

Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 118, № 2, 28–33 (2022)

УДК 524.3-14 + 524.337

Поиск оптических вспышек у рентгеновского транзиента EXO 040830-7134.7

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 5 ноября 2021 г.

Аннотация. В работе представлен краткий обзор исследований EXO 040830-7134.7 с момента открытия рентгеновского транзиента. Анализируются данные его наблюдений в рентгеновском и оптическом диапазонах спектра. В результате обработки кривых блеска и путем визуального контроля обнаружено более 30 значительных вспышек. Зафиксирована максимальная энергия вспышки 10^{34} эрг. Публикация проиллюстрирована изображениями с наиболее характерными вспышками.

Ключевые слова: рентгеновский транзиент, красный карлик, оптические вспышки

1 Введение

Впервые о рентгеновском источнике EXO 040830-7134.7 было сообщено в статье [van der Woerd et al. \(1989\)](#). С помощью телескопа низких энергий орбитальной рентгеновской обсерватории EXOSAT Европейского космического агентства в течение двух лет было проведено 30 наблюдений этого источника, что на тот момент являлось наиболее длительными рентгеновскими наблюдениями одной звезды спектрального типа dMe. Во время двух наблюдений EXO 040830-7134.7 был почти в 3 раза ярче среднего значения рентгеновской светимости. Кроме того, во время одного наблюдения было обнаружено, что источник в 7 раз ярче среднего значения в течение как минимум двух часов. Если предположить, что увеличение светимости связано со вспышкой на звезде, то EXO 040830-7134.7 оказался наиболее ярким в рентгеновском диапазоне среди ранее изученных красных карликов.

Наш интерес к EXO 040830-7134.7 обусловлен присутствием этого объекта в каталоге вспыхивающих звезд типа UV Cet и связанных с ними объектов в окрестностях Солнца ([Gershberg et al., 1999](#)) с последующим включением в каталог звезд с активностью солнечного типа – GTSh10 ([Gershberg et al., 2011](#)).

1.1 Рентгеновское излучение EXO 040830-7134.7

Анализируя рентгеновский обзор всего неба, выполненный в 1990–1992 годы с помощью мониторов WATCH обсерватории Гранат, [Castro-Tirado et al. \(1999\)](#) подтвердили, что EXO 040830-7134.7 продемонстрировал наиболее яркую вспышку из ранее зафиксированных событий у пекулярных звезд.

В последующие годы EXO 040830-7134.7 в рентгеновском диапазоне наблюдался обсерваториями ROSAT ([Voges et al., 1994](#)), ВерроSAX ([Giommi et al., 2000](#)) и XMM-Newton ([Della et al., 2004](#)).

Наиболее длительный ряд наблюдений в рентгеновском диапазоне (рис. 1) был получен на обсерватории ROSAT. Согласно данным 2-го каталога источников ROSAT ([Boller et al., 2016](#)), EXO 040830-7134.7 ассоциируется с рентгеновским источником 2RXS J040808.2-712703 и демонстрирует слабую переменность. Тем не менее можно считать проявлением вспышечной активности некоторые эпизоды на кривой блеска в рентгене, когда уровень фонового излучения стремится к нулю.

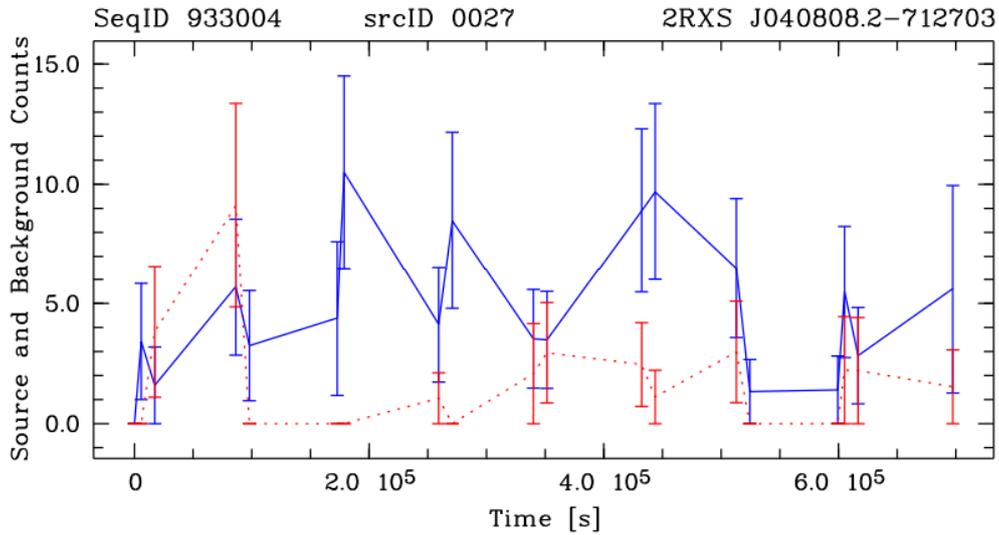


Рис. 1. Кривая блеска объекта 2RXS J040808.2-712703 = EXO 040830-7134.7 в рентгеновском диапазоне спектра. По осям отложены: время от начала наблюдений в секундах и отсчеты детектора для источника (синяя кривая) и фона (красная кривая). Указаны ошибки измерений

2 Наблюдения в оптическом диапазоне

В 1991 году EXO 040830-7134.7 был внесен в каталог вспыхивающих звезд в окрестностях Солнца (Pettersen, 1991). В том же году этот объект был включен в сводный список рентгеновских наблюдений эмиссионных красных карликов, активных спектроскопических двойных систем и молодых звезд (Linsky, 1991). В этой же работе приводится сравнение параметров звездных и солнечных вспышек.

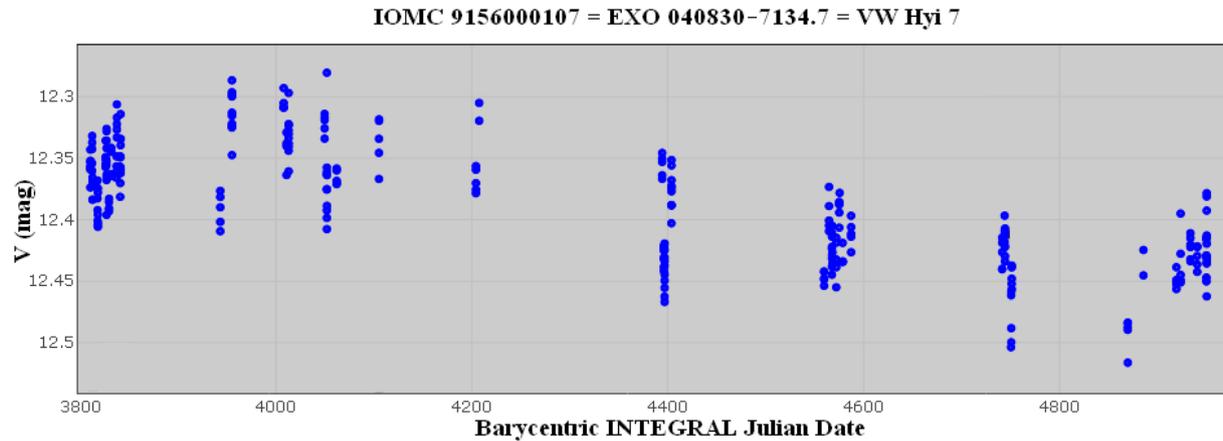


Рис. 2. Кривая блеска EXO 040830-7134.7, полученная прибором ОМС обсерватории INTEGRAL

Фотометрические и спектроскопические исследования EXO 040830-7134.7 были опубликованы в работе Cutispoto et al. (1996). В данной статье объект обозначен как EXO 040829-7134.7. В одном из сезонов наблюдений, представленных в данной работе, были получены некоторые свидетельства оптической переменности с периодом около 5.2 ± 0.20 дня. Однако эта переменность блеска не была подтверждена наблюдениями, проведенными в другой период. Предполагаемый спектральный тип звезды, определенный Cutispoto et al., – M0 Ve – хорошо согласуется с тем, который был дан ранее (van der Woerd et al., 1989).

При поиске рентгеновских наблюдений EXO 040830-7134.7 наше внимание обратили на себя данные, полученные с помощью камеры оптического мониторинга (ОМС), установленной на орбитальной обсерватории INTEGRAL¹. На рис. 2 представлена кривая блеска объекта в полосе V, полученная на основе данных из архива ОМС в САВ (INTA-CSIC), предварительно обработанных ISDC².

Более чем трехлетний ряд наблюдений демонстрирует волнообразный тренд с амплитудой около $0^m.2$ и с полупериодом около 2.7 года. Возможно, циклом активности для данного объекта является период, близкий к 5.4 года. Средняя ошибка представленных наблюдений составляет $0^m.02$. Видны внутрисезонные изменения блеска с амплитудой $\sim 0^m.1$, которые могут быть связаны с периодом обращения звезды.

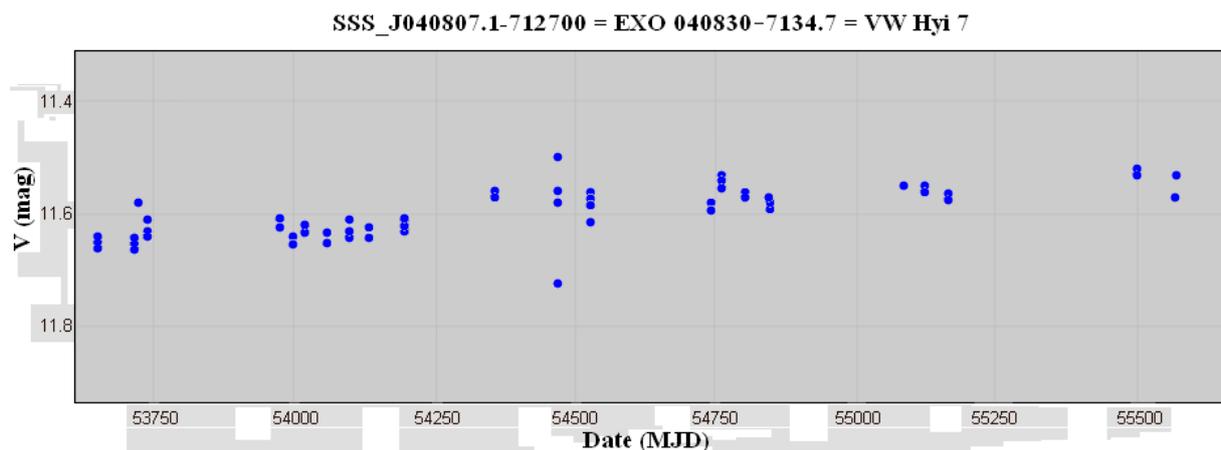


Рис. 3. Кривая блеска EXO 040830-7134.7, полученная SSS в проекте CSS

Рисунок 3 иллюстрирует кривую блеска EXO 040830-7134.7, полученную в результате обработки наблюдений на 500-мм телескопе Шмидта (поле $6^\circ \times 6^\circ$, $11^m < V < 19^m$, Siding Springs Survey (SSS) – одна из служб проекта Catalina Sky Survey³ (CSS)). Средняя ошибка наблюдений составляет $0^m.05$, $V_{\max} = 11^m.5$, $V_{\min} = 11^m.72$.

