

ПРЕДВСПЛЕСКИ КОРОТКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SPI-ACS INTEGRAL

П.Ю. Минаев, А.С. Позаненко

PRECURSORS OF SHORT GAMMA-RAY BURSTS REGISTERED BY SPI-ACS INTEGRAL EXPERIMENT

P.Yu. Minaev, A.S. Pozanenko

В работе проведен анализ кривых блеска 519 коротких гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте SPI-ACS INTEGRAL до мая 2014 г. с целью поиска возможной активности источника гамма-всплеска (предвсплеска) до начала основного эпизода. В работе проанализированы как кривые блеска индивидуальных событий, так и суммарная кривая блеска всех коротких всплесков. В статистическом анализе не выявлено регулярного предвсплеска, в то же время в суммарной кривой блеска присутствует значимое продленное излучение, которое ранее было обнаружено на меньшей выборке коротких всплесков эксперимента SPI-ACS. В единичных случаях найдены кандидаты в предвсплески. Вычислена значимость таких событий, приведены оценки на отношение интенсивности возможного предвсплеска к интенсивности основного эпизода.

We analyzed light curves of 519 short gamma-ray bursts (GRB) registered by SPI-ACS INTEGRAL in 2002–2014. A search of possible activity of short GRBs before main emission episode was performed both in individual light curves and in averaged light curve of all events. We found no regular precursor in averaged time profile of all short GRBs and therefore estimated upper limits of its intensity. At the same time the extended emission component was detected in averaged light curve of all events. It confirmed our previous work, which was based on smaller sample of short bursts registered by SPI-ACS experiment. In individual light curves of 3 short GRBs statistically significant candidates to precursors were found.

Введение

Бимодальность в распределении длительностей гамма-всплесков была открыта в серии экспериментов Konus [Mazets et al., 1981]. Длинные гамма-всплески имеют длительность $T_{90} > 2$ с [Kouveliotou et al., 1993]. Считается, что они связаны с коллапсом массивных звезд [Woosley, 1993]. Короткие гамма-всплески могут быть связаны со слиянием компактных объектов (нейтронных звезд или черных дыр) в двойных системах [Paczynski, 1986].

В кривых блеска некоторых гамма-всплесков обнаружена активность до начала основного эпизода – предвсплески (прекурсоры), которые имеют меньшую длительность и интенсивность по отношению к основному эпизоду [Troja et al., 2010]. Природа этих событий не выяснена. Предвсплески длинных всплесков могут быть связаны с выходом ударной волны на поверхность звезды [MacFadyen et al., 1999], а коротких – например, с взаимодействием магнитных полей нейтронных звезд перед слиянием [Troja et al., 2010].

В экспериментах BATSE, Konus, ВерроSAX в усредненной кривой блеска коротких гамма-всплесков было найдено продленное излучение (послесвечение) в мягком гамма-диапазоне (> 25 – 50 кэВ) длительностью более 30 с [Connaughton, 2002]. Продленное излучение с длительностью десятки секунд также найдено в кривых блеска некоторых индивидуальных коротких гамма-всплесков ($T_{90} < 2$ с) в экспериментах Swift, BATSE, HETE-2, Konus [Norris et al., 2008]. Не ясно, является ли продленное излучение общим свойством коротких гамма-всплесков, и какова его природа.

Данная работа посвящена исследованию как индивидуальных кривых блеска, так и суммарной кривой коротких гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте SPI-ACS INTEGRAL, с целью поиска активности всплеска как до, так и после основного эпизода излучения.

Эксперимент SPI-ACS INTEGRAL

В работе анализировались данные антисовпадения защиты ACS спектрометра SPI [Vedrenne et al., 2003], размещенной на обсерватории INTEGRAL [Jensen et al., 2003].

