе наблюдений ET Dra в 1990 г. и указали на достаточно высокую амплитуду переменности блеска (около $0^{\text{m}}.3$ в фильтре V). Результаты исследований Ambruster et al. (1997) и Jetsu et al. (1992) содержат обсуждения вопроса о переменности лучевой скорости ET Dra. В дальнейшем новые результаты для этой малоизученной звезды типа FK Com были представлены в работе Savanov et al. (2019b). В марте–апреле 2018 г. были проведены фотометрические наблюдения звезды в фильтре V . Используя эти данные и решая обратную задачу восстановления поверхностных температурных неоднородностей, были изучены положения холодных областей на поверхности ET Dra и сопоставлены с данными, полученными в результате фотометрических наблюдений в 1990 г.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ИХ ОБРАБОТКА

Новые фотометрические наблюдения ET Dra были проведены в Звенигородской обсерватории ИНАСАН и с помощью телескопа FRAM-ORM обсерватории Ла Пальма. Кроме того, были использованы данные из фотометрического архива широкоугольной оптической системы мониторинга Mini-MegaTORTORA. Фотометрические наблюдения ET Dra проводились в Звенигородской обсерватории ИНАСАН в 2018 г. и 2019 г. (за период наблюдений с марта по апрель 2018 г. они были рассмотрены в статье Savanov et al. (2019b)). Использовалась роботизированная широкоугольная система мониторинга околоземного космического пространства (Savanov et al. 2018). Она состояла из широкоугольного телескопа Officina Stellare RH-200, поворотного механизма ASA DDM 85 и защитного купола ScoreDome 2M. Эта роботизированная система позволяет автоматически проводить наблюдения за космическими

объектами в соответствии с заранее определенным планом наблюдения. Регистрация осуществлялась с помощью ПЗС-приемника FliProline 16803. Размер чипа камеры составляет 4096×4096 пикселей, размер пиксела — $9 \times 9 \text{ мкм}$. Время экспозиции подбиралось индивидуально для каждого фильтра и ночи (оно варьировалось от 20 с до 60 с), так что количество измерений, полученных для исследуемой звезды и звезд сравнения, соответствовало примерно половине динамического диапазона камеры. Проанализированное поле зрения результирующего кадра составляло $3^{\circ}.5 \times 3^{\circ}.5$. В такой комбинации телескопа и камеры один кадр включает в себя значительное количество объектов, что обеспечивает большой выбор звезд сравнения для дифференциальной фотометрии. Данные наблюдений подвергались предварительной обработке, которая состояла из вычитания усредненного кадра bias, вычитания кадра темного тока и деления кадров изображения на кадры с плоским полем. Фотометрия звезд проводилась с использованием дифференциального метода. Как и в статье Jetsu et al. (1992), в качестве стандарта для ET Dra была выбрана звезда BD +71 853 ($V = 9^{\text{m}}.04$). Кадры были обработаны с использованием программного пакета MaxImDL. Точность одного измерения составила приблизительно $0^{\text{m}}.009$. В общей сложности было получено 759 оценок яркости за период в 537 дней от HJD 2458205 до HJD 2458742.

FRAM-ORM (Janeček et al. 2019) — 25-см телескоп $f/6.3$, расположенный в обсерватории Роке-де-лос-Мучачос, Ла Пальма, Испания. Телескоп оснащен фильтрами B , V , R и z , а также специальной камерой Moravian Instruments G2-1000BI на базе чипа CCD47-40 с обратной засветкой. Телескоп имеет поле зрения 26×26 дюймов и масштаб $1.52 \text{ дюйма/пиксел}$. Объект регулярно наблюдался с 12 марта 2020 г.; каждую ночь было получено несколько изображений в B -, V - и R -диапазонах с экспозициями 30 с, 20 с и 20 с соответственно. Данные были автоматически обработаны специальным пакетом программ для телескопа FRAM-ORM на языке Python, который включает в себя вычитание смещения и темнового тока, деление на плоское поле, удаление космических лучей, астрометрическую калибровку, фотометрию апертуры (с радиусом 5 пикселей) и фотометрическую калибровку с использованием всех звезд поля зрения, а также ATLAS-REFCAT2 каталог (Tonry et al. 2018) с перекалибровкой звездных величин в систему Джонсона–Казинса с использованием большого количества стандартных звезд Стетсона.

Mini-MegaTORTORA (Beskin et al. 2017) представляет собой девятиканальную широкополосную

оптическую систему мониторинга с высоким временным разрешением, расположенную в Специальной астрофизической обсерватории РАН и работающую с середины 2014 г. В рамках систематических наблюдений за северным небом, направленных в первую очередь на обнаружение и характеристику оптических транзиентов в субсекундном масштабе времени, она получает более глубокие обзорные изображения с экспозицией от 20 с до 60 с в белом свете, охватывая каждую точку северного неба в среднем несколько раз за ночь. Полученные изображения обрабатываются специальным пакетом программ, который, помимо стандартных шагов калибровки, определяет эффективную фотометрическую систему каждого кадра, а затем использует эту информацию для получения $(B - V)$ -цветов каждой звезды и второй калибровки измерений с использованием фильтра Johnson V (Karpov et al. 2018). Результаты измерений публикуются онлайн на специальном портале¹. Данные для ET Dra были извлечены из архива Mini-MegaTORTORA и прошли через процедуру отбора, чтобы отфильтровать точки, соответствующие интервалам плохой погоды, и изображения, на которых фотометрическая калибровка обладала погрешностями. Это привело к более чем 3700 точкам с хорошими оценками m_V для звезды.

