

## Вклад пульсирующего излучения вспышек магнитаров при детектировании быстрых радиовсплесков в рентгеновском диапазоне

А. Д. Хохрякова<sup>1,\*</sup> С. Б. Попов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра астрофизики и звездной астрономии Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

<sup>2</sup>Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова Россия, 119234, Москва, Университетский пр-т, д. 13

(Статья поступила 25.06.2019; Подписана в печать 21.10.2019)

Мы рассматриваем возможность обнаружения сопутствующего рентгеновского излучения от источников быстрых радиовсплесков с помощью телескопа СРГ/еРОЗИТА. В предыдущей работе нами было показано, что за 4 года обзорных наблюдений в поле зрения телескопа может попасть до 300 радиовсплесков. Около 1% из них будет зарегистрировано наземными радиотелескопами. При полном рентгеновском энерговыделении  $\sim 10^{46}$  эрг в зависимости от спектральных параметров и поглощения в межзвездной и межгалактической среде вспышка может быть зарегистрирована с расстояний от 1 Мпк (тепловой спектр с температурой 200 кэВ и большим поглощением) до 1 Гпк (степенной спектр с фотонным показателем  $\Gamma = 2$  и реалистичным поглощением). В данной работе мы уточняем модель гипервспышек, добавив к основному импульсу т.н. «пульсирующий хвост», излучение которого имеет относительно мягкий тепловой спектр ( $kT = 10$  кэВ), а полное энерговыделение составляет  $\sim 10^{44}$  эрг. Такая добавка позволяет заметно увеличить предельное расстояние, на котором регистрируется всплеск, для некоторых параметров вспышек. Данные еРОЗИТА могут позволить получить существенные ограничения на параметры источников быстрых радиовсплесков, а вероятно и идентифицировать источники в рентгеновском диапазоне, что даст возможность выбрать модели, описывающие генерацию этих всплесков.

PACS: 97.60.Jd, 98.70.Qy

УДК: 524.3

Ключевые слова: быстрые радиовсплески, нейтронные звезды, магнитары, источники мягких повторяющихся гамма всплесков, рентгеновская астрономия.

### ВВЕДЕНИЕ

Быстрые радиовсплески (Fast Radio Bursts — FRB) — это короткие (от нескольких миллисекунд до десятка миллисекунд) яркие (потоки в максимуме до  $\sim 100$  Ян) радиовспышки (см. обзоры в [1, 2]). Первое событие из данного класса транзиентов было представлено в 2007 г. в работе [3]. С тех пор обнаружены многие десятки таких всплесков (не считая множества событий от источников повторяющихся вспышек). Около сотни FRB представлено в постоянно пополняемом онлайн-каталоге [4]. [28] Ожидается, что в самое ближайшее время статистика по этим транзиентным явлениям существенно вырастет, в первую очередь благодаря работе установки CHIME в Канаде.

Начиная с 2007 г. было предложено большое количество моделей, объясняющих природу источников FRB (см. «каталог моделей» в обзоре [5]). Это отражает существенную неопределенность в описании природы этих объектов. Однако основные современные модели так или иначе связывают FRB с нейтронными звездами. Такие модели можно разделить на два основных класса: пульсарные и магнитарные. В первой резервуаром энергии всплеска является вращение компактного объекта, а во второй — магнитное поле.

Диссипация магнитной энергии молодых нейтронных звезд — одна из наиболее перспективных гипотез о природе FRB. В частности, генерация FRB может быть связана с гипервспышками магнитаров (об этом типе источников и формах их активности см. обзор [6]). Данная модель была предложена сразу после открытия первого всплеска [7]. Важным предсказанием этой модели является практически одновременный импульс излучения от FRB в рентгеновском и, возможно, гамма (вплоть до ТэВ энергий) диапазонах [8, 9]. Пиковая светимость единственной наблюдавшейся в 2004 г. гипервспышки источника SGR 1806–20 составляла  $\sim 10^{47}$  эрг/с, а полное энерговыделение  $\sim 10^{46}$  эрг [10]. Такие события современные орбитальные телескопы могут регистрировать с расстояний порядка десятков мегапарсек [11] ( $1 \text{ пк} \approx 3.1 \times 10^{18} \text{ см}$ )

В данной работе мы рассматриваем возможность регистрации жесткого излучения, сопровождающего FRB, с помощью рентгеновского телескопа еРОЗИТА, подробное описание которого представлено в работе [12]. Получение положительного результата в таких наблюдениях позволит проверить или наложить жесткие ограничения на модель гипервспышек.

Телескоп еРОЗИТА (extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array) является основным инструментом миссии Спектр–Рентген–Гамма (СРГ). С помощью этого прибора будет выполнено исследование

\*E-mail: [alenahohryakova@yandex.ru](mailto:alenahohryakova@yandex.ru)

всего неба в рентгеновском диапазоне: за 4 года работы eРОЗИТА сделает 8 полных обзоров неба в диапазоне энергий от нескольких десятых кэВ до 10 кэВ.

В мягких рентгеновских лучах ( $\sim 0.5 - 2$  кэВ) новый инструмент будет примерно в 20 раз чувствительнее своего предшественника — спутника ROSAT, также проводившего обзорные наблюдения всего неба. В жесткой полосе 2–10 кэВ это будет первым полным обзором неба с помощью фокусирующей рентгеновской оптики.

За счет относительно большого поля зрения eРОЗИТА может быть эффективным инструментом для поиска транзиентных явлений, в частности — быстрых радиовсплесков. Мы принимаем темп FRB  $N_{\Sigma} = 10^4$  вспышек в день, что соответствует анализу, проведенному в работах [13, 14]. В предыдущей работе [15] мы показали, что за 4 года обзорных наблюдений число вспышек, попавших в поле зрения телескопа, будет примерно 300.

Мы получили оценку, что за все время обзорных наблюдений на спутнике СРГ несколько вспышек ( $\sim 3$ ), зарегистрированных наземными радиотелескопами (CHIME, ASKAP, UTMOST, MeerKAT и др.), попадет в поле зрения eРОЗИТА. Это делает актуальными более детальные оценки возможности регистрации рентгеновских вспышек, возможно, сопровождающих радиовсплески.

В этой статье мы развиваем модель, использованную нами в [15], используя более реалистичные характеристики вспышек магнитаров.

## 1. ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ ГИПЕРВСПЫШЕК

Оценим, будет ли достаточно чувствительности телескопа eРОЗИТА для регистрации мощных вспышек внегалактических магнитаров.

На сегодняшний день зарегистрировано две т. н. гигантские вспышки магнитаров в 1979 и 1998 гг. и одна гипервспышка в 2004 г.. Оценки показывают, что гигантские вспышки должны происходить примерно раз в 30 лет в галактике, подобной нашей, а гипервспышки на 1–1.5 порядка реже [11, 16, 17].

В кривой блеска гигантской или гипервспышки можно выделить два основных компонента: короткий начальный импульс и «пульсирующий хвост» (рис. 1). Начальный импульс длится доли секунды и имеет светимость в диапазоне  $10^{44} - 10^{47}$  эрг/с в рентгеновском диапазоне.

«Хвост» имеет продолжительность  $\sim$  несколько минут. Пульсации потока на этой стадии всплеска связаны с вращением нейтронной звезды вокруг своей оси.

У всех трех наблюдавшихся мощных вспышек полное энерговыделение в «хвосте» составляло  $\sim 10^{44}$  эрг вне зависимости от энергии в начальном импульсе. Спектр «хвоста» более мягкий (тепловой с  $kT = 10$  кэВ), чем в начальном импульсе. В предыдущей ра-

боте мы не учитывали этот компонент вспышки, поскольку фокусировали внимание на гипервспышках со светимостью начального импульса  $10^{47}$  эрг/с и полным энерговыделением  $10^{46}$  эрг, что намного выше энергии, излучаемой в «хвосте». Однако за счет мягкого спектра, максимум которого близок к диапазону eРОЗИТА, излучение «хвоста» может внести существенный вклад в полный рентгеновский поток гигантских вспышек, сопровождающих FRB, даже при большом энерговыделении, если спектр начального импульса намного жестче.

