

УДК 524.7

РАННИЕ ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ ТЕЛЕСКОПОВ-РОБОТОВ МАСТЕР МГУ В СРАВНЕНИИ С ИХ ГАММА И РЕНТГЕНОВСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

© 2020 г. О. А. Ершова^{1,*}, В. М. Липунов^{2,3}, Е. С. Горбовской², Н. В. Тюрина²,
В. Г. Корнилов^{2,3}, Д. С. Зимнухов², А. Габович^{2,4}, О. А. Гресс^{2,1}, Н. М. Буднев¹,
В. В. Юрков⁴, В. В. Владимиров², А. С. Кузнецов², П. В. Балануца², Р. Реболо⁵,
М. Серра-Рикарт⁵, Д. Бакли⁶, Р. Подеста⁷, Х. Левато⁸, К. Лопез⁷, Ф. Подеста⁷,
К. Франсиле⁷, К. Маламачи⁸, С. А. Язев¹, Д. М. Власенко^{2,3}, А. Тлатов⁹,
В. Сенник¹, В. Гриншпун³, А. Часовников³, В. Тополев³, А. Поздняков³,
К. Жирков³, Д. Кувшинов^{2,3}, Ф. Балакин³

¹ Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

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

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия

⁴ Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск, Россия

⁵ Instituto de Astrofísica de Canarias, La Laguna, Spain

⁶ South African Astrophysical Observatory, Cape Town, South Africa

⁷ Observatorio Astronómico Félix Aguilar (OAFa), National University of San Juan, San Juan, Argentina

⁸ National University of San Juan, San Juan, Argentina

⁹ Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия

*e-mail: ershova@sai.msu.ru

Поступила в редакцию 01.01.2019 г.

После доработки 01.01.2019 г.

Принята к публикации 01.01.2019 г.

В статье представлены результаты ранних наблюдений 130 областей локализации гамма-всплесков, проведенных на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ в период 2011–2017 гг. в полностью автоматическом режиме. Среди них выделены GRB 130907A, GRB 120811C, GRB 110801A, GRB 120404A, GRB 140129B, GRB 140311B, GRB 160227A. Из 130 гамма-всплесков в первые 60 с после срабатывания триггера на орбитальных обсерваториях Swift, Fermi, INTEGRAL, MAXI, Lomonosov, Konus-Wind, МАСТЕР навелся на 51, являясь лидером по первым наведениям. Полная автоматизация наблюдений и собственное программное обеспечение обработки изображений в режиме реального времени позволили нам получить уникальные данные о раннем оптическом излучении, сопровождавшем 44 гамма-всплеска (GRB 110801A, GRB 120106A, GRB 120404A, GRB 120811C, GRB 120907A, GRB 121011A, GRB 130122A, GRB 130907A, GRB 131030A, GRB 131125A, GRB 140103A, GRB 140108A, GRB 140129B, GRB 140206A, GRB 140304A, GRB 140311B, GRB 140512A, GRB 140629A, GRB 140801A, GRB 140907A, GRB 140930B, GRB 141028A, GRB 141225A, GRB 150210A, GRB 150211A, GRB 150301B, GRB 150323C, GRB 150404A/ Fermi trigger 449861706, GRB 150403A, GRB 150413A, GRB 150518A, GRB 150627A, GRB 151021A, GRB 151215A, GRB 160104A, GRB 160117B, GRB 160131A, GRB 160227A, GRB 160425A, GRB 160611A, GRB 160625B, GRB 160804A, GRB 160910A, GRB 161017A, GRB 161117A, GRB 161119A), для 13 из которых были построены кривые блеска и выполнено сравнение данных в оптическом (МАСТЕР), рентгеновском (Swift-XRT) и жестком рентгеновском (Swift-BAT) диапазонах.

DOI: 10.31857/S0004629920020012

1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на пристальный интерес к самому мощному явлению во Вселенной — гамма-

всплескам (ГВ, GRB: gamma-ray bursts), — на протяжении нескольких десятилетий, их источники по-прежнему остаются одними из самых загадоч-

ных объектов. До сих пор достоверно не ясны механизмы работы центральной “машины” гамма-всплесков. Феноменологически гамма-всплески разделяются на короткие и длинные с условной границей по длительности ~ 2 с.

Короткие всплески являются результатом слияния компактных объектов, например, нейтронных звезд [1–3]. Первый расчет темпа слияния нейтронных звезд был получен в 1987 г. [4], что было подтверждено 17 августа 2017 г. при исследовании Килоновой [5–8], независимо обнаруженной в оптическом диапазоне Глобальной сетью телескопов-роботов МАСТЕР [9] в результате инспекционного обзора гравитационно-волнового алерта LIGO/Virgo GW170817 [5] и области локализации гамма-всплеска Fermi GRB170817A [10]. Короткие гамма-всплески также могут быть результатом слияния пар, состоящих из нейтронной звезды и черной дыры (ЧД + НЗ). Длинные ГВ связаны с коллапсом ядра быстровращающейся массивной звезды [11–14].

Для исследования механизмов, приводящих к появлению излучения во всем электромагнитном диапазоне, особую ценность имеют результаты наблюдения гамма-всплесков на ранней стадии развития процесса. Исследования в оптическом диапазоне наиболее эффективно проводить на полностью роботизированных телескопах, из процесса наблюдений на которых может быть полностью исключен наблюдатель, как это реализовано на роботизированных телескопах Глобальной сети МАСТЕР [9]. С конца XX–начала XXI века большой вклад в изучение раннего оптического излучения ГВ внесла сеть ROTSE III [15]. В последние годы лидером ранних наблюдений (т.е. начавшихся максимально близко к моменту триггера) гамма-всплесков стала российская Глобальная сеть МАСТЕР МГУ [16–22], телескопы-роботы которой в настоящее время установлены в восьми пунктах Северного и Южного полушарий. На каждом из пунктов сети МАСТЕР находится двойной широкопольный телескоп, укомплектованный разработанным в группе МАСТЕР фотометром [20] с набором широкополосных фильтров BVRI (Johnson/Bessel) и поляроидов, а также сверхширокопольные камеры [9, 19, 20]. Непрерывная круглосуточная работа всех телескопов Глобальной сети МАСТЕР, обработка наблюдений в режиме реального времени и доступ по интернету к результатам в любой момент времени дают возможность непрерывного сопровождения целеуказания [21]. Это позволяет нам проводить ранние наблюдения оптического излучения гамма-всплесков [16, 17, 19, 23], включая обнаружение поляризации их собственного оптического излучения [23]. Богатый опыт обнаружения оптических транзиентов (ОТ) [8, 9, 16–26] позволяет телескопам МАСТЕР автоматически выделять оптический источник гамма-всплесков,

зарегистрированных орбитальными детекторами с большой координатной неопределенностью, например, FERMI-GBM [19] или LIGO/Virgo [7, 8], когда размеры квадратов ошибок достигают нескольких десятков квадратных градусов [24]. МАСТЕР регулярно опережает по скорости наведения и получения первых изображений и рентгеновский детектор Swift-XRT, и оптический телескоп Swift-UVOT обсерватории Swift [25], а большие области локализации Fermi-GBM (не связанные напрямую с источниками гравитационных волн, детектируемыми LIGO/Virgo), исследует и обнаруживает оптический источник в подавляющем большинстве случаев только МАСТЕР [24].

Кроме исследования гамма-всплесков, МАСТЕР проводит поиск оптических источников гравитационно-волновых событий, регистрируемых LIGO/Virgo [5, 6], независимо обнаружив Килоновую GW170817 и внося наибольший вклад в исследование GW150914 [27, 28]; исследует области локализации быстрых радиовсплесков (FRB), области локализации нейтринных алертов, регистрируемых детекторами IceCube, ANTARES. Кроме алертных наблюдений, Глобальная сеть МАСТЕР проводит непрерывный обзор неба с целью открытия новых оптических транзиентов во Вселенной.

В настоящей работе приводится фотометрия гамма-всплесков в оптическом диапазоне, полученная на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР-МГУ (экспериментальные данные), а также численные параметры моделирования кривой блеска в оптическом диапазоне. Обсуждаются характеристики этих событий, при сравнении оптического, рентгеновского и гамма-диапазонов.

2. НАБЛЮДЕНИЯ РАННЕЙ СТАДИИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА ТЕЛЕСКОПАХ-РОБОТАХ МАСТЕР

Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР МГУ является лидером ранних наведений и исследовании областей локализации гамма-всплесков благодаря своим ключевым особенностям:

- 1) идентичное приемное оборудование каждой обсерватории МАСТЕР,
- 2) распределение по долготам и широтам земного шара (8 обсерваторий к 2018 г.), обеспечивающее быстрое наведение (десятки градусов в секунду) по целеуказанию,
- 3) собственное программное обеспечение обработки широкопольных изображений в режиме реального времени (1–2 мин после считывания с матрицы) с выделением новых (или вспыхивающих) объектов;

4) каждая обсерватория МАСТЕР – это быстрый (позиционирование со скоростью 30° в секунду) двойной широкопольный (2×4 кв. град.) и сверхширокопольный (2×384 кв. град.) цветной (BVRI + PP) поляризационный роботизированный телескоп. Ориентация поляризационных фильтров [9, 20]: угол отсчитывается от направления на север против часовой стрелки: МАСТЕР-Амур – 45° на камере 210, 135° на камере 211; МАСТЕР-Тунка – 0° на камере 206, 90° на камере 208; МАСТЕР-Кисловодск – 0° , 45° на камере 200, 90° , 135° на камере 202, MASTER-SAAO – 135° на камере 212, 45° на камере 213.

Рассмотрим детально результаты наблюдений в оптическом (МАСТЕР) и рентгеновском (Swift-BAT, XRT) диапазонах для следующих гамма-всплесков: GRB 130907A, GRB 120811C, GRB 110801A, GRB 120404A, GRB 140129B, GRB140311B, GRB 160227A, а также области локализации для нескольких десятков гамма-всплесков с обнаруженными в них оптическими транзиентами. Результаты ранних наблюдений для областей локализации всех 130 гамма-всплесков вместе будут приведены в разделе 4.

GRB 130907A

Детектор Swift-BAT (15–150 кэВ) орбитальной обсерватории Swift зарегистрировал гамма-всплеск GRB 130907A 07.09.2013 в 21:14:13 UT. Рентгеновский детектор Swift-XRT (0.3–10 кэВ, X-Ray Telescope [29]) начал наблюдения через 66 с после триггера в 21:42:19.3 UT, оптический телескоп Swift-UVOT начал первую экспозицию длительностью 150 с через 77 с после триггера. Первые детальные изображения вспышки были получены телескопом UVOT в окрестности точки с координатами, определенными Swift-XRT: $\alpha = 14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.03^{\text{s}}$, $\delta = +45^{\text{d}}36^{\text{m}}27.1^{\text{s}}$ (здесь и далее эпоха J2000). Блеск объекта при наблюдениях в белом свете составил 15.55^{m} .

Телескоп-робот МАСТЕР-Кисловодск [30] в 21:42:00 UT навелся на координаты Swift-BAT за 18 с в автоматическом режиме и начал наблюдения (43 с от момента срабатывания триггера). Наблюдения были выполнены в двух перпендикулярных поляризациях, оптический транзиент присутствует на четырех первых изображениях с экспозициями, соответственно, 20, 30, 40, 50 с, что дало возможность программному обеспечению МАСТЕР автоматически обнаружить и подтвердить новый объект 15 звездной величины в максимуме (оптический источник гамма-всплеска), а также сформировать и отправить телеграмму GCN. Вследствие большого зенитного расстояния (86°), на котором наблюдалась область локализации гамма-всплеска, объект виден на одиночных кадрах на протяжении первых пяти

минут, а в дальнейшем – только на суммарных кадрах. Отношение сигнала к шуму во время съемки менялось в пределах от 3 до 6 (в зависимости от текущих метеоусловий). Наблюдения МАСТЕР в оптическом диапазоне выполнены до момента 360 с от начала события. В этот период Swift-BAT зарегистрировал 90% энерговыделения вспышка.

Телескоп NOT (Nordic Optical Telescope, GCN 15187) провел наблюдения транзиента с координатами RA, DEC(2000) = 14 23 34.08 +45 36 26.7, обнаруженного МАСТЕР и Swift-UVOT, измерив красное смещение $z = 1.238$, что соответствует расстоянию 0.05 Гпк (при постоянной Хаббла $66.93 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$).

Несмотря на значительное зенитное расстояние, на котором велись наблюдения, мы получили детализированную кривую блеска (см. рис. 1), которая позволяет корректно сравнивать результаты МАСТЕР и SWIFT. Провал, заметный на трех кривых – в рентгеновском, гамма- и оптическом диапазонах, – позволяет утверждать, что излучение всех трех видов возникло одновременно и имеет общую природу. Мы предположили, что оптическое и рентгеновское (а также ультрафиолетовое и инфракрасное) излучение в данном случае является частью послесвечения или переизлучения нагретого вещества, окружающего коллапсирующий объект.

При сравнении кривых блеска МАСТЕРа и Swift-BAT/XRT можно отметить главный максимум вспышка на 70 с, а также отметить синхронность падения в оптическом и рентгеновском диапазонах. Благодаря быстрому наведению телескопа удалось получить детальную кривую блеска за то время, пока излучалось 90% энергии гамма-всплеска (определяется параметром t_{90}). Это дает возможность исследования излучения на ранней стадии развития вспышка.

Послесвечение (afterglow) этого вспышка можно разделить на 2 фазы: 1 – фаза затухания от 47 до 197 с и 2 – плато до 311 с. Первая часть имеет степенной вид, вторая – линейный. Со 123 до 197 с яркость резко падает, кривая демонстрирует провал в гамма- и рентгеновском диапазоне и падение в оптике. В интервале от 123 до 197 с параметр затухания кривой блеска α составляет 2.91, с 249 до 311 с – 0.41. Рентгеновская кривая падает так же резко, как и оптическая, однако на последней фазе излучение в оптическом диапазоне затухает медленнее, чем в коротковолновых диапазонах.

На рис. 2 приведены спектры GRB130907A в интервале от 47 до 451 с после триггера по каждой из экспозиций, полученных Swift-XRT и Swift-BAT.

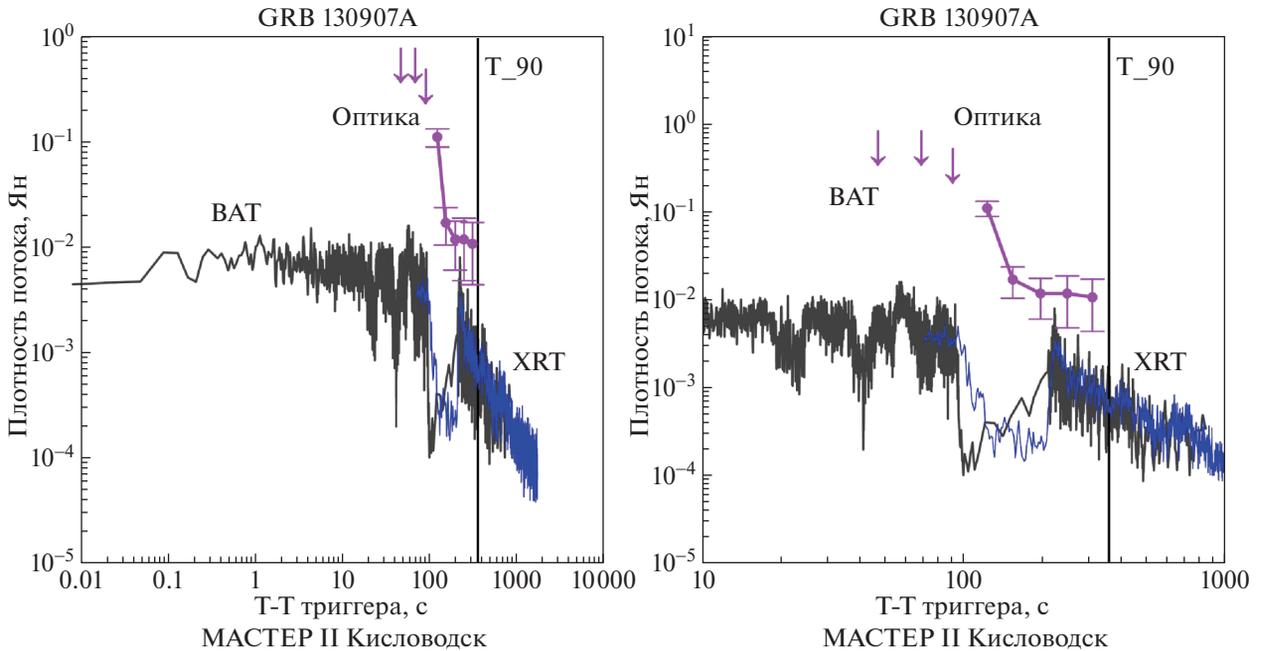


Рис. 1. Детальная кривая блеска GRB 130907A: а) в исходном масштабе, б) часть кривой, выделенная в диапазоне от 10 до 1000 с. Черная линия – Swift-BAT, синяя – Swift-XRT (рентгеновский диапазон), фиолетовая – кривая блеска в оптическом диапазоне, полученная на телескопе-роботе МАСТЕР-Кисловодск. Вертикальная линия – параметр t_{90} .

GRB 120811C

Гамма-обсерватория SWIFT зарегистрировала яркий (7000 отсчетов/с, диапазон 15–350 кэВ) длинный (35 с) гамма-всплеск GRB120811C 11.08.2012 в 15:34:52 UT (Swift-BAT триггер 530689 [31]) с координатами $RA(J2000) = 13^h18^m50^s$, $Dec(J2000) = +62^\circ17'29''$ и ошибкой $3'$. Через 68.7 с (15:36:00.8 UT) рентгеновский детектор Swift-XRT навелся и уточнил координаты: $RA(J2000) = +13^h18^m43.99^s$, $Dec(J2000) = +62^\circ18'09.7''$ с квадратом ошибок (error-box) $5''$.

Оптический телескоп UVOT орбитальной обсерватории Swift навелся и начал наблюдения через 75 с после триггера с экспозицией 150 с и обнаружил оптический источник по координатам $RA(J2000) = 13:18:43.81 = 199.68253$, $DEC(J2000) = +62:18:02.7 = 62.30076$ с ошибкой определения координат $0.75''$. МАСТЕР-Амур навелся за 29 с и начал наблюдения в 14:45:57 UT (665 с после триггера GCN13623). МАСТЕР-Тунка навелся за 40 с и начал наблюдения в 15:46:08 UT (676 с после триггера [32]).

Изображения оптического источника MASTER OT J131844.01 + 621802.7 были получены в четырех взаимно перпендикулярных поляризационных фильтрах (GCN 13635, GCN 13623 [33]). Для более точного фотометрирования была выбрана опорная звезда SDSSJ131828.08 + 621651.3, кривые блеска приведены на рис. 3, спектры в интервале 1015–5832 с – на рис. 4.

В первой точке оптической кривой блеска значения потока в оптическом и гамма-диапазонах совпадают, в целом же кривая без учета последней точки идет на спад, как и рентгеновская ($F_{opt} = 2.29 \times 10^{-6}$ Ян, $F_{xrt} = 2.29 \times 10^{-6}$ Ян). Степенной индекс затухания в интервале от 1016 до 2625 с составляет 0.87, совпадая с рентгеновским на последней фазе. Красное смещение $z = 2.67$ было независимо получено на телескопах NOT (6.4 ч после триггера) и GTC (6.5 ч после триггера, $z = 2.671$, OSIRIS [45]).

GRB 110801A

Телескоп Swift обнаружил гамма-всплеск GRB 110801A 11 августа 2001 г. в 19:49:42 UT. Гамма-детектор Swift-BAT определил координаты объекта: $\alpha = 05^h57^m08^s$, $\delta = +80^\circ59'19''$. Через 98.9 с навелся детектор Swift-XRT и определил рентгеновский источник $RA, Dec(2000) = 05^h57^m43.36^s$, $+80^\circ57'17.2''$ с ошибкой $4.9''$, а Swift-UVOT – оптический транзиент 18-й звездной величины с координатами $RA, Dec(2000) = 05:57:44.73 + 80:57:21.6$ (GCN 12228).

Телескоп МАСТЕР-Тунка навелся на GRB 110801A за 101 с. Высота Солнца в момент алерта была -12.5° , в связи с чем на первых кадрах предел на нем составил 14 звездную величину, новый источник не был обнаружен, и телескоп закрылся из-за рассвета.

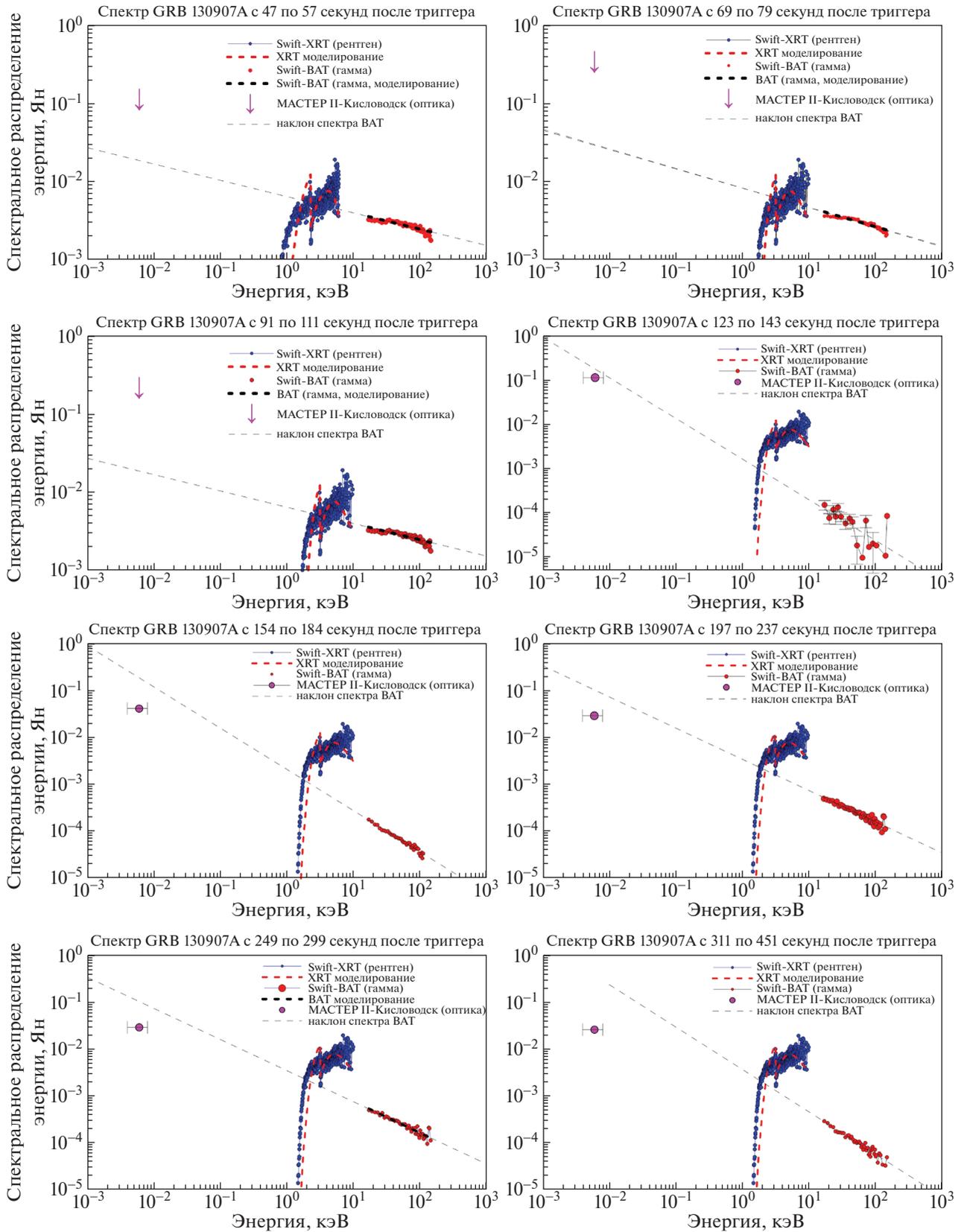


Рис. 2. Спектры GRB 130907A в интервале от 47 до 451 с после триггера. Синим обозначены данные Swift-XRT, красными штрихами – моделирование рентгеновской кривой. Красные точки – Swift-BAT, черные жирные штрихи – моделирование поведения излучения в гамма-диапазоне. Фиолетовая точка – данные станции МАСТЕРа в Кисловодске. Штриховая линия – аппроксимация данных Swift-BAT.

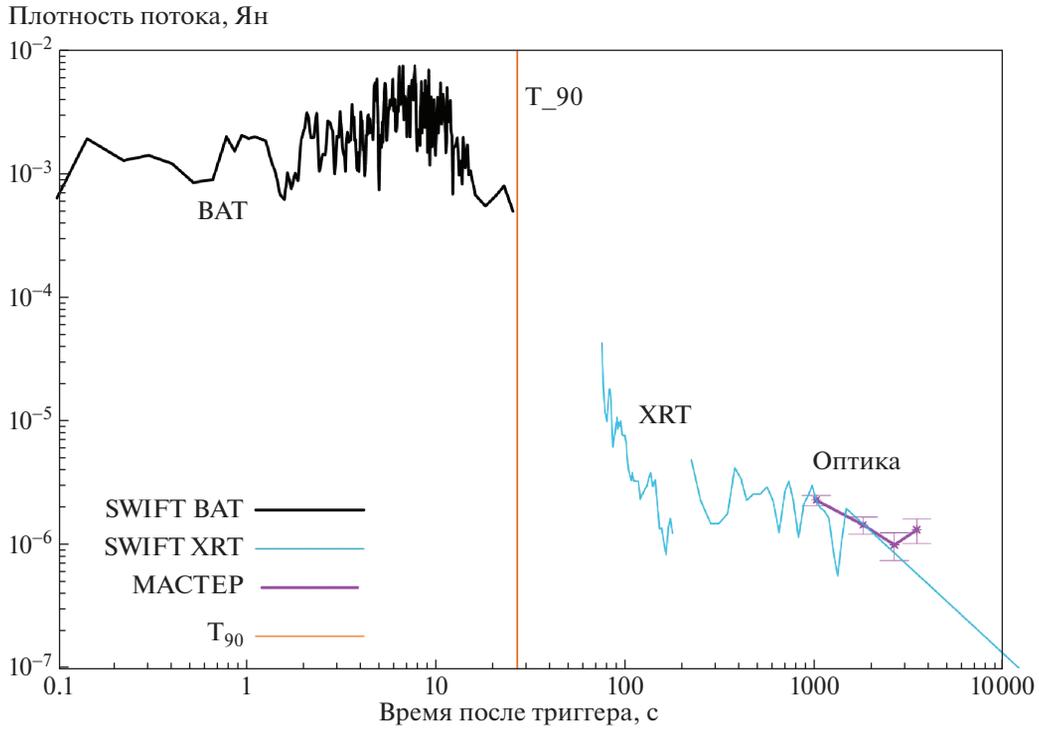


Рис. 3. Результаты наблюдений GRB 120811C. Черная линия – Swift-BAT, синяя – рентгеновский диапазон Swift-XRT, фиолетовая – кривая блеска в оптическом диапазоне, полученная на телескопе-роботе МАСТЕР-Амур в Благовещенске, вертикальная линия – параметр T_{90} .

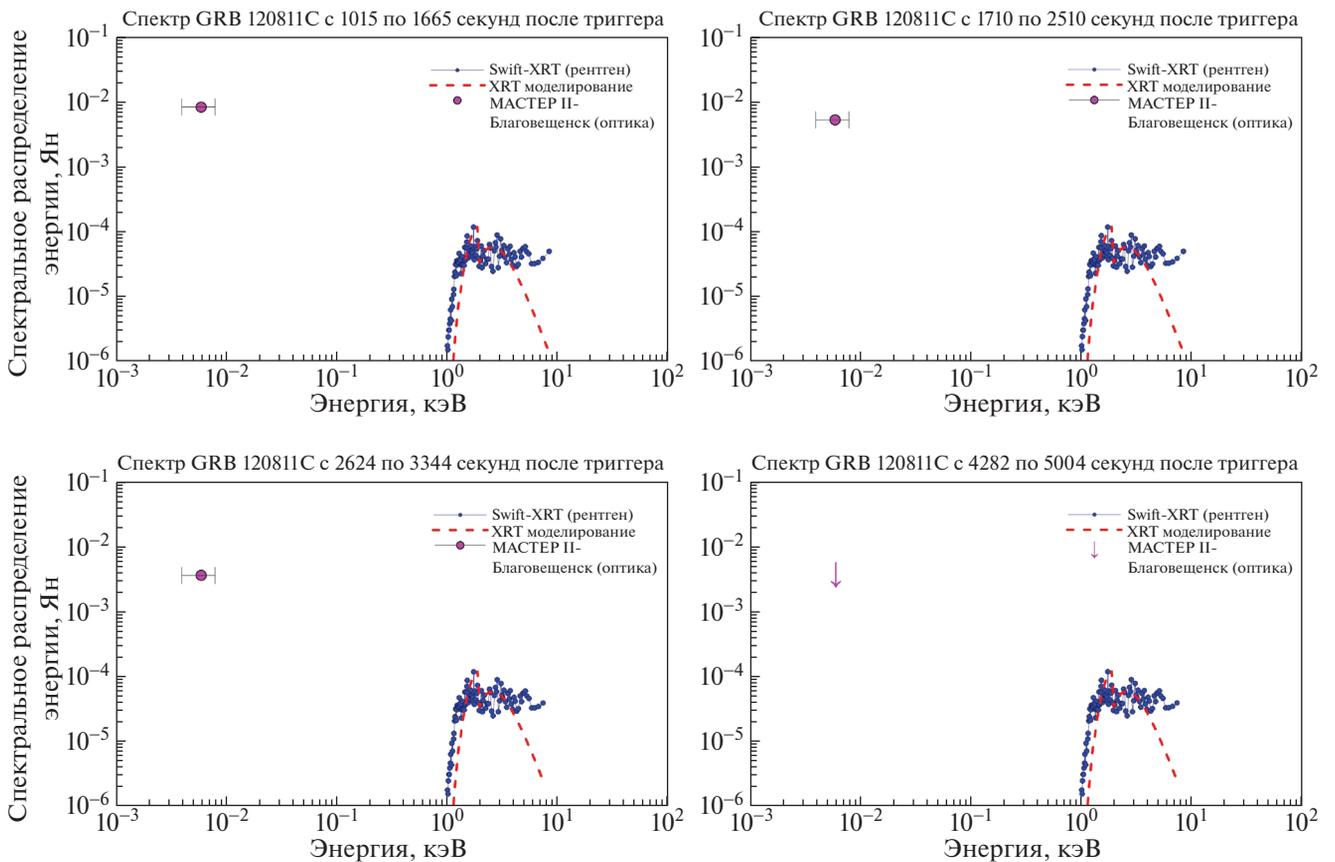


Рис. 4. Спектры GRB 120811C в интервале от 1015–5832 с после триггера.

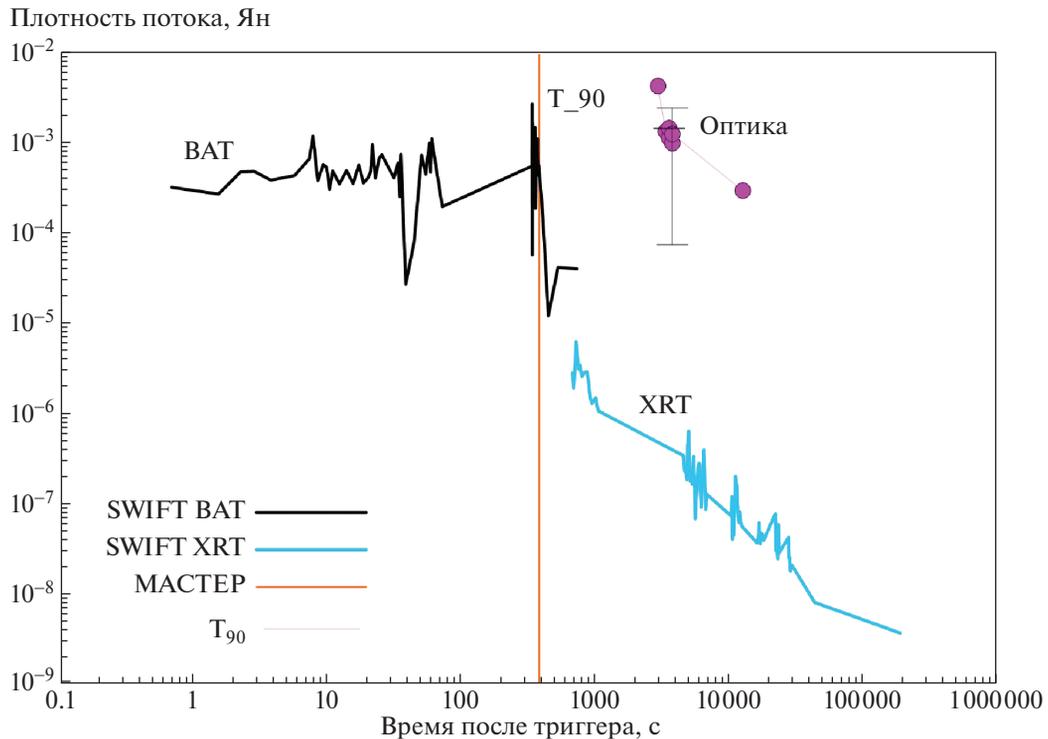


Рис. 5. Результаты наблюдений GRB 110801A. Черная линия – Swift-BAT, синяя – рентгеновский диапазон Swift-XRT, фиолетовая – кривая блеска в оптическом диапазоне, полученная на телескопе-роботе МАСТЕР-Кисловодск, вертикальная линия – параметр T_{90} .

МАСТЕР-Кисловодск закрыл крышу за 20 мин до алерта из-за сильной облачности. Наблюдения алерта начались через 47 мин 40 с после триггера в 20:37:22 UT. Полученная кривая блеска хорошо описывается степенным законом $F \sim t^{-\alpha}$, $\alpha = 1.0 \pm 0.1$ в фильтре R [33]. Видна корреляция между рентгеновским и оптическим потоками. Параметр падения кривой блеска в оптике и рентгене в интервале от 2950 до 12722 с совпадает и составляет 1.05.

Гамма-всплеск линейно затухает в оптике и рентгене, однако наблюдаются быстропеременные флуктуации (мерцание) во всех трех типах излучения, а также провалы и выраженные пики у гамма-кривой (рис. 5).

GRB 120404A

Гамма-всплеск GRB 120404A был зарегистрирован орбитальной обсерваторией Swift [34] в 12:51:02 UT. Его координаты, определенные детектором Swift-BAT, $\alpha = 15^{\text{h}}40^{\text{m}}03^{\text{s}}$, $\delta = -12^{\circ}52'54''$ (с ошибкой 3') были разосланы через систему электронных циркуляров GCN NASA (GCN13208). Swift-XRT навелся через 130 с после триггера и обнаружил рентгеновский источник по координатам $RA(J2000) = 15^{\text{h}}40^{\text{m}}02.12^{\text{s}}$, $Dec(J2000) = +12^{\circ}53'04.1''$ с ошибкой 0.4'' (радиус 90%). Телескоп UVOT на-

чал наблюдения через 138 с после триггера и обнаружил оптический транзиент по координатам $RA(J2000) = 15:40:02.29$, $DEC(J2000) = +12:53:06.3$ (с ошибкой 0.65'') со звездной величиной $19.37^{\text{m}} \pm 0.16$ (по уровню 1 сигма).

Телескоп МАСТЕР-Амур, расположенный в Благовещенске, навелся на гамма-всплеск GRB 120404A за 24 с (71 с после триггера) в 12:52:13.917 UT [43]. Наблюдения проводились при полной Луне (фаза 0.92), расстояние до Луны 72° , ее высота над горизонтом 20° . В момент алерта ($T_0 = \text{trigger_time}$) высота гамма-всплеска над горизонтом была 15° . МАСТЕР-Амур обнаружил оптический переменный объект 16.8^{m} на третьей экспозиции (GCN13230).

Анализируя кривую блеска (см. рис. 6) в интервале от 263 до 3311 с, получаем ее наклон 0.32; в диапазоне от 3516 до 9001 с наклон равен 0.42. Кривую блеска можно разделить на 3 фазы: поярчание, спад и плато. Первая и вторая фаза описываются суммой линейного и степенного законов, третья – линейная. Аналогично с гамма-диапазоном, можно предположить, что первая фаза состоит не из линейного и степенного, а двух степенных участков. Рентгеновская кривая неравномерно затухает, из особенностей можно отметить участок плато с 263 до 3311 с. Спектры GRB

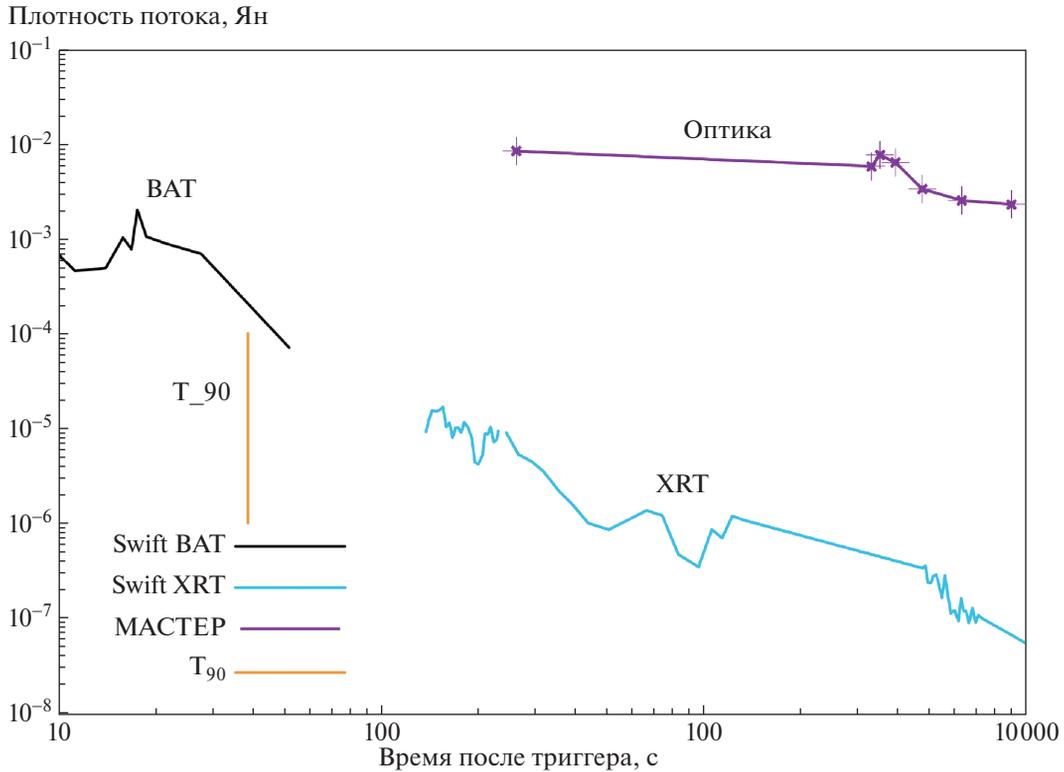


Рис. 6. Результаты наблюдений GRB 120404A. Черная линия – Swift-BAT, синяя – рентгеновский диапазон Swift-XRT, фиолетовая – кривая блеска в оптическом диапазоне, полученная на телескопе-роботе МАСТЕР-Амур, линия – время T_{90} .

120404A в интервале от 262 до 8110 с после триггера SWIFT представлены на рис. 7.

спадает с тем же значением. Доверительный интервал для оси Y составляет 0.75^m .

GRB 140129B

Обсерватория SWIFT зарегистрировала (Swift-BAT) гамма-всплеск GRB 140129B в 12:51:09 UT (GCN 15765). Детектор XRT начал наблюдения в 12:52:16.5 UT, через 67.1 с после триггера, обнаружив рентгеновский источник в квадрате ошибок BAT. Телескоп UVOT начал наблюдения через 356 с после триггера в белом свете с экспозицией 150 с, обнаружив оптический источник по координатам $\alpha = 21^h47^m01.67^s$, $\delta = +26^\circ12'22.9''$ со звездной величиной $16.9^m \pm 0.1^m$ (1σ) [29].

Телескоп МАСТЕР, расположенный в Тунке, навелся на гамма-всплеск GRB 140129B через 105 с после времени триггера 29.01.2014 в 12:52:54 UT [79]. Яркость объекта составила около 14^m в соответствии с координатами SWIFT-UVOT и Swift-XRT.

Оптическая кривая блеска (см. рис. 8) затухает линейно с небольшим пиком на 366 с (15.9^m), индекс затухания в интервале от 108 с до 1330 с равен 1.467. Начиная с 1000 с, рентгеновская кривая

GRB 140311B

Детектор Swift-BAT зарегистрировал гамма-всплеск GRB 140311B 14.03.11 в 21:14:29 UT, определив координаты объекта $\alpha = 16^h49^m10^s$, $\delta = 52^\circ44'50''$ с ошибкой $3'$. Swift-XRT и SWIFT-UVOT начали наблюдения через 55 мин после триггера (GCN 15945).

Телескоп МАСТЕР II в Тунке начал наблюдения GRB 140311A через 107 с после триггера 11.03.14 в 21:16:16 в двух поляризациях. На первых кадрах с 20-ти секундной экспозицией нет оптического транзиента [32].

Телескоп МАСТЕР в Благовещенске [85] продолжил наблюдения гамма-всплеска GRB 140311B в автоматическом режиме через 85 с после триггера. Всплеск был снят 11.03.14 в 21:15:54 в двух поляризациях. Верхний предел кадра составил всего 14.0^m , так как при съемке объекта уже было утро (высота Солнца = -6.47°).

Кривая блеска (см. рис. 9) имеет структуру из нескольких пиков, однако более вытянутую, чем гамма и рентгеновская кривые. Для рентгенов-

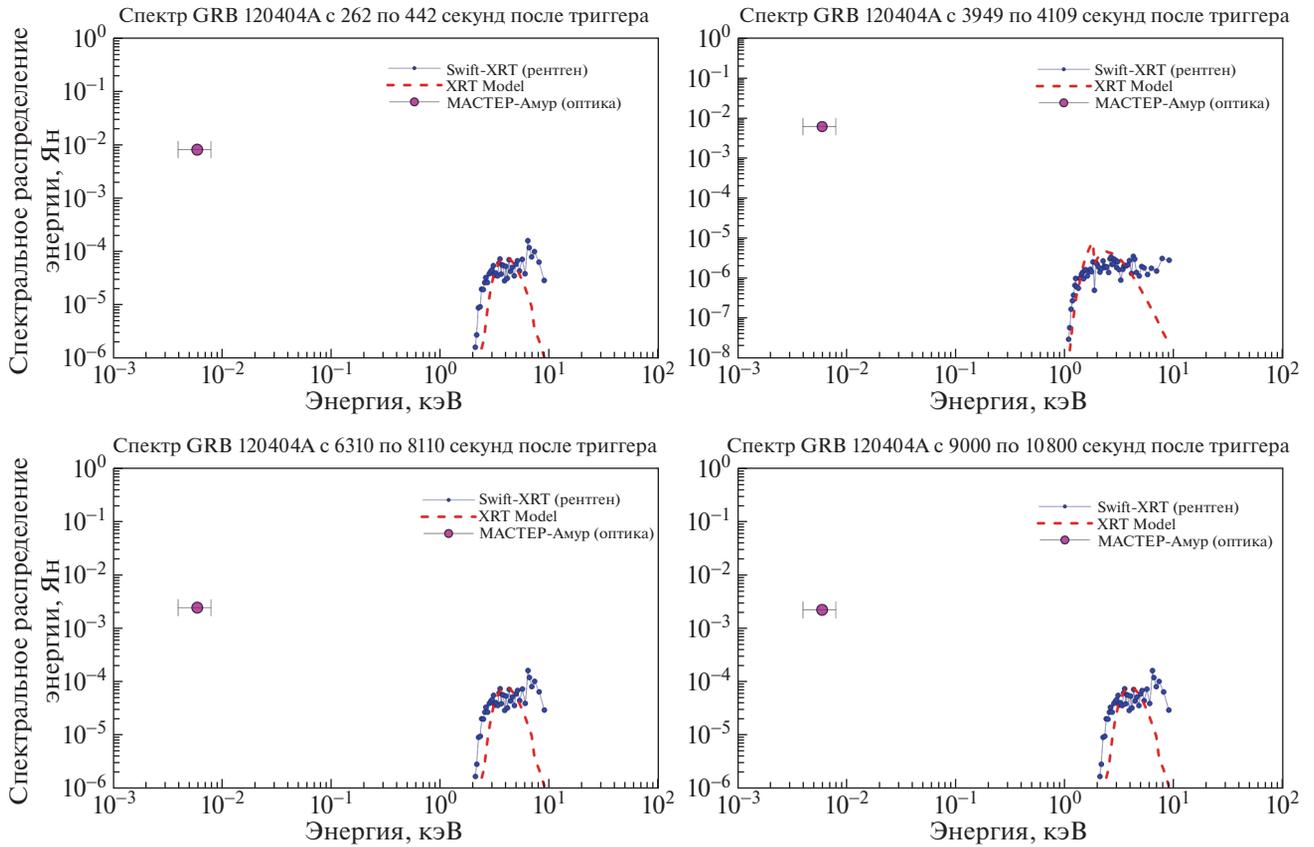


Рис. 7. Спектры GRB 120404Ав интервале от 262 до 8110 с после триггера SWIFT.

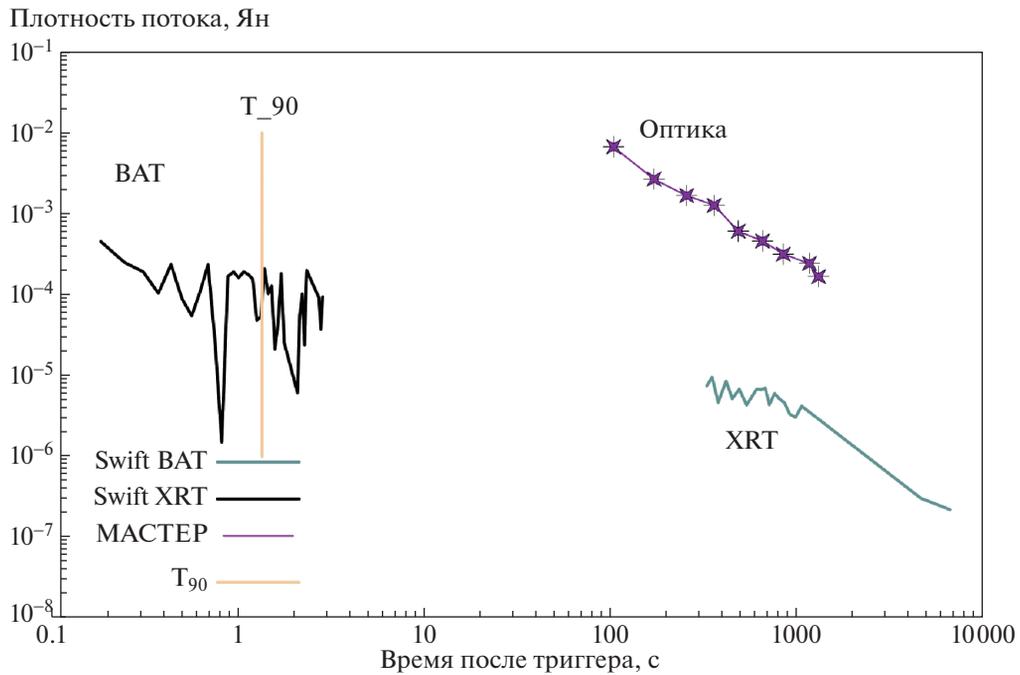


Рис. 8. Результаты наблюдений GRB 140129В. Квадраты – Swift-XRT, круги – Swift-BAT, треугольники – точки телескопа МАСТЕР II в Тунке, линия – параметр T_{90} .

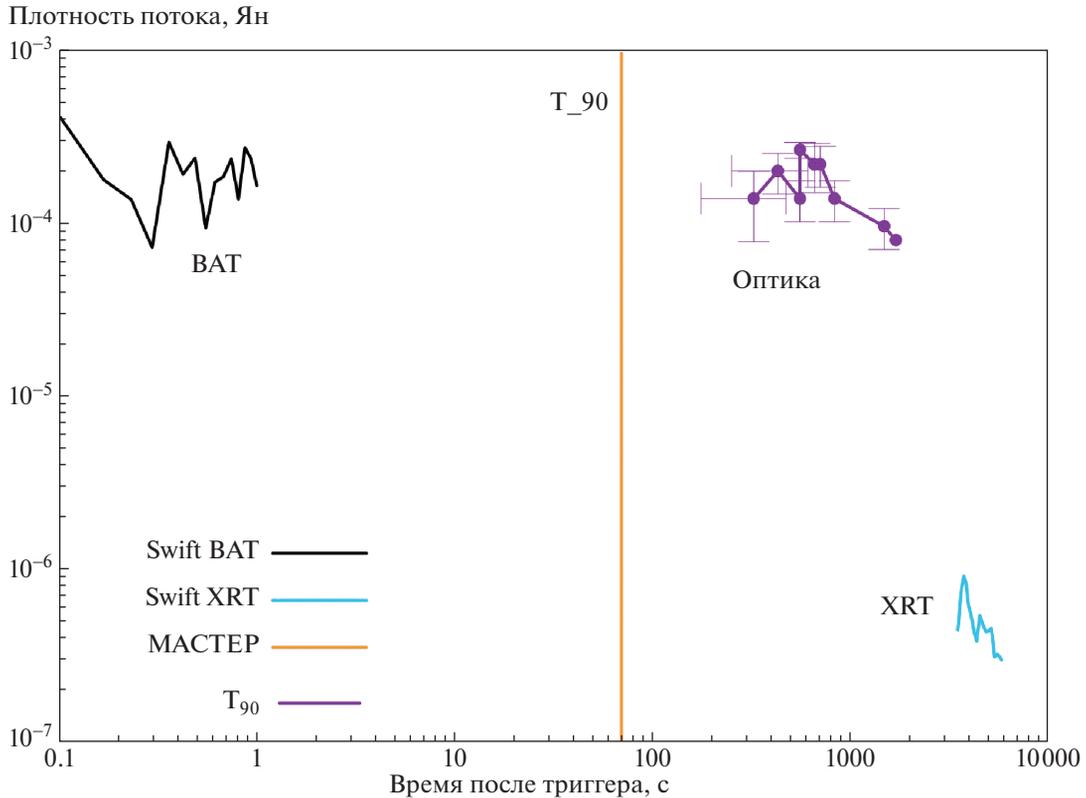


Рис. 9. Результаты наблюдений GRB140311B. Квадраты – Swift-XRT, круги – Swift-BAT, треугольники – точки телескопа МАСТЕР II в Тунке, линия – параметр T_{90} .

ской кривой можно выделить пики, соответствующие оптике на 432, 550 и 650 с.

GRB 160227A

В 19:32:08 UT 27.02.16 гамма-рентгеновая обсерватория SWIFT обнаружила GRB 160227A (GCN19098). Swift-XRT начал наблюдения через 151.8 с после триггера. Уточненные координаты Swift-XRT для этого всплеска $\alpha = 12^{\text{h}}59^{\text{m}}11.38^{\text{s}}$, $\delta = 78^{\circ}40'36.5''$, квадрат ошибок $5''$. Телескоп Swift-UVOT продолжил наблюдения в оптическом диапазоне через 150 с после триггера, обнаружив послесвечение яркостью $19.32 \pm 0.15^{\text{m}}$.

GRB 160227A наблюдался практически всей сетью МАСТЕР, что позволило построить кривую блеска на основании данных нескольких телескопов.

Телескоп МАСТЕР-Урал [157] автоматически навелся и начал наблюдения GRB 160227A через 115 с после триггера SWIFT 19:34:93 UT. На первом кадре с экспозицией 20 с в квадрате ошибок SWIFT-BAT был найден оптический источник с координатами $\alpha = 12^{\text{h}}59^{\text{m}}14.13^{\text{s}}$, $\delta = +78^{\circ}40'44.2''$ и яркостью 17.3^{m} . В течение часа было получено несколько одиночных и суммар-

ных кадров, на которых видно уменьшение яркости гамма-всплеска от 17.0^{m} до 19.1^{m} ($m_{\text{lim}} = 19.5^{\text{mag}}$) (GCN 19099, GCN 19116). Наблюдения проведены в двух поляризациях.

Телескоп NOT начал наблюдения GRB 160227A 27.02.16 в 20:19:12 UT. Исследование спектра оптического послесвечения гамма-всплеска позволило оценить красное смещение 2.38 (GCN19109).

При рассмотрении кривой блеска (см. рис. 10) отчетливо заметны несколько максимумов на кривой блеска во всех трех исследуемых диапазонах. Локальные минимумы на оптической кривой блеска наблюдаются на 174 с, 383 с и 607 с, локальные максимумы – на <125 с, 231 с, 485 с и 935 с. Важно, что положения минимумов и максимумов, а также закон затухания (наклон) совпадают во всех трех диапазонах излучения от начала оптической регистрации (125 с) до ~ 700 с после триггера. При этом мы имеем 3 коррелированные вспышки и 2 участка синхронного затухания (см. табл. 1). Спектры в интервале от 125 до 711 с после триггера представлены на рис. 11.

Кривые блеска гамма-всплесков, полученные на телескопах-роботах МАСТЕР, представлены на рис. 12.

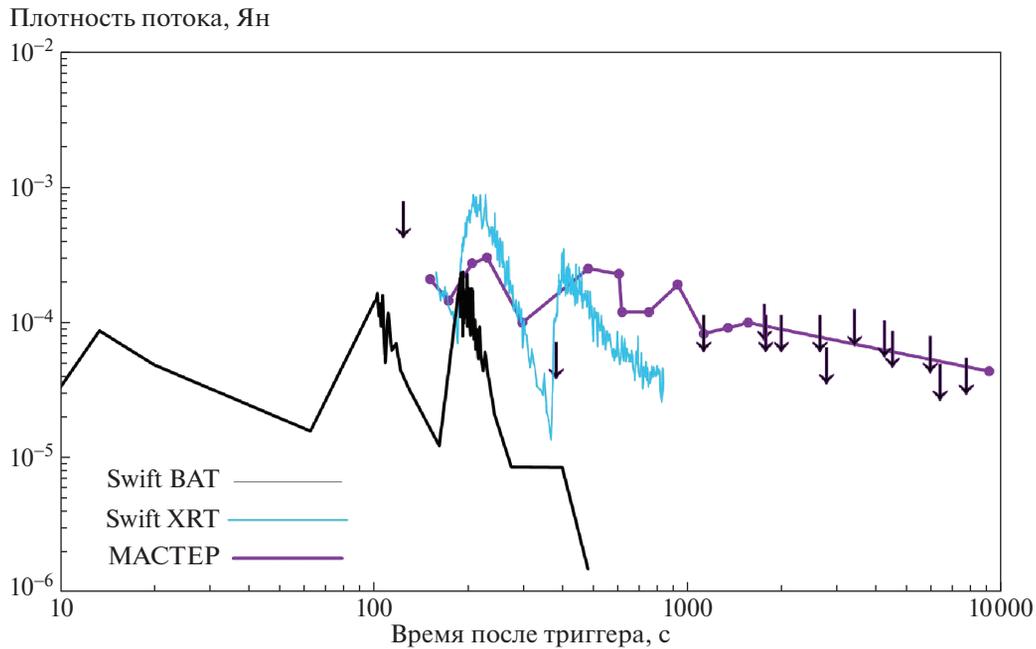


Рис. 10. Результаты наблюдений GRB160227A. Черная линия – Swift-BAT, синяя – Swift-XRT, фиолетовая – кривая блеска в оптическом диапазоне, полученная на телескопах сети МАСТЕР. Отчетливо прослеживается корреляция между всеми типами излучения.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ 130 ГАММА-ВСПЛЕСКОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ДЕТЕКТОРАМИ SWIFT, FERMI, INTEGRAL, MAXI, KONUS-WIND, LOMONOSOV, CALET

Из 130 гамма-всплесков, результаты оптического исследования которых на телескопах-роботах МАСТЕР мы представляем (см. ниже табл. 20), 85 событий были зарегистрированы на орбитальной обсерватории Swift (и первыми опубликованы), 33 зарегистрированы на орбитальной обсерватории Fermi, 5 зарегистрированы на орбитальной обсерватории INTEGRAL, координаты для трех получены по IPN триангуляции (включая Конус-Винд, MESSENGER, Suzaku, Mars Odyssey), 4 зарегистрированы на MAXI (рис. 13).

При проведении алертных наблюдений 130 гамма-всплесков на телескопах-роботах МАСТЕР автоматически (собственным программным обеспечением для наблюдений и обработки широкопольных и сверхширокопольных изображений) для 44 из них был обнаружен оптический быстропеременный источник (см. распределение по яркости на рис. 14).

В областях локализации некоторых из остальных 86 событий были обнаружены катаклизмические переменные (GRB141208.63/Fermi trigger 439744201, GRB 160925A, GRB 140824B в поле Fermi trigger 430583595, Fermi trigger 458235025), оптические источники неизвестной природы (в

поле Fermi GRB 131125A), красные звезды (в поле MAXI GRB 131225A), вспышка квазара (в поле Fermi GRB 141124A), сверхновая II типа (GRB 150210A).

Скорость реакции наведения ($T - T_{\text{trigger}}$) телескопов МАСТЕР на алерты 130 гамма-всплесков, рассматриваемых в настоящей работе (см. ниже табл. 20), представлена в виде гистограмм на рис. 15. Величина $(T - T_{\text{trigger}}) > 900$ означает, что алерт пришел в дневное время суток для ближайших обсерваторий или при неподходящих метеоусловиях. Такие наблюдения называются инспекционными. Наблюдения до 15 минут – алертные ($T - T_{\text{trigger}}$) от 3 до 15 мин означает, что время прихода алерта попадает на закат на текущей обсерватории. Наведение за 120–180 с означает, что время прихода алерта попало на паузу в метеосводке (при улучшении погодных условий телескоп открывается не сразу, выдерживая несколько минут для достоверности наступления положительных условий наблюдений). Анализ 130 гамма-всплесков показал, что среди оптических телескопов быстрее МАСТЕРа и Swift-UVOT другие инструменты, исследующие GRB, не наводились. Из графика видно, что МАСТЕР – лидер по первым наведениям для гамма-всплесков.

GRB 120106A

Для всплеска GRB 120106A на первом же кадре с экспозицией 10 с (46 + 10 с от триггера) (GCN

Таблица 1. Суммарная таблица степенных индексов для 13 гамма-всплесков. t_1 , t_2 – временные границы интервала в секундах, в пределах которого измеряется наклон кривой блеска α

Гамма-всплеск	t_1 , с	t_2 , с	α
GRB130831A	139	202	-2.01
	139	416	-0.59
	202	416	0.14
	416	727	-5.35
	727	2143	3.69
	2635	5733	1.34
	5367	13001	5.8
GRB 160131A	266.08	1976.16	0.48
	3297.5	17616.48	1.94
	24554	43177	2.29
	47778	54884	3.17
GRB 140129B	108	1329.84	1.46
GRB 140103A	458	828	-0.47
	1562	6080	-0.38
GRB 141225A	123.12	3160.8	1.25
GRB 120404A	262.8	3310.92	0.38
	3515.84	9000.72	0.42
GRB 140512A	186	1552	0.45
GRB 151027B	1235	3499	0.53
GRB 120811C	1016	2625	0.87
GRB 130907A	123	197	2.91
	249	311	0.41
GRB 110801A	2950	12722	1.05
GRB 140304A	82	3526	0.77
GRB151021A	54	3239	4.67

12818, GCN 12811) МАСТЕР обнаружил оптический источник MASTER OT J042425.81 + 640218.1 на уровне 5σ . На последующих двух кадрах предел падал, с четвертого объект не обнаружен.

GRB 120811C

МАСТЕР провел наблюдения оптического источника MASTER OT J131844.01 + 621802.7 в четырех поляризационных фильтрах на телескопах

МАСТЕР-Амур и МАСТЕР-Тунка (GCN 13635, GCN 13623).

GRB 121011A

Оптический источник MASTER OT J172051.21 + 410636.9 был обнаружен на четвертой экспозиции, начавшейся в 2012-10-11 11:19:20, см. ниже табл. 19 и GCN 13848, GCN 13854.

GRB 130306A

Гамма-всплеск был опубликован Swift-BAT (GCN14266), зарегистрировавшим его в 23:51:01UT, но первым обнаружил его телескоп Fermi, на 216 с раньше, чем Swift, поэтому телескоп-робот МАСТЕР-Кисловодск навелся через 59 с после Fermi Trigger 384306448, что соответствует времени за 157 с до алерта Swift. Это позволило провести наблюдения GRB 130306A синхронно с детекторами Swift (GCN 14269, GCN 14279).

GRB 131125A

В области локализации GRB 131125A, определенной по IPN триангуляции: Fermi, Konus-Wind, Integral (размером $\pm 5.5^\circ$) на сверхширокопольных камерах МАСТЕР обнаружены 3 объекта с ошибкой определения координат $7''$ и $S/N > 5$: RA,Dec(2000) = 114.775649° + 46.120371° (в $2.476''$ от галактики SDSS) $m = 13.6^m$, RA,Dec(2000) = 114.597740° + 48.927898° (нет известных объектов в радиусе $10''$) $m = 13.7^m$, RA,Dec(2000) = 114.835195° + 47.047021° (нет известных объектов в радиусе $10''$) $m = 13.0^m$. В связи с отсутствием спектров тип объектов не определен точнее транзиента.

GRB 131225A

Внутри квадрата ошибок MAXI (0.28°) обнаружены 2 объекта ID #1191735: 06 19 43.71 + 04 47 37.6 (20.13^m); ID #1191736: 06 17 51.08 + 04 57 19.8 (20.26^m), которые мы идентифицировали как красные звезды (GCN 15614).

GRB 140219A

Для этого всплеска координаты области локализации которого получены по IPN-триангуляции с аппаратов: Fermi, Konus, Integral, Suzaku, Mars Odyssey, MESSENGER (GCN 15864, 15870), МАСТЕР, проводя собственный обзор, получил изображения до триггера, в момент триггера и после него.

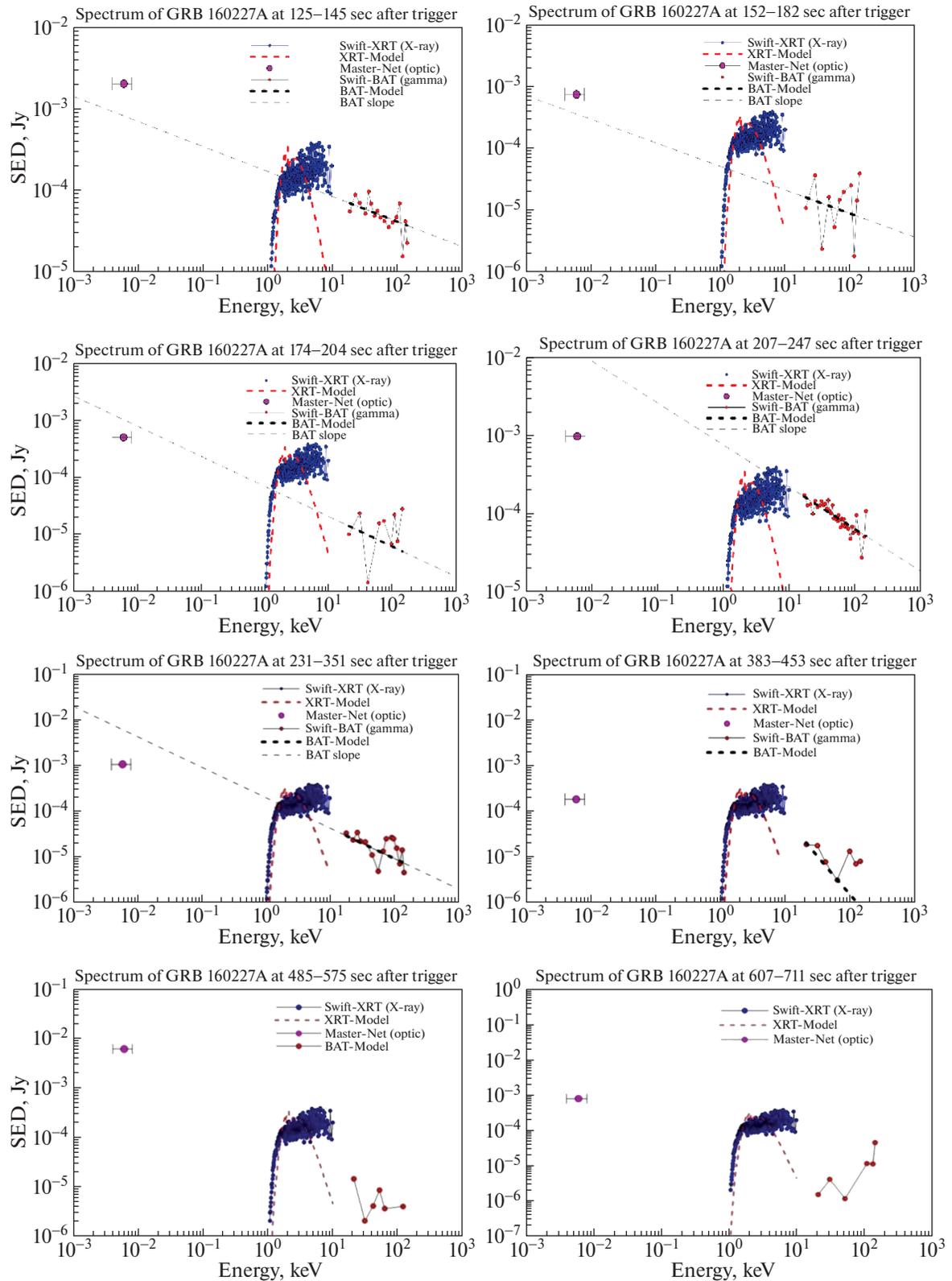


Рис. 11. Спектры GRB 160227A в интервале от 125 до 711 с после триггера.

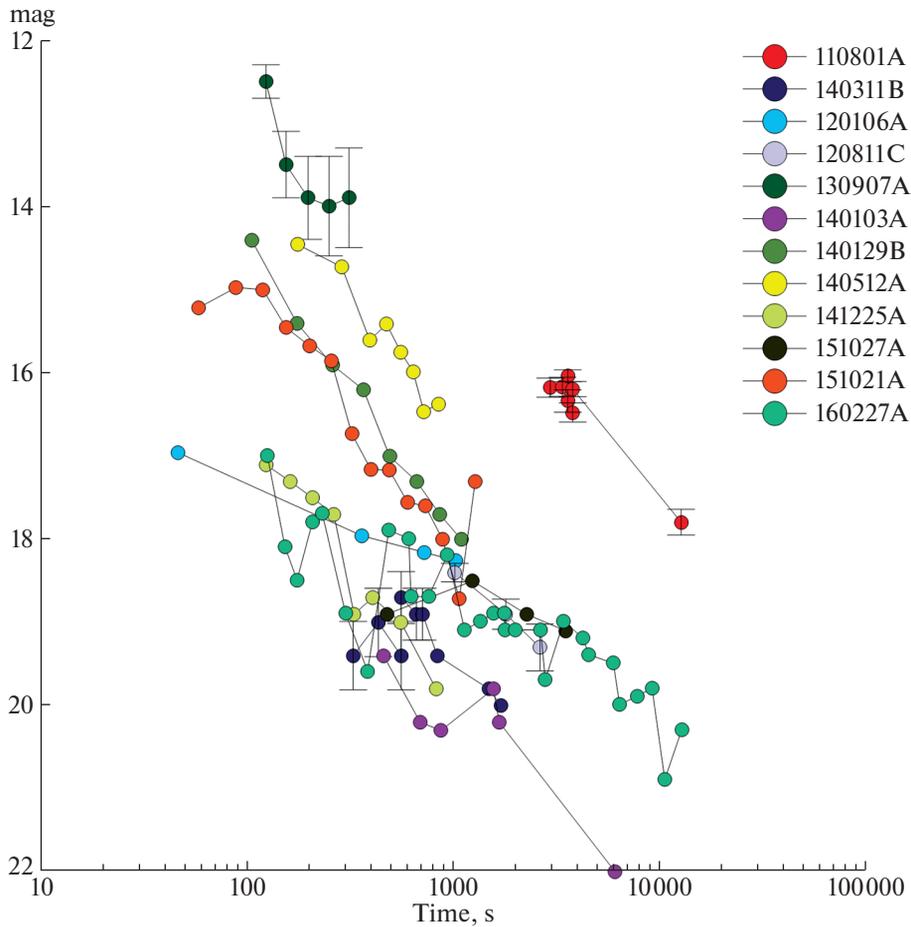


Рис. 12. Кривые блеска (в оптическом диапазоне) для оптических источников гамма-всплесков GRB 110801A, GRB 140311B, GRB 120106A, GRB 120811C, GRB 130907A, GRB 140129B, GRB 140103A, GRB 140512A, GRB 141225A, GRB 151021A, GRB 151027B, GRB 160227A, полученные на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР.

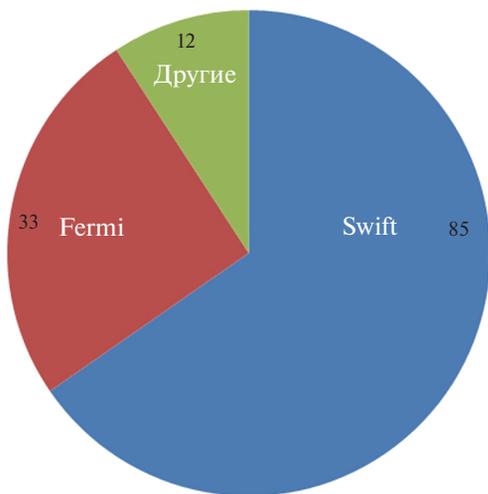


Рис. 13. Орбитальные обсерватории, зарегистрировавшие 130 гамма-всплесков, исследованных в оптическом диапазоне на телескопах-роботах МАСТЕР (табл. 20).

GRB 140304A

Телескоп-робот МАСТЕР-Тунка, получив координаты области локализации по сокетной системе, автоматически навелся, получил изображения, обработал их в алертном режиме, обнаружил новый (некаталогизированный) стационарный быстропеременный объект MASTER OT J020234.13 + 332826.6 и опубликовал (GCN 15914) его быстрее, чем Swift сообщил о гамма-всплеске (GCN15915).

GRB 140512A

Телескоп-робот МАСТЕР-Тунка, получив координаты области локализации по сокетной системе, автоматически навелся, получил изображения, обработал их в алертном режиме, не обнаружил новых источников и опубликовал верхний предел (GCN 16248) быстрее, чем Swift сообщил о гамма-всплеске (GCN16249). Оптический источ-

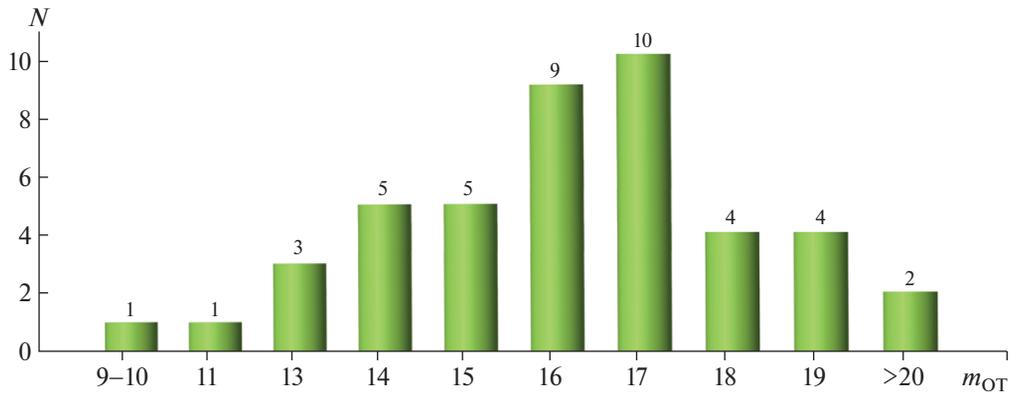


Рис. 14. Распределение по яркости 44 оптических источников гамма-всплесков, которые были обнаружены при исследовании 130 областей локализации гамма-всплесков.

ник MASTER OT J191728.78-150539.2 появился со второй экспозиции.

GRB 140801A

Телескоп-робот МАСТЕР-Тунка опубликовал первую телеграмму по гамма-всплеску GRB140801A (FERMI trigger 428612396, GCN 16653), обнаружив оптический источник MASTER OT J025616.44 + 305616.8, подтвержденный NOT (GCN16656), GTC ($z = 1.320$) (GCN 16657) (GCN 16663), БТА ($z = 1.319$), MPG/GROND (GCN 16666).

GRB 140824B (Fermi trigger 430583595)

Телескоп-робот МАСТЕР-Тунка обнаружил оптический транзиент MASTER OT J011101.13 + 603337.5 (GCN16740, GCN16741) области локализации Fermi trigger 430583595, но его дальнейшая кривая блеска позволяет классифицировать его как катаклизмическую переменную.

GRB 141028A

Оптический источник MASTER OT J213024.51-001352.3, обнаруженный МАСТЕРом в поле с радиусом 0.4° гамма-всплеска, зарегистрированного детектором Fermi-LAT (GCN 16969), подтвержден фотометрическими наблюдениями на 2-м MPG/GROND (GCN16977), обнаружением нового рентгеновского источника на Swift-XRT (GCN 16978) и оптическими наблюдениями на Swift-UVOT (GCN16979), инфракрасными наблюдениями на HJT/RATIR (GCN16980), Цейсс-1000 в CAO РАН (GCN16993) и другими. Спектр получен на Gemini-North ($z = 1.82$ по линиям CrII, ZnII, FeII, MgII, MgII, and MgI GCN16982), VLT ($z = 2.33$ по линиям HI, Si II, C II, Fe II, C IV, Mg II; отметив также присутствие в спектре линий C IV, Fe II, Mg II на $z = 1.823$ и CIV $z = 2.09$ GCN16983).

GRB 141124A

Во время исследования локализации ($r = 4.98^\circ$) Fermi trigger 438503903 МАСТЕР обнаружил вспышку квазара NVSS J075043 + 790917 на 4 звездных величины (GCN17095).

GRB 141208.63/Fermi trigger 439744201

В области локализации этого всплеска МАСТЕР-Кисловодск обнаружил оптический быстропеременный объект MASTER OT J001907.27 + 403423.8 (GCN17154), в дальнейшем классифицированный как катаклизмическая переменная.

GRB 150404A/trigger 49861706

Оптический источник MASTER OT J110859.75-693818.9 гамма-всплеска GRB150404A (Fermi trigger time 2015-04-04 17:35:03.72 UT) вспыхивает в 2015-04-04 17:35:45 UT (10с экспозиция), т.е. через 41 с после триггера, профиль звездный, на втором кадре (2015-04-04 17:36:25UT, 20с экспозиция) $m_{OT} m_{lim} = 16.4^m$.

GRB 150210A

Fermi GBM детектор зарегистрировал гамма-всплеск 10 февраля 2015 г. в 22:26:24.28UT с центром области локализации R.A.,Dec(2000) = $112.9, +12.4$ и ее размером 2.2° (1σ). Fermi-LAT уточнил координаты (R.A.Dec = $112.15, +13.27$) в 22:26:24.28 UT с ошибкой 0.33° . Телескоп-робот МАСТЕР-Кисловодск, наведясь за 22 с по первому алерту Fermi, обнаружил новый объект MASTER OT J072940.10 + 141425.5 (ATel 7050, GCN 17446), впоследствии оказавшийся сверхновой II типа (ATel 7052) на расстоянии $z = 0.026$, вспыхнувшей за несколько дней до гамма-всплеска.

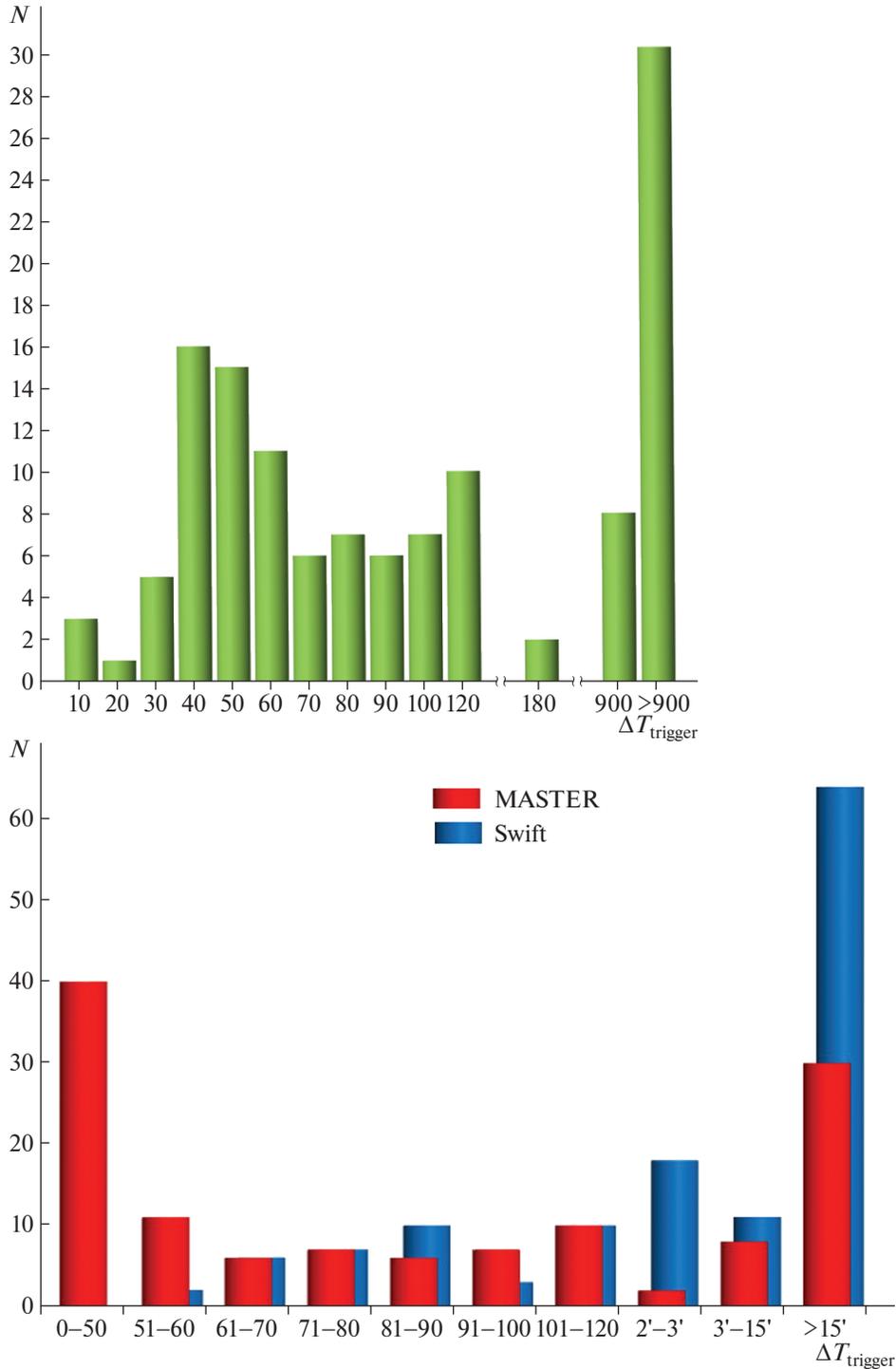


Рис. 15. а) Гистограмма скорости наведения от момента срабатывания триггера на гамма-обсерваторий ($\Delta T_{\text{trigger}}$) телескопов МАСТЕР на алерты 130 гамма-всплесков, рассматриваемых в настоящей работе (табл. 20). б) Гистограмма скорости наведения ($\Delta T_{\text{trigger}}$) телескопов МАСТЕР (красный цвет) и Swift-UVOT (синий цвет) на 130 гамма-всплесков, рассматриваемых в настоящей работе (в табл. 20 это столбцы 2 для Swift и 5 для МАСТЕРа).

GRB 150211A

МАСТЕР-Тунка навелся, получил изображение области локализации всплеска, обработал и

опубликовал телеграмму (GCN 17433) раньше публикации о регистрации всплеска телескопом Swift (GCN 17434).

Таблица 2. Фотометрия GRB 130907A (GCN 15184, GCN 15220)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1	Filter2	m2	Err. m2	Filter
МАСТЕР- Кисловодск	47	10	P-	<10.5		P	<10.5		P-
	69	10	P-	<10.5		P	<10.5		P-
	91	20	P-	<11.0		P	<11.0		P-
	123	20	P-	13.0	0.2	P	12.2	0.2	P-
	154	30	P-	13.6	0.4	P	13.3	0.4	P-
	197	40	P-	13.7	0.5	P	13.7	0.5	P-
	249	50	P-	14.4	0.6	P	13.7	0.5	P-
	311	60 + 80	P-	<13.7		P	<13.8		P-

Fermi trigger 458235025

В области локализации GRB 150710.65/Fermi trigger 458235025 обнаружен оптический транзит, при дальнейшем анализе – катаклизмическая переменная типа UG (ASASSN-15bq).

GRB 160925A

Область локализации была исследована через 12.6 ч после алерта, обнаружен оптический быстропеременный объект МАСТЕР ОТ J222817.90-145657.4, дальнейшие фотометрические исследования которого показали катаклизмическую природу.

GRB 161119A

Оптический источник МАСТЕР ОТ J032252.81-482912.8 ($m_{OT} = 17.8^m$) был обнаружен МАСТЕРОм во время инспекционного обзора [35] области локализации Fermi trigger 501261070 (время срабатывания Fermi GBM триггера: 2016/11/19 15:11:06.40 UT, время обнаружения оптического объекта: 2016-11-19 21:17:17.878 UT, присутствует на шести изображениях за ночь, ни до ни после даты гамма-всплеска объект более не обнаружен).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Благодаря уникальным преимуществам телескопов-роботов Глобальной сети МАСТЕР (полная роботизация наблюдений, автоматическое быстрое наведение телескопов, проведение исследований в поляризационных и WBVRI фильтрах одновременно, обработка результатов в режиме реального времени, созданные нами интерактивные инструменты анализа астрономических данных для исследования быстропеременных и движущихся объектов), у нас есть возможность получить детальные кривые блеска источников гамма-всплесков в оптическом диапазоне и ис-

следовать их. МАСТЕР – лидер по первым наведениям на гамма-всплески (рис. 15).

Из 130 исследованных областей локализации оптический компаньон обнаружен в 44 случаях (см. ниже табл. 20). Для всплесков 160401A, 160910A, 161117A проведены наблюдения собственного (синхронно с гамма-) оптического излучения.

По поведению кривых блеска можно выделить два случая:

1. Кривая блеска в гамма-диапазоне не коррелирует с оптической кривой блеска. Это предполагает, что гамма- и оптическое излучение имеют разную природу. В этом случае оптическое излучение может быть сгенерировано обратной ударной волной, возникающей в свою очередь в результате взаимодействия выброса с окружающей средой. Механизм – синхротронное излучение.

2. Кривые блеска в оптическом и гамма-диапазоне коррелируют. Соответственно мы предполагаем общий механизм их возникновения. Оптическое излучение в этом случае служит индикатором джета, изолированного от межзвездной среды. Излучение возникает в результате столкновения внутренних ударных волн. Механизмы – синхротронный, обратный Комптон-эффект.

В приведенных ниже таблицах приведены полученные степенные индексы для детализированных кривых блеска (табл. 1) и фотометрия наблюдений гамма-всплесков на телескопах Глобальной сети МАСТЕР с 2012 по 2017 г. (табл. 2–19). Значения колонок для таблиц с данными фотометрии таковы:

Обсерватория МАСТЕР – телескоп-робот Глобальной сети МАСТЕР, на котором проведены наблюдения.

T-T0 – время, прошедшее от момента срабатывания триггера до начала первой экспозиции.

Exp – экспозиция в секундах.

Filter 1, 2 – фильтры западной и восточной труб двойного широкопольного телескопа МА-

Таблица 3. Фотометрия оптического источника GRB 120811C

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter	m	Err. m1
МАСТЕР-Амур	1015.92	650	W	18.4	0.1
	1793.88	720	W	18.9	0.2
	2624.76	720	W	19.3	0.2
	4284	720	W	<19.5	
	5112	720	W	<19.5	

Таблица 4. Фотометрия оптического источника GRB 151021A

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1	Filter2	m2	Err. m2
MASTER- SAAO	54	10	P	14.7	0.2	P-	15.8	0.1
	78	20	P	15.0	0.1	P-	14.9	0.2
	109	20	P	14.9	0.1	P-	15.1	0.1
	140	30	P	15.3	0.1	P-	15.9	0.1
	181	40	P	15.9	0.1	P-	16.0	0.1
	231	50	P	16.3	0.1	P-	15.8	0.1
	292	60	P	16.3	0.1	P-	16.2	0.1
	183	70	P	16.4	0.1	P-	17.0	0.1
	443	90	P	16.7	0.1	P-	17.2	0.1
	580	110	P	17.1	0.1	P-	17.2	0.1
	665	130	P	17.1	0.1	P-	17.5	0.1
	865	160	P	17.4	0.1	P-	18.0	0.1
	977	180	P	17.4	0.1	P-	17.6	0.1
	1186	180	P	18.0	0.1	P-	17.6	0.1
	1391	180	P	17.9	0.1	P-	17.5	0.1
	1594	180	P	18.4	0.1	P-	18.3	0.1
	1800	180	P	18.2	0.1	P-	18.6	0.2
	2005	180	P	18.2	0.1	P-		
	2211	180	P	18.7	0.1	P-		
	2417	180	P	18.2	0.1	P-		
2622	180	P	18.4	0.1	P-			
2828	180	P	18.9	0.2	P-			
3033	180	P	18.5	0.2	P-			
3239	180	P	18.7	0.3	P-			

СТЕР текущей обсерватории, в которой проходила съемка (P|, P-, P/, P\ поляризационные) или одной трубы, если съемка велась в одной из них.

m1, m2 – звездная величина объекта на кадре в соответствующих фильтрах.

Err. m1,2 – ошибка ее определения. Обозначение “<XX” соответствует верхнему пределу на изображении для случаев, когда оптический источник не обнаружен.

Результаты оптических наблюдений областей локализации 130 гамма-всплесков приведены в табл. 20. Значения столбцов в этой таблице таковы.

(1): Идентификатор гамма-всплеска GRB.

(2): Гамма-телескоп, который его зарегистрировал и чей алерт МАСТЕР наблюдал автоматически. Для оптического детектора Swift-UVOT указано время его наведения по триггеру в секундах для построения рис. 15б.

Таблица 5. Фотометрия оптического источника GRB 151027B

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1
МАСТЕР-Кисловодск	159	2 × 30	P/ + P\	>17.7
	201	2 × 40	P/ + P\	>18.0
	252	2 × 50	P/ + P\	>18.3
	313	2 × 60	P/ + P\	>18.3
	384	2 × 80	P/ + P\	>18.4
	159	2 × 260	P/ + P\	>19.0
	475	2 × 690	P/ + P\	18.9
	1235	2 × 900	P/ + P\	18.5
	2264	2 × 1800	P/ + P\	18.9
	3469	2 × 1800	P/ + P\	19.1

Таблица 6. Фотометрия оптического источника GRB 120811C

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter	m	Err. m
МАСТЕР-Амур	1015.92	650	W	18.4	0.1
	1793.88	720	W	18.9	0.2
	2624.76	720	W	19.3	0.3
	4284	720	W	<19.5	
	5112	720	W	<19.5	

Таблица 7. Фотометрия оптического источника GRB 110422A

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1	m2	Err. m2
МАСТЕР-Тунка	58.68	10	R	15.3	0.3	14.9	0.3
	98.28	20	R	15.3	0.2	15.0	0.2
	142.92	30	R	15.7	0.3	16.0	0.3
	197.28	40	R	15.8	0.2	15.7	0.2
	261	50	R	16.0	0.2	16.3	0.2
	336.24	60	R	16.5	0.2	16.5	0.2
	426.96	80	R	16.4	0.2	16.4	0.2
	539.28	100	R	16.8	0.2	16.7	0.2
	672.48	120	R	17.2	0.2	17.7	0.2
	833.76	150	R	17.5	0.2	17.8	0.2
	1019.16	180	R	17.6	0.2	17.3	0.2
	1223.64	180	R	17.8	0.2	17.2	0.2
	1423.08	180	R	18.3	0.2	17.2	0.2
	1623.6	180	R	18.7	0.2	17.6	0.2
	1822.68	180	R	19.3	0.3	18.1	0.2

(3): Результаты наблюдений на широкопольных (WF – wide field) или сверхширокопольных (VWF – very wide field) телескопах обсерваторий МАСТЕР, которые выполняли исследование каждого конкретного гамма-всплеска.

(4): ΔT_{notice} – время наведения в секундах (время от получения сообщения о гамма-всплеске notice time до начала экспозиции).

(5): $\Delta T_{trigger}$ – время от момента срабатывания триггера на орбитальном детекторе до начала

Таблица 8. Фотометрия оптического источника GRB 091020

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1	m2	Err. m2
МАСТЕР- Кисловодск	3675.6	180	R	17.9	0.2		
	3875.04	180	R	17.4	0.1		
	4074.84	180	R	17.8	0.1		
	4274.28	180	R	18.0	0.2		
	4474.08	180	R	17.9	0.1		
	4673.88	180	R	17.6	0.1		
	4873.32	180	R	17.9	0.1		
	5776.56	180	R	18.6	0.1	18.6	0.1
	7138.8	180	R	18.9	0.1	18.5	0.1
	8228.16	180	R	19.0	0.1	19.1	0.1
	9226.44	180	R	19.3	0.1	19.1	0.1
	10224.72	180	R	19.4	0.1	19.6	0.1
	11222.64	180	R	19.3	0.1	19.4	0.1
	12220.92	180	R	19.3	0.1	19.7	0.2
	13219.2	180	R	19.2	0.1	19.5	0.1
	14217.48	180	R	20.0	0.2	19.9	0.2
	15215.76	180	R	20.7	0.2	20.0	0.2
16214.04	180	R	20.1	0.2	20.0	0.2	

Таблица 9. Фотометрия оптического источника GRB 060926 (GCN 5613, GCN 5619)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1
МАСТЕР-Домодедово	76	30	W	17.3	0.3
	150	30	W	18.5	0.3
	165	5 × 30	W	19.3	0.3
	255	5 × 30	W	18.9	0.3
	343	5 × 30	W	18.5	0.3
	432	5 × 30	W	18.3	0.3
	519	5 × 30	W	18.4	0.3
	608	5 × 30	W	18.7	0.3
	707	5 × 30	W	20.0	0.3
	804	5 × 30	W	20.1	0.3
	901	5 × 30	W	20.1	0.3

Таблица 10. Фотометрия оптического источника GRB 120404A (GCN 13210, GCN 13230)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exptime	Filter	m	Err. m
MASTER-Амур	263	180	W	16.8	0.3
	3311	180	W	17.2	0.4
	3517	180	W	16.9	0.4
	3930	180	W	17.1	0.4
	4760	900	W	17.8	0.3
	6311	1800	W	18.1	0.3
	9001	1800	W	18.2	0.3

Таблица 11. Фотометрия оптического источника GRB 140311B (GCN 15948, GCN 15960)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1
MASTER-Tunka	326	220	W	19.4	0.2
	432	300	W	19.0	0.1
	557	650	W	19.4	0.2
	557	380	W	18.7	0.1
	661	550	W	18.9	0.1
	708	490	W	18.9	0.1
	834	960	W	19.4	0.2
	1485	1380	W	19.8	0.1
	1702	1740	W	20.0	0.2

Таблица 12. Фотометрия оптического источника GRB 140508A (GCN 16228)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1	Filter2	m2	Err. m2
MASTER-Кисловодск	62880	180	C	18.7	0.3			
	63900	180	R	18.7	0.3	V	<19	
	65820	540	R	18.9	0.3	V	19.9	0.4

Таблица 13. Фотометрия оптического источника GRB 140129B (GCN 15766, GCN15776)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1
MASTER-Tunka	105	20	W	14.4	0.1
	174	30	W	15.4	0.1
	259	50	W	15.9	0.1
	366	70	W	16.2	0.1
	490	100	W	17.0	0.1
	662	130	W	17.3	0.1
	859	170	W	17.7	0.1
	1091	180	W	18	0.1
	1330	360	W	<18.4	

экспозиции на телескопе МАСТЕР, в секундах (отметка sync означает, что гамма-всплеск наблюдали синхронно, т.е., непрерывно до, в течение и после этого гамма-всплеска; отметка prompt означает, что оптическое излучение наблюдали одновременно с гамма-излучением).

(6) и (7): m_{OT} – звездная величина оптического источника, зарегистрированного МАСТЕРом (при наличии), и его координаты.

(8): Номер циркуляра отчета GCN (система электронных циркуляров по наблюдениям областей локализации источников гамма-всплесков, гравитационных волн, нейтрино сверхвысоких энергий, быстрых радиовспышек) [36, 37], в котором были опубликованы результаты МАСТЕРА.

(9): Обсерватория МАСТЕР, в которой были проведены наблюдения – МАСТЕР-Амур, МАСТЕР-Тунка, МАСТЕР-Урал, МАСТЕР-Кисловодск, МАСТЕР-Таврида, MASTER-SAAO (Южная Африка), MASTER-IAC (Испания), MASTER-OAFA и MASTER-ICATE (Аргентина).

(10): Предел на первом кадре и его длительность (экспозиция) в секундах, W – без фильтра (в белом свете), P – поляризационные фильтры.

5. ВЫВОДЫ

Мы представили уникальные результаты наблюдений на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ 130 областей локализации гам-

Таблица 14. Фотометрия оптического источника GRB 140512A (GCN 16248, GCN 16250, GCN 16307)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Err. m1	Filter2	m2	Err. m2
MASTER-Tunka	175	10	P/	13.5	0.1			
	186	30	P/	14.5	0.1	P\	14.4	0.1
	318	60	P/	14.7	0.1	P\	14.7	0.1
	425	60	P/	15.6	0.1	P\	15.4	0.1
	508	60	P/	15.4	0.1	P\	15.7	0.1
	591	60	P/	15.8	0.1	P\	15.8	0.1
	673	60	P/	15.9	0.2	P\	15.9	0.1
	754	60	P/	16.5	0.2	P\	16.4	0.1
	931	170	P/	16.4	0.2	P\	16.8	0.1
	1211	180	P/	17.5	0.3	P\	16.8	0.1
	1552	180	P/	16.8	0.3	P\	17.6	0.2

Таблица 15. Фотометрия оптического источника GRB 141225A (GCN 17237, GCN 17245)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	m	Err. m
MASTER-SAAO	113	20	17.1	0.1
	147	30	17.3	0.1
	188	40	17.5	0.1
	238	50	17.7	0.1
	298	60	18.9	0.1
	369	70	18.7	0.1
	451	200	19.0	0.1
	672	290	19.8	0.1
	984	3600	21.3	0.2

Таблица 16. Фотометрия оптического источника GRB 110801A (GCN 12238)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter	m	Err. m
МАСТЕР-Кисловодск	2860	180	R	16.1	0.1
	3280	180	R	16.1	0.1
	3499	180	R	16.3	0.1
	7099	180	W	16.0	0.1
	3702	180	R	16.4	0.1
	7302	180	W	16.2	0.1
	12632	180	R	17.7	0.1

ма-всплесков (85 зарегистрированы Swift, 33 Fermi, 12 MAXI, Integral, Konus-Wind, Lomonosov и др.), полученные за период 2012–2017 гг.: GRB120106A, GRB 120116A, GRB 120118B, GRB 120907A, GRB 121011A, GRB 120811C, GRB 120404A, GRB 130102A, GRB 130122A, GRB 130216A, GRB 130216B, GRB 130306A, GRB 130420B, GRB 130425A, GRB 130502A, GRB 130508A, GRB 130514B, GRB 130603B, GRB 130625A, Fermi trigger 394416326, GRB 130831A, GRB 130903A, GRB 130907A, GRB 131024B, GRB 131030A, GRB 131031A, GRB 131125A, GRB 131127A, GRB 131127B, GRB 131128A, GRB 131224A, GRB 131225A, GRB 140103A, GRB 140105A, GRB 140108A, GRB 140129B, GRB 140206A, GRB 140219A, GRB 140304A, GRB

Таблица 17. Фотометрия оптического источника GRB 120106A (GCN 12811, GCN 12818)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter1	m1	Filter2	m2
МАСТЕР-Тунка	46	10	P-	17.0	P	>16.8
	359	70	P-	>18.0	P	>18.0
	720	120	P-	>18.2	P	>18.2
	1024	180	P-	>18.3	P	>18.4

Таблица 18. Фотометрия оптического источника GRB 160227A (GCN 19099, GCN 19116)

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	m	Err. m
МАСТЕР-Урал	125	20	17.0	0.1
МАСТЕР-Кисловодск	152	30	18.1	0.1
МАСТЕР-Урал	174	30	18.5	0.1
МАСТЕР-Кисловодск	207	120	17.8	0.1
МАСТЕР-Урал	231	40	17.7	0.1
МАСТЕР-Урал	299	50	18.9	0.1
МАСТЕР-Урал	383	70	19.6	0.1
МАСТЕР-Урал	485	90	17.9	0.1
МАСТЕР-Урал	607	110	18.0	0.1
МАСТЕР-Кисловодск	621	550	18.7	0.1
МАСТЕР-Урал	757	140	18.7	0.1
МАСТЕР-Урал	935	170	18.2	0.1
МАСТЕР-Урал	1133	180	19.1	0.1
МАСТЕР-Урал	1349	180	19.0	0.1
МАСТЕР-Урал	1566	180	18.9	0.1
МАСТЕР-Кисловодск	1765	1080	18.9	0.1
МАСТЕР-Урал	1781	180	19.1	0.1
МАСТЕР-Урал	1998	180	19.1	0.1
МАСТЕР-Кисловодск	2647	900	19.1	0.1
MASTER-IAC	2789	360	19.7	0.1
MASTER-IAC	3423	540	19.0	0.1
МАСТЕР-Кисловодск	4261	900	19.2	0.1
МАСТЕР-Кисловодск	4527	900	19.4	0.1
MASTER-IAC	5966	1080	19.5	0.1
MASTER-IAC	6401	1800	20.0	0.1
MASTER-IAC	7771	3600	19.9	0.1
MASTER-IAC	9196	1800	19.8	0.1
МАСТЕР-Кисловодск	10608	1620	20.9	0.2
МАСТЕР-Кисловодск	12824	1800	20.3	0.2

140311A, GRB 140311B, GRB 140311C, GRB 141031B, GRB 141124A, GRB 141208A, GRB 140320C, GRB 140320D, GRB 140402A, GRB 141212A, GRB 141225A, GRB 150103A, GRB 140508A, GRB 140512A, GRB 140516A, GRB 150110A, GRB 150123A, GRB 150210A, GRB 140629A, GRB 140703A, GRB 140709B, GRB 150211A, GRB 150212A, GRB 150222A, GRB 140723A, GRB 140801A, GRB 140814A, Fermi trigger 150301B, GRB 150309A, GRB 150323C, Fermi trigger 430583595/ GRB, GRB140907A, GRB 140930A, GRB 449861706, GRB 150403A, GRB 150413A, GRB GRB 140930B, GRB 141026A, GRB141028A, GRB 150428A, GRB 150428C, GRB 150518A, GRB

Таблица 19. Фотометрия GRB121011A (GCN 13848, GCN 13854). Ориентация поляроидов для МАСТЕР-Амур: P210 = 45°, P211 = 135°

Обсерватория МАСТЕР	T-T0	Exp	Filter	m	Err. m
МАСТЕР-Амур	230	50	P211	17.4	0.2
	230	50	P210	17.4	0.2
	291	60	P211	16.8	0.1
	291	60	P210	16.6	0.1
	362	70	P211	16.7	0.1
	362	70	P210	16.6	0.1
	442	90	P211	16.4	0.1
	442	90	P210	16.2	0.1
	543	110	P211	16.2	0.1
	543	110	P210	16.2	0.1
	664	130	P211	16.2	0.1
	664	130	P210	16.1	0.1
	804	140	P211	16.3	0.1
	804	140	P210	16.4	0.1
	975	170	P211	16.4	0.1
	975	170	P210	16.4	0.1
	1181	180	P211	16.5	0.1
	1181	180	P210	16.6	0.1
	1387	180	P211	16.8	0.1
	1387	180	P210	16.8	0.1
	1602	180	P211	16.9	0.1
	1602	180	P210	17.1	0.1
	1808	180	P211	17.1	0.1
	1808	180	P210	17.1	0.1
	2013	180	P211	17.6	0.2
	2013	180	P210	17.8	0.2
	2219	180	P211	18.1	0.2
	2220	180	P210	17.6	0.1
	2425	180	P211	18.1	0.2
	2602	180	P211	18.9	0.3

150627A, GRB 150702A, Fermi trigger 458235025, GRB 150819A, GRB 150902A, GRB 151001B, GRB 151021A, GRB 151022A, GRB 151027B, GRB 151107A, GRB 151107B, GRB 151112A, GRB 151118A, GRB 151215A, GRB 160104A, GRB 160117B, GRB 160121A, GRB 160131A, GRB 160220A, GRB 160223B, GRB 160225A, GRB 160227A, GRB 160228A, GRB 160401A, GRB 160425A, GRB 160501A, GRB 160509A, GRB 160601A, GRB 160611A, GRB 160625B, GRB 160709A, GRB 160712A, GRB 160714A, GRB 160804A, GRB 160816A, GRB 160821B, GRB 160910A, GRB 160910A, GRB 161007A, GRB 161017A, GRB 161017A, GRB 161105A, GRB 161117A, GRB 161119A, GRB 161214A, GRB

161214B, GRB 170104A, GRB 170111A, GRB 170112A.

Наблюдения проводились на телескопах-роботах МАСТЕР-Амур (31), МАСТЕР-Тунка (42), МАСТЕР-Кисловодск (42), МАСТЕР-Таврида (2), MASTER-SAAO (27), MASTER-IAC (11), MASTER-OAFA/ICATE (4).

Полная роботизация процесса наблюдений и обработка широкопольных изображений программным обеспечением МАСТЕР в режиме реального времени позволили нам получить уникальные данные о раннем оптическом излучении, сопровождавшем 44 гамма-всплеска: GRB 110801A, GRB120106A, GRB 120404A, GRB

Таблица 20. Результаты наблюдений 130 гамма-всплесков на Глобальной сети телескопов-роботов МАСТЕР

GRB (1)	γ -детектор (2)	MASTER WF/VWF (3)	$\Delta T_{\text{notice(4)}}$	$\Delta T_{\text{trigger(5)}}$	m_OT (6)	OT R.A., Dec. (2000) (7)	GCN (8)	МАСТЕР-(9)	Предел на первом кадре (10)
110801A	Swift, UVOT 108	WF		101	16.1	05:57:44.76 +80:57:21.6	12238 [33]	Тунка Кисловодск	P 14.5
120106A	Swift, UVOT 84	WF	19	46	17	04:24:25.81 +64:02:18.1	12811 [64] 12818 [40]	Тунка	P 17.0 (10)
120116A	Swift, UVOT, 83	WF	10	31	—	—	12835 [41]	Тунка	P 15.5 (10с)
120118B	Swift, UVOT 115	WF	1417	1437	—	—	12853 [42]	Тунка	P 17.5
120219A	Swift, UVOT 139	VWF	22	105			12965 [189] 12977 [43]	Тунка	P 17.8
120404A	Swift UVOT 138	WF	24	71	16.8	15:40:02.29 +12:53:06.3	13210 [43], 13230 [44]	Амур	W 15.3(10)
120811C	Swift UVOT 75	WF	29	665	18.4	13 18 44.01 +62 18 02.7	13623, 13635 [33]	Амур, Тунка	P 17.4 (130)
120907A	Swift UVOT 142	WF	375	389	17.5	04:59:00.01 −09:18:54.2	13718 [46]	Кисловодск	P 18.0
121011A	Swift, UVOT 108	WF	10	51	16.1	17:20:51.21	13848 [47], 13854 [48]	Амур, Тунка	P 16.9 (10)
130102A	Swift UVOT 125	WF	65	106	230s+	+41:06:36.9	14132 [49]	Кисловодск, Амур	P 17.9 (20)
130122A	Swift, UVOT 121	WF	28	91	16.8	12:57:08.34 +59:00:53.9	14142 [50]	Кисловодск	P 17.3 (20)
130216A	Swift, UVOT 3.67дня	VWF,WF	15	31		—	14238 [51]	Кисловодск	W 14.5 (120)
130216B	Swift ∞	VWF	12	53		—	14239 [52]	Кисловодск	W 10
130306A	Swift UVOT 146ks (Fermi socket)	WF, sync		59/−157		—	14269 [53]	Кисловодск	W 15.7 (20)
130420B	Swift, UVOT 57	WF	44	63		—	14412 [54]	Амур	P 16.5 (10)
130425A	Fermi GBM	VWF		40		—	14501 [55]	ICATE	W 13.0
130502A	Swift, UVOT 95	WF	55	266		—	14548 [56]	Кисловодск	W 19.0 (50)
130508A	Swift UVOT 135	WF	37	119		—	14629 [57]	Тунка	W 17.3 (20)
130514B	Integral	WF		90		—	14644 [58]	Тунка	W 17.0 (180)
130603B	Swift UVOT 62	WF	35	52		—	14770 [59]	Тунка	P 15.9 (10)
130625A	Swift UVOT 102	WF	23177	23214		—	14929 [60]	Амур	W 17.5 (180)

Таблица 20. Продолжение

GRB (1)	γ -детектор (2)	MASTER WF/VWF (3)	$\Delta T_{\text{notice(4)}}$	$\Delta T_{\text{trigger(5)}}$	m_OT (6)	OT R.A., Dec. (2000) (7)	GCN (8)	МАСТЕР-(9)	Предел на первом кадре (10)
130702A	Fermi-GBM	VWF	49	55			14970 [61]	ISATE	V 11.0 (5), 12.5 (290)
130831A	Swift UVOT 190	WF		58	15.1	23:54:29.82 +29:25:47.1	18673 [62]	Тунка	P 15.6(20)
130903A	Integral	WF	240	244			15176 [63]	Кисловодск	P 15.5 (40)
130907A	Swift, UVOT 74	WF	18	43	15	14:23:34.00 +45:36:27.0	15184 [30], 15220 [65]	Кисловодск	P 12.0(20)
131024B	Swift UVOT 278	WF	27	36			15390 [66]	Кисловодск	W 17.7 (10)
131030A	Swift UVOT 89	WF		3000	16.5	23:00:16.12 -05:22:05.0	15405 [67]	Кисловодск	W 19.0 (180)
131031A	Swift UVOT 39700	VWF	11	51			15429 [68]	Амур	W 11 (5) 12.5(60)
131125A	IPN:Fermi,Konus- Wind,Integral	WF, VWF	10	24	13.0 13.6 13.7	114.835+47.047 114.776+46.120 114.598+48.927	15553 [69]	Кисловодск	W 12 (5) 14.1
131127A	Swift UVOT 102	WF	40	503			15517 [70]	Тунка	P 17.5 (100)
131127B	Fermi-GBM	WF		73			15534 [71]	Тунка	W 14.6 (10)
131128A	Swift UVOT 90	WF	12	315			15536 [72]	Кисловодск	W 17.1 (60)
131224A	Integral	WF	33	39			15608 [73]	Кисловодск	P 15.5 (10)
131225A	MAXI/GSC + -0.28	WF		21600			15614 [74]	Кисловодск	W 19 (180)
140103A	Swift UVOT 171	WF	22	303	20.1	15:28:20.74 +37:45:24.9	15660 [75], 15746 [76]	Кисловодск	W 21.2(3600)
140105A	Fermi-GBM	VWF, WF	21	45			15692	Кисловодск	W 10.6 (5)
140108A	Swift UVOT 78	WF	22	39	16.7	21 40 26.77 +58 44 41.4	15712 [77]	Кисловодск,	P 17.0(10)
140129B	Swift UVOT 356	WF	78	106	14.0	21:47:01.67 +26:12:22.9	15766 [79]	Амур	W 15.4(20)
140206A	Swift UVOT 52	WF		8153	18.5	09:41:20.21 +66:45:37.7	15788 [80]	Амур	W 16.10(30)

Таблица 20. Продолжение

GRB (1)	γ -детектор (2)	MASTER WF/VWF (3)	$\Delta T_{\text{notice(4)}}$	$\Delta T_{\text{trigger(5)}}$	m_OT (6)	OT R.A., Dec. (2000) (7)	GCN (8)	МАСТЕР-(9)	Предел на первом кадре (10)
140219A	IPN: Fermi, Konus, Integral, Suzaku, Mars Odyssey, MESSENGER	VWF, WF		-196			15871 [81]	Амур, Тунка	P 15.1 (10)
140304A	Swift UVOT 137	WF		84	16.5	02:02:34.13 +33:28:26.6	15914 [82], 15932 [83]	Тунка	P 13.00(10)
140311A	Swift UVOT 9540	WF	10 38	89 127			15946 [84]	Амур, Тунка	P 16.27 (30)
140311B	Swift UVOT 3398	WF	9	85	19.4	16:49:18.00 +52:43:26.39	15948 [85], 15960 [86]	Амур, Тунка	P 17.5(20) 14.5 (20)
140311C	Fermi-GBM	WF, VWF	14	29			15981 [87], 15983 [88]	Амур, Тунка	P 16.8 (10) 16.5 (10)
140320C	Integral	WF	20	35			16009 [89]	Амур	W 17.2 (10)
140320D	IPN: Konus-Wind, INTEGRAL, Swift, MESSENGER	WF	25	33			16043 [90]	Тунка	W 18.8(180)
140402A	Fermi-LAT	WF		60780			16074 [91]	Кисловодск	W 18.7 (180)
140508A	Fermi-GBM	WF		49103			16228 [92]	Амур	С 18.7 (180)
140512A	Swift UVOT 106	WF		63000	13.4	19:17:28.78 -15:05:39.2	16248 [93], 16250 [94], 16307 [95]	Кисловодск Тунка	Р 16.2(30)
140516A	Swift UVOT 83	WF	22	44			16288 [96]	Кисловодск	Р 17.0 (10)
140629A	Swift UVOT 101	WF	15	33	15.3	16:35:54.41 +41:52:36.53	16478 [97], 16500 [98]	Амур, Тунка, Кисловодск	Р 15.7(100)
140703A	Swift UVOT 123	WF	2	45	-		16507 [99]	Кисловодск	Р 15.9 (10)
140709B	Swift UVOT 96	WF	40	94			16552 [100]	Кисловодск	W 18.2 (20)
140723A	Fermi-LAT	WF		48240			16629 [101]	Тунка	W 18.3 (180)
140801A	Fermi-GBM	WF	54	100	14.6	02:56:16.44 +30d 56:16.8	16653 [102]	Тунка	Р 14.6 (60)
140814A	MAXI/GSC	WF		37425			16688 [103]	Кисловодск	W 18.5 (180)

Таблица 20. Продолжение

GRB (1)	γ -детектор (2)	MASTER WF/VWF (3)	$\Delta T_{\text{notice(4)}}$	$\Delta T_{\text{trigger(5)}}$	m_OT (6)	OT R.A., Dec. (2000) (7)	GCN (8)	MASTER-(9)	Предел на первом кадре (10)
140824B	Fermi-GBM trigger 430583595	WF	7913	9534			16740 [104] 16741	Тунка	W 19.1 (180)
140907A	Swift, UVOT 107	WF	17 6987	77 1021 7504	19.0	03 12 35.06 +46 36 18.2	16806 [106]	Кисловодск Тунка, Амур	W 19.0(540)
140930A	MAXI	WF	21 22 93	6331 6332 6415			16871 [107]	Амур, Кисло- водск, Тунка	P 18.1 (180)
140930B	Swift, UVOT 201	WF	21 36	36 54	16.4	00:25:23.44 +24:17:38.3	16858 [108], 16875 [109]	Амур, Кисло- водск, Тунка	P 16.0 (10)
141026A	Swift BAT, XRT 157.0, UVOT 165+143	WF	22	99			16957 [110]	Кисловодск	P 16.5 (20)
141028A	Fermi-LAT/GBM	WF		2746	18.9	21:30:24.51 -00:13:52.3	16972 [111]	Кисловодск	W 18.9
141031B	Swift BAT, XRT 117.5, UVOT 119+150	WF	23 33	77 88			16999 [112]	Тунка, Кисло- водск	P 16.0 (20) P 15.5 (20)
141124A	Fermi GBM	WF	2286	15886			17095 [113]	Тунка,	W 18.4 (180)
141208.63/ Fermi trigger 39744201	Fermi-GBM	WF	17	44			17154 [114]	Кисловодск	W 17.6 (20)
141212A	Swift UVOT 72	WF	32	46			17162 [115]	Тунка	W 16.8 (10)
141225A	Swift, UVOT 440 (Fermi socket)	WF	20	113	17.5	09:15:00.00 +33:47:41	17237 17245 [116], 17245 [117]	SAAO	P 17.6(20)
150103A	Swift, UVOT 135	WF	33	115			17279 [118]	SAAO	W 17.5 (20)
150110A	MAXI/GSC	WF		4527			17299 [119]	Кисловодск, SAAO	W 20.2(3600)
150123A	MAXI/GSC	WF		3297			17362 [120]	Тунка, Кисло- водск, SAAO	W 20.6 (1800)
150210A	Fermi GBM	WF	22 3444	1364 60443		07:29:40.10 +14:14:25.5	17446 [121]	Кисловодск Тунка	W 17.5
150211A	Swift, UVOT 2115	WF	39	55			17433 [122]	Тунка	P 15.5 (10)
150212A	Swift, UVOT 1811	WF	32	47			17456 [123]	Тунка	P 11.5 (140)

Таблица 20. Продолжение

GRB (1)	γ -детектор (2)	MASTER WF/VWF (3)	$\Delta T_{\text{notice(4)}}$	$\Delta T_{\text{trigger(5)}}$	m_OT (6)	OT R.A., Dec. (2000) (7)	GCN (8)	MASTER-(9)	Предел на первом кадре (10)
150222A	Swift, UVOT 96	WF	58	76			17487 [124]	Тунка	P 15.5 (10)
150301B	Swift, UVOT 85	WF	60	79	15.3	05:56:39.94 -57:58:10.0	17518 [125]	SAAO	P 16.8(10)
150309A	Swift, UVOT 140	WF	21	96			17558 [126]	Кисловодск	W 17.2 (20)
150323C	Swift, UVOT 178	WF	42	88		12:50:28 +50:11:25	17622 [127]	Тунка, Кисло- водск	P 17.6 (20)
GRB 150404 A/ trigger 49861706	Fermi GBM	WF	8	41	14.8	11:08:59.75 -69:38:18.9	17676 [128]	SAAO	W 14.8 (10)
150403A	Swift, UVOT 84	WF	20418	20434	19.2	20:46:01.14 -62:42:41.0	17680 [129]	SAAO	W 19.4(720)
150413A	Swift BAT	WF		132	16.0	12 41 41.98 +71 50 28.0	17690 [130]	Тунка	P 16.8(30)
150428A	Swift, UVOT 179	WF	24	59			17780 [131]	SAAO	P 16.5 (10)
150428C	MAXI/GSC	WF	12184	15390			17782 [132]	Амур	W 17.42015-04-28 12:40:45 UTунка.
150518A	MAXI/GSC	WF	21	3189	17.5	15:36:53.67 +16:19:36.5	17838 [133]	Кисловодск, SAAO, Тунка	W 18.5 (180)
150627A	Fermi-LAT/GBM	WF	10133	55479	19.0	07:49:53.05 -51:29:21.4	17978 [134]	SAAO	W 16.9 (180)
150702A	Fermi-LAT	WF	4575	4708			17992 [135]	SAAO	W 18.0 (60)
150710.65/Fermi trigger458235025	Fermi-GBM	WF	130	3592			18007 [136]	Тунка	W 14.5 (180)
150819A	Fermi-LAT UVOT 59510	WF	25	100			18169 [137]	SAAO	W 17.5 (20)
150902A	Swift, UVOT 148	WF, VWF		67			18234 [138]	SAAO	W 15.3 (10)
151001B	Swift, UVOT 99	WF	20	96			18380 [139], 18385	Амур	W 18.0 (20)
151021A	Swift, UVOT 304	WF	25	50	14.8	22:30:34.42 -33:11:50.3	18427 [141]	SAAO	P 16.0(10)
151022A	Swift, UVOT 304	WF	16	76			18437 [142]	Кисловодск	P 16.0(20)
151027B	Swift, UVOT 209	WF	25	156			18511 [143]	SAAO, IAC	W 17.7 (30)

Таблица 20. Продолжение

GRB (1)	γ -детектор (2)	MASTER WF/VWF (3)	$\Delta T_{\text{notice}}^{(4)}$	$\Delta T_{\text{trigger}}^{(5)}$	m_OT (6)	OT R.A., Dec. (2000) (7)	GCN (8)	MASTER-(9)	Предел на первом кадре (10)
151107A	Swift, UVOT ∞	WF	1750	2141			18565 [144]	SAAO	W 17.2 (180)
151107B	Swift, UVOT 3144	WF	14	60			18576 [145]	IAC	W 16.8 (10)
151112A	Swift, UVOT 281	WF		19800			18591 [146]	SAAO	W 20.5 (180)
151118A	Fermi-LAT	WF	30	44			18613 [147]	Кисловодск, IAC	W 16.5 (10)
151215A	Swift, UVOT 173	WF	18	33	17.8	06:14:20.18 +35:30:57.5	18697 [148]	Кисловодск	P 17.8(10)
160104A	Swift, UVOT 85	WF	10	32	17.0	05:07:11.06 +11:19:25.4	18820 [149]	Амур, Тунка	W 17.2(10)
160117B	Swift UVOT 63	WF	19	35	17.5	08:48:46.76 -16:21:59.9	18877 [150]	Амур	W 17.0(60)
160121A	Swift, UVOT 151	WF	22	34			18913 [151]	Амур	W 15.3 (10)
160131A	Swift UVOT 78	WF		5180	15.6	05:12:40.36 -07:02:58.5	18952 [152]	Амур	W 16.7(60)
160220A	Swift, UVOT 4110	WF	22	65			19028 [153]	SAAO	W 15.5 (10)
160223B	INTEGRAL	WF		32			19069 [154]	Амур	W 15.8 (10)
160225A	Swift UVOT 839	WF	20	204			19076 [155], 19089	Амур	W 17.5 (40)
160227A	Swift, UVOT 161	WF	30	115	17.4	12:59:14.13 +78:40:44.2	19099 [157] 19116 [33]	У	W 17.6(20)
160228A	Swift UVOT 83	WF	20	40			19118 [158]	Амур	W 15.1 (10)
160401A	INTEGRAL (43ks)	WF,prompt	7	15			19252 [159]	IAC	W 16.3 (10)
160425A	Swift, UVOT 208	WF		168	18.2	18:41:18.57 -54:21:36.1	19344 [160] 19351 [161]	SAAO	P 18.0(30)
160501A	Swift, UVOT 136	WF	24	106			19367 [162]	SAAO	P 17.5 (20)
160509A	Fermi LAT (7.3 ks)	WF		15306			19425 [163]	Амур	W 18.5 (180)
160601A	Swift, UVOT 78	WF	67	81			19479 [164]	Амур, Тунка	P 17.5 (18)
160611A	Swift, UVOT 2687	WF	24	54	14.7	10:57:45 -70d 23' 40"	19525 [165]	SAAO	P 14.67
160625B	Fermi LAT (9616)	WF,prompt	12	66	9.7	20:34:23.25 +06:55:10.5	19612, 19683 [166]	IAC, Таврида	W 9.55

Таблица 20. Продолжение

GRB (1)	γ -детектор (2)	MASTER WF/VWF (3)	$\Delta T_{notice(4)}$	$\Delta T_{trigger(5)}$	m_OT (6)	OT R.A., Dec. (2000) (7)	GCN (8)	MASTER-(9)	Предел на первом кадре (10)
160709A	Fermi-LAT (∞)	WF	66	105			19678 [167], 19682 [168]	SAAO	W 18.8 (20)
160712A	Swift, UVOT 3998	WF	26	48		—	19685 [169]	SAAO	W 16.7 (10)
160714A	Swift, UVOT 1682	WF	26	50		—	19703 [170]	IAC	W 16.1 (10)
160804A	Swift, UVOT 82	WF	—	59221	20.3	14:46:31.14 +09:59:56.7	19768 [171]	SAAO	W 20.7(540)
160816A	Fermi LAT (25222)	WF	924	19665			19805 [172]	IAC	W 19.7 (180)
160821B	Swift, UVOT 76	WF	34	53		—	19838 [173]	IAC	W 16.6 (10)
160910A	Fermi GBM, LAT (196954)	VWF, prompt	15	65	11.6	14:45:46.03 +39:04:00.52	19914 [174]	SAAO, IAC	W 12.0 (65)
160925A	Fermi GBM (∞)	VF		45710			19938	SAAO	W 19.7
161007A	Swift, UVOT 133	WF	38	114		—	20009 [175]	Тунка, Кисловодск	Р 17.0 (20)
161017A	Swift, UVOT 69	WF	21	47	13.4	09:31:04.6, +43:07:35.9	20063 [176], 20075 [177]	Амур, Тунка, IAC	Р 14.5 (20)
161105A	Swift, UVOT 586	WF	27	42		—	20133 [178]	IAC	Р 16.4 (10)
161117A	Swift, UVOT 69	WF, prompt	22	31	17.0	21:28:12.53 -29:36:48.9	20195 [179]	OAFa	W 17.5 (10)
161119A	Fermi GBM	WF	8795	11978	17.8	03:22:52.81 -48:29:12.8	20201 [35]	SAAO	W 19.8 (180)
161214A	Integral	WF	17	27		—	20343 [38]	OAFa	W 16.2 (10)
161214B	Swift, UVOT 295	WF	882	900		—	20345 [39]	Кисловодск Таврида	m lim < 16.5 (180)
170111A	Swift, UVOT 112	WF	17	63		—	20427 [105]	OAFa	W 17.5 (10)
170112A	Swift, UVOT 66	WF	18	25		—	20439 [40]	OAFa	W 16.4 (10)

Комментарии.

Для всплеска GRB 151107A, зарегистрированного Swift-BAT, Swift-UVOT не наводился.

Наблюдения GRB 131127B проводились на высоте 5° над горизонтом, из-за чего одна труба MASTERa располагалась под крышей.

Для всплеска GRB141225A MASTER наводился по Fermi триггеру, пришедшему по сокетной системе алертов.

Для всплеска GRB 120118B задержка со временем наведения связана с плохими погодными условиями в Тунке и на Амуре.

Всплеск GRB160804A не пришел стандартным путем по сокету, а был опубликован в GCN, т.е. автоматическое программное обеспечение алертного наведения и обработки не участвовало в текущих наблюдениях.

Для всплеска GRB 130122A MASTER обнаружил оптический источник на пределе чувствительности ($S/N > 3\sigma$).

120811C, GRB 120907A, GRB 121011A, GRB 130122A, GRB 130907A, GRB 131030A, GRB 131125A, GRB 140103A, GRB 140108A, GRB 140129B, GRB 140206A, GRB 140304A, GRB 140311B, GRB 140512A, GRB 140629A, GRB 140801A, GRB140907A, GRB 140930B, GRB141028A, GRB 141225A, GRB 150210A, GRB 150211A, GRB 150301B, GRB 150323C, GRB 150404A/Fermi trigger 449861706, GRB 150403A, GRB 150413A, GRB 150518A, GRB 150627A, GRB 151021A, GRB 151215A, GRB 160104A, GRB 160117B, GRB 160131A, GRB 160227A, GRB 160425A, GRB 160611A, GRB 160625B, GRB 160804A, GRB 160910A, GRB 161017A, GRB 161117A, GRB 161119A. Мы приводим распределение по яркости обнаруженных оптических источников.

В больших областях локализации (Fermi, MAXI) были обнаружены оптические переменные объекты, не связанные с гамма-всплесками: для GRB141208.63/Fermi trigger 439744201, GRB 160925A, GRB 140824B/Fermi trigger 430583595, Fermi trigger 458235025, GRB 131125A, GRB 131225A, GRB 141124A, GRB 150210A.

Для тех гамма-всплесков, в области локализации которых был обнаружен оптический источник и зарегистрировано его длительное послесвечение (GRB 130907A, GRB 120811C, GRB 110801A, GRB 120404A, GRB 140129B, GRB140311B, GRB 160227A), мы представили данные фотометрии и результаты сравнения данных в оптическом (MASTEP), рентгеновском (Swift-XRT) и гамма- (Swift-BAT) диапазонах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны рецензенту за ценные замечания, позволившие существенно улучшить содержание статьи. Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР (оборудование) поддержана Программой развития МГУ и МО Оптика. Работа проведена при поддержке гранта РФФИ 17-52-80133, National Research Foundation of South Africa. МАСТЕР-Тунка поддержан грантами Министерства образования и науки 2019-05-592-0001-7293, 2019-05-595-0001-2496. Работа выполнена при поддержке государственного задания № 3.9620.2017/8.БЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. Blinnikov, I. D. Novikov, T. Perevodchikova, and A. Polnarev, *Sov. Astron. Lett.* **10**, 177 (1984).
2. V. Lipunov, K. A. Postnov, M. Prokhorov, et al., *Astrophys. J. Lett.* **454**, L593 (1995).
3. B. Paczyński, *Astrophys. J. Lett.* **494**, L45 (1997).
4. V. M. Lipunov, K. A. Postnov, and M. E. Prokhorov. *Astron. and Astrophys.* **176**, 1 (1987).
5. B. P. Abbott, R. Abbott, T. Abbott, et al. *Astrophys. J. Lett.* **848**, L12 (2017).
6. V. Lipunov, E. S. Gorbovskey, V. G. Kornilov, et al., *Astrophys. J. Lett.* **850**, 1L (2017).
7. B. P. Abbott, R. Abbott, T. Abbott, et al. *Nature* **551**, 85 (2017).
8. D. A. H. Buckley, I. Andreoni, and S. Barway, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc. Lett.* **474**, 71 (2018).
9. V. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskey, N. Shatskij, et al., *Advances in Astronomy*, 349171, (2010).
10. A. Goldstein, P. Veres, E. Burns, et al., *Astrophys. J. Lett.* **848**, L14 (2017).
11. P. Meszaros and M. J. Rees, *Astrophys. J.* **530**, 292 (1999).
12. S. E. Woosley and A. Heger, *Astrophys. J.* **637**, 914 (2006).
13. V. Lipunov and E. Gorbovskey, *Astrophys. J. Lett.* **665**, L97 (2007).
14. V. Lipunov and E. Gorbovskey, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **383**, 1397 (2007).
15. C. W. Akerlof, R. L. Kehoe, T. A. McKay, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacif.* **115**, 132 (2003).
16. V. M. Lipunov, V. G. Kornilov, A. V. Krylov, et al., *Astronomy Reports* **51**, 1004 (2007).
17. E. Gorbovskey, V. Lipunov, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **421**, 1874 (2012).
18. V. M. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskey, N. Tiurina, et al., *Rev. Mex. Astro. Astrofis. Conf. Ser.* **48**, 42 (2016).
19. E. S. Gorbovskey, V. M. Lipunov, D. A. H. Buckley, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **455**, 3312 (2016).
20. V. G. Kornilov, V. Lipunov, E. Gorbovskey, et al., *Experimental Astronomy* **33**, 173 (2012).
21. V. Lipunov, V. Vladimirov, E. Gorbovskey, et al., *Astronomy Reports* **63**, 293 (2019).
22. E. S. Gorbovskey, V. M. Lipunov, V. G. Kornilov, et al., *Astronomy Rep.* **57**, 233 (2013).
23. E. Troja, V. Lipunov, et al., *Nature* **547**, 425 (2017).
24. V. Lipunov, J. Gorosabel, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **455**, 712 (2016).
25. V. Sadovnichy, M. Panasyuk, S. Sverilov, et al., *Astrophys. J.* **861**, 48 (2018).
26. V. M. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskey, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc. Lett.* **465**, 3656 (2017).
27. B. P. Abbott, R. Abbott, T. D. Abbott, et al., *Astrophys. J. Supp.* **225**, 8 (2016).
28. B. P. Abbott, R. Abbott, T. D. Abbott, et al., *Astrophys. J. Lett.* **826**, 13 (2016).
29. M. J. Page, A. P. Beardmore, D. N. Burrows, N. Gehrels, et al., *GCN Circular* 15183, 1 (2013).
30. E. Gorbovskey, et al., *GCN Circular* 15184, 1 (2013).
31. B. N. Barlow, S. D. Barthelmy, W. H. Baumgartner, D. Grupe et al. *GCN Circular* 13622, 1 (2012).
32. K. Ivanov et al., *GCN Circular* 13635, 1 (2012).
33. A. V. Parhomenko, A. Tlatov, D. Dormidontov et al. *GCN Circular* 12238, 1 (2011).
34. G. Stratta et al., *GCN Circular*, 13208, 1 (2012).
35. V. Lipunov et al., *GCN Circular*, 20201, 1 (2016).
36. S. D. Barthelmy, *AIP Conference Proceedings*, **428**, 129 (1998).

37. *S. D. Barthelmy et al.*, AIP Conference Proceedings, **428**, 99 (1998), doi:10.1063/1.55426.
38. *D. Vlasenko et al.*, GCN Circular, 20343, 1 (2016).
39. *D. Vlasenko et al.*, GCN Circular, 20345, 1 (2016).
40. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular 12818, 1 (2012).
41. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular 12835, 1 (2012).
42. *O. Gress et al.*, GCN Circular 12853, 1 (2012).
43. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular 13210, 1 (2012).
44. *E. E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 13230, 1 (2012).
45. *C. C. Thoené, A. de Ugarte Postigo, J. Gorosabel et al.*, GCN Circular, 13628, 1 (2012).
46. *E. Gorbovskoy et al.* GCN Circular 13718, 1 (2012).
47. *V. V. Yurkov et al.*, GCN Circular 13848, 1 (2012).
48. *E. E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 13854, 1 (2012).
49. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 14132, 1 (2013).
50. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 14142, 1 (2013).
51. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 14238, 1 (2013).
52. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 14239, 1 (2013).
53. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 14269, 1 (2013).
54. *V. V. Yurkov et al.*, GCN Circular 14412, 1 (2013).
55. *H. Levato et al.*, GCN Circular 14501, 1 (2013).
56. *E. E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 14548, 1 (2013).
57. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular 14629, 1 (2013).
58. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular 14644, 1 (2013).
59. *M. Pruzhinskaya et al.*, GCN Circular 14770, 1 (2013).
60. *V. V. Yurkov et al.*, GCN Circular 14929, 1 (2013).
61. *H. Levato et al.*, GCN Circular 14970, 1 (2013).
62. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 18673, 1 (2013).
63. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15176, 1 (2013).
64. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular 12811, 1 (2012).
65. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15220, 1 (2013).
66. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15390, 1 (2013).
67. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15405, 1 (2013).
68. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular 15429, 1 (2013).
69. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15553, 1 (2013).
70. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular 15517, 1 (2013).
71. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular 15534, 1 (2013).
72. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15536, 1 (2013).
73. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15608, 1 (2013).
74. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15614, 1 (2013).
75. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15660, 1 (2014).
76. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15746, 1 (2014).
77. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15712, 1 (2014).
78. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15701, 1 (2014).
79. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular 15766, 1 (2014).
80. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular 15788, 1 (2014).
81. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular 15871, 1 (2014).
82. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 15914, 1 (2014).
83. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 15932, 1 (2014).
84. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 15946, 1 (2014).
85. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 15948, 1 (2014).
86. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 15960, 1 (2014).
87. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 15981, 1 (2014).
88. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 15983, 1 (2014).
89. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 16009, 1 (2014).
90. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 16043, 1 (2014).
91. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 16074, 1 (2014).
92. *A. S. Moskvitin et al.*, GCN Circular, 16228, 1 (2014).
93. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 16248, 1 (2014).
94. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16250, 1 (2014).
95. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16307, 1 (2014).
96. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16288, 1 (2014).
97. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 16478, 1 (2014).
98. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16500, 1 (2014).
99. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16507, 1 (2014).
100. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 16552, 1 (2014).
101. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16629, 1 (2014).
102. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16653, 1 (2014).
103. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16688, 1 (2014).
104. *N. Tyurina et al.*, GCN Circular, 16740, 1 (2014).
105. *R. Podesta et al.*, GCN Circular, 20427, 1 (2017).
106. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16806, 1 (2014).
107. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16871, 1 (2014).
108. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16858, 1 (2014).
109. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16875, 1 (2014).
110. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16957, 1 (2014).
111. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 16972, 1 (2014).
112. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 16999, 1 (2014).
113. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 17095, 1 (2014).
114. *V. Vladimirov et al.*, GCN Circular, 17154, 1 (2014).
115. *O. Gres et al.*, GCN Circular, 17162, 1 (2014).
116. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 17237, 1 (2014).
117. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 17245, 1 (2015).
118. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 17279, 1 (2015).
119. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 17299, 1 (2015).
120. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 17362, 1 (2015).
121. *O. Gres et al.*, GCN Circular, 17446, 1 (2015).
122. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 17433, 1 (2015).
123. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 17456, 1 (2015).
124. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 17487, 1 (2015).
125. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 17518, 1 (2015).
126. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 17558, 1 (2015).
127. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 17622, 1 (2015).
128. *N. Tyurina et al.*, GCN Circular, 17676, 1 (2015).
129. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 17680, 1 (2015).
130. *N. Tyurina et al.*, GCN Circular, 17690, 1 (2015).
131. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 17780, 1 (2015).
132. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 17782, 1 (2015).
133. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 17838, 1 (2015).
134. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 17978, 1 (2015).
135. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 17992, 1 (2015).
136. *N. Tyurina et al.*, GCN Circular, 18007, 1 (2015).
137. *R. Rebolo et al.*, GCN Circular, 18169, 1 (2015).
138. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 18234, 1 (2015).
139. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 18380, 1 (2015).
140. *R. Podesta et al.*, GCN Circular, 20439, 1 (2017).
141. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 18427, 1 (2015).
142. *V. Krushinski V. et al.*, GCN Circular, 18437, 1 (2015).
143. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 18511, 1 (2015).

144. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 18565, 1 (2015).
145. *R. Rebolo et al.*, GCN Circular, 18576, 1 (2015).
146. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 18591, 1 (2015).
147. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 18613, 1 (2015).
148. *R. Rebolo et al.*, GCN Circular, 18697, 1 (2015).
149. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 18820, 1 (2016).
150. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 18877, 1 (2016).
151. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 18913, 1 (2016).
152. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 18952, 1 (2016).
153. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 19028, 1 (2016).
154. *A. Gabovich et al.*, GCN Circular, 19069, 1 (2016).
155. *A. Gabovich et al.*, GCN Circular, 19076, 1 (2016).
156. *R. Podesta et al.*, GCN Circular, 20439, 1 (2017).
157. *E. Gorbovskoy et al.*, GCN Circular, 19099, 1 (2016).
158. *A. Gabovich et al.*, GCN Circular, 19118, 1 (2016).
159. *R. Rebolo et al.*, GCN Circular, 19252, 1 (2016).
160. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 19344, 1 (2016).
161. *P. Balanutsa et al.*, GCN Circular, 19351, 1 (2016).
162. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 19367, 1 (2016).
163. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 19425, 1 (2016).
164. *A. Gabovich et al.*, GCN Circular, 19479, 1 (2016).
165. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 19525, 1 (2016).
166. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 19683, 1 (2016).
167. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 19678, 1 (2016).
168. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 19682, 1 (2016).
169. *D. A. H. Buckley et al.*, GCN Circular, 19685, 1 (2016).
170. *A. Kuznetsov et al.*, GCN Circular, 19703, 1 (2016).
171. *N. Tyurina et al.*, GCN Circular, 19768, 1 (2016).
172. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 19805, 1 (2016).
173. *R. Rebolo et al.*, GCN Circular, 19838, 1 (2016).
174. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 19914, 1 (2016).
175. *K. Ivanov et al.*, GCN Circular, 20009, 1 (2016).
176. *V. Yurkov et al.*, GCN Circular, 20063, 1 (2016).
177. *V.A. Sadovnichy et al.*, GCN Circular, 20075, 1 (2016).
178. *V. Lipunov et al.*, GCN Circular, 20133, 1 (2016).
179. *R. Podesta et al.*, GCN Circular, 20195, 1 (2016).