Перечисленные выше наблюдения использовались для выполнения следующих задач: для изучения изменений формы кривой блеска, вызванных вращательной модуляцией звезды с пятнами на поверхности, и для изучения долгосрочной изменчивости яркости звезды. Во время наблюдений с помощью телескопа на Ла Пальме было зафиксировано увеличение яркости звезды во всех фильтрах, которое можно интерпретировать как вспышку. Данные из фотометрического архива Mini-MegaTORTORA также позволили изучить долговременные изменения блеска звезды, о которых в литературе практически нет информации. Далее мы будем ссылаться на перечисленные данные как на сет 1 (Звенигород), сет 2 (Ла Пальма) и сет 3 (Mini-MegaTORTORA).

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ПЕРИОД

Согласно литературным данным Jetsu et al. (1992) фотометрический период вращения ET Dra в 1990 г. составлял $P_{\text{phot}} = 13^{\text{d}}9820 \pm 0^{\text{d}}0078$. Отметим, что эта величина определяется по вращательной модуляции блеска объекта, вызванной наличием пятен на его поверхности. Если вращение носит характер дифференциального, а пятна обладают эволюционными изменениями по форме

¹<http://survey.favor2.info/favor2>

и положению, то измеряемая величина P_{phot} (в отличие от величины периода вращения на экваторе) может изменяться от одного сезона наблюдений к другому. Мы выполнили независимое определение величины P_{phot} по имеющимся у нас трем сетам наблюдений.

На рис. 1 представлены наблюдения, полученные в Звенигородской обсерватории (сет 1). Амплитуда переменности блеска увеличивалась к концу интервала наблюдений, заметно общее ослабление блеска на протяжении почти 540 суток.

Для данных сета 2 для каждого фильтра нами были построены спектры мощности (стандартная программа LNP-TEST языка IDL) (рис. 2с). Доминирующий по амплитуде пик соответствует величине $P1_{\text{phot}} = 14^{\text{d}}33$, второй пик по величине амплитуды (не считая суточные периоды) — $P2_{\text{phot}} = 14^{\text{d}}83$. Исходя из оценок полуширины пика на спектре мощности, можно оценить погрешность определения P_{phot} , которая составила величину порядка $0^{\text{d}}35-0^{\text{d}}40$.

На рис. 2 показаны наблюдения, полученные с помощью FRAM-ORM (сет 2) в трех фильтрах. Точность этих наблюдений довольно высока. Кроме того, измерения, отличающиеся более чем на 3σ , были исключены из дальнейшего анализа. Увеличение блеска, происшедшее около HJD 2459044, может рассматриваться, как проявление вспышечной активности звезды. Эта вспышка будет проанализирована нами ниже.

Для данных сета 2 для каждого фильтра мы построили спектры мощности (рис. 2b). Полученные результаты практически совпадают (темная линия на рисунке соответствует данным, полученным в фильтре V). Были найдены следующие значения P_{phot} : $14^{\text{d}}30$ (фильтр B), $14^{\text{d}}36$ (фильтр V) и $14^{\text{d}}37$ (фильтр R). По нашей оценке полуширины пиков в спектре мощности во всех трех случаях составляет около $1^{\text{d}}40$, однако разброс полученных определений P_{phot} не превосходит $0^{\text{m}}07$. Соответствующая фазовая кривая для наблюдений в фильтре V показана на диаграмме рис. 2с.

Наконец, в нашем распоряжении имеется более 3700 оценок блеска звезды, сделанных с помощью телескопа в CAO РАН (сет 3). Как и при анализе данных из сета 1, мы можем сделать вывод, что амплитуда переменности блеска увеличилась к концу интервала наблюдений продолжительностью более 2100 дней. (см. рис. 3а) и что, несомненно, блеск звезды монотонно ослабевал в течение указанного периода (см. рис. 3б, ниже).

Для этих данных спектр мощности был построен после исключения тренда, соответствующего указанной возможной долговременной переменности объекта (рис. 3б). На спектре мощности имеются

