

АКТИВНАЯ СТАДИЯ СИМБИОТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА MWC 560 2018-2021гг.

Л.Н.КОНДРАТЬЕВА, И.В.РЕВА, А.К.АЙМАНОВА,
С.А.ШОМШЕКОВА, М.А.КРУГОВ

Поступила 18 апреля 2021

Принята к печати 28 июля 2021

В процессе многолетних наблюдений симбиотического объекта MWC 560 было зарегистрировано несколько мощных вспышек. Последняя активная стадия началась осенью 2018г. и продолжается до настоящего времени. В Астрофизическом институте им. Фесенкова наблюдения этого события начались в январе 2019г. В нашей предыдущей статье опубликованы результаты, полученные в начале 2019г. Приводятся кривая блеска объекта и профили эмиссионных линий, отмечено исчезновение широкой абсорбционной полосы, формирующейся в высокоскоростном коллимированном джете. В данной статье приводятся результаты дальнейших спектральных и фотометрических наблюдений MWC 560. Можно отметить, что в 2021г. блеск объекта сохраняется на высоком уровне. Его значения превышают результаты, полученные во время предыдущих вспышек. Вместе с тем в конце 2020г. наметилась тенденция постепенного ослабления потоков излучения в эмиссионных линиях. Профили всех линий имеют абсорбционные компоненты, смещенные в "синюю" сторону на 52 ± 5 км/с. Можно предположить, что в процессе данной вспышки произошло частичное (или полное) разрушение аккреционного диска, в результате чего исчез источник высокоскоростного коллимированного джета. Постепенное уменьшение потоков излучения в эмиссионных линиях может быть вызвано ослаблением мощности ионизирующего излучения.

Ключевые слова: *переменные звезды: симбиотические звезды: эмиссионные линии: индивидуальные объекты: MWC 560 = V694 Mon*

1. **Введение.** Симбиотический объект MWC 560 = V 694 Mon состоит из звезды-гиганта класса M4 и белого карлика и расположен на расстоянии 2.5 ± 0.7 кпс [1]. Первоначально он классифицировался как Ве звезда с сильными эмиссионными линиями водорода [2]. Впервые данный объект оказался в центре внимания астрономического сообщества в связи с его мощной вспышкой в 1990г. Именно во время этой активной стадии был обнаружен коллимированный джет, направленный практически вдоль луча зрения. В профилях эмиссионных линий он создает широкие полосы поглощения, смещенные в коротковолновую область длин волн [3,4]. Следует отметить, что в 80-х годах в спектре этого объекта уже наблюдались абсорбционные компоненты эмиссионных линий со скоростями до -3000 км/с [5], но их источник был неизвестен. Позднее выяснилось, что скорость истечения джета в спокойной стадии составляет от -1600 км/с до -2500 км/с [6,7], а в

процессе вспышки она достигает ~ 6000 км/с [8,9].

Предыдущая гигантская вспышка MWC 560 произошла в 2016г., при этом максимальный блеск, зарегистрированный в полосе V, превышал значения, полученные во время вспышки 1990г.

Историческая кривая блеска MWC 560 за период 1928-2016гг. была представлена в работе [10]. Используя наблюдательные данные, авторы определили временной промежуток между вспышками -1860 дней. Последняя активная стадия MWC 560 началась осенью 2018г. [11-13] и продолжается до настоящего времени. В Астрофизическом институте им. Фесенкова (АФИФ) спектральные и фотометрические наблюдения MWC 560 проводились с января 2019 по апрель 2021гг., за исключением периодов с мая по октябрь, когда объект недоступен для наблюдений.

