

PAZH.CLS 30.12.01

## ПЕРВЫЕ ЧАСЫ ОПТИЧЕСКОГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ВСПЛЕСКА 030329

© 2003 Буренин Р. А.<sup>\*1</sup>, Сюняев Р. А.<sup>1</sup>, Павлинский М. Н.<sup>1</sup>, Денисенко Д. В.<sup>1</sup>, Терехов О. В.<sup>1</sup>, Ткаченко А. Ю.<sup>1</sup>, Аслан З.<sup>2</sup>, Хамитов И.<sup>2</sup>, Улуч К.<sup>2</sup>, Альпар М. А.<sup>3</sup>, Кизилоглу У.<sup>4</sup>, Байкал А.<sup>4</sup>, Бикмаев И. Ф.<sup>5</sup>, Сахибуллин Н.<sup>5</sup>, Сулейманов В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований РАН, Москва

<sup>2</sup>Национальная обсерватория ТУБИТАК, Анталья, Турция

<sup>3</sup>Университет Сабанши, Стамбул, Турция

<sup>4</sup>МЕТУ, Анкара, Турция

<sup>5</sup>Казанский государственный университет, Казань

Поступила в редакцию 28 апреля 2003 г.

В статье описаны первые результаты наблюдений исключительно яркого оптического послесвечения космического гамма-всплеска 29 марта 2003 г (030329) на 1.5-м Российско-Турецком телескопе РТТ150, установленном в Национальной обсерватории ТУБИТАК (Турция), на горе Бақырлытепе. РТТ150 оказался одним из первых телескопов среднего класса, которые были наведены на послесвечение. Наблюдения начались уже примерно через 6 часов после гамма-всплеска. Первые 5 часов наших наблюдений поток в фильтрах BVRI спадал точно по степенному закону с одинаковым наклоном  $-1.19 \pm 0.01$ . После этого, во всех фильтрах BVRI наблюдается одинаковое увеличение степенного наклона кривой блеска до значения, которое наблюдалось позже обсерваториями в западном полушарии. Излом степенной кривой блеска происходит при  $t - t_0 \approx 0.57$  дня (13.5 ч), и имеет длительность около 0.2 дня. За вычетом плавного падения потока, переменности потока послесвечения не наблюдается. Верхние пределы на переменность составляют 10–1% на временных масштабах 0.1 – 1000 с соответственно. Спектральное распределение потока излучения в фильтрах BVRI в первую ночь наших наблюдений с хорошей точностью соответствует степенному спектру с показателем  $\alpha = 0.66 \pm 0.01$ . Изменение степенного наклона кривой блеска в конце наших наблюдений, вероятно, объясняется замедлением движения ультрарелятивистского направленного выброса до такого значения гамма-фактора, когда в кривой блеска начинают проявляться особенности его строения. Широкополосный спектр в радио, оптическом и рентгеновском диапазонах согласуется с предположением о синхротронном излучении ультрарелятивистского выброса. Наблюдения этого уникального объекта продолжаются на РТТ150.