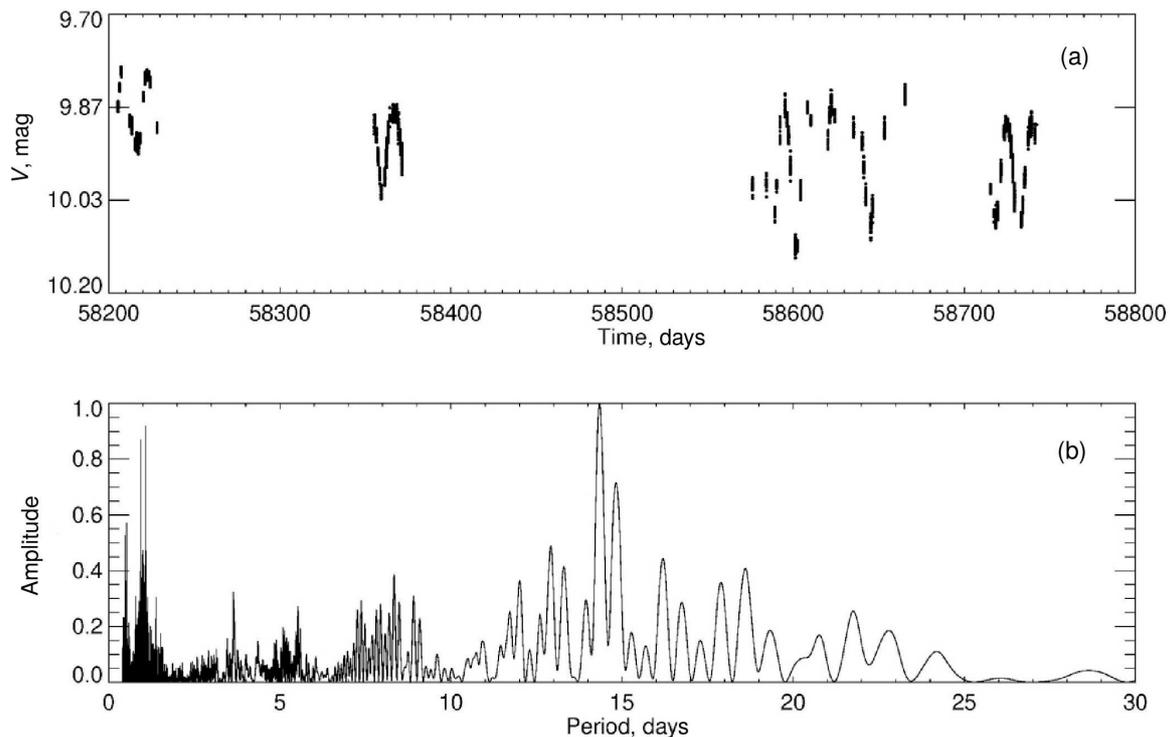


Рис. 1. (a) — наблюдаемые кривые блеска ET Дра в фильтре V в соответствии с наблюдениями сета 1 (Звенигород, ИНАСАН). Ось абсцисс — HJD 2400000+. (b) — приведен спектр мощности в диапазоне периодов от 0 до 30 суток.

три пика, два с примерно одинаковой амплитудой с $P1_{\text{phot}}$, $P2_{\text{phot}}$ — $14^{\text{d}}21$ и $14^{\text{d}}37$ соответственно. Третий пик указывает на $P3_{\text{phot}} = 14^{\text{d}}06$. Погрешность величин P_{phot} составляет около $0^{\text{d}}15$.

Данные сета 3 характеризуются также увеличением амплитуды переменности блеска к концу сета наблюдений. Весь сет из 3700 измерений был разбит на три части: I — до 2457400 HJD, II — интервал 2457400–2458500 HJD, и III — более 2458500 HJD. Для каждой из них были построены спектры мощности, они представлены на нижней диаграмме рис. 3. Полученные оценки периодов составили $14^{\text{d}}18$, $14^{\text{d}}12$ и $14^{\text{d}}35$ соответственно. Найденные ранее по всему массиву данных сета 3 $P1_{\text{phot}}$, $P2_{\text{phot}}$, $P3_{\text{phot}}$ достаточно близки к ним и, вероятно, являются проявлениями периодичности в различное время. Величина периода возрастает к концу интервала наблюдений.

ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

Для данных сета 2 увеличение блеска, происшедшее около HJD 2459044, было нами рассмотрено, как проявление вспышечной активности звезды (см. рис. 4). Вспышка наблюдалась во всех трех фильтрах. На профиле вспышки имеется достаточное количество измерений, например в

фильтре V их 15 — пять групп по три измерения. Амплитуда вспышки максимальна в фильтре B , а минимальна в фильтре R . Величины амплитуд составляют порядка $0^{\text{m}}22$, $0^{\text{m}}25$ и $0^{\text{m}}50$ в фильтрах R , V и B соответственно. Указанные свойства могут быть рассмотрены как свидетельства реальности наблюдения вспышки. Имеющиеся в нашем распоряжении данные не позволяют получить точную оценку продолжительности вспышки и, как следствие, ее эквивалентной продолжительности ED (equivalent duration) (Gershberg 2015). К сожалению, ни время возгорания, ни затухания вспышки по имеющимся данным оценить не представляется возможным. Таким образом, мы смогли определить лишь нижнюю границу эквивалентной продолжительности вспышки по измерениям, реально укладываемым на профиль вспышки. В итоге, были получены оценки ED в фильтрах B , V и R — 4500 с, 2000 с и 1570 с соответственно.

Мы рассчитали общую энергию излучения во вспышке, используя стандартную методику (см., например, более подробное описание в работе Savanov et al. (2019c)). Расстояние до звезды составляет $2.4433 \pm 0.0561 \text{ mas}$ (GAIA DR3). Энергия, выделяемая при вспышке, равна 2.8×10^{37} , 1.9×10^{37} и 1.5×10^{37} эрг в диапазонах B , V и R соответственно. Полученный результат мож-

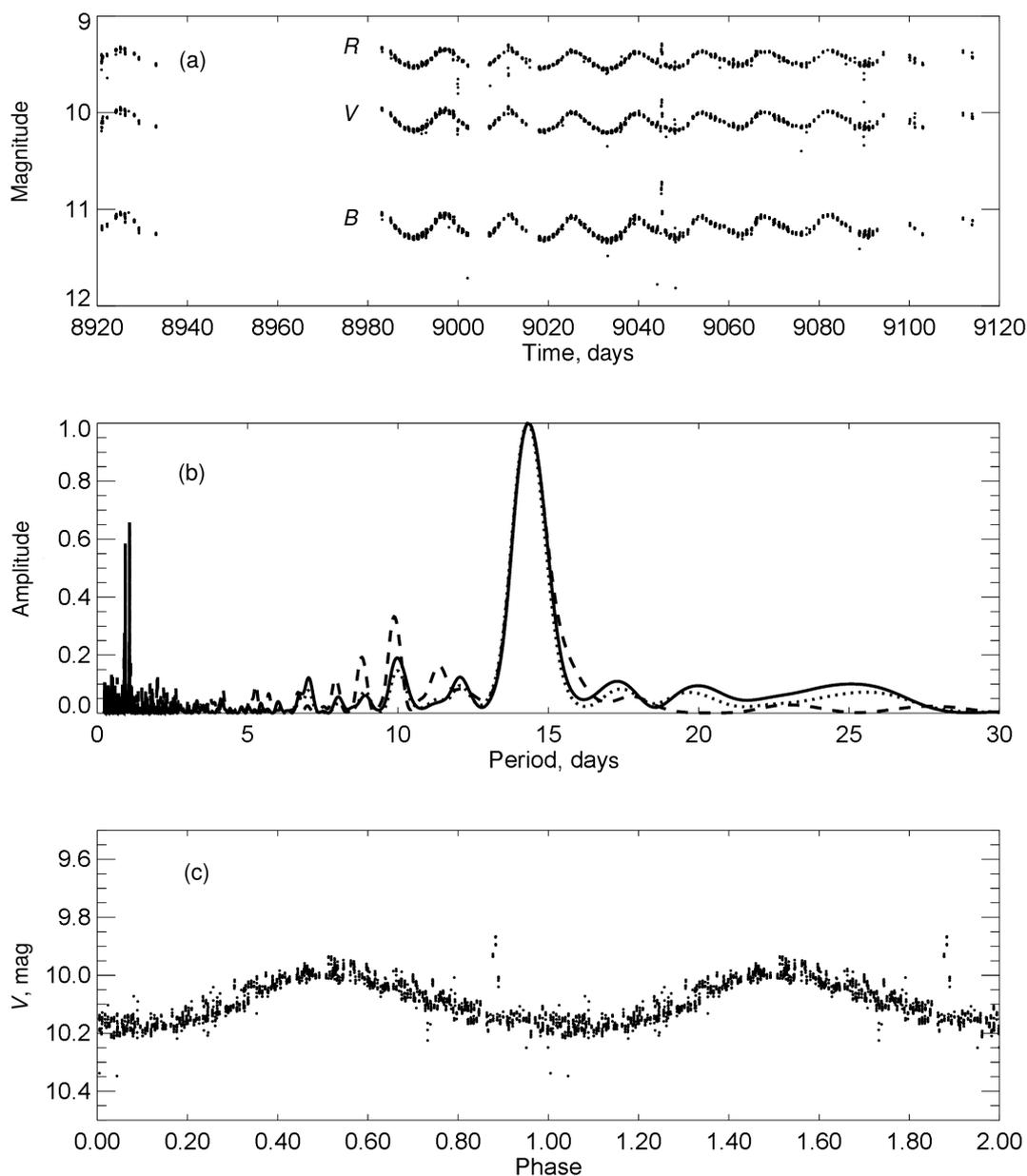


Рис. 2. (а) — наблюдаемые кривые блеска ET Dra в полосах *B*, *V* и *R* (снизу вверх соответственно) в соответствии с наблюдениями сета 2 (Ла Пальма, Испания). Ось абсцисс — HJD 2450000+. (б) — спектры мощности в интервале периодов от 0 до 30 суток для данных в фильтрах *B*, *V* и *R* (сплошная, пунктирная и штриховая линии соответственно). (с) — фазовая кривая для наблюдений в фильтре *V* (период принят $14^{\text{d}}36$, см. текст).

но сравнить с данными других исследований, например, приведенными в работе Gershberg (2015) или в недавно опубликованных каталогах звездных вспышек, основанных на наблюдениях космического телескопа Кеплер и миссии TESS. Один из таких каталогов, опубликованный Yang and Liu (2019), содержит информацию о 162 262 вспышках для 3420 звезд. Каталог включает данные о вспышках в звездах спектральных типов от A (в

плане обсуждения) до M. Авторы другого каталога — Van Doorselaere et al. (2017), на основе наблюдений телескопа Кеплер, сделанных только в режиме LC сета Q15, провели исследования вспышечной активности 6662 звезд, для которых было зарегистрировано в общей сложности 16850 вспышек. В дополнение к данным в статьях Yang and Liu (2019) и Van Doorselaere et al. (2017), на рис. 1–2 в работе Savanov (2020)