Поскольку наблюдения проводятся в достаточно мягкой части рентгеновского спектра, поток фотонов будет значительно ослаблен за счет поглощения на пути следования сигнала (как в межзвездной среде Галактики, так и в межгалактической среде и межзвездной среде материнской галактики источника). При колонковой плотности атомов водорода  $N_H$  поток ослабевает в  $e^{-\sigma N_H}$  раз. Для расчета величины  $\sigma$  мы использовали данные из статьи [18]. Учитывая оценочный характер работы, а также тот факт, что нас интересует лишь полное энерговыделение в достаточно широкой полосе рентгеновского диапазона спектра, не использование более детальных результатов по межзвездному поглощению (см., например, [19]) не представляется критичным. Отметим и то, что в случае FRB значительная часть поглощения должна быть не связана с веществом нашей Галактики, т. о. точные расчеты параметра  $\sigma$  становятся еще более затруднительными.

В работе [15] мы рассмотрели широкий диапазон спектров рентгеновских всплесков, которые потенциально могут сопровождать быстрые радиовсплески (в первую очередь такие, которые могут соответствовать гипервспышкам магнитаров). Это планковские спектры для температур  $kT = 30$  кэВ и  $kT = 200$  кэВ, а также степенные спектры с показателями  $\Gamma = 0.5$  и  $\Gamma = 2$  (показатели соответствуют фотонным спектрам). В данной работе мы приводим расчеты лишь для степенного спектра начального всплеска с фотонным индексом  $\Gamma = 0.5$ :

$$dN = CE^{-\Gamma} e^{-(E/E_{cutoff})} dE, \quad (1)$$

где  $E_{cutoff} = 500$  кэВ — граница обрезания спектра, — размерная константа, которая определяется из нормировки полного энерговыделения. Здесь и далее  $E$  — энергия фотона, выраженная в кэВ.

Такой выбор оправдывается следующими соображениями: для степенного спектра с  $\Gamma = 2$  вклад «хвоста» пренебрежимо мал при любой реалистичной энергии начального импульса. Наоборот, при жестком спектре с  $kT = 200$  кэВ вклад хвоста доминирует и количество регистрируемых фотонов практически перестает зависеть от энергии начального импульса. А для теплового спектра с  $kT = 30$  кэВ результаты по начальному импульсу примерно аналогичны случаю степенного спектра с  $\Gamma = 0.5$ , поэтому в итоге мы представляем результаты именно для него.

Приходящая на детектор энергия излучения от источника на расстоянии  $r$  с учетом поглощения и зависимости эффективной площади телескопа от энергии фотона составит:

$$F_d = \int_{E_1}^{E_2} \frac{CE^{1-\Gamma} e^{-E/E_{cutoff}} e^{-\sigma N_H} S_{eff}(E) dE}{4\pi r^2}. \quad (2)$$

Здесь мы пренебрегаем эффектом космологического красного смещения, т.к. расстояния для потенциально регистрируемых вспышек не превышают 1 Гпк, что соответствует  $z < 0.2$ . Кроме того, важно подчеркнуть приближенный характер наших оценок (например, из-за неопределенностей с поглощением на луче зрения).

Количество зарегистрированных фотонов равно:

$$N_d = \int_{E_1}^{E_2} \frac{CE^{-\Gamma} e^{-E/E_{cutoff}} e^{-\sigma N_H} S_{eff}(E) dE}{4\pi r^2}. \quad (3)$$

Отметим, что здесь мы считаем  $N_H$  фиксированным параметром, т.е. изменение  $r$  не приводит к изменению поглощения, поэтому сохраняется квадратичная зависимость. Такое упрощение возможно ввиду большой неопределенности параметра  $N_H$  в случае FRB.