**Ключевые слова:** космические гамма-всплески — послесвечения — оптические наблюдения

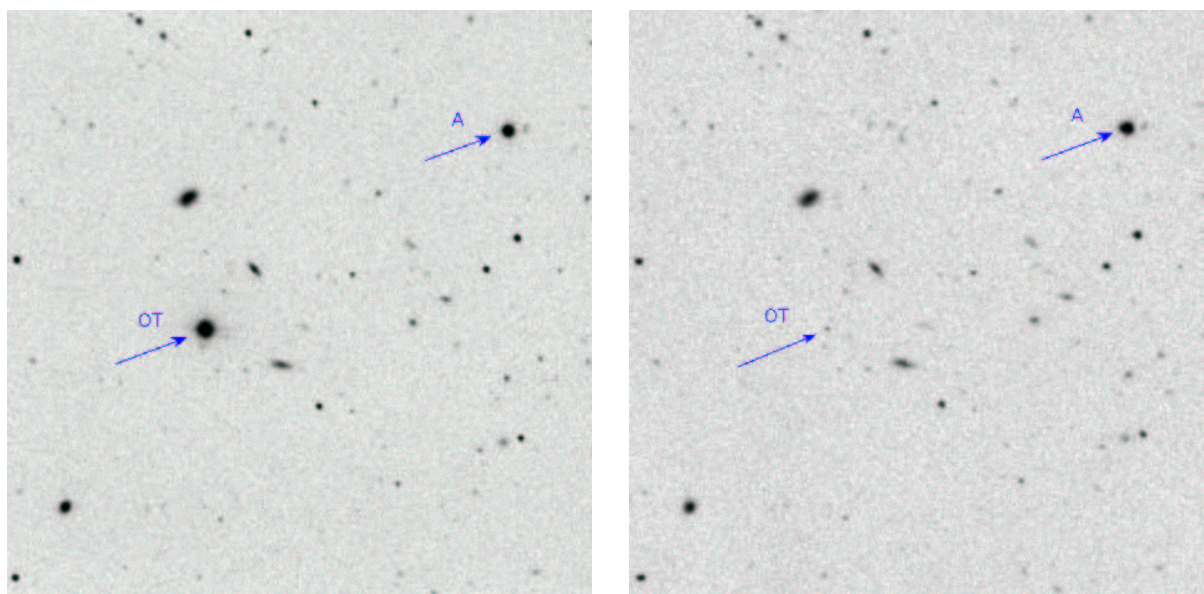
### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что основная часть энергии космических гамма-всплесков высвечивается в жестком рентгеновском и гамма-диапазонах, оптические наблюдения дали важнейшую информацию об их источниках. Именно оптические наблюдения позволили измерить красные смещения некоторых из них и таким образом установить тот факт, что источники гамма-всплесков находятся на космологических расстояниях. Наблюдения оптических послесвечений гамма-всплесков стали возможны после того, как появилась возможность в течение нескольких часов получать измерения небесных координат источников гамма-всплесков с точностью несколько угловых ми-

нут (в то время — с помощью спутника *BeppoSAX*, см. например, Коста и др. 1997а). Первое такое послесвечение было обнаружено Бондом (1997). Послесвечения гамма-всплесков были обнаружены также и в других диапазонах, от радио до гамма (например, Тейлор и др. 1998, Коста и др. 1997б, Буренин и др. 1999).

В настоящее время общее число наблюдений оптических послесвечений составляет уже несколько десятков. Обычно кривые блеска послесвечений всплесков во всех диапазонах описываются степенным законом, или их комбинацией с изломами в разное время после всплеска, которые связывают с изменениями в движении высокоскоростных выбросов (см. ссылки в работе Фрейла и др. 2001). Иногда наблюдается переменность и другого рода, которую объяс-

\*Электронный адрес: [burenin@hea.iki.rssi.ru](mailto:burenin@hea.iki.rssi.ru)



**Рис. 1.** Изображение послесвечения гамма-всплеска 030329, полученные на телескопе РТТ150 29 марта (слева) и 28 мая (справа). Послесвечение показано стрелкой (OT). Также стрелкой показана звезда сравнения (A), которая использовалась для построения кривой блеска (см. текст).

няли как вклад родительской сверхновой (например, Соколов 2001).

Яркий космический гамма-всплеск 29 марта 2003 г (030329) был зарегистрирован приборами на спутнике НЕТЕ-II в 11:37:14.7 UT. Поток в максимуме составил  $7 \cdot 10^{-6}$  эрг  $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$  в диапазоне 30–400 кэВ, а длительность — около 30 с (Вандерспек и др. 2003, Голенецкий и др. 2003). Через 2 часа в области локализации гамма-всплеска был обнаружен очень яркий оптический транзиент (Петерсон и Прайс, 2003; Тории 2003). Этот объект сразу же стал основной мишенью для многих телескопов во всем мире. Широко проводились фотометрические и спектроскопические наблюдения, хорошо документированные в циркулярах GCN (например, Буренин и др. 2003, Хамитов и др. 2003). Было определено красное смещение этого объекта  $z = 0.1685$  (Грейнер и др. 2003). Таким образом, это самый близкий всплеск, из тех, которые наблюдались до сих пор (исключая только всплеск 980425, если он действительно связан со сверхновой 1998bw на  $z = 0.0085$ ). При таком расстоянии до источника, «изотропное» энерговыделение всплеска в гамма-диапазоне составляет около  $10^{52}$  эрг. Позже в спектре транзиента проявился вклад родительской сверхновой (Штанек и др. 2003).