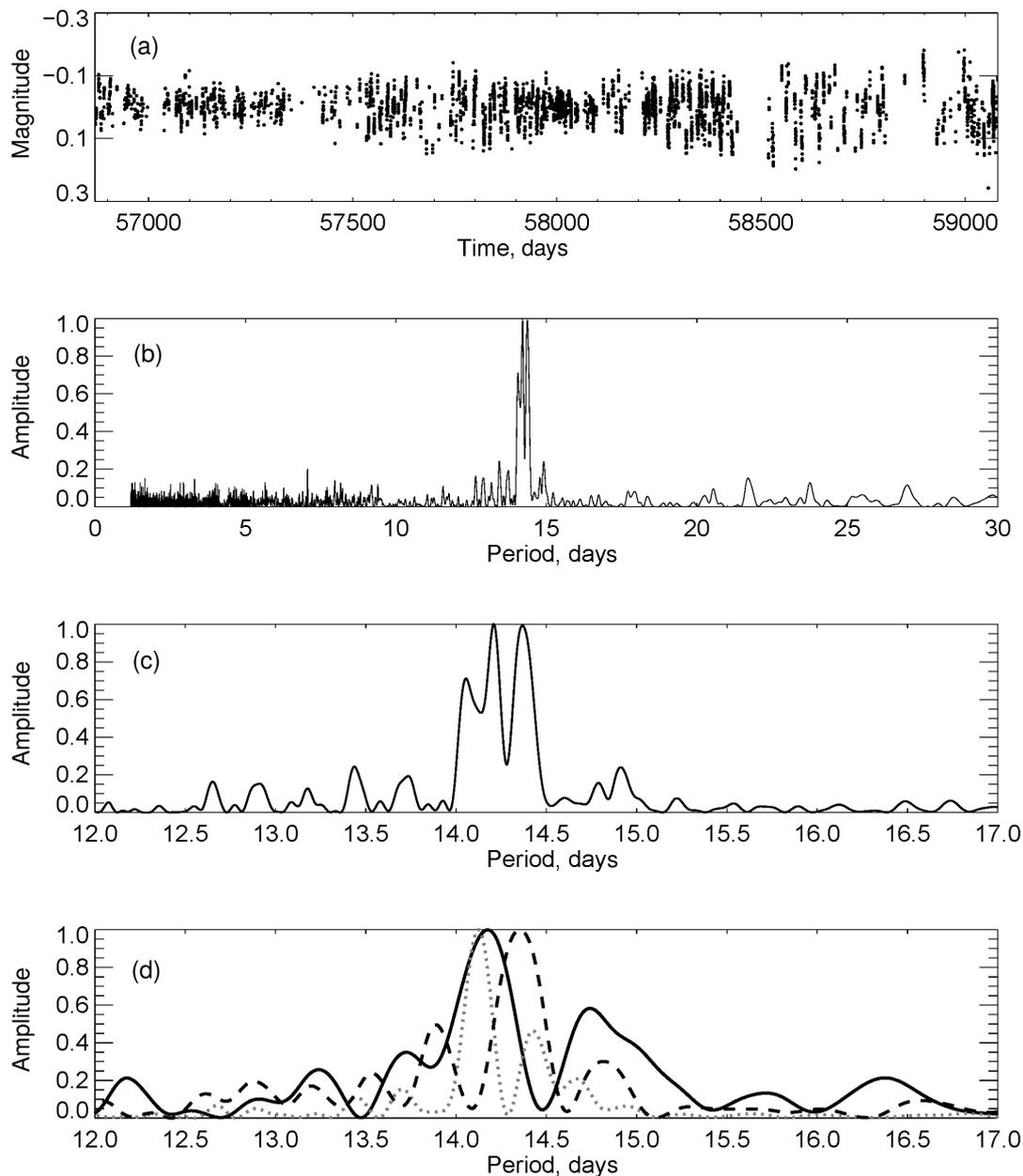


Рис. 3. (a) — наблюдаемые кривые блеска ET Dra в фильтре V в соответствии с данными наблюдений из сета 3 (Mini-MegaTORTORA, САО РАН), скорректированные с учетом длительного тренда (ось абсцисс — HJD 2400000+). (b) — спектр мощности в интервале периодов от 0 до 30 суток. (c) — спектр мощности в выбранном интервале периодов от 13.5 до 15.5 суток. (d) — спектры мощности для интервалов наблюдений I, II и III (сплошная, пунктирная и штриховая линии соответственно) (см. пояснения в тексте).

мы представили зависимость энергий вспышек и масс СМЕ (см. ниже) от эффективной температуры объектов из этих каталогов. Представленные зависимости показывают, что диапазон изменений энергий вспышек E_{fl} для звезд с эффективными температурами $T_{\text{eff}} = 4800$ К (значение для ET Dra, Ambuster et al. (1997)) составляет 10^{33} – 10^{37} эрг; в то же время, с переходом к более горячим (более

массивным) звездам, наблюдается увеличение E_{fl} . Кроме того, возможно, что гиганты имеют максимальные значения E_{fl} для диапазона температур 4500–4900 К. Таким образом, можно сделать вывод, что полученные нами оценки, характеризующие вспышечную активность звезды, в принципе, сопоставимы с оценками, установленными для объектов из каталогов Yang and Liu (2019) и Van

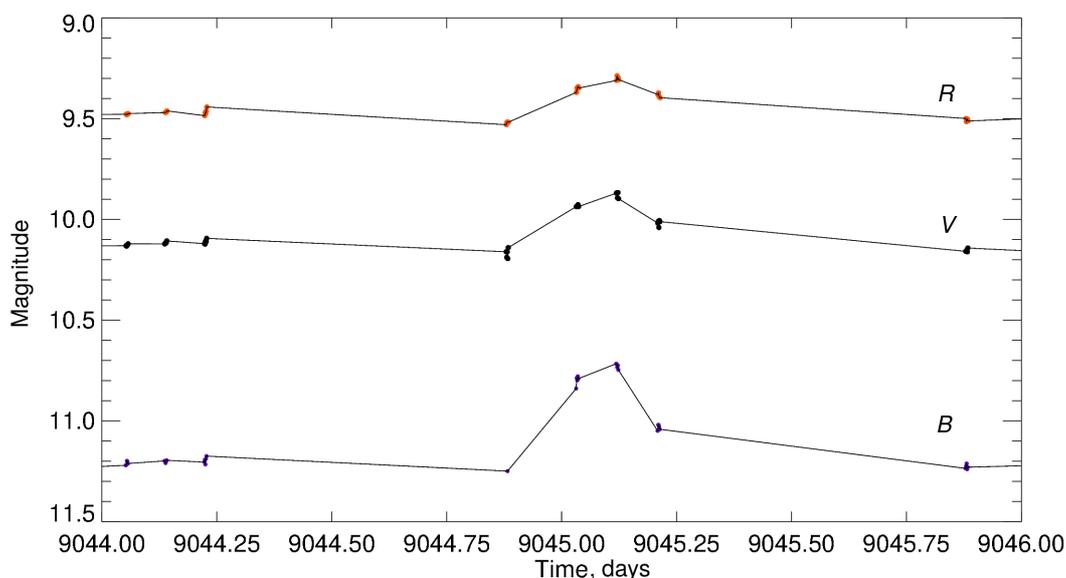


Рис. 4. Наблюдаемые кривые блеска ET Dra в фильтрах *B*, *V* и *R* со вспышкой (снизу вверх) в соответствии с данными наблюдений сета 2 (ось абсцисс — HJD 2450000+).