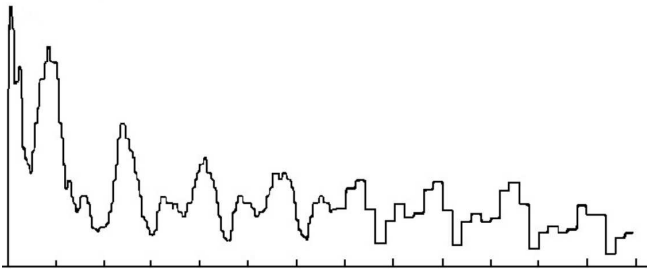


Рис. 1: Схематическая кривая блеска гипервспышки. Первая часть — начальный всплеск — длится 0.1-0.2 с, вторая — «хвост» — минуты. На рисунке начальный импульс показан не в масштабе, число отсчетов в максимуме блеска значительно выше. Полное энерговыделение в начальном импульсе превосходит энерговыделение в «хвосте». Пульсации в хвосте имеют период, равный собственному периоду вращения магнитара. Для пульсирующего хвоста использована кривая блеска из [20]

Варьируя полное энерговыделение начального импульса в пределах от  $10^{44}$  до  $10^{47}$  эрг, мы построили зависимость суммарного количества фотонов от расстояния для вспышки магнитара при ее регистрации телескопом ePOZITA (рис. 2). Тонкая горизонтальная линия соответствует порогу регистрации в 1 фотон, а жирная — уверенной регистрации (10 фотонов).

Обсудим выбранный нами критерий достоверного детектирования сигнала. Если мы говорим о наличии радиотриггера, т.е. нам известно время прихода и координаты всплеска по данным наблюдений в радиодиапазоне, то критерий 10 фотонов может быть существенно смягчен до 2–3 фотонов из компактной области, соответствующей угловому разрешению телескопа. С

другой стороны, наличие конечного времени накопления сигнала (50 миллисекунд) у детектора ePOZITA может приводить к тому, что  $\sim 10$  фотонов, пришедших за время 100–200 миллисекундной вспышки, будут «накладываться» друг на друга (pileup effect) в отдельных пикселях, понижая число реально зарегистрированных событий. Т.о., наш критерий «10 пришедших фотонов» представляется обоснованным.

Из рис. 2 видно, что гипервспышки с реалистичным энерговыделением  $10^{46}$  эрг будут регистрироваться с расстояний в десятки мегапарсек. При таком большом энерговыделении и не слишком жестком спектре начального импульса вклад «хвоста» не слишком значим. С уменьшением энергии начального импульса относительный вклад «хвоста» растет. Таким образом, добавление второго компонента вспышки в нашу модель сделало возможность регистрации вспышек магнитаров более оптимистичной, если их параметры ближе к двум наблюдавшимся гигантским вспышкам. В частности, для энергии начального импульса  $E = 10^{44}$  эрг максимальное расстояние, на котором она уверенно регистрируется, увеличилось в три раза. К сожалению, надо отметить, что ожидаемое число таких событий, попадающих в поле зрения ePOZITA довольно мало.

Согласно различным оценкам [21–23] в пределах 50 Мпк от нас находится порядка 1500 крупных галактик, подобных нашей (см. детальное обсуждение в [16]). Т.о., можно ожидать, что за время обзорных наблюдений ePOZITA в этом объеме произойдет около 200 гигантских вспышек. Кроме того, если принять оценку темпа гипервспышек согласно работе [17], то можно ожидать несколько десятков таких событий из данного объема. Однако, из-за небольшого поля зрения инструмента (по сравнению полной площадью небесной сферы) вполне вероятно, что ни одно из этих событий не будет зарегистрировано на ePOZITA.

