Глава 3.
СПЕКТРОСКОПИЯ V838 ЕДИНОРОГА (N MON 2002) ВО ВСПЫШКЕ И В СТАДИИ "КОРИЧНЕВОГО" СВЕРХГИГАНТА.

V838 Mon – пекулярная красная новая звезда, которая во вспышке показала холодный абсорбционный спектр, похожий на спектры красных звезд-сверхгигантов класса K–M. Вместе с двумя подобными объектами, V4332 Sgr и с наблюдавшейся в галактике M31 V1006/7 (McD Nova 88 No.1(Шаров, 1990,1993), RedVar(Рич и др., 1989)), звезда представляет новый класс астрофизических объектов и переменных звезд. В отличие от классических новых – карликовых катаклизмических систем – пекулярные красные новые не проходят небулярную стадию. По терминологии Мунари и др. (2002a) это "звезды, при взрыве превращающиеся в холодные сверхгиганты" (SECS, Stars Erupting into Cool Supergiants). Природа этих звезд и причина их вспышек еще не ясны.

V838 Mon была открыта Брауном (2002) 6 января 2002 г., когда ее блеск был около 10^m. С января 1999 по 21 декабря 2001 г. звезда еще была слабее 12^m (Бедиент, 2002). Звезда входила в каталоги под номерами GSC 4822.39 ($15^m.5$ V) и IRAS 07015-0346 (Като, 2002). В инфракрасном обзоре неба 2MASS звезда имеет следующие величины: $J = 13^m.905$; $H = 13^m.480$; $K = 13^m.347$.

По фотографическим наблюдениям из архива Stardial, сделанным до открытия, 31 декабря 2001 г. звезда была видна на уровне $R = 9^m.6$, около 5 января 2002 г. (JD 2452280) вышла на плато при $R = 8^m.9$ и затем постепенно уменьшала свою яркость. Показатели цвета 14 января 2002 г. были очень красными: $B - V = 1^m.832$, $V - R = 0^m.916$ (Кимсвенджер и Ледерле, 2002a). Спектр звезды во вспышке в январе 2002 г. оказался абсорбционным и необычным для новых звезд. Вагнер и др. (2002), Делла Валле и Иидзима (2002) отождествили самые сильные линии λ 5855, 6142 и 6497Å , имеющие профили P Cyg, с линиями Ba II, λ 5897Å - с дублетом Na I D_2 и D_1. Линия H_α была в абсорбции и слаба. Присутствовало много абсорбционных линий Fe, Ca, O, характерных для фотосферы звезды позднего спектрального класса. Скорости расширения фотосферы по абсорбциям в профилях типа P Cyg 380–500 км/с. Нет полос TiO и C_2, наблюдаемых обычно у звезд поздних классов. Отмечается, что это не нормальная классическая новая, а пекулярная медленная новая или звезда в стадии после асимптотической ветви гигантов (post-AGB).

Цвиттер и Мунари (2002) по-другому интерпретировали спектр 26 января 2002 г. Яркие линии λ 5270, 5857 и 6500Å с P Cyg-профилями они приписали Ca I, хотя при этом оставалось неясным, почему не наблюдается более интенсивная линия Ca I λ 6717Å. Линии Ba в спектре они наблюдали без P Cyg-профилей. Отождествлены также линии Na I, Si I, S I, Ni I, Y II, Zr II, C I, Cr I, Gd II, Fe I и Ti I. Скорости расширения фотосферы, измеренные по минимуму абсорбционных компонентов, составляют –250 км/с, максимальные скорости достигают –460 км/с. По межзвездным линиям Na I и K I определена величина $E(B-V) = 0^m.80$. Учитывая галактическое покраснение в направлении V838 Mon, в этой работе получено расстояние до звезды 3 кпс. В марте 2002 г. в окрестности звезды было обнаружено световое эхо (Хенден и др., 2002), по наблюдениям которого получено меньшее расстояние 700 пс.

В ИК спектре V838 Mon в полосе J были найдены широкие и мелкие полосы молекул воды и глубокие полосы окиси углерода. Линии Брэкета водорода были в абсорбции и не показывали профилей типа P Cyg. Было заметно множество линий нейтральных элементов Fe, Mg, Si (Гебалле и др., 2002). Все эти спектральные проявления совершенно нетипичны для новых звезд, у которых на ранних стадиях вспышки температуры фотосфер столь высоки, что молекулы диссоциированы, а атомы металлов ионизованы.

2 февраля 2002 г. (JD 2452308) у звезды начался новый быстрый подъем блеска, 6 февраля (JD 2452312) блеск достиг максимума $6^m.66V$. Появилась сильная эмиссия H_α, крылья эмиссионной линии распространялись до 30Å в обе стороны (Моррисон, 2002). По-прежнему остались

линии Na I D_2 и D_1, но появились линии ионизованных элементов Fe II, Ti II, Cr II, Mg II, Si II и др., что характерно для нормальных новых звезд (Иидзима и Делла Валле, 2002). Койфл и др. (2002) сообщили о формировании пыли, они наблюдали абсорбцию SiO в ИК диапазоне уже 11 февраля.

В наших работах (Барсукова и др., 2002б; Горанский и др., 2002б; Горанский и др., 2004а) содержатся результаты фотометрии и астрометрии V838 Mon до вспышки. С точностью $\pm 0''.16$ подтверждается тождественность Новой с GSC 4822.39 на паломарских снимках. Для фотометрического исследования звезды до вспышки мы использовали цифровые изображения области V838 Mon из цифрового обзора неба DSS и из архива станции во Флагстаффе Морской обсерватории США (USNO FS; http//ftp.nofs.navy.mil). По нашей просьбе оценки блеска V838 Mon до вспышки выполнил по фотографиям коллекций ГАИШ и Зоннебергской обсерватории С.Ю. Шугаров. По этим оценкам звезда была не переменной с 1928 по 1994 год. Ее блеск был $B = 15^m.81 \pm 0^m.06$, а показатель цвета $B-R = 1^m.1$. Отсюда нами установлено, что до вспышки V838 Mon была голубой звездой с показателем цвета $(B-V)_0 = -0^m.17 \pm 0^m.10$ (с учетом межзвездного покраснения). Распределение энергии в спектре в широком диапазоне от полосы B до полосы I хорошо представлялось распределением энергии звезды класса B3 главной последовательности. (Мы установили, что показатели цвета в полосах JHK из каталога 2MASS соответствуют нормальной звезде спектрального класса B3V с умеренным покраснением). В новой работе Кимсвенджер и Айрес (2006), однако, обнаружили ослабление блеска V838 Mon на $0^m.46$ в R в феврале 1998 г. за 4 года до вспышки, подтверждая наш вывод об отсутствии переменности в более ранний период.

Ранее считалось, что V838 Mon до вспышки была звездой класса F главной последовательности (Мунари и др., 2002в), или звездой F0III-II (Мунари и др., 2002б). Мы исправили эту ошибку, классифицировали звезду до вспышки и предложили гипотезу о ее предшественнице. В настоящее время наша точка зрения общепризнана в мировой литературе.

Спектральное исследование V838 Mon во вспышке изложено в работах (Барсукова и др., 2002б; Горанский и др., 2002б). На рис. 26 вертикальными линиями показаны даты получения спектров. Кривая блеска построена по наблюдениям Н.В. Метловой (Крымская станция ГАИШ МГУ), А.В. Кусакина (Тяньшаньская обсерватория, Казахстан), и нашим наблюдениям в САО. Использовались также опубликованные в VSNET (vsnet-campaign-v838mon) ПЗС-наблюдения ван Вийка (F.van Wyk), Веста (D.West), Кийоты (S.Kiyota), Корелли (P.Corelli), Краля (L.Kral), Лапассета (J.M.Llapasset), Ломоца (F.Lomoz), Оксанена (A.Oksanen), Пейчи (O.Pejcha), Смелцера (L.Smelcer), Соботки (P.Sobotka), Хендена (A.Henden), Хорноча (K. Hornoch), а также Кимсвенджера и Ледерле (2002а,б). Наблюдения выполнены на разных приборах и инструментах, привязаны к разным звездам сравнения и имеют значительные систематические различия. Мы привели все эти данные к одной системе наиболее точного и однородного крымского ряда Н.В.Метловой, внося в каждый независимый ряд поправки так, чтобы перекрывающиеся участки кривых блеска совместились наилучшим образом.

На кривых блеска и показателей цвета (рис. 26) можно выделить предмаксимальную стадию в январе 2002 г. (до JD 2452307.6). В это время показатель цвета $B - R = 2^m.9$ оказался значительно краснее, чем до вспышки ($B - R = 1^m.1$), причем со временем увеличивался. Подъем к главному максимуму начался между JD 2452307.6 и 2452308.2. Перед подъемом можно заметить ослабление блеска, подобно тому, как блеск слабеет перед выходом на поверхность ударной волны у пульсирующих переменных звезд типа RR Лиры. Как показали расчеты Кристи (1966), перед фронтом ударной волны происходит резкое сжатие газа, в результате которого его непрозрачность увеличивается, чем и вызвано ослабление блеска. Это объяснение по нашему мнению справедливо и для V838 Mon. После первичного подъема до 2452308.5 скорость увеличения блеска замедлилась, и в JD 2452312.0 (6 февраля 2002 г.) был достигнут

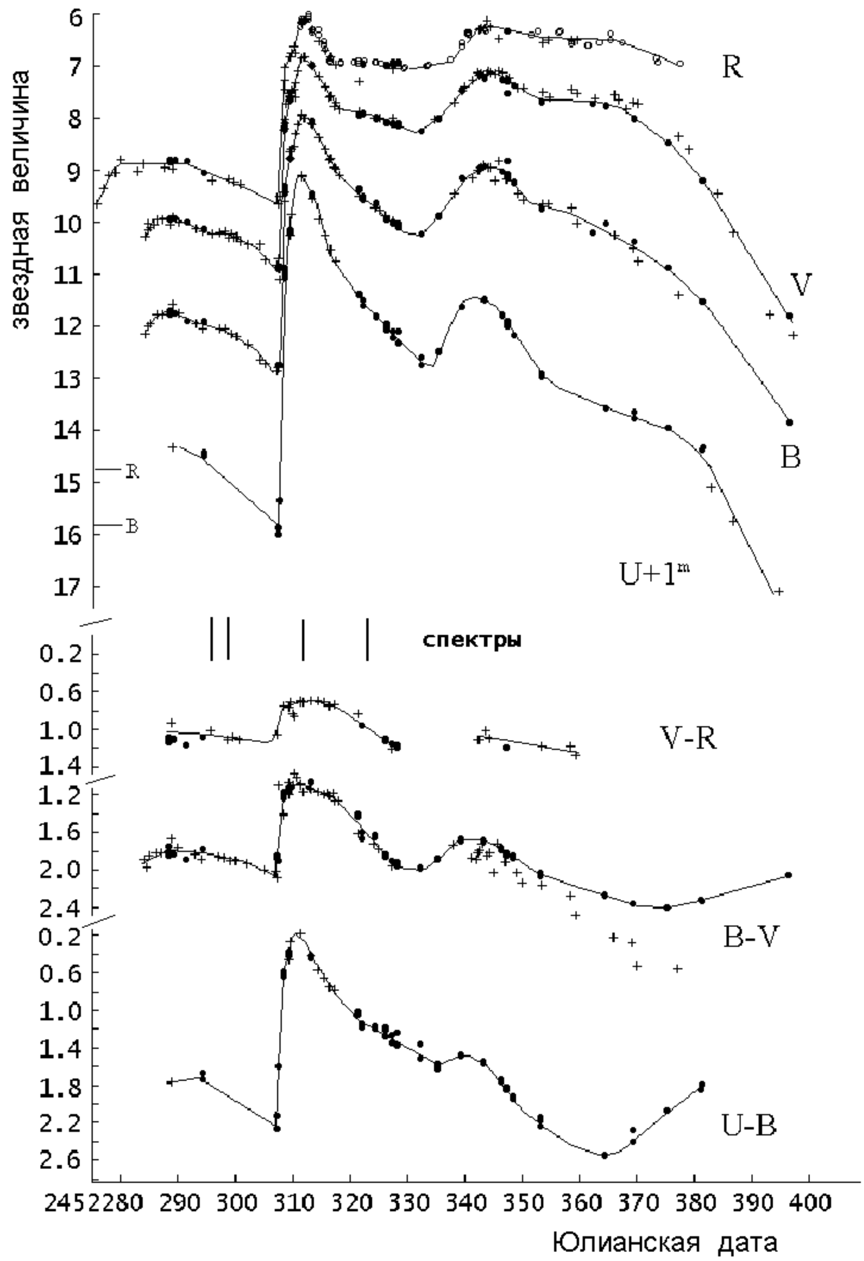

Рис. 26.

Кривая блеска и показателей цвета V838 Mon во вспышке в полосах системы $UBVR_J$. Черные точки – электрофотометрия (Н.В. Метлова и А.В. Кусакин), крестики – ПЗС-фотометрия (VSNET и наша); кружки – наблюдения с усилителем яркости (Горанский В.П.). На поздней стадии вспышки видно расхождение фотоэлектрических и ПЗС-наблюдений, которое связано с появлением светового эха в окрестностях звезды. В фотоэлектрических наблюдениях вклад эха в диафрагму не учитывался. Вертикальными линиями показаны даты получения спектров: 21.01, 23.01, 5.02 и 16.02 2002 г.

максимум в полосе V $6^m.7$. Амплитуда этого подъема к максимуму, считая от уровня предмаксимального состояния перед подъемом, сильно зависит от длины волны: $6^m.8U$, $5^m.0B$, $4^m.1V$ и $3^m.6R$. При этом полная амплитуда переменности, считая от уровня спокойного состояния до вспышки, составила в полосе B $7^m.87$ (пределы переменности $7^m.93 - 15^m.8$) и в полосе R $8^m.77$ ($6^m.12 - 14^m.89$). Звезда стала более голубой в максимуме вспышки ($B - R = 1^m.75$), но, тем не менее оставалась краснее, чем в спокойном состоянии ($B - R = 1^m.1$). Если по амплитуде вспышки звезду можно сравнить с классическими новыми, то поведение показателей цвета не характерно для новых.

После максимума 6 февраля наблюдалось постепенное ослабление блеска (кроме полосы R) и увеличение показателей цвета. Через 32 дня после главного наступил локальный максимум в JD 2452344, и с ним было связано новое уменьшение показателей цвета. В середине марта (JD 2452355) показатели цвета достигли столь же больших значений, как в предмаксимальной стадии. В полосе R наблюдается плоский максимум. Скорость падения блеска уменьшается с увеличением длины волны. Такое поведение свидетельствует об охлаждении расширяющейся оптически толстой оболочки звезды, при котором максимум распределения энергии постепенно смещается в длиноволновую сторону спектра.

Итак, в полосах $UBVR$ во вспышке видны два максимума (JD 2452312 и 2452344), которые мы объяснили выходом на поверхность звезды ударных волн. Они могли образоваться или в результате пульсационной неустойчивости в медленно расширяющейся оболочке сверхгиганта (как у FG Sge), или в результате отражения волны основного взрыва от ядра, если взрыв произошел в слоевом энергетическом источнике. Реттер и Маром (2003), однако, приводят другое объяснение этому явлению – поглощение расширяющимся сверхгигантом окружающих планет.

Спектральные наблюдения проводились на 1-м рефлекторе Цейсса со спектрографом UAGS Н.В. Борисовым по нашей просьбе. Список полученных спектров, диапазон длин волн и спектральное разрешение даются в таблице 7. Наблюдения обработаны автором диссертации по стандартной методике в среде MIDAS. После обработки все полученные спектры за ночь в выбранном диапазоне складывались.

Спектр звезды за 21 января в предмаксимальной стадии показан на рис. 27. По распределению энергии это спектр позднего класса K. В красной части спектра видна слабая абсорбционная линия H_α на нулевой скорости, сильная широкая линия дублета Na I D_1+D_2 и сильные линии Ba II на λ6500, 6137, 5851Å. В области спектра λ4800–5600 Å виден "лес" абсорбционных линий, которые местами подавляют излучение в непрерывном спектре.

Таблица 7. Спектральные наблюдения красных новых V838 Mon и V4332 Sgr в САО на БТА

Дата	JD hel. 24...	Диапазон (Å)	Разрешение (Å)	Прибор	Наблюдатели
V838 Mon					
2002.01.21	52296.458	5640–7300	5.0	UAGS	Б2
2002.01.21	52296.481	4100–5760	3.3	UAGS	Б2
2002.01.23	52298.451	4120–4930	2.2	UAGS	Б2
2002.01.23	52298.497	6190–7040	2.5	UAGS	Б2
2002.02.05	52311.287	6190–7040	2.2	UAGS	Б2
2002.02.05	52311.354	4100–4960	2.5	UAGS	Б2
2002.02.16	52322.313	6190–7040	2.3	UAGS	Б2
2004.02.18	53054.239	3800-5000	4.3	UAGS	П,Г,Б1
2004.02.18	53054.301	4870-6100	4.3	UAGS	П,Г,Б1
2004.02.18	53054.330	5720-6950	4.3	UAGS	П,Г,Б1
2004.11.18	53328.426	3970-5730	4.6	SCORPIO	Б1,Б2,Г
2005.01.15	53385.402	5580-6960	4.5	MPFS	А,Ф
2005.12.11	53715.544	3880-5600	4.6	SCORPIO	А,Ф
V4332 Sgr					
2005.06.08	53530.486	3880-5600	4.6	SCORPIO	Б1,Б2,Г,Ф
2005.06.09	53531.489	3880-5600	4.6	SCORPIO	Б1,Б2,Г,Ф

Наблюдатели:

А – Аболмасов П.К.; Б1 – Барсукова Е.А.; Б2 – Борисов Н.В.; Г – Горанский В.П.;

П – Прамский А.Г.; Ф – Фабрика С.Н.

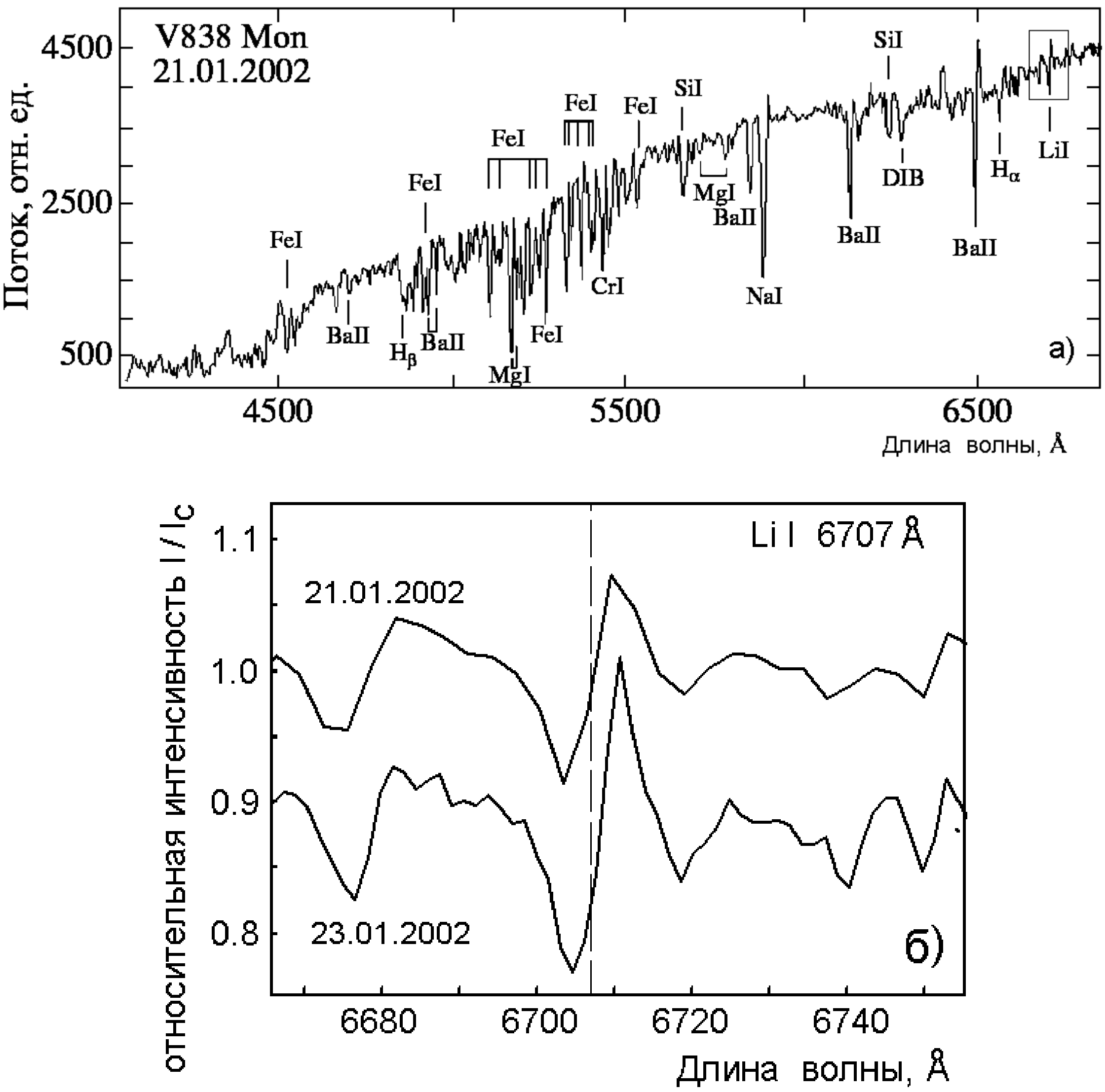

Рис. 27 а,б.

а) Спектр V838 Mon в предмаксимальной стадии и идентификация самых сильных линий. Прямоугольником выделен фрагмент спектра в районе линии Li I. б) Увеличенный фрагмент спектра V838 Mon с сильной линией Li I λ6707Å в спектрах, полученных в январе 2002 г.

Для того, чтобы проверить присутствие в спектре элементов s-процесса, спектр V838 Mon сравнивался со спектрами бариевых звезд по работам Байдельмана и Кинана (1951), Зача (1989а,б, 1990), Смита и др. (1984). В спектрах бариевых звезд линии элементов s-процесса Ba, Y, Zr, La, Ce, Pr, Nd и Sm оказываются насыщенными по сравнению с элементами группы железа (Байдельман и Кинан, 1951). Согласно МакКлуру (1983), элементы ядерного синтеза попадают в оболочки бариевых звезд в процессе прохождения компонентом двойной системы стадии AGB и переноса вещества в системе. Две известные звезды FG Sge и V4334 Sgr (объект Сакураи) испытали слоевые гелиевые вспышки в пост-AGB стадиях, и у них наблюдалось появление линий элементов s-процесса в спектре в результате перемешивания вещества в оболочках в результате вспышек. Поэтому мы еще сравнили спектры V838 Mon со спектрами FG Sge (Аккер и др., 1982).

Как оказалось, спектр V838 Mon имеет мало общего как с бариевыми звездами, так и с FG Sge и V4334 Sgr. Удается подтвердить только линии Ba и иногда Zr.

Далее, мы сравнили спектр V838 Mon со спектром нормальной звезды K0V HD 23524 (из базы данных Якоби и др., 1984). Обнаружилось, что спектры хорошо коррелируют между собой. На рис. 28 показана кросс-корреляционная функция между спектрами HD 23524 и V838 Mon. Для того, чтобы использовать весь спектр в большом диапазоне λ4100–6300Å, мы перевели шкалу длин волн в шкалу натуральных логарифмов. Действительно, из формулы эффекта Доплера $dv/c = d\lambda/\lambda = d(ln\lambda)$ следует $dv = c\ d(ln\lambda)$. На рисунке аргументом кросс-корреляционной функции представлена лучевая скорость. (Спектр за пределом λ 6300Å не

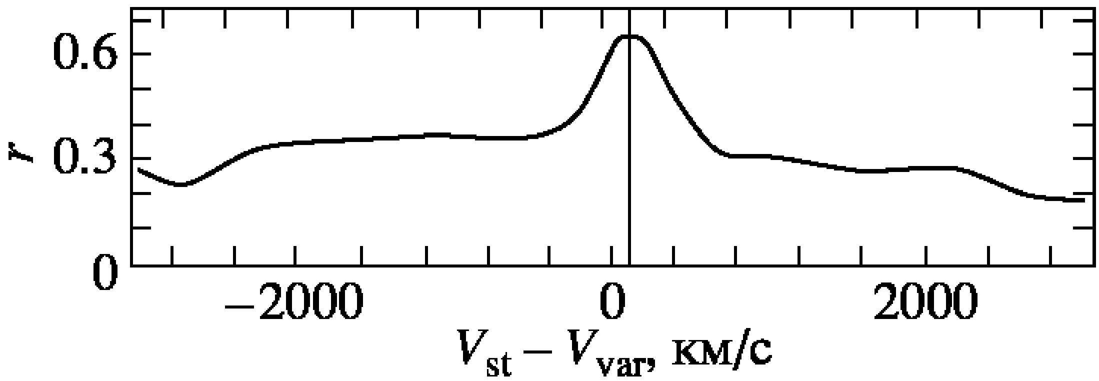

Рис. 28.

Кросс-корреляционная функция между спектром V838 Mon и спектром звезды класса K0V HD 23524.

рассматривался, так как там доминируют полосы поглощения земной атмосферы). Коэффициент корреляции оказался большим, 0.68. Причем сдвиг максимума функции (с учетом лучевой скорости HD 23524) соответствует скорости абсорбционного спектра ≈ –150 км/с. (Точность наших лучевых скоростей 20-30 км/с). И, наконец, последний тест – зависимость между эквивалентными ширинами одинаковых линий двух звезд показывает, что в обоих спектрах видны те же линии, только *линии в спектре V838 Mon интенсивнее в 3-4 раза*.

Очевидно, что столь необычный спектр с сильными линиями формируется в довольно плотной протяженной атмосфере над фотосферой звезды или в окружающей расширяющейся туманности. Наличие такой среды подтверждается инфракрасными наблюдениями. Важно то, что фотосферный спектр V838 Mon в предмаксимальной стадии состоит из тех же абсорбционных линий и с тем же соотношением эквивалентных ширин, что и спектр нормальной звезды класса K0V HD 23524, и это свидетельствует о нормальном содержании элементов в фотосфере V838 Mon, близком к солнечному, хотя ее линии и усилены в 3–4 раза по сравнению со спектрами звезд того же спектрального класса. Мы классифицируем этот спектр как K0I. Этот вывод, впервые сделанный в наших работах (Барсукова и др., 2002б; Горанский и др., 2002б) затем был количественно подтвержден анализом содержания элементов по высокодисперсным спектрам Киппером и др. (2004). Хотя в последней работе отмечается некоторое избыточное содержание элементов Li, Ba и La.

Принимая скорость –150 км/с, мы надежно идентифицировали сильную линию λ6500Å как Ba II λ6496.9Å. Отождествление этой линии с Ca I (Цвиттер и Мунари, 2002) маловероятно, так как нет никаких следов более интенсивной линии Ca I λ 6717Å, которая хорошо наблюдается у звезд спектрального класса K. Более того, на той же лучевой скорости наблюдаются и другие более слабые линии Ba II: мы надежно отождествили линии λ6769.6 (с профилем типа P Cyg), дублет 6135.8/6141.7, 5853.7, 5784.2, 4957.2, 4934.1, 4554.0, 4216.0, 4130.0 Å. Линия λ6500 Å может иметь компонент Fe I 6495.0Å, который расширит ее профиль, но отождествление линии железа с этой деталью определяет скорость только –50 км/с. Отметим, что довольно сильные линии Ba наблюдаются и в спектре Солнца.

В спектрах, полученных 21 и 23 января, самые сильные линии отождествляются с нейтральными атомами Mg I, Na I, Fe I, Ti I, Ca I, Cr I и Si I (рис. 27 а). Самое интересное отождествление, которое было не замечено другими исследователями, – линия Li I λ6707Å с P Cyg-профилем (рис. 27 б). Присутствие Li подтверждается и другой, слабой линией Li I λ 6103.6Å. И это очень важный аргумент в пользу того, что V838 Mon является молодой звездой, который впервые был отмечен в нашей ранней работе (Барсукова и др., 2002б). В настоящее время есть и другие косвенные свидетельства молодости звезды, которые далее будут обсуждаться.

Лаулор (2005) считает, что во вспышке произошел кратковременный "тепловой импульс". После этого звезда начала охлаждаться без центрального энергетического источника, расширяясь в окружающее пространство. Появление линии Li I в фотосфере может быть связано с актом быстрого перемешивания в медленно расширяющейся оболочке V838 Mon, при котором промежуточные продукты нуклеосинтеза попали на поверхность. Камерон и Фаулер (1971) предсказали механизм появления лития в звездных фотосферах на поздних стадиях эволюции, когда во время вспышки гелиевого слоевого источника происходит перемешивание всех расположенных выше слоев звезды, вплоть до внешних слоев оболочки.

Асплунд и др. (1997) отмечают, что литий может образовываться в области звезды, где горение водорода только началось, но ранее эта область не подвергалась воздействию температуры, при которой происходит горение водорода. Условие Асплунда и др. выполняется как в одиночных звездах, так и в двойных системах в результате аккреции богатого водородом вещества на поверхность белого карлика в катаклизмических системах и при вспышках новых звезд. Очевидно, продукты нуклеосинтеза, и литий тоже, должны присутствовать в выброшенных оболочках у всех новых. Но в данном случае линия Li I наблюдается только из-за низкой температуры фотосферы. В других случаях этот атом ионизован и его линии не наблюдаются. Поэтому в наших первых работах также обсуждалось предположение, что красные новые – предельно медленные классические новые, которые из-за малой скорости разлета оболочки удерживают ее силой тяжести, и потому не проходят через небулярную стадию. Оказалось, подобная модель тогда уже была построена Ибеном и Тутуковым (1992) для объяснения феномена красной новой в M31. Ими рассматривалась вспышка водорода в оболочке очень холодного маломассивного вырожденного карлика, аккрецирующего вещество с близкого маломассивного компонента, заполняющего свою полость Роша. Это была модель катаклизмической системы с орбитальным периодом в пределах 80 - 120 минут. Однако наши последние более глубокие исследования не свидетельствуют в пользу модели катаклизмической системы.

В спектрах, полученных 5 февраля за сутки до максимума, видна сильная эмиссия H_α, имеющая широкие крылья, полная ширина на уровне континуума $FWZI = 3100$ км/с (рис. 29а). Профиль эмиссии состоит из узкого компонента с полушириной $FWHM = 340$ км/с и широкого компонента с $FWHM \approx 1400$ км/с. В профиле виден также абсорбционный компонент на скорости –300 км/с. Крылья такой же ширины прослеживаются в линии H_β, на эти крылья накладываются сильные линии Cr II и Ti II с профилями P Cyg (рис. 29б). Моррисон (2002) объясняет эти крылья рассеянием квантов H_α на электронах. В спектре вспышки произошли значительные изменения, отражающие повышение уровня возбуждения газа. Появились многочисленные линии тех же элементов, что наблюдались в предмаксимальной стадии, но уже не нейтральных атомов, а однократно ионизованных, с ярко выраженными профилями типа P Cyg. Эмиссионные компоненты профилей усилились. Появились линии He I. В красной части спектра, наконец, появилась Ca I λ 6717Å, а линия Li I λ 6707Å исчезла. В это время самая сильная в красной части спектра линия Ba II 6496.9Å уже едва намечается. Скорости абсорбционных компонентов профилей P Cyg достигли $-180 \div -200$ км/с.

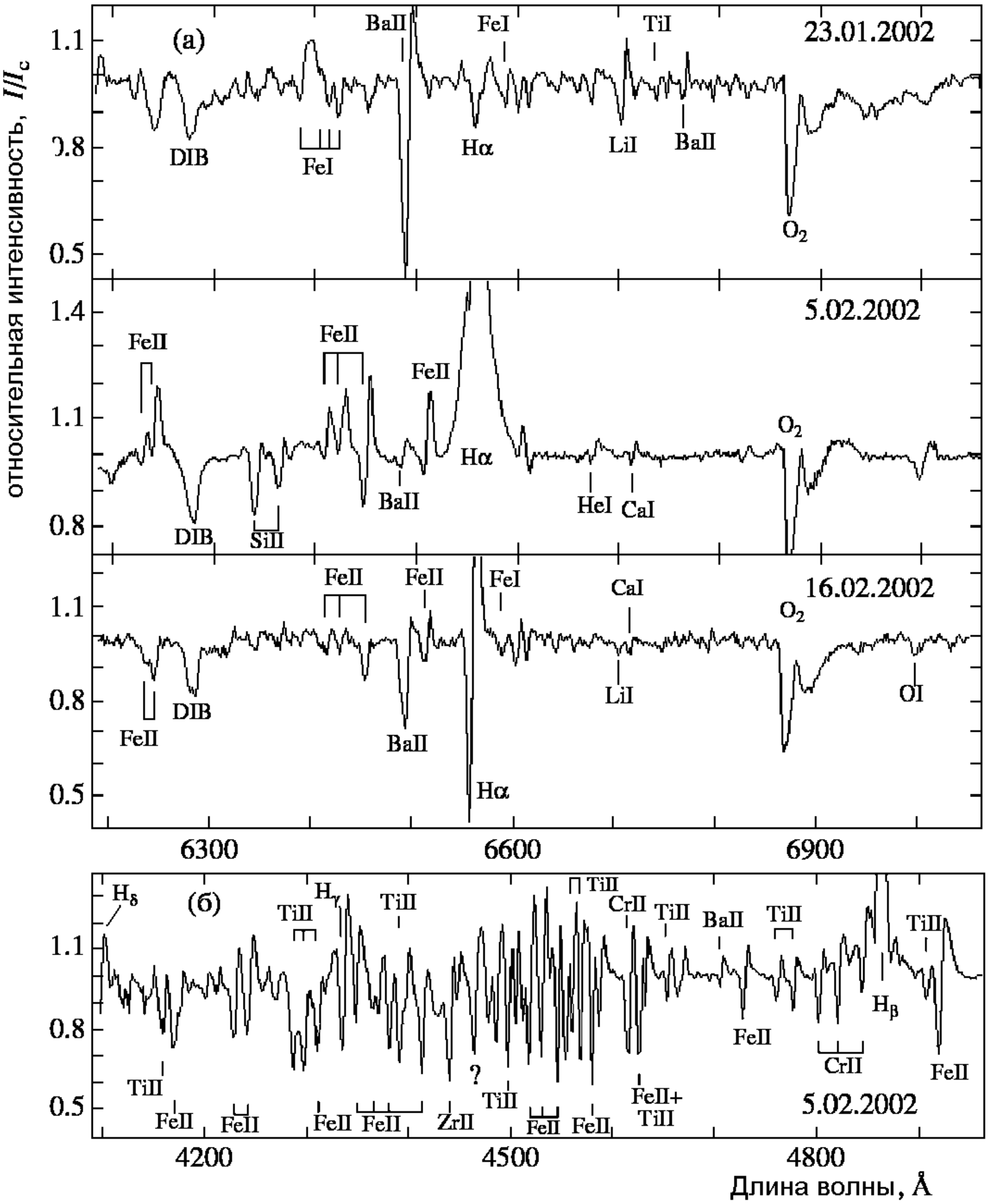

Рис. 29.

а) Сравнение спектров в районе линии H_α в предмаксимальной стадии 23 января, за день перед максимумом вспышки 5 февраля и на спаде вспышки 16 февраля. б) Спектр V838 Mon за день до максимума в районе линии H_β.

Как уже отмечалось, мы объясняем эти изменения выходом на поверхность ударной волны, который сопровождался повышением температуры и увеличением степени ионизации окружающего вещества.

В красном спектре, полученном 16 февраля на спаде вспышки, H_α имеет P Cyg-профиль без высокоскоростных крыльев. Эмиссионный компонент имеет $FWHM = 265$ км/с, его средняя скорость $v_r = +110$ км/с. Абсорбционный компонент в минимуме интенсивности показывает $v_r = -220$ км/с. В спектре все еще видны глубокие абсорбции Fe II, Si II, Ti II, но появились те же линии Ba II и пока еще слабые абсорбции нейтральных атомов Fe I. Снова видна слабая линия Li I λ 6707Å. Ca I λ 6717Å еще присутствует. В Интернете мы нашли спектр звезды, полученный позднее, 10 марта (C. Buil; http://www.astrosurf.com/buil/us/nmon/nmon.htm). Скорости расширения фотосферы в это время уменьшились до 60–70 км/с. В этом спектре, содержащем большое количество линий поглощения, мы отождествили одновременно две системы абсорбционных линий тех же элементов, нейтральных и однократно ионизованных, что свидетельствует о стратификации оболочки.

Во всех спектрах только одна деталь λ 6282Å выглядит неизменной, ее эквивалентная ширина равна 2.78 ± 0.05Å. Она отождествляется с диффузной межзвездной полосой.

2. Спектроскопия V838 Mon после вспышки

Кривые блеска V838 Mon после вспышки в полосах оптического и ближнего ИК диапазона, построенные по нашим и собранным в научной литературе данным (Краузе и др., 2003, 2005; отдельные наблюдения У. Мунари и А. Хендена опубликованные в циркулярах МАС) показаны на рис. 30. Наши наблюдения проводились на 1-м телескопе Цейсса САО и на 60-см телескопе Цейсса Крымской станции ГАИШ МГУ с различными ПЗС-приемниками. Наблюдения в полосе I_C системы Козинса, показанные на рисунке, сделаны в САО, в полосе R_J системы Джонсона – на Крымской станции ГАИШ. Как видно, блеск звезды в полосе B упал ниже

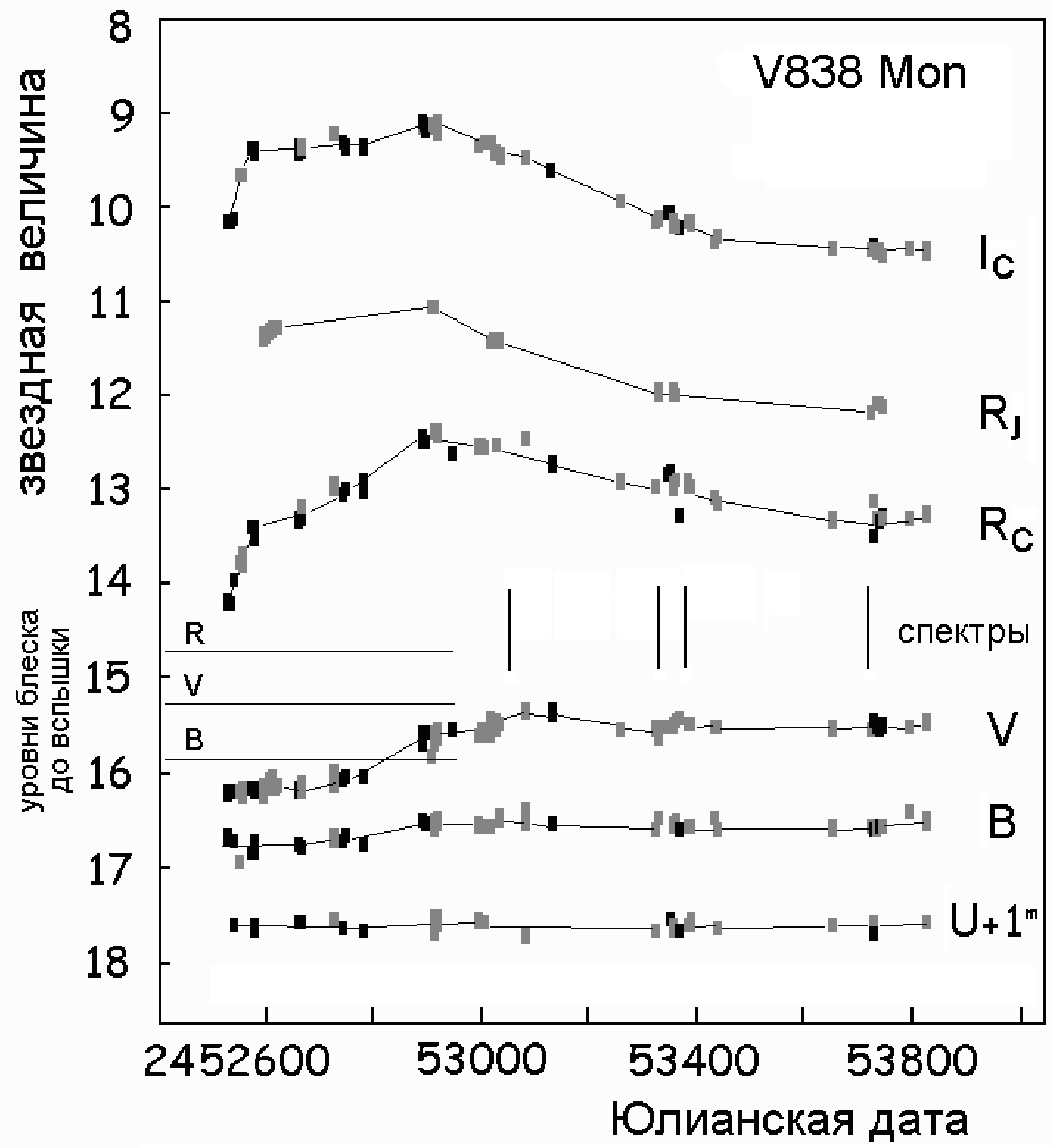

Рис. 30.

Кривые блеска пекулярной красной новой V838 Mon в лучах UBV RcRjIc после большой вспышки 2002 г., которые показывают повторное поярчание во всех фильтрах (кроме U). Вертикальными линиями показаны моменты получения спектров на БТА. Горизонтальные линии справа – уровни блеска в фильтрах B и R до вспышки.

уровня, наблюдавшегося до вспышки, и по прошествии 3 лет не превысил этот уровень. В более длиноволновых фильтрах блеск после локального минимума снова пошел вверх, достиг локального максимума и теперь снова уменьшается. Как и у CI Cam, наблюдается повторное поярчание звезды после основной вспышки, природа которого, конечно, иная, и мы будем ее обсуждать далее. Нужно отметить, что в ИК лучах объект остается очень ярким, и в этом диапазоне в полосах системы JHK в 2003–2005 г. его блеск оставался сравнимым с блеском в максимуме 2002 г. Так что некоторые исследователи считают, что вспышка V838 Mon еще продолжается.

Звезда после вспышки имеет составной спектр, состоящий из компонента класса B3V (Мунари и др., 2002б) и экстремально холодного и единственного в своем роде "коричневого" сверхгиганта класса L (sgL) с температурой поверхности 1200^oK (Эванс и др., 2003) (хотя коричневые карлики класса L уже давно известны). Именно компонент B3V виден во время вспышки в далеком ультрафиолетовом (УФ) диапазоне в спектре, полученном на телескопе Хаббл (Раух и др., 2002; авторы этой статьи считали, что это спектр белого карлика). В оптическом спектре холодного сверхгиганта видны полосы поглощения молекул TiO, AlO, VO. Это означает, что звезда относится к ветви кислородных звезд, а значит, имеет нормальное содержание элементов. В инфракрасных лучах у V838 Mon также обнаружены молекулярные полосы AlO в поглощении (Линч и др., 2004). Кроме AlO в ИК спектре V838 Mon в диапазоне 0.8–13 μm в этой же работе отождествлены полосы молекул H_2O, CO, TiO, SiO, SO_2, OH, VO и SH в поглощении.

Формирование спектров холодных звезд уже изучено в астрофизике. Холодные звезды делятся на две ветви – кислородные и углеродные, и это разделение зависит от относительного содержания углерода и кислорода. При понижении температур в оболочках звезд углерод соединяется с кислородом, образуя молекулы CO. В случае избытка углерода оставшиеся атомы соединяются в молекулы C_2 и формируют крупные частицы пыли (сажи). Поглощение углеродной пылью во многом определяет форму кривых блеска пост-AGB звезд – звезд в стадии после асимптотической ветви гигантов – во вспышках (примеры FG Sge, V4334 Sgr – объект Сакураи, V605 Aql). На последних стадиях вспышек этих звезд при понижении температуры фотосфер появляются резкие спады блеска, связанные с выбросами в фотосферу углеродных частиц. У пост-AGB звезд на поздних стадиях их вспышек в спектрах появлялись линии элементов s-процесса, что характерно для звезд в поздних стадиях эволюции при перемешивании и попадании в фотосферу продуктов нуклеосинтеза. На кривых блеска V838 Mon и V4332 Sgr не наблюдалось резких спадов, связанных с углеродной пылью. В случае избытка кислорода остаточный кислород после образования CO соединяется с металлами, образуя окислы металлов, полосы которых доминируют в спектрах, что и наблюдается в спектрах пекулярных красных новых.

Важным выводом нашего и последующих спектроскопических исследований является то, что остатки вспышек пекулярных красных новых относятся к кислородной ветви холодных звезд. Это подтверждает выводы о нормальном, близком к солнечному, содержании элементов в веществе, выброшенном при взрыве – вывод, сделанный в наших первых исследованиях.

Целью нашего исследования было получить спектры остатков красных новых в синем диапазоне, где влияние излучения холодных компонентов минимально, где можно обнаружить следы взаимодействия компонентов в двойных системах: эмиссии от газовых потоков, аккреционных дисков или от прогрева поверхности холодных звезд излучением горячих компонентов. Именно в коротковолновой области спектра имеет смысл искать и изучать следы спектров горячих компонентов звездных систем. В полосе B V838 Mon имеет блеск $16^m.5$, а V4332 Sgr $19^m.6$. Для таких слабых звезд получить спектры в синей области нужного качества можно только на больших телескопах.

Первые наблюдения V838 Mon на БТА были проведены 18 февраля 2004 г. в ночь с плохими погодными условиями и качеством изображений $4''.5$. Использовался спектрограф UAGS с длинной щелью шириной

$1''$, дисперсия 1.22 Å/pxl, спектральное разрешение 4.2Å. Спектры получены в трех диапазонах (см. табл. 7, стр. 104): с накоплением 60^m в синем диапазоне, 40^m в желтом и 20^m в красном. Отношение сигнал/шум (S/N) в континууме звезды составило 5 на 4000Å, 12 на 5500Å и 10 на 6300Å. В синей области спектра мы усреднили спектр методом "скользящего среднего", чтобы увеличить соотношение S/N за счет уменьшения спектрального разрешения. Интервал усреднения был переменным в пределах 20–8Å, так что на 4000Å было достигнуто соотношение S/N = 20, и это позволило отождествить более слабые линии в спектре голубого компонента. Яркие детали звезды sgL в желтой и красной части спектра наблюдались при S/N = 40–100. В районе 6880Å расположена сильная полоса поглощения O_2 земной атмосферы. Для того, чтобы компенсировать это поглощение в спектре V838 Mon, мы поймали в щель спектрографа вместе с объектом исследования одну из близких звезд, для которой у нас имеются точные фотометрические калибровки, и использовали ее спектр как спектр сравнения. Таким образом, мы получили абсолютную привязку для наших спектров. Как показала проверка фотометрическим методом, ошибки такой привязки могут доходить до 50%. Особенно велики они при хороших изображениях, так как невозможно совместить центры двух изображений с тонкой щелью с необходимой точностью и удержать их на щели все время экспозиции.

18 ноября 2004 г. мы повторили наблюдения V838 Mon на БТА. В эту ночь погодные условия были не лучше: качество изображений $4''$ и боковой ветер, который временами раскачивал телескоп. Использовался спектрограф SCORPIO с гризмой VPHG1200g, в моде с длинной щелью шириной $1''$. Дисперсия 0.87Å/pxl, спектральное разрешение 4.6Å. Накопление было 40^m, при этом достигнуто отношение S/N = 15 на 4000Å и 30 на 5500Å. Преимущество получено за счет большей прозрачности оптики спектрографа SCORPIO в коротковолновой области и отсутствия виньетирования. Спектр также был сглажен методом "скользящего среднего" с интервалом 4Å уже без ухудшения спектрального разрешения.

15 января и 11 декабря 2005 г. дополнительные спектры на БТА были

получены для нас С.Н. Фабрикой и П.К. Аболмасовым с использованием спектрографов MPFS и SCORPIO. Эти спектры охватывают красный и синий диапазон (см. табл. 7, стр. 104) и имеют то же спектральное разрешение и высокое отношение сигнал/шум.

Обработка спектральных наблюдений UAGS и SCORPIO выполнена автором диссертации в пакете MIDAS по стандартной методике, разработанной в Южной европейской обсерватории (ESO). Спектры, полученные на MPFS обработаны П.А. Аболмасовым. Результаты наблюдений публикуются в работах Барсуковой и др. (2006б), Горанского и Барсуковой (2006б).

В нашем спектре V838 Mon, полученном 18 ноября 2004 г. в синей области (рис. 31 а), виден континуум звезды класса B3V, открытой Мунари и др. (2002б), с линиями поглощения водорода (H_β, H_γ, H_δ, видно красное крыло H_ϵ). Видны слабые линии поглощения He I. Лучевая скорость звезды класса B3V составляет –10±20 км/с. Мы проверили спектральную классификацию по линиям водорода, интенсивность и ширина которых показывают сильную зависимость от спектрального класса и класса

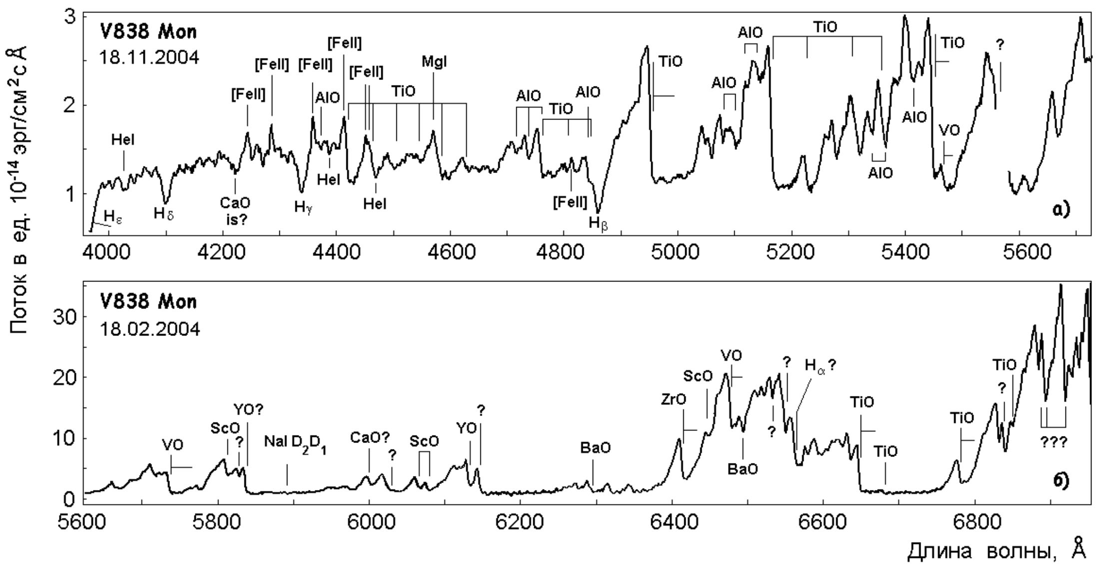

Рис. 31 а,б.

Спектр V838 Mon в спокойном состоянии после вспышки и отождествление линий и молекулярных полос. (а) Диапазон λ3970–5730Å (SCORPIO). (б) Диапазон λ5610–6950Å (UAGS).

светимости. Использованы три параметра: эквивалентная ширина линии (EW), полуширина (FWHM) и полная ширина (FWZI). Эти параметры были определены для 15 звезд в интервале спектральных классов O9–A5V для трех линий, H_β, H_γ и H_δ по спектрам из базы данных Якоби и др. (1984), в которой спектральное разрешение совпадает с нашим. Мы получили для компонента V838 Mon класс B2V–B3V по эквивалентным ширинам, класс B8V–A0V по ширинам FWHM и класс B5V–B7V по ширинам FWZI. Зависимость средней эквивалентной ширины по трем линиям от спектрального класса имеет наименьший разброс (им можно объяснить использование именно этого параметра при классификации B-звезд). Мы считаем значение спектрального класса B3V вполне приемлемым. Однако малый разброс зависимости может быть связан с тем, что звезды из базы данных классифицированы также по эквивалентным ширинам и по тем же спектрограммам. Возможно, что более поздние спектральные классы, определяемые по полуширине и полной ширине линий, связаны с пониженной светимостью компонента B3V.

На фоне континуума голубой звезды видны эмиссионные полосы, похожие на те, которые наблюдаются в спектрах комет (рис. 31а,б на стр.116). Это абсорбционный молекулярный спектр звезды sgL – остатка взрыва 2002 г. Яркие широкие детали это излучение сверхгиганта, которое видно в просветы между полосами молекулярного поглощения. В самых сильных полосах поглощение достигает 100%, так что там виден, в основном, чистый континуум голубого компонента. Список абсорбционных и эмиссионных деталей в спектре V838 Mon дается в табл. 8. В спектрах 18 февраля (рис. 31 б) и 18 ноября 2004 г. (рис. 31 а) мы надежно отождествили полосы окиси титана TiO с кантами на длинах волн λ4421, 4584, 4762/4763, 4955, 5167, 5308, 5359, 5448/5451, 6652, 6782, 6815, 6850Å и окиси ванадия VO с кантами на λ5469, 5737 и 6478Å. Характерно, что в кантах сильнейших полос TiO видны эмиссионные детали, похожие на эмиссионные линии (это явление еще не отмечалось в других работах и открыто в нашей работе). Одно из объяснений этого явления состоит в том, что в фотосфере холодного компонента работает известный эффект

Таблица 8. Отождествление линий атомов и молекулярных полос в спектре V838 Mon.

λ(набл.) Å	EW Å	FWHM Å	Элем.	Vr км/с	Молек.	Vr км/с	Примечание
3970	-	-	H_ϵ				B
4028.8	1.7	12.8	He I	-			B,б.
4101.7	4.5	14.4	H_δ	-10			B
4223	1.8	-	Ca I	-	CaO		PG,межзв.?
4244.7	-1.1	9	[Fe II]	0			взаим.
4286.1	-1.2	6.0	[Fe II]	0			взаим.
4340.1	5.2	15.8	H_γ	-10			B
4360.0	-1.2	5.0	[Fe II]	0			взаим.
4373.9	0.3	0.3			AlO	-10	взаим.?
4389.0	0.4	6.3	HeI	40			B
4414.1	-1.7	-7.9	[Fe II]	0	(TiO)	(-650)	взаим.
4423.6	6	27					взаим.
4452.8	-0.8	12	[Fe II]	0	(TiO)	(-650)	взаим.,б.
4462.0	2.7	18			TiO		
4471.9	-	-	He I				б.
4503	2.6	20			TiO		
4550	0.6	10:			TiO		
4571	-3.3	16	Mg I	0			интеркомбин.
4584.0	4.1	30			TiO		PG,абс.
4716	0.25	5			AlO		
4735.4	1.7	11.7			AlO		
4753	-2.6	10.6			TiO	-600	
4758	1.8	11.6			AlO		
4761		80			TiO		PG
4814	-0.7		[Fe II]	0			взаим.
4841					TiO+AlO		PG,абс.***
4861	4	16.4	H_β	-10			
4946	-4	15			TiO	-750:	*** б?
4952	55	150			TiO		PG
5080	0.5	5.5			AlO		PG
5102	0.25	3.5			AlO		PG
5123	0.2	4.5			AlO		
5143	0.25	6.6			AlO		
5159.4	-0.8	5.8			TiO	-500	***
5165	30:	>60			TiO		PG
5227	6.6	25			TiO		
5276	4.4	15			?		
5316	2.8	13			TiO		б?
5338	1.6	10			AlO		***
5359	4.2	14			AlO		
5401.5	-3.6	11			?		
5410.0	1.0	11			AlO		PG
5440.0	-1.9	9.4			TiO	-540	***

Таблица 8. Окончание.

λ(набл.) Å	EW Å	FWHM Å	Элем.	Vr км/с	Молек.	Vr км/с	Примечание
5447		72			TiO		PG,абс.
5469	4.3	20			VO		PG
5561		95			?		абс.
5736	33	49			VO		PG
5811	2.5	12			ScO		PG
5827	0.9	4.6			?		
5837		150			YO?		
5891.2	0.7	2.8	Na I D_2	80			межзв.
5896.9	0.2	2	Na I D_1	65			межзв.
6003	3.4	10			CaO?		PG
6023	20	30			?		
6065	3.8	10			ScO		PG
6079	5.7	13			ScO		PG
6130	4.5	9			YO		PG
6146		250			?		абс.,М-звезды
6292	10	19			BaO+ZrO		PG
6413	15	23			ZrO		PG
6446					ScO		PG
6477	10	26			VO		
6494.7	0.9	3.9			BaO		PG
6532.1	0.7	3.6			?		
6548	1.4	5			?		
6564	5	12.4	H_α?		?		б.В
6634	1.6	6.6			?		
6648		127			TiO		PG
6780	13	23			TiO		PG
6831	1.3	3.9			TiO		
6839	6	2.1			?		
6884	1.2	4.4			?		
6891	5	14			?		
6918	10	23			?		М-звезды

Примечание:

абс. – абсорбция; *б.* – бленда; *B* – принадлежит компоненту B3V; *взаим.* – подтверждает взаимодействие компонентов в системе; *интеркомбин.* – интеркомбинационная линия; *М-звезды* - встречается в спектрах М-звезд; *межзв.* – межзвездного происхождения; *PG* – в таблице кантов устойчивых полос в [110]; *** – есть также в спектре V4332 Sgr.

блокировки излучения молекулярными полосами большой оптической толщи (покровный эффект или бланкетинг-эффект), так что задерживаемое в молекулярных полосах излучение в конечном счете выходит в узкие "просветы" между полосами и усиливает яркость этих просветов. Поэтому "просветы" имеют форму резко выраженных эмиссий, и не прослеживается уровень "нормального" континуума холодной звезды.

Второе объяснение может быть в том, что это – излучение холодного разреженного молекулярного газа в эмиссионных линиях, наблюдающееся, как мы далее покажем, у V4332 Sgr. Скорость истечения газа, измеренная по этим эмиссиям у V838 Mon, равна –600 км/с. Максимальные скорости расширения оболочки во вспышке, определенные по абсорбционным компонентам в линиях металлов, составляли –220 км/с, в линиях водорода –300 км/с, что в 2–3 раза меньше. Вторая гипотеза требует объяснения причины ускорения истечения газа после вспышки.

Интересной деталью синего диапазона спектра является полоса поглощения TiO на $\lambda 4421$Å с эмиссионным компонентом на $\lambda 4414$Å. В этом диапазоне излучение холодной звезды незначительно. Хорошо заметно, что полоса TiO перекрывает непрерывный спектр горячей звезды. Если это поглощение молекулярным газом, выброшенным при вспышке 2002 г. и расположенным на луче зрения, то это свидетельствует о принадлежности горячей звезды к двойной системе. Эмиссия $\lambda 4414$Å, однако, имеет другую природу (см. далее). Соседняя полоса TiO на $\lambda 4462$Å также, но в меньшей степени поглощает в континууме B-звезды. На фоне горячего континуума видна еще широкая абсорбционная полоса на $\lambda 4223$Å, которая согласно (согласно с Пирсом и Гейдоном, 1949) отождествлена нами с CaO. На краю этой полосы может наблюдаться резонансная линия CaI $\lambda 4227$Å, которая, однако, не встречается в спектрах горячих звезд. Эта полоса может иметь межзвездное происхождение. Другой интересной линией является эмиссия на $\lambda 4571$Å. Это может быть интеркомбинационная эмиссия Mg I $\lambda 4571.10$Å на нулевой скорости. Эта линия наблюдалась в спектре V4332 Sgr сразу после вспышки (Мартини и др., 1999), и наблюдается у V4332 Sgr в настоящее время (см. далее). По описанию Меррила (1959) эта линия наблюдается у астрофизических объектов только в эмиссии, и формируется только в больших объемах газа малой плотности. Возможно, эмиссия Mg I формируется в околозвездной среде и не связана с выбросом газа при вспышке.

В ИК диапазоне 0.8–1.3 μm отмечены слабые полосы поглощения окиси алюминия AlO. В наших спектрах в синем и желтом спектральном диапазонах эта молекула также хорошо представлена многочисленными абсорбционными деталями (см. табл. 8). В ИК диапазоне наблюдаются абсорбции H_2O, SiO, SO_2, OH, SH (Линч и др., 2004). Мы не обнаружили следов этих молекул в оптическом диапазоне. С другой стороны, мы отождествили абсорбционные полосы BaO λ6291.0 и 6493.1Å, YO λ6132.1Å, ScO λ5809.9, 6064.3, 6079.3, 6446.2Å, ZrO λ 6412.3Å. Линии металлов, окислы которых мы видим в полосах поглощения, были отождествлены в спектре вспышки. Между тем, некоторые молекулярные полосы мы пока не смогли отождествить, причем среди них есть весьма сильные (отмечены знаком "!"): λ5276, 5561!, 5827, 5839!!(YO?), 6003 (CaO?), 6023!, 6146!!, 6533, 6548, 6634, 6839, 6884, 6891, 6918Å!. Следует отметить, что полосы λ6146 и 6918Å наблюдаются и у обычных звезд класса M.

Итак, в результате вспышки 2002 г. в системе V838 Mon образовался холодный сверхгигант кислородной ветви. Фотометрическая кривая блеска V838 Mon (рис. 30), как отмечалось в нашей работе (Горанский и др., 2004а), состоит из основной вспышки, продолжавшейся с января по май 2002 г., и повторной вспышки – повышения блеска во всех фотометрических полосах (кроме полосы U), с амплитудами, наибольшими в ИК лучах. По предположению Лаулора (2005) в основной вспышке V838 Mon наблюдался кратковременный "тепловой импульс", после которого звезда начала охлаждаться, расширяясь в окружающее пространство. Можно предположить, что повторная вспышка V838 Mon связана с выделением энергии химических реакций соединения углерода и металлов с кислородом (что в обиходе называется пожаром).

Важной особенностью спектра V838 Mon после вспышки является полное отсутствие эмиссионных линий водорода, гелия и железа (FeI + FeII), которые в большом количестве наблюдались после вспышки в спектре V4332 Sgr (Мартини и др., 1999).

В синем спектре V838 Mon 18 ноября 2004 г. (рис. 32), полученном на спектрографе SCORPIO, видны слабые эмиссии, которые не были видны в февральском спектре с низким отношением S/N, полученном на спектрографе UAGS. Потому эти наблюдения требовали подтверждения. В декабре 2005 г. мы получили еще один спектр на БТА и обнаружили, что интенсивности этих эмиссий увеличились в 2–3 раза.

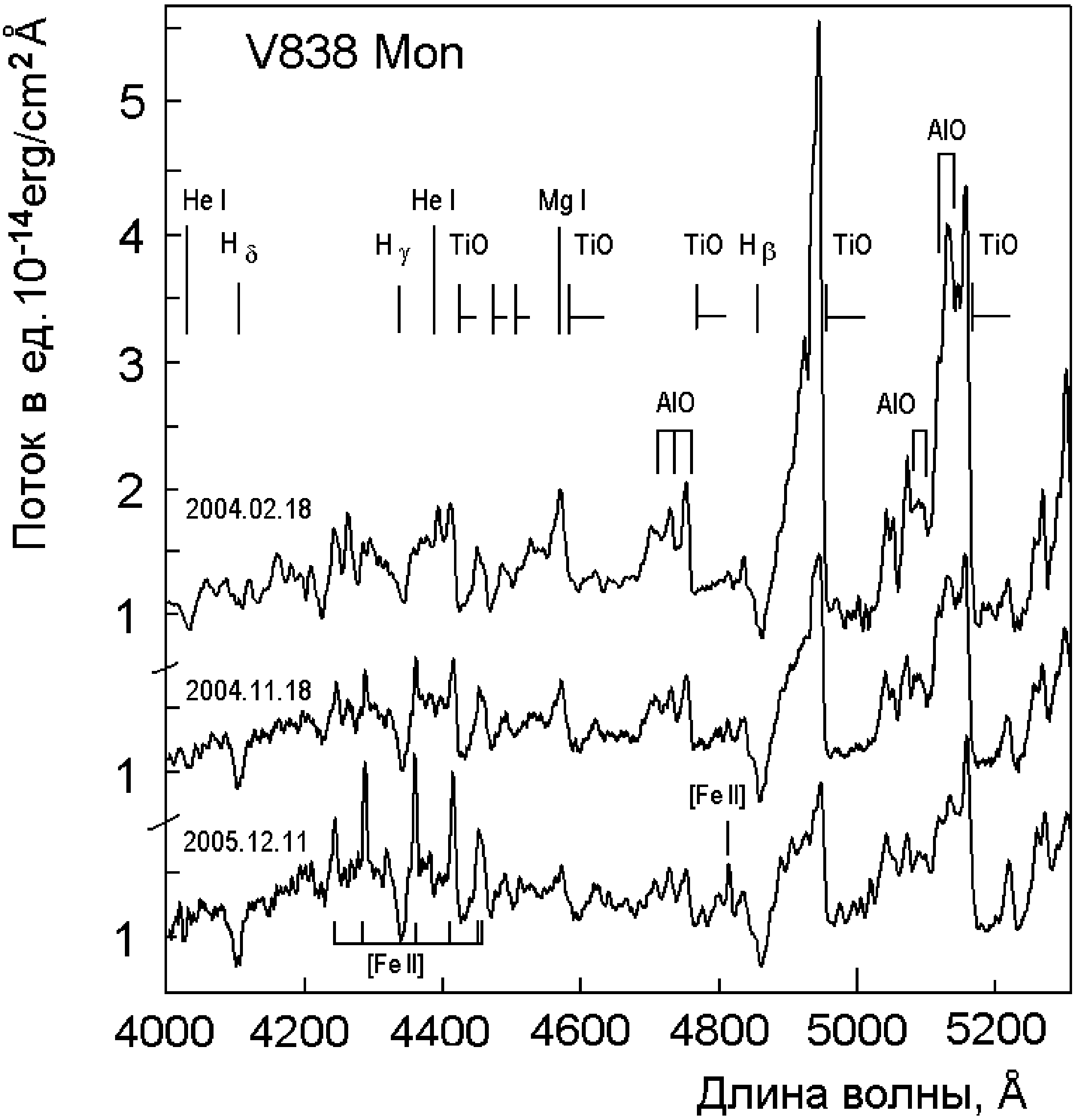

Рис. 32.

Сравнение спектров V838 Mon в диапазоне λ4700–5700Å, полученных в феврале 2004 г. (верхний и более яркий) и в ноябре 2004 г. (нижний и более слабый). Видно изменение потоков холодной звезды вдвое за время между февралем и ноябрем 2004 г.

Мы отождествили эти эмиссии с запрещенными линиями железа [Fe II] (Барсукова и др., 2006б). Спектр [Fe II] представлен линиями λ4244.0, 4287.4, 4359.3, 4413.8, блендой 4452.1/4458.0 и 4814.6Å. Одна из этих линий, [Fe II] λ4413.8Å совпадает с кантом полосы TiO, но не является молекулярной эмиссией. В декабрьском спектре продолжается ослабление деталей sgL и эмиссии Mg I, а эта линия железа усиливается. Другая линия [Fe II] λ4359.3Å совпадает с линией ночного неба Hg I λ4358.34Å и в декабрьском спектре уже надежно выделяется при вычитании фона неба. Для ионизации атомов железа и возбуждения запрещенных линий [Fe II] требуется горячий источник излучения, и компонент класса B3V может быть таким источником. Мы предполагаем, что появление и быстрое усиление запрещенных линий железа связано с прибытием разреженного газа расширяющегося сверхгиганта в окрестности компонента B3V. Процесс идет так динамично, что в ближайшем будущем эта широкая пара может стать полуразделенной системой с образованием аккреционного диска вокруг звезды B3V.

Открытие в нашей работе таких указаний на взаимодействие компонентов в широкой системе, как эмиссионный спектр [Fe II] и перекрытие полосой поглощения TiO спектра горячего компонента, опровергает предположение, что звезда класса B3V является звездой дальнего фона (Миколаевски и др., 2003).

Вклад холодного компонента в суммарный блеск V838 Mon в фотометрических полосах BVR_C в январе 2004 г. составлял, соответственно 11%, 53% и 90%. В ноябре 2004 г. он заметно уменьшился и в фильтрах BV составлял соответственно 7.5% и 38%. При сравнении спектров, нормированных на голубой континуум, заметно, что интенсивность ярких деталей sgL уменьшилась за этот период вдвое (рис. 32).

3. Анализ спектроскопии с применением результатов фотометрии

Рассмотрение спектроскопических данных в совокупности с фотометрией современной и архивной, дает качественно новую информацию о природе пекулярных красных новых звезд. Была поставлена задача – установить, какие изменения в распределениях энергии V838 Mon произошли в результате вспышки.

Сразу после вспышки в полосе B (где влияние звезды sgL было ничтожным) блеск стал слабее на 1^m по сравнению с состоянием до вспышки, а затем стал постепенно повышаться. Это явление замечено многими исследователями, и нами в том числе. В нашей работе (Горанский и др, 2004a) такое поведение звезды объяснялось двумя гипотезами. (1) Звезда, испытавшая вспышку, до вспышки была невидима на фоне спектра голубого компонента. Возможно произошло взаимодействие голубого компонента со вспыхнувшим компонентом, в результате которого яркость голубого компонента сначала уменьшилась, а затем постепенно приближалась к первоначальной. (2) Звезда, испытавшая вспышку, ранее была такой же голубой звездой, как и ее спутник, так что ее спектральное распределение энергии совпадало с распределением спутника. После вспышки эта звезда превратилась в холодный сверхгигант, причем вклад холодного компонента меняется в полосе B. У нас тогда не было спектральных данных, и мы не знали причину, почему блеск звезды "приближался к первоначальному", и потому привели эти два альтернативных предположения. Мунари и др. (2005) и Тыленда и др. (2005a), имея такие спектры и используя наши архивные и современные фотометрические данные, подтвердили нашу гипотезу (2), считая, что взорвавшийся компонент был ярче и горячее, чем его спутник B3V (Мунари и др. 2005), возможно, его спектр был B1V (Тыленда и др. 2005a).

Мы провели измерения блеска звезд на 1-м телескопе Цейсса САО РАН в моменты, близкие к нашим спектральным наблюдениям, и по архивным данным с использованием тех же фотометрических стандартов и по одинаковой методике. В качестве архивных данных использовались цифровые обзоры неба Digitized Sky Survey и USNO PMM Project, доступные в Интернете, архивы фотопластинок ГАИШ и Зоннебергской обсерватории (Германия). Наши первые результаты, основанные на глазомерных оценках блеска С.Ю. Шугарова (ГАИШ), опубликованы в работе Горанского и др. (2004а). В 2006 г. мы обнаружили в коллекции ГАИШ еще 50 снимков V838 Mon в полосе V, полученных на менисковом телескопе АЗТ-5 Крымской станции ГАИШ в 1977–1979 г. (Ни одного снимка в мире в этом фильтре еще не было известно для V838 Mon до вспышки). Эти снимки и 20 снимков 40-см астрографа Крымской станции ГАИШ, были оцифрованы на сканере CREO ГАИШ (А.В. Жаровой, ГАИШ по нашей просьбе) или нами с помощью цифровой камеры.

Для измерения архивных снимков V838 Mon мы использовали стандарт А. Хендена из работы Мунари и др. (2002в) и распространили его на слабые звезды для построения характеристических кривых.

Современные фотометрические наблюдения V838 Mon, самые близкие по времени к спектральным наблюдениям 18 февраля 2004 г. относятся к 19 марта 2004 г., JD 2453084. На рис. 33 они сравниваются с наблюдениями в октябре 2002 г. из работы Мунари и др. (2002б), полученными сразу после вспышки 2002 г., и с наблюдениями до вспышки (Горанский и др., 2004а). Для перевода звездных величин UBV в физические величины использованы потоки света для звезды A0V нулевой величины из табл. 20 в книге Страйжиса (1977), для величин $R_C I_C$ – из Моро и Мунари (2000), учет межзвездного покраснения согласно табл. 1 в книге Страйжиса (1977). Межзвездное покраснение V838 Mon определяется избытком цвета $E(B-V) = 0.^m77$ (Горанский и др. 2004а) (в работе Мунари и др., (2005) дается несколько большая величина величина $0.^m87$). Наблюдения до вспышки – заполненные кружки – хорошо представляются распределением энергии звезды HD 29763 (B3V) по данным Глушневой и др. (1992), если принять значение межзвездного покраснения для HD 29763 равным $E(B-V) = 0.^m07$ на основе UBV-фотометрии.

Вклад холодного компонента sgL в полосах системы BVR в распределение энергии V838 Mon марта 2004 г. определен. Для того, чтобы найти положение континуума оставшейся после вспышки горячей звезды в 2004 г., мы вычли этот вклад. На рис. 33 положение континуума отмечено крестиками. Спектр компонента B3V расположен ниже суммарного спектра компонентов до вспышки. Из этого следует, что компонент, испытавший

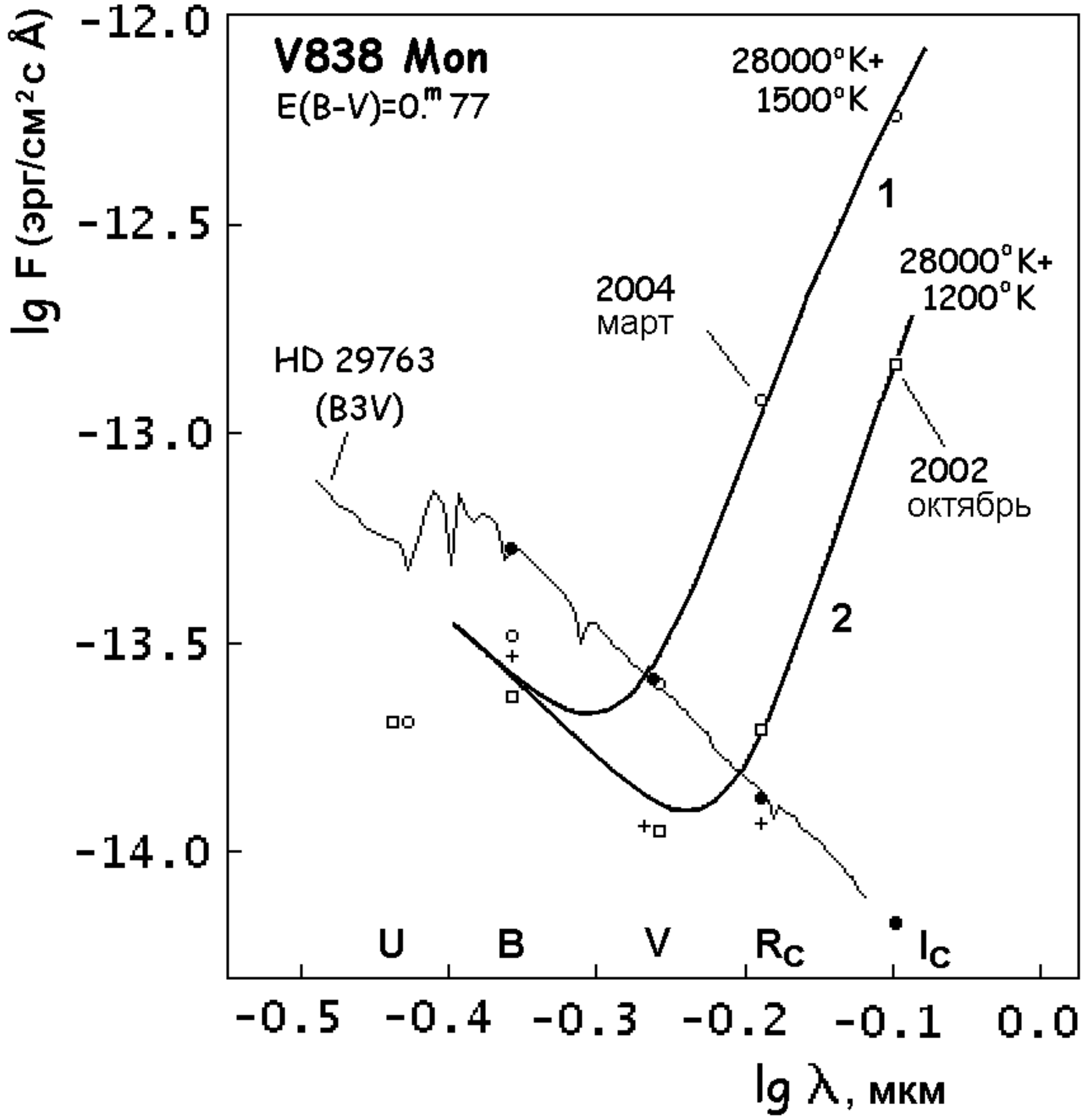

Рис. 33.

Распределение энергии в спектре V838 Mon до и после вспышки. Заполненными кружками показано распределение энергии до вспышки и сплошной линией спектр звезды HD 29763 (B3V), хорошо представляющий наблюдения до вспышки; квадратами – распределение энергии в октябре 2002 г. сразу после вспышки и плавной линией (2) – чернотельная модель с температурами 1200°K и 28000°K; кружками – распределение энергии в марте 2004 г. и плавной линией (1) – чернотельная модель с температурами 1500°K и 28000°K. Крестиками показано положение континуума горячей звезды-спутника в марте 2004 г. после вычитания вклада холодной звезды, определенного по спектру.

вспышку, был ярче, чем тот компонент B3V, который мы наблюдаем в настоящее время. Взорвавшийся компонент был тоже голубой звездой, и имел спектральное распределение энергии, близкое к B3V. На рис. 33 видно, что этот компонент изчез из суммарного спектра, а вместо его спектра появился спектр холодной звезды sgL. Отклонение расчетного распределения энергии оставшегося голубого компонента (на рис. 33 показано крестиками) в полосе R_C вверх, по-видимому, означает, что в красных лучах в минимумах полос молекулярного поглощения мы не видим чистый континуум оставшегося голубого компонента, так как поглощение не полное. Возможно, при учете сказалась переменность спектра и расхождение по времени спектральных и фотометрических данных на 1 месяц. Распределение энергии сохранившегося голубого компонента в полосах UBV в октябре 2002 г. не искажено влиянием холодного компонента. Это подтверждается также спектром, приведенным в работе Мунари и др. (2005). Блеск в полосе U по всем имеющимся данным вообще не меняется после окончания вспышки, и холодный компонент никогда не был виден в этой полосе (рис. 30 на стр.112). Можно воспользоваться этими фактами и выделить величины и показатель цвета взорвавшегося компонента из суммарного блеска и цвета до вспышки:

	V	B	$B-V$
Суммарный блеск	$15^m.27 \pm 0^m.01$	$15^m.87 \pm 0^m.03$	$0^m.60 \pm 0^m.03$
Компонент B3V	16.21±0.03	16.79±0.03	0.58±0.04
Взорвавшаяся звезда	15.86±0.03	16.48±0.04	0.62±0.05

Сравнение архивной и современной фотометрии показывает, что взорвавшийся компонент V838 Mon до вспышки был ярче своего спутника в 1.36±0.03 раза, и их цвета были неотличимы в пределах ошибки фотометрии. Таким образом, спектроскопия вместе с фотометрией подтверждают гипотезу (2): V838 Mon была двойной системой, состоящей из двух звезд класса B, одна из которых взорвалась и превратилась в холодный сверхгигант.

Распределения энергии после вспышки, показанные на диаграмме на рис. 33, хорошо представляются суммой планковских распределений: с температурой 1200^oK + 28000^oK для октября 2002 г. и 1500^oK + 28000^oK для марта 2004 г. О повышении температуры холодного компонента свидетельствует также распространение его спектра в коротковолновую область, что хорошо заметно на рис. 33.

За 10 месяцев, прошедших между нашими спектральными наблюдениями на БТА 2004 г., яркость деталей спектра холодной звезды в полосе V уменьшилась в 2 раза (рис. 32). При этом блеск V838 Mon в полосе V уменьшился всего на $0^m.2$, то есть в 1.2 раза. В то же время ослабление блеска в полосе R_C составило $0^m.5$ (в 1.6 раза), а в полосе I_C – $0^m.6$ (в 1.7 раза), что следует из табл. 10 (на стр.143 диссертации). Излучение холодной звезды в полосах R_C и I_C преобладает, и поэтому амплитуды ее переменности в этих полосах ближе по величине к амплитуде переменности ее деталей в спектре.

4. Дискуссия о природе пекулярной новой V838 Mon

Интерпретация наблюдений пекулярных красных новых зависит от их светимостей, а это проблема определения расстояний.

Расстояние до одной из новых, V1006/7 в туманности Андромеды известно очень хорошо, 770 кпк, и ее блеск в максимуме $V = 15^m.5$ (Шаров, 1990,1993), что соответствует абсолютной величине в максимуме блеска Mv=–$9^m.1$. Если считать, что такую же абсолютную величину, как и V1006/7 в максимуме имели галактические красные новые, то расстояние до V838 Mon можно оценить как 5.4 кпс. А если исходить из предположения, что B3V-компонент V838 Mon входит в физическую пару, принимая абсолютную величину звезды класса B3V в пределах -1^m и $-1^m.7$ (Страйжис, 1982) и межзвездное покраснение $0^m.77$, получаем расстояние 10–14 кпк (эта наша оценка близка к оценке Мунари и др., 2005). Недавно у V838 Mon обнаружено мазерное излучение молекулы SiO в радиодиапазоне (Дегучи и др., 2005), и по мазерному источнику определено расстояние 7 кпк. По световому эху V838 Mon расстояние составляет примерно 9 кпк (Краузе и др., 2005). Из этих оценок следует, что V838 Mon – далекий и очень яркий объект. Он расположен на краю нашей Галактики приблизительно в направлении ее антицентра.

Рассмотрим имеющиеся гипотезы о природе V838 Mon в свете наших наблюдательных результатов.

Вспышка в стадии пост-AGB. Гипотеза о том, что V838 Mon находится в пост-AGB стадии эволюции и испытала гелиевую вспышку, не подтверждается по содержанию химических элементов и развитию вспышки. Известные пост-AGB звезды FG Sge и V4334 Sgr – звезды углеродной ветви, и избыток углерода явно связан с тем, что эти звезды находятся в поздней стадии эволюции.

Классическая новая, не прошедшая небулярную стадию. В модели Ибена и Тутукова (1992) для объяснения феномена красной новой в M31 рассматривалась вспышка водорода в оболочке очень холодного маломассивного вырожденного карлика, аккрецирующего вещество с близкого маломассивного компонента, заполняющего свою полость Роша. Это катаклизмическая переменная с орбитальным периодом 80 мин – 2 часа. В наших работах (Барсукова и др., 2002б; Горанский и др., 2002б) также обсуждалось предположение, что V838 Mon – предельно медленная классическая новая, которая из-за малой скорости разлета оболочки удержала ее силой тяжести, и не проходила через небулярную стадию. Наблюдения показали, что V838 Mon – широкая пара, состоявшая до вспышки из массивных B-звезд. После вспышки она содержит "коричневый" сверхгигант. Так что гипотеза о карликовой катаклизмической системе не подтверждается. Вопрос об отсутствии небулярной стадии тоже требует объяснения. У классических новых при термоядерном взрыве водорода, накопившегося на поверхности белого карлика, в оболочку выбрасывается очень малое количество вещества, в несколько десятитысячных долей массы Солнца. Маломассивная оболочка расширяется со скоростями в несколько тысяч км/с, становится разреженной и оптически тонкой. Она подвержена жесткому ионизующему излучению с поверхности белого карлика на которой еще продолжается ядерное горение, в результате чего излучаются запрещенные линии атомов, которые высоко ионизованы. V838 Mon – это взрыв массивной молодой звезды, при котором выбрасывается так много вещества, что оно не достигает оптически тонкого состояния, и такая оболочка не пропускает наружу жесткое излучение.

Звездное столкновение или слияние. В работах Сокера и Тыленды (2003) и Тыленды и др. (2005б) рассматривается сценарий столкновения и слияния звезд, а околозвездные структуры, излучающие в ИК лучах, могут быть дисками, в которых сохранился угловой момент при слиянии звезд. Из других катастрофических сценариев рассматривается поглощение планет для объяснения пиков яркости в основной вспышке V838 Mon (Реттер и Маром, 2003). В наших работах это явление объясняется выходом на поверхность звезды ударных волн. Отметим, что для V838 Mon столкновительная гипотеза требует уже существования третьей B-звезды, спектральное распределение которой тоже совпадало бы с суммарным спектральным распределением остальных двух звезд, из-за чего она не была видна до вспышки. В общем-то столкновительная гипотеза, как и модель кратной системы B-звезд, имеет право на существование. Столкновение заведомо приведет к приливному разрушению звезд и к появлению следов локально направленных газовых потоков в спектрах при вспышке. Такое событие можно наблюдать в профилях эмиссионных линий с высоким разрешением. Образцы профилей разных линий приведены в работе Киппера и др. (2004). Они показывают P Cyg-компоненты, типичные для радиально симметричной и расширяющейся оболочки.

Вспышка в стадии PMS. И, наконец, гипотеза о том, что красные новые звезды представляют собой молодые объекты в стадии PMS (до главной последовательности), а взрыв звезды связан с включением водородного горения в центре звезды после стадии первоначального сжатия. В пользу этой гипотезы можно привести следующие аргументы: сильные линии лития и обилие водорода в спектре вспышки, ассоциация V838 Mon с плотным облаком межзвездного газа и пыли, по которому распространяется световое эхо взрыва. Правда, в этом облаке не видно следов звездообразования, при котором молодые горячие звезды взаимодействуют с газо-пылевой материей, из которой они образовались.

На цветных снимках, полученных на космическом телескопе Хаббл, в окрестностях V838 Mon видно много других голубых горячих звезд. Причем фотометрия звезд поля в этом районе показывает главную последовательность на диаграмме цвет-величина (зависимость показателя цвета от яркости), смещенную общим покраснением звезд на величину $E(B-V) = 0.^{m}77$ (см., например Мунари и др. (2005), рис. 4, хотя в этой статье дается другая интерпретация этой зависимости – увеличение поглощения с расстоянием). На ней лежат оба голубых компонента V838 Mon. По-видимому, это звезды отдаленной спиральной ветви нашей Галактики, в которой расположена V838 Mon. Тогда, вероятно, мы имеем дело со взрывом звезды главной последовательности, что противоречит теории звездной эволюции.

После рассмотрения гипотез мы пришли к выводу, что причина взрыва горячей звезды пока остается неясной.

5. Основные выводы исследования V838 Mon

1) Спектральный анализ во вспышке показал, что V838 Mon – звезда с нормальным, близким к солнечному, содержанием элементов. Интенсивности абсорбционных линий в ее спектре в 3–4 раза больше, чем у нормальных звезд такого же спектрального класса, что, вероятно, связано с наличием разреженной атмосферы над фотосферой звезды.

2) Обнаружена сильная линия Li I λ6707Å. Наблюдение этой линии означает, что V838 Mon – молодой объект, и/или что литий как промежуточный продукт ядерного горения водорода был выброшен в фотосферу звезды в результате акта глубокого перемешивания во время вспышки.

3) Остаток вспышки V838 Mon относится по спектру к кислородной ветви холодных звезд, что подтверждает его нормальный химсостав.

4) В синей области спектра обнаружены следы взаимодействия ком-

понентов – поглощение окисью титана спектра горячего компонента, появление и усиление запрещенных эмиссий [Fe II]. Первое означает, что холодный газ, выброшенный при взрыве V838 Mon, расположен на луче зрения, направленном на горячий компонент. Второе – что разреженный газ выброса достиг окрестностей горячего компонента B3V. Эти наблюдательные факты - первое и прямое доказательство того, что V838 Mon – физическая пара.

5) V838 Mon до вспышки была системой двух горячих звезд класса B, одна из которых взорвалась.