



<https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-3-0431>

## EARLY OPTICAL OBSERVATIONS OF SEVEN GAMMA-RAY BURSTS IN COMPARISON TO THEIR GAMMA X-RAY CHARACTERISTICS IN THE MSU MASTER GLOBAL ROBOTIC TELESCOPES NET

V. M. Lipunov<sup>1</sup>, E. S. Gorbovsky<sup>1</sup>, V. G. Kornilov<sup>1</sup>, N. V. Tyurina<sup>1</sup>, V. V. Vladimirov<sup>1</sup>, A. S. Kuznetsov<sup>1</sup>, P. V. Balanutsa<sup>1</sup>, D. S. Zimnukhov<sup>1</sup>, V. V. Chazov<sup>1</sup>, D. M. Vlasenko<sup>1</sup>, A. G. Tlatov<sup>2</sup>, V. A. Senik<sup>2</sup>, O. A. Ershova<sup>3</sup>, O. A. Gress<sup>4</sup>, N. M. Budnev<sup>5</sup>, S. A. Yazev<sup>3,6</sup>, O. V. Chvalaev<sup>4</sup>, V. A. Poleshchuk<sup>4</sup>, Yu. V. Ishmukhametova<sup>1</sup>, V. V. Yurkov<sup>7</sup>, A. V. Gabovich<sup>1</sup>, Yu. P. Sergienko<sup>7</sup>, R. Podesta<sup>8</sup>, C. Lopez<sup>8</sup>, F. Podesta<sup>8</sup>, H. Levato<sup>9</sup>, R. Rebolo Lopez<sup>10</sup>, M. Serra-Ricart<sup>10</sup>, N. Lodieu<sup>10</sup>, G. Israelian<sup>10</sup>, L. Suarez-Andres<sup>10</sup>, D. Buckley<sup>11</sup>

<sup>1</sup> P.K. Sternberg State Astronomical Institute of M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Kislovodsk Mountain Astronomical Station of Pulkovo Astronomical Observatory of RAS, Kislovodsk, Russia

<sup>3</sup> Astronomical Observatory of Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

<sup>4</sup> Applied Physics Institute of Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

<sup>5</sup> Irkutsk State University, Physics Faculty, Irkutsk, Russia

<sup>6</sup> Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia

<sup>7</sup> Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

<sup>8</sup> Observatorio Astronómico Félix Aguilar, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina

<sup>9</sup> Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio, San Juan, Argentina

<sup>10</sup> Instituto de Astrofísica de Canarias, La Laguna (Tenerife), Spain

<sup>11</sup> South African Astronomical Observatory, Sutherland, South Africa

**Abstract:** Seven gamma-ray bursts – GRB 130907A, GRB 140311B, GRB 140129B, GRB 160227A, GRB 120404A, GRB 110801A, and GRB 120811C were observed by the MSU MASTER (Mobile Astronomical System of Telescope Robots) Global Network. Full automation of the observations provided for obtaining unique data on the properties of early optical radiation accompanying gamma-ray bursts. The data are compared in the optical (MASTER), X-ray (SWIFT X-ray Telescope, XRT) and gamma (SWIFT Burst Alert Telescope, BAT) ranges. Based on the data obtained, two groups are identified, and their radiation mechanisms are revealed. The effect of gamma-ray bursts on the biosphere of the Earth is determined, and the estimates and the scale of such an effect are considered.

**Key words:** gamma-ray bursts; MASTER Robotic Telescopes Net; observations of gamma-ray bursts in the visible range; the effect of gamma-ray bursts on the biosphere of the Earth; gamma-ray bursts as a possible cause of extinction

Статья публикуется по материалам доклада, сделанного авторами на XII Российско-Монгольской международной конференции «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона» (1–5 октября 2018 г., г. Иркутск)

### RESEARCH ARTICLE

Received: April 29, 2019

Revised: May 31, 2019

Accepted: June 4, 2019

**For citation:** Lipunov V.M., Gorbovsky E.S., Kornilov V.G., Tyurina N.V., Vladimirov V.V., Kuznetsov A.S., Balanutsa P.V., Zimnukhov D.S., Chazov V.V., Vlasenko D.M., Tlatov A.G., Senik V.A., Ershova O.A., Gress O.A., Budnev N.M., Yazev S.A., Chvalaev O.V., Poleshchuk V.A., Ishmukhametova Yu.V., Yurkov V.V., Gabovich A.V., Sergienko Yu.P., Podesta R., Lopez C., Podesta F., Levato H., Rebolo Lopez R., Serra-Ricart M., Lodieu N., Israelian G., Suarez-Andres L., Buckley D., 2019. Early optical observations of seven gamma-ray bursts in comparison to their gamma X-ray characteristics in the MSU MASTER Global Robotic Telescopes Net. *Geodynamics & Tectonophysics* 10 (3), 631–654. doi:10.5800/GT-2019-10-3-0431.

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

В. М. Липунов<sup>1</sup>, Е. С. Горбовской<sup>1</sup>, В. Г. Корнилов<sup>1</sup>, Н. В. Тюрина<sup>1</sup>,  
В. В. Владимиров<sup>1</sup>, А. С. Кузнецов<sup>1</sup>, П. В. Балануца<sup>1</sup>, Д. С. Зимнухов<sup>1</sup>,  
В. В. Чазов<sup>1</sup>, Д. М. Власенко<sup>1</sup>, А. Г. Тлатов<sup>2</sup>, В. А. Сеник<sup>2</sup>, О. А. Ершова<sup>3</sup>,  
О. А. Гресс<sup>4</sup>, Н. М. Буднев<sup>5</sup>, С. А. Язев<sup>3,6</sup>, О. В. Чвалаев<sup>4</sup>, В. А. Полещук<sup>4</sup>,  
Ю. В. Ишмухаметова<sup>1</sup>, В. В. Юрков<sup>7</sup>, А. В. Габович<sup>1</sup>, Ю. П. Сергиенко<sup>7</sup>,  
Р. Подеста<sup>8</sup>, К. Лопез<sup>8</sup>, Ф. Подеста<sup>8</sup>, Х. Левато<sup>9</sup>, Р. Реболо Лопез<sup>10</sup>,  
М. Серра-Рикарт<sup>10</sup>, Н. Лодью<sup>10</sup>, Г. Израелян<sup>10</sup>, Л. Суарез-Андрез<sup>10</sup>,  
Д. Бакли<sup>11</sup>

<sup>1</sup> Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Кисловодская горная астрономическая станция Пулковской астрономической обсерватории РАН, Кисловодск, Россия

<sup>3</sup> Астрономическая обсерватория Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия

<sup>4</sup> Научно-исследовательский институт прикладной физики Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия

<sup>5</sup> Иркутский государственный университет, физический факультет, Иркутск, Россия

<sup>6</sup> Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>7</sup> Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск, Россия

<sup>8</sup> Астрономическая обсерватория Феликса Агилара, Университет Сан Хуана, Сан-Хуан, Аргентина

<sup>9</sup> Институт астрономических наук, Земли и космоса, Сан-Хуан, Аргентина

<sup>10</sup> Канарский институт астрофизики, Ла Лагуна (Тенерифе), Испания

<sup>11</sup> Южноафриканская астрономическая обсерватория, Сазерленд, Южно-Африканская Республика

**Аннотация:** В статье представлены результаты наблюдений семи гамма-всплесков – GRB 130907A, GRB 140311B, GRB 140129B, GRB 160227A, GRB 120404A, GRB 110801A, GRB 120811C, полученные на телескопах-роботах глобальной сети МГУ «МАСТЕР». Полная автоматизация наблюдений позволила получить уникальные данные о свойствах раннего оптического излучения, сопровождавшего гамма-всплески. Выполнено сравнение данных в оптическом (МАСТЕР), рентгеновском (SWIFT X-ray Telescope (XRT)) и гамма (SWIFT Burst Alert Telescope (BAT)) диапазонах. На основании полученных данных выделены две группы, для которых определен механизм излучения. Также определено воздействие гамма-всплесков на биосферу Земли и рассмотрены оценки и масштаб такого влияния.

**Ключевые слова:** гамма-всплески; система телескопов-роботов МАСТЕР; наблюдения гамма-всплесков в видимом диапазоне; воздействие гамма-всплесков на биосферу Земли; гамма-всплески как возможная причина вымирания

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Являясь мощным источником гамма-излучения, гамма-всплеск в окрестностях Солнечной системы может представлять угрозу жизни на Земле. Наиболее разрушительными для биосферы нашей планеты потенциально являются длинные гамма-всплески (происходящие в результате коллапса ядра массивной звезды), на втором месте – короткие (результат слияния двойных компактных

звездных систем, которые, однако, возникают в пять раз чаще). Наименее опасными являются гамма-всплески с низкой светимостью, такой тип всплесков связан с процессами на магнетарах (сильно замагниченных нейтронных звездах).

Длинные гамма-всплески обычно возникают в карликовых галактиках, где доминируют звезды с низкой металличностью (это исключает поглощение излучения всплеска межзвездным веществом), т.е. на ранних стадиях развития Вселенной, в эпоху

существования звезд первого поколения. Согласно оценке *T. Piran* и *R. Jimenez* [2014], вероятность того, что за последние 5 млрд лет в нашей Галактике вспыхнул длинный гамма-всплеск мощностью 10 кДж/м<sup>2</sup>, составляет 90 %, за последние 500 миллионов лет – 50 %, для мощности 1000 кДж/м<sup>2</sup> – 25 %. Короткий гамма-всплеск представляет опасность для Земли в случае его реализации на расстоянии ближе 10 парсек от Солнечной системы. К счастью, на таких расстояниях компактные двойные системы неизвестны. Магнетары вспыхивают в нашей Галактике примерно раз в 30 лет. Последнее событие произошло 27 декабря 2004 г. (это была вспышка магнетара SGR-1806-20, произошедшая, по оценкам С.Б. Попова, на расстоянии в пределах 6–10 килопарсек). Для достижения угрожающей Земле мощности излучения 100 кДж/м<sup>2</sup> такой объект должен находиться на расстоянии не более 1–2 парсек от Солнца.

Несмотря на пристальный интерес к гамма-всплескам (ГВ, GRB: Gamma-Ray Bursts) на протяжении нескольких десятилетий [Paczynski, 1998], они по-прежнему остаются одними из самых загадочных объектов Вселенной. До сих пор достоверно неизвестна природа центральной «машины» гамма-всплесков. Считается, что длинные и более мягкие ГВ (типичная продолжительность более 4 с) связаны со сценарием коллапса ядра массивной звезды [Paczynski et al., 1986], короткие (жесткие и длящиеся менее 4 с) – образуются при слиянии нейтронных звезд [Narayan et al., 1992]. В обоих случаях эволюция послесвечения гамма-всплеска (кривая блеска) объясняется в модели релятивистского огненного шара (fireball) [Cavallo, Rees, 1978; Goodman, 1986; Paczynski, 1986]. Однако большое разнообразие в характере кривых блеска в ранние моменты значительно осложняет интерпретацию этой сравнительно простой картины [Gorbovskey et al., 2010; Tiurina et al., 2010].

С учетом этого обстоятельства особую ценность приобретают наблюдения ГВ на ранней стадии развития процесса в различных диапазонах спектра электромагнитных волн. Наблюдения в оптическом диапазоне наиболее эффективно проводить на полностью автоматизированных телескопах, из процесса наблюдения на которых полностью исключен наблюдатель, как это реализовано на роботизированных телескопах Глобальной сети МАСТЕР. С начала XXI века наибольший вклад в изучение раннего оптического излучения ГВ внесла сеть ROTSE III, расположенная на четырех континентах [Akerlof et al., 2003]. В последние годы одним из лидеров ранних наблюдений (т.е. начавшихся максимально близко к моменту триггера) ГВ стала российская Глобальная сеть МАСТЕР МГУ [Lipunov et al., 2010], телескопы которой в

настоящее время установлены в восьми пунктах Северного и Южного полушария. На каждом из пунктов сети МАСТЕР находится сдвоенный телескоп, снабженный стандартным фотометрическим набором широкополосных фильтров и поляроидов [Gorbovskey et al., 2010; Kornilov et al., 2012; Lipunov et al., 2010]. Практически непрерывная работа сети неоднократно позволяла выполнять ранние наблюдения поляризации оптического излучения ГВ [Kornilov et al., 2012; Pruzhinskaya et al., 2014], включая первые наблюдения поляризации собственного излучения ГВ (синхронизированного с гамма-излучением [Troja et al., 2017]). Для ряда всплесков получены уникальные данные собственно о моменте взрыва в широком диапазоне [Gorbovskey et al., 2012]. Богатый опыт обнаружения оптических транзиентов (ОТ) [Lipunov et al., 2007; Gorbovskey et al., 2013; Lipunov et al., 2016] позволяет системе МАСТЕР отождествлять случаи оптического послесвечения ГВ, зарегистрированные внеатмосферными телескопами (например, FERMI-GBM), с большой координатной неопределенностью, при которой размеры квадратов ошибок могут достигать нескольких сотен квадратных градусов [Lipunov et al., 2016]. Потенциал сети МАСТЕР позволяет даже проводить поиск оптических компаньонов гравитационно-волновых всплесков [Abbott et al., 2016; Lipunov et al., 2017].

Следует подчеркнуть, что сеть пунктов наблюдений МАСТЕР непрерывно расширяется, охватывая разные континенты. Кроме того, помимо наблюдений по программе поиска оптических компаньонов ГВ сеть МАСТЕР проводит непрерывный обзор неба с целью открытия новых взрывных объектов во Вселенной. Так, в ноябре 2018 г. общее число ОТ десяти различных типов составило 1573. Практически каждые 1–2 дня команда МАСТЕР публикует телеграммы о их открытии, при этом в ряде случаев без участия человека.

В настоящей работе приводятся новые экспериментальные данные, а также их численные параметры с целью их введения в научный оборот. Обсуждаются характеристики этих событий, синхронно наблюдавшихся в рентгеновском и гамма-диапазонах. Приведены результаты изучения 7 длинных внегалактических гамма-всплесков, построены кривые блеска в трех диапазонах (оптика, рентген, гамма). На основе корреляции кривых сделаны предположения о двух механизмах излучения, выделены соответствующие группы событий. Сделан вывод, что в текущую эпоху гамма-всплески любых типов земной биосфере не угрожают, хотя за все время существования Солнечной системы в прошлом такие события с высокой степенью вероятности могли происходить.

Таблица 1. Наблюдения GRB 130907A

Table 1. GRB 130907A observations

	Время начала наблюдений	Координаты
SWIFT	2013-09-07 21:14:13	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.03^{\text{s}}$ $\delta=+45^{\text{d}}36^{\text{m}}27.1^{\text{s}}$
МАСТЕР	2013-09-07 21:42:00	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$
NOT	0.41 ч. после SWIFT	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА РАННЕЙ СТАДИИ

**GRB 130907A.** Гамма-телескоп внеатмосферной обсерватории Swift-BAT начал наблюдения события UT одновременно с рентгеновским и оптическим телескопами Swift-XRT и SWIFT UVOT. Первые детальные изображения вспышки были получены телескопом UVOT в окрестности точки с координатами, указанными в табл. 1.

Наблюдения были выполнены в двух перпендикулярных поляризациях, оптический транзиент присутствует на четырех изображениях с экспозициями соответственно 20, 30, 40, 50 с. Вследствие большого зенитного расстояния ( $86^\circ$ ), на котором наблюдалось событие, объект виден на одиночных кадрах на протяжении пяти минут, 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. Максимальный блеск ОТ составил около  $15^{\text{m}}$ . Высота

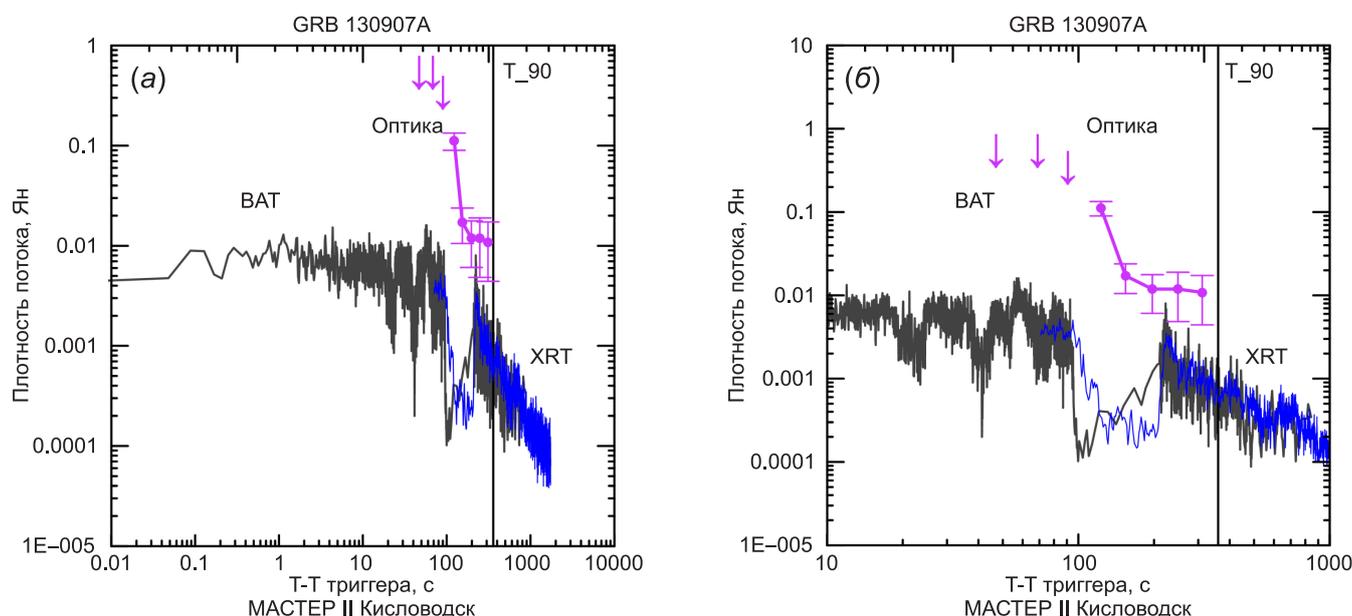
Солнца во время наблюдений составила около  $-40^\circ$ . Наблюдения «МАСТЕР» [Gorbovskey et al., 2013a, 2013b] в оптическом диапазоне выполнены до момента 360 с от начала события, в этот период, судя по данным Swift-BAT, выделилось 90 % энергии всплеска.

Телескоп Nordic Optical Telescope (NOT) провел наблюдения транзиента, обнаруженного UVOT и МАСТЕР. Яркость объекта при наблюдениях в R-фильтре составила  $16.7^{\text{m}} \pm 0.1$ . Измеренное красное смещение  $z=1.238$  [de Ugarte Postigo et al., 2013], что соответствует удалению на момент события примерно 0.05 гпк:

$$z = H_0 d / c, \quad (1)$$

где  $H_0 \left[ \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}} \right]$  – постоянная Хаббла (взято значение 66.93 для 2013 г.),  $d$  – расстояние до источника.

Несмотря на значительное зенитное расстояние, на котором велась съемка, была получена детализированная кривая блеска (рис. 1, а, б), которая



**Рис. 1.** Кривая блеска GRB 130907A. Синяя линия – Swift-XRT, черная – Swift-BAT, фиолетовые точки – данные телескопа МАСТЕР в Кисловодске, вертикальная линия – параметр  $T_{90}$ . (а) – графики в исходном масштабе, (б) – часть кривой, выделенная в диапазоне от 10 до 1000 с (данные фотометрии приведены в Приложении, табл. 9).

**Fig. 1.** GRB 130907A light curve. Blue line – Swift-XRT; black line – Swift-BAT; purple dots – data from the MASTER telescope in Kislovodsk; vertical line – parameter  $T_{90}$ . (a) – curves in the original scale. (b) – segment of the curve in the range from 10 to 1000 sec. (the photometry data are given in the Appendix, see Table 9).

позволяет корректно сравнивать данные МАСТЕР с данными SWIFT. Провал, заметный на трех кривых – в рентгеновском, гамма- и оптическом диапазонах, позволяет предположить, что все три вида излучения возникли одновременно и имеют общую природу. Можно предположить, что оптическое и рентгеновское (а также ультрафиолетовое и инфракрасное) излучение в данном случае являются частью послесвечения или переизлучения нагретого вещества, окружающего коллапсирующий объект.

При сравнении кривых блеска Swift-BAT, Swift-XRT и MASTER можно отметить главный максимум всплеска на 70-й секунде, а также провал в период от 123 до 197-й секунды от начала. Для всех кривых при рассмотрении в большем масштабе характерна синхронность спада в оптическом и рентгеновском диапазонах. Благодаря быстрому наведению телескопа удалось получить детальную кривую блеска в пределах интервала излучения 90 % энергии гамма-всплеска (определяется параметром  $T_{90}$ ). Это дает возможность более подробно изучить излучение на ранней стадии развития всплеска при одновременном учете всех типов излучения.

Ореол или послесвечение этого всплеска можно разделить на две фазы: 1 – фаза затухания вспышки от 47 до 197-й секунды, 2 – плато до 311-й секунды. Первая часть имеет степенной вид, вторая – линейный. С 123 до 197-й секунды яркость резко падает, кривая демонстрирует провал в гамма и рентгене и спад в оптике. В интервале от 123 до 197-й секунды индекс затухания кривой блеска составляет 2.91, с 249 до 311-й секунды – 0.41. Рентгеновская кривая падает почти так же резко, как и оптическая, однако на последней фазе излучение в оптическом диапазоне затухает медленнее, чем в коротковолновых диапазонах.

На рисунке 2 приведены спектры GRB 130907A по каждой из экспозиций, полученных в оптике.

**GRB 120811C.** Гамма-обсерватория SWIFT зарегистрировала яркий (~7000 отсчетов/секунду, диапазон 15–350 кЭв) длинный (35 с) гамма-всплеск GRB120811C [Barlow et al., 2012]. Данные по координатам обнаруженного объекта приведены в табл. 2.

На двух телескопах сети МАСТЕР в Благовещенске и Тунке наблюдения объекта 120811C были начаты соответственно через 665 и 676 с после триггера – в 14:45:57 UT и в 15:46:08 UT, изображения были получены в двух парах взаимно перпендикулярных поляризации. Кадры были суммированы по четыре для улучшения параметра сигнал/шум [Denisenko et al., 2012]. После наведения на объект система автоматически обнаружила оптический транзиент на первом же кадре. Для фотометрирования была выбрана референтная звезда SDSSJ 131828.08+621651.3. Кривые блеска приведены на рисунке 3.

В первой точке оптической кривой блеска значения потока в оптическом и гамма-диапазоне совпадают. В целом же кривая без учета последней точки идет на спад, как и рентгеновская ( $F_{opt}=2.29 \cdot 10^{-6}$  Ян,  $F_{xrt}=2.29 \cdot 10^{-6}$  Ян). Степенной индекс затухания в интервале от 1016 до 2625-й секунды составляет 0.87, совпадая с рентгеновским на последней фазе (рис. 4).

Телескоп NOT начал наблюдения через 6.4 с после срабатывания триггера на детекторе Swift-BAT с временем экспозиции  $3 \times 1800$  с и провел спектральный анализ в диапазоне от 380 до 800 нм. В результате определено красное смещение  $z=2.67$  (0.12 гигапарсек) [Barlow et al., 2012].

Яркость источника GRB120811C после затухания начинает вновь расти на 5112-й секунде. Таким образом, можно указать на переменность кривой блеска. Подобный пик можно найти и в гамма-кривой, в то время как рентгеновская в конечной фазе спадает по степенному закону.

Для оптической и гамма-кривой на последней стадии развития можно определить похожую структуру. Гамма и рентгеновская кривые в общем развиваются похожим образом и, по-видимому, имеют общую природу возникновения.

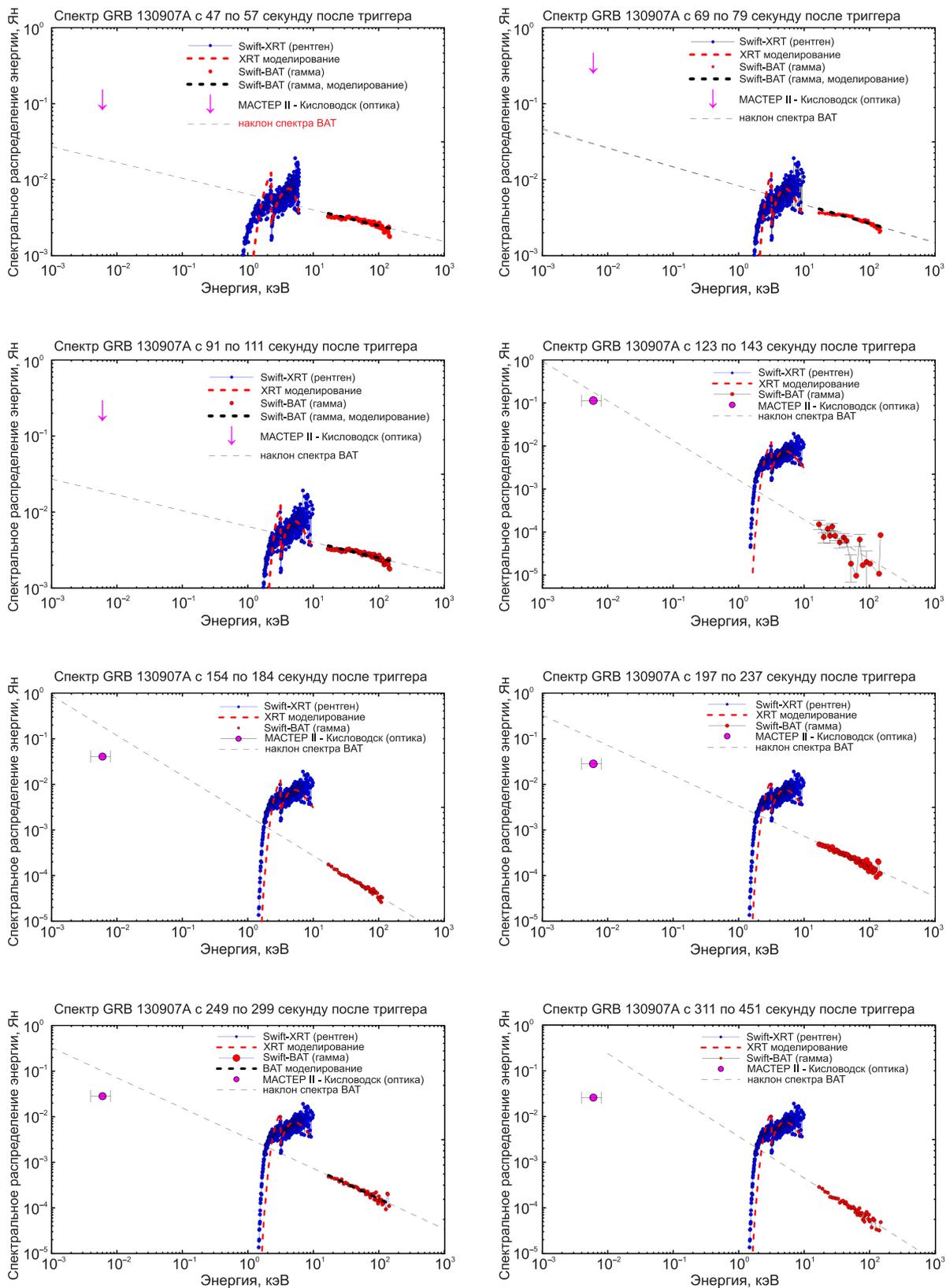
**GRB 110801A.** Телескоп Swift-BAT обнаружил гамма-всплеск GRB 110801A в 19:49:42 UT. Телескоп сети МАСТЕР в Кисловодске навелся на GRB 110801A через 47 мин 40 с после триггера в 20:37:22. Наблюдательные данные приведены в табл. 3. Полученная кривая блеска хорошо описывается степенным законом  $F \sim t^{-\alpha}$ ,  $\alpha=1.0 \pm 0.1$  в фильтре R [Parhomenko et al., 2011].

Кривая блеска (рис. 5) составлена из наблюдений в Тунке и Кисловодске. Во время съемки в Тунке изображение не было сфокусировано из-за недавних работ на инструменте, а в Кисловодске хорошим условиям съемки помешала погода, поэтому данных получено недостаточно.

В случае GRB 110801A видна корреляция между рентгеновским и оптическим потоками ( $F_{xrt}=2.5 \cdot 10^{-7}$  Ян,  $F_{opt}=2.58 \cdot 10^{-7}$  Ян). Индекс спада кривой блеска в оптике и рентгене в интервале от 2950 до 12722 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 гамма-кривой.

**GRB 120404A.** Телескоп UVOT начал наблюдения через 138 с после триггера и обнаружил оптический транзиент по уточненным координатам (табл. 4), полученным с XRT. Яркость объекта составляла  $19/37^m \pm 0.16$  звездных величин (1 сигма) [Stratta et al., 2012].



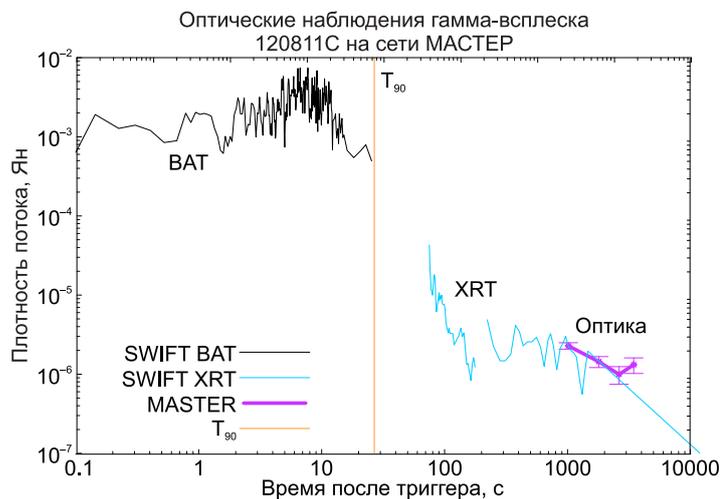
**Рис. 2.** Спектры GRB 130907A в интервале от 47 до 451-й секунды после триггера. Синим обозначены данные Swift-XRT, красным пунктиром – моделирование рентгеновской кривой. Красные точки – Swift-BAT, черный жирный пунктир – моделирование гамма-кривой. Фиолетовая точка – данные станции МАСТЕР в Кисловодске. Пунктир – аппроксимация данных гамма-телескопа.

**Fig. 2.** GRB 130907A spectra in the interval from 47 to 451 sec. after the trigger. Blue line – Swift-XRT; red dotted line – simulated X-ray curve. Red dots – Swift-BAT; black bold dashed line – simulated gamma-ray curve. Purple dot – data from the Kislovodsk MASTER station. Dashed line – approximation of gamma-ray telescope data.

Таблица 2. Наблюдения GRB 120811C

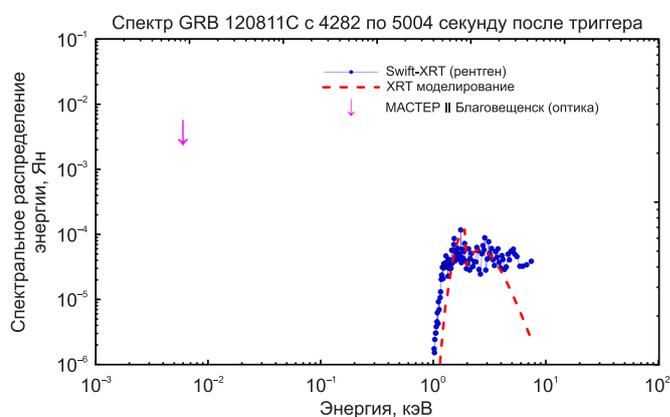
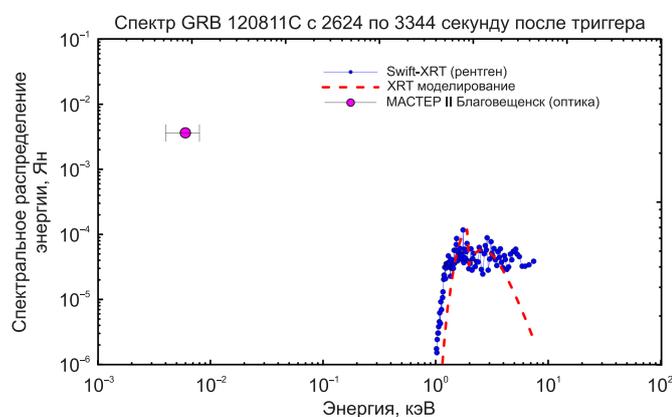
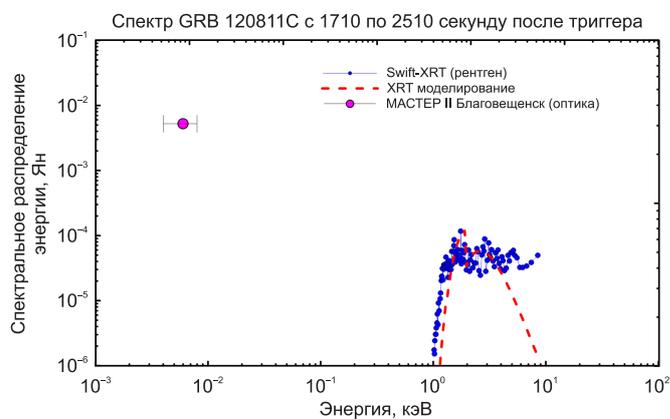
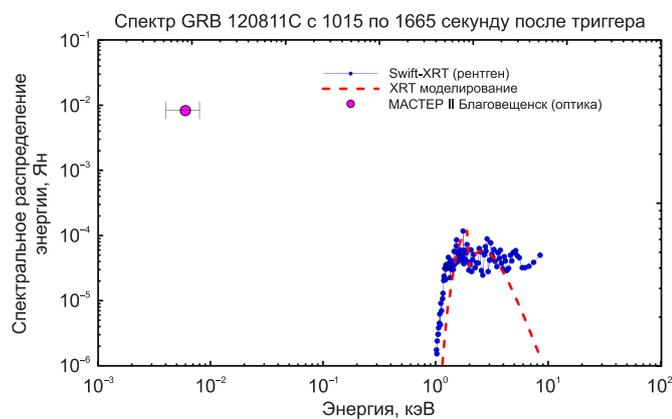
Table 2. GRB 120811C observations

	Время начала наблюдений	Координаты
SWIFT	2012-08-11 15:34:52	$\alpha=+13^{\text{h}}18^{\text{m}}43.99^{\text{s}}$ $\delta=+62^{\text{d}}18^{\text{m}}09.7^{\text{s}}$
MACTEP	2012-08-11 15:45:57	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$
NOT	2012-08-11 21:58:00	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$



**Рис. 3.** Кривая блеска GRB 120811C. Черная линия – SWIFT-BAT (гамма-диапазон), голубая – SWIFT-XRT (рентген), фиолетовая – телескопа МАСТЕР-Амур в Благовещенске, оранжевая линия – параметр  $T_{90}$  (данные фотометрии приведены в Приложении в табл. 10).

**Fig. 3.** GRB 120811C light curve. Black line – SWIFT-BAT (gamma range); blue line – SWIFT-XRT (X-ray); purple line – data from the MASTER-Amur telescope in Blagoveshchensk; orange line – parameter  $T_{90}$  (the photometry data are given in the Appendix, see Table 10).



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

**Fig. 4.** GRB 120811C spectra in the interval of 1015 – 5832 sec. after the Swift trigger.

Таблица 3. Наблюдения GRB 110801A

Table 3. GRB 110801A observations

	Время начала наблюдений	Координаты
SWIFT	2012-08-11 15:34:52	$\alpha=05^{\text{h}}57^{\text{m}}08^{\text{s}}$ $\delta=+80^{\text{d}}59^{\text{m}}19^{\text{s}}$
МАСТЕР	2012-08-11 19:51:23	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$

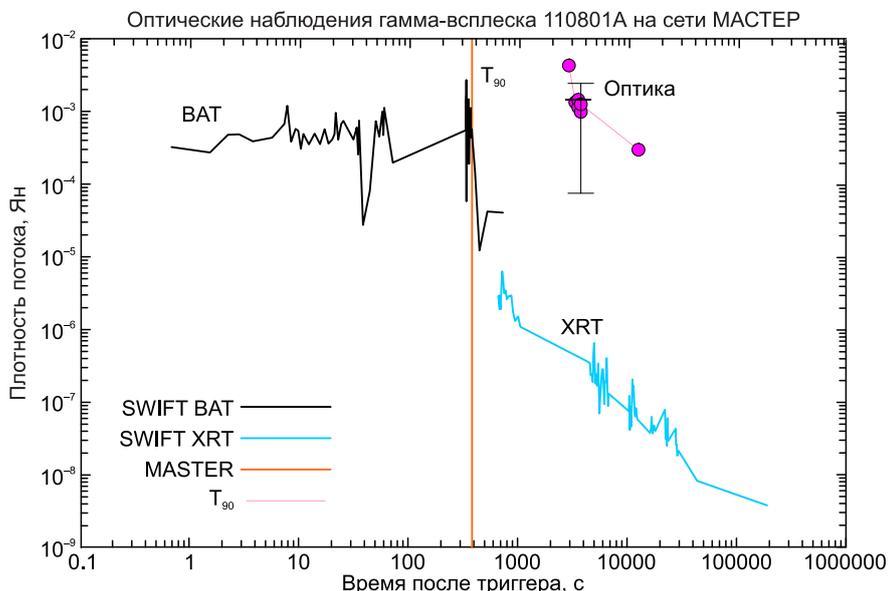


Рис. 5. Кривая блеска GRB 110801A. Голубая линия – Swift-XRT, черная – Swift-BAT, фиолетовым цветом отмечены точки телескопа МАСТЕР II в Кисловодске, вертикальная линия – параметр  $T_{90}$  (данные фотометрии приведены в Приложении в табл. 14).

Fig. 5. GRB 110801A light curve. Blue line – Swift-XRT; black line – Swift-BAT; purple dots – data from the MASTER II telescope in Kislovodsk; vertical line – parameter  $T_{90}$  (the photometry data are given in the Appendix, see Table 14).

Таблица 4. Наблюдения GRB 120404A

Table 4. GRB 120404A observations

	Время начала наблюдений	Координаты
SWIFT	2012-04-04 12:51:02	$\alpha=15^{\text{h}}40^{\text{m}}03^{\text{s}}$ , $\delta=-12^{\text{d}}52^{\text{m}}54^{\text{s}}$
МАСТЕР	2012-04-04 12:52:14	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$

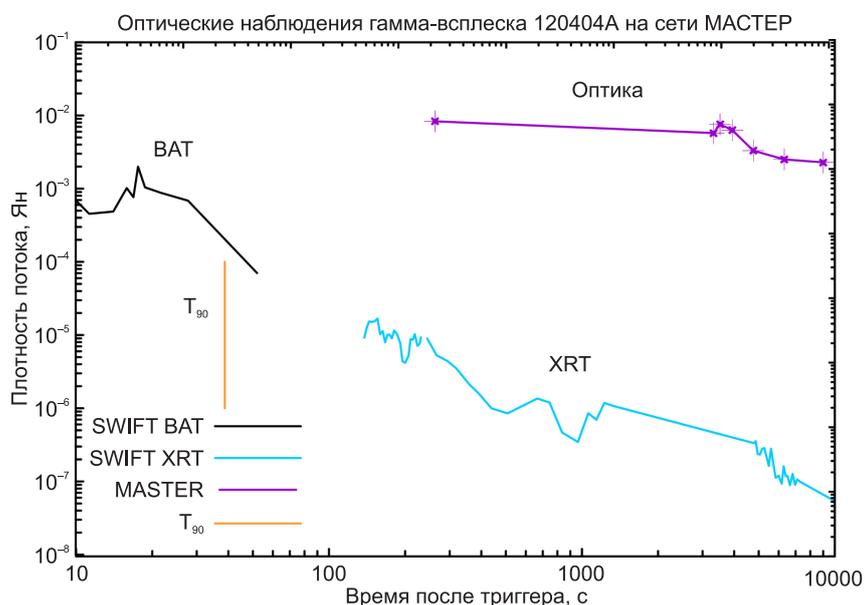


Рис. 6. Кривая блеска GRB 120404A. Голубая линия – Swift-XRT, черная – Swift-BAT, фиолетовая – точки телескопа МАСТЕР II в Благовещенске, линия – параметр  $T_{90}$  (данные фотометрии приведены в Приложении в табл. 11).

Fig. 6. GRB 120404A light curve. Blue line – Swift-XRT; black line – Swift-BAT; purple line – points of the MASTER II telescope in Blagoveshchensk; vertical line is parameter  $T_{90}$  (the photometry data are given in the Appendix in Table 11).

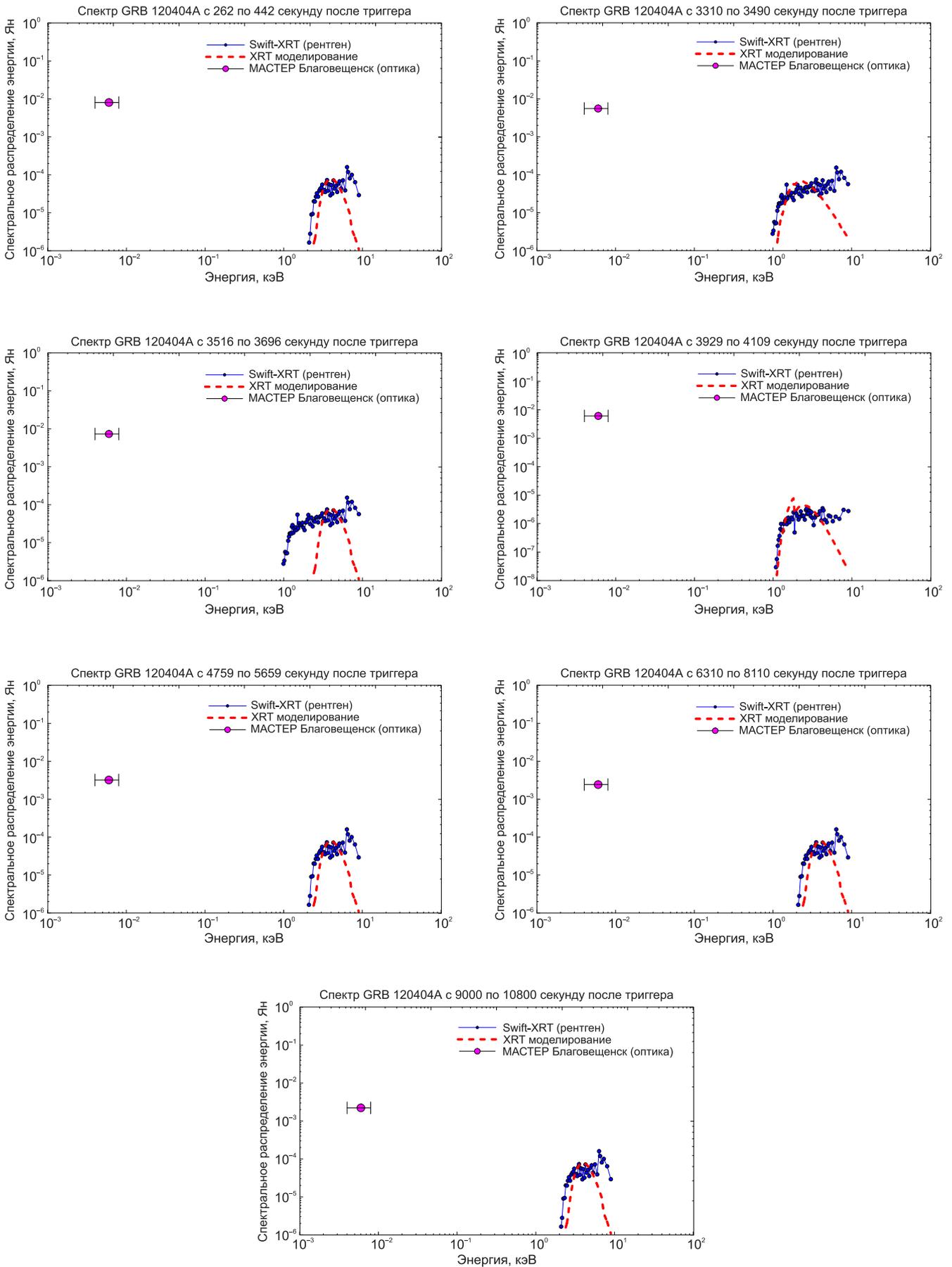


Рис. 7. Спектры GRB 120404A в интервале от 262 до 8110-й секунды после триггера SWIFT.

Fig. 7. GRB 120404A spectra in the interval from 262 to 8110 sec. s after the SWIFT trigger.

Телескоп МАСТЕР, расположенный в Благовещенске, навелся на гамма-всплеск GRB 120404A 04-04-2012 12:52:13.917 UT. Оптический транзиент яркостью  $16.8^m$  был виден на суммарных кадрах, затем объект потускнел до  $17.5$  звездных величины. Максимум яркости был виден через 1 час после триггера. Наблюдения были выполнены при полной Луне (ее высота над горизонтом составила около  $20^\circ$ ), высота объекта была всего  $3.21^\circ$  [Gorbovskey et al., 2012], так что обнаружить объект по началу удалось, только суммируя кадры.

В интервале от 263 до 3311-й секунды наклон кривой блеска составляет 0.32, с 3516 до 9001-й – 0.42.

Кривую блеска (рис. 6) можно разделить на три фазы: поярчание, спад и плато. Первая и вторая фаза описываются суммой линейного и степенного законов, третья – линейная. Аналогично с гамма-кривой можно предположить, что первая фаза состоит не из линейного и степенного, а из двух степенных участков. Рентгеновская кривая неравномерно затухает, из особенностей можно

отметить участок плато с 263 до 3311-й секунды (рис. 7).

**GRB 140129B.** Гамма-рентгеновская обсерватория SWIFT зарегистрировала гамма-всплеск GRB 140129B 29.01.2014 г. в 12:51:09 UT. Координаты объекта и время начала наблюдений указаны в табл. 5. Яркость объекта составила  $16.92 \pm 0.14$  (1 сигма) звездной величины [Bernardini et al., 2014].

Телескоп МАСТЕР, расположенный в Тунке, навелся на гамма-всплеск GRB 140129B через 105 с после времени триггера 29.01.2014 г. в 12:52:54 UT. Яркость объекта составила около  $14^m$ , в соответствии с координатами SWIFT UVOT и Swift-XRT [Ivanov et al., 2014].

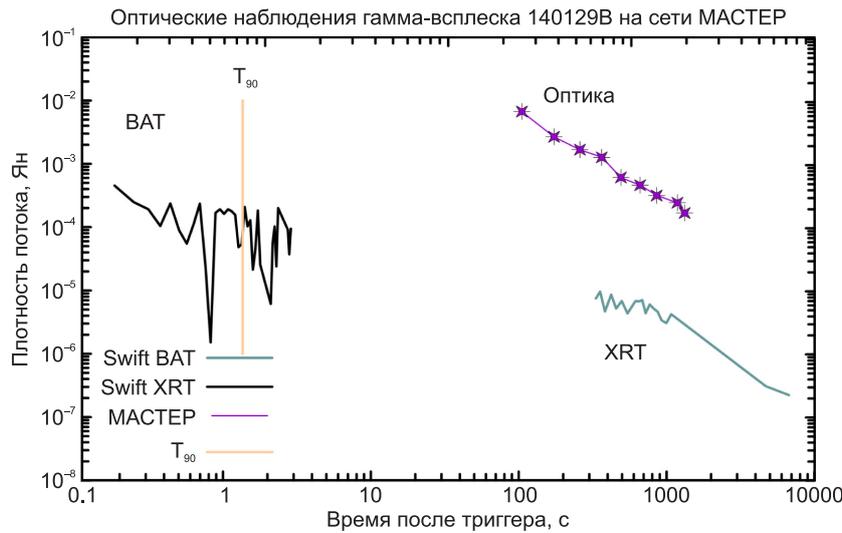
Оптическая кривая блеска (рис. 8) затухает линейно с небольшим пиком на 366-й секунде ( $15.9^m$ ), индекс затухания в интервале от 108 с до 1329.84 с равен 1.467. Начиная с 1000-й секунды рентгеновская кривая спадает с тем же значением. Доверительный интервал для оси Y составляет  $0.75^m$ .

**GRB140311B.** Телескоп МАСТЕР II в Тунке начал наблюдения GRB 140311B через 107 с после триггера

Т а б л и ц а 5. Наблюдения GRB 140129B

Table 5. GRB 140129B observations

	Время начала наблюдений	Координаты
SWIFT	2014-01-29 12:51:02	$\alpha=21^h47^m01.67^s$ , $\delta=+26^d12^m22.9^s$
МАСТЕР	2014-01-29 12:52:55	$\alpha=14^h23^m34.08^s$ $\delta=45^d36^m26.7^s$



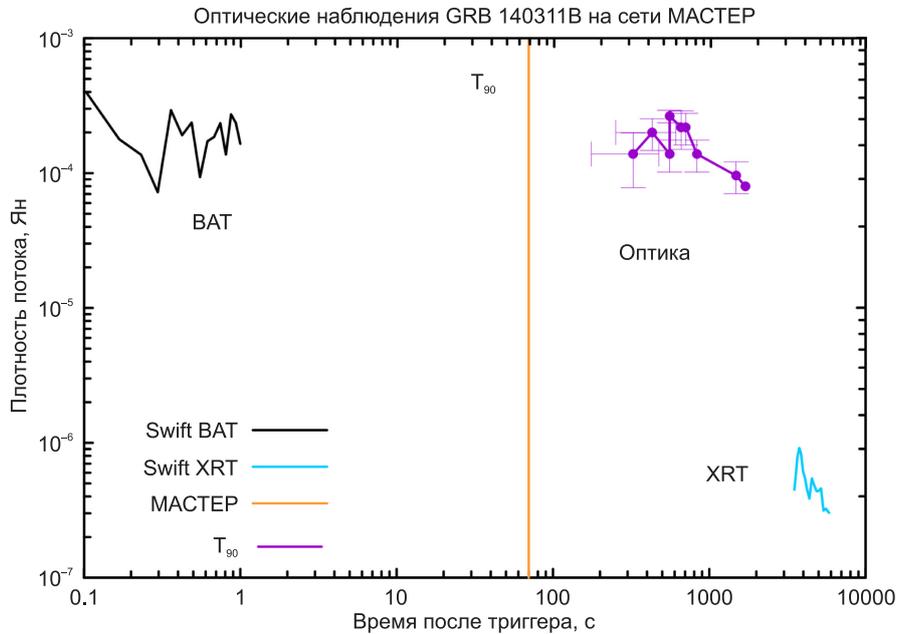
**Рис. 8.** Кривая блеска GRB 140129B. Квадраты – Swift-XRT, круги – Swift-BAT, треугольники – точки телескопа МАСТЕР II в Тунке, линия – параметр  $T_{90}$  (данные фотометрии приведены в Приложении в табл. 13).

**Fig. 8.** GRB 140129B light curve. Squares – Swift-XRT; circles – Swift-BAT; triangles – points of the MASTER II telescope in Tunka; vertical line – parameter  $T_{90}$  (the photometry data are given in the Appendix, see Table 13).

Таблица 6. Наблюдения GRB 140311B

Table 6. GRB 140311B observations

	Время начала наблюдений	Координаты
SWIFT	2014-03-11 21:14:29	$\alpha=16^{\text{h}}49^{\text{m}}10^{\text{s}}$ , $\delta=+52^{\text{d}}44^{\text{m}}50^{\text{s}}$
МАСТЕР	2014-03-11 21:16:16	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$



**Рис. 9.** Кривая блеска GRB140311B. Квадраты – Swift-XRT, круги – Swift-BAT, треугольники – точки телескопа МАСТЕР II в Тунке, линия – параметр  $T_{90}$  (данные фотометрии приведены в Приложении в табл. 12).

**Fig. 9.** GRB140311B light curve. Squares – Swift-XRT; circles – Swift-BAT; triangles – points of the MASTER II telescope in Tunka; vertical line – parameter  $T_{90}$  (the photometry data are given in the Appendix, see Table 12).

гера 11.03.2014 г. в 21:16:16 в двух поляризациях. На первых кадрах с 20-секундной экспозицией нет оптического транзientа [Gorbovskey et al., 2014]. Уточненные координаты телескопа SWIFT и координаты ОТ, открытого МАСТЕРом (через 85 секунд после начала наблюдений), указаны в табл. 6.

Телескоп МАСТЕР в Благовещенске продолжил наблюдения гамма-всплеска в автоматическом режиме GRB 140311B через 85 с после триггера и был отснят 11.03.2014 г. в 21:15:54 в двух поляризациях. Верхний предел кадра составил всего  $14.0^{\text{m}}$ , так как при съемке объекта уже было утро (высота Солнца =  $-6.47$ ).

Кривая блеска (рис. 9) имеет структуру из нескольких пиков, однако более вытянутую, чем гамма и рентгеновская кривые. Для рентгеновской кривой можно выделить пики, соответствующие оптике на 432, 550 и 650-й секундах.

**GRB 160227A.** В 19:32:08 UT 27.02.2016 г. гамма-рентгеновская обсерватория SWIFT обнаружила

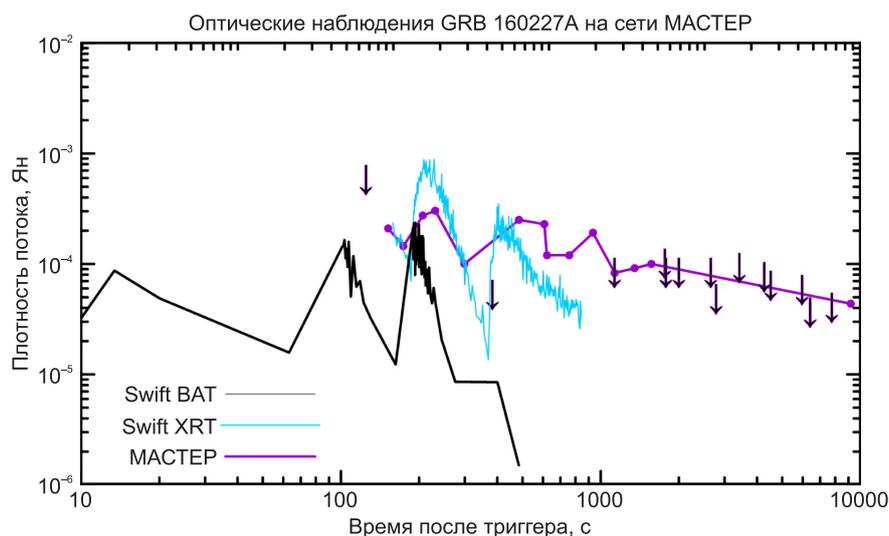
GRB 160227A. Swift-XRT начал наблюдения через 151.8 секунды после триггера. Телескоп SWIFT UVOT продолжил наблюдения в оптическом диапазоне через 150 с после триггера, обнаружив послесвечение яркостью  $19.32 \pm 0.15^{\text{m}}$  [Krushinski et al., 2016; Gorbovskey et al., 2016].

GRB 160227A наблюдался практически всей сетью МАСТЕР, что позволило построить кривую блеска на основании данных нескольких телескопов. Телескоп МАСТЕР, расположенный в Коуровке, автоматически навелся и начал наблюдения GRB 160227A через 115 с после триггера SWIFT 19:34:93 UT. На первом кадре с двадцатисекундной экспозицией в квадрате ошибок SWIFT был найден ОТ яркостью  $17.3^{\text{m}}$ . В течение часа было получено несколько одиночных и суммарных кадров, на которых видно затухание гамма-всплеска от  $17.0^{\text{m}}$  до  $19.1^{\text{m}}$  (максимальный предел кадра =  $19.5^{\text{m}}$ ) [Gorbovskey et al., 2016; Krushinski et al., 2016]. Съемка велась в двух поляризациях.

Таблица 7. Наблюдения GRB 160227A

Table 7. GRB 160227A observations

	Время начала наблюдений	Координаты
SWIFT	2016-02-27 19:32:08	$\alpha=12^{\text{h}}59^{\text{m}}11.38^{\text{s}}$ , $\delta=+78^{\text{d}}40^{\text{m}}36.5^{\text{s}}$
МАСТЕР	2016-02-27 19:34:03	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ , $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$
NOT	2016-02-27 20:19:12	$\alpha=14^{\text{h}}23^{\text{m}}34.08^{\text{s}}$ , $\delta=45^{\text{d}}36^{\text{m}}26.7^{\text{s}}$



**Рис. 10.** Кривая блеска GRB160227A. Черная линия – Swift-BAT, синяя – Swift-XRT, фиолетовая – точки сети MASTER. Хорошо видна корреляция между всеми типами излучения, особенно рентген-оптика (данные фотометрии приведены в Приложении в табл. 15).

**Fig. 10.** GRB160227A light curve. Black line – Swift-BAT; blue line – Swift-XRT, purple line – points of the MASTER network. A correlation is clearly observed between all types of radiation, especially X-ray optics (the photometry data are given in the Appendix, see Table 15).

Телескоп NOT начал наблюдения GRB 160227A 27.02.2016 г. в 20:19:12 UT. Спектр ранее полученного оптического послесвечения гамма-всплеска позволил оценить красное смещение  $z=2.38$  [Gorbovskey et al., 2016]. Время начала наблюдений и координаты указаны в табл. 7.

При рассмотрении кривой блеска (рис. 10, 11) отчетливо заметна корреляция двух провалов на 174, 383, 607 и 2647-й секундах и пиков на 231, 485, 935, 1765 и 2789-й секундах в трех диапазонах излучения, далее оптическая кривая неравномерно спадает, в то время как данные в рентгеновском диапазоне после 900-й секунды и гамма-диапазоне после 500-й секунды обрываются.

Исходя из рис. 12 можно выделить три аппроксимации кривых блеска (степенные функции с показателями 0.08; 0.093; 0.98). Таким образом, можно отметить довольно сильную вариативность групп кривых гамма-всплесков, что затрудняет выявление общего механизма их возникновения.

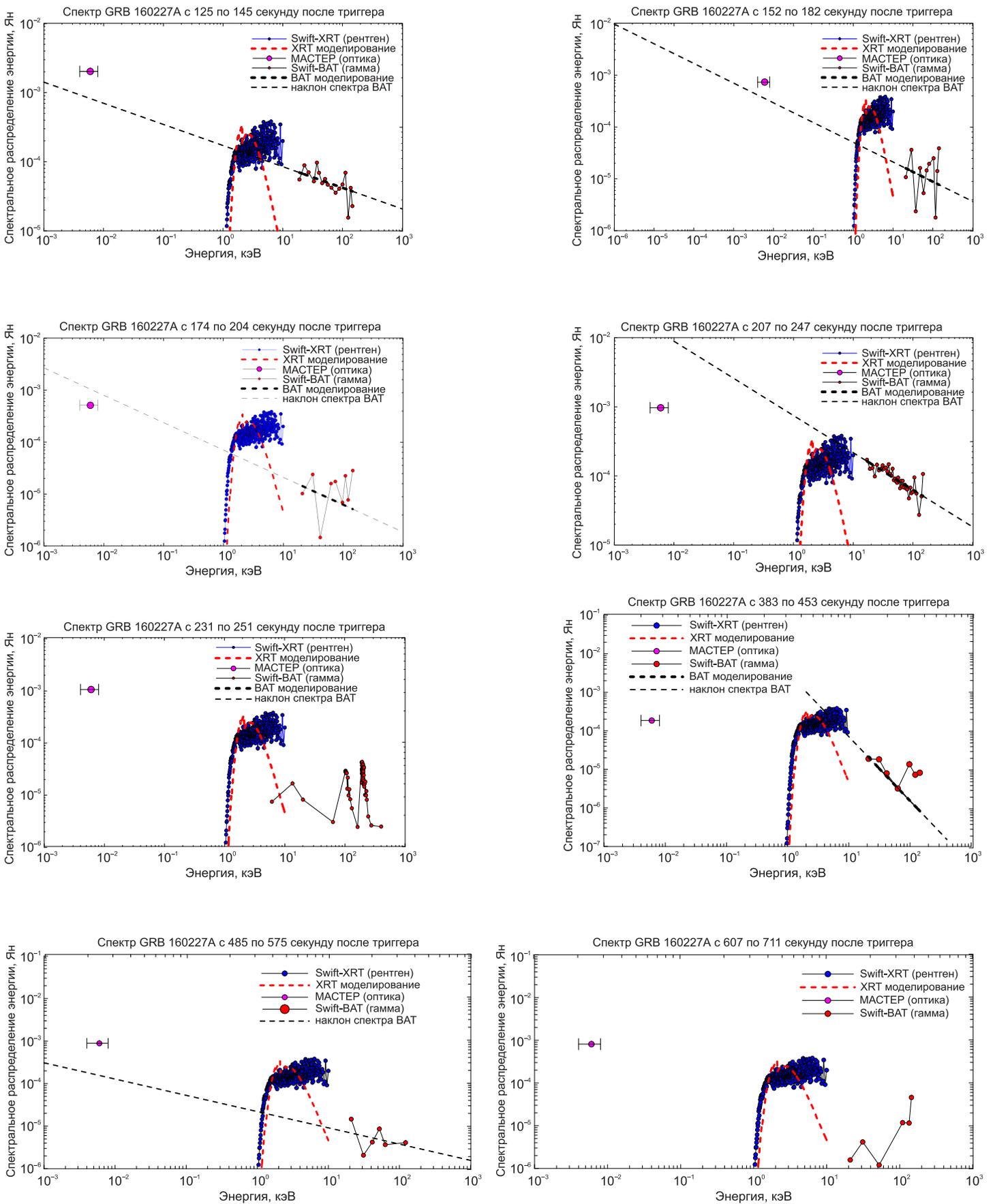
### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

С использованием быстронаводящегося телескопа есть возможность получить и исследовать более детализированные кривые в оптическом диапазоне.

По поведению кривых блеска можно выделить два случая:

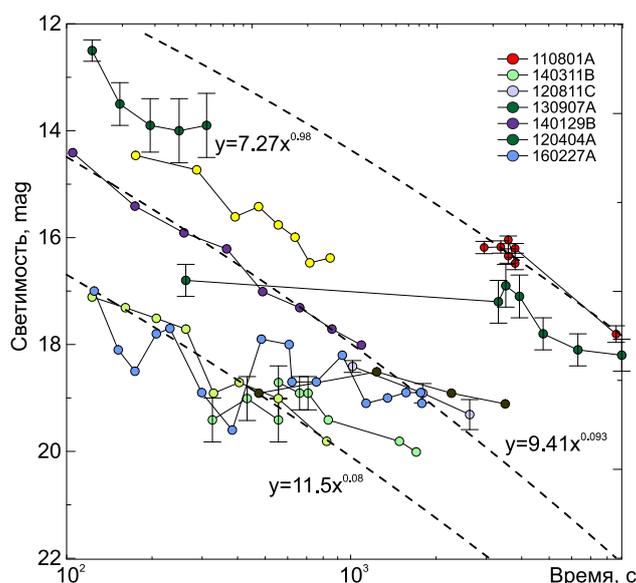
I. Кривая блеска в гамма-диапазоне не коррелирует с оптической кривой блеска, что предполагает, что гамма- и оптическое излучение имеют разную природу возникновения. Оптическое излучение может быть сгенерировано обратной ударной волной, возникающей, в свою очередь, в результате взаимодействия выброса с окружающей средой [Lipunov et al., 2017]. Используемый механизм – синхротронное излучение [Abbott et al., 2016].

II. Кривые блеска гамма-оптика коррелируют. Соответственно определяется общий механизм их возникновения. Оптическое излучение служит



**Рис. 11.** Спектры GRB 160227A в интервале от 125 до 711-й секунды после триггера.

**Fig. 11.** GRB 160227A spectra in the interval from 125 to 711 sec. after the trigger.



**Рис. 12.** Суммарная кривая блеска по всем рассматриваемым гамма-всплескам. Пунктирные линии – аппроксимация имеющихся данных по трем профилям.

**Fig. 12.** Summary light curve for all considered gamma-ray bursts. Dashed lines – approximation of the available data on three profiles.

индикатором джета, изолированного от межзвездной среды. Излучение возникает в результате столкновения внутренних ударных волн. Используемые механизмы – синхротронный, обратный Комптон-эффект [Zhang et al., 2019].

Подобный объект на расстоянии около 1–2 парсек от Земли с соответствующей мощностью излучения (100 кДж/м<sup>2</sup>) теоретически мог вызвать интенсивное разрушение озонового слоя планеты и вымирание большей части живого на поверхности.

Одним из таких потенциально опасных для биосферы Земли объектов (при образовании узконаправленного джета) является сверхмассивная звезда Эта Киля, находящаяся на расстоянии 2.3 килопарсек от Солнечной системы. Объект является гигантской двойной переменной, конечной стадией жизни которой станет сверхновая или даже гипер-

новая (если в окружении звезды останется достаточно вещества).

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом подробное изучение механизмов возникновения гамма-всплесков может помочь в понимании процессов, происходивших на Земле. Кроме того, исследование самых далеких (на расстоянии более 13 млрд лет) гамма-всплесков позволяет больше узнать о ранней Вселенной.

В таблицах 8–16 (см. Приложение) указаны данные фотометрии удачных наблюдений гамма-всплесков с 2011 по 2016 г. и полученные степенные индексы для детализированных кривых блеска.

#### 5. ПРИЛОЖЕНИЕ / APPENDIX

Т а б л и ц а 8. Суммарная таблица степенных индексов некоторых гамма-всплесков: (t1, t2 – границы интервала, в пределах которого измеряется наклон кривой блеска α)

Table 8. Summary table of indices of some gamma-ray bursts (t1, t2 – boundaries of the interval within which the slope of light curve α is measured)

GRB	t1	t2	α
GRB 140129B	108	1329.84	1.46
GRB 120404A	t1	t2	α
	262.8	3310.92	0.38
	3515.84	9000.72	0.42
GRB 120811C	t1	t2	α
	1016	2625	0.87
GRB 130907A	t1	t2	α
	123	197	2.91028
	249	311	0.41
GRB 110801A	t1	t2	α
	82	3526	0.77

Т а б л и ц а 9. Фотометрия GRB 130907A

T a b l e 9. GRB 130907A photometry

Observatory	T-T0	Exptime	Filter1	Mag1	Err. Mag1	Filter2	Mag2	Err. Mag2	Filter3	Mag3	Err. Mag3
MASTER II Tunka	47	10	P +P-	<11.0		P	<10.5		P-	<10.5	
	69	10	P +P-	<11.0		P	<10.5		P-	<10.5	
	91	20	P +P-	<11.5		P	<11.0		P-	<11.0	
	123	20	P +P-	12.2	0.2	P	12.2	0.2	P-	13	0.3
	154	30	P +P-	13.3	0.4	P	13.3	0.4	P-	13.6	0.6
	197	40	P +P-	13.7	0.5	P	13.7	0.5	P-	13.7	0.6
	249	50	P +P-	13.7	0.6	P	13.7	0.5	P-	14.4	0.8
	311	60+80	P +P-	13.8	0.6	P	<13.8		P-	<13.7	

П р и м е ч а н и е. Для этой и следующих таблиц фотометрии: T-T0 – время начала съемки, Exptime – экспозиция кадра, Filter1 – фильтр, в котором проходила съемка (P|, P-поляризации), Mag1 – звездная величина объекта на кадре, Err. Mag 1 – доверительный интервал. Filter2 (3), Mag2 (3), Err. Mag 2 (3) – те же значения в других фильтрах, Mag. unf. – значение звездной величины в кадре без фильтра, Cam1 и Cam2 – камеры телескопа. Значением «<» обозначается верхний предел кадра. Site – местоположение станции телескопа.

N o t e. For this and the following photometry tables: T-T0 – start time of the photo shooting; Exptime – image exposure; Filter 1 – filter used for the photo shooting (P|, P-polarization); Mag 1 – magnitude of the object in the frame; Err. Mag 1 – confidence interval. Filter 2 (3), Mag 2 (3), Err. Mag 2 (3) – same values in other filters; Mag. unf. – magnitude without filter; Cam 1 and Cam 2 – cameras of the telescope. Value “<” – upper limit of the frame. Site – location of the telescope station.

Т а б л и ц а 10. Фотометрия GRB 120811C

T a b l e 10. GRB 120811C photometry

Observatory	T-T0	Exptime	Cam1	Mag1	Err. Mag1
MASTER II Blagoveschensk	1015.92	650	W	18.4	0.1
	1793.88	720	W	18.9	0.17
	2624.76	720	W	19.3	0.27
	4284	720	W	<19.5	
	5112	720	W	<19.5	

Т а б л и ц а 11. Фотометрия GRB 120404A

T a b l e 11. GRB 120404A photometry

Observatory	T-T0	Exptime	Cam1	Mag1	Err. Mag1	coadd
MASTER	262.8	180	W	16.8	0.3	6
	3310.92	180	W	17.2	0.4	1
	3516.84	180	W	16.9	0.4	1
	3929.76	180	W	17.1	0.4	1
	4759.92	900	W	17.8	0.3	5
	6310.8	1800	W	18.1	0.3	10
	9000.72	1800	W	18.2	0.3	10

П р и м е ч а н и е. coadd – суммирование кадров для фотометрии неяркого объекта.

N o t e. coadd – summation of frames for photometry of a dim object.

Т а б л и ц а 12. Фотометрия GRB 140311B

Table 12. GRB 140311B photometry

Observatory	T-T0	Exptime	Cam1	Mag1	coadd
MASTER	325.8	220	W	19.4	4
	432	300	W	19	4
	556.92	650	W	19.4	8
	649.8	380	W	18.7	4
	549.72	550	W	18.9	5
	707.76	490	W	18.9	4
	833.76	960	W	19.4	8
	1485	1380	W	19.8	8
1701.72	1740	W	20	10	

Т а б л и ц а 13. Фотометрия GRB 140129B

Table 13. GRB 140129B photometry

Observatory	T-T0	Exptime	Cam1	Mag1	coadd
MASTER II Tunka	105	20	W	14.4	1
	174	30	W	15.4	1
	259	50	W	15.9	1
	366	70	W	16.2	1
	490	100	W	17	1
	662	130	W	17.3	1
	859	170	W	17.7	1
	1091	180	W	18	1
	1330	360	W	<18.4	2

Т а б л и ц а 14. Фотометрия 110801A

Table 14. GRB 110801A photometry

Observatory	T-T0	Exptime	Mag1	Err. Mag1	Filter1
MASTER II Kislovodsk	2860	180	16.13	0.06	R
	3280	180	16.12	0.06	R
	3499	180	16.29	0.08	R
	7099	180	16.03	0.06	White
	3702	180	16.43	0.06	R
	7302	180	16.19	0.06	White
	12632	180	17.75	0.1	R

Т а б л и ц а 15. Фотометрия 120106A

Table 15. GRB 120106A photometry

Observatory	T-T_trigger	Exp	Mag1	Tube1	Filter1	Mag2	Tube2	Filter2
MASTER II Tunka	46	10	17.0±0.3	East	P-	>16.8	West	P
	359	70	>18.0	East	P-	>18.0	West	P
	720	120	>18.2	East	P-	>18.2	West	P
	1024	180	>18.3	East	P-	>18.4	West	P

Т а б л и ц а 16. Фотометрия GRB 160227A

Table 16. GRB 160227A photometry

Observatory	T0-Tmid	Exp	Mag	Coadd
MASTER Ural	125	20	17	
MASTER Kislovodsk	152	30	18.1	
MASTER Ural	174	30	18.5	
MASTER Kislovodsk	207	120	17.8	3
MASTER Ural	231	40	17.7	
MASTER Ural	299	50	18.9	
MASTER Ural	383	70	19.6	
MASTER Ural	485	90	17.9	
MASTER Ural	607	110	18	
MASTER Kislovodsk	621	550	18.7	4
MASTER Ural	757	140	18.7	
MASTER Ural	935	170	18.2	
MASTER Ural	1133	180	19.1	
MASTER Ural	1349	180	19	
MASTER Ural	1566	180	18.9	
MASTER Kislovodsk	1765	1080	18.9	6
MASTER Ural	1781	180	19.1	
MASTER Ural	1998	180	19.1	
MASTER Kislovodsk	2647	900	19.1	5
MASTER IAC	2789	360	19.7	2
MASTER IAC	3423	540	19	3
MASTER Kislovodsk	4261	900	19.2	5
MASTER Kislovodsk	4527	900	19.4	5
MASTER IAC	5966	1080	19.5	6
MASTER IAC	6401	1800	20	10
MASTER IAC	7771	3600	19.9	20
MASTER IAC	9196	1800	19.8	10
MASTER Kislovodsk	10608	1620	20.9	9
MASTER Kislovodsk	12824	1800	20.3	10

П р и м е ч а н и е. T0 – время триггера, Tmid – время начала экспозиции.

Н о т е. T0 – trigger time; Tmid – exposure start time.

## 6. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Abbott B.P., Abbott R., Abbott T.D., Abernathy M.R., Acernese F., Ackley K., Adams C., Adams T., Addesso P., Adhikari R.X., Adya V.B., Affeldt C., Agathos M., Agatsuma K., Aggarwal N., Aguiar O.D., Aiello L., Ain A., Ajith P., Allen B., Allocca A., Altin P.A., Anderson S.B., Anderson W.G., Arai K., Araya M.C., Arceneaux C.C., Areeda J.S., Arnaud N., Arun K.G., Ascenzi S., Ashton G., Ast M., Aston S.M., Astone P., Aufmuth P., Aulbert C., Babak S., Bacon P., Bader M.K.M., Baker P.T., Baldaccini F., Ballardin G., Ballmer S.W., Barayoga J.C., Barclay S.E., Barish B.C., Barker D., Barone F., Barr B., Barsotti L., Barsuglia M., Barta D., Barthelmy S., Bartlett J., Bartos I., Bassiri R., Basti A., Batch J.C., Baune C., Bavigadda V., Bazzan M., Behnke B., Bejger M., Bell A.S., Bell C.J., Berger B.K., Bergman J., Bergmann G., Berry C.P.L., Bersanetti D., Bertolini A., Betzwieser J., Bhagwat S., Bhandare R., Bilenko I.A., Billingsley G., Birch J., Birney R., Biscans S., Bisht A., Bitossi M., Biwer C., Bizouard M.A., Blackburn J. K., Blair C.D., Blair D.G., Blair R.M., Bloemen S., Bock O., Bodiya T.P., Boer M., Bogaert G., Bogan C., Bohe A., Bojtis P., Bond C., Bondu F., Bonnand R., Boom B.A. et al., 2016. Localization and Broadband Follow-up of the Gravitational-wave Transient GW150914. *The Astrophysical Journal Letters* 826 (1), L13. <https://doi.org/10.3847/2041-8205/826/1/L13>.
- Akerlof C.W., Ashley M.C.B., Casperson D.E., Epps H.W., Kehoe R.L., Marshall S.L., McGowan K.E., McKay T.A., Phillips M.A., Rykoff E.S., Schier J.A., Smith D.A., Vestrand W.T., Wozniak P.R., Wren J.A., 2003. The ROTSE-III Robotic Telescope System. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 115 (803), 132–140. <https://doi.org/10.1086/345490>.
- Barlow B.N., Barthelmy S.D., Baumgartner W.H., Grupe D., Marshall F.E., Palmer D.M., Zhang B.-B., 2012. GRB 120811C: Swift detection of a burst with an optical counterpart. *GRB Coordinates Network* 13622. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/13622.gcn3>.
- Bernardini M.G., D'Avanzo P., D'Elia V., Evans P.A., Kennea J.A., Lien A.Y., Marshall F.E., Melandri A., Page K.L., Palmer D.M., Siegel M.H., Swenson C.A., 2014. GRB 140129B: Swift detection of a burst with an optical afterglow. *GRB Coordinates Network* 15765. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/15765.gcn3>.

- Cavallo G., Rees M.J., 1978. A qualitative study of cosmic fireballs and  $\gamma$ -ray bursts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 183 (3), 359–365. <https://doi.org/10.1093/mnras/183.3.359>.
- De Pasquale M., Barthelmy S.D., Baumgartner W.H., Beardmore A.P., Burrows D.N., Cummings J.R., Evans P.A., Gehrels N., Holland S.T., Hoversten E.A., Kennea J.A., Melandri A., Mountford C.J., Page K.L., Palmer D.M., Sakamoto T., Sbarufatti B., Siegel M.H., Sonbas E., Swenson C.A., Troja E., Ukwatta T.N., 2011. GRB 110801A: Swift detection of a burst with an optical counterpart. *GRB Coordinates Network* 12228. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/12228.gcn3>.
- de Ugarte Postigo A., Xu D., Malesani D., Gorosabel J., Jakobsson P., Kajava J., 2013. GRB 130907A: NOT redshift. *GRB Coordinates Network* 15187. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/15187.gcn3>.
- Denisenko D., Gorbovskey E., Lipunov V., Kornilov V., Kuvshinov D., Belinski A., Tyurina N., Shatskiy N., Balanutsa P., Zimnukhov D., Kuznetsov A., Chazov V.V., Sankovich A., Yurkov V., Sergienko Yu., Varda D., Sinyakov E., Tlatov A., Parhomenko A.V., Dormidontov D., Sennik V., Krushinski V., Zalozhnych I., Popov A., Bourdanov A., Punanova A., Levato H., Saffe C., Mallamaci C., Lopez C., Podest F., 2012. GRB 120811C: Master-Amur observations of fading OT. *GRB Coordinates Network* 13623. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/13623.gcn3>.
- Goodman J., 1986. Are gamma-ray bursts optically thick? *The Astrophysical Journal* 308, L47–L50. <https://doi.org/10.1086/184741>.
- Gorbovskey E., Ivanov K., Lipunov V., Kornilov V., Belinski V., Shatskiy N., Kuvshinov D., Tyurina N., Balanutsa P., Chazov V., Kuznetsov A., Kortunov P., Tlatov A., Parkhomenko A., Krushinsky V., Zalozhnyh I., Popov A., Kopytova T., Yazev S., Krylov A., 2010. Transient detections and other real-time data processing from MASTER-VWF wide-field cameras. *Advances in Astronomy* 2010, Article ID 917584. <http://dx.doi.org/10.1155/2010/917584>.
- Gorbovskey E.S., Lipunov V.M., Kornilov V.G., Belinski A.A., Kuvshinov D.A., Tyurina N.V., Sankovich A.V., Krylov A.V., Shatskiy N.I., Balanutsa P.V., Chazov V.V., Kuznetsov A.S., Zimnukhov A.S., Shumkov V.P., Shurpakov S.E., Senik V.A., Gareeva D.V., Pruzhinskaya M.V., Tlatov A.G., Parkhomenko A.V., Dormidontov D.V., Krushinsky V.V., Punanova A.F., Zalozhnyh I.S., Popov A.A., Burdanov A.Yu., Yazev S.A., Budnev N.M., Ivanov K.I., Konstantinov E.N., Gress O.A., Chvalaev O.V., Yurkov V.V., Sergienko Yu.P., Kudelina I.V., Sinyakov E.V., Karachentsev I.D., Moiseev A.V., Fatkhullin T.A., 2013a. The MASTER-II network of robotic optical telescopes. First results. *Astronomy Reports* 57 (4), 233–286. <https://doi.org/10.1134/S1063772913040033>.
- Gorbovskey E., Lipunov V., Kornilov V., Kuvshinov D., Belinski A., Tyurina N., Shatskiy N., Balanutsa P., Zimnukhov D., Kuznetsov A., Chazov V.V., Kuznetsov A., Sankovich A., Yurkov V., Sergienko Yu., Varda D., Sinyakov E., Tlatov A., Parhomenko A.V., Dormidontov D., Sennik V., Krushinski V., Zalozhnych I., Popov A., Bourdanov A., Punanova A., Levato H., Saffe C., Mallamaci C., Lopez C., Podest F., 2012a. GRB 120404A: MASTER OT observations. *GRB Coordinates Network* 13230. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/13230.gcn3>.
- Gorbovskey E., Lipunov V., Kornilov V., Kuvshinov D., Belinski A., Tyurina N., Shatskiy N., Balanutsa P., Zimnukhov D., Kuznetsov A., Chazov V.V., Denisenko D., Sankovich A., Tlatov A., Parhomenko A.V., Dormidontov D., Sennik V., Yurkov V., Sergienko Yu., Varda D., Sinyakov E., Ivanov K., Yazev S., Budnev N.M., Gres O., Chuvalaev O., Poleshchuk V.A., Krushinski V., Zalozhnyh I., Popov A., Levato H., Saffe C., Mallamaci C., Lopez C., Podest F., 2013b. GRB 130907A: MASTER early OT observations. *GRB Coordinates Network* 15184. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/15184.gcn3>.
- Gorbovskey E., Lipunov V., Tyurina N., Kornilov V., Balanutsa P., Kuznetsov A., Kuvshinov D., Gabovich A., Yurkov V., Sergienko Yu., Varda D., Ivanov K., Budnev N.M., Gres O., Poleshchuk V.A., Tlatov A., Senik V., Parhomenko A.V., Dormidontov D., Rebolo R., Serra-Ricart M., Lodieu N., Israelian G., Buckley D., Potter S., Kotze M., 2016. GRB 160227A: MASTER OT Detection. *GRB Coordinates Network* 19099. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/19099.gcn3>.
- Gorbovskey E., Lipunova G.V., Lipunov V.M., Kornilov V.G., Belinski A.A., Shatskiy N.I., Tyurina N.V., Kuvshinov D.A., Balanutsa P.V., Chazov V.V., Kuznetsov A., Zimnukhov D.S., Kornilov M.V., Sankovich A.V., Krylov A., Ivanov K.I., Chvalaev O., Poleshchuk V.A., Konstantinov E.N., Gress O.A., Yazev S.A., Budnev N.M., Krushinski V.V., Zalozhnych I.S., Popov A.A., Tlatov A.G., Parhomenko A.V., Dormidontov D.V., Sennik V., Yurkov V.V., Sergienko Yu.P., Varda D., Kudelina I.P., Castro-Tirado A.J., Gorosabel J., Sánchez-Ramírez R., Jelínek M., Tello J.C., 2012b. Prompt, early and afterglow optical observations of five  $\gamma$ -ray bursts: GRB 100901A, GRB 100902A, GRB 100905A, GRB 100906A and GRB 101020A. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 421 (3), 1874–1890. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.20195.x>.
- Gorbovskey E.S., Lipunov V., Pruzhinskaya M., Denisenko D., Kornilov V., Tyurina N., Balanutsa P., Kuznetsov A., Chazov V.V., Kuvshinov D., Ivanov K., Yazev S., Budnev N.M., Gres O., Chuvalaev O., Poleshchuk V.A., Yurkov V., Sergienko Yu., Varda D., Sinyakov E., Tlatov A., Parhomenko A.V., Dormidontov D., Sennik V., Krushinski V., Zalozhnyh I., Popov A., Levato H., Saffe C., Mallamaci C., Lopez C., Podest F., 2014. GRB 140311B: MASTER early optical observations. *GRB Coordinates Network* 15948. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/15948.gcn3>.
- Ivanov K., Yazev N.M., Budnev N.M., Gres O., Chuvalaev O., Poleshchuk V.A., Yurkov V., Sergienko Yu., Varda D., Sinyakov E., Gorbovskey E., Lipunov V., Denisenko D., Kornilov V., Kuvshinov D., Tyurina N., Shatskiy N., Balanutsa P., Zimnukhov D., Kuznetsov A., Chazov V.V., Krushinski V., Zalozhnyh I., Popov A., Tlatov A., Parhomenko A.V., Dormidontov D., Sennik V., Levato H., Saffe C., Mallamaci C., Lopez C., Podest F., 2014. GRB 140129B: MASTER OT confirmation. *GRB Coordinates Network* 15766. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/15766.gcn3>.
- Kornilov V., Lipunov V., Gorbovskey E., Belinski A., Kuvshinov D., Tyurina N., Shatskiy N., Sankovich A., Krylov A., Balanutsa P., Chazov V., Kuznetsov A., Zimnukhov D., Senik V., Tlatov A., Parkhomenko A., Dormidontov D., Krushinsky V., Zalozhnyh I., Popov A., Yazev S., Budnev N., Ivanov K., Konstantinov E., Gress O., Chvalaev O., Yurkov V., Sergienko Yu., Kudelina I., 2012.

- Robotic optical telescopes global network MASTER II. Equipment, structure, algorithms. *Experimental Astronomy* 33 (1), 173–196. <https://doi.org/10.1007/s10686-011-9280-z>.
- Krushinski V., Zalozhnych I., Popov A., Gorbovskey E., Lipunov V., Tyurina N., Kornilov V., Balanutsa P., Kuznetsov A., Kuvshinov D., Gabovich A., Yurkov V., Sergienko Yu., Varda D., Ivanov K., Budnev N.M., Gres O., Poleshchuk V.A., Tlatov A., Senik V., Parhomenko A.V., Dormidontov D., Rebolo R., Serra-Ricart M., Lodieu N., Israelian G., 2016. GRB 160227A: MASTER prompt OT Detection and LC. *GRB Coordinates Network* 19116. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/19116.gcn3>.
- Lipunov V.M., Gorbovskey E.S., Afanasiev V., Tatarnikova A., Denisenko D., Makarov D., Tiurina N., Krushinsky V., Vinokurov A., Balanutsa P., Kuznetsov A., Gress O., Sergienko Yu., Yurkov V., Gabovich A., Tlatov A., Senik V., Vladimirov V., Popova E., 2016a. Discovery of an unusual bright eclipsing binary with the longest known period: TYC 2505-672-1/MASTER OT J095310.04+335352.8. *Astronomy & Astrophysics* 588, A90. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201526528>.
- Lipunov V.M., Gorosabel J., Pruzhinskaya M.V., de Ugarte Postigo A., Pelassa V., Tsvetkova A.E., Sokolov I.V., Kann D.A., Dong Xu, Gorbovskey E.S., Krushinski V.V., Kornilov V.G., Balanutsa P.V., Boronina S.V., Budnev N.M., Cano Z., Castro-Tirado A.J., Chazov V.V., Connaughton V., Delvaux C., Frederiks D.D., Fynbo J.F.U., Gabovich A.V., Goldstein A., Greiner J., Gress O.A., Ivanov K.I., Jakobsson P., Klose S., Knust F., Komarova V.N., Konstantinov E., Krylov A.V., Kuvshinov D.A., Kuznetsov A.S., Lipunova G.V., Moskvitin A.S., Pal'shin V.D., Pandey S.B., Poleshchuk V.A., Schmidl S., Sergienko Yu.P., Sinyakov E.V., Schulze S., Sokolov V.V., Sokolova T.N., Sparre M., Thöne C.C., Tlatov A.G., Tyurina N.V., Ulanov M.V., Yazev S.A., Yurkov V.V., 2016b. The optical identification of events with poorly defined locations: the case of the Fermi GBM GRB 140801A. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 455 (1), 712–724. <https://doi.org/10.1093/mnras/stv2228>.
- Lipunov V.M., Kornilov V., Gorbovskey E., Buckley D.A.H., Tiurina N., Balanutsa P., Kuznetsov A., Greiner J., Vladimirov V., Vlasenko D., Chazov V., Kuvshinov D., Gabovich A., Potter S.B., Kniazev A., Crawford S., Rebolo Lopez R., Serra-Ricart M., Israelian G., Lodieu N., Gress O., Budnev N., Ivanov K., Poleschuk V., Yazev S., Tlatov A., Senik V., Yurkov V., Dormidontov D., Parkhomenko A., Sergienko Yu., Podesta R., Levato H., Lopez C., Saffe C., Podesta F., Mallamaci C., 2017. First gravitational-wave burst GW150914: MASTER optical follow-up observations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 465 (3), 3656–3667. <https://doi.org/10.1093/mnras/stw2669>.
- Lipunov V., Kornilov V., 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., Popov A., Kopytova T., Ivanov K., Yazev S., Yurkov V., 2010. MASTER Robotic Net. *Advances in Astronomy* 2010, Article ID 349171. <https://doi.org/10.1155/2010/349171>.
- Lipunov V.M., Kornilov V.G., Krylov A.V., Tyurina N.V., Belinski A.A., Gorbovskey E.S., Kuvshinov D.A., Gritsyk P.A., Antipov G.A., Borisov G.V., Sankovich A.V., Vladimirov V.V., Vyborno V.I., Kuznetsov A.S., 2007. Optical observations of gamma-ray bursts, the discovery of supernovae 2005bv, 2005ee, and 2006ak, and searches for transients using the “MASTER” robotic telescope. *Astronomy Reports* 51 (12), 1004–1025. <https://doi.org/10.1134/S1063772907120050>.
- Lipunov V.M., Krylov A.V., Kornilov V.G., Borisov G.V., Kuvshinov D.A., Belinsky A.A., Kuznetsov M.V., Potanin S.A., Antipov G.A., Tyurina N.V., Gorbovskey E.S., Chilingaryan I., 2004. MASTER: The Mobile Astronomical System of Telescope-Robots. *Astronomische Nachrichten* 325 (6–8), 580–582. <https://doi.org/10.1002/asna.200410284>.
- Narayan R., Paczyński B., Piran T., 1992. Gamma-ray bursts as the death throes of massive binary stars. *The Astrophysical Journal Letters* 395 (2), L83–L86. <https://doi.org/10.1086/186493>.
- Paczyński B., 1986. Gamma-ray bursters at cosmological distances. *The Astrophysical Journal* 308, L43–L46. <https://doi.org/10.1086/184740>.
- Paczyński B., 1998. Are gamma-ray bursts in star-forming regions? *The Astrophysical Journal Letters* 494 (1), L45–L48. <https://doi.org/10.1086/311148>.
- Parhomenko A.V., Tlatov A., Dormidontov D., Ivanov K., Poleshchuk V.A., Yazev S., Budnev N.M., Gress O., Chuvalaev O., Konstantinov E., Gorbovskey E., Lipunov V., Kornilov V., Kuvshinov V., Belinski A., Tyurina N., Shatskiy N., Balanutsa P., Chazov V.V., Kortunov P.V., Kuznetsov A., Zimmukhov D., Kornilov M., Sankovich A., Krushinski V., Zalozhnych I., Kopytova T., Popov A., Yurkov V., Sergienko Yu., Varda D., Kudelina I., 2011. GRB 110801A: MASTER OT observations. *GRB Coordinates Network* 12238 1. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/12238.gcn3>.
- Pruzhinskaya M.V., Krushinsky V.V., Lipunova G.V., Gorbovskey E.S., Balanutsa P.V., Kuznetsov A.S., Denisenko D.V., Kornilov V.G., Tyurina N.V., Lipunov V.M., Tlatov A.G., Parkhomenko A.V., Budnev N.M., Yazev S.A., Ivanov K.I., Gress O.A., Yurkov V.V., Gabovich A.V., Sergienko Yu.P., Sinyakov E.V., 2014. Optical polarization observations with the MASTER robotic net. *New Astronomy* 29, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2013.12.003>.
- Racusin J.L., Baumgartner W.H., Gehrels N., Izzo L., Kennea J.A., Malesani D., Marshall F.E., Sbarufatti B., Ukwatta T.N., 2014. GR 140311B: Swift detection of a burst. *GRB Coordinates Network* 15945. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/15945.gcn3>.
- Siegel M.H., 2016. GRB 160227A: Swift/UVOT Detection. *GRB Coordinates Network* 19122. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/19122.gcn3>.
- Siegel M.H., Burrows D.N., Gehrels N., Kuin N.P.M., Lien A.Y., McCauley L.M., Palmer D.M., Sbarufatti B., Ukwatta T.N., 2016. GRB 160227A: Swift detection of a burst with an optical counterpart. *GRB Coordinates Network* 19098. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/19098.gcn3>.
- Stratta G., Barthelmy S.D., Baumgartner W.H., Beardmore A.P., Campana S., D'Elia V., Evans P.A., Guidorzi C., Holland S.T., Hoversten E.A., Kennea J.A., Lien A.Y., Mangano V., Marshall F.E., Maselli A., Melandri A., O'Brien P.T., Pagani C.,

- Page K.L., Romano P., Starling R.L.C., Stroh M.C., Zhang B.-B., 2012. GRB 120404A: Swift detection of a burst with an optical counterpart. *GRB Coordinates Network* 13208. Available from: <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/13208.gcn3>.
- Tiurina N., Lipunov V., Kornilov V., Gorbovskoy E., Shatskij N., Kuvshinov D., Balanutsa P., Belinski A., Krushinsky V., Zalozhnyh I., Tlatov A., Parkhomenko A., Ivanov K., Yazev S., Kortunov P., Sankovich A., Kuznetsov A., 2010. MASTER Prompt and Follow-Up Observations. *Advances in Astronomy* 2010, Article ID 349171. <https://doi.org/10.1155/2010/763629>.
- Troja E., Lipunov V.M., Mundel C.G., Butler N.R., Watson A.M., Kobayashi S., Cenko S.B., Marshall F.E., Ricci R., Fruchter A., Wieringa M.H., Gorbovskoy E.S., Kornilov V., Kuttyrev A., Lee W. H., Toy V., Tyurina N.V., Budnev N.M., Buckley D.A.H., González J., Gress O., Horesh A., Panasyuk M.I., Prochaska J.X., Ramirez-Ruiz E., Rebolo Lopez R., Richer M.G., Roman-Zuniga C., Serra-Ricart M., Yurkov V., Gehrels N., 2017. Significant and variable linear polarization during the prompt optical flash of GRB 160625B. *Nature* 547 (7664), 425–427. <https://doi.org/10.1038/nature23289>.
- Zhang Y., Geng J.-J., Huang Y.-F., 2019. Inverse Compton Scattering Spectra of gamma-ray burst prompt emission. *The Astrophysical Journal* 877 (2), 89. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab1b10>.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT AUTHORS

### Владимир Михайлович Липунов

докт. физ.-мат. наук, профессор, зав. лабораторией

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

✉ e-mail: [lipunov2007@gmail.com](mailto:lipunov2007@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0003-3668-1314>

### Vladimir M. Lipunov

Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of Laboratory

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

### Евгений Сергеевич Горбовской

канд. физ.-мат. наук, с.н.с.

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [gorbovskoy@sai.msu.ru](mailto:gorbovskoy@sai.msu.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-4368-9237>

### Evgenii S. Gorbovskoy

Candidate of Physics and Mathematics, Senior Researcher

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

### Виктор Геральдович Корнилов

докт. физ.-мат. наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [victor@sai.msu.ru](mailto:victor@sai.msu.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-4568-9553>

### Victor G. Kornilov

Doctor of Physics and Mathematics

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

### Наталья Владимировна Тюрина

канд. физ.-мат. наук, н.с.

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [tiurina@sai.msu.ru](mailto:tiurina@sai.msu.ru)

### Natalia V. Tyurina

Candidate of Physics and Mathematics, Researcher

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Владимир Валерьевич Владимиров**

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [mckeency@gmail.com](mailto:mckeency@gmail.com)

**Vladimir V. Vladimirov**

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Артем Сергеевич Кузнецов**

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [ingell@bk.ru](mailto:ingell@bk.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-0276-0874>

**Artem S. Kuznetsov**

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Павел Владимирович Балануца**  
ведущий программист

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [balanytsa@gmail.com](mailto:balanytsa@gmail.com)

**Pavel V. Balanutsa**  
Lead Programmer

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Дмитрий Сергеевич Зимнухов**  
инженер

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [director@sai.msu.ru](mailto:director@sai.msu.ru)

**Dmitrii S. Zimnukhov**  
Engineer

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Вадим Викторович Чазов**  
докт. физ.-мат. наук, с.н.с.

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [vadimchazov@yandex.ru](mailto:vadimchazov@yandex.ru)

**Vadim V. Chazov**  
Doctor of Physics and Mathematics, Senior Researcher

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Даниил Михайлович Власенко**  
лаборант

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [leeor@yandex.ru](mailto:leeor@yandex.ru)

**Daniil M. Vlasenko**  
Laboratory Assistant

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Андрей Георгиевич Тлатов**  
докт. физ.-мат. наук

Кисловодская горная астрономическая станция  
Пулковской астрономической обсерватории РАН  
357700, Кисловодск, ул. Гагарина, 100, п/я 145, Россия

e-mail: [solar@megalog.ru](mailto:solar@megalog.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-1545-2125>

**Andrei G. Tlatov**  
Doctor of Physics and Mathematics

Kislovodsk Mountain Astronomical Station  
of Pulkovo Astronomical Observatory of RAS  
100 Gagarin street, Kislovodsk 357700, P.O. Box 145, Russia

**Виктор Алексеевич Сеник**

ведущий инженер

Кисловодская горная астрономическая станция  
Пулковской астрономической обсерватории РАН  
357700, Кисловодск, ул. Гагарина, 100, п/я 145, Россия

e-mail: [solar@megalog.ru](mailto:solar@megalog.ru)

**Victor A. Senik**

Lead Engineer

Kislovodsk Mountain Astronomical Station  
of Pulkovo Astronomical Observatory of RAS  
100 Gagarin street, Kislovodsk 357700, P.O. Box 145, Russia

**Ольга Андреевна Ершова**

Астрономическая обсерватория  
Иркутского государственного университета  
664009, Иркутск, ул. Советская, 119А, Россия

e-mail: [oliteya@gmail.com](mailto:oliteya@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8292-8114>

**Olga A. Ershova**

Astronomical Observatory of Irkutsk State University  
119A Sovetskaya street, Irkutsk 664009, Russia

**Олег Анатольевич Гресс**

доцент, с.н.с.

Научно-исследовательский институт прикладной физики  
Иркутского государственного университета  
664003, бульвар Гагарина, 20, Россия

e-mail: [mr.grol08@mail.ru](mailto:mr.grol08@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-5070-0836>

**Oleg A. Gress**

Assistant Professor, Senior Researcher

Applied Physics Institute of Irkutsk State University  
20 Gagarin boulevard, Irkutsk 664003, Russia

**Николай Михайлович Буднев**

докт. физ.-мат. наук, профессор, декан

Иркутский государственный университет, физический факультет  
664003, Иркутск, бульвар Гагарина, 20, Россия

e-mail: [nbudnev@api.isu.ru](mailto:nbudnev@api.isu.ru)

**Nikolai M. Budnev**

Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Dean

Irkutsk State University, Physics Faculty  
20 Gagarin Boulevard, Irkutsk 664003, Russia

**Сергей Артурович Язев**

докт. физ.-мат. наук, профессор, директор

Астрономическая обсерватория  
Иркутского государственного университета  
664009, Иркутск, ул. Советская, 119А, Россия

Институт солнечно-земной физики СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 126А, Россия

e-mail: [yazev@gmail.com](mailto:yazev@gmail.com)

**Sergei A. Yazev**

Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Director

Astronomical Observatory of Irkutsk State University  
119A Sovetskaya street, Irkutsk 664009, Russia

Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of RAS  
126A Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia

**Олег Борисович Чвалаев**

ведущий конструктор

Научно-исследовательский институт прикладной физики  
Иркутского государственного университета  
664003, бульвар Гагарина, 20, Россия

e-mail: [api.isu@mail.ru](mailto:api.isu@mail.ru)

**Oleg B. Chvalaev**

Lead Designer

Applied Physics Institute of Irkutsk State University  
20 Gagarin boulevard, Irkutsk 664003, Russia

**Владимир Александрович Полещук**

с.н.с.

Научно-исследовательский институт прикладной физики  
Иркутского государственного университета  
664003, бульвар Гагарина, 20, Россия

e-mail: [api.isu@mail.ru](mailto:api.isu@mail.ru)**Vladimir A. Poleshchuk**

Senior Researcher

Applied Physics Institute of Irkutsk State University  
20 Gagarin boulevard, Irkutsk 664003, Russia

**Юлия Владимировна Ишмухаметова**

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [sunny.rabinovich@mail.ru](mailto:sunny.rabinovich@mail.ru)**Yulia V. Ishmuhametova**

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Владимир Владимирович Юрков**

докт. физ.-мат. наук

Благовещенский государственный педагогический университет  
675000, Благовещенск, ул. Ленина, 104, Россия

e-mail: [rectorat@bgpu.ru](mailto:rectorat@bgpu.ru) <https://orcid.org/0000-0002-9361-0320>**Vladimir V. Yurkov**

Doctor of Physics and Mathematics

Blagoveshchensk State Pedagogical University  
104 Lenin street, Blagoveshchensk 675000, Russia

**Александр Викторович Габович**

канд. физ.-мат. наук, инженер

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
119234, Москва, Университетский проспект, 13, Россия

e-mail: [director@sai.msu.ru](mailto:director@sai.msu.ru) <https://orcid.org/0000-0003-3591-4411>**Aleksander V. Gabovich**

Candidate of Physics and Mathematics, Engineer

P.K. Sternberg State Astronomical Institute of  
M.V. Lomonosov Moscow State University  
13 Universitetsky Ave., Moscow 119234, Russia

**Юрий Павлович Сергиенко**

докт. физ.-мат. наук

Благовещенский государственный педагогический университет  
675000, Благовещенск, ул. Ленина, 104, Россия

e-mail: [rectorat@bgpu.ru](mailto:rectorat@bgpu.ru) <https://orcid.org/0000-0002-0103-9615>**Yurii P. Sergienko**

Doctor of Physics and Mathematics

Blagoveshchensk State Pedagogical University  
104 Lenin street, Blagoveshchensk 675000, Russia

**Роберто Подеста**

PhD

Астрономическая обсерватория Феликса Агилара,  
Национальный университет Сан Хуана  
5413, Сан-Хуан, ав. Бенавидез 8175-Эсте-Чимбас, Аргентина

**Roberto Podesta**

PhD

Observatorio Astronmico Félix Aguilar, Universidad Nacional de San Juan  
av. Benavídez 8175 –Oeste- Chimbас, San Juan 5413, Argentina

**Карлос Лопез**

PhD

Астрономическая обсерватория Феликса Агилара,  
Национальный университет Сан Хуана  
5413, Сан-Хуан, ав. Бенавидез 8175-Эсте-Чимбас, Аргентина

**Carlos Lopez**

PhD

Observatorio Astronmico Félix Aguilar, Universidad Nacional de San Juan  
av. Benavídez 8175 –Oeste- Chimbас, San Juan 5413, Argentina

**Фредерико Подеста**

Астрономическая обсерватория Феликса Агилара,  
Национальный университет Сан Хуана  
5413, Сан-Хуан, ав. Бенавидес 8175-Эсте-Чимбас, Аргентина

**Frederico Podesta**

Observatorio Astronmico Félix Aguilar, Universidad Nacional de San Juan  
av. Benavídez 8175 –Oeste- Chimbas, San Juan 5413, Argentina

**Хьюго Левато**

PhD

Институт астрономических наук, Земли и космоса  
J5402DSP, Сан-Хуан, ав. Эспана Сюр, 1512 sur, Аргентина

**Hugo Levato**

PhD

Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio  
Av. España Sur 1512, San Juan J5402DSP, Argentina

**Рафаэль Реболо Лопес**

PhD, профессор

Канарский институт астрофизики  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – Ла Лагуна (Тенерифе), Испания

e-mail: [teide@iac.es](mailto:teide@iac.es)

 <https://orcid.org/0000-0003-3767-7085>

**Rafael Rebolo Lopez**

PhD, Professor

Instituto de Astrofísica de Canarias  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – La Laguna (Tenerife), Spain

**Мигель Серра-Рикарт**

PhD, профессор

Канарский институт астрофизики  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – Ла Лагуна (Тенерифе), Испания

e-mail: [teide@iac.es](mailto:teide@iac.es)

 <https://orcid.org/0000-0002-2394-0711>

**Miguel Serra-Ricart**

PhD, Professor

Instituto de Astrofísica de Canarias  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – La Laguna (Tenerife), Spain

**Николя Лодью**

PhD, профессор

Канарский институт астрофизики  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – Ла Лагуна (Тенерифе), Испания

e-mail: [teide@iac.es](mailto:teide@iac.es)

 <https://orcid.org/0000-0002-3612-8968>

**Nicolas Lodieu**

PhD, Professor

Instituto de Astrofísica de Canarias  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – La Laguna (Tenerife), Spain

**Гарик Израелян**

PhD, профессор

Канарский институт астрофизики  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – Ла Лагуна (Тенерифе), Испания

e-mail: [teide@iac.es](mailto:teide@iac.es)

**Garik Israelian**

PhD, Professor

Instituto de Astrofísica de Canarias  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – La Laguna (Tenerife), Spain

**Люсия Суарез-Андрез**

PhD

Канарский институт астрофизики  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – Ла Лагуна (Тенерифе), Испания

e-mail: [teide@iac.es](mailto:teide@iac.es)

**Lucia Suarez-Andrez**

PhD

Instituto de Astrofísica de Canarias  
C/ Vía Láctea, s/n, E38205 – La Laguna (Tenerife), Spain

**Дэвид Бакли**

PhD

Южноафриканская астрономическая обсерватория  
6920, Сазерленд, а/я 25, Южно-Африканская Республика

e-mail: [enquiries@saa.ac.za](mailto:enquiries@saa.ac.za)

**David Buckley**

PhD

South African Astronomical Observatory  
P.O. Box 25, Sutherland 6920, South Africa