

НАБЛЮДЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА СПУТНИКАХ «ЛОМОНОСОВ» И «ВЕРНОВ»

*А. М. Амелюшкин*¹, *В. О. Баринова*¹, *А. В. Богомолов*¹,
В. В. Богомолов^{1,2}, *Е. С. Горбовской*³, *С. Джионг*⁴,
*Х. М. Джионг*⁴, *А. Ф. Июдин*¹, *В. В. Калегаев*¹,
*А. Кастро-Тирадо*⁵, *М. Ким*⁴, *В. Г. Корнилов*^{1,3},
В. М. Липунов^{1,3}, *И. Н. Мягкова*¹, *М. Нгуен*¹, *И. Пак*⁴,
М. И. Панасюк^{1,2}, *В. Л. Петров*¹, *С. И. Свертилов*^{1,2,*},
А. Н. Шустова^{1,2}, *И. В. Яшин*¹

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

³ Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва

⁴ Университет Сонгюкван, Сувон, Южная Корея

⁵ Институт астрофизики, Андалусия, Испания

Исследование космических гамма-всплесков является одной из основных задач экспериментов на спутнике «Ломоносов». Главная особенность этих экспериментов — это реализация так называемых мультиволновых наблюдений, включающих регистрацию всплесков в оптическом, ультрафиолетовом, рентгеновском и гамма-диапазонах. В состав аппаратуры входят монитор гамма-всплесков БДРГ, оптические камеры широкого поля зрения ШОК и прибор UFFO. При этом фиксация данных осуществляется в основном по триггеру события, вырабатываемому монитором гамма-всплесков БДРГ, осуществляющему измерение спектральных и временных свойств всплесков в диапазоне энергий 10–3000 кэВ. Прибор БДРГ также обеспечивает определение координат источника путем сравнения показаний трех разнонаправленных детекторов с точностью до нескольких градусов. Входящие в состав аппаратуры спутника «Ломоносов» оптические камеры широкого поля зрения ($\sim 20 \times 40^\circ$) ШОК фиксируют по триггеру гамма-всплеска набор изображений с частотой ~ 5 кадров в секунду, предшествующий триггеру и следующий за ним. Аппаратура UFFO состоит из

телескопа с кодирующей маской UBAT для измерений в жестком рентгеновском и мягком гамма-диапазоне и оптического телескопа с поворачивающимся зеркалом SMT, наводящимся за время ~ 1 с, для измерения оптического излучения гамма-всплесков на ранних стадиях. По триггеру прибора БДРГ данные о зарегистрированном всплеске передаются на Землю с помощью сети спутниковой связи Globalstar для дальнейшего использования в глобальной сети GCN и передачи на наземные обсерватории. В ходе наблюдений на спутнике «Ломоносов» зарегистрировано 20 гамма-всплесков, составлен их каталог. Несколько гамма-всплесков также зарегистрировано в эксперименте на спутнике «Вернов». Приводятся примеры подобного события.

Study of cosmic gamma-ray bursts is one of the main goals of the Lomonosov space mission. Multimessenger GRB observation is the only way of progress achievement in their study. The Lomonosov satellite is the first space mission in which the multi-wavelength observations of GRBs are realized in real time without necessity of optical instrument re-orientation on GRB monitor trigger. The mission payload includes the GRB monitor BDRG, wide-field optical cameras SHOK and UFFO instrument. Data are recorded mainly by the event trigger produced by the BDRG instrument, which measures the spectral and temporal properties of the burst in the energy range 10–3000 keV. The BDRG instrument also provides the source coordinates by comparing the readings of three differently directed detectors with an accuracy of several degrees. Wide-field SHOK optical cameras have a field of view of $\sim 20 \times 40^\circ$. They fix by the GRB trigger a set of images with a frequency of about 5 frames per second prior to the trigger and the following. The UFFO instrument incorporates UBAT telescope with coding mask for measurements in hard X-ray and soft gamma-ray and an optical telescope with a rotating mirror SMT, that can be directed on the GRB source for a time ~ 1 s for measuring GRB prompt emission in the early stages. The real time data transfer via Globalstar network to the GCN for detected GRB is realized as well as operative control of BDRG data on triggers from ground based facilities including neutrino and gravitation wave detectors. The GRB catalogue is presented in this report. The events for which information was obtained in different bands are also discussed in detail. During observations on the satellite Lomonosov, 20 gamma-ray bursts were detected and their catalog was compiled. Several gamma-ray bursts were also detected in the Vernov satellite experiment. An example of such an event is given.

PACS: 96.40.Tf; 96.60.qe

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на обилие теоретических моделей, нельзя сказать, что природа космических гамма-всплесков является до конца понятой. Принципиальным фактором дальнейшего прогресса в понимании их природы является осуществление одновременных мультиволновых наблюдений. Именно такие наблюдения реализованы на спутнике «Ломоносов» [1], запущенном 28 апреля 2016 г. с космодрома «Восточный» на круговую солнечно-синхронную орбиту высотой ~ 500 км. Научная аппаратура на спутнике «Ломоносов» включает ТУС (Трековую Установку), предназначенную для регистрации треков широких

атмосферных ливней (ШАЛ) от космических лучей предельно высоких энергий (КЛ ПВЭ) по ионизационному свечению, а также комплекс приборов для изучения космических гамма-всплесков, в том числе гамма-детекторы БДРГ, оптические камеры широкого поля зрения ШОК и ультрафиолетовый (УФ) и рентгеновский UFFO телескопы. Все приборы работают в режиме непрерывных измерений, поэтому обеспечивается возможность одновременной регистрации событий, в том числе в оптическом, УФ-, рентгеновском и гамма-диапазонах. Предусмотрен оперативный сброс информации о зарегистрированном гамма-всплеске в сеть GCN, а также возможность контроля событий по данным наземных установок, регистрирующих КЛ ПВЭ (им. Оже, ТА), нейтрино высоких энергий (IceCube, ANTARES), гравитационные волны (LIGO). На спутнике «Ломоносов» впервые проводятся наблюдения космических гамма-всплесков в оптическом и гамма-диапазонах, которые не требуют переориентации оптических инструментов. Это достигнуто за счет использования оптических камер широкого поля зрения ШОК, которые расположены соосно с гамма-детекторами и осуществляют непрерывную запись изображений. Таким образом, имеется возможность не только фиксировать оптическую кривую блеска собственного излучения гамма-всплеска (prompt emission), но и регистрировать оптическое излучение предшественников (precursors).

Исследование гамма-всплесков — также одна из задач экспериментов на спутнике «Вернов» [2], который функционировал в июле–декабре 2014 г. на солнечно-синхронной орбите с высотой апогея от 640 до 830 км. Установленные на нем детекторы использовались преимущественно для регистрации вспышек гамма-излучения из атмосферы Земли, а также вариаций потоков релятивистских электронов магнитосферного происхождения. Главной особенностью эксперимента на спутнике «Вернов» является возможность исследования быстрой переменности излучения гамма-всплесков, что достигается за счет записи отдельных регистрируемых квантов — так называемой пофотонной записи [2].

1. АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА СПУТНИКАХ «ЛОМОНОСОВ» И «ВЕРНОВ»

1.1. Монитор гамма-всплесков БДРГ на спутнике «Ломоносов». Прибор БДРГ [3] состоит из трех идентичных блоков детектирования БДРГ-1, ..., БДРГ-3 и блока электроники БА-БДРГ. Последний обеспечивает связь с основным блоком электроники БИ, в том числе подачу на блоки детектирования питания и управляющих команд, формирование выходных массивов данных и их трансляцию в БИ.

Каждый блок детектирования включает детекторный узел, платы электроники и элементы механической конструкции. Детекторные узлы представляют собой сборку из сцинтилляторов NaI(Tl)/CsI(Tl) диаметром 13 см и полной толщиной 2 см (при этом толщина кристалла NaI(Tl) — 0,3 см, кристалла CsI(Tl) — 1,7 см). Оба сцинтиллятора находятся в оптическом контакте и просматриваются со стороны CsI(Tl) одним фотоэлектронным умножителем (ФЭУ Hamamatsu R877). Подобная компоновка позволяет за счет разного времени высвечивания ($\sim 0,25$ мкс для кристалла NaI(Tl), ~ 2 мкс для кристалла CsI(Tl)) эффективно разделять события в обоих сцинтилляторах и тем самым, с одной стороны, существенно уменьшать регистрацию фоновых гамма-квантов в тонком кристалле NaI(Tl), а с другой — расширять энергетический диапазон благодаря использованию толстого кристалла CsI(Tl). Использование сборки NaI(Tl)/CsI(Tl) также дает принципиальную возможность разделять события, связанные с регистрацией всплесков собственно гамма-излучения и высыпаний магнитосферных электронов.

Прибор БДРГ обеспечивает регистрацию гамма-квантов в диапазоне энергий 10–3000 МэВ при эффективной площади каждого детекторного узла ~ 130 см². Для величин фоновых потоков, наблюдаемых в приэкваториальных областях околоземного пространства, указанная эффективная площадь соответствует чувствительности к регистрации всплеска на уровне $\sim 10^{-7}$ эрг/см².

Оси трех блоков детектирования разнесены в пространстве под углами 90° относительно друг друга и образуют как бы декартову систему координат. Это дает возможность по соотношению показаний отдельных детекторов определять направление на источник регистрируемого всплеска.

Прибор работает в двух режимах: мониторингом и всплесковым. В мониторинговом режиме осуществляется непрерывная запись средних за 0,1 с скоростей счета в энергетических интервалах для событий в каждом из кристаллов. Кроме того, с помощью многоканальных АЦП измеряются средние за 15 с энергетические спектры (также для обоих кристаллов). Во всплесковом режиме вырабатываются три типа триггера, различающиеся временем экспозиции, за которое накапливаются события для определения уровня превышения фона: 10 мс («быстрый»), 1 с («медленный»), 20 с («сверхмедленный»). По триггеру в районе момента его выработки осуществляется запись с большей подробностью как средних скоростей счета (до 1 мс), так и средних энергетических спектров (вплоть до 1 с), при этом для каждого регистрируемого события (кванта или частицы) осуществляется измерение амплитуд энерговыделений в обоих кристаллах. Кроме того, триггерные сигналы поступают в блоки оптических камер широкого поля ШОК и прибор UFFO. По триггеру БДРГ также формируются телеграммы, содержащие оперативную информацию о регистрируемом всплеске для передачи в мировую сеть регистрации гамма-всплесков GCN.

1.2. Оптические камеры широкого поля зрения ШОК на спутнике «Ломоносов». В состав аппаратуры космического аппарата (КА) «Ломоносов» входят два идентичных блока оптических камер широкого поля зрения: ШОК-1 и ШОК-2. Оба блока соединены непосредственно с центральным блоком электроники БИ, через который осуществляется связь с бортовыми системами и другими приборами комплекса. Это камеры того же типа, что используются в наземной сети телескопов-роботов МАСТЕР для поиска оптических транзиентов, в том числе космических гамма-всплесков (КГВ) [4].

Каждая камера выполнена на основе объектива Nikkor и ПЗС-матрицы Kodak KAI-11002. Камеры обладают чувствительностью на уровне звездной величины 9–10^m. Каждая камера ориентирована таким образом, что ее поле зрения находится в пределах поля зрения одного из гамма-детекторов БДРГ. В блоках осуществляется непрерывная запись изображений с временным разрешением 0,2 с. В случае поступления триггера от блоков БДРГ или рентгеновского телескопа UBAT прибора UFFO осуществляется фиксация данных за 1 мин до и 2 мин после триггера. Благодаря соосности с гамма-детекторами БДРГ это дает возможность регистрировать КГВ одновременно обоими приборами и получать оптическое изображение как непосредственно в момент всплеска, так и до него. При этом выбранные временные интервалы фиксации данных перекрывают типичные времена между предвестником и всплеском. Предусмотрена возможность фиксации изображений ШОК по триггеру с Земли, т. е. по всплескам, фиксируемым мировой сетью GCN. Камеры также могут осуществлять наблюдения в режиме поиска оптических транзиентов — по собственному триггеру. В этом случае осуществляется автоматическое сравнение каждого последующего изображения с предыдущим, и в случае изменения яркости или появления нового объекта в поле зрения камеры изображение фиксируется. Этот режим может использоваться не только для наблюдений астрофизических явлений типа сверхновых, новых, но и для исследования космического мусора, метеоритной опасности и т. п.

1.3. Прибор UFFO на спутнике «Ломоносов». Прибор UFFO включает рентгеновский телескоп UBAT и быстро наводящийся оптический и УФ-телескоп SMT [5]. Телескоп UBAT основан на комбинации позиционно-чувствительного детектора (ПЧД) и кодирующей маски. ПЧД телескопа, так же как и кодирующая маска, имеет плоскую конфигурацию и состоит из 48 × 48 пикселей, выполненных из сцинтилляционных кристаллов YSO, просматриваемых мультанодными ФЭУ. Размер одного пикселя 2,8 × 2,8 мм, общая площадь ПЧД 191 см. Поле зрения телескопа 70,4 × 70,4°. Он позволяет регистрировать гамма-всплеск в жестком рентгеновском диапазоне (5–150 кэВ) и с высокой точностью (~ 10') определять координаты его источника, при этом время накопления данных для определения координат источника всплеска составляет 0,1 с. По триггеру UBAT обеспечивается быстрое наведение телескопа SMT, чувствительного в диапазоне длин волн

200–650 нм, в область локализации всплеска. В этом эксперименте должно быть достигнуто рекордное на сегодня время наведения оптического телескопа — около 1 с. Для сравнения: самая быстрая из работающих сегодня на орбите — это американская обсерватория SWIFT, обеспечивающая наведение оптического телескопа за 27 с, что позволит записывать оптическую кривую блеска непосредственно во время самого гамма-всплеска с высоким временным разрешением.

1.4. Прибор ДРГЭ на спутнике «Вернов». В состав прибора ДРГЭ входят три блока: два идентичных блока ДРГЭ-1, ДРГЭ-2 и блок ДРГЭ-3. Каждый из блоков ДРГЭ-1(2) состоит из двух идентичных детекторных узлов (ДРГЭ-11, ДРГЭ-12 и ДРГЭ-21, ДРГЭ-22). По своей структуре детекторные узлы блоков ДРГЭ-1(2) полностью аналогичны детекторным узлам прибора БДРГ на спутнике «Ломоносов». Детекторы блоков ДРГЭ-1 и ДРГЭ-2 ориентированы в нади́р. Структура записи выходных данных также полностью аналогична прибору БДРГ, т. е. осуществляется непрерывная запись показаний детекторов в двух режимах: мониторинговом и событийном (time tagged events). Для обеспечения синхронной работы всех детекторных узлов с хорошим временным разрешением в каждом узле используется инициализация внутреннего таймера в момент прихода синхроимпульса с борта спутника. Таймер каждого узла имеет период 15,48 мкс. Стабильность таймера $\sim 10^{-5}$ позволяет обеспечить точность синхронизации ~ 15 мкс.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА СПУТНИКЕ «ЛОМОНОСОВ»

Исходя из особенностей фона на орбите спутника «Ломоносов» гамма-всплески могли регистрироваться на приемлемом уровне чувствительности в основном в приэкваториальных областях и в районе так называемой полярной шапки, где фоновый уровень скорости счета был более или менее постоянным. При этом запись информации о всплеске реализовывалась по двухуровневому триггеру. Первый уровень характеризовался относительно низким порогом срабатывания, но при этом осуществлялась только более подробная по сравнению с мониторинжным режимом фиксация выходных данных самого прибора БДРГ. В среднем за сутки происходило несколько десятков срабатываний такого типа. Большинство из них было обусловлено вариациями потоков электронов, в том числе высыпаниями из радиационных поясов. Триггеры второго уровня, так называемые алертные, вырабатывались при существенно более высоком пороге и соблюдении ряда дополнительных условий, например пребывания спутника заведомо вне зон захваченной радиации и высыпаний. По алертным триггерам не только записывались подробные выходные показания прибора БДРГ, но и осуществлялась фиксация данных

оптических камер ШОК, прибора UFFO, а также передавались быстрые телеграммы с данными о всплеске в сеть GCN через модем Globalstar.