2. Наблюдения и обработка. В АФИФ спектральные наблюдения выполняются на дифракционном спектрографе, установленном в фокусе кассегрена 70см телескопа АЗТ-8, ($D/F = 1:16$), расположенного на территории обсерватории. Приемником излучения на выходе спектрографа служит CCD-камера SBIG STT-3200 (2184×1472 , 6.8μ). Наблюдения проводятся в двух диапазонах длин волн: $4000\text{Å} - 5200\text{Å}$ и $6000\text{Å} - 7200\text{Å}$ с обратными дисперсиями $0.5\text{Å}/\text{пиксель}$ и $0.75\text{Å}/\text{пиксель}$. Калибровка шкалы длин волн выполняется по эмиссионным линиям Ne, Ar и He в спектре лампы СГЗС. В процессе наблюдений спектрограммы исследуемого объекта и стандарта получают с входной щелью размером ($8''-10''$), которая гарантирует прохождение и регистрацию полных потоков излучения от объектов. Стандартная обработка полученных файлов состоит из учета темнового фона, ошибки поля и атмосферного поглощения. Сравнение наблюдаемого распределения энергии в спектре звезды-стандарта с данными из каталога [14] дает возможность определить функцию спектральной чувствительности аппаратуры и выполнить абсолютную калибровку спектров исследуемых объектов.

Часть спектрограмм MWC 560 была получена на эшелле-спектрографе, установленном на 1-м телескопе фирмы Карл Цейсс Йена, расположенном на высокогорной Тянь-Шанской Обсерватории (ТШАО) [13].

Фотометрические наблюдения проводились на втором 1-м телескопе фирмы Карл Цейсс Йена с корректором фокуса (эквивалентный фокус - 6.5м). Для регистрации блеска использованы набор фильтров BVRc и ПЗС камера Alta F16M (4096×4096 , 9μ) фирмы Arogee в качестве приемника излучения. Поле зрения $19' \times 19'$, угловой масштаб изображения равен $0.38''/\text{пиксель}$. В качестве стандартов выбирались звезды с известными значениями блеска, расположенные вблизи объекта (табл.1). Процедура первичной обработки

изображений состояла из стандартных операций с использованием служебных файлов Bias, Dark и Flat. Для измерения блеска использованы стандартные пакеты программ Maxim DL6 и IRAF. Для преобразования полученных инструментальных оценок блеска в стандартную интернациональную систему BVRc (Johnson-Kron-Cousins) использовались уравнения, полученные при специальных наблюдениях стандартных звезд из работы [15].

Таблица 1

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕЗД-СТАНДАРТОВ

Обозначение звезды	B	V	R
TYC 5396-1090-1	12.509±0.012	10.784±0.012	
TYC 5396-570-1	12.861±0.012	12.579±0.011	12.433±0.028
TYC 5396-491-1	10.767±0.006	10.696±0.005	10.664±0.011
TYC 5396-916-1	12.359±0.016	11.286±0.017	10.726±0.025
TYC 5396-1447-1	12.442±0.008	11.969±0.008	11.673±0.018

3. *Полученные результаты.* В табл.2 приведены данные фотометрических наблюдений MWC 560, полученные АФИФ в конце 2019-2021гг. Наши более ранние результаты опубликованы в статье [13]. На рис.1, 2 представлены кривые блеска, включающие для сравнения предыдущую вспышку 2016г. При этом использовались данные из работ [10,12,13] и AAVSO.

Высокий уровень блеска MWC 560 ($B = 9^m.1 \pm 0^m.2$, $V = 8^m.6 \pm 0^m.2$, $R = 8^m.1 \pm 0^m.2$) сохраняется на протяжении более двух лет. Сравнение с предыдущей активной стадией показывает, что максимальный блеск, достигнутый в 2019-2021гг., превышает оценки, полученные в 2016г. ($B = 9^m.25$, $V = 8^m.78$) примерно на $0^m.2$ в фильтрах B и V. Длительность вспышки 2016г.