Doorselaere et al. (2017). Обсуждение надежности наблюдений и возможностей генерации вспышек для гигантских звезд можно найти, например, в разделе 4.5 работы Yang and Liu (2019). Представляет интерес сравнить наш результат по активности вспышки с данными, опубликованными в литературе. В последнее время большое внимание уделяется вспышечной активности звезд-гигантов (см., например, Savanov et al. (2019c)). Согласно наблюдениям космического телескопа Кеплер, авторы Oláh et al. (2021) идентифицировали 61 звезду-гигант со вспышками среди 706 кандидатов и подробно изучили 19 объектов. Среди них особое внимание было уделено KIC 2852961 — гиганту G9–K0 III со светимостью $76.5 L_{\odot}$, массой $1.7 M_{\odot}$ и радиусом $13.1 R_{\odot}$ (Kóvári et al. 2020). Период обращения звезды составляет $35^d.5$. Во время интервала наблюдения телескопа Кеплер для гиганта KIC 2852961 было зарегистрировано 59 вспышек с энергией в диапазоне 10^{35} – 10^{38} эрг.

Следуя идее солнечно-звездной аналогии, для ET Dra, как и для других звезд, также можно ожидать существование корональных выбросов массы (СМЕ), связанных со вспышечной активностью. Для оценки свойств СМЕ может быть использована эмпирическая зависимость между энергией вспышки и массой СМЕ (Aarnio et al. 2012, Günther et al. 2020). Зависимость может быть применима к объектам с энергией вспышек до 10^{38} эрг, что соответствует массе СМЕ до 10^{22} г. Поскольку зависимость из работы Aarnio et al. (2012) была установлена по измерениям энергии вспышек в рентгеновском диапазоне спектра, мы,

аналогично Günther et al. (2020), будем использовать измененное соотношение, в котором рассматривается болометрическая энергия вспышки. Применение зависимости к данным для ET Dra по зарегистрированной нами вспышке привело к выводу о том, что для этой звезды диапазон изменений величины массы возможных СМЕ составляет от 3.9×10^{22} г до 5.8×10^{22} г. Отметим, что эта величина существенно выше, чем наблюдаемая для Солнца, и сопоставима с максимальными значениями, представленными в статьях Oláh et al. (2021) и Günther et al. (2020). Полученная оценка не прямо указывает на величину массы СМЕ, сопровождающую данную вспышку, но дает представление о ее возможных характерных величинах.

3. ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ

Как указывалось, ранее выполненные фотометрические наблюдения ET Dra были фрагментарными и нерегулярными (см. Jetsu et al. (1992)). Полученные нами данные, в первую очередь наблюдения в CAO РАН (сет 3) продолжительностью более 2200 дней, открыли возможность для анализа долгосрочной переменности блеска звезды. На рис. 5 показаны наиболее обширные на данный момент и практически непрерывные данные об изменении блеска ET Dra. Данные сетов 1 и 2 полностью согласуются с ними, но не представлены на диаграмме, поскольку они полностью попадают во временной интервал сета 3 и не дополняют его. При рассмотрении рис. 5 наиболее очевидной особенностью является уменьшение блеска звезды. Изменения блеска носили сложный

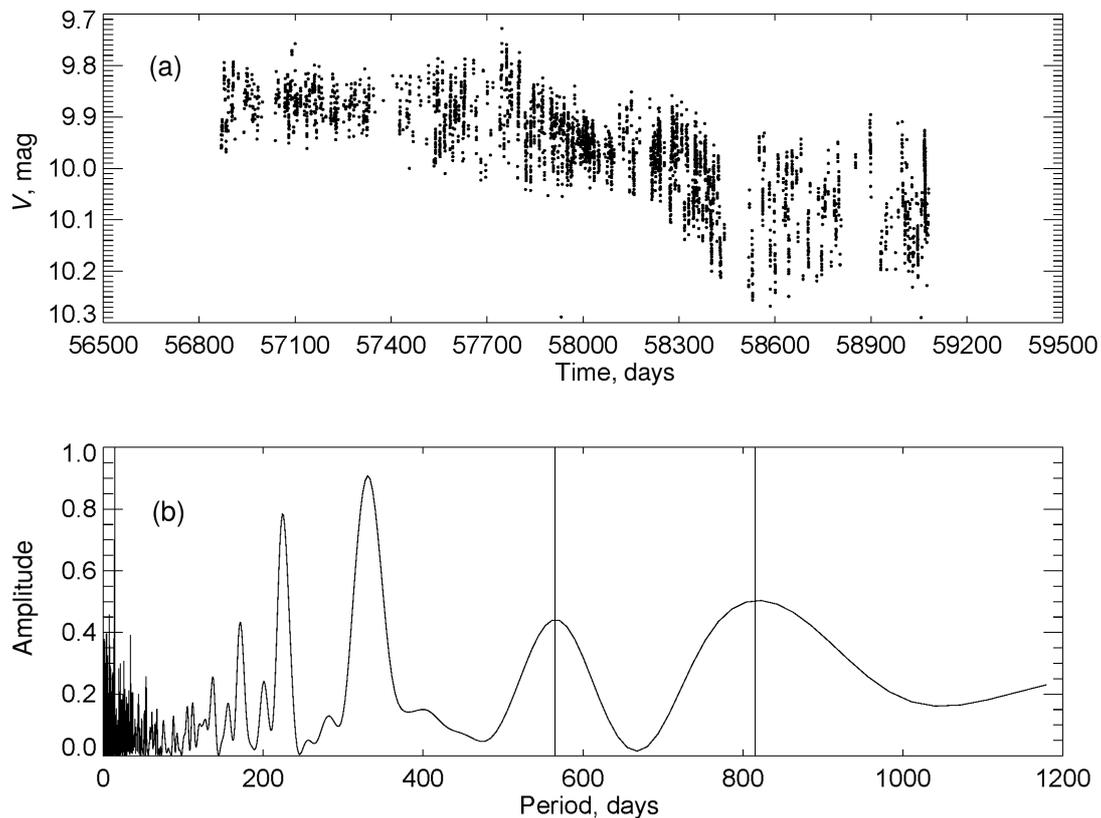


Рис. 5. (a) — кривая блеска ET Dra в фильтре V , основанная на наблюдениях сета 3 (ось абсцисс — HJD 2400000+). (b) — спектр мощности в диапазоне периодов от 0 до 1200 суток. Два пика, соответствующие периодам 580 и 810 суток, отмечены вертикальными линиями.

характер — во-первых, до HJD 2457500 блеск звезды был в среднем постоянным; в интервале HJD 2457500–2458500 наблюдалось уменьшение блеска примерно на $0^{\text{m}}2$, затем блеск оставался примерно на том же уровне. Следует отметить, что во время наблюдений HJD 2447813–2448230, проведенных Jetsu et al. (1992), звезда была значительно ярче; ее блеск в фильтре V , с учетом вращательной модуляции, составлял $9^{\text{m}}55$ – $9^{\text{m}}80$. Помимо указанных изменений, можно предположить наличие более коротких по продолжительности циклических изменений блеска.

На рис. 5b приведен спектр мощности в интервале периодов 0–1200 суток. Доминирующим является пик соответствующий периоду в 14^{d} (период вращения звезды). Следующим по амплитуде является пик для периода близкого к 360 суткам — годовой скважности наблюдений, пики в интервале менее одного года мы не рассматриваем. И лишь следующие два пика (580^{d} и 810^{d} , на рис. 4 они отмечены вертикальными линиями), вероятно, имеют отношение к циклическим изменениям блеска. Соответствующие циклы в 580^{d} и 810^{d} (1.55 лет и 2.23 лет соответственно) сопоставимы по величине

с циклами активности FK Com в 2.2, 5.5, 9.2 лет (Savanov et al. 2019a). Требуются дальнейшие наблюдения для их уточнения и для определения более длительных циклов. Сейчас можно лишь высказать предположение о том, что наблюдаемое нами ослабление блеска возможно связано с циклическостью более 2000–3000 суток.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты новых фотометрических наблюдений хромосферно-активной звезды ET Dra, выполненных с использованием трех инструментов — роботизированного телескопа в Звенигородской обсерватории ИНАСАН, девятиканальной широкополосной системы роботизированного мониторинга Mini-MegaTORTORA SAO РАН и телескопа FRAM-ORM на Ла Пальме, Испания. Были проведены исследования изменений формы кривой блеска, вызванных вращательной модуляцией звезды с пятнами на поверхности, а также исследования долговременной переменности блеска звезды. Во время наблюдений с помощью телескопа на Ла Пальме было зафиксировано увеличение блеска звезды во всех диапазонах, что можно интерпретировать как вспышку.

Независимое определение P_{phot} было выполнено на основе трех доступных нам сетов наблюдений. Была изучена вспышка, произошедшая вблизи HJD 2459044. Вспышка проявляется во всех трех диапазонах. Амплитуда вспышки максимальна в полосе B и минимальна в полосе R . Амплитуды составляют порядка $0^{\text{m}}50$, $0^{\text{m}}25$ и $0^{\text{m}}22$, а эквивалентные длительности вспышки равны 4500 с, 2000 с и 1570 с в диапазонах B , V и R соответственно. Энергия, выделяемая при вспышке, составляет 2.8×10^{37} , 1.9×10^{37} и 1.5×10^{37} эрг в диапазонах B , V и R соответственно. Полученный нами результат по вспышечной активности ET Dra сравнивается с данными, опубликованными в литературе для звезд-гигантов. Применение эмпирической зависимости между энергией вспышки и массой СМЕ для ET Dra для зарегистрированной вспышки привело к выводу, что для этой звезды возможные величины массы СМЕ варьируются от 3.9×10^{22} г до 5.8×10^{22} г. Полученные нами данные позволили проанализировать многолетнюю переменность блеска ET Dra. Мы обнаружили, что амплитуда переменности блеска увеличивалась к концу интервала наблюдений, и в течение рассматриваемого интервала времени было зарегистрировано общее ослабление блеска. Были получены указания на то, что возможны циклы в 1.55 и 2.23 лет. Мы предполагаем, что наблюдаемое долгосрочное ослабление блеска может быть связано с циклом, превышающим 2000–3000 суток.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

И. С. Саванов и Г. М. Бескин выражают благодарность Министерству науки и высшего образования Российской Федерации за поддержку в рамках гранта № 075-15-2020-780 (13.1902.21.0039) для исследований, опубликованных в разделе 3. С. В. Карпов благодарит за поддержку Европейский структурный и инвестиционный и Чешское министерство образования, молодежи и спорта (Проект CoGraDS-CZ.02.1.01/0.0/0.0/15003/0000437) (раздел 2). В. Б. Пузин благодарит за поддержку РФФИ Грант № 21-52-53022 ГФЕН-а (раздел 4). Эта работа поддержана в рамках государственного контракта Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук в ее части, озаглавленной «Проведение фундаментальных исследований». Работа частично выполнена в соответствии с Государственной программой повышения конкурентоспособности Казанского федерального университета.

БЛАГОДАРНОСТИ

В настоящей работе использовались сведения из астрономической базы данных SIMBAD и архива космической миссии TESS.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. N. Aarnio, S. P. Matt, and K. G. Stassun, *Astrophys. J.* **760** (1), id. 9 (2012).
2. C. W. Ambruster, F. C. Fekel, E. F. Guinan, and B. J. Hrivnak, *Astrophys. J.* **479** (2), 960 (1997).
3. G. M. Beskin, S. V. Karpov, A. V. Biryukov, et al., *Astrophysical Bulletin* **72** (1), 81 (2017).
4. B. W. Bopp and R. E. Stencel, *Astrophys. J.* **247**, L131 (1981).
5. R. E. Gershberg, *Aktivnost' solnechnogo tipa zvezd glavnoi posledovatel'nosti*, 3th ed. (Anticva, Simferopol, 2015) [in Russian].
6. M. N. Günther, Z. Zhan, S. Seager, et al., *Astron. J.* **159**, id. 60 (2020).
7. T. Hackman, J. Pelt, M. J. Mantere, et al., *Astron. and Astrophys.* **553**, id. A40 (2013).
8. P. Janeček, J. Ebr, J. Juryšek, et al., in *European Physical J. Web Conf.*, vol. 197, id. 02008 (2019).
9. L. Jetsu, R. Anttila, E. Dmitrienko, et al., *Astron. and Astrophys.* **262**, 188 (1992).
10. L. Jetsu, J. Pelt, and I. Tuominen, *Astron. and Astrophys.* **278**, 449 (1993).
11. S. Karpov, G. Beskin, A. Biryukov, et al., *Astronomische Nachrichten* **339** (5), 375 (2018).
12. Z. Kővári, K. Oláh, M. N. Günther, et al., *Astron. and Astrophys.* **641**, id. A83 (2020).
13. H. Korhonen, S. V. Berdyugina, T. Hackman, et al., *Astron. and Astrophys.* **476**, 881 (2007).
14. K. Oláh, Z. Kővári, M. N. Günther, et al., *Astron. and Astrophys.* **647**, id. A62 (2021).
15. V. B. Puzin, I. S. Savanov, and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **61** (8), 693 (2017).
16. V. B. Puzin, I. S. Savanov, I. I. Romanyuk, et al., *Astrophysical Bulletin* **69**, 321 (2014).
17. I. Savanov, S. Naroenkov, M. Nalivkin, and A. Shugarov, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso* **49** (2), 415 (2019a).
18. I. S. Savanov, *Astronomy Letters* **46** (12), 831 (2020).
19. I. S. Savanov, S. A. Naroenkov, M. A. Nalivkin, and E. S. Dmitrienko, *Astrophysics* **62** (3), 313 (2019b).
20. I. S. Savanov, S. A. Naroenkov, M. A. Nalivkin, et al., *Astrophysical Bulletin* **73** (3), 344 (2018).
21. I. S. Savanov, S. A. Naroenkov, M. A. Nalivkin, et al., *Astronomy Letters* **45** (9), 602 (2019c).
22. J. Sikora, J. Rowe, S. B. Howell, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **496** (1), 295 (2020).
23. J. L. Tonry, L. Denneau, H. Flewelling, et al., *Astrophys. J.* **867** (2), id. 105 (2018).
24. T. Van Doorselaere, H. Shariati, and J. Debosscher, *Astrophys. J. Suppl.* **232** (2), id. 26 (2017).
25. H. Yang and J. Liu, *Astrophys. J. Suppl.* **241** (2), id. 29 (2019).

ET Dra Activity—FK Com Type Stars

**I. S. Savanov¹, S. V. Karpov^{2,3,4}, G. M. Beskin^{2,3}, A. V. Biryukov^{5,3}, S. F. Bondar^{6,†}, E. A. Ivanov^{2,6},
N. V. Lyapsina², A. V. Perkov⁶, V. V. Sasyuk³, S. A. Naroenkov¹, M. A. Nalivkin¹,
V. B. Puzin¹, and E. S. Dmitrienko⁵**

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

²Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

³Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, 420008 Russia

⁴Central European Institute for Cosmology and Fundamental Physics, Institute of Physics, Czech Academy of Sciences, Prague, 18221 Czech Republic

⁵Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

⁶Research and Production Corporation “Precision Systems and Instruments”, Moscow, 111024 Russia

We present new results of the study of ET Dra—a star of the FK Com type—based on observations carried out at the Zvenigorod Observatory of the Institute of Astronomy of RAS with the help of the FRAM-ORM telescope of the La Palma observatory (Spain) and the broadband optical monitoring system Mini-MegaTORTORA, located on the territory of the SAO RAS. We have studied changes in the shape of the light curve caused by the rotational modulation of a star with spots on its surface and the long-term variability of the star’s brightness. An independent determination of the rotation period of P_{phot} was carried out using all sets of observations available to us. The increase in the brightness of the star near HJD 2459044 during observations with the FRAM-ORM telescope in all three filters was interpreted by us as a stellar flare. Our flare energy estimates are 2.8×10^{37} , 1.9×10^{37} , and 1.5×10^{37} erg in the B , V , and R wavelength ranges, respectively. Observations with a duration of more than 2200 days, carried out at the SAO RAS, opened up the possibility of analyzing the long-term brightness variability of ET Dra. Evidence was found for the existence of cycles lasting 580 days and 810 days (1.55 and 2.23 years, respectively).

keywords: *stars: activity—stars: individual: FK Com*