В ходе наблюдений на спутнике «Ломоносов» с июня 2016 г. по январь 2017 г. зарегистрировано 20 гамма-всплесков [6], подтвержденных данными других космических аппаратов и представленных в сети GCN. Если принять во внимание затенение полей зрения детекторов Земли, время нахождения в областях захваченной радиации и зонах высыпаний, то эффективное время регистрации гамма-всплесков в эксперименте «Ломоносов» составляет 20 %, при этом вероятность зарегистрировать всплеск, не указанный в каталоге GCN, не превышает 10 %. Тем не менее в каталоге всплесков, зарегистрированных на спутнике «Ломоносов», имеются несколько событий, которые были пропущены миссиями, специализирующимися на изучении гамма-всплесков, такими как Swift, Fermi и Konus-Wind. В частности, всплеск GRB 160908A наблюдался только в эксперименте CALET [7].

Следует отметить, что в нескольких случаях источники всплесков, зарегистрированных на спутнике «Ломоносов», наблюдались с помощью наземных роботизированных телескопов МАСТЕР, разработанных в Московском государственном университете. Для двух всплесков получены верхние пределы яркости оптических транзиентов: 16,5 звездной величины для GRB 160720A, на 30974 с после триггера [8, 9], 18 звездной величины для GRB 160824B, на 1165 с после триггера [9]. Для всплеска GRB 161017A обнаружено собственное оптическое излучение.

На рис. 1 представлена зависимость скорости счета от времени в канале регистрации гамма-квантов 20–170 кэВ детектора NaI(Tl) блока БДРГ-3 во

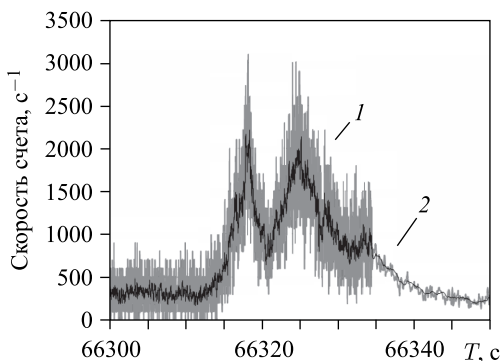


Рис. 1. Интегральная скорость счета прибора БДРГ (блока БДРГ-3) в канале энерговыделений 20–170 кэВ детектора NaI(Tl) во время регистрации гамма-всплеска GRB 160720: серая кривая — первичные данные; черная кривая — усреднение по 10 точкам методом «скользящего среднего». По оси X отложено время от начала суток 20.07.2016 UTC. Интервал между точками данных до $T = 66335$ с равен 10 мс (участок 1), далее — 100 мс (участок 2)

время регистрации гамма-всплеска GRB 160720. Запись осуществлена по «медленному» триггеру, в этом случае в течение первых 100 с от начала триггера данные записывались с разрешением 10 мс, последующие 800 с — с разрешением 100 мс. На представленном временном профиле видна тонкая временная структура на масштабе переменности вплоть до десятков миллисекунд.

3. НАБЛЮДЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА СПУТНИКЕ «ВЕРНОВ»

На рис. 2 приведен пример гамма-всплеска, зарегистрированного на спутнике «Вернов» 29 октября 2014 г. На этом рисунке помимо собственно гамма-

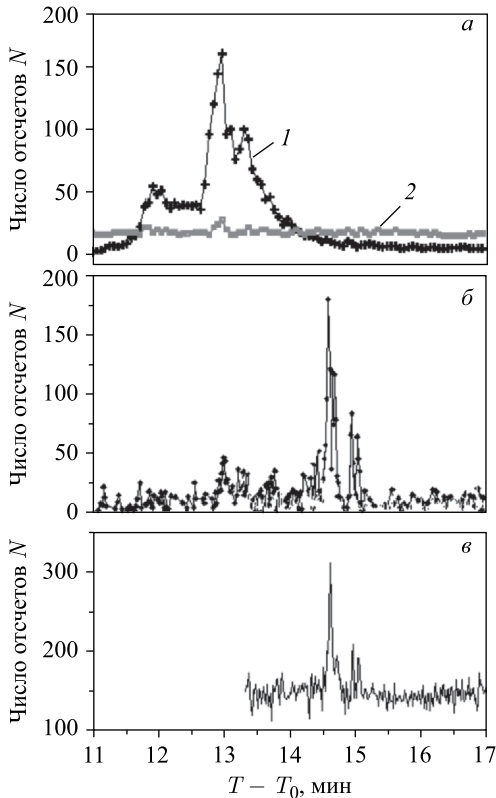


Рис. 2. Временные профили рентгеновского и гамма-излучения астрофизического всплеска GRB 141029 по данным приборов ДРГЭ-12 ИСЗ «Вернов», 30–300 кэВ (б), GBM Fermi, 52,2–97,8 кэВ (в) и солнечной вспышки 29.10.2014, RHESSI, 12–25 кэВ (а, кривая 1), 25–60 кэВ (а, кривая 2). По оси X отложено время от момента T_0 — 29.10.2014, 13:00 UTC

всплеска также виден всплеск жесткого рентгеновского и гамма-излучения от солнечной вспышки.

Из приведенных временных профилей видно, что всплеск отличается сложной временной структурой и является существенно более жестким по сравнению с излучением солнечной вспышки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате наблюдений на спутниках «Вернов» и «Ломоносов» зарегистрированы космические гамма-всплески астрофизического и солнечного происхождения. Аппаратура позволяет получать временные профили событий с очень высоким (вплоть до долей миллисекунд) временным разрешением. На спутнике «Ломоносов» впервые осуществлены мультиволновые наблюдения собственного излучения космических гамма-всплесков.

Благодарности. Анализ данных экспериментов на спутнике «Ломоносов» осуществлялся при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 гг.» (№ RFMEFI60717X0175).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садовничий В. А., Амелюшкин А. М., Ангелопулос В., Бенгин В. В., Богомолов В. В., Гарипов Г. К., Горбовской Е. С., Гроссан Б., Климов П. А., Хренов Б. А., Джик Ли, Литунов В. М., Ву На Джи, Панасюк М. И., Пак Ил, Петров В. Л., Рассел К., Свертилов С. И., Сигаева Е. А., Смут Дж. Ф., Шприц Ю., Веденькин Н. Н., Яшин И. В. Космические эксперименты на борту спутника МГУ «Ломоносов» // Косм. исслед. 2013. Т. 51, № 6. С. 470–477.
2. Панасюк М. И., Свертилов С. И., Богомолов В. В., Гарипов Г. К., Баринаева В. О., Богомолов А. В., Веденькин Н. Н., Голованов И. А., Июдин А. Ф., Калегаев В. В., Климов П. А., Ковтюх А. С., Кузнецова Е. А., Морозенко В. С., Морозов О. В., Мягкова И. Н., Петров В. Л., Прохоров А. В., Рожков Г. В., Сигаева Е. А., Хренов Б. А., Яшин И. В., Климов С. И., Вавилов Д. И., Грушин В. А., Гречко Т. В., Хартов В. В., Кудряшов В. А., Бортников С. В., Межельский П. В., Папков А. П., Краснопеев С. В., Круг В. В., Корепанов В. Е., Беллев С., Демидов А., Ференц Ч., Боднар Л., Сегеди П., Роткель Х., Моравский М., Пак Ил, Джеон Джин-А, Ким Джин-Ин, Джик Ли. Эксперимент на спутнике «Вернов»: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере Земли. Ч. I. Описание эксперимента // Косм. исслед. 2016. Т. 54, № 4. С. 277–285.
3. Амелюшкин А. М., Галкин В. И., Гончаров Б. В., Горбовской Е. С., Корнилов В. Г., Литунов В. М., Панасюк М. И., Петров В. Л., Смут Дж. Ф., Свертилов С. И.,

- Веденькин Н. Н., Яшин И. В.* Приборы БДРГ и ШОК для исследования собственного излучения гамма-всплесков на борту космического аппарата «Ломоносов» // *Косм. исслед.* 2013. Т. 51, № 6. С. 478–483.
4. *Lipunov V. M., Kornilov V. G., Gorbovskey E., Shatskiy N., Kuvshinov D., Tyurina N., Belinski A., Krylov A., Balanutsa P., Chazov V., Kuznetsov A., Kortunov P., Sankovich A., Tlatov A., Parkhomenko A., Krushinsky V., Zalozhnyh I.* Master Robotic Net // *Adv. Astron.* 2010. Article Id 349171; DOI: 10.1155/2010/349171.
 5. *Nam J. W., Ahmad S., Ahn K. B., Barrillon P., Brandt S., Budtz-Jrgensen C., Castro-Tirado A. J., Chang C. H., Chang C. Y., Chang Y. Y., Chen C. R., Chen P., Cho M., Choi H. S., Choi Y. J., Connel P., Dagoret-Campagne S., Eyles C., Grossan B., Huang J. J., Huang M. H. A., Jeong S., Jung A., Kim J. E., Kim M. B., Kim S. W., Kim Y. W., Krasnov A. S., Lee J., Lim H., Linder E. V., Liu T. C., Lund N., Min K. W., Na G. W., Panasyuk M. I., Park I. H., Reglero V., Ripa J., Rodrigo J. M., Smoot G. F., Suh J. E., Svertilov S., Vedenkin N., Wang M. Z., Yashin I.* The Status of the Ultra Fast Flash Observatory — Pathfinder // *Nucl. Phys. B. Proc. Suppl.* 2014. V. 246–247. P. 29–33.
 6. GRB Catalogue on the Site of Lomonosov Space Mission. http://downloader.sinp.msu.ru/grb_catalog/. 2017
 7. *Sakamoto T., Yoshida A., Kawakubo Y., Moriyama M., Yamada Y., Yamaoka K., Nakahira S., Takahashi I., Asaoka Y., Ozawa S., Torii S., Shimizu Y., Tamura T., Ishizaki W., Cherry M. L., Ricciarini S., Marrocchesi P. S. and the CALET Collab.* GRB 160908A: CALET Gamma-Ray Burst Monitor Detection. GRB Coordinates Network 19903. 2016.
 8. *Amelushkin A. M., Barinova V. O., Bogomolov A. V., Bogomolov V. V., Iyudin A. F., Kalegaev V. V., Panasyuk M. I., Petrov V. L., Svertilov S. I., Yashin I. V., Park I., Lee J., Jeong S., Lipunov V., Gorbovskey E. S., Tyurina N., Kornilov V., Balanutsa P., Kuznetsov A., Kuvshinov D., Rebolo R., Ricart M. Serra, Lodieu N., Israelian G.* Grb 160720a: Lomonosov BDRG Gamma-Ray Detection and MASTER Limit. GRB Coordinates Network 19728. 2016. P. 1.
 9. *Dzhioeva N. L., Amelushkin A. M., Barinova V. O., Bogomolov A. V., Bogomolov V. V., Iyudin A. F., Kalegaev V. V., Panasyuk M. I., Petrov V. L., Svertilov S. I., Yashin I. V., Park I., Lee J., Jeong S., Lipunov V., Gorbovskey E. S., Tyurina N., Balanutsa P., Kuznetsov A., Kuvshinov D., Ivanov K., Yazev S., Budnev N. M., Gres O., Chuvalaev O., Poleshchuk V. A., Yurkov V., Sergienko Yu., Gabovich A.* Grb 160824b: Lomonosov BDRG Gamma-Ray Detection and MASTER Limit. GRB Coordinates Network 19884. 2016. P. 1.