Эксперимент SPI-ACS является одним из лучших инструментов для поиска и исследования предвсплесков и продленного излучения, поскольку обладает высокой чувствительностью за счет огромной площади BGO детекторов (5250 см^2), регистрирует фотоны почти со всех направлений в широком энергетическом диапазоне (80 – 10000 кэВ) и имеет стабильный уровень фона на масштабах времени порядка 1000 с.

Обработка данных

В работе составлен каталог 519 коротких гамма-всплесков, зарегистрированных с декабря 2002 г. по май 2014 г. в эксперименте SPI-ACS INTEGRAL. Для формирования выборки использовался мастер-лист К. Hurley [<http://www.ssl.berkeley.edu/ipn3/chronological.txt>], представляющий собой компиляцию каталогов гамма-всплесков и циркуляров GCN.

Для каждого всплеска строилась линейная модель фона на временных интервалах (-150 ; -50) с и ($+100$; $+200$) с относительно максимума в кривой блеска, которая затем вычиталась из исходных данных. В некоторых случаях фон неудовлетворительно описывался линейной моделью, такие события исключались из дальнейшего анализа. Затем производился поиск предвсплесков на временном масштабе 0.1 с в интервале (-5 , 0) с относительно максимума в кривой блеска и на временном масштабе 5 сек в интервале (-50 , 0) с. Под предвсплеском в данной работе подразумевается короткий эпизод активности всплеска, предшествующий основному, имеющий меньшую интенсивность по отношению к нему, и отстоящий от него более, чем на 2 с. Всего проанализировано 372 кривых блеска. Выровненные отно-

сительно максимума, кривые блеска всех гамма-всплесков усреднялись. Эта процедура позволяет понизить уровень флуктуаций и «усилить» предвсплеск (а также, продленное излучение) над фоном, если он присущ всем коротким гамма-всплескам и при этом достаточно слаб для того, чтобы быть обнаруженным в кривых блеска отдельных всплесков.

Результаты

Обнаружено три кандидата в предвсплески в выборке 372 коротких всплесков со значимостью более 5 стандартных отклонений на масштабе времени 0.1 с у гамма-всплесков GRB 071030, GRB 100717, GRB 130310 (рис. 1).

Прежде, чем принять гипотезу о том, что найденные кандидаты действительно связаны с исследуемыми гамма-всплесками, мы показали, что они не могут быть связаны со случайными вариациями фона, а также с другими короткими гамма-всплесками.

В суммарной кривой блеска 372 коротких всплесков статистически значимый предвсплеск не обнаружен как на масштабе времени 0.1 с, так и на масштабе 5 с. Можно оценить верхний предел на относительную интенсивность регулярного предвсплеска – он слабее, чем основной эпизод, в 1600 раз, и слабее потока в максимуме кривой блеска в 470 раз на масштабе времени 0.1 с.

С другой стороны, в суммарной кривой блеска 372 всплесков обнаружено статистически значимое (значимость – 6 стандартных отклонений) продленное излучение (рис. 2). Кривая блеска основного эпизода (временной интервал (0.2, 2.3) с) описывается степенной моделью с показателем -1.6 (красная прямая на рис. 2). Красными точками на рис. 2 показаны исходные данные за вычетом степенной модели, представляющие собой другой компонент – продленное излучение, начинающийся позже основного эпизода и достигающий своего максимума через ~ 20 с после максимума в кривой блеска основного эпизода. Ранее продленное излучение в эксперименте SPI-ACS INTEGRAL было обнаружено в работе [Минаев et al., 2010] на выборке из 53 коротких гамма-всплесков.

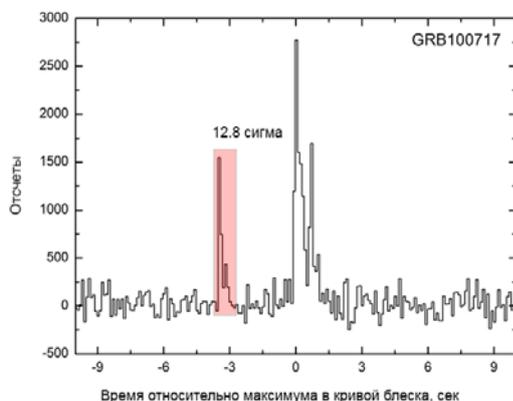


Рис. 1. Кривая блеска гамма-всплеска GRB 100717. Красным прямоугольником отмечен кандидат в предвсплеск, указана его значимость в единицах стандартных отклонений. Временное разрешение – 0.1 с.