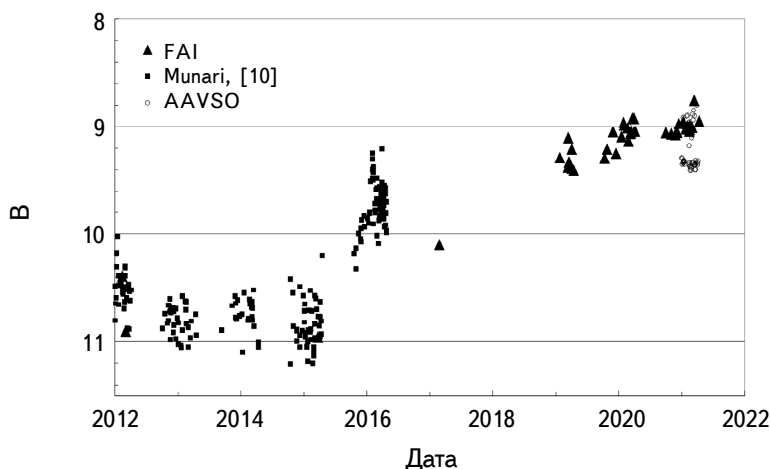


Рис.1. Кривая блеска MWC 560 в фильтре B. Ось X - временная шкала в годах, ось Y - звездные величины.

Таблица 2

ОЦЕНКИ БЛЕСКА MWC 560, ПОЛУЧЕННЫЕ В КОНЦЕ 2019-2021гг.

Дата наблюдений	JD-2400000	Орбитальные фазы [10]	B	V	R
12.10.2019	58769.435	0.704	9.295±0.044	8.842±0.024	8.246±0.044
24.10.2019	58781.418	0.710	9.206±0.034	8.908±0.028	8.284±0.054
28.11.2019	58816.413	0.729	9.050±0.032	8.66±0.023	
16.12.2019	58834.385	0.739	9.249±0.040	8.725±0.034	8.179±0.044
18.01.2020	58867.348	0.757	9.093±0.044	8.611±0.044	8.291±0.042
28.01.2020	58877.187	0.762	9.002±0.038	8.527±0.024	8.133±0.069
29.01.2020	58878.166	0.762	9.066±0.023	8.603±0.023	8.184±0.034
20.02.2020	58900.092	0.774	9.016±0.026	8.555±0.035	8.182±0.033
25.02.2020	58905.116	0.777	9.063±0.023	8.634±0.029	7.981±0.032
08.03.2020	58917.219	0.783	9.064±0.018	8.639±0.009	7.969±0.012
09.03.2020	58918.255	0.784	9.049±0.017	8.672±0.012	7.996±0.007
20.03.2020	58929.118	0.790	8.923±0.026	8.519±0.029	8.121±0.045
30.03.2020	58939.113	0.795	8.923±0.036	8.527±0.039	8.153±0.026
04.04.2020	58944.157	0.798	9.046±0.019	8.651±0.013	8.247±0.017
01.10.2020	59124.447	0.895	9.059±0.031	8.732±0.041	8.232±0.015
19.11.2020	59173.381	0.921	9.070±0.024	8.601±0.029	8.188±0.026
24.11.2020	59178.306	0.924	9.072±0.020	8.592±0.020	8.157±0.021
05.12.2020	59124.447	0.895	9.056±0.032	8.593±0.017	8.157±0.031
16.12.2020	59199.339	0.935	8.972±0.018	8.525±0.025	8.171±0.024
10.01.2021	59224.316	0.949	9.024±0.034	8.566±0.034	8.100±0.027
28.01.2021	59243.235	0.959	9.051±0.017	8.586±0.026	8.111±0.026
29.01.2021	59244.265	0.959	9.010±0.032	8.555±0.035	8.112±0.041
02.02.2021	59248.254	0.961	8.993±0.044	8.563±0.040	7.998±0.044
14.02.2021	59260.205	0.968	9.043±0.028	8.642±0.016	8.137±0.044
15.02.2021	59261.132	0.968	8.990±0.050	8.623±0.037	8.068±0.054
16.02.2021	59262.213	0.969	8.994±0.042	8.638±0.018	8.074±0.050
17.02.2021	59263.160	0.969	9.027±0.037	8.610±0.027	8.100±0.042
12.03.2021	59285.228	0.975	8.757±0.035	8.469±0.044	8.067±0.037
10.04.2021	59315.121	0.981	8.952±0.033	8.576±0.031	8.167±0.037
11.04.2021	59316.130	0.997	8.877±0.035	8.496±0.030	8.098±0.032

составляла около 6 месяцев, она сопровождалась резким подъемом и быстрым спадом блеска. Последняя вспышка продолжается порядка 2.5 лет, и в этом смысле она отличается от всех, более ранних активных стадий.

