

PAZH.CLS 08.02.06

НАБЛЮДЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКА 060526 НА ТЕЛЕСКОПЕ РТТ-150

© 2008 И. М. Хамитов^{*1}, Р. А. Буренин², И. Ф. Бикмаев^{3,4}, Н. А. Сахибуллин^{3,4},
М. Н. Павлинский², Р. А. Сюняев², З. Аслан¹

¹Национальная обсерватория ТУБИТАК, Анталья, Турция

²Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная, 84/32, Москва, Россия

³Казанский государственный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008, Россия

⁴Академия наук Татарстана, ул. Баумана, 20, Казань, 420111, Россия

Поступила в редакцию 22 июня 2007 г.

Представлены результаты многоцветных фотометрических наблюдений оптического послесвечения гамма-всплеска 060526 на Российско-Турецком 1.5-м телескопе РТТ-150 (гора Бакырлытепе, Турция). Получены подробные измерения кривой блеска послесвечения, начиная с времени около 5 часов после гамма-всплеска и на протяжении пяти последующих ночей. Кроме того, получены верхние пределы на быструю переменность послесвечения в первую ночь наблюдений, подробно измерена история изменения цвета послесвечения. Во временном промежутке от 6 до 16 ч после всплеска происходит плавное падение потока излучения, примерно по степенному закону с наклоном -1.14 ± 0.02 . После этого наблюдаются переменность на временном масштабе $\delta t < t$ и послесвечение начинает затухать гораздо быстрее. Цвет послесвечения оказывается примерно постоянным, $V-R \approx 0.5$, во все время наблюдений, несмотря на переменность потока излучения. Наблюдаются масштабы переменности до $\delta t/t \approx 0.0055$ при $\Delta F_\nu/F_\nu \approx 0.3$, что нарушает многие ограничения на переменность наблюдаемого излучения ультрарелятивистской струи, полученные в работе Иока и др. (2005). Предлагается объяснять эту переменность тем, что в это время движение оболочки уже не является ультрарелятивистским.

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обнаружено более сотни послесвечений космических гамма-всплесков в оптическом диапазоне, в основном, благодаря рентгеновским наблюдениям спутников *HETE-II* (Ламб и др., 2004) и *SWIFT* (Герельс и др., 2004). В основном, фотометрические наблюдения оптических послесвечений представляют из себя всего несколько измерений на временном масштабе от нескольких часов до суток. Количество послесвечений, для которых удалось провести подробные наблюдения кривой блеска, невелико и каждое такое наблюдение представляет значительный интерес.

В работе представлены результаты многоцветной фотометрии оптического послесвечения гамма-всплеска 060526, полученной на Российско-Турецком 1.5-м телескопе РТТ-150, установленном в Национальной обсерватории ТУБИТАК (гора Бакырлытепе, Турция). Для этого события на телескопе РТТ-150 удалось получить весьма подробные измерения кривой блеска, начиная с времени около

5 часов после гамма-всплеска и на протяжении пяти последующих ночей. В первую ночь получено более 200 измерений блеска послесвечения, более 20 высокочувствительных измерений получено в последующие ночи.

ГАММА-ВСПЛЕСК 060526

Гамма-всплеск был зарегистрирован приборами спутника *SWIFT* 6-го мая 2006 г. в 16:28:30 UT. Гамма-всплеск имел многопиковую кривую блеска длительность около 20 с и далее имел место второй период активности примерно через 200 с. Судя по характеристикам всплеска в гамма-диапазоне (Макварт и др., 2006), это был обычный «длинный» всплеск. Рентгеновский и оптический телескопы спутника *SWIFT* были наведены на всплеск примерно через 70 с и с их помощью и в рентгеновском и в оптическом диапазонах на месте гамма-всплеска был обнаружен неизвестный ранее источник (Кампана и др., 2006).

Наземные наблюдения оптического транзиента начались уже через 36 с после начала гамма-всплеска при помощи автоматического 40-см телескопа (Френч

*Электронный адрес: irekk@tug.tug.tubitak.gov.tr

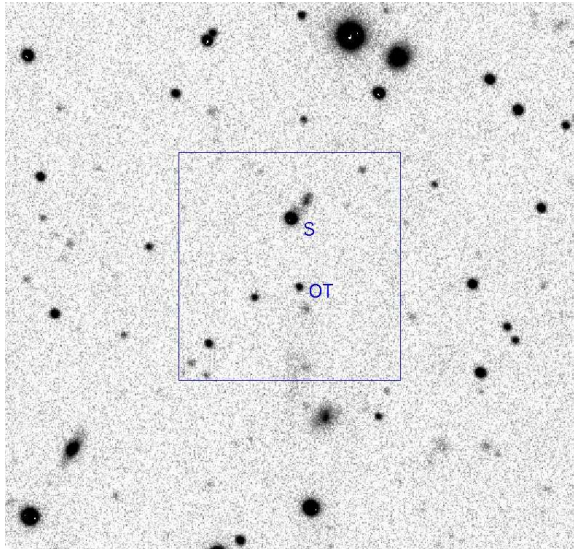


Рис. 1. Изображение поля в фильтре R_c , полученное в начале наблюдений послесвечения. На изображении показаны: OT — оптический транзиент, S — опорная звезда. Квадратом показано поле меньшего размера, которое было вырезано для быстрой фотометрии.

и Джелинек, 2006), и были продолжены несколькими более крупными телескопами (Хамитов и др., 2006; Даи и др., 2007; Ковино и др., 2006; Лин и др., 2006; Греко и др., 2006; Тоен и др., 2006; Кобб, 2006; Румянцев и Позаненко, 2006; Кан и Хогнер, 2006; Баляян и др., 2006; Терра и др., 2006; Кан и Лаукс, 2006; Шарпов и др., 2006; Румянцев и др., 2006). При помощи наблюдений 6.5-м телескопа Магеллан было определено красное смещение источника гамма-всплеска, $z = 3.21$ (Бергер и Гладдерс, 2006).

Существенная часть всех фотометрических измерений кривой блеска были получены на Российско-Турецком 1.5-м телескопе РТТ-150. Результаты этих наблюдений представлены в данной статье.

НАБЛЮДЕНИЯ

На телескопе РТТ-150 наблюдательное время было выделено в рамках программы наблюдений «по возможности» (*TOO*), по согласованию всех участников проекта. Наблюдения поля послесвечения гамма-всплеска проводились с помощью ПЗС-фотометра на основе термоэлектрически охлаждаемой ПЗС-матрицы фирмы Андор. ПЗС-матрица имеет 2048×2048 элементов изображения, наблюдения проводились с группировкой точек 2×2 , угловой масштаб изображения составил $0.48''$ на разрешающий элемент.

Из-за недостаточно хороших погодных условий в ночь 26 мая на послесвечение не удалось навестись сразу же после того, как был получен сигнал оповещения системы *Bacodine*. Телескоп был наведен на

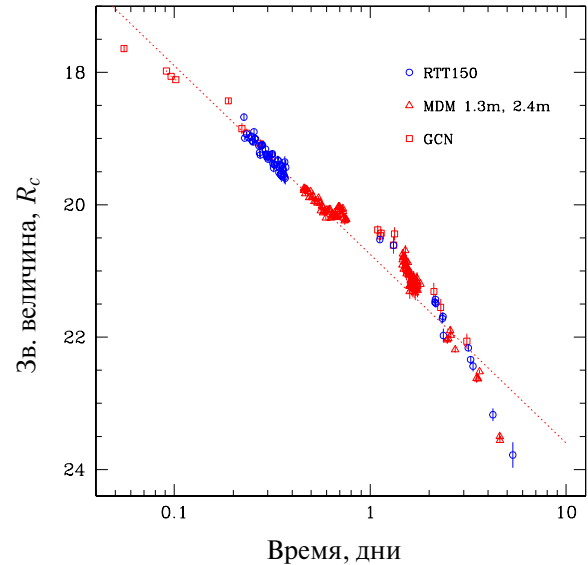


Рис. 2. Кривая блеска послесвечения в фильтре R_c . Кружками показаны измерения телескопа РТТ-150, треугольниками — измерения телескопов *MDM*-1.3м и 2.4м (Даи и др., 2007), квадратами — измерения взятые из разных циркуляров *GCN* (Лин и др., 2006; Румянцев и др., 2006; Терра и др., 2006; Кан и Хогнер, 2006).

поле гамма-всплеска только через 5.44 ч. Сразу же были сделаны снимки всего поля в фильтрах BVR_c . Изображение поля, полученное в этот момент, показано на рис. 1. На этом рисунке показана также звезда, использованная при наблюдениях в качестве опорной, а также сам оптический транзиент, каким он был в первые часы после гамма-всплеска.

После того, как оптический транзиент был обнаружен во всех полученных изображениях, было выбрано малое поле вокруг него размером 200×200 элементов ($\approx 1.5' \times 1.5'$) и выполнено несколько наборов по 30 коротких экспозиций в фильтре R_c , длительностью 30 с каждая, при этом время считывания заряда составило 10 с. Между этими наборами также делались экспозиции в фильтрах B и V длительностью по 300 с для измерения цвета послесвечения.

В следующую ночь также были получены изображения поля в фильтрах BVR_c . В последующие ночи с 28 по 31 мая исследуемое поле снималось в фильтрах VR_c , в ночи 1 и 2 июня были получены наборы изображений только в фильтре R_c . Наблюдения проводились до тех пор, пока блеск послесвечения не вышел на предел обнаружения телескопа в течение нескольких часов наблюдений. Также каждую ночь проводились наблюдения стандартных фотометрических полей Ландольта (1992) для фотометрической привязки наблюдений. Обработка данных проводилась с помощью стандартного математического обеспечения *IRAF*¹. Из каждого изображения было

¹<http://iraf.noao.edu>

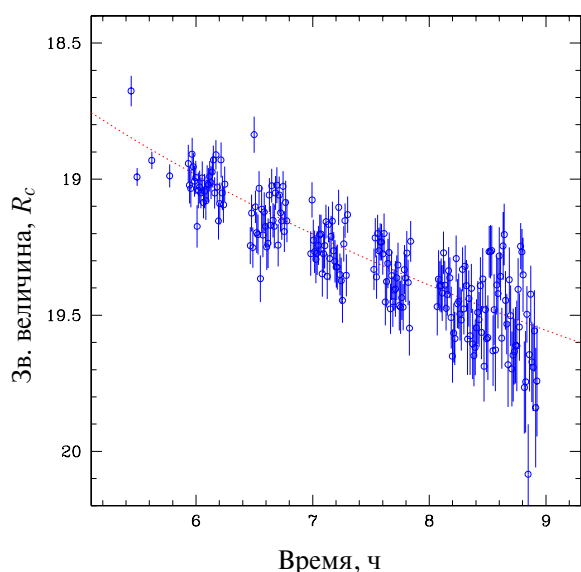


Рис. 3. Кривая блеска послесвечения гамма-всплеска 060526 в фильтре R_c в первую ночь наблюдений, с временным разрешением 40 с. Пунктирной линией показано падение потока по степенному закону с наклоном -1.30 .

вычтено медианное изображение смещения нуля, и учтена поправка на неравномерность чувствительности (плоское поле).

Апертура выбиралась таким образом, чтобы обеспечить наилучшее отношение сигнал–шум. Звездные величины, полученные по фотометрическим решениям на основе стандартных звезд Ландольта (1992). Для опорной звезды, показанной на рис. 1, получены следующие значения величин: $B = 17.67$, $V = 16.90$, $R_c = 16.48$.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

На рис. 2 показана кривая блеска послесвечения за все время наблюдений. Данные во временном отрезке от 5 до 14 ч после всплеска хорошо приближаются степенным законом $F_\nu \propto t^\alpha$ с показателем $\alpha = -1.14 \pm 0.02$, в согласии с результатами Даи и др. (2007). Эта зависимость показана на рис. 2 пунктиром. При $t - t_0 < 5$ ч, падение кривой блеска более пологое, при $t - t_0 > 14$ ч наблюдается поярчение, переменность и далее быстрое падение потока оптического излучения. Ближе к концу наблюдений послесвечение быстро затухает. При $t - t_0 > 3$ сут., затухание соответствует степенному закону с показателем $\alpha = -3.39 \pm 0.10$, также в согласии с Даи и др. (2007). Видно, что наблюдения нашего телескопа дают около половины полезных измерений блеска послесвечения.

