

УДК 524.352:520.82/84

СПЕКТРАЛЬНЫЙ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДАЛЕКИХ МАССИВНЫХ СВЕРХНОВЫХ В САО РАН

© 2010 А. С. Москвитин¹, Т. А. Фатхуллин¹,
В. В. Соколов¹, В. Н. Комарова¹, Э. Дрейк², Р. Рой³,
Д. Ю. Цветков⁴

¹Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

²California Institute of Technology, 1200 E. California Blvd, CA 91225, USA

³Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES), Manora Peak, Nainital, 263 129, India

⁴Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Университетский пр-т, 13, Москва, 119899 Россия

Поступила в редакцию 19 марта 2010 г.; принята в печать 28 марта 2010 г.

В статье описаны постановка задач, цели и первые результаты наблюдательной программы исследования далеких массивных сверхновых (SN) с красными смещениями $z \lesssim 0.3$. Работа проводится в рамках программы международного сотрудничества по мониторингу SN на 6-метровом телескопе САО РАН (БТА) и других телескопах. Исследуются как ранние фазы событий (определение типа SN, оценка красного смещения и поиск проявлений ветровой оболочки), так и небулярная стадия (эффекты асимметрии взрыва). Особый интерес представляют SN, отождествленные с космическими гамма-всплесками. Интерпретация наших наблюдательных данных вместе с полученными на других телескопах используется для проверки существующих теоретических моделей как самого взрыва SN, так и окружающего его околозвёздного вещества. В 2009 году были проведены наблюдения 30 объектов. Для 12 из них получены спектры. Определен тип, фаза после максимума и красное смещение для 5 SN (SN 2009db, SN 2009dy, SN 2009dw, SN 2009ew, SN 2009ji). С помощью полученных фотометрических данных подтверждено открытие ещё двух SN (SN 2009bx, SN 2009cb). Завершено исследование двух SN II типа в небулярной фазе (SN 2008gz и SN 2008in), проводится мониторинг ещё четырех объектов (SN 2008iy, SN 2009ay, SN 2009bw, SN 2009de).

Ключевые слова: *сверхновые и остатки сверхновых*

1. ВВЕДЕНИЕ

Массивные (core-collapse) сверхновые (SN) обычно рассматриваются как завершающая стадия эволюции массивной звезды (масса звезды на Главной Последовательности превышает 8 масс Солнца), сопровождаемая коллапсом ядра и мощным взрывом (типы Ib, Ic и II). Интерес к этим SN определяется прежде всего тем, что они являются поставщиками тяжёлых элементов в межзвёздную среду, а, значит, играют важную роль в процессах звездообразования в галактиках. Кроме того, именно в процессе взрывов массивных SN формируются компактные релятивистские объекты, что дает возможность исследовать поведение вещества в сверхплотном состоянии, а также условия образования таких объектов, как пульсары и микроквазары.

Несмотря на активное изучение во всем мире феномена SN, мы ещё очень далеки от понимания процессов, протекающих до и во время

взрыва. Новый взгляд на проблему появился после установления, что по крайней мере некоторые SN (Ib-с типов) ассоциируются с космическими гамма-всплесками (GRB) [1]. Данное открытие позволяет проследить событие с самого начала, что ранее удавалось лишь в единичных случаях. Например, было открыто, что у SN в начале взрыва может появляться джет [2].

Однако существует множество вопросов, на которые до сих пор нет однозначных ответов. Формулировка некоторых из них, а также возможные пути их решения на 6-метровом телескопе БТА приведены в разделе 2, конкретная наблюдательная стратегия нашей программы рассматривается в разделе 3, основные результаты наблюдений и интерпретация полученных данных приводятся в разделе 4, в завершающем разделе 5 обсуждаются некоторые планы будущих наблюдений. Напомним, что наши исследования будут главным образом касаться SN с коллапсом массивного ядра.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

2.1. Асимметрия взрыва

Наблюдения показывают, что в статистически значимом количестве случаев (30–40%) расширение оболочки SN может быть асимметричным (отличным от сферического) [3–7].

Модельные расчеты объясняют наблюдательные данные в рамках торо- или дископодобной геометрии выброса вещества во взрыве [8]. Индикаторами в этом случае служат профили линий в небулярной (более 150 дней после максимума) стадии SN. Обычно используются запрещённые линии: бленда [FeII] около 5200Å, [OI] 6300, 6363Å и [CaII] 7291, 7324Å. Очевидный вопрос, требующий всестороннего изучения: какие механизмы отвечают за асимметрию взрыва? В рамках данного направления, мы проводим на БТА спектральные наблюдения для детального изучения профилей линий. Очень важным для каких-либо выводов является набор статистики таких событий. Анализ уже имеющихся данных показывает многообразие возможных вариантов геометрии взрыва [7]. Интересными также видятся спектрополяризметрические наблюдения, доступные сейчас на БТА [9]. Именно такие наблюдения позволят, во-первых, независимо изучить геометрию взрыва и, во-вторых, проследить распределение различных элементов в выбросе.

2.2. Ранняя фаза и взаимодействие выброса с окружающим звёздным и околозвёздным веществом

В некоторых редких случаях наблюдения SN удается провести в самой ранней фазе: SN 1993J [10], SN 2006aj [11], SN 2008D [12], SNLS-04D2dc и SNLS-06D1jd [13], SNLS-04D2dc [14]. Интерпретация (а ранее детальное моделирование, см., например, [15]) кривых блеска в ультрафиолете, оптике и рентгене позволила открыть ранее предсказанный эффект разогрева и ускорения ударной волной оболочки звезды-прародителя и выхода этой ударной волны на поверхность звезды (“shock breakout” [16]). Важнейшее следствие таких наблюдений — возможность напрямую, вне модельных представлений, оценивать размеры излучающей области, а, значит, и размеры предсверхновой [11]. Это чрезвычайно важно для понимания того, какие же звёзды становятся SN, а также механизма самого взрыва. Известно, что в спектрах SN I типа, в отличие от II, отсутствуют заметные линии водорода. Считается, что звезды-прародители SN I типа в ходе своей эволюции потеряли свою водородную оболочку, а в случае SN типа Ic и гелиевую [17].

Естественно было бы ожидать проявления этой оболочки в спектрах, особенно в ранних, что подтверждается в работе [18]. Авторы интерпретируют абсорбционную особенность около 6300Å как смещённую линию водорода H α оболочки, их метод позволяет оценить и массу водорода. Интересно, что в рамках простой модели удается довольно легко объяснить факт существования SN, меняющих свой тип со временем (например, SN1987K и SN1993J, [18]). В настоящее время наиболее широко принятыми прародителями SN типов Ib-c считаются: а) относительно маломассивные звёзды (8 – 20 M_{\odot}) в двойных системах (потерявшие оболочки в результате переноса массы) [19] и б) звёзды Вольфа-Райе (потерявшие оболочки вследствие звёздного ветра). Прямой задачей наблюдений является поиск ответа на вопрос: какой сценарий эволюции прародителя SN Ib-c типа предпочтительнее? Именно в комплексе (оценка размеров плюс оценка массы водородной оболочки) интерпретация этих данных, по-видимому, сможет дать определенный ответ. В свете сказанного, задачей для БТА является как можно более ранняя спектроскопия с последующим обязательным мониторингом такого рода событий. Одной из важных составляющих такой задачи мы считаем обнаружение линии H β , что стало бы решающим аргументом в пользу обсуждаемой модели.

2.3. Огромный разброс SN по светимостям

Блеск SN II типа в максимуме (например, события SN 2005ap, SN 2006gy и SN 2008es) может достигать $M = -22^m$ [20, 21]. Однако обнаружено, что светимости SN этого типа могут быть $M_B = -14^m$ и даже слабее. В связи с этим возникают вопросы: сколько таких слабых вспышек происходит, какую часть их мы пропускаем и как повлияет учет таких событий на общий темп взрывов SN в галактиках?

В этом случае естественным кажется вопрос: каков механизм мощных взрывов и отличается ли он от “классического” сценария? В рамках заявленной программы на БТА нами проводится спектральный мониторинг таких событий сопровождаемой многоцветной фотометрией на 1-метровом телескопе САО РАН Цейсс-1000 и других телескопах в рамках международного сотрудничества. Целью является построение подробных кривых блеска в разных фильтрах, что будет использовано для оценок массы и полной энергии прародителя, а также сравнение обнаруженных характеристик (скорости, ширины линий и т.п.) в спектрах SN различных светимостей.

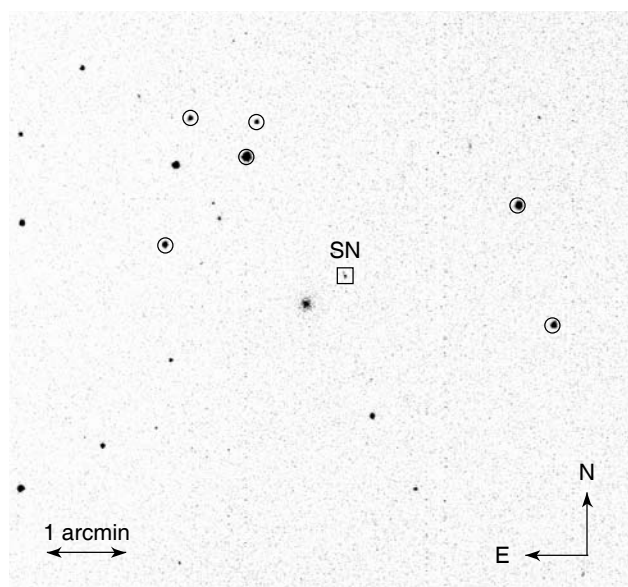


Рис. 1. Прямое изображение поля CSS090216:100910+075434 (SN 2009bx) в фильтре V , полученное на телескопе Цейсс-1000 27.840 февраля 2009 UT. На этом и следующем рисунках SN отмечена квадратом, кружками обведены стандарты. В момент наблюдения блеск SN составлял $B = 18.83 \pm 0.23$, $V = 18.90 \pm 0.11$, $R_C = 18.45 \pm 0.23$ [36].

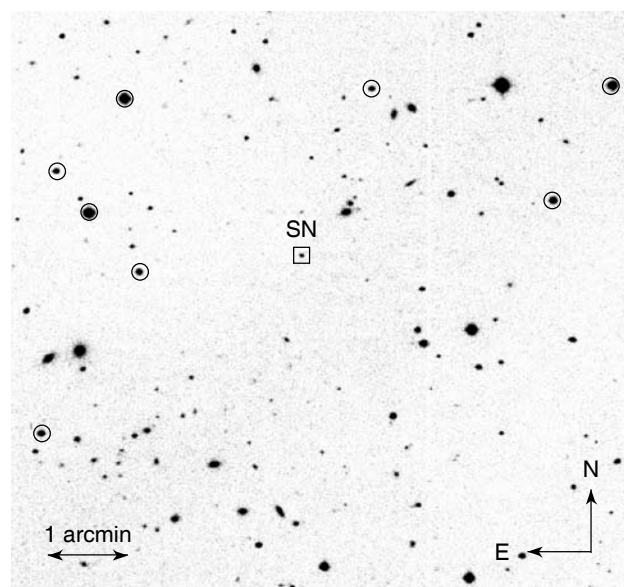


Рис. 2. Прямое изображение поля CSS090319:125916+271641 (SN 2009cb) в фильтре R , полученное на телескопе Цейсс-1000 29.987 марта 2009 UT. В момент наблюдения блеск SN составлял $R_C = 19.78 \pm 0.10$ [37].

2.4. Сверхновые на умеренных и больших красных смещениях

Важным в понимании феномена как сверхновых, так и GRB стало прямое отождествление SN с оптическим послесвечением GRB. Однако спектроскопически такое отождествление было проведено только для близких событий: GRB 030329 / SN 2003dh ($z = 0.1687$), GRB 031203 / SN 2003lw ($z = 0.1055$) и GRB 060218 / SN 2006aj ($z = 0.0335$) [22]. По-видимому, такое отождествление в оптическом диапазоне надежно можно провести для событий на красных смещениях до $z \sim 0.5$, когда блеск SN (особенно в максимуме блеска) все ещё будет доминировать в общем излучении. Интересным представляется сравнение свойств SN с и без GRB. Здесь перед исследователями возникает вопрос: почему не все близкие GRB отождествляются со SN [23]? Является ли это следствием наблюдательной селекции, связанной с упомянутой выше разницей в светимостях, или же различием в природе явлений? В рамках нашей наблюдательной программы проводятся спектроскопические наблюдения далеких SN, причем основополагающим здесь является именно мониторинг события, начиная с самой его ранней фазы. Главным является измерение скоростей и ширин обнаруживаемых линий (оценки полной энергии взрыва) и сравнение полученных результатов для двух рассматриваемых

подклассов событий (SN, связанных с GRB и не проявивших этой связи).

Очевидно, что изучение SN на больших красных смещениях очень важно для понимания истории звездообразования, в частности, для независимой оценки её темпа во Вселенной [24], эволюции начальной функции масс и т.п. Современные специализированные обзоры позволяют обнаруживать SN типа IIp (наиболее яркие в ультрафиолете) вплоть до красных смещений $z \sim 2$ [25, 26]. Задачу для БТА в данном случае мы видим в многоцветных фотометрических наблюдениях и построении детальных кривых блеска в рамках международного мониторинга. По данным широкого фотометрического мониторинга в четырех фильтрах возможно оценить красное смещение и тип объекта (см., например, [27, 28]).

Согласно сказанному выше, главной наблюдательной задачей программы является спектральный и фотометрический мониторинг SN. Экспрессные наблюдения SN в последнее время стали возможны благодаря обновляемому и доступному в режиме on-line данным, получаемым в ходе специализированных обзоров неба (см., например, [29]).

3. СТРАТЕГИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

Оценка количества ожидаемых и доступных для наблюдений в CAO событий в год ($\delta > -10^\circ$): SN Ia — 82, SN Ib — 5, SN Ic — 8, SN Ib-c — 3, SN IIp — 11, SN IIP — 10, остальные SN II — 39

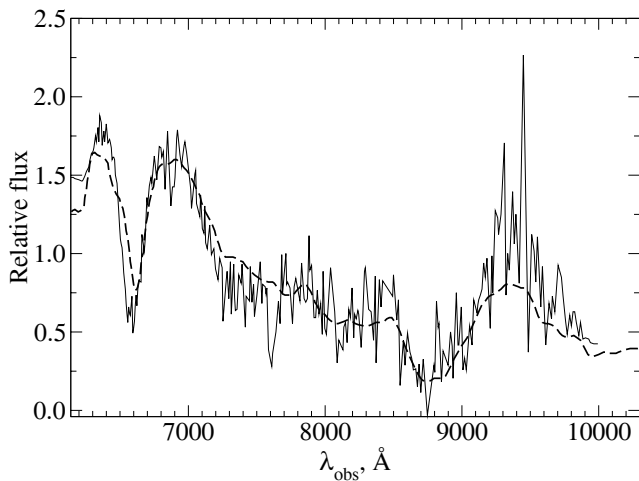


Рис. 3. Сравнение спектра CSS090319:142155+260102 (SN 2009db), полученного 3 апреля 2009 года на БТА (тонкая сплошная линия), со спектрами базы данных SNID [35]. Наиболее близкий спектр принадлежит SN 1999ee Ia типа в фазе 11 дней после максимума (штриховая линия) [39]. Оценка красного смещения по широким спектральным деталям: $z = 0.078 \pm 0.012$.

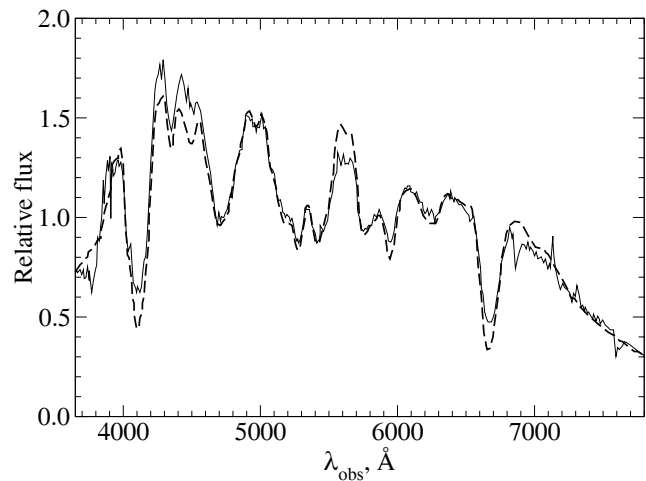


Рис. 5. Сравнение спектра CSS090422:150104+431314 (SN 2009du), полученного 24 апреля 2009 года на БТА (тонкая сплошная линия), со спектрами базы данных SNID. Наиболее близкий спектр принадлежит SN 1994ae Ia типа в фазе 6 дней после максимума (штриховая линия) [40]. Оценка красного смещения: $z = 0.089 \pm 0.003$. Блеск SN в момент наблюдения: $R_C = 18.63 \pm 0.20$, для калибровки использовались USNO-B1 стандарты.

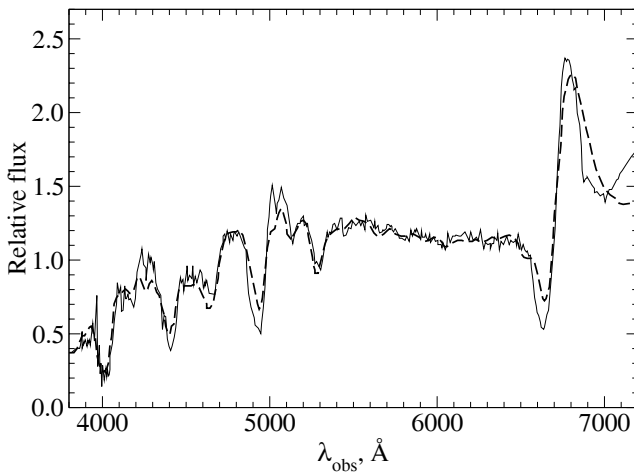


Рис. 4. Сравнение спектра CSS090421:133609+340319 (SN 2009dw), полученного 23 апреля 2009 года на БТА (тонкая сплошная линия), со спектрами базы данных SNID. Наиболее близкий спектр принадлежит SN 2004et II-P типа в фазе 15 дней после максимума (штриховая линия) [40]. Оценка красного смещения: $z = 0.042 \pm 0.003$. Блеск SN в момент наблюдения $R_C \approx 19.0$.

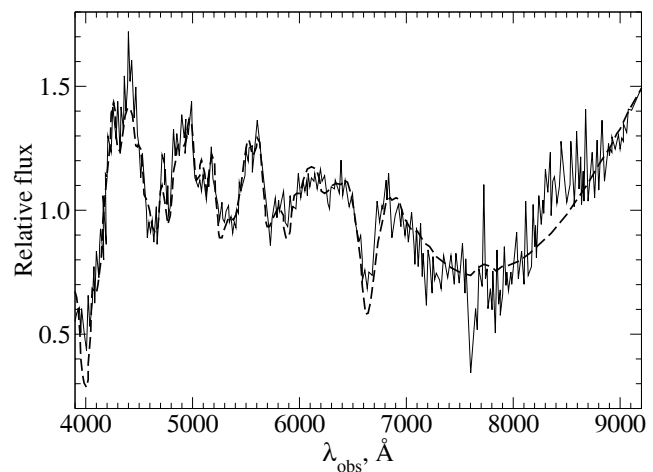


Рис. 6. Сравнение спектра CSS090516:163900+175858 (SN 2009ew), полученного 17 мая 2009 года на БТА (тонкая сплошная линия), со спектрами базы данных SNID. Наиболее близкий спектр принадлежит SN 2003du Ia типа в фазе 7 дней до максимума (штриховая линия) [41]. Оценка красного смещения: $z = 0.085 \pm 0.006$.

(для определенности оценка выполнена за 2008 год по данным [31]). Классификация объектов как SN с коллапсирующим ядром возможна уже на этапе обнаружения по оценкам цвета [27–29]. Так как главной целью программы является исследование именно таких SN, мы ожидаем малый процент SN типа Ia в наших данных. По оценке темпа обнаружения можно ожидать порядка 1–2 событий в неделю.

Наблюдения по программе проводятся начиная с 2009 года в рамках международного сотрудничества исследования массивных SN на более чем 10 телескопах США, Италии, Испании, Индии, Турции и России.

В CAO РАН основные наблюдения проводятся на 6-метровом телескопе БТА с многомодовым прибором SCORPIO [9, 30], который является оптимальным для представленной программы ввиду возможности быстрого переключения режимов

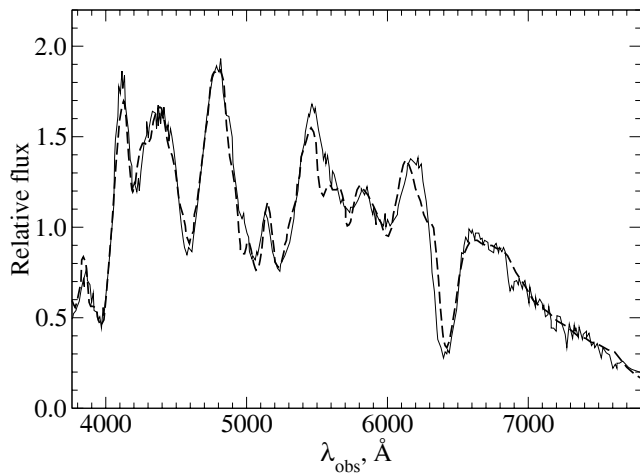


Рис. 7. Сравнение спектра CSS090923:155452+320506 (SN 2009ji), полученного 25 сентября 2009 года на БТА (тонкая сплошная линия), со спектрами базы данных SNID. Наиболее близкий спектр принадлежит SN 2003du Ia типа в фазе 11 дней после максимума (штриховая линия) [42]. Оценка красного смещения: $z = 0.048 \pm 0.004$.

наблюдений. Крупный телескоп необходим для достижения требуемого качества материала, так как ожидаемые видимые звёздные величины объектов варьируются от 15^m до 25^m . Наблюдательная стратегия программы выглядит следующим образом:

- 1) ранняя фаза (“shock breakout”), $R = 15^m - 19^m$: спектроскопия с разрешением $5 - 10 \text{ \AA}$ (гризмы VPHG550G, VPHG550R, VPHG1200R, VPHG1200G, VPHG1200B [30]), фотометрия $UBVR_CI_C$;
- 2) ранняя фаза (SN на умеренных и больших красных смещениях), $R = 21^m - 25^m$: фотометрия BVR_CI_C , для ярчайших событий спектроскопия с разрешением $10 - 15 \text{ \AA}$ (VPHG400, VPHG550G, VPHG550R);
- 3) поздняя фаза (небулярная), $R = 17^m - 22^m$: для ярких событий ($R = 17^m - 19^m$) спектроскопия с разрешением $5 - 10 \text{ \AA}$ (VPHG550G, VPHG550R, VPHG1200R), фотометрия $UBVR_CI_C$.

Список потенциальных объектов включает как планомерно исследуемые, так и недавно обнаруженные (основные источники информации: каталог CRTS [31], СВЕТ [32], ATEL [33]). Выбор объектов в конкретную ночь определяется поставленной задачей и условиями наблюдения.

Обработка происходит стандартным образом. Полученный спектр сравнивается с библиотекой

спектров близких SN SNID [35] и, в случае подтверждения принадлежности к SN, определяются тип объекта, фаза относительно максимума блеска и красное смещение, которые публикуются в виде телеграммы СВЕТ [32] или ATEL [33]. Спектры могут использоваться для более детального анализа например, с помощью кода SYNOW [34]. Фотометрические данные могут быть использованы для абсолютных калибровок спектров по потоку, построения кривых блеска и оценок физических параметров SN.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Наблюдательная программа начала выполняться с первого полугодия 2009 года. В качестве сопутствующей программы проводится фотометрия массивных SN на телескопе CAO РАН Цейсс-1000. В 2009 году были проведены наблюдения 30 объектов, для 12 из них получены спектры, а для 5 только что обнаруженных SN (SN 2009db, SN 2009dy, SN 2009dw, SN 2009ew, SN 2009ji) определен тип, фаза после максимума и красное смещение. Фотометрически подтверждено открытие ещё двух (SN 2009bx, SN 2009cb). Завершено исследование небулярной фазы двух SN II типа (SN 2008gz и SN 2008in), продолжают наблюдения ещё четырех объектов (SN 2008iy, SN 2009ay, SN 2009bw, SN 2009de).

4.1. Экспрессные наблюдения: определение типов и красных смещений сверхновых

В качестве источника объектов для экспрессных наблюдений использовался каталог CRTS [31]. Принадлежность к классу SN двух объектов (SN 2009bx, SN 2009cb) была проверена фотометрически на телескопе Цейсс-1000 (см. Рис. 1 и 2). Переход от звёздных величин стандартов в системе $ugri$ каталога SDSS-DR7 в систему BVR_C сделан по формулам [38]. Для SN 2009db, SN 2009dy, SN 2009dw, SN 2009ew и SN 2009ji были получены спектры, проведено сравнение со спектрами базы SNID, определены типы SN, оценены фазы относительно максимума и красные смещения по широким деталям в спектрах (см. Рис. 3 – 7).

4.2. SN 2008gz и SN 2008in — близкие сверхновые II типа

Помимо экспрессных наблюдений только что обнаруженных SN, проводится мониторинг планомерно изучаемых объектов. Совместно с индийскими и итальянскими участниками нашей международной команды прослежена спектральная эволюция SN 2008gz и SN 2008in. Получены кривые блеска

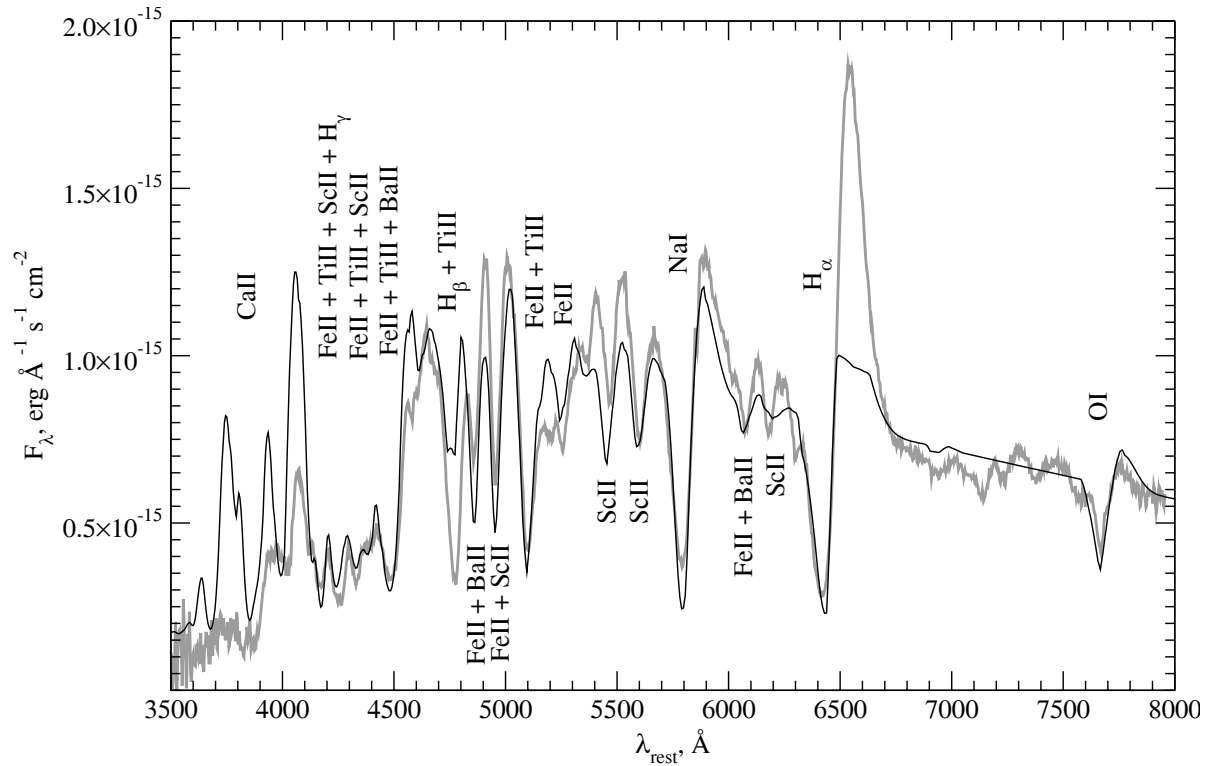


Рис. 8. Спектр SN 2008gz, полученный 11 ноября 2008 на телескопе TNG+DOLORES (толстая серая линия). Тонкой чёрной линией показана наилучшая подгонка модельным спектром, сгенерированным кодом SYNOW.

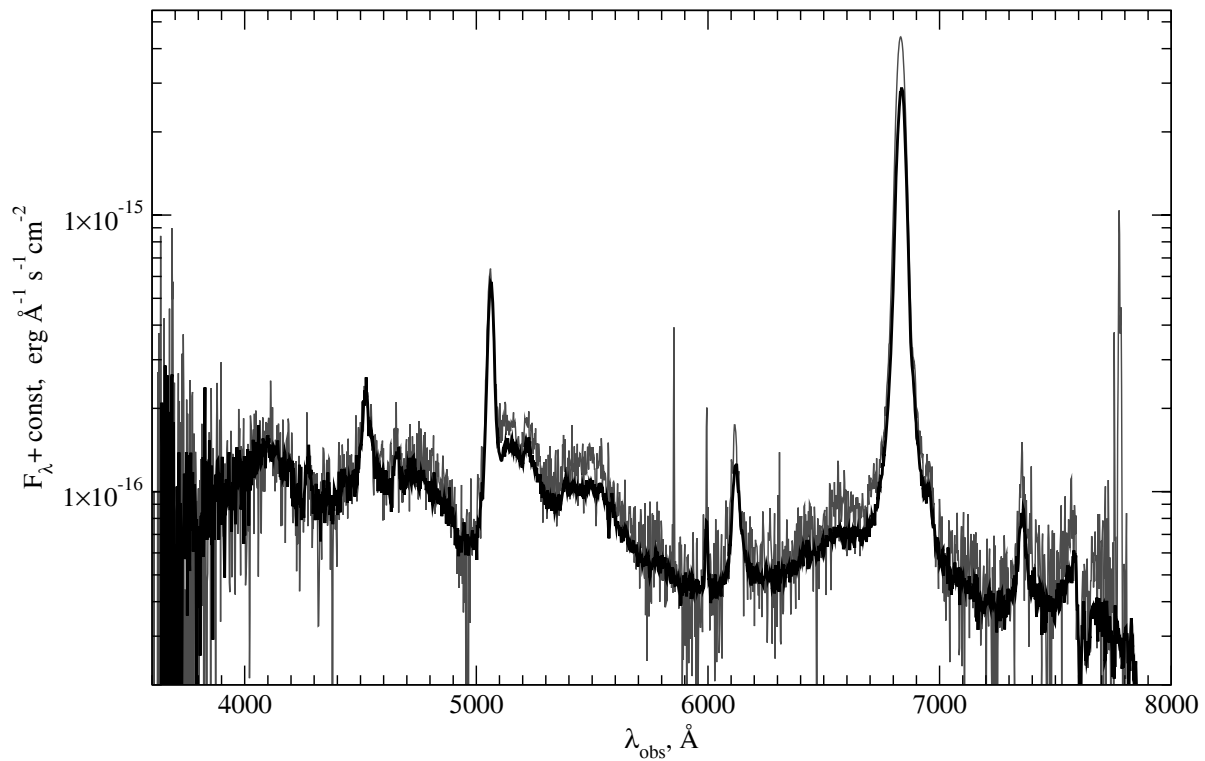


Рис. 9. Спектры SN 2008iy, полученные на БТА+Scorpio 23 апреля (чёрная линия) и 25 сентября (серая линия) 2009 г. Красное смещение объекта, измеренное по спектрам с БТА $z = 0.041$ согласуется с данными, приводимыми в работе [21].

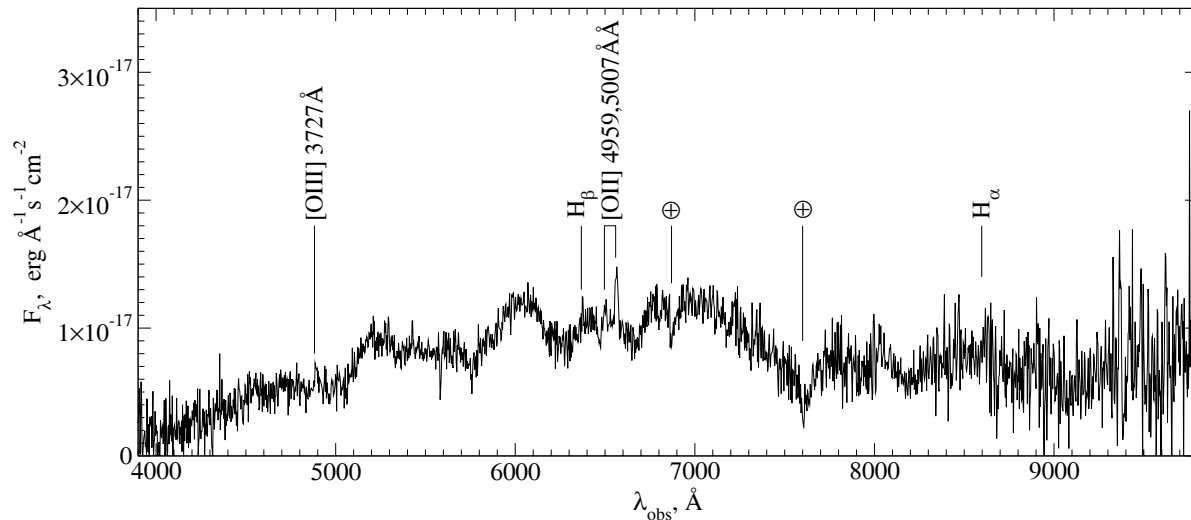


Рис. 10. Идентификация эмиссионных линий родительской галактики в спектре SN 2009de, полученном на БТА. Отождествлены линии [OIII] 3727Å, H β , [OIII] 4959, 5007Å, признаки линии H α подтверждены недавно полученным на Keck I спектром родительской галактики [48]. Оценка красного смещения $z = 0.311$ близка к значению, определенному по подгонке широких деталей спектра SN с помощью кода SNID.

в полосах B, V, R, I. Болومترическая кривая блеска SN 2008gz сравнивалась с кривыми блеска SN этого же типа: SN 2004et и SN 1987A. Энергия взрыва SN 2008gz оказалась сопоставима с энергией SN 2004et. В спектрах, близких к максимуму, линии имели P Cуг-профили. Они изучались с помощью многопараметрического кода SYNOW [34]. Результат подгонки самого раннего из спектров SN 2008gz в качестве примера представлен на Рис. 8. Моделирование показало, что для более поздних спектров сильны ограничения кода: плохо описывается эмиссионная часть водородных профилей. Для построения кривых уменьшения скоростей оболочек и фотосферы SN 2008gz измерялось положение минимумов абсорбций. Все подробности исследования SN 2008gz представлены в работе [43].

4.3. SN 2008iy — SN типа IIp или квазар?

Одной из наиболее интересных сверхновых, исследуемых в рамках программы, является SN 2008iy [44–46]. Она интересна тем, что спектры, полученные с интервалом около 5 месяцев, изменились очень мало (см. Рис. 9). Возникает вопрос о природе этого объекта. На кривой блеска наблюдался рекордно длинный подъем продолжительностью около года, а после максимума — очень медленный спад [47]. Активная фаза вспышки длится уже несколько лет. Решающим в разгадке природы объекта может быть обнаружение в спектре деталей, характерных для небулярной фазы SN.

4.4. Сверхновые II типа SN 2009ay и SN 2009bw

Совместно с итальянскими и московскими коллегами проведено изучение спектральной эволюции SN II типа SN 2009ay и SN 2009bw, а также отмечено необычное поведение блеска этих двух SN II-P типа на поздних фазах (около “плато” на кривых блеска). Для обоих объектов получен богатый фотометрический материал, а для SN 2008bw ещё и спектры на БТА и других телескопах.

4.5. Космологическая пекулярная сверхновая Ic типа SN 2009de

SN 2009de была открыта в обзоре CRTS и исследована фотометрически и спектроскопически (Рис. 10) на телескопах этого обзора, а также Palomar 60, Palomar 200, БТА, Zeiss-1000 и Keck I. Изучение подобных объектов важно для космологических задач программы. В ближайшее время планируется получение глубоких снимков на БТА с целью обнаружения и исследования спектрального распределения энергии родительской галактики этой SN. На данный момент по результатам наблюдений на телескопах Цейсс-1000 и БТА известно, что галактика слабее $R_C = 23.5$ и $I_C = 24.0$. Однако полученный на Keck I зашумленный спектр показал наличие эмиссионных линий H β , [OIII] 4958, 5006Å, H α [48], что говорит о возможности получения на БТА фотометрических данных для моделирования спектрального распределения энергии родительской галактики.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предполагается, что данные, полученные в рамках нашего международного мониторинга, существенно улучшат понимание ещё во многом загадочной связи GRB с массивными SN [49, 50]. В попытке ответить на вопрос о природе прародителей и о механизмах взрыва SN и GRB, а также об их сходстве и различиях, необходимо проведение наблюдений как самых ранних фаз, наиболее близких к началу взрыва, так и поздних (связь с асимметрией). Немаловажную роль играют статистические оценки темпов взрывов SN и GRB, и сравнение их с темпами звездообразования. Отсюда возникает отдельная задача изучения областей родительских галактик и самих родительских галактик, в которых происходят эти взрывы.

Учитывая характерные времена, за которые происходит практически полное ослабевание блеска SN, можно сказать, что программа исследования далеких массивных SN на БТА только началась. На данном этапе, помимо ранних наблюдений новых объектов, необходимо продолжать наблюдать отдельные объекты для их подробного исследования. В частности, важно изучить свойства родительских галактик SN 2008iy и SN 2009de используя широкополосную фотометрию.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят со-заявителей программы и коллег, участвующих в международном сотрудничестве: Т. Н. Соколову, Г. М. Бескина, В. Л. Плохотниченко, С. В. Карпова, В. П. Горанского, О. И. Спиридонову, А. Ф. Валеева, О. Н. Шолухову, С. Н. Фабрику, А. Н. Буренкова (САО РАН); И. М. Волкова (ГАИШ); E. Sonbaş (University of Adiyaman, Turkey); A. J. Castro-Tirado, J. Gorosabel (IAA — CSIC, Spain); S. V. Pandey, Brajesh Kumar (ARIES, India); C. Inserra, S. Benetti (INAF, Italy), а также рецензента за сделанные замечания, которые помогли улучшить изложение материала. Эта работа была поддержана грантом РНП 2.1.1.3483 Федерального агентства образования РФ и грантом РФФИ 10-02-00249а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Li-Xin Li, AIP Conf. Proc. **1065**, 273 (2008). arXiv:0808.1184
- D. Fargion, D. D'Armiento, P. Oliva, and F. Manniti, SIF Conf. Proc., Vulcano Workshop **98**, 351 (2008). arXiv:0901.4524
- K. S. Kawabata et al., *Astrophys. J.* **580**, L39 (2002).
- C. Trundle et al., *Astronom. and Astrophys.* **504**, 945 (2009).
- K. Maeda et al., *Science* **319**, 1220 (2008).
- M. Modjaz et al., *Astrophys. J.* **687**, L9 (2008).
- S. Taubenberger et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **397**, 677 (2009).
- K. Maeda et al., *Astrophys. J.* **565**, 405 (2002).
- В. Л. Афанасьев и др., *Бюлл. Спец. астрофиз. обсерв.* **58**, 90 (2005).
- W. van Driel et al., *Publ. Astronom. Soc. Japan* **45**, L59 (1993).
- S. Campana et al., *Nature* **442**, 1008, (2006) // [astro-ph/0603279](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0603279)
- M. Modjaz et al., *Astrophys. J.* **702**, 226 (2009).
- S. Gezari et al., *Astrophys. J.* **683**, L131 (2008).
- K. Schawinski, *Science* **321**, 223 (2008).
- S. I. Blinnikov et al., *Astrophys. J.* **496**, 454 (1998).
- S. A. Colgate, *Canadian Journal of Physics* **46**, 476 (1968).
- K. Nomoto and M. Mashimoto, *Phys. Rep.* **163**, 13 (1988).
- A. Elmhamdi et al., *Astronom. and Astrophys.* **450**, 305 (2006).
- Ph. Podsiadlowski, P. C. Joss, and J. J. L. Hsu, *Astrophys. J.* **391**, 246 (1992).
- A. J. Drake et al., arXiv:0908.1990 (2009).
- A. A. Miller, *Astrophys. J.* **690**, 1303 (2009).
- Y. Kaneko, *Astrophys. J.* **654**, 385 (2007).
- M. Della Valle et al., *Nature* **444**, 1050 (2006).
- T. Dahlen, *Astrophys. J.* **613**, 189 (2004).
- J. Cooke, *Astrophys. J.* **677**, 137 (2008).
- J. Cooke et al., *Nature* **460**, 237 (2009).
- D. Poznanski et al., *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **114**, 833 (2002).
- R. Kessler, A. Conley, S. Jha, and S. Kuhlmann, arXiv:1001.5210
- A. J. Drake, S. G. Djorgovski and A. Mahabal, *Astrophys. J.* **696**, 870 (2009).
- Scorpio web-page <http://www.sao.ru/hq/lsvfo/devices/scorpio/scorpio.html>
- CRTS (Catalina Real-time Transient Survey): <http://nesssi.cacr.caltech.edu/catalina/AllSN.html>
- CBET (Central Bureau Electronic Telegrams) <http://www.cfa.harvard.edu/iau/cbet/RecentCBETs.html>
- ATEL (The Astronomer's TELEgram) <http://www.astronomerstelegram.org>
- D. Branch et al., *Astrophys. J.* **566**, 1005 (2002).
- S. Blondin and J. L. Tonry, *Astrophys. J.* **666**, 1024 (2007).
- A. J. Drake et al., *Central Bureau Electronic Telegrams* 1744 (2009).
- A. J. Drake et al., *Central Bureau Electronic Telegrams* 1752 (2009).
- R. Lupon <http://www.sdss.org/dr5/algorithms/sdssUBVRITransform.html>
- A. J. Drake et al., *Central Bureau Electronic Telegrams* 1760 (2009).
- A. J. Drake et al., *Central Bureau Electronic Telegrams* 1791 (2009).
- A. J. Drake et al., *Central Bureau Electronic Telegrams* 1815 (2009).

42. A. J. Drake et al., Central Bureau Electronic Telegrams 1960 (2009).
 43. R. Roy et al., in prep.
 44. A. J. Drake et al., ATel 1768 (2008).
 45. A. A. Mahabal et al., ATel 2010 (2009).
 46. M. Catelan et al., Central Bureau Electronic Telegrams 1780 (2009).
 47. A. A. Miller et al., Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. **404**, 305 (2010).
 48. A. Drake, private communication (2010).
 49. E. Sonbas et al., Астрофизический бюллетень **63**, 228 (2008).
 50. Москвитин и др., Астрофизический бюллетень **65**, 139 (2010).

SPECTRAL AND PHOTOMETRIC MONITORING OF DISTANT CORE-COLLAPSE SUPERNOVAE IN THE SAO RAS

A.S. Moskvitin, T.A. Fatkhullin, V.V. Sokolov, V.N. Komarova, A.J. Drake, R. Roy, D.Yu. Tsvetkov

This paper describes the aims, objectives and first results of the observational program for the study of distant core-collapse supernovae (SNe) with redshifts $z \lesssim 0.3$. This work is done within the framework of an international cooperation program on the SNe monitoring at the 6-m BTA telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, and other telescopes. We study both the early phases of events (SN type determination, redshift estimation, and a search for manifestations of a wind envelope), and the nebular phase (the effects of explosion asymmetry). The SNe, associated with cosmic gamma-ray bursts are of particular interest. An interpretation of our observational data along with the data obtained on other telescopes is used to test the existing theoretical models of both the SN explosion, and the surrounding circumstellar medium. In 2009 we observed 30 objects; the spectra were obtained for 12 of them. We determined the types, phases after maximum, and redshifts for five SNe (SN 2009db, SN 2009dy, SN 2009dw, SN 2009ew, SN 2009ji). Based on the obtained photometric data a discovery of two more SNe was confirmed (SN 2009bx and SN 2009cb). A study of two type II supernovae in the nebular phase (SN 2008gz and SN 2008in) is finalized, four more objects (SN 2008iy, SN 2009ay, SN 2009bw, SN 2009de) are currently monitored.

Key words: *Stars: supernovae: general*