В спектре MWC 560 наблюдаются эмиссионные линии H I , Fe II , Ti II и ряда других металлов. Широкие полосы поглощения, создаваемые джетом, исчезли в самом начале вспышки [12,13], они отсутствуют и на более поздних спектрограммах. Для иллюстрации на рис.3 приводятся спектрограммы, полученные во время "спокойной" фазы объекта в 2010г. и в современной активной стадии. Спектры были получены на телескопе АЗТ-8 с дисперсией

0.5 Å /пиксель. На рис.3а и 3с положение полос поглощения около эмиссионных линий Н γ , Н β и Н α соответствует лучевым скоростям от -550 Å до -2600 Å .

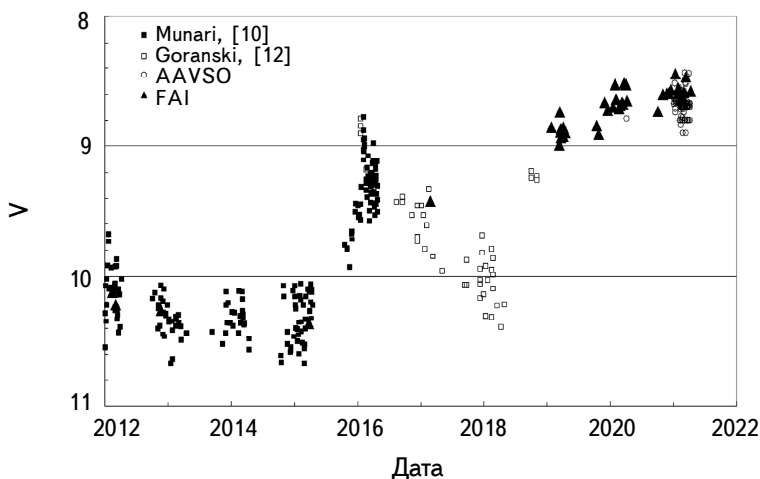


Рис.2. Кривая блеска MWC 560 в фильтре V. Ось X - временная шкала в годах, ось Y - звездные величины.

Таблица 3

АБСОЛЮТНЫЕ ПОТОКИ ВОДОРОДНЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ
MWC 560 И УРОВЕНЬ НЕПРЕРЫВНОГО СПЕКТРА НА $\lambda 6620\text{\AA}$

Дата наблюдений	Юлианская дата JD-2400000	H β		H α		I $_{\text{c}}$ (6620Å)·10 ¹² (эрг/см ² с Å)
		Fabs · 10 ¹² (эрг/см ² с)	EW(Å)	Fabs · 10 ¹² (эрг/см ² с)	EW(Å)	
20.01.2016	57408.213	17.4	22	54.3	123	0.08
17.01.2017	57764.121			57	155	0.33
21.02.2017	57806.140			58.5	139	0.40
25.01.2019	58509.255		28		136	
13.03.2019	58556.169		22		135	
14.03.2019	58557.150	19.0	23			
15.03.2019	58558.115			120	155	0.80
14.04.2019	58588.130	19	24	124	160	0.77
23.01.2020	58872.279	24.5	11			
30.01.2020	58879.229			115	56	1.16
20.02.2020	58900.175			102	46	1.20
29.02.2020	58909.154			99.5	46	1.20
29.03.2020	58938.133			102	50	1.10
10.11.2020	59164.458			84.3	86	0.90
13.12.2020	59170.375			86	85	1.01
17.12.2020	59201.367	18.6	16			
16.01.2021	59231.238			82.9	75	1.06
15.02.2021	59261.167	15.6	15.0	72.4	80	1.02
13.03.2021	59287.117			69.6	74	1.02

На рис.3b и 3d широкие полосы поглощения отсутствуют.

Абсолютные потоки водородных линий в спектре MWC 560 измерялись по эмиссионным профилям на спектрограммах, полученных с низким разрешением (рис.3). Результаты даны в табл.3. Типичные ошибки измерений не превышают 15%.