## 2. ОБСУЖДЕНИЕ

Оценки расстояний до FRB показывают, что если в мере дисперсии доминирует межгалактическая среда (а не вещество в непосредственной окрестности источника), то типичные расстояния должны составлять порядка 1 Гпк, а минимальные — порядка 100 Мпк (см, например, оценки по дисперсии в межгалактической среде для всплесков, зарегистрированных установкой ASKAP [24]). Это говорит о том, что только для мягких степенных спектров рентгеновских вспышек и достаточно большого энерговыделения можно ожидать, что большинство событий будет потенциально регистрируемо с помощью ePOZITA. Тем не менее существенно, что есть и альтернативные модели, в которых заметная часть меры дисперсии FRB набирается в среде вблизи источника (например [25] и ссылки там). В таком случае средние расстояния будут меньше. Отметим, однако, что в работе [25] рассматривается не маг-

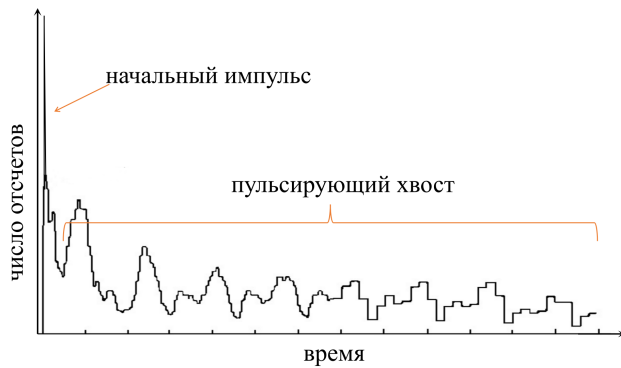


Рис. 2: Количество фотонов, регистрируемых eРОЗИТА, в зависимости от расстояния для модели со степенным ( $\Gamma = 0.5$ ) спектром начального импульса и тепловым ( $kT = 10$  кэВ) спектром «хвоста». Жирная (верхняя) горизонтальная линия соответствует надежной регистрации события. Тонкая горизонтальная линия соответствует одному зарегистрированному фотону от вспышки. Количество атомов водорода на луче зрения  $N_H$  принято постоянным и равным  $10^{22}$  см $^{-2}$

нитарная, а пульсарная модель, в рамках которой не возникает существенного рентгеновского излучения. С другой стороны, в сценарии гипервспышек магнитаров вокруг источника скорее всего будет недостаточно плотная межзвездная среда, чтобы привести к значительному вкладу в меру дисперсии. Т.о., маловероятно, что, если FRB являются относительно близкими ( $\lesssim 100$  Мпк), радиовсплеск будет сопровождаться мощной рентгеновской вспышкой.

В данной работе мы не рассматривали вариант с мягким тепловым спектром  $kT = 10$  кэВ, использованным, например, в работе [26]. Это связано с тем, что такой мягкий спектр должен быть нетипичен для гипервспышек магнитаров. Так например, в случае гипервспышки SGR 1806-20 спектр может быть описан планковской формой с температурой  $\sim 200$  кэВ [27]. Разумеется, при более мягком спектре и том же полном энергосодержании поток в диапазоне eРОЗИТА возрастет, и вспышка будет регистрироваться с расстояний  $\gtrsim 100$  Мпк. При этом вклад «хвоста» будет просто пропорционален относительному энергосодержанию в нем.

Отметим, что проведенное рассмотрение применимо и для оценок регистрации телескопом eРОЗИТА гипервспышек внегалактических магнитаров вне возможной связи с быстрыми радиовсплесками. Разумеется, идентифицировать слабую вспышку именно как событие,

связанное с активностью далекого магнитара, будет в подавляющем большинстве случаев нелегко. Однако при хорошей локализации, позволяющей идентифицировать материнскую галактику, а также при наличии повторов (не обязательно от того же источника, но из той же самой галактики), это будет возможно.

Отметим также, что по окончании обзорной программы на спутнике Спектр-Рентген-Гамма появится возможность продолжительных совместных наблюдений областей неба с помощью инструментов eРОЗИТА и ART-XC и наземных радиотелескопов. Это будет особенно актуально при обнаружении источников повторяющихся всплесков на расстояниях менее нескольких сотен Мпк. Отметим, что согласно нашим оценкам eРОЗИТА сможет детектировать гигантские вспышки магнитаров с расстояний, соответствующих скоплению галактик в созвездии Дева — крупнейшему внегалактическому образованию в местной вселенной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы исследовали возможность регистрации гипервспышек, сопровождающих излучение FRB на телескопе eРОЗИТА. Оценки показывают, что в год примерно одна гипервспышка попадет в поле зрения eРОЗИТА одновременно с регистрацией FRB на одном из наземных радиотелескопов. При этом чувствительности рентгеновского телескопа оказалось вполне достаточно для регистрации гипервспышки с энергией  $10^{46}$  эрг с расстояний порядка десятков-сотен Мпк при реалистичных спектральных параметрах.

Учет излучения «пульсирующего хвоста» с мягким спектром важен для начальных импульсов с жестким спектром и/или относительно низкой энергетикой ( $\sim 10^{44}$  эрг). Поскольку эта добавка существенно увеличивает предельное расстояние, на котором регистрируется вспышка, это позволяет увеличить количество потенциально регистрируемых объектов в несколько раз.

## Благодарности

Работа поддержана грантом Программы развития МГУ «Ведущая научная школа «Физика звезд, релятивистских объектов и галактик»

- [1] Попов С.Б., Постнов К.А., Пиширков М.С. // УФН. 2018. **188**, N 10. P. 1063  
[2] Petroff E., Hessels J. W. T., Lorimer D. R. // A&AR. 2019. **27**, N 1. P. 4.  
[3] Lorimer D.R., Bailes M., McLaughlin M.A., Narkevic D.J., Crawford F. // Science. 2007. **318**.

- P. 777.  
[4] Petroff E.E., Barr E.D., Jameson A., Keane E.F., Bailes M., Kramer M., Morello V., Tabbara D., Straten W. van // PASA. 2016. **33** P. 45.  
[5] Platts E., Weltman A., Walters A., Tendulkar S.P., Gordin J.E.B., Kandhai S. // ArXiv e-prints: 1810.05836.

- 2018.
- [6] *Turlola R., Zane S., Watts A.L.* // Reports on Progress in Physics. 2015. **78**, N11. P. 116901.
- [7] *Popov S.B., Postnov K.A.* // Evolution of Cosmic Objects through their Physical Activity. 2010.
- [8] *Lyubarsky Y.* // MNRAS. 2014. **442**.
- [9] *Murase K., Kashiyama K., Mészáros P.* // MNRAS. 2016. **461**. P. 1498.
- [10] *Palmer D.M., Barthelmy S., Gehrels N., Kippen R.M., Cayton T., Kouveliotou C., Eichler D., Wijers R.A.M.J., Woods P.M., Granot J., Lyubarsky Y.E.* et al. // Nature. 2005. **447**. P. 1107.
- [11] *Popov S.B., Stern B.E.* // MNRAS. 2006. **365**. P. 885.
- [12] *Merloni A., Predehl P., Becker W., Bohringer H., Boller T., Brunner H., Brusa M., Dennerl K., Freyberg M., Friedrich P.* et al. // ArXiv e-prints: 1209.3114. 2012.
- [13] *Thornton D., Stappers B., Bailes M., Barsdell B., Bates S., Bhat N.D.R., Burgay M., Burke-Spolaor S., Champion D.J., Coster P.* et al. // Science. 2013. **341**. P. 53.
- [14] *Vander Wiel S., Burke-Spolaor S., Lawrence E., Law C.J., Bower G.C.* // ArXiv e-prints. 2016.
- [15] *Khokhryakova A.D., Lyapina D.A., Popov S.B.* // Astronomy Letters. 2019. **45**. P. 120.
- [16] *Popov S.B.* // arXiv Astrophysics e-prints: astro-ph/0502391. 2005.
- [17] *Lazzati D., Ghirlanda G., Ghisellini G.* // MNRAS. 2005. **362**
- [18] *Morrison R., McCammon D.* // ApJ. 1983. **270**. P. 119.
- [19] *Wilms J., Allen A., McCray R.* // ApJ. 2000. **542**. P. 914.
- [20] *Mazets E.P., Golentskii S.V., Ilinskii V.N., Aptekar R.L., Guryanlu. A.* // Nature. 1979. **282**, N5739. P. 587.
- [21] *Gallego J., Zamorano J., Aragon-Salamanca A., Rego M.* // ApJ. 1995. **455**.
- [22] *Duncan Robert C.* // 20th Texas Symposium on relativistic astrophysics. 2001. **586**. P. 495.
- [23] *Brinchmann J., Charlot S., White S.D.M., Tremonti C., Kauffmann G., Heckman T., Brinkmann J.* // MNRAS. 2004. **351**, N4. P. 1151.
- [24] *Shannon R.M., Macquart J.-P., Bannister K.W., Ekers R.D., James C.W., Osłowski S., Qiu H., Sammons M., Hotan A.W., Voronkov M.A.* et al. // Nature. 2018. **582**. P. 386.
- [25] *Lyutikov M., Burzawa L., Popov S.B.* // MNRAS. 2016. **462**. P. 941.
- [26] *Scholz P., Bogdanov S., Hessels J.W.T., Lynch R.S., Spitler L.G., Bassa C.G., Bower G.C., Burke-Spolaor S., Butler B.J., Chatterjee S.* et al. // ApJ. 2017. **846**. P. 80.
- [27] *Hurley K., Boggs S.E., Smith D.M., Duncan R.C., Lin R., Zoglauer A., Krucker S., Hurford G., Hudson H., Wigger C.* et al. // Nature. 2005. **434**. P. 1098.
- [28] Ссылка на каталог <http://www.frbeat.org>.

## Contribution of magnetar burst pulsed emission to X-ray detectability of fast radio burst counterparts

A. D. Khokhryakova<sup>1,a</sup>, S. B. Popov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia

<sup>2</sup> Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119234, Russia

E-mail: <sup>a</sup>[alenaohryakova@yandex.ru](mailto:alenaohryakova@yandex.ru)

In this note we discuss the possibility of detecting accompanying X-ray emission from sources of fast radio bursts with the eROSITA telescope onboard the Spektr-RG observatory. In the previous paper we have shown that during the four years of the survey program about 300 bursts are expected to appear in the field of view of eROSITA. About 1% of them will be detected by ground based radio telescopes. For the total energy release  $\sim 10^{46}$  ergs depending on spectral characteristics and absorption in the interstellar and intergalactic media, an X-ray flare can be detected from distances from  $\sim 1$  Mpc (thermal spectrum with  $kT = 200$  keV and strong absorption) up to  $\sim 1$  Gpc (power-law spectrum with photon index  $\Gamma = 2$  and realistic absorption). In this paper, we refine the model of hyperflares by adding to the main pulse a so-called «pulsating tail» whose radiation has a relatively soft thermal spectrum ( $kT = 10$  keV), and the total energy release is  $\sim 10^{44}$  erg. This supplement allows us to increase significantly the maximum distance at which a burst is registered for specific parameters of the flares. Thus, eROSITA observations might help to provide important constraints on parameters of sources of fast radio bursts, or may even allow identification of X-ray transient counterparts, which will help to constrain models of fast radio bursts generation.

PACS: 97.60.Jd, 98.70.Qy

Keywords: fast radio bursts, neutron stars, magnetars, sources of soft gamma repeaters, x-ray astronomy.

Received 25 June 2019.

### Сведения об авторах

1. — Хохрякова Алёна Дмитриевна — студент; e-mail: [alenaohryakova@yandex.ru](mailto:alenaohryakova@yandex.ru).
2. — Попов Сергей Борисович — доктор физ.-мат. наук, профессор.