В течение первой ночи наблюдений было сделано более 200 измерений потока в фильтрах BVR_c . Результаты измерений кривой блеска послесвечения в

Таблица 1. Фотометрические измерения в фильтре R_c , выполненные в первую ночь наблюдений с высоким временным разрешением.

время, ч	m_{R_c}	ошибка
5.4430	18.676	0.056
5.4941	18.992	0.033
5.6201	18.931	0.032
5.7739	18.988	0.042
5.9378	18.943	0.068
5.9485	19.023	0.066
5.9594	19.035	0.068
5.9702	18.909	0.059
5.9809	18.955	0.050
5.9917	19.008	0.056
...

Замечание: — Полная версия таблицы доступна в электронной версии журнала, а также во всемирной сети по адресу: <http://hea.iki.rssi.ru/grb/060526/>

первую ночь в фильтре R_c приведены в таблице 1. Кривая блеска послесвечения в фильтре R_c в первую ночь наблюдений показана на рис. 3. За вычетом плавного падения потока, статистический разброс измерений равен 0.09^m , в последний час наблюдений разброс несколько увеличивается из-за роста фона неба связанного с наступающим рассветом. Две точки около 5.4 ч и около 6.4 ч выпадают из общего ряда так, как будто блеск послесвечения увеличивается в этот момент на 20–30%. Возможно, это связано с какими-либо систематическими ошибками. Однако, мы не смогли выяснить их происхождение.

Разброс измерений хорошо согласуется со статистическими ошибками, полученными при вычислении звездных величин, которые показаны на рис. 3. Это говорит о том, что при измерениях в основном отсутствуют неучтенные систематические ошибки. Кроме того, из этого следует, что поток излучения послесвечения не является переменным на временном масштабе 40 с. Величина разброса дает консервативный верхний предел быстрой переменности послесвечения $< 10\%$. Это хорошо согласуется с данными наблюдений послесвечения гамма-всплеска 030329, когда для быстрой переменности на раннем этапе послесвечения были получены даже гораздо более жесткие ограничения (Буренин и др., 2003).

На рис. 4 показаны кривые блеска послесвечения в фильтрах BVR_c . Для фильтра R_c величины в каждой точке посчитаны по сумме из 5 изображений, что уменьшает возможные систематические ошибки. Приближение этих кривых блеска степенными законами дает наклоны -1.61 ± 0.18 , -1.37 ± 0.11 и -1.30 ± 0.08 в фильтрах B , V и R_c соответственно. Эти величины согласуются между собой в пределах оши-

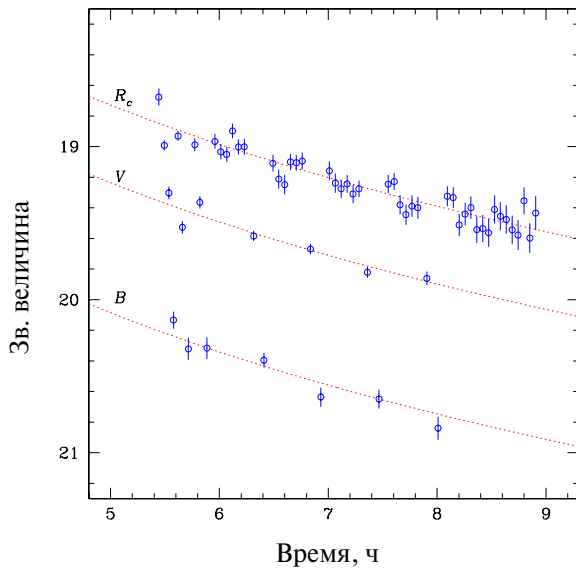


Рис. 4. Кривая блеска послесвечения гамма-всплеска 060526 в фильтрах B, V, R_c в первую ночь наблюдений. Пунктиром показан степенной закон с показателем -1.30 , полученный для кривой блеска в фильтре R_c . Затухание послесвечения в фильтрах V и B также согласуется с этим степенным законом.

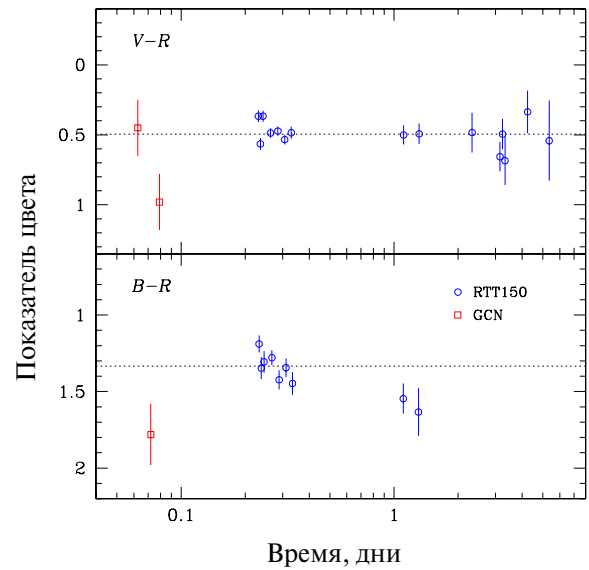


Рис. 6. Показатели цвета $V-R$ и $B-R$ в зависимости от времени. Пунктирными линиями показаны средние значения показателей цвета за первую ночь наблюдений. Кружками показаны данные телескопа РТТ-150, квадратами — данные взятые из циркуляров GCN (Лин и др., 2006; Румянцев и др., 2006; Браун и др., 2006)

бок измерения. Однако, они несколько отличаются от наклона -1.14 ± 0.2 , полученного выше по данным телескопов РТТ-150 и $MDM-1.3m$ во временном отрезке от 5 до 14 ч после всплеска. Возможно, степенной закон недостаточно хорошо описывает данные уже на таком коротком промежутке времени. Однако, здесь еще может сказываться небольшая разность в абсолютной калибровке потока послесвечения между телескопами. Средние показатели цвета, не исправленные за межзвездное поглощение, в первую ночь наблюдений составили $V-R = 0.49 \pm 0.02$, $B-R = 1.33 \pm 0.03$.

На рис. 5 показано спектральное распределение

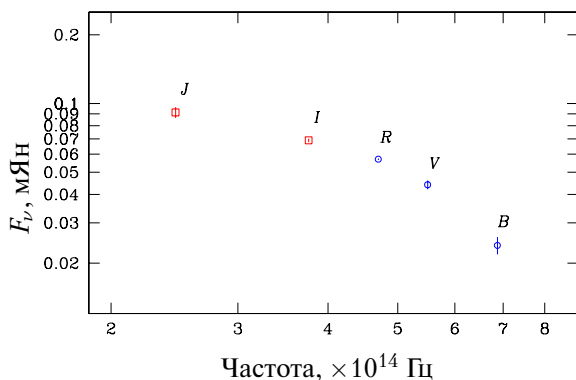


Рис. 5. Спектральное распределение энергии в фильтрах B, V, R, I, J , через 8.7 часа после гамма-всплеска. Кружками показаны данные телескопа РТТ-150, квадратами — данные в фильтрах I, J из сообщения Кобба (2006).

послесвечения через 8.7 часа после гамма-всплеска, исправленное за поглощение в Галактике, $E(B-V) = 0.066$ (Шлегель и др., 1998). Точки, соответствующие фильтрам B и V получены экстраполяцией степенного закона по данным на отрезке времени от 5 до 8 часов, в предположении, что цвет послесвечения сохраняется. Данные в фильтрах I, J взяты из наблюдений 1.3-м телескопа обсерватории $CTIO$ (Кобб, 2006). Видно, что спектральное распределение энергии излучения в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах не может быть описано простым степенным законом.

История изменения цвета послесвечения за все время наблюдений показана на рис. 6. Показатель цвета $V-R$ с большой точностью оказывается постоянным во всех наблюдениях нашего телескопа. При этом показатель цвета $B-R$ изменяется таким образом, что послесвечение становится более красным во вторую ночь наблюдений с цветом $B-R = 1.59 \pm 0.09$. До того, как наш телескоп был наведен на послесвечение, его цвет можно оценить, используя данные наземных телескопов 1-м Люлинской обсерватории (Лин и др., 2006), 1.5-м телескопа Майданакской высокогорной обсерватории (Румянцев и др., 2006) в полосе R_c и данные телескопа $UVOT$ на борту спутника СВИФТ в полосах BV (Браун и др., 2006). Соответствующие точки показаны на рис. 6 квадратами. Видно, что при $t - t_0 = 1.5$ ч, послесвечение, также было более красным, чем во время наших наблюдений от 5.4 до 9 ч после всплеска.