Максимальные значения потоков регистрировались в 2019г. и в начале

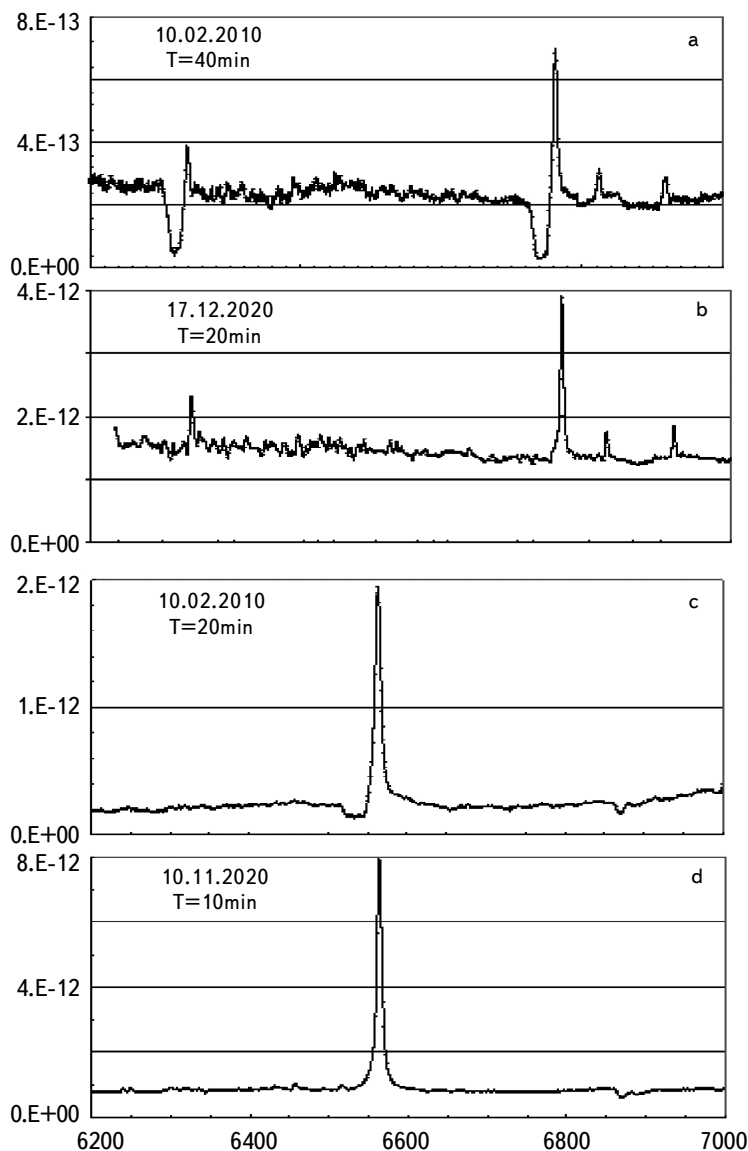


Рис.3. Фрагменты спектрограмм MWC 560. Ось X - шкала длин волн, ось Y - абсолютные потоки излучения в единицах ($\text{эрг}/\text{см}^2 \text{ с}$).

2020г. Тенденция их постепенного ослабления наметилась в конце 2020г. На рис.4 к значениям потоков из табл.3 добавлены более ранние данные из статьи [16].

Для исследования профилей эмиссионных линий использовались данные, полученные на эшелъном спектрографе (рис.5, 6).

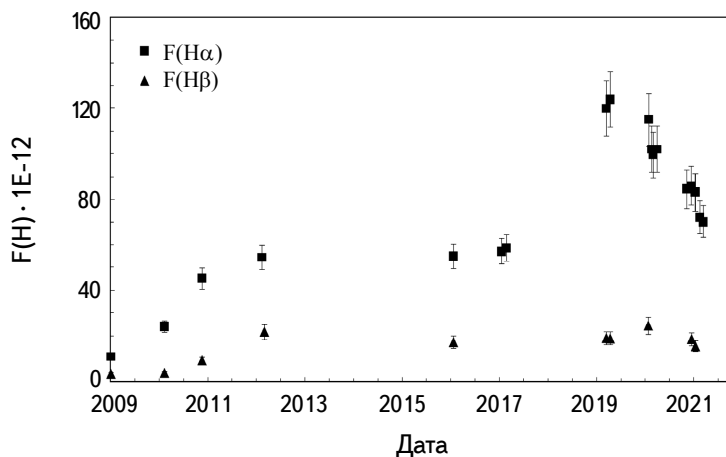


Рис.4. Изменение абсолютных потоков излучения в линиях Hα и Hβ. Ось X - временная шкала (годы), ось Y - абсолютные потоки излучения в единицах (10^{-12} эрг/см² с).

На рис.5 каждый из профилей Hδ, Hγ и Hβ сдвинут по Y относительно предыдущего на две единицы. На спектрограммах от 25.01.2019 эмиссионные линии ограничены с коротковолновой стороны абсорбцией. В профиле линии Hδ "синяя" граница полосы поглощения соответствует лучевой скорости ~ -300 км/с. На спектрограмме от 14 апреля 2019г. в профилях всех водородных линий присутствуют широкие (от -40 км/с до -450 км/с) и глубокие полосы поглощения. Через 4 дня их ширина и глубина значительно сократились. На спектрограмме 2021г. положение абсорбций соответствует гелиоцентрической лучевой скорости -52 ± 5 км/с, а положение максимума эмиссионной компоненты $+60 \pm 5$ км/с.

Профили линии Hα (рис.6) выглядят более сглаженными, из-за высокой интенсивности широких эмиссионных крыльев полоса поглощения (14.04.2019) не видна. Мы оценили в первом приближении "вклад" линий поглощения в измеряемые потоки излучения. Использовались спектрограммы, полученные с высоким разрешением. Полагая, что излучаемые профили Hα симметричные, мы восстанавливали левую ветвь профиля по правой. Разность потоков, измеренных по восстановленному и наблюдаемому профилям, составляет $\sim 14\%$ - 15% , и находится в пределах диапазона погрешностей при определении потоков. Значения поправок практически неизменны для спектров, полученных в 2019-2021гг. и не могут вызывать наблюдаемое ослабление потоков излучения.

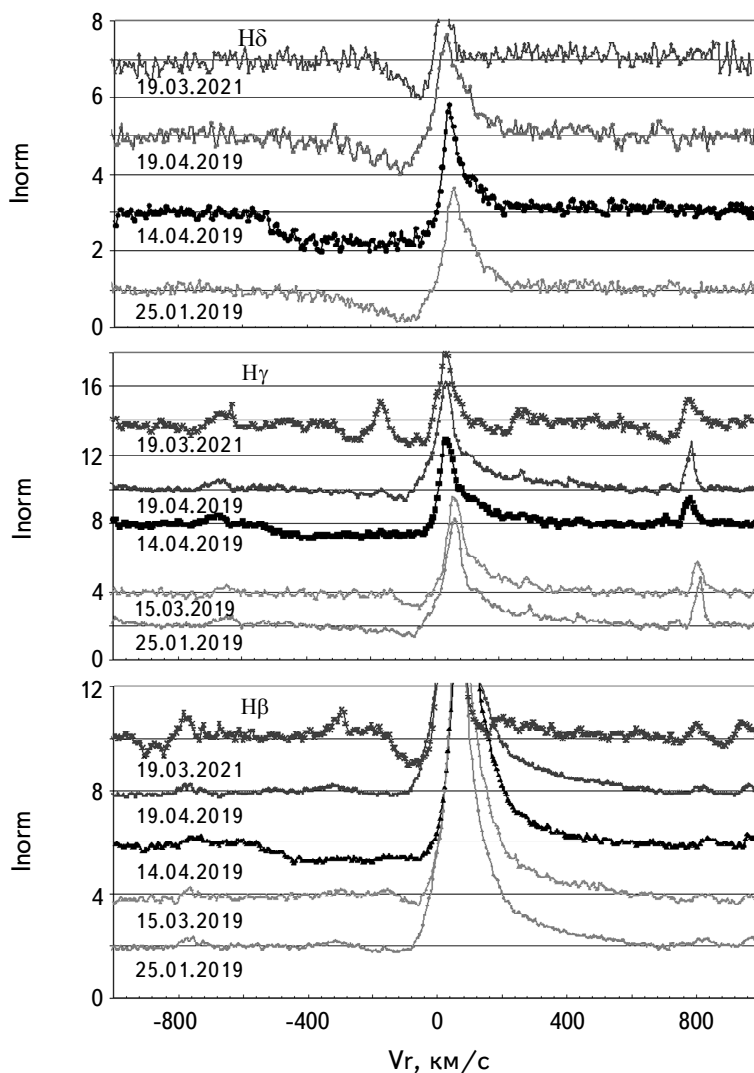


Рис.5. Профили линий $H\delta$, $H\gamma$ и $H\beta$, полученные во время активной стадии MWC 560. Ось X - шкала гелиоцентрических лучевых скоростей, ось Y - интенсивности, нормированные к уровню непрерывного спектра.

4. *Заключение.* Активная стадия 2018-2021гг. началась через два года после события 2016г., при том, что средний промежуток времени между мощными вспышками этого объекта составлял ~ 5.5 лет [10]. По своей продолжительности (>2.5 лет), она сильно отличается от предыдущих вспышек 1990 и 2016гг., которые на кривой блеска характеризовались резким повышением и довольно резким спадом блеска объекта в течение нескольких месяцев. В максимуме блеска зарегистрированы следующие значения:

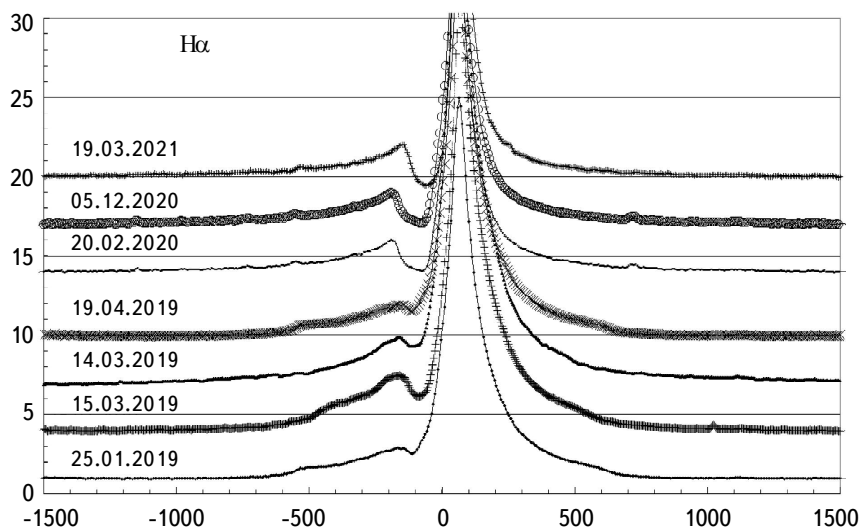


Рис.6. Профили линии $H\alpha$, полученные во время активной стадии MWC 560. Ось X - шкала гелиоцентрических лучевых скоростей, ось Y - интенсивности, нормированные к уровню непрерывного спектра.

$B = 9^m.1 \pm 0^m.2$, $V = 8^m.6 \pm 0^m.2$, $R = 8^m.1 \pm 0^m.2$, они сравнимы и даже превышают результаты, полученные во время двух предыдущих активных фаз.

В начале последней вспышки, в ноябре 2018г., в спектре MWC 560 исчезли широкие абсорбционные полосы, создаваемые высокоскоростным коллимированным джетом [12]. Аналогичная ситуация наблюдалась в этом объекте в 1990г. Тогда во время взрыва произошло разрушение внутренних зон аккреционного диска, их полное восстановление завершилось через год [17]. Еще одно отличие современной активной стадии в том, что восстановление аккреционного диска до сих пор, спустя 2.5 года, не произошло, по крайней мере, широкие полосы поглощения со скоростями от -1500 км/с, обязанные своим появлением джету, не наблюдаются.

Во время последней активной стадии в профилях всех эмиссионных линий присутствуют линии поглощения, смещенные в коротковолновую сторону с лучевыми скоростями от -50 км/с до -70 км/с. Скорее всего, они формируются в оболочке, выброшенной во время вспышки. Проