ПОИСК ОПТИЧЕСКОГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА 2-м ТЕЛЕСКОПЕ ОБСЕРВАТОРИИ ТЕРСКОЛ

$\boxed{\text{В. Я. Поддубный}^{1,2}}$, Ю. М. Гаврилюк[1,2], К. Йоккерс[3], Н. В. Карпов[1], С. Н. Карпов[1,2], И. В. Кулик[4], В. Б. Петков[2], А. В. Сергеев[1], В. К. Тарадий[1]

[1] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований пос. Терскол, Эльбрусский район, 360101 Кабардино-Балкарская Республика, Россия*

[2] *Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН пос. Нейтрино, Эльбрусский район, 361609 Кабардино-Балкарская Республика, Россия*
e-mail: vpetkov@yandex.ru

[3] *Институт аэрономии общества Макса Планка, Германия D-37191 Катленбург-Линдау, Германия*

[4] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины ул. Академика Заболотного, 27, 03680 Киев, Украина*

На 2-м телескопе обсерватории Терскол проводятся наблюдения с целью обнаружения оптического послесвечения гамма-всплесков. Описана методика поиска и обработки результатов наблюдений. Предложен метод получения ограничения на звездную величину оптических объектов. Представлены ограничения для объектов оптического послесвечения шести гамма-всплесков: GRB 991106, GRB 000620, GRB 001109, GRB 010103, GRB 011212 и GRB 020409.

SEARCH FOR OPTICAL AFTERGLOWS OF GAMMA-RAY BURSTS WITH THE 2-m TELESCOPE AT THE TERSKOL OBSERVATORY, by Poddubny V. Ya., Gavriliuk Yu. M., Jockers K., Karpov N. V., Karpov S. N., Kulyk I. V., Petkov V. B., Sergeev A. V., Tarady V. K. – Observations aimed at the search for optical afterglows of gamma-ray bursts are carried out with the 2-m telescope of the Terskol Observatory. We describe a method for such search and analysis of the data. The method was devised to obtain limitations to the magnitude of optical objects. The limitations obtained for six optical afterglows of gamma-ray bursts are presented.

ВВЕДЕНИЕ

В течение длительного времени после открытия в 1973 г. [1] гамма-всплески (Gamma-Ray Burst – GRB) оставались наиболее загадочными объектами в астрофизике высоких энергий. Несмотря на то, что до 1997 г. было зарегистрировано несколько тысяч гамма-всплесков, точность их локализации была явно недостаточной для успешного поиска их излучения в других энергетических диапазонах, включая оптический. Из-за отсутствия излучения в оптическом диапазоне не был определен даже масштаб расстояний до γ-всплесков. Ситуация радикально изменилась в 1997 г. после запуска спутников Beppoѕax и RXTE. Благодаря наблюдениям на этих спутниках было открыто затухающее рентгеновское излучение у некоторых γ-всплесков. Это позволило определить их координаты с точностью до нескольких угловых минут, что привело в дальнейшем к обнаружению оптических объектов на месте нахождения некоторых γ-всплесков (см. ссылки в работе [2]). У части этих объектов было обнаружено красное смещение линий излучения и поглощения, показывающее, что эти оптические объекты находятся на космологических расстояниях. Несмотря на то, что сейчас на спутниках регистрируются ежегодно около 30–40 γ-всплесков, с ошибкой, не превышающей $10'$, только у примерно пяти из них удается зарегистрировать оптическое послесвечение. Как временное поведение фотометрических характеристик излучения, так и спектральное распределение энергии оптического послесвечения заметно отличаются для различных объектов [3]. Кроме того, не у каждого γ-всплеска удается измерить все необходимые характеристики. Ясно, что необходимо как увеличение статистики таких событий, так и более детальное (в различных спектральных диапазонах) их изучение.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Наблюдения проводятся на телескопе Zeiss-2000 системы Ричи–Кретьена–Кудэ [4], который расположен на пике Терскол (Приэльбрусье, Северный Кавказ) на высоте 3100 м над уровнем моря. Поиск и анализ фотометрических характеристик объектов выполняется с использованием двухканального фокального редуктора Института аэрономии общества Макса Планка, позволяющего одновременно проводить наблюдения в нескольких спектральных диапазонах – от ультрафиолетового до инфракрасного – благодаря использованию различных фильтров и линз. В качестве приемников используются ПЗС-матрицы, охлаждаемые жидким азотом. В первом канале один пиксел соответствует $0.81''$, во втором – $1.0''$. Поле зрения прибора ограничено полевой диафрагмой и составляет $7.8' \times 5.2'$. Обработка изображений производится по стандартной методике, с вычитанием нулевого смещения и коррекции на плоское поле.

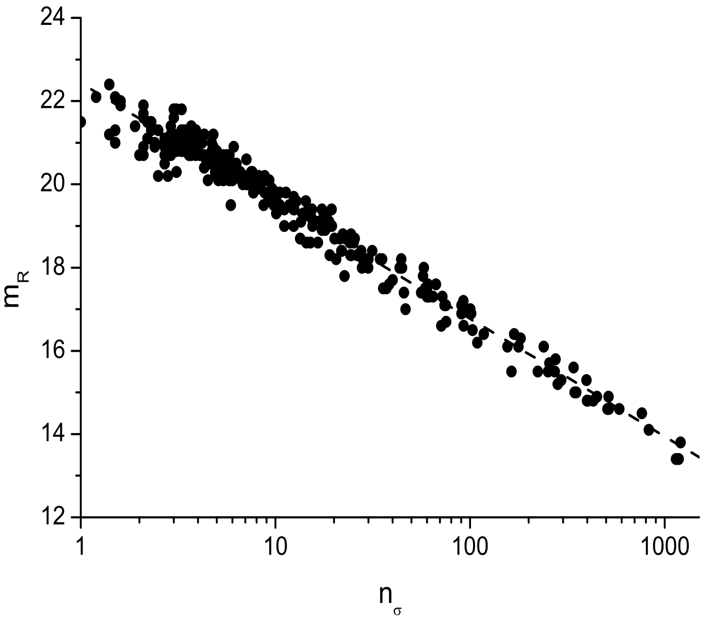
Наблюдать оптические послесвечения гамма-всплесков сложно по следующим причинам:

1) Невозможно заранее спланировать наблюдения гамма-всплесков из-за случайности этих явлений;

2) Оптическое послесвечение достаточно слабое, обычно слабее 20-ой звездной величины, поэтому для их наблюдений требуются безлунные ночи и очень хорошие атмосферные условия.

Поиск и отождествление объекта в оптическом диапазоне проводится после получения информации о гамма-всплеске по сети GCN (GRB Coordinate Network) [5].

Первый этап поиска – сравнение снимков поля гамма-всплеска с каталогом USNO. Обычно на снимках имеются объекты, отсутствующие в каталоге. Поскольку объекты оптического послесвечения гамма-всплесков являются затухающими, для дальнейшего поиска производится сравнение снимков данного поля, сделанных в разное время. Фотометрическая калибровка проводится либо с использованием звезд из каталога Ландольта [9], либо используются звезды поля гамма-всплеска по каталогу USNO. В случае отсутствия объекта оптического послесвечения следует поставить ограничение на его звездную величину. Общепринятой процедуры для этого нет, часто ограничение ставят по слабейшему объекту в поле (например [6]). Нами разработан метод, в котором используется измеренная зависимость звездой величины всех объектов поля от превышения над фоном в стандартных (пуассоновских) отклонениях. Предельной считается звездная величина, соответствующая двум стандартным отклонениям. На рисунке приведен пример такой зависимости для повторного наблюдения (15.11.2000) поля GRB 001109 в спектральной полосе R.



Зависимость звездной величины объекта от превышения над фоном в стандартных отклонениях для поля гамма-всплеска GRB 001109

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В течение 1999–2002 гг. проводился поиск оптических послесвечений шести гамма-всплесков. Все они наблюдались не более чем через сутки после получения информации по сети GCN и в благоприятных метеоусловиях. Результаты этих наблюдений представлены в таблице. Для всех шести гамма-всплесков оптическое послесвечение не было обнаружено, и был поставлен только верхний предел яркости.

Результаты наблюдений оптического послесвечения шести гамма-всплесков

GRB	1	2	3	4	5	6	7
991106 [7, 8]	3.2	06–11.11.99	2×120	Ландольт	22.3	20.8	23.5 [18]
000620 [10]	3.6	21–22.06.00	2×900	USNO	21.4	–	22.1 [19]
001109 [11]	2.5	09–15.11.00	2×300	Ландольт	20.6 [a] [12]	19.9 [12]	20.9 [20]
010103 [13]	60×6	06–7.03.01	3×300	USNO	21.5	–	21.5 [b]
011212 [14]	11	12–13.12.01	3×300	USNO	21.5 [16]	–	23.8 [21]
020409 [15]	3.2	10.04.02	2×600	USNO	22.0 [17]	–	23.5 [22]

Первая колонка – точность локализации в угловых минутах, вторая – период наблюдения, третья – время экспозиции в секундах, четвертая – каталог фотометрической калибровки, пятая – ограничение на звездную величину m_R, шестая – ограничение на m_I, седьмая – лучшее ограничение на m_R по данным сети GCN,

[a] – уточненная обработка, в сообщении [12] приведено $(m_R)_{lim} = 19.6$,

[b] – данная работа.

“ТЕМНЫЕ” ГАММА-ВСПЛЕСКИ

Отсутствие наблюдений оптического послесвечения γ-всплесков может быть вызвано следующими причинами:

1. Относительно большая ошибка координат гамма-всплеска или неблагоприятные условия наблюдения оптического послесвечения;

2. Расположение гамма-всплеска в направлении галактического диска или вблизи ярких звезд;

3. Крутой наклон оптической кривой при относительной задержке с наблюдением в несколько дней;

4. “Темные” гамма-всплески.

По данным GCN за 1997–2000 гг., из 40 точно локализованных GRB для 30 из них было возможно выполнение последующих наблюдений. В 90 % случаев было зарегистрировано рентгеновское излучение, в 50 % случаев – оптическое излучение и в 40 % случаев – радиоизлучение. Отсутствие оптического послесвечения не связано с ошибками наблюдения или плохими погодными условиями. Отсюда возникло определение “темных” гамма-всплесков как всплесков с хорошо определенными координатами, наличием рентгеновского (и/или радио) послесвесвечения, но с отсутствием оптического послесвечения до некоторой (зависящей от времени наблюдения) предельной зведной величины $(m_R)_{lim}$. Существует вполне понятный произвол в определении значения предельной зведной величины, в данной работе будем использовать $(m_R)_{lim}$=22.0^m для времени наблюдения в течении первых 12 часов после начала события. Первый “темный” γ-всплеск – GRB 970828 – был зарегистрирован как всплеск с ярким затухающим рентгеновским послесвечением при отсутствии оптического послесвечения до $R = 23.8$ во временном интервале $4-8$ часов после начала события [23].

Причины возникновения “темных” гамма-всплесков могут быть следующие:

1. Малая плотность окружающей среды (отсутствие оптического послесвечения как следстия взаимодействия ударной волны с окружаещим веществом).

2. Сильное поглощение света в пылевом окружении GRB. Если GRB действительно связаны с массивными объектами и находятся в области звездообразования, то в большинстве событий оптическое послесвечение поглощается пылью, в то время как рентгеновское излучение является более проникающим.

3. Гамма-всплески расположены на очень больших расстояниях с красным смещением $Z > 7$ и не видимы в оптической области [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С 1999 г. на 2-м телескопе обсерватории Терскол проводятся наблюдения оптического послесвечения γ-всплесков, за это время проведены наблюдения для шести γ-всплесков. Для всех шести γ-всплесков поставлены ограничения на яркость объектов оптического послесвечения. Четыре из шести наблюдаемых GRB являются кандидатами на “темные” γ-всплески. Если гамма-всплески связаны с концом эволюции массивных звезд, то по меньшей мере часть из них должна возникать внутри пыльных звездоформирующих районов галактик. Следовательно, в таких районах неизбежно должны появляться “темные” γ-всплески. Это открывает возможность использовать статистику регистрации послесвечений для зондирования доли звездообразующих областей Вселенной и дает нам косвенный, но важный ключ к пониманию природы γ-всплесков и их прародителей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 00-02-16095) и ФЦП “Интеграция” (проект И0586/920).

[1] *Klebesadel R. W. et al.* // Astrophys. J.–1973.–**182**.–P. L85–L88.

[2] *McNamara B. J., Harrison T. E.* // Nature.–1998.–**396**.–P. 233–236.

[3] *Castro-Tirado A. J.* // Gamma-ray bursts in the afterglow era / Eds E. Costa, F. Frontera, J. Hjorth.–Springer-Verlag, 2001.–P. 121–126.

[4] *Tarady V., Yatskiv Ya.* The New 2m RCC Telescope in the Northern Caucasus for Modern Astronomical Research // Astron. and Astrophys. Transactions.–1997.–N 13.–P. 19–21.

[5] *Barthelmy S. D.* http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn/

[6] *Groot P. J. et al.* // Astrophys. J.–1998.–**493**.–P. L27–L30.

[7] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–1999.–**434**.

[8] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–1999.–**435**.

[9] *Landolt A. U.* // Astron. J.–1992.–**104**.–P. 340.

[10] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–2000.–**716**, **717**, **718**.

[11] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–2000.–**878**, **885**.

[12] *Petkov V. et al.* // GCN Circ.–2000.–**891**.

[13] *Hurley K. et al.* // GCN Circ.–2001.–**909**.

[14] *Lamb D. et al.* // GCN Circ.–2001.–**1194**.

[15] *Piro L. et al.* // GCN Circ.–2002.–**1347**.

[16] *Petkov V. et al.* // GCN Circ.–2001.–**1206**.

[17] *Petkov V. et al.* // GCN Circ.–2002.–**1367**.

[18] *Masetti N. et al.* // GCN Circ.–1999.–**438**.

[19] *Gorosabel J. et al.* // GCN Circ.–2000.–**734**.

[20] *Greiner J. et al.* // GCN Circ.–2001.–**887**.

[21] *Saracco P. et al.* // GCN Circ.–2001.–**1205**.

[22] *Rhoads J. et al.* // GCN Circ.–2002.–**1362**.

[23] *Castro-Tirado A. J.* 2001.–astro-ph/0102122.

[24] *Lamb D. Q., Reichart D. E.* // Astrophys. J.–2000.–**536**.–P. 1–18.