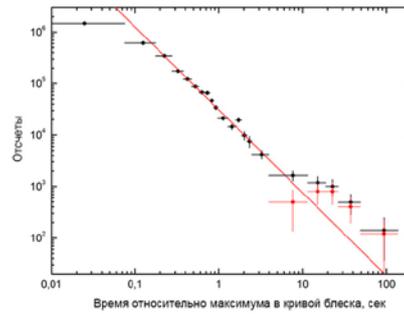


Рис. 2. Суммарная кривая блеска 372 коротких всплесков. Красной прямой показана аппроксимация основного эпизода всплеска степенным законом с показателем -1.6 , красными точками – продленное излучение.

Выводы

В кривых блеска 3 коротких гамма-всплесков ($\sim 1\%$ от общего числа) обнаружены статистически значимые кандидаты в предвсплески, не связанные с вариациями фона и другими гамма-всплесками.

В суммарной кривой блеска 372 коротких всплесков предвсплеск не обнаружен на масштабах времени 0.1 и 5 с.

Получен верхний предел на относительную интенсивность регулярного предвсплеска – он слабее, чем основной эпизод, в 1600 раз, и слабее максимального потока в 470 раз на масштабе времени 0.1 с.

В суммарной кривой блеска 372 коротких всплесков обнаружено продленное излучение длительностью более 100 с, которое, вероятно, не связано с источником основного эпизода всплеска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Connaughton V. BATSE Observations of Gamma-Ray Burst Tails // *Astrophys. J.* 2002. V. 567. P. 1028–1036.

Jensen P.L. Clausen K., Cassi C. et al. The INTEGRAL spacecraft – in-orbit performance // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 411. P. L7–L17.

Kouveliotou C., Meegan C., Fishman J. et al. Identification of two classes of gamma-ray bursts // *Astrophys. J. Let.* 1993. V. 413. P. L101–L104.

MacFadyen, A.I. Woosley S.E. Collapsars: Gamma-Ray Bursts and Explosions in "Failed Supernovae" // *Astrophys. J.* 1999. V. 524. P. 262–289.

Mazets E.P., Golenetskii S.V., Il'inski V.N., et al. Catalog of cosmic gamma-ray bursts from the Konus experiment data // *Astron. Space Sci.* 1981. V. 80. P. 3–83.

Minaev P.Yu., Pozanenko A.S., Loznikov V.M. Extended emission from short gamma-ray bursts detected with SPI-ACS/INTEGRAL // *Astron. Letters.* 2010. V. 36. P. 707–720.

Norris J.P., Bonnell J.T. Short Gamma-Ray Bursts with Extended Emission // *Astrophys. J.* 2006. V. 643. P. 266–275.

Paczynski B. Gamma-ray bursters at cosmological distances // *Astrophys. J. Let.* 1986. V. 308. P. L43–L46.

Troja E., Rosswog S., Gehrels N. Precursors of short gamma-ray bursts // *Astrophys. J.* 2010. V. 723. P. 1711–1717.

Vedrenne G. Roques J.-P., Schönfelder V. et al. SPI: The spectrometer aboard INTEGRAL // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 411. P. L63–L70.

Woosley S. E. Gamma-ray bursts from stellar mass accretion disks around black holes // *Astrophys. J.* 1993. V. 405. P. 273–277.

Hurley K. The Master Burst List [Электронный ресурс] // 2015. URL: <http://www.ssl.berkeley.edu/ipn3/chronological.txt>

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия