

УДК 524.3-14 + 524.3375

Исследование вспышечной активности звезды – красного карлика EV Lac на основе оригинальных наблюдений и с использованием данных наземных и космических обзоров

А.А. Шляпников¹, М.А. Горбачев^{1,2}

¹ ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым
aas@crao.crimea.ru

² ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008, Россия
mgorbachev17@gmail.com

Поступила в редакцию 26 марта 2021 г.

Аннотация. Проблема энергетики вспышечной активности звезд-карликов в нижней части Главной последовательности диаграммы Герцшпрунга–Рассела актуальна в связи с обнаружением мощных вспышек (супервспышек) и возможностью оценки таких явлений на Солнце в прошлом и будущем. В статье приводится краткий исторический обзор оригинальных исследований EV Lac и описаны современные базы данных, содержащие информацию о фотометрических наблюдениях звезды. Основное внимание уделяется наблюдениям EV Lac обсерваторией TESS.

Приведены результаты анализа вспышечной активности звезды по данным проекта TESS. Продемонстрированы наиболее типичные вспышки. Исследована зависимость вспышечной активности EV Lac от фазы осевого вращения звезды. Проиллюстрирована зависимость числа вспышек от фазы и их энергии. Обозначен участок фазы кривой блеска EV Lac, содержащий вспышки с наибольшей энергией.

Ключевые слова: переменная звезда типа UV Кита – EV Lac, вспышечная активность, фазовая зависимость, энергия вспышек

1 Введение

EV Lac (BD+43 4305) – эруптивная переменная звезда – красный карлик, имеющая средний блеск в полосе $V = 10^m.26$ и спектральный тип $M4.0V$. По-видимому, первая публикация, где в списке объектов EV Lac указана как вспыхивающая звезда, вышла в 1952 году (Lippincott, 1952). Хотя вспышек в данном исследовании у звезды зафиксировано не было, она привлекла к себе повышенное внимание наблюдателей.

Объект является одним из наиболее ярких представителей вспыхивающих звезд типа UV Кита и удобно расположен на небе при склонении около 44 градусов, поэтому значительное время исследований уделяется данной звезде в Крымской астрофизической обсерватории (КраО). Большой объем информации посвящен EV Lac в статье “Вспыхивающие красные карлики и звездная активность солнечного типа – полвека исследований в Крымской астрофизической обсерватории” (Гершберг, 2017) и в монографии “Физика звезд средних и малых масс с активностью солнечного типа” (Гершберг и др., 2020).

Исследования EV Lac проводятся в КраО с начала 60-х годов прошлого века (Чугайнов, 1965). Статистика вспышечной активности звезды была опубликована в работе Р.Е. Гершберга и П.Ф. Чугайнова (1969). В том же году вышла статья о фотоэлектрических наблюдениях вспыхивающих звезд, в которой была описана фотометрия вспышек EV Lac в четырех полосах спектра U, H_{α} , G, V (Чугайнов, 1969). Спектроколориметрическим наблюдениям вспышек звезды, выполненным в КраО, была посвящена статья Чугайнова (1972). В том же году было сообщено о наблюдавшейся в обсерватории поляризации вспышки EV Lac (Шаховской, Ефимов, 1972).

Впервые наблюдения звезды с высоким временным разрешением в оптическом диапазоне и на частоте 240 МГц были выполнены в КрАО одновременно с 76-м радиотелескопом обсерватории Джодрелл-Бэнк (Великобритания) в 1961–1964 годах (Lovell, Chugainov, 1964).

Совместно с учеными из САО и ГАО в КрАО была разработана методика скоростной фотометрии и колориметрии вспыхивающих звезд, в том числе и для наблюдений EV Lac (Shvartsman et al., 1988; Zhilyaev et al., 2007).

Поиску циклической активности EV Lac была посвящена работа Алексева и Кожевниковой (2017), где высказано предположение о возможной цикличности с характерным временем около 30 лет.

На протяжении 1967–1975 годов наблюдатели КрАО принимали участие в международных кооперативных программах по наблюдению вспыхивающих звезд, в том числе и EV Lac (Gershberg, Shakhovskaya, 1983). Подобные проекты были продолжены и в 80-е, и в 90-е годы (Бердюгин и др., 1995; Alekseev et al., 1994, 2001). По данным, полученным в результате наблюдательных кампаний, удалось обнаружить девять мощных вспышек с амплитудами $\Delta U = 1^m.8$ (Alekseev, Gershberg, 1997b).

В КрАО были выполнены первые оценки параметров хромосферы в спокойном и возбужденном состояниях, открыто явление типа выброса массы по расщеплению линии ионизованного гелия во время сильной вспышки (Abranin et al., 1998).

По-видимому, в КрАО были выполнены первые наблюдения с целью поиска корреляции между вспышками EV Lac в оптическом и гамма-диапазонах спектра (Alekseev et al., 1995). Также изучалась возможность исследования вспышечной активности в оптическом и дециметровом диапазонах спектра (Abranin et al., 1994). Оптическая вспышка EV Lac общей продолжительностью в 2.4 секунды с высокой степенью достоверности была зарегистрирована 24 февраля 1984 года на космической станции АСТРОН (Гершберг, Петров, 1986).

Большое внимание в КрАО уделялось моделированию эмиссионного спектра EV Lac (Алексеев и др., 2003), а также анализу покрытия ее фотосферы пятнами в рамках предложенной зональной модели запятненности звезд (Alekseev, Gershberg, 1997a).

2 Наблюдения EV Lac по данным наземных обзоров

Переход от традиционного мониторинга звезды к изучению ее поведения по современным базам данных обусловлен обширным наблюдательным материалом, появившимся в последние десятилетия в результате проведения различных обзорных программ. Однако основной проблемой наблюдений с короткофокусными объективами в широкоугольных обзорах неба является невысокая разрешающая способность инструментов. Учитывая, что на расстоянии около 25 угловых секунд от EV Lac находится объект AG+44 2118 ($V = 12^m.00$, спектральный тип G, двойная либо кратная система), есть вероятность, что при фотометрии объекты могут быть неразрешенными. То есть блеск EV Lac будет увеличиваться за счет неразрешенного компонента AG+44 2118 на более чем $0^m.2$. В обзорах SDSS DR12¹, CTRS DR2², KELT³, HATNet⁴ и OGLE⁵ не были найдены данные для EV Lac.

2.1 AAVSO

В базе данных AAVSO⁶ (The American Associations of Variable Stars Observers) с 1 января 1973 г. (UTC 23:45:01) по 31 декабря 2019 г. (UTC 01:00:00) содержится информация о 1894 наблюдениях EV Lac. Из них: 1806 – визуальные; 51 – в полосе V (CCD); 7 – в полосе B (CCD); 30 – полученные с CCD без фильтра и 16 визуальных наблюдений, на которых объект выглядит слабым.

Визуальные наблюдения, представленные в AAVSO (рис. 1), имеют невысокую точность, однако могут служить, учитывая значительную продолжительность ряда, дополнением при изучении трендов в долговременной переменности EV Lac на интервалах в несколько десятилетий.

¹ <https://www.sdss.org/dr12/>

² <http://nesssi.cacr.caltech.edu/DataRelease/>

³ <https://keltsurvey.org/>

⁴ <https://hatnet.org/>

⁵ <http://ogle.astrouw.edu.pl/>

⁶ <https://app.aavso.org/>

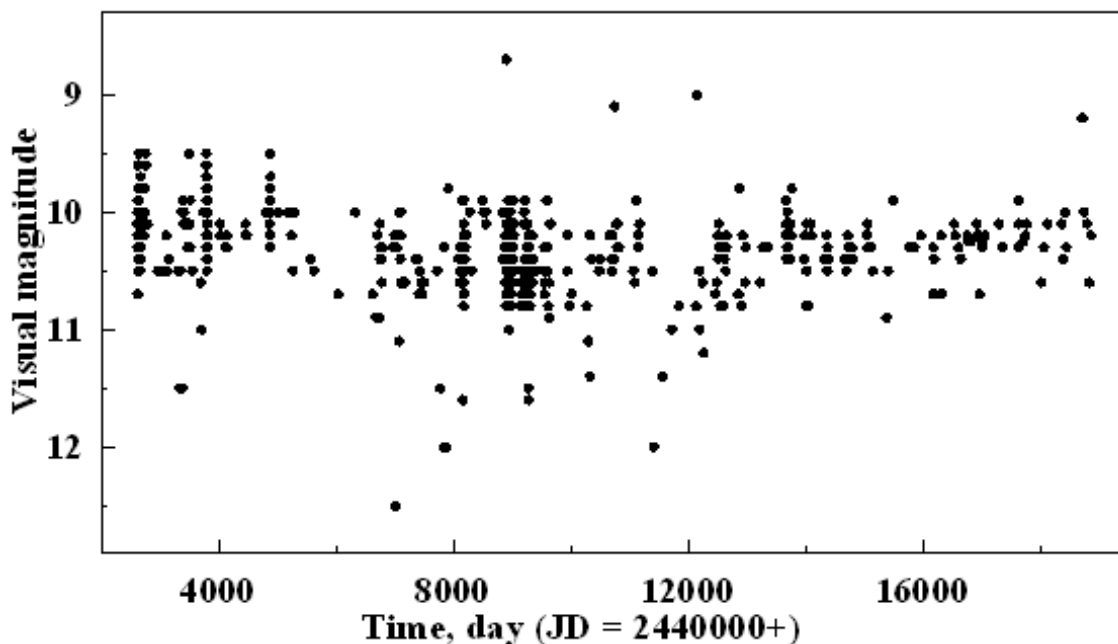


Рис. 1. Визуальные наблюдения EV Lac по данным AAVSO

2.2 SuperWASP

Система камер SuperWASP⁷, состоящая из 200-мм телеобъективов с разрешением 13.7 угловых секунд на пиксель, выполняет обзор всего неба (северное и южное полушария) за 40 минут. В диапазоне изменения блеска EV Lac SuperWASP обеспечивает точность фотометрии лучше 1% (Pollacco et al., 2006). В базе данных SuperWASP в радиусе 15 угловых секунд от EV Lac содержится 3 объекта, которые имеют обозначение в каталоге 1SWASP как J224649.73+442002.3, J224650.28+442015.2 и J224651.49+441955.1. Кривые блеска данных объектов, состоящие из ~ 6000 измерений каждый и полученные с трех камер, включая EV Lac, имеют значительное сходство и демонстрируют изменения блеска от 0.2 до 2 звездных величин. Учитывая, что уклонение в блеске идет как в сторону больших звездных величин, так и меньших, невозможно интерпретировать данные изменения как вспышечную активность или резкое падение блеска. Так как амплитуда изменения блеска, связанная с осевым вращением, составляет около 0.03 звездной величины (п. 3.5), то дальнейшее использование данных SuperWASP требует более детального анализа.

2.3 ASAS-SN

Проект ASAS-SN⁸ включает 24 обсерватории, установленные по всему миру. Это системы из 14 телескопов, имеющих апертуру 14 сантиметров и регистрирующих объекты в диапазоне от 9 до 18 звездной величины в полосе V с разрешением ~ 8 угловых секунд на пиксель (Kochanek et al., 2017).

Разрешение ASAS-SN позволяет разделить данные EV Lac и AG+44 2118. EV Lac наблюдалась с HJD 2457007.73718 по 2458434.83892. Всего выполнено 264 наблюдения в полосе V. Звезда демонстрирует убывание блеска от 10.75 до 11.32 звездной величины, не проявляя при этом значительной вспышечной активности. AG+44 2118 изменяет свой блеск от 11.95 до 12.01 звездной величины и может служить звездой сравнения для EV Lac при выяснении особенностей изменения ее блеска в наблюдаемый период.

⁷ <https://wasp.cerit-sc.cz/>

⁸ <http://www.astronomy.ohio-state.edu/asassn/index.shtml>

2.4 KWS

Автоматизированная система представляет сочетание короткофокусных объективов 50 мм (с 2010 по 2012 г.) и 105 мм (с 2012 г. по настоящее время), оба с относительным отверстием $F/2.0$. Поле зрения телескопов больше $5.0^\circ \times 7.5^\circ$. Экспозиции 30 и 15 секунд в первом и втором варианте соответственно. Для объектов со звездной величиной в полосе V от 5^m до 11^m достигается фотометрическая точность 5% или меньше (Maehara, 2014).

EV Lac и AG+44 2118 представлены в базе данных KWS⁹ независимо, несмотря на низкое разрешение оптической системы. EV Lac наблюдалась с 14 августа 2011 года по 14 ноября 2020 года в полосе V – 806 измерений блеска, в полосе Ic с 11 июля 2013 года по 14 ноября 2020 года – 792 измерения и в полосе B два измерения 10 сентября 2015 года. AG+44 2118 с 14 августа 2011 года по 9 ноября 2020 года в полосе V – 170 измерений.

На протяжении около 10 лет EV Lac не демонстрирует значительных изменений блеска как в полосе V, так и Ic. Незначительные колебания в пределах 0.2 звездной величины в полосе V с периодом, близким к 3 годам, могут при дополнительном исследовании быть интерпретированы как циклические изменения блеска. У AG+44 2118 подобные колебания блеска не наблюдаются.

В заключение рассмотрения наблюдений EV Lac по данным наземных обзоров можно отметить, что небольшой ряд оценок блеска (68) объекта был выполнен в проекте NSVS (Wozniak et al., 2004). Звезда не показывает значительных изменений блеска в полосе R ($9^m.02$ – $9^m.16$) на протяжении более 130 дней с MJD 51353.284926 по 51486.127633.

3 Наблюдения EV Lac по данным космических обсерваторий

До запуска обсерватории HIPPARCOS¹⁰ длительные обзоры в оптическом диапазоне спектра для объектов всего неба не проводились. Аналогичная ситуация сложилась и до запуска рентгеновской обсерватории ROSAT¹¹. В конце XX – начале XXI века была запущена целая серия орбитальных обсерваторий, в том числе не оптического диапазона (в основном гамма и рентгеновского), но снабженных оптическими телескопами для поиска кандидатов на отождествление с вновь открываемыми источниками и транзитными явлениями. В базах данных некоторых из них была обнаружена информация о EV Lac.

3.1 HIPPARCOS

За 37 месяцев наблюдений после запуска в 1989 году HIPPARCOS закаталогизировал более 2.5 миллиона объектов, которые вошли в каталог Tycho-2 (Hog et al., 2000). Для более миллиона объектов были получены временные ряды наблюдений (ESA, 1997).

Наблюдения EV Lac проводились с 27.12.1989 г. по 19.02.1993 г. на протяжении более трех лет (1154 дня). Всего было получено 248 оценок блеска в полосе H в диапазоне $9^m.89$ – $12^m.20$. Отметим, что основная масса оценок звездной величины находится в диапазоне 10^m – $10^m.5$, и лишь 7 оценок имеют меньший блеск. При этом наблюдаются минимум три импульсных события повышения блеска с амплитудой от 0.2 до 0.3 звездной величины от среднего значения по ряду.

3.2 ROSAT

Рентгеновская обсерватория проводила наблюдения с 1 июня 1990 года по 12 февраля 1999 года. По итогам работы спутника ROSAT был создан ряд каталогов, наиболее полный из которых был опубликован в 2016 году (Boller et al., 2016). Для EV Lac в этом каталоге имеется информация о двух сетах наблюдений, один из которых представляет собой ярко выраженную вспышку (рис. 2). Наблюдения были выполнены 11 июля 1990 года в UT = 13:19:52.0 и 21 декабря 1990 года в UT = 11:54:45.0.

⁹ <http://kws.cetus-net.org/~maehara/VSdata.py>

¹⁰ <https://www.cosmos.esa.int/web/hipparcos>

¹¹ <https://www.mpe.mpg.de/ROSAT>

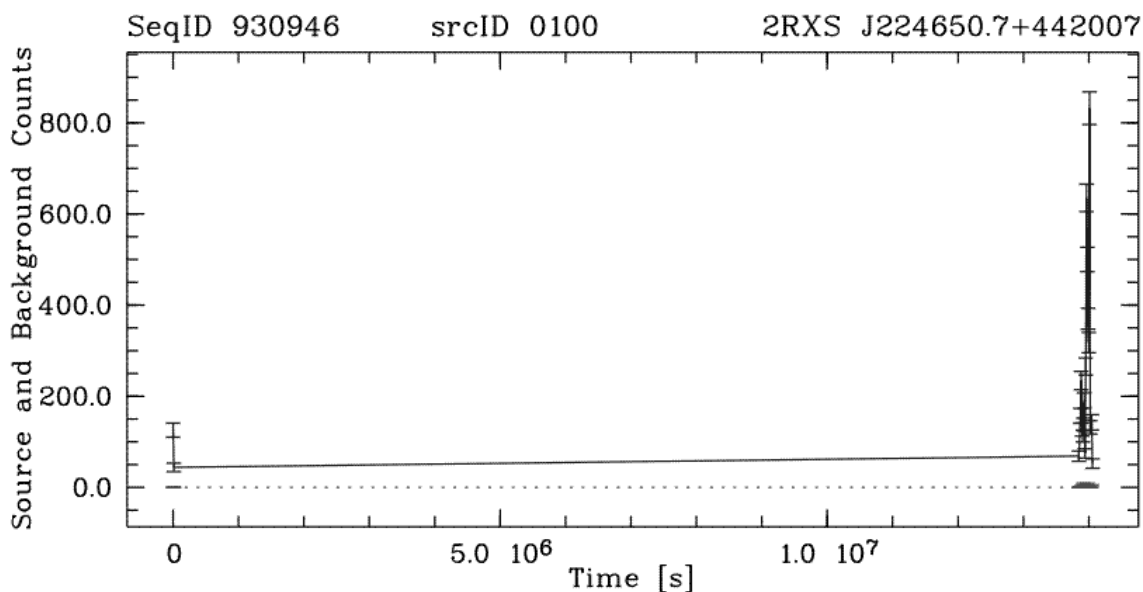


Рис. 2. Рентгеновская вспышка, зарегистрированная обсерваторией ROSAT у EV Lac. Уровень фона показан пунктирной линией

3.3 ASCA

Обсерватория ASCA¹² была выведена на орбиту 20 февраля 1993 года и завершила наблюдения 14 июля 2000 года. Наиболее полный каталог рентгеновских наблюдений ASCA содержит информацию о 1343 источниках, наблюдавшихся в период с мая 1993 года по декабрь 1996 года (Ueda et al., 2001). В 2000 году было сообщено об экстремальной рентгеновской вспышке с энергией $7 \cdot 10^{34}$ эрг, наблюдавшейся у EV Lac в период с 13 июля 1998 года UT = 06:10 по 15 июля 1998 года UT = 01:40 (Favata et al., 2000).

3.4 OMC INTEGRAL

Камера оптического мониторинга (OMC – Optical Monitoring Camera)¹³ на борту спутника INTEGRAL предназначена для наблюдения в оптической области спектра основных целей, исследуемых инструментами гамма- и рентгеновского диапазонов. Она имеет апертуру 50 мм и покрывает поле $5^\circ \times 5^\circ$. OMC может обнаруживать оптические источники ярче $V \sim 18^m$ из ранее подготовленного входного каталога (Domingo et al., 2003). Камера регистрирует источники от 7^m до $16^m - 17^m$ с точностью до 0.1 звездной величины.

EV Lac наблюдалась OMC в двух сетах: 20 ноября 2006 года в UT = 16:57:27 и 25 июля 2020 года в UT = 12:54:19. Всего было выполнено 21 измерение. В первом сете блеск объекта изменялся от $10^m.19$ до $10^m.23$ звездной величины, а во втором сете от $10^m.50$ до $10^m.61$. При этом отмечено, что объект плохо аппроксимировался PSF-функцией и центр изображения звезды отличался от координат объекта. Очевидно, что в данном случае, учитывая, что OMC является короткофокусной камерой, в поле измерения попадала звезда AG+44 2118.

3.5 TESS

На сегодняшний день TESS¹⁴ является наиболее продуктивной орбитальной обсерваторией, выполняющей обзор всего неба с временным разрешением 20 секунд и 2 минуты и длительностью ряда в одном сете наблюдений около 20 дней.

¹² <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/asca/>

¹³ <https://sci.esa.int/web/integral/-/30626-the-optical-monitoring-camera-omc>

¹⁴ <https://www.nasa.gov/tess-transiting-exoplanet-survey-satellite>

TESS (Ricker et al., 2015) оснащен четырьмя широкоугольными рефракторами с объективами апертурой 10 см и полем зрения $24^\circ \times 24^\circ$. В качестве детекторов у каждого из телескопов выступает ПЗС-матрица в 16.8 мегапикселей. Излучение регистрируется в спектральном диапазоне от 600 до 1000 нм. Входной каталог TESS (Stassun et al., 2019) содержит информацию о 1727987580 объектах.

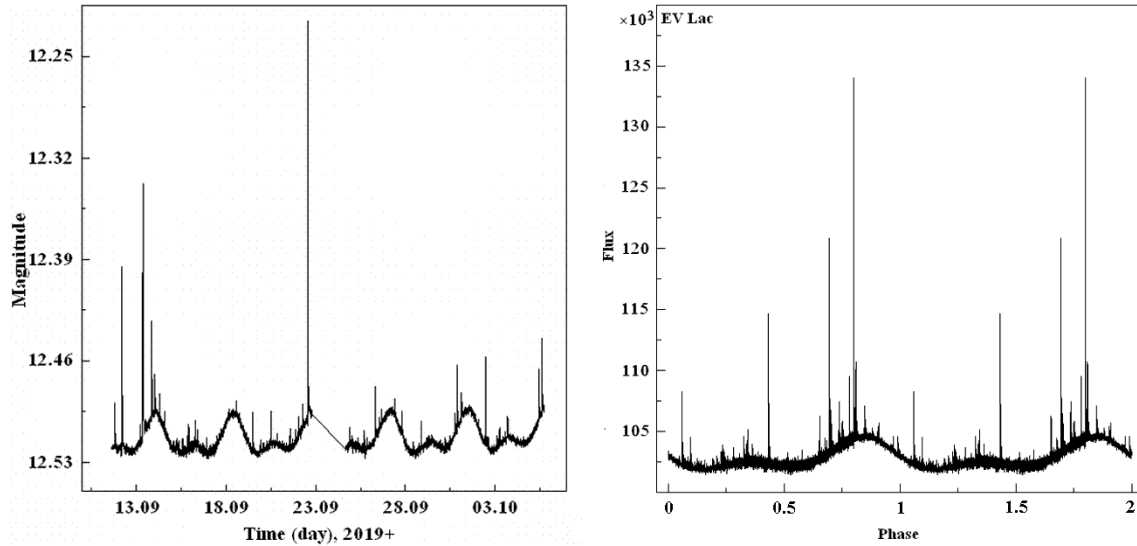


Рис. 3. На левой панели отображена кривая блеска EV Lac, построенная по данным TESS. Правая панель показывает свёртку наблюдаемого ряда с периодом $4^{\text{d}}.378$

Считая наиболее качественными и точными наблюдения, представляемые в обзоре TESS, нами были отобраны наблюдения EV Lac из базы данных этой космической обсерватории. Для выяснения статистических и динамических особенностей проявления вспышечной активности EV Lac были проанализированы ряды наблюдений этой звезды. Наблюдения проводились в течение 24 дней в период с 12 сентября по 6 октября 2019 года. Кривая блеска EV Lac, построенная по данным TESS показана на рисунке 3. Для анализа статистики вспышечной активности в зависимости от известного периода вращения звезды $4^{\text{d}}.378$ (Pettersen, 1980) была произведена свёртка наблюдаемого ряда с указанным периодом (Горбачев, Шляпников, 2020).

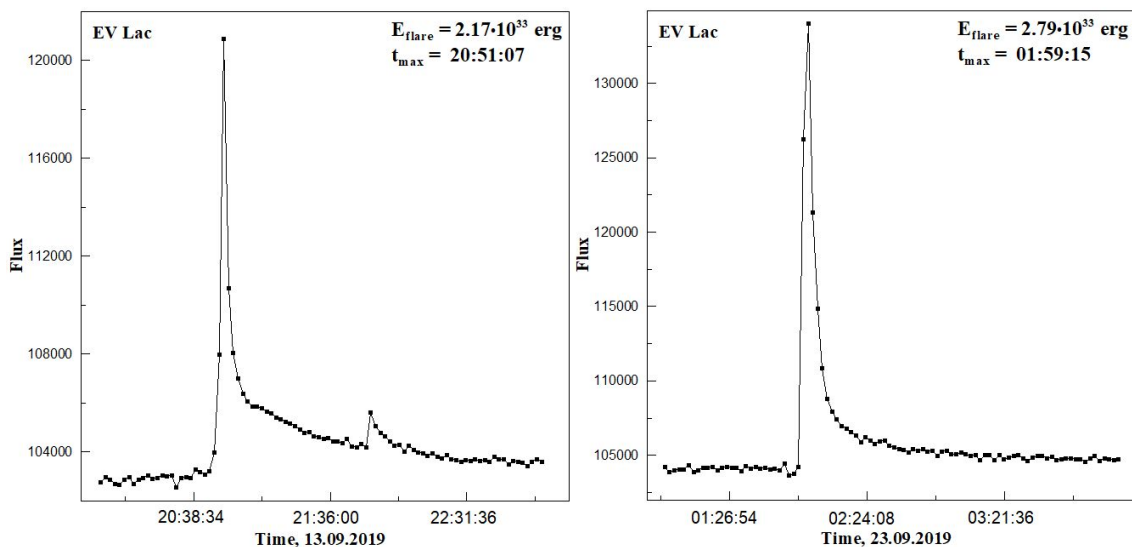


Рис. 4. Фрагменты кривой блеска EV Lac с обнаруженными вспышками. На рисунке указано время максимума вспышки и ее энергия

В таблице 1 из вышеуказанной статьи приведены значения вычисленной энергии для некоторых из вспышек, которые отождествлены по кривой блеска. Расчет энергии вспышек проводился согласно методике, описанной в работе [Shibayama et al. \(2013\)](#). Наиболее характерные для красных карликов по профилю вспышки иллюстрирует график 4. Рисунки 5 и 6, демонстрирующие стати-

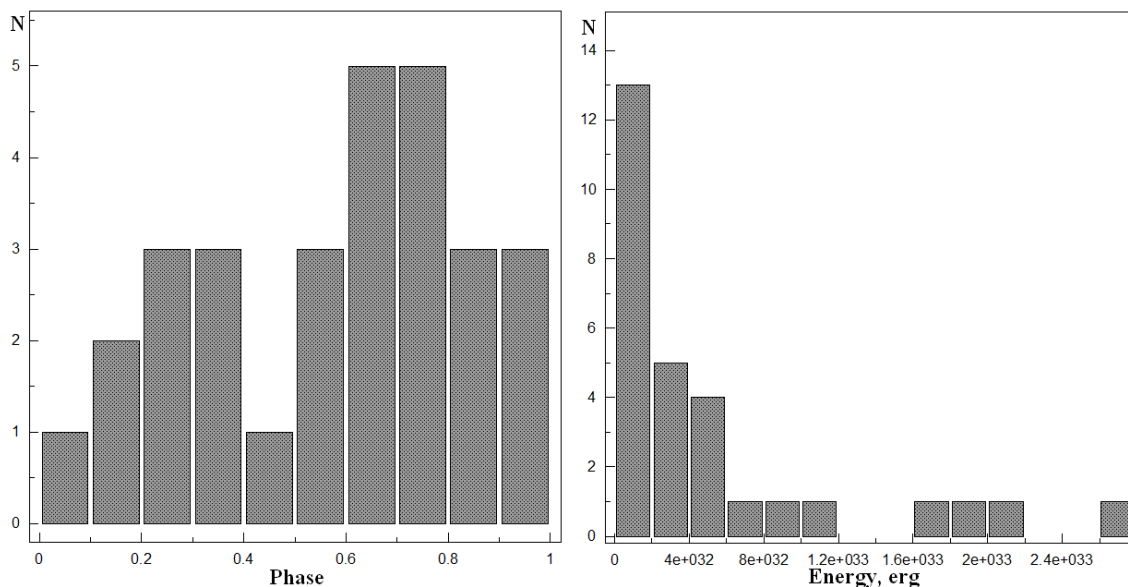


Рис. 5. Левая панель – гистограмма распределения числа вспышек от фазы. Гистограмма распределения вспышек в зависимости от энергии показана на правой панели

стические исследования вспышечной активности EV Lac, заимствованы из работы авторов ([Горбачев, Шляпников, 2020](#)). Как видно на изображении (рис. 5, левая панель), максимум распределения приходится на участок 0.6–0.8 фазы, что соответствует участку возрастания блеска объекта. Также можно заметить, что энергия большинства вспышек не превышает $2 \cdot 10^{32}$ эрг (рис. 5, правая панель). Распределение энергии вспышек от фазы представлено на рисунке 6, на котором видно, что вспыш-

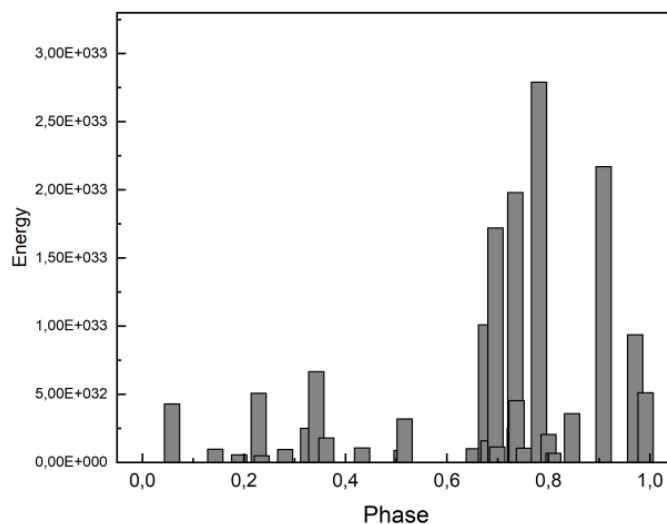


Рис. 6. Распределение энергии вспышек EV Lac от фазы по данным проекта TESS

ки с наибольшими энергиями приходятся на участок 0.7–0.9 фазы. Анализ кривой блеска EV Lac по данным TESS на протяжении 24 дней выявил 29 значимых вспышек активности звезды, для

которых была рассчитана их энергия, и значительно большее число вспышек с малой амплитудой. Наибольшая частота вспышек наблюдается на участке 0.6–0.8 фазовой кривой, а число вспышек с наибольшими энергиями на 0.7–0.9, т. е. с задержкой на 0.1 фазы. Интерес к использованию данных TESS для изучения вспышечной активности EV Lac, как и других вспыхивающих звезд (Горбачев, Шляпников, 2021), возрастает по мере накопления результатов наблюдений. Так, в работе Muheki et al. (2020), посвященной в основном анализу вспышек и их связи с корональными выбросами массы, также как и в данной статье, представлена информация по анализу вспышечной активности EV Lac по наблюдениям обсерватории TESS.

Авторы проанализировали 27 вспышек и посчитали их энергию. Однако отсутствие таблицы с результатами не позволило провести сравнительный анализ наших вычислений с опубликованными в статье Muheki et al. (2020). Основной же задачей, поставленной в цитируемой работе, было сравнение спектральных наблюдений EV Lac с высоким разрешением и проведение статистического анализа отношения потоков континуума в спектральной полосе TESS к энергиям, излучаемым в линиях H α , H β и He II 4686 Å. Ни в одной из вспышек авторы не обнаружили явного коронального выброса массы.

4 Заключение

В результате проделанной работы нами был выполнен краткий исторический обзор основных исследований EV Lac, которые проводились в Крымской астрофизической обсерватории и в сотрудничестве с коллегами из других организаций. Учитывая стремительное накопление данных в наземных и космических обзорных проектах, рассмотрены наиболее продуктивные из них, в частности те, которые содержат информацию о наблюдениях EV Lac. Особое внимание уделено данным о звезде, полученным орбитальной обсерваторией TESS. По результатам обработки этих наблюдений выполнен расчет энергии обнаруженных вспышек и проведен статистический анализ вспышечной активности EV Lac в зависимости от фазы вращения, вызванной наличием магнитоактивных образований.

Благодарности. В этом исследовании использовалась Астрофизическая информационная система NASA и инструмент доступа к каталогу VizieR, а также база данных SIMBAD, CDS (Страсбург, Франция). Первоначальное описание сервисов VizieR и SIMBAD было опубликовано в Ochsenbein et al. (2000); Wenger et al. (2000). Мы благодарим за возможность доступа к данным о EV Lac из международной базы данных AAVSO, предоставленным наблюдателями со всего мира и использованным в этом исследовании. В этой статье также используется информация из первого набора данных (WASP DR1) (Butters et al., 2010), предоставленного консорциумом WASP, а также вычислительные ресурсы и хранилища в CERIT Scientific Cloud, регистрационный номер CZ.1.05/3.2.00/08.0144, которым управляет Университет Масарика, Чешская Республика. Результаты, представленные в данной статье, получены при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-02-00191. Авторы глубоко благодарны Р.Е. Гершбергу и М.М. Кацовой за полезные замечания к тексту статьи, которые помогли улучшить ее содержание.

Литература

- Алексеев И.Ю., Барановский Э.А., Гершберг Р.Е. и др., 2003. Астрон. журн. Т. 80. С. 342. [Alekseev I.Yu., Baranovsky E.A., Gershberg R.E. et al. 2003. Astron. Rep., vol. 47, p. 312]
- Алексеев И.Ю., Кожевникова А.В., 2017. Астрон. журн. Т. 94. № 3. С. 240. [Alekseev I.Yu., Kozhevnikova A.V., 2017. Astron. Rep., vol. 61, no. 3, pp. 221–232.]
- Бердюгин А.В., Гершберг Р.Е., Ильин И.В. и др., 1995. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 89. С. 81. [Berdyugin A.V., Gershberg R.E., Il'in I.V., et al., 1995. Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ., vol. 89, pp. 81–93. (In Russ.)]
- Гершберг Р.Е. и Петров П.П., 1986. Вспыхивающие звезды и родственные объекты / Ред. Мирзоян Л.В. Ереван: Изд-во АН Армянской ССР. С. 37. [Gershberg R.E., Petrov P.P., 1986. In Mirzoyan L.V. (Ed.), Flare stars and related objects. Yerevan: Publishing house of the Academy of Sciences of the Armenian SSR, p. 37. (In Russ.)]
- Гершберг Р.Е., Чугайнов П.Ф., 1969. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 40. С. 7. [Gershberg R.E., Chugainov P.F., 1969. Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ., vol. 40, pp. 7–25. (In Russ.)]