В этой статье описываются первые результаты наблюдений этого исключительно яркого оптического послесвечения на 1.5-м Российско-Турецком теле-

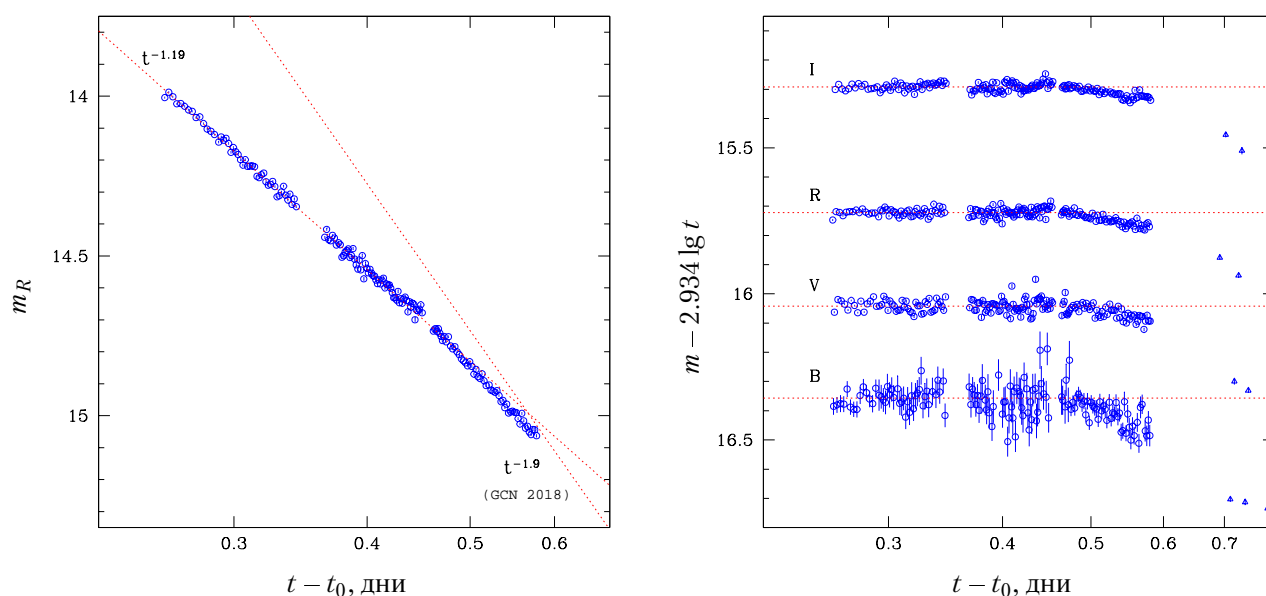
скопе РТТ150<sup>1</sup> (Национальная обсерватория ТУБИ-ТАК, Турция, гора Бакырлытепе, 2547 м,  $2^{\text{h}}01^{\text{m}}20^{\text{s}}$  E,  $36^{\circ}49'30''$  N). Благодаря своему географическому положению, РТТ150 оказался одним из первых телескопов среднего класса, которые были наведены на послесвечение. Наблюдения на РТТ150 начались уже примерно через 6 часов после гамма-всплеска. В это время звездная величина послесвечения в полосе R составила  $14^{\text{m}}$ , что на  $3\text{--}4^{\text{m}}$  ярче, чем самые яркие на этом временном масштабе оптические послесвечения гамма-всплесков, которые наблюдались до сих пор.

## НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения проводились при помощи ПЗС-матрицы AP47p фирмы Arogee, установленной в кассегреновском фокусе телескопа (1 : 7.7). Это обратно-освещенная матрица формата  $1056 \times 1024$ , с размером элемента  $13 \times 13$  мкм. Использовался режим группировки  $2 \times 2$ , при этом элемент изображения имел угловой размер  $0.46'' \times 0.46''$ . Как обычно, из изображений вычитался медианный кадр нулевой экспозиции и темновой ток, после чего изображения делились на плоское поле. Обработка изображений проводилась при помощи стандартного пакета IRAF (Image Reduction and Analysis Facility)<sup>2</sup> а также

<sup>1</sup><http://hea.iki.rssi.ru/AZT22/RUS/>; <http://www.tug.tubitak.gov.tr>

<sup>2</sup><http://tucana.tuc.noao.edu/>



**Рис. 2.** Кривая блеска послесвечения гамма-всплеска 030329 в первую ночь наблюдений. Слева — в полосе R, справа — в фильтрах BVRI, за вычетом степенного падения потока с наклоном  $-1.19 \pm 0.01$ , полученного приближением данных в полосе R. На рисунке слева показан степенной закон с наклоном  $-1.9$  полученный из данных наблюдений при  $t - t_0 > 0.6$  дня (Гарнавич и др. 2003). На рисунке справа треугольниками при  $t - t_0 > 0.7$  обозначены данные из сообщения Фицджеральда и Ороша (2003).

при помощи собственного математического обеспечения.

С самого начала ночи 29 марта 2003 г, в 17:50 UT, телескоп был наведен на послесвечение гамма-всплеска 030329. Наблюдения продолжались до 01:30 UT, когда зенитное расстояние объекта превысило величину  $68^\circ$ . Все это время делались снимки поля последовательно в фильтрах BVRI системы Бесселя с экспозициями 30 – 10 с, при этом время считывания составляло около 10 с. Всего было сделано по 175 снимков в каждом фильтре. Изображение поля оптического транзиента, полученное в эту ночь, показано на рис. 1 слева. Справа на этом рисунке представлено изображение этого же поля, полученное 28 мая.

### ФОТОМЕТРИЯ

Все фотометрические измерения в первую ночь наблюдений были сделаны относительно соседней яркой звезды, обозначенной буквой «А» на рис. 1. Это самая яркая звезда в нашем поле. Однако и она существенно слабее послесвечения всплеска 030329, поэтому ошибки измерения потока послесвечения определяются ошибками измерения потока излучения этой звезды. Результаты измерений были проверены по другим звездам в поле, но все они гораздо слабее звезды «А» и их использование в качестве опорных не уменьшает ошибок измерений.

Чтобы обеспечить фотометрическую привязку, до и после наблюдений послесвечения были проведены

наблюдения стандартных звезд из каталога Ландольта (1992). Эти наблюдения показывают, что ночь была почти точно фотометрическая. Небольшое уменьшение прозрачности атмосферы наблюдается в начале ночи. Прозрачность была меньше обычной примерно на 10% и в течение нескольких часов плавно вернулась к обычному значению в фотометрическую ночь. Это хорошо видно не только из фотометрических решений, полученных нами по наблюдениям звезд Ландольта, но также по измерениям величины звезды «А», а также других звезд поля.

Фотометрическая привязка наших измерений находится в полном согласии с фотометрией этого поля из сообщения Хендена (2003). В этом сообщении справедливо отмечалось, что звезда «А» по цвету сильно отличается от послесвечения всплеска 030329, и использование ее в качестве опорной может приводить к дополнительным систематическим ошибкам из-за разной зависимости уменьшения потока от воздушной массы. Однако, по наблюдениям звезд Ландольта мы не нашли существенных изменений цветовых коэффициентов в наших фотометрических решениях при разных значениях воздушной массы или во время уменьшения прозрачности в первые часы наблюдений. Мы оцениваем систематическую ошибку измерений потоков в фильтре R величиной не больше 1%.

Кривая блеска послесвечения гамма-всплеска 030329 в полосе R, полученная в первую ночь наблюдений, показана на рис. 2 слева. В первые 5 часов

наблюдений поток послесвечения спадает с хорошей точностью по степенному закону с показателем степени равным  $-1.19 \pm 0.01$ . После этого в течение примерно 3-х часов наблюдается увеличение степенного наклона кривой блеска до значения, которое наблюдалось позже обсерваториями в западном полушарии. Слева на рис. 2 показан также степенной закон с наклоном  $-1.9$ , полученный приближением кривой блеска по наблюдениям на 1.2-м телескопе обсерватории FLWO, проведенным после наших наблюдений, при  $t - t_0 > 0.6$  дня (Гарнавич и др. 2003).

Справа на рис. 2 показана кривая блеска в 4-х фильтрах BVRI, за вычетом степенного наклона, который приближает кривую блеска в полосе R в первые 5 часов наблюдений (см. выше). Видно, что степенное падение потока происходит одинаково во всех 4-х фильтрах. Степенные наклоны в фильтрах BV I равны  $-1.22 \pm 0.05$ ,  $-1.19 \pm 0.02$  и  $-1.19 \pm 0.01$  соответственно, что в пределах ошибок не отличается от наклона в полосе R. Отклонение от степенного падения потока происходит одновременно во всех фильтрах при  $t - t_0 \approx 0.5$  дня. Ближе к концу наших наблюдений в голубых фильтрах наблюдается несколько большее уменьшение потока. На рис. 2 справа, при  $t - t_0 > 0.7$  дня показаны данные из сообщения Фицджеральда и Ороша (2003). Они примерно согласуются с продолжением кривой блеска, измеренной на RGT150 при  $t - t_0 < 0.6$  дня.

Из сопоставления наших данных при  $t - t_0 < 0.6$  и данных обсерваторий в западном полушарии при  $t - t_0 > 0.6$  (рис. 2) видно, что нам удалось наблюдать начало излома степенной кривой блеска послесвечения. Изменение степенного наклона происходит при  $t - t_0 \approx 0.57$  дня и имеет длительность около 0.2 дня. Отметим, что перед началом этого изменения, при  $t - t_0 \approx 0.45$  дня, в полосах RI наблюдается некоторое (малозначимое) уменьшение скорости падения потока.

До начала наших наблюдений были проведены наблюдения послесвечения малыми телескопами без фотометрических фильтров (например, Рыкофф и др. 2003, Сато и др. 2003). По-видимому, использование этих данных для сравнения с нашими требует дополнительных усилий по их калибровке. Отметим, что степенной наклон кривой блеска при  $t - t_0$  от 0.06 до 0.17 дня (от 1.5 ч до 4 ч), равный  $\approx 1.1 \pm 0.1$  по данным ROTSE (Рыкофф и др. 2003) приблизительно согласуется с нашими измерениями в более позднее время. Похожий наклон наблюдался также и в инфракрасном диапазоне (Нишихара и др. 2003). По-видимому, степенное затухание послесвечения со степенным наклоном  $\approx -1.2$  началось не позже 1–2 ч после всплеска.

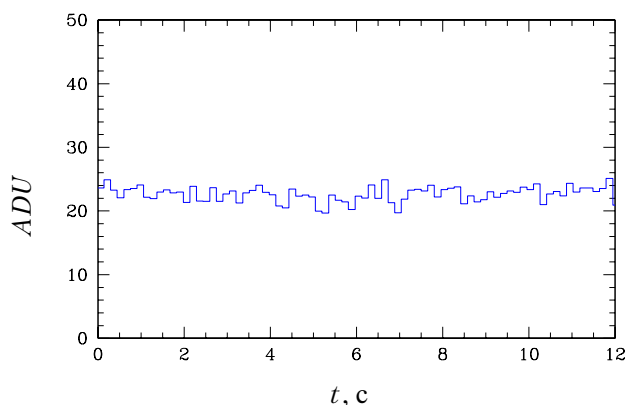


Рис. 3. Отрезок кривой блеска послесвечения, снятой с высоким временным разрешением.

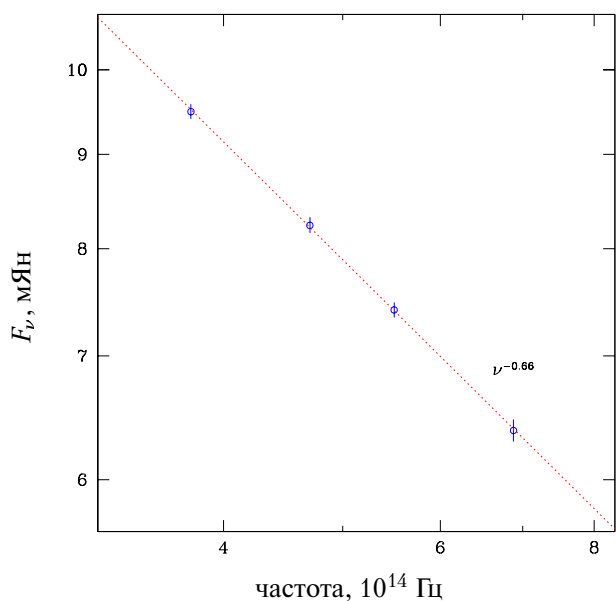
### ПЕРЕМЕННОСТЬ НА МАЛЫХ ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБАХ

Как видно из рис. 2, за вычетом плавного уменьшения потока, переменность на временном масштабе 100–1000 с не наблюдается. Подробное исследование неперiodической переменности кривой блеска послесвечения выходит за рамки этой статьи и станет предметом отдельной работы. Однако, отметим, что среднеквадратическое отклонение кривой блеска от равномерного падения потока по степенному закону составляет 1%. Эта величина включает в себя вклад статистической и систематической ошибки и, таким образом, дает лишь консервативный верхний предел на внутреннюю переменность послесвечения.

Чтобы проверить переменность на еще более коротких временных масштабах 0.1–10 с, мы записывали движение объекта по полю зрения при выключенном ведении телескопа. По следу, который он оставлял на ПЗС-матрице можно восстановить кривую блеска с разрешением примерно до 0.1 с. При этом на одном изображении записывается отрезок кривой блеска длительностью около 15 с. Таким способом было записано 20 изображений между 20:00 и 20:30 UT. Один из таких отрезков кривой блеска показан на рис. 3. Среднеквадратическое отклонение кривой блеска от равномерного падения потока по степенному закону составляет 10–3% на временных масштабах 0.1–10 с соответственно, что снова дает консервативный верхний предел на переменность источника.

### СПЕКТР В ПОЛОСАХ BVRI

Как видно из рис. 2, в пределах ошибок, цвета послесвечения не меняются в первые 5 часов наблюдений. Спектральная плотность потока излучения в фильтрах BVRI, исправленная на галактическое поглощение  $E(B - V) = 0.025$  (Шлегель и др.

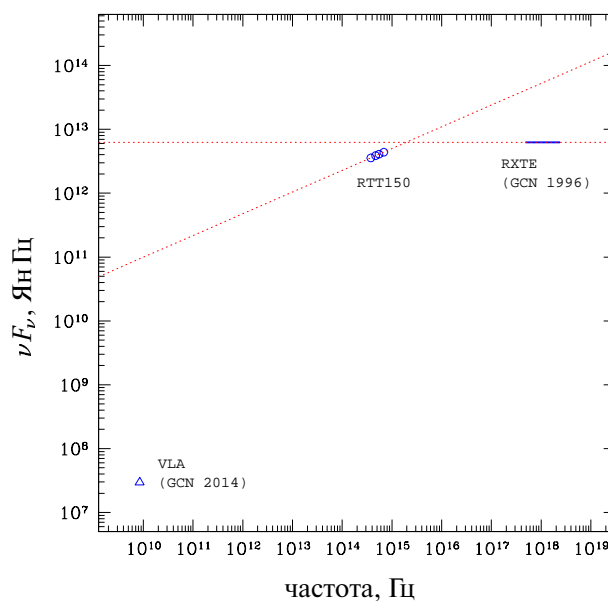


**Рис. 4.** Спектральная плотность потока послесвечения в начале наблюдений, при  $t - t_0 = 0.25$  дня (6 ч), исправленная на галактическое поглощение  $E(B - V) = 0.025$  (Шлегель и др. 1998). Такая форма спектра в оптическом диапазоне в точности сохраняется в течение первых 5 часов наших наблюдений.

1998) и отнесенная к началу наблюдений, показана на рис. 4. Распределение с хорошей точностью соответствует степенному спектру с показателем  $\alpha = 0.66 \pm 0.01$ . Наблюдается немного более пологий спектр, чем спектр со степенным наклоном  $\alpha = 0.85$ , полученный Штанеком и др. (2003) через 2.6 дня после всплеска. Отметим, что в обоих случаях в оптическом спектре послесвечения остается неуточненным поглощение в хозяйской галактике.

На рис. 5 показано как соотносится спектральная мощность излучения ( $\nu F_\nu$ ) в радио, оптическом и рентгеновском диапазонах. Данные РТТ150 приведены на момент времени  $t - t_0 = 0.25$  дня (6 ч). Точно в это же время было проведено второе наблюдение RXTE (Маршалл и Сванк 2003). Сведения о потоке и наклоне спектра в рентгеновском диапазоне по данным RXTE взяты из этого сообщения. Согласно этому сообщению, между  $t - t_0 = 5$  и 6 ч поток в рентгене падал со скоростью 20% в час. Это примерно соответствует степенному закону с наклоном  $-1$ , что близко к наклону, наблюдаемому нами в оптическом диапазоне примерно в то же время.

Из рис. 5 видно, что при  $t - t_0 = 0.25$  дня, максимум мощности все еще находится примерно в рентгеновском диапазоне. Он очень широкий и захватывает также дальний ультрафиолетовый и, возможно, мягкий гамма диапазоны. Из рис. 5 хорошо видно, что даже в оптике мощность излучения всего примерно на половину меньше, чем в рентгеновском диапазо-



**Рис. 5.** Спектральная мощность излучения в радио, оптическом и рентгеновском диапазонах. Данные РТТ150 приведены на момент времени  $t - t_0 = 0.25$  дня (6 ч). Точно в это же время было проведено второе наблюдение RXTE (Маршалл и Сванк 2003), результаты которого также показаны на рисунке. Данные о потоке в радио соответствуют времени  $t - t_0 = 0.58$  дня (14 ч) и взяты из сообщения Бергера и др. (2003).

не.