Процедура обработки данных, по которым были построены кривые блеска для ОМС и SSS, включала загрузку наблюдений по ссылкам, указанным в сносках 2 и 3. После извлечения информации данные проверялись на наличие плохих пикселей и профилей PSF, на несоответствие центроида, полученного изображения звезды ее координатам, на присутствие значительных погрешностей в определении звездных величин. В результате были получены оценки блеска EXO 040830-7134.7, из которых исключены ошибочные значения. На основании этих данных и строились кривые блеска, представленные на рисунках 2 и 3. Анализ кривых блеска, учитывая невысокое временное разрешение наблюдаемых рядов, не продемонстрировал значимую вспышечную активность EXO 040830-7134.7 в оптическом диапазоне спектра.

3 Вспышечная активность по данным TESS

Перекрестная идентификация объектов GTSh10⁴ с данными обсерватории TESS⁵ (Ricker et al., 2014) показала, что на начало 2021 года имеется 16 сетов регистрации этого объекта, содержащих 262513 индивидуальных наблюдений. При визуальном анализе кривых блеска EXO 040830-7134.7 было обнаружено значительное число высокоамплитудных вспышек в оптическом диапазоне спектра (рис. 4).

¹ INTEGRAL – <https://www.cosmos.esa.int/web/integral/home>

² The OMC Archive – <https://sdc.cab.inta-csic.es/omc/index.jsp>

³ Catalina Sky Survey – <https://catalina.lpl.arizona.edu/>

⁴ GTSh10 Catalogue – <http://www.crao.ru/~aas/CATALOGUES/G+2010/eCat/G+2010.html>

⁵ TESS Exoplanet Mission – <https://www.nasa.gov/tess-transiting-exoplanet-survey-satellite>

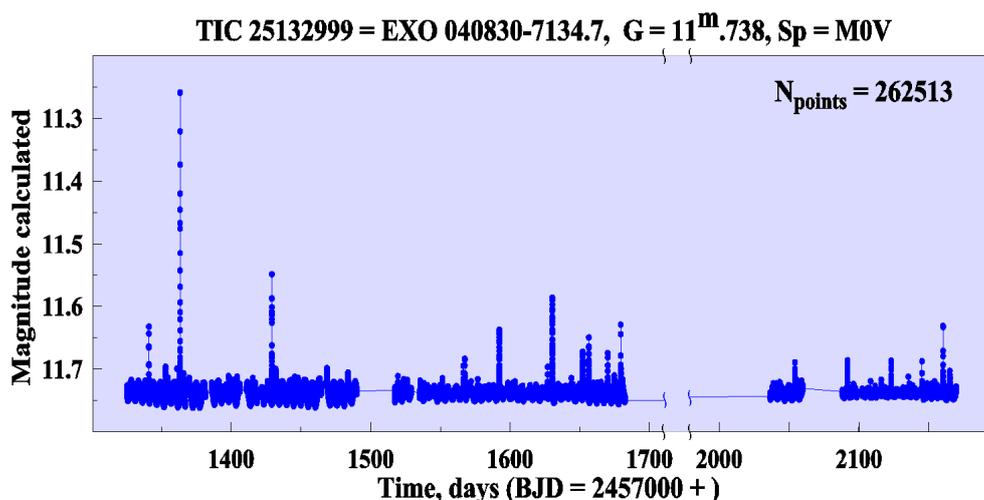


Рис. 4. Кривая блеска EXO 040830-7134.7, построенная по данным наблюдений TESS

В статье [Горбачев, Шляпников \(2021\)](#) нами проведено детальное изучение данных наблюдений, выполненных на обсерватории TESS. В частности, по всем сетам регистрации EXO 040830-7134.7 был независимо определен средний период обращения звезды, который составил 5.18 ± 0.06 дня, что хорошо согласуется с периодом 5.2 ± 0.20 дня, который был опубликован в работе [Cutispoto et al. \(1996\)](#).

Анализ распределения вспышек по фазе кривой блеска EXO 040830-7134.7 показал, что низкоамплитудные вспышки распределены достаточно равномерно, в то время как вспышки с большими энергиями приходятся на участки возрастания и спада блеска объекта. Большая часть из 88 вспышек, для которых была вычислена энергия, не превышает порог в 10^{34} эрг. 17 вспышек имеют энергию более 10^{34} эрг и могут рассматриваться как супервспышки.

Отдельно в статье рассмотрен вопрос времени возгорания и затухания вспышек. Показано, что наблюдается явная корреляция времени затухания с энергией вспышек.

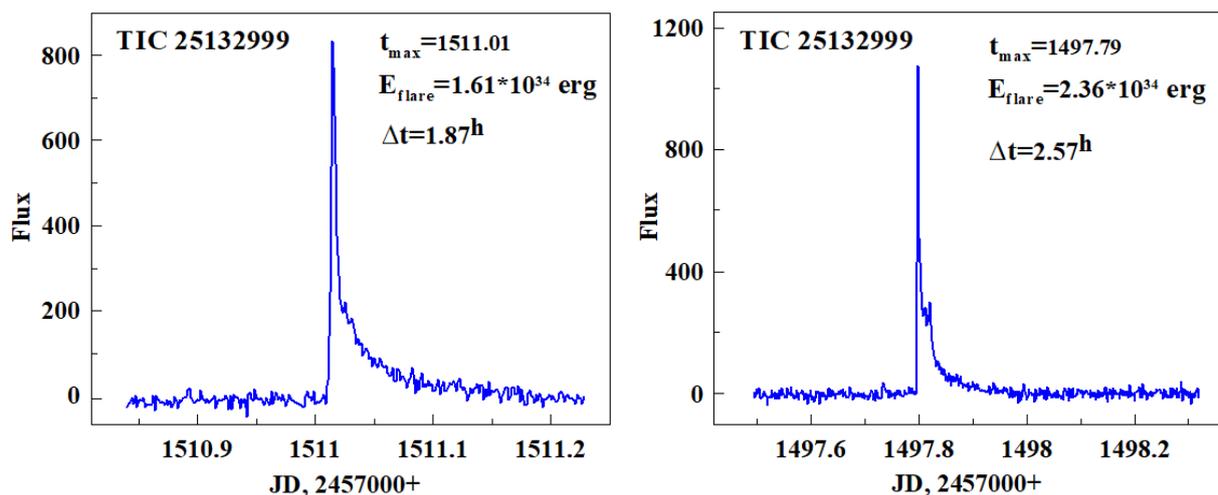


Рис. 5. Профили наиболее характерных вспышек ([Горбачев, Шляпников, 2021](#))

На рис. 5 показаны профили наиболее характерных вспышек, выделенных по данным наблюдений TESS. Указаны время максимума вспышки (t_{max}), энергия вспышки (E_{flare}) и ее продолжительность (Δt). Расчет энергии вспышек проводился согласно методике, описанной в работе [Günther](#)

et al. (2020). Результаты, рассмотренные в данной работе, стали основанием для проведения более глубоких исследований, опубликованных в статье Горбачев, Шляпников (2021).

4 Заключение

Краткий обзор наблюдений транзientа EXO 040830-7134.7 с момента открытия в рентгеновском диапазоне с помощью телескопа низких энергий обсерватории EXOSAT показал, что источник был в 7 раз ярче среднего значения потока в течение как минимум двух часов. На момент открытия объект оказался наиболее ярким в рентгеновском диапазоне среди ранее изученных красных карликов.

Анализ наиболее длительного ряда наблюдений в рентгеновском диапазоне, выполненных на обсерватории ROSAT, продемонстрировал слабую переменность. Некоторые эпизоды на кривой блеска в рентгене, когда уровень фонового излучения стремился к нулю, можно интерпретировать как незначительную вспышечную активность.

Две кривые блеска в оптическом диапазоне, полученные камерой ОМС на обсерватории INTEGRAL и на телескопе Шмидта в рамках проекта CSS, демонстрируют слабую переменность с амплитудой около $0^m.2$. По данным ОМС визуально наблюдается волнообразный тренд с полупериодом около 2.7 года, возможно связанный с циклической активностью звезды. Наиболее продуктивным оказался поиск оптических вспышек у EXO 040830-7134.7 по данным наблюдений обсерватории TESS. По результатам обработки кривых блеска и путем визуального контроля было обнаружено более 80 значительных вспышек. Зафиксирована максимальная энергия вспышек более 10^{34} эрг.

Независимым анализом был найден период осевого вращения, который составил 5.18 ± 0.06 дня, что соответствует полученному ранее результату 5.2 ± 0.20 дня (Cutispoto et al., 1996).

Более детальный анализ, включающий зависимость вспышечной активности звезды от фазы ее обращения и распределение числа обнаруженных вспышек от их энергии, представлен авторами в статье Горбачев, Шляпников (2021).

Благодарности. Авторы признательны всем, кто обеспечивает работу Центра астрономических данных в Страсбурге, и выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за частичную поддержку проведенных исследований за счет грантов № 19-02-00191 и № 19-29-11027 (первый автор).

Литература

- Горбачев М.А., Шляпников А.А., 2021. 25-я Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. Труды. СПб. С. 97. [Gorbachev M.A., Shlyapnikov A.A., 2021. 25th All-Russian Annual Conference on Solar Physics, Proceedings, SPb, pp. 97–100. (In Russ.)]
- Boller Th., Freyberg M.J., Trümper J. et al., 2016. *Astron. Astrophys.*, vol. 588, id. A103.
- Castro-Tirado A.J., Brandt S., Lund N., 1999. *Astron. Astrophys.*, vol. 347, p. 927.
- Cutispoto G., Tagliaferri G., Pallavicini R., et al., 1996. *Astron. Astrophys. Sup.*, vol. 115, p. 41.
- Della C.R., Maccacaro T., Caccianiga A., et al., 2004. *Astron. Astrophys.*, vol. 428, p. 383.
- Gershberg R.E., Katsova M.M., Lovkaya M.N., et al., 1999. *Astron. Astrophys. Sup.*, vol. 139, p. 555.
- Gershberg R.E., Terebizh A.V., Shlyapnikov A.A., 2011. *Bull. Crim. Astrophys. Observ.*, vol. 107, iss. 1, p. 11.
- Giommi P., Perri M., Fiore F., 2000. *Astron. Astrophys.*, vol. 362, p. 799.
- Günther M., Zhan Z., Seager S., et al., 2020. *Astron. J.*, vol. 159, p. 60.
- Linsky J.L., 1991. *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, vol. 62, p. 307.
- Pettersen B.R., 1991. *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, vol. 62, p. 217.
- Ricker G.R., Winn J.N., Vanderspek R., et al., 2014. *Proceed. of the SPIE*, vol. 9143, id. 914320, p. 20.
- van der Woerd H., Tagliaferri G., Thomas H.C., et al., 1989. *Astron. Astrophys.*, vol. 220, p. 221.
- Voges W., Gruber R., Haberl F., et al., 1994. ROSAT Source Catalog. Available at: <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR?-source=IX/11> (Accessed: 05 November 2021).

Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ. 118, № 2, 28–33 (2022)

Searching for optical flares on the X-ray transient EXO 040830-7134.7

*A.A. Shlyapnikov*¹, *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. This paper provides a brief overview of the research on EXO 040830-7134.7 since the discovery of the X-ray transient. The data of its observations in the X-ray and optical ranges of the spectrum are analyzed. As a result of processing the light curves and by means of visual control, more than 30 significant flares have been detected. The maximum flare energy is recorded at 10^{34} erg. Images with the most typical flares are presented in this publication.

Key words: X-ray transient, red dwarf, optical flares