- Гершберг Р.Е., 2017. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 113. № 1. С. 36. [Gershberg R.E., 2017. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 113, iss. 1, pp. 36–77. (In Russ.)]
- Гершберг Р.Е., Клиорин Н.И., Пустильник Л.А., Шляпников А.А., 2020. Физика звезд средних и малых масс с активностью солнечного типа. Москва: ФИЗМАТЛИТ. [Gershberg R.E., Kliorin N.I., Pustil'nik L.A., Shlyarnikov A.A., 2020. *Physics of stars of medium and small masses with solar-type activity*. Moscow: FISMATLIT. (In Russ.)]
- Горбачев М.А., Шляпников А.А., 2020. 24-я Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. Труды. СПб. С. 73. [Gorbachev M.A., Shlyarnikov A.A., 2020. 24th All-Russian Annual Conference on Solar Physics, Proceedings, SPb, pp. 73–76. (In Russ.)]
- Горбачев М.А., Шляпников А.А., 2021. 25-я Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. Труды. СПб. С. 97. [Gorbachev M.A., Shlyarnikov A.A., 2021. 25th All-Russian Annual Conference on Solar Physics, Proceedings, SPb, pp. 97–100. (In Russ.)]
- Чугайнов П.Ф., 1965. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 33. С. 215. [Chugainov P.F., 1965. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 33, pp. 215–225. (In Russ.)]
- Чугайнов П.Ф., 1969. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 40. С. 33. [Chugainov P.F., 1969. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 40, pp. 33–38. (In Russ.)]
- Чугайнов П.Ф., 1972. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 44. С. 3. [Chugainov P.F., 1972. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 44, pp. 3–10. (In Russ.)]
- Шаховской Н.М., Ефимов Ю.С., 1972. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 45. С. 111. [Shakhovskoy N.M., Efimov Yu.S. *Izv.*, 1972. *Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 45, pp. 111–117. (In Russ.)]
- Abranin E.P., Alekseev I.Yu., Bazelyan L.L., et al. 1994. *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel*, vol. 10, no. 4, pp. 70–77.
- Abranin E.P., Alekseev I.Yu., Avgoloupis S., 1998. *Astron. Astrophys. Trans.*, vol. 17, p. 221.
- Alekseev I.Yu., Gershberg R.E., Ilyin I.V., et al., 1994. In Jean-Pierre Caillault (Ed.), *Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun*. Proceedings of the 8th Cambridge Workshop, San Francisco: ASP, vol. 64, p. 345.
- Alekseev I.Yu., Chalenko N.N., Fomin V.P., et al., 1995. In Iucci N. and Lamanna E. (Eds), 24th International Cosmic Ray Conference. International Union of Pure and Applied Physics, Rome, Italy, vol. 2, p. 389.
- Alekseev I.Y., Gershberg R.E. 1997a. *Astron. Rep.*, vol. 41, pp. 207–214.
- Alekseev I.Yu., Gershberg R.E., 1997b. In Asteriadis G., Bantelas A., Contadakis M.E., Katsambalos K., Papadimitriou A., Tziavos I.N. (Eds), *The Earth and the Universe*. Aristotle Univ. of the Thessaloniki, p. 33.
- Alekseev I.Yu, Antov A.P., Avgoloupis S.J., et al., 2001. *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel*, vol. 17, no. 2, p. 147.
- Boller T., Freyberg M.J., Truemper J., et al., 2016. *Astron. Astrophys.*, vol. 588, id. A103.
- Butters O.W., West R.G., Anderson D.R., et al., 2010. *Astron. Astrophys.*, vol. 520, id. L10.
- Domingo A., Caballero M.D., Figueras F., et al., 2003. *Astron. Astrophys.*, vol. 411, p. L281.
- ESA, 1997. *The Hipparcos and Tycho catalogues*. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA Hipparcos Space Astrometry Mission, Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, vol. 1200.
- Favata F., Reale F., Micela G., et al., 2000. *Astron. Astrophys.*, vol. 353, pp. 987–997.
- Gershberg R.E., Shakhovskaya N.I., 1983. *Astrophys. Space Sci.*, vol. 95, pp. 235–253.
- Hog E., Fabricius C., Makarov V.V., et al., 2000. *Astron. Astrophys.*, vol. 355, pp. L27–L30.
- Kochanek C.S., Shappee B.J., Stanek K.Z., et al., 2017. *Publ. Astron. Soc. Pacific*, vol. 129, iss. 980, p. 104502.
- Lippincott S.L., 1952. *Astrophys. J.*, vol. 115, p. 582.
- Lovell B., Chugainov P.F., 1964. *Nature*, vol. 203, p. 1213.
- Maehara H., 2014. *J. Space Sci. Inform. Japan*, vol. 3, pp. 119–127.
- Muheki P., Guenther E.W., Mutabazi T., et al., 2020. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, vol. 499, iss. 4, pp. 5047–5058.
- Ochsenbein F., Bauer P., Marcout J., 2000. *Astron. Astrophys. Suppl.*, vol. 143, p. 23.
- Pettersen B.R., 1980. *Astron. J.*, vol. 85, pp. 871–874.
- Pollacco D.L., Skillen I., Collier Cameron A., et al., 2006. *Publ. Astron. Soc. Pacific*, vol. 118, iss. 848, pp. 1407–1418.
- Ricker G.R., Winn J.N., Vanderspek R., et al., 2015. *J. Astron. Telesc. Instrum. Syst.*, vol. 1, id. 014003.

- Shibayama T., Maehara H., Notsu S., et al., 2013. *Astrophys. J. Suppl.*, vol. 209, iss. 1, id. 5.
- Shvartsman V.F., Beskin G.M., Gehrshberg R.E., et al., 1988. *Pis'ma Astron. Zurn.*, vol. 14, pp. 233–239.
- Stassun K.G., Oelkers R.J., Paegert M., et al., 2019. *Astron. J.*, vol. 158, iss. 4, id. 138, p. 21.
- Ueda Y., Ishisaki Y., Takahashi T., et al., 2001. *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, vol. 133, iss. 1, pp. 1–52.
- Wenger M., Ochsenbein F., Egret D., et al., 2000. *Astron. Astrophys. Suppl.*, vol. 143, pp. 9–22.
- Wozniak P.R., Vestrand W.T., Akerlof C.W., et al., 2004. *Astron. J.*, vol. 127, iss. 4, pp. 2436–2449.
- Zhilyaev B.E., Romanyuk Ya.O., Svyatogorov O.A., et al., 2007. *Astron. Astrophys.*, vol. 465, iss. 1, pp. 235–240.

Investigation of flare activity of the red dwarf star EV Lac based on original observations and using data from ground-based and space surveys

A.A. Shlyapnikov¹, M.A. Gorbachev^{1,2}

¹ Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409
aas@craocrimea.ru

² Kazan (Volga region) Federal University, Kazan 420008, Russia
mgorbachev17@gmail.com

Abstract. The problem of energetics of flare activity of dwarf stars in the lower main sequence of the Hertzsprung-Russell diagram is relevant in the context of the detection of powerful flares (superflares) and the possibility of assessing such phenomena on the Sun in the past and in the future. A brief historical review of the EV Lac original researches is presented and modern databases containing information on photometric observations of the star are described. The main attention is paid to the observations of EV Lac made by the TESS observatory.

Results of the analysis of flare activity of the star according to the data of the TESS project are presented. The most typical flares have been demonstrated. The dependence of flare activity of EV Lac on the phase of its axial rotation has been studied. The dependence of the number of flares on the phase and their energy is illustrated. The segment of the phase of the EV Lac light curve, which contains flares with the highest energies, is indicated.

Key words: UV Cet variable star — EV Lac, flare activity, phase dependence, flare energy