Первое наблюдение в радио диапазоне было сделано примерно через 14 ч после всплеска. Поток послесвечения в полосе 8.46 ГГц был равен 3.5 мЯн (Бергер и др. 2003). За время от 6 до 14 ч после всплеска поток в радио диапазоне, по-видимому, не изменился более чем на порядок. Кроме того, в радио поток послесвечений гама-всплесков в первое время обычно растет а не падает, как в оптике и рентгене. Такое поведение наблюдалось позже и в случае всплеска 030329 (например, Пулей 2003). Это означает, что и при  $t - t_0 = 0.25$  дня (6 ч) мощность потока излучения в радио была, по-видимому, на 5–6 порядков величины меньше, чем в оптическом и рентгеновском диапазонах.

### ОБСУЖДЕНИЕ

В работе представлено высокочувствительное измерение кривой блеска оптического послесвечения гамма-всплеска 030329, проведенное уже через несколько часов после всплеска. Во всех фильтрах BVRI наблюдалось плавное уменьшение потока, которое в первые 5 ч наблюдений довольно точно описывается степенным законом  $F_\nu \propto t^{-1.19}$ . После этого одновременно во всех спектральных полосах скорость падения потока увеличивается, по сравнению с этим законом.

Высокое отношение сигнал—шум во время наших наблюдений позволило провести измерения потока послесвечения с гораздо более высоким временным разрешением, чем это удавалось раньше. Кроме плавного падения потока, о котором говорилось выше, в пределах ошибок измерений, переменности потока излучения не наблюдается вплоть до временных масштабов 0.1 с. Верхние пределы на переменность составляют 10, 3 и 1% на временных масштабах 0.1, 10 и 100–1000 с соответственно.

Наши наблюдения в общих чертах соответствуют представлениям о том, что излучение послесвечения рождается во время торможения ультрарелятивистского направленного выброса вещества (например, Орли и др. 2003). При этом излом кривой блеска, наблюдаемый нами при  $t - t_0 = 0.57$ , может соответствовать характерному времени, когда гамма-фактор движения ультрарелятивистского выброса уменьшается до такого значения, когда в наблюдаемой кривой блеска начинают проявляться особенности его строения. В пользу этого объяснения свидетельствует то, что этот излом с хорошей точностью происходит одновременно во всех цветах. Степенной наклон при этом меняется от  $-1.19$  до  $-1.9$ , т.е. примерно так, как обычно и наблюдается в подобных случаях (например, Харрисон и др. 1999). Кроме того, как известно, при движении ультрарелятивистского выброса, до этого момента не может быть переменности на малых временных масштабах, что и наблюдается нами с хорошей точностью. Переменность появляется как раз после этого излома (см. циркуляры GCN).

В случае однородного выброса, направленного на наблюдателя, это может быть момент времени, когда гамма-фактор становится меньше обратного угла раствора выброса  $\theta^{-1}$ . В этом случае, используя формулу и типичные параметры из работы Фрейла и др. (2001), можно определить угол раствора  $\theta = 0.08$ . При этом настоящее энерговыделение в гамма диапазоне, с учетом направленности излучения, оказывается равным  $10^{52}\theta^2/2 = 3 \cdot 10^{49}$  эрг, что примерно на порядок меньше типичного значения, полученного Фрейлом и др. (2001) и сравнима с энергией, которая высвечивается при вспышке сверхновой.

Форма спектра послесвечения в начале наших наблюдений (рис. 5) приблизительно согласуется с предположением о синхротронной природе излучения. При этом между оптическим и рентгеновским диапазонами, возможно, находится характерная частота охлаждения электронов, а в радио диапазоне, вероятно, наблюдается синхротронное самопоглощение.

Наблюдения оптического послесвечения космического гамма-всплеска 030329 продолжают в РТТ150 и в настоящее время. Результаты этих наблюдений будут представлены в следующих статьях.

Авторы выражают благодарность Михаилу Ревнивцеву за помощь при анализе данных RXTE и Сергею Сазонову за полезное обсуждение результатов наблюдений. Также авторы выражают благодарность за предоставленную финансовую поддержку Российскому фонду фундаментальных исследований (гранты 02-02-16619, 03-02-06768, 02-02-17342), программе государственной поддержки ведущих научных школ (грант НШ-2083.2003.2), а также программе Президиума РАН «Нестационарные явления в астрономии». Работа также была поддержана Рабочей группой по астрофизике высоких энергий Научно-технического совета Турции (ТУБИТАК) через поддержку фундаментальных исследований в турецких университетах и Турецкой академией наук (для МАА).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бергер и др.* (E. Berger, A. M. Soderberg, D. A. Frail), GCN Circ. 2014 (2003).
- Бонд* (Bond H. E.), IAU Circ. 6654 (1997).
- Буренин и др.* (P. A. Буренин, А. А. Вихлинин, О. В. Терехов, А. Ю. Ткаченко, С. Ю. Сазонов, М. Р. Гильфанов, Е. М. Чуразов, Р. А. Сюняев, П. Голдони, А. Кларе, А. Голдвурм, Ж. Поль, Ж.-П. Рок, Е. Журден, Г. Ведренн, П. Мандру), Письма в Астрон. журн., **25**, 483 (1999); (astro-ph/9902006).
- Буренин и др.* (R. Burenin, R. Sunyaev, M. Pavlinsky, D. Denissenko, O. Terekhov, A. Tkachenko, Z. Aslan, K. Uluc, I. Khamitov, U. Kiziloglu, A. Alpar, A. Baykal, I. Bikmaev, N. Sakhibullin, V. Suleymanov), GCN Circ. 2001, 2024, 2046, 2051, 2054, 2079 (2003).
- Вандерспек и др.* (R. Vanderspek, G. Crew, J. Doty, et al.), GCN Circ. 1997 (2003).
- Голенецкий и др.* (S. Golenetskii, E. Mazets, V. Pal'shin, D. Frederiks, T. Cline), GCN Circ. 2026 (2003).
- Гарнавич и др.* (P. Garnavich, K.Z. Stanek, P. Berlind), GCN Circ. 2018 (2003).
- Грейнер и др.* (J. Greiner, M. Peimbert, C. Estaban, et al.), GCN Circ. 2020 (2003).
- Коста и др.* (E. Costa, M. Feroci, L. Piro, et al.), IAU Circ. 6649 (1997a).
- Коста и др.* (Costa E., Frontera F., Heise J., et al.), Nature, **387**, 783 (1997b).
- Ландольт* (Landolt A.), Astron. J., **104**, 340 (1992).
- Маршалл и Сванк* (Marshall F. E., Swank J. H.), GCN Circ. 1996 (2003).
- Нишихара и др.* (E. Nishihara, O. Hashimoto, K. Kinugasa), GCN Circ. 2118 (2003).
- Орли и др.* (K. Hurley, R. Sari, S. G. Djorgovski), astro-ph/0211620 (2003).
- Петерсон и Прайс* (B. A. Peterson, P. A. Price), GCN Circ. 1985 (2003).
- Пулей* (G. Pooley), GCN Circ. 2043 (2003).
- Рыкофф и др.* (Rykoff E. S., Smith D. A.), GCN Circ. 1995 (2003).

- Сато и др.* (R. Sato, Y. Yatsu, M. Suzuki, N. Kawai), GCN Circ. 2080 (2003).
- Соколов В. В.* // Известия Специальной астрофизической обсерватории, **51**, 38 (2001).
- Тейлор и др.* (Taylor G. B., Frail D. A., Kulkarni S. R., Shepherd D. S., Feroci M., Frontera F.), *Astrophys. J.*, **502**, L115 (1998).
- Тории* (K. Torii), GCN Circ. 1986 (2003).
- Фицджеральд и Орош* (J. B. Fitzgerald, J. A. Orosz), GCN Circ. 2056 (2003).
- Фрейл и др.* (Frail D. A., Kulkarni S. R., Sari R., *et al.*), *Astrophys. J.*, **562**, L55 (2001).
- Хамитов и др.* (I. Khamitov, Z. Aslan, O. Golbasi, M. Parmaksizoglu, I. Bikmaev, N. Sakhibullin, V. Suleymanov, R. Burenin, R. Sunyaev, D. Denissenko, M. Pavlinsky, O. Terekhov, A. Tkachenko, U. Kiziloglu, A. Alpar, A. Baykal), GCN Circ. 2094, 2105, 2108, 2119 (2003).
- Харрисон и др.* (Harrison F. A., Bloom J. S., Frail D. A., *et al.*), *Astrophys. J.*, **523**, L121 (1999).
- Хенден* (Henden), GCN Circ. 2023, 2082 (2003).
- Шлегель и др.* (Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M.), *Astrophys. J.*, **500**, 525 (1998).
- Штанек и др.* (K. Z. Stanek, T. Matheson, P. M. Garnavich, *et al.*), *Astrophys. J.*, in press, (2003); (astro-ph/0304173).