

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ
ВСПЫХИВАЮЩЕЙ ЗВЕЗДЫ EV LACН.Д.МЕЛИКЯН¹, В.С.ТАМАЗЯН², Х.А.ДОКОБО²,
А.А.КАРАПЕТЯН¹, Р.Ш.НАЦВЛИШВИЛИ³

Поступила 3 июля 2006

Принята к печати 20 сентября 2006

Приводятся результаты спектральных наблюдений вспыхивающей звезды EV Lac, выполненных на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории в 2000-2002гг. Наблюдения позволили зарегистрировать мощную вспышку и проследить за ходом изменения эквивалентных ширин эмиссионных линий H α и H β как во время вспышки, так и в спокойном состоянии звезды. Показано, что профили и эквивалентные ширины линий испытывают значительные изменения. Эквивалентные ширины эмиссионных линий достигают максимума примерно через 40 мин после максимума вспышки.

1. *Введение.* Исследование вспыхивающих звезд типа UV Кита имеет огромное значение в изучении эволюции красных карликовых звезд. Первая вспышка красного карлика, по-видимому, была открыта еще в 1924г. Герцшпрунгом [1], но настоящий интерес к вспыхивающим звездам возник после наблюдения вспышки звезды UV Кита Льюитеном [2]. Джой и Хьюмсон [3] пришли к выводу, что увеличение яркости этой звезды во время вспышки в основном обусловлено усилением непрерывного спектра. На основе сравнительного анализа непрерывной эмиссии звезд типа T Tau на разных фазах изменения их блеска и появившейся во время вспышек звезд типа UV Кита, Амбарцумян [4] заключил, что происходящие в их атмосферах физические процессы в сущности имеют одинаковую природу. Следовательно, эти два типа переменных звезд являются соседями в эволюционной последовательности красных карликовых звезд. Амбарцумян также статистически показал, что приблизительно 25% звезд типа T Tau в области Ориона одновременно обладают и вспышечной активностью, характерной для звезд типа UV Кита, и заключил, что вспышечная фаза является заключительной стадией эволюции звезд типа T Tau [5].

Как кривые блеска, так и спектры вспышек очень разные. Спектральные наблюдения вспыхивающих звезд показывают, что изменения линейчатого спектра отличаются даже при одинаковых по своим мощностям вспышках, и форма кривой блеска вспышки не зависит от ее мощности. Показано также, что быстрый подъем блеска,

пиковая фаза вспышки и зарегистрированные быстрые всплески яркости, появившиеся на нисходящей ветви кривой блеска, в основном обусловлены излучением непрерывного спектра [6,7]. Интенсивности некоторых эмиссионных линий достигают максимума намного позже фотометрического максимума вспышки. Анализируя этот наблюдательный факт [6,7] с точки зрения чрезвычайной важности роли непрерывной эмиссии [4], был сделан вывод, что изменения интенсивностей эмиссионных линий и вся медленная фаза после максимума являются вторичным процессом, обусловленным появлением непрерывной эмиссии в начальном этапе вспышки [8].

Обобщая результаты спектральных наблюдений, стало ясно, что в пиковой фазе вспышки появляется сильная непрерывная эмиссия, вследствие чего многие абсорбционные линии с $\lambda > 4550 \text{ \AA}$ полностью исчезают или становятся слабее - они заливаются непрерывной эмиссией. Эмиссионные линии, особенно линии бальмеровской серии водорода, вблизи максимума вспышки слабее, чем задолго после него.

Настоящая работа посвящена спектральному исследованию звезды EV Lac (= Gliese 873 A = BD + 43 + 4305 = IRAS22446 + 4404), которая является одной из самых хорошо изученных вспыхивающих звезд окрестности Солнца и одновременно главным компонентом двойной системы HER 5A-BC [9]. Работа выполняется в рамках сотрудничества между астрономами Бюраканской астрофизической обсерватории им. В.А.Амбарцумяна (Армения) и астрономами Астрономической обсерватории им. Р.М.Аллера университета Сантьяго де Компостела (Испания), целью которого является многостороннее исследование связи физической активности звезд с их кратностью. В список исследованных звезд включены разные типы переменных, в том числе и вспыхивающие звезды типа UV Кита.

EV Lac является красным карликом спектрального класса dM3.5Ve [10] с надежно измеренным параллаксом $0''.198$ [11]. Фотометрические данные звезды типичны для звезд типа UV Кита: $V = 10^m.05$, $B - V = 1^m.37$, $U - B = 0^m.75$ и $M_V = 11^m.5$ [12]. Первая вспышка звезды была зарегистрирована случайно еще в 1953г. при измерении ее параллакса [13]. Интенсивные многосторонние исследования звезды EV Lac и других вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестности Солнца продолжаются и в настоящее время [14-21].

2. Наблюдения. Наблюдения EV Lac проводились на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории в 2000-2002гг. При наблюдениях были использованы приемные аппаратуры SCORPIO [22] и ВууFOSC [23], установленные в первичном фокусе телескопа. В качестве стандарта была выбрана звезда BD+28°+4211 ($V = 10^m.53$; $B - V = 0^m.34$).

10 спектров звезды получены с помощью спектральной камеры SCORPIO, работающей с CCD размерами 2058 x 2063 пк, охватывающих спектральную область $\lambda 4050 - 7250 \text{ \AA}$. При наблюдениях была использована красная гризма с конечной линейной дисперсией 1.7 \AA/пк . ВууFOSC работает с CCD "Thomson" размером 1060 x 1028 пк. Наблюдения с этой аппаратурой охватывают спектральную область $\lambda 5400 - 7600 \text{ \AA}$.

Качество изображений при наблюдениях в среднем было порядка 2 угл. с. Время интегрирования для получения одного спектра разное: от 3 до 20 мин. Общая продолжительность наблюдений чуть больше 5 ч, при этом чистое время экспозиций составляет всего 3 ч 31 мин. Табл.1

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

N_s	Аппаратура	Дата набл.	UT	Эксп.
1	ВууFOSC	18.08.00	01 ^h 00 ^m	3 ^m
2	"	"	01 06	5
3	"	"	01 15	5
4	"	"	01 23	5
5	"	"	01 31	5
6	"	20.08.00	22 30	3
7	SCORPIO	06.09.01	23 41	20
8	"	"	00 10	20
9	"	"	00 40	20
10	"	"	01 08	20
11	"	"	01 35	20
12	"	29.07.02	00 35	20
13	"	"	01 05	20
14	"	"	01 32	15
15	"	"	02 00	15
16	"	"	02 25	15

представляет журнал наблюдений, где в соответствующих столбцах даны: номера полученных спектров (N_s), приемная аппаратура, дата наблюдений, начало каждой экспозиции по UT и продолжительность экспозиции в мин.

Методика наблюдений, а также характеристики и принцип работы аппаратур более детально описаны в [24].

3. *Результаты наблюдений.* Во время наших наблюдений получены 16 спектров звезды EV Lac. При наблюдениях 6-го сентября 2001г. зарегистрирована мощная вспышка, которую по техническим причинам не удалось зарегистрировать фотоэлектрически. Как видно из журнала наблюдений, в это время получены 5 спектров с двадцати-

минутными экспозициями. На спектре №7 звезда по фотометрическим данным находится в спокойном состоянии, а остальные 4 спектра получены во время вспышки (№8-11). Это одна из самых мощных вспышек, зарегистрированная у этой звезды. Обычно на спектрах звезды в минимуме ее блеска присутствуют сильные эмиссии бальмеровских линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ и $H\delta$. Из-за низкой чувствительности использованных нами светоприемников в коротковолновой части спектра, линии $H\gamma$ и $H\delta$ замечаются только после суммирования всех спектров, полученных в минимуме блеска звезды.

Полученные спектры позволяют с удовлетворительной точностью следить за ходом изменения интенсивностей сильных эмиссионных линий $H\alpha$ и $H\beta$, а также за ходом изменения блеска звезды. Ошибки измерений эквивалентных ширин удовлетворительны: $\sigma_{EW} = 0.25 - 0.45 \text{ \AA}$. Для измерения амплитуд изменения блеска были использованы интегральные излучения звезды стандарта и звезды EV Lac в наблюдаемом диапазоне спектра. При этом для каждой серии наблюдений было принято, что минимальные значения отношений зарегистрированных потоков излучения звезды EV Lac и звезды стандарта соответствуют минимуму звезды EV Lac. Были измерены амплитуды изменения блеска звезды как по всему спектральному диапазону $\Delta m(\lambda 4050 - 7250 \text{ \AA})$, так и по отдельным участкам спектра.

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ И АМПЛИТУД ИЗМЕНЕНИЯ
БЛЕСКА ЗВЕЗДЫ EV Lac

N_{\star}	$EW_{H\alpha}(\text{A})$	$EW_{H\beta}(\text{A})$	$\Delta B'$	$\Delta V'$	$\Delta R'$	Δm	Начало эксп. (UT)	Экр.
1	4.6	-	-	0 ^m .0	0 ^m .0	0 ^m .0	01 ^h 00 ^m	3 ^m
2	4.1	-	-	0	0	0	01 06	5
3	4.7	-	-	0.18	0.20	0.20	01 15	5
4	4.4	-	-	0.03	0.02	0.01	01 23	5
5	4.2	-	-	0	0	0	01 31	5
6	5.2	-	-	0	0	0	22 30	3
7	13.5	12.4	0	0	0	0	23 41	20
8	11.2	11.2	2.1	1.6	0.9	1.3	00 10	20
9	10.4	9.8	2.2	1.7	1.0	1.4	00 40	20
10	13.2	12.0	1.8	1.3	0.6	1.0	01 08	20
11	16.1	13.8	1.2	0.7	0.2	0.4	01 35	20
12	6.0	5.9	0.02	0.02	0.11	0.06	00 35	20
13	5.4	4.9	0	0	0	0	01 05	20
14	5.8	6.7	0.1	0.04	0.2	0.1	01 32	15
15	6.0	4.1	0.35	0.44	0.3	0.4	02 00	15
16	5.0	5.5	0	0	0	0	02 25	15

При этом были выделены три участка спектра: $\Delta mB'$ ($\lambda 4050 - 5100\text{\AA}$), $\Delta mV'$ ($\lambda 5100 - 6200\text{\AA}$) и $\Delta mR'$ ($\lambda 6200 - 7250\text{\AA}$). Ошибки измерений амплитуд находятся в пределах $\sigma_{\Delta m} = 0^m.15 - 0^m.25$ в зависимости от потока излучения. В табл.2 приводятся эквивалентные ширины и амплитуды изменения блеска. В соответствующих столбцах таблицы даны: номер спектра (N_s), согласно табл.1, эквивалентные ширины $EWN\alpha$ и $EWN\beta$, амплитуды изменения блеска в вышеуказанных полосах спектра, условно обозначенных $\Delta B'$, $\Delta V'$, $\Delta R'$ и Δm , начало каждой экспозиции по UT и время интегрирования.

Во время вспышки зарегистрирована сильная непрерывная эмиссия, приводящая к изменению спектра звезды, особенно в голубой части. На рис.1 приводятся спектры звезды EV Lac в спокойном состоянии (a) и в максимуме блеска (b), нормированные по отношению максимального значения интенсивности эмиссионной линии $H\alpha$. Как

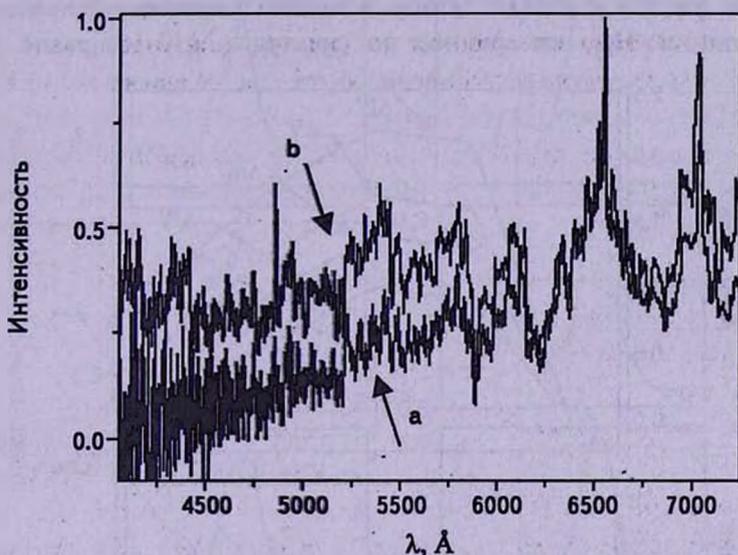


Рис.1. Спектр звезды EV Lac в минимуме (a) и в максимуме (b) блеска.

хорошо видно из рис.1, непрерывная эмиссия, которая особенно сильно выражается в голубой и зеленой частях спектра, уменьшаясь, простирается приблизительно до $\lambda = 6100\text{\AA}$. Вклад непрерывной эмиссии почти незначителен в диапазоне $\lambda 6100 - 7100\text{\AA}$, после чего, по-видимому, начинает появляться.

На рис.2 показаны изменения амплитуд блеска звезды EV Lac в разных областях спектра (2a), и эквивалентных ширин эмиссионных линий $H\alpha$ и $H\beta$ (2b). Амплитуды Δm и значения эквивалентных ширин, взяты из табл.2. Хорошо видно, что значения эквивалентных ширин показывают сильные колебания. Как и в случае вспышки

звезды HU Del [25], минимальные значения эквивалентных ширин соответствуют максимуму блеска вспышки. Такое точное совпадение очевидно является результатом больших экспозиций. Уверенно можно сказать, что эквивалентные ширины эмиссионных линий принимают минимальные значения вблизи фотометрического максимума вспышки. Отметим, что по данным одновременных фотоэлектрических и спектральных наблюдений звездных вспышек [7,17], эквивалентные ширины эмиссионных линий достигают максимальных значений в период затухания блеска вспышки.

Спектры №1-6 и 12-16 (см. табл.2) соответствуют звезде в спокойном состоянии. Из данных таблицы видно, что среднее значение $EWH_{H\alpha}$, измеренное на спектрах №1-6 равно 4.5 \AA , а на спектрах №12-16 - 5.6 \AA . Разница в этих значениях намного превышает ошибки измерений, она реальна, и по-видимому, обусловлена только степенью активности звезды в разные эпохи. Среднее значение эквивалентной ширины линии $H\beta$, измеренное по спектрам №12-16, равно 5.4 \AA .

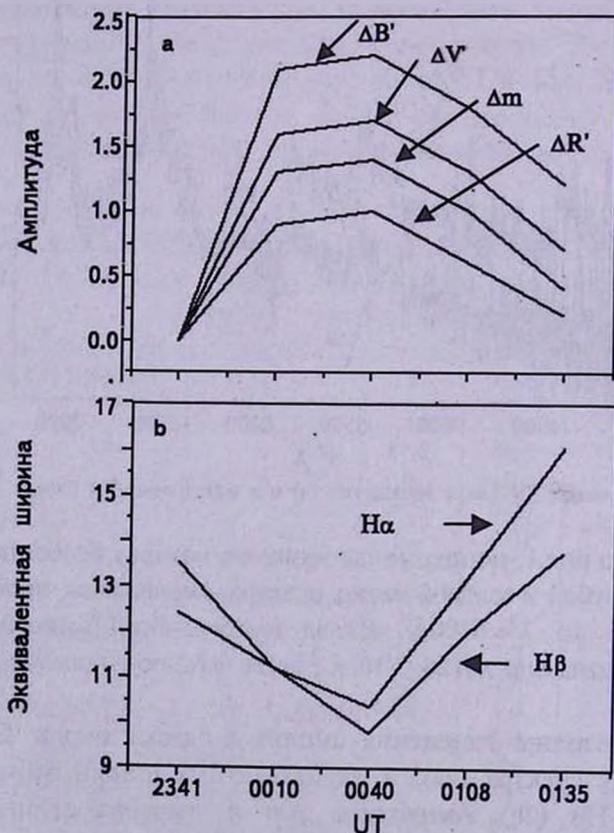


Рис.2. Изменения эквивалентных ширин $H\alpha$ и $H\beta$ (b) и амплитуд в разных областях спектра (a).

Отметим, что слабые колебания значений эквивалентной ширины линии $H\alpha$ в спокойном состоянии звезды находятся в пределах ошибок измерений, тогда как изменения значений $EWH\beta$ реальны. Линия $He\ 4471\ \text{\AA}$ очень слабая и видна только после суммирования спектров №7-11, а линию $He\ 4686\ \text{\AA}$ даже после суммирования всех полученных спектров не удалось обнаружить. На спектре №7 звезда находится в спокойном состоянии, но значения эквивалентных ширин эмиссионных линий $H\alpha$ и $H\beta$ на этом

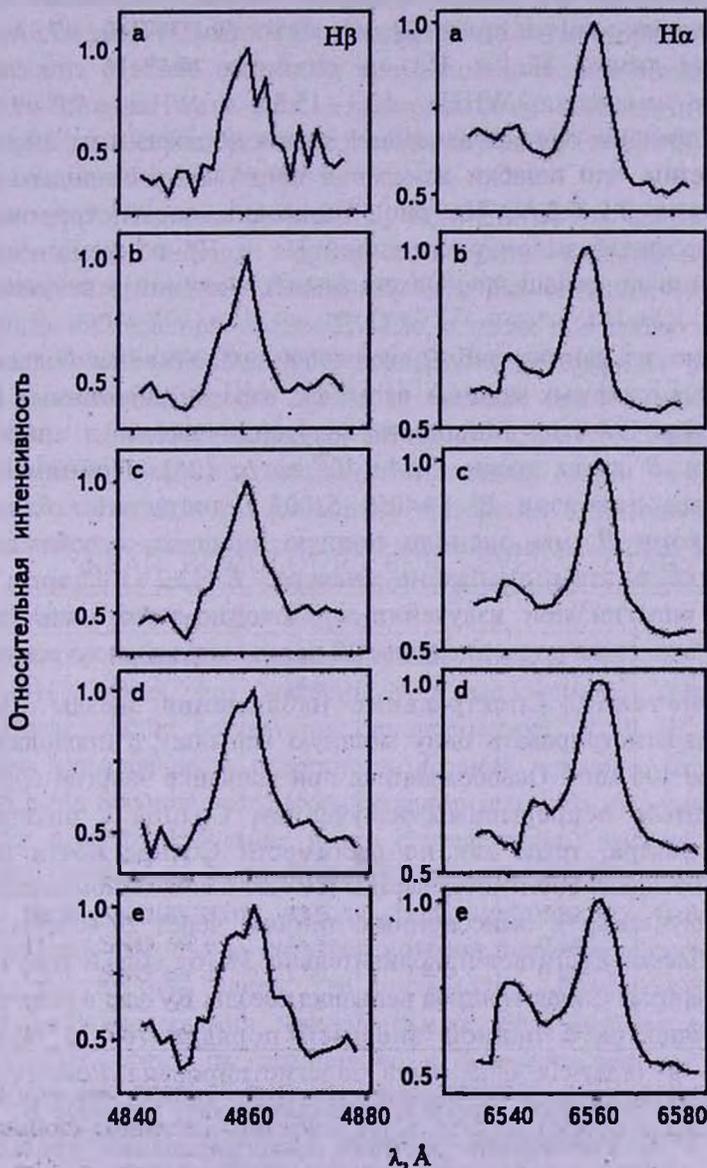


Рис.3. Изменения профилей эмиссионных линий $H\alpha$ (справа) и $H\beta$ (слева) во время вспышки.

спектре намного превышают средние значения, измеренные на спектрах №1-6 и №12-16. По-видимому, звезда до начала возгорания блеска уже находилась в возбужденном состоянии, что и приводит к усилению эквивалентных ширин. Эти данные хорошо согласуются с ранее полученными результатами наблюдений звезды EV Lac [7,17].

В течение времени, в спокойном состоянии звезды, изменяются также профили эмиссионных линий и их ширины, измеренные на уровне половины интенсивности. Значение ширин эмиссионной линии $H\alpha$ на первых 6 спектрах остается практически постоянным $WH\alpha = 7.3\text{Å}$, тогда как ширины линий $H\alpha$ и $H\beta$ на спектрах №12-16 показывают значительные изменения: $WH\alpha = 13.3 - 15.5\text{Å}$ и $WH\beta = 7.0 - 9.2\text{Å}$. В это время в пределах ошибок измерений звезда не показывает изменения блеска. Отметим, что ошибки измерения ширины эмиссионных линий не превышают $0.2-0.3\text{Å}$. На рис.3 показаны зарегистрированные изменения профилей эмиссионных линий $H\alpha$ и $H\beta$ во время вспышки, нормированные по отношению максимальных значений этих эмиссионных линий.

Как видно из данных табл.2, вспышка продолжается больше 105 мин. Эта одна из самых мощных вспышек, зарегистрированных когда-либо у звезды EV Lac. Мощность излучения звезды в спокойном состоянии в B лучах равна 5.94×10^{29} эрг/с [26]. Принимая, что спектральный диапазон B' ($\lambda 4050 - 5100\text{Å}$) достаточно близок к джонсоновскому B , мы оценили полную энергию, освобождаемую при вспышке в этом диапазоне спектра: $E > 2.2 \times 10^{34}$ эрг. Такое количество энергии при излучении в спокойном состоянии звезды EV Lac освобождается в течение более 10 часов непрерывного излучения.

4. *Заключение.* Спектральные наблюдения звезды EV Lac позволили зарегистрировать одну мощную вспышку с продолжительностью более 105 мин. Освобожденная при вспышке энергия сравнима с 10-секундным непрерывным излучением Солнца в оптическом диапазоне спектра, тогда как по светимости Солнце почти на два порядка превосходит светимость звезды EV Lac в спокойном состоянии. Энергия, излучаемая в эмиссионных линиях, через 20-40 мин после максимума блеска достигает приблизительно 3% от общей излучаемой энергии вспышки. Самая мощная вспышка звезды EV Lac в оптическом диапазоне спектра с полной энергией порядка $10^{35}-10^{37}$ эрг и с амплитудой в U лучах $6^{m.5}$ была зарегистрирована Ройzmanом и Шевченко [27]. Вспышка, зарегистрированная нами в полосе B' , имеет амплитуду $2^{m.2}$. Увеличение времени интегрирования приводит к

сильному сглаживанию кривых блеска вспышек и к уменьшению их амплитуд [28-30]. Конечно, степень сглаживания и уменьшения амплитуд сильно зависит также от формы кривых блеска и от продолжительности вспышек [30].

Зарегистрирована сильная непрерывная эмиссия, которая особенно сильно выражена в синей области спектра.

Интенсивности эмиссионных линий достигают максимума через 20-40 мин после фотометрического максимума, тогда как в случае вспышки звезды HU Del [25] запаздывание было порядка 10-20 мин. Наблюдения с более высокими временными разрешениями показали, что для разных вспышек интенсивности эмиссионных линий бальмеровской серии достигают максимума от 1 до 19 мин после максимума вспышки [7,17].

Все перечисленные результаты, полученные во время настоящих наблюдений, в основном хорошо согласуются с ранее полученными данными спектральных наблюдений звездных вспышек [7,17,25]. При настоящих наблюдениях звезды EV Lac, а также при наблюдениях одной вспышки звезды HU Del [25], эквивалентные ширины эмиссионных линий в максимуме блеска звезды принимают минимальные значения, тогда как в ранних наблюдениях звезды EV Lac [7,17] предвспышечное повышение эквивалентных ширин эмиссионных линий не наблюдалось. Это можно объяснить как большими временами интегрирования наших наблюдений, вследствие чего первая экспозиция охватывает и начальную фазу вспышки, так и, вероятно, некоторым предвспышечным возбужденным состоянием звезды.

На основе наблюдений вспыхивающих звезд в звездных ассоциациях Г.Аро [31] показал, что "медленные" вспышки имеют более красный цвет. Исследование результатов одновременных U , B , V наблюдений звездных вспышек звезд окрестности Солнца показало, что у вспыхивающих звезд высокой светимости продолжительность времени возгорания вспышки в среднем больше, и что с увеличением времени возгорания вспышек цвета вспышечного излучения краснеют [30]. Эти результаты можно было предсказать, исходя из концепции В.А.Амбарцумяна о звездных вспышках [4,32], согласно которой, время возгорания вспышки зависит от глубины слоев, где происходит освобождение энергии вспышки. Запаздывания максимальных значений интенсивностей эмиссионных линий по отношению к фотометрическому максимуму вспышки также можно объяснить исходя из концепции Амбарцумяна: при освобождении энергии в больших глубинах, энергия достигает слоев, где образуются эмиссионные линии более поздно, вследствие чего и наблюдаются запаздывания увеличения эквивалентных ширин

эмиссионных линий. Естественно предположить, что большим глубинам соответствуют большие запаздывания.

¹ Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail: nmelikia, akaqapet@bao.sci.am

² Астрономическая обсерватория "Рамон Мария Аллер" университета Сантьяго де Компостела, Испания, e-mail: oatamaz, oadoco@usc.es

³ Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е.К.Харадзе, Грузия

SPECTRAL OBSERVATIONS OF FLARE STAR EV LAC

N.D.MELIKIAN¹, V.S.TAMAZIAN², J.A.DOCOBO²,
A.A.KARAPETIAN¹, R.Sh.NATSVLISHVILI³

The results of spectral observations of flare star EV Lac carried out with the 2.6-m telescope of Byurakan Observatory in 2000-2002 are presented. The observations allow to detect a powerful flare on EV Lac and to follow the variations of equivalent widths of emission lines H α and H β during the flare, as well as in quiescent state of the star. It is shown, that the profiles and the equivalent widths of emission lines have significant changes during the observations. For both emission lines equivalent widths have the highest values in 20-40 minutes after photometric maximum.

Key words: *stars: flare: spectra - individual: EV Lac*

ЛИТЕРАТУРА

1. *E.Hertzprung*, Bull. Astron. Inst. Netherlands, 2, 87, 1924;
2. *W.J.Luyten*, Astrophys. J., 109, 532, 1949.
3. *A.H.Joy, M.L.Humason*, Publ. Astron. Soc. Pacif., 61, 133, 1949.
4. *В.А.Амбарцумян*, Сообщ. Бюраканской обсерв., 13, 3, 1954.
5. *В.А.Амбарцумян*, Астрофизика, 6, 31, 1970.
6. *В.В.Ворп, Т.Т.Мoffett*, Astrophys. J., 185, 239, 1973.
7. *Т.Т.Мoffett, В.В.Ворп*, Astrophys. J., Suppl. Ser., 31, 61, 1976.
8. *Л.В.Мирзоян*, Нестационарность и эволюция звезд, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1981.
9. *B.D.Mason, G.L.Wycoff, W.I.Hartkopf*, The Washington Double Star Catalog, updated version - <http://ad.usno.navy.mil/wds/wds.html>, 2003.

10. *I.N.Reid, S.L.Hawley, J.E.Gizis*, *Astrophys. J.*, **110**, 1838, 1995.
11. *M.A.C.Perryman*, *The Hipparcos and Tycho Catalogues*, ESA Publishing Division, Noordwijk, The Netherlands, 1997.
12. *T.J.Moffett*, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, **273**, 1, 1974.
13. *N.E.Wagman*, *НАС 1225; Sky and telescope*, **13**, 54, 1953.
14. *Н.Д.Меликян, М.К.Цветков, Р.А.Саркисян*, *Астрофизика*, **37**, 569, 1994.
15. *А.В.Бердюгин, Р.Е.Гершберг, И.В.Ильин и др.*, *Изв. Крымской обсерв.*, **89**, 81, 1995.
16. *J.M.Ferreira*, *Astron. Astrophys.*, **335**, 248, 1998.
17. *Е.А.Барановский, Р.Е.Гершберг, Д.Н.Шаховской*, *АРЕР*, **45**, 309, 2001.
18. *S.Mohanty, G.Basri*, *Astrophys. J.*, **583**, 451, 2003.
19. *E.R.Houdebine*, *Astron. Astrophys.*, **397**, 1019, 2003.
20. *R.A.Osten, S.L.Hawley, C.M.Johns-Krull, A.Brown, J.Allred*, *AAS*, **205**, 5507, 2004.
21. *R.A.Osten, S.L.Hawley, J.C.Allred, C.M.Johns-Krull, C.Roark*, *Astrophys. J.*, **621**, 398, 2005.
22. *L.V.Afanasyev, E.B.Guzhur, S.R.Zhelenkov, A.V.Moiseev*, *Bull. Special Astrophys. Observ.*, **58**, 90, 2005.
23. *Т.А.Мовсессиан, Ж.-Л.Гач, Ф.Зхамкочян, Ж.Булестеиш*, "JENAM-2000", May 29 - June 3, Abstracts, Moscow., 2000, p.179.
24. *С.А.Акопян, С.К.Балаян*, *Астрофизика*, **47**, 443, 2004.
25. *В.С.Тамазян, Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян, Р.Ш.Нацвлишвили*, *Астрофизика*, **48**, 335, 2005.
26. *T.J.Moffett*, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, **29**, 1, 1974.
27. *Г.Ш.Ройзман, В.С.Шевченко*, *Письма в Астрон. ж.*, **8**, 163, 1982.
28. *Л.В.Мирзоян*, "Вспыхивающие звезды, Фуоры и Объекты Хербига-Аро", труды симпозиума по проблеме "Физика и Эволюция Звезд", ред. Л.В.Мирзоян, Ереван, 1980, стр.45.
29. *Э.С.Парсамян*, *Сообщ. Бюракан. обсерв.*, **57**, 79, 1985.
30. *Н.Д.Меликян*, *Сравнительное исследование вспышек вспыхивающих звезд в звездных ассоциациях и скоплениях и звезды UV Cet*, Канд. дисс., Ереван, 1984.
31. *G.Haro*, *IAU Symposium №20, Flash Stars in the Aggregates*, Canberra, eds. F.I.Kerr, A.W.Rodgers, Australian Ac. Sci., Canberra, p.30-37, 1964.
32. *В.А.Амбарцумян*, *Астрофизика*, **7**, 557, 1971.