Таблица 2. Фотометрические измерения

время, дни	фильтр	зв. величина	ошибка
0.22679	R_c	18.676	0.056
0.22892	R_c	18.992	0.033
0.23067	V	19.302	0.041
0.23242	B	20.133	0.056
0.23417	R_c	18.931	0.032
0.23583	V	19.527	0.042
0.23813	B	20.321	0.072
0.24058	R_c	18.988	0.042
0.24254	V	19.364	0.040
0.24525	B	20.316	0.070
...

Замечание: — Полная версия таблицы доступна в электронной версии журнала, а также во всемирной сети по адресу: <http://hea.iki.rssi.ru/grb/060526/>

Результаты измерений кривой блеска послесвечения в фильтрах BVR_c приведены в таблице 2. Здесь даны величины, показанные на рис. 2, 4, а также использованные для расчета показателей цвета на рис. 6. По сравнению с результатами, опубликованными в циркулярах (Хамитов и др., 2006), измерения в фильтре R_c здесь более надежные, т.к. они получены в результате гораздо более тщательной обработки данных.

ОБСУЖДЕНИЕ

В работе представлены результаты подробных наблюдений кривой блеска оптического послесвечения гамма-всплеска 060526, выполненных на Российско-Турецком 1.5-м телескопе (РТТ-150). Наши данные составляют около половины всех фотометрических измерений, полученных для этого послесвечения. Получены верхние пределы на переменность послесвечения в первую ночь наблюдений, а также подробно измерена история изменения цвета послесвечения.

Наблюдения послесвечения этого гамма-всплеска подробно обсуждались также в работе Даи и др. (2007). В этой работе были использованы и наши данные, взятые из циркуляров *GCN* (Хамитов и др., 2006). Отмечалось, что изменение степенного наклона кривой блеска происходит примерно одновременно в оптическом и рентгеновском диапазонах. Так должно быть, если этот излом происходит по причине изменения именно геометрии движения. Например, это может быть из-за того, что в это время гамма-множитель движения струи становится меньше ее обратного угла раствора и начинается расширение струи в стороны.

В работе Даи и др. (2007) обсуждалось также наличие переменности оптического блеска послесвече-

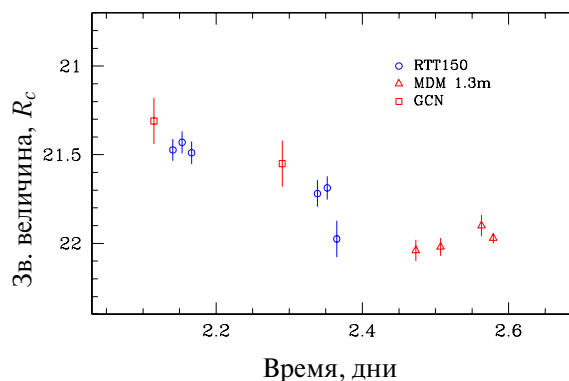


Рис. 7. Кривая блеска послесвечения в фильтре R_c . Кружками показаны данные телескопа РТТ-150, треугольниками — данные телескопа *MDM*-1.3м (Даи и др., 2007), квадратами — данные взятые из циркуляров *GCN* (Румянцев и др., 2006; Кан и Хогнер, 2006)

ния (рис. 2). Отмечалось наличие вспышечной активности, начиная примерно с $t - t_0 \approx 16$ ч, а также то, что для этих вспышек соотношения параметров $\delta t/t - \Delta F_\nu/F_\nu$ плохо удовлетворяют ограничениям для различных моделей переменности излучения ультрарелятивистской струи (Иока и др., 2005). Наши данные позволяют усилить это утверждение. На рис. 7 показан отрезок кривой блеска послесвечения, примерно через двое суток после гамма-всплеска. Видно, что согласно нашим измерениям при $t - t_0 \approx 2.35$ сут. в кривой блеска происходит резкое изменение — примерно за 20 мин. блеск падает на $\approx 0.3^m$. Это изменение соответствует $\delta t/t \approx 0.0055$ и $\Delta F_\nu/F_\nu \approx 0.3$ — при этом ограничения на переменность наблюдаемого излучения ультрарелятивистской струи, полученные в работе Иока и др. (2005), нарушаются с большим запасом.

Основным условием, из которого следуют ограничения на переменность из работы Иока и др. (2005), является ультрарелятивистское движение струи в направлении наблюдателя. Однако, на самом деле, при более высоких значениях плотности вещества, окружающего источник, или при наличии плотного звездного ветра, движение выброса вполне может становиться умеренно релятивистским уже на временном масштабе порядка суток (Буренин, 2007).

Если движение уже не является релятивистским, быстрая переменность послесвечения, подобная той, которая обсуждается выше (рис. 7), может быть объяснена гораздо легче, например, наличием неоднородностей плотности звездного ветра вокруг источника гамма-всплеска. Это можно ожидать, поскольку звездный ветер вокруг звезд Вольфа-Райе в высокой степени неоднороден и имеет клочковатое строение (например, Кроузер, 2007). В этом случае размеры неоднородностей плотности составляют $\delta t \sim 3 \cdot 10^{13} - 3 \cdot 10^{14}$ см (рис. 2, 7). Такие неоднородно-

сти возможны в ветре звезд Вольфа-Райе на больших расстояниях от звезды (Лепин и др., 2000).

Степенной наклон кривой блеска в конце наших наблюдений, при $t - t_0 > 3$ сут., равный $\alpha \approx -3.4$ (рис. 2), по-видимому, является слишком крутым для нерелятивистской стадии расширения оболочки, когда разлет происходит согласно решениям для сильного взрыва Седова и излучение рождается электронами, ускоренными на фронте ударной волны (Хуанг и Ченг, 2003). Однако, такой наклон является слишком большим и для излучения ультрарелятивистской струи после начала расширения в стороны (Даи и др., 2007). Отметим, что этот наклон получен на очень небольшом временном отрезке и может не отражать средней скорости падения на большем временном масштабе. При этом, резкое падение потока излучения после отдельных вспышек может определяться, например, формой отдельных неоднородностей плотности или даже временем охлаждения электронов, которые излучают в оптическом диапазоне.

Отметим также, что спектральное распределение энергии послесвечения в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах не является степенным уже начиная с ≈ 9 часов после всплеска и далее в течение по-крайней мере суток наблюдений (рис. 5, 6). Это может свидетельствовать о том, что в спектре имеется составляющая теплового излучения, которая может возникнуть только в нерелятивистской ударной волне, где частицы на фронте не ускоряются до релятивистских энергий. С другой стороны, это может свидетельствовать о наличии поглощения в плотной среде вокруг источника.

По-видимому, наблюдаемая переменность может быть объяснена и в рамках представлений об ультрарелятивистском движении струи, например, если активность источника струи еще продолжается в это время (Иока и др., 2005). Относительно послесвечения гамма-всплеска 060526 этот вопрос подробно обсуждается в работе Даи и др. (2007). Объяснение, связанное с переходом к нерелятивистскому движению, предлагается здесь только в качестве возможности. Для этого потребовалась бы более высокая плотность окружающего вещества, или плотный звездный ветер вокруг источника, которые ожидаются в областях звездообразования и вокруг массивных звезд Вольфа-Райе (см. также обсуждение в работе Буренина, 2007).

Авторы выражают благодарность анонимному рецензенту за полезные замечания. Работа поддержана грантами РФФИ 05-02-16540, РФФИ 07-02-01004, НШ-784.2006.2 и НШ-1100.2006.2, а также программами Российской академии наук П-04 и ОФН-17. Работа одного из соавторов (РБ) также была поддержана грантом Президента РФ МК-4064.2005.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балиян и др.* (K. S. Baliyan, S. Ganesh, H. O. Vats, J. K. Jain), GCN Circ. 5185 (2006).
- Бергер и Гладдерс* (E. Berger and M. Gladders), GCN Circ. 5170 (2006).
- Браун и др.* (P. J. Brown, S. Campana, P. T. Boyd, F. E. Marshall), GCN Circ. 5172 (2006).
- Р. А. Буренин, Р. А. Сюняев, М. Н. Павлинский, Д. В. Денисенко, О. В. Терехов, А. Ю. Ткаченко, и др.*, Письма в Астрон. журн. **29**, 649 (2003) (Astronomy Letters **29**, 573 (2003)).
- Р. А. Буренин*, Письма в Астрон. журн. **33**, 899 (2007) (Astronomy Letters **33**, 804 (2007)).
- Герельс и др.* (N. Gehrels, G. Chincarini, P. Giommi, K. O. Mason, J. A. Nousek, A. A. Wells), Astrophys. J. **611**, 1005 (2004).
- Греко и др.* (G. Greco, F. Terra, C. Bartolini, A. Guarnieri, A. Piccioni, D. Nanni, *et al.*), GCN Circ. 5171 (2006).
- Даи и др.* (X. Dai, J. P. Halpern, N. D. Morgan, E. Armstrong, N. Mirabal, J. B. Haislip, D. E. Reichart, and K. Z. Stanek), Astrophys. J. **658**, 509 (2007).
- Иока и др.* (K. Ioka, S. Kobayashi, B. Zhang), Astrophys. J. **631**, 429 (2005).
- Кампана и др.* (S. Campana, S. D. Barthelmy, P. T. Boyd, P. J. Brown, D. N. Burrows, J. R. Cummings, *et al.*), GCN Circ. 5162,5163 (2006).
- Кан и Лаукс* (D. A. Kann & U. Laux), GCN Circ. 5202 (2006).
- Кан и Хогнер* (D. A. Kann & C. Hoegner), GCN Circ. 5182 (2006).
- Кобб* (B. E. Cobb), GCN Circ. 5180 (2006).
- Ковино и др.* (S. Covino, G.L. Israel, F. Ghinassi, N. Pinilla), GCN Circ. 5167 (2006).
- Кроузер* (P. A. Crowther), Ann. Rev. of Astron. and Astrophys., in press (2007); astro-ph/0610356.
- Ландольт* (A. Landolt), Astron. J. **104**, 340 (1992).
- Ламб и др.* (D. Q. Lamb, G. R. Ricker, J.-L. Atteia, C. Barraud, Boer, M.; J. Braga, *et al.*), New Astron. Rev. **48**, 423 (2004).
- Лепин и др.* (S. Lepine, A. F. J. Moffat, N. St-Louis, S. V. Marchenko, M. J. Dalton, P. A. Crowther, *et al.*), Astron. J. **120**, 3201 (2000).

- Лин и др.* (C. S. Lin, K.Y Huang, W.H. Ip, Y. Urata), GCN Circ. 5169 (2006).
- Макварт и др.* (C. Markwardt, L. Barbier, S. Barthelmy, J. Cummings, E. Fenimore, N. Gehrels, *et al.*), GCN Circ. 5174 (2006).
- Румянцев и Позаненко* (V. Romyantsev, A. Pozanenko), GCN Circ. 5181 (2006).
- Румянцев и др.* (V. Romyantsev, A. Pozanenko, M. Ibrahimov, I. Asfandyarov), GCN Circ. 5306 (2006).
- Терра и др.* (F. Terra, G. Greco, C. Bartolini, A. Guarnieri, A. Piccioni, D. Nanni, I. Bruni, S. Galleti), GCN Circ. 5192 (2006).
- Тоен и др.* (C. C. Thoene, J. P. U. Fynbo, U. G. Joergensen), GCN Circ. 5179 (2006).
- Френч и Джелинек* (J. French, M. Jelinek), GCN Circ. 5165 (2006).
- Хамитов и др.* (I. Khamitov, I. Bikmaev, N. Sakhbullin, Z. Aslan, U. Kiziloglu, E. Gogus, R. Burenin, M. Pavlinsky, R. Sunyaev), GCN Circ. 5173,5177,5183,5186,5189,5193 (2006).
- Хуанг и Ченг* (Y. F. Huang, K. S. Cheng), Mon. Not. R. Astron. Soc. **341**, 263 (2003).
- Шарапов и др.* (D. Sharapov, T. Augusteijn, A. Pozanenko, V. Romyantsev), GCN Circ. 5266 (2006).
- Шлегель и др.* (Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M.), Astrophys. J. **500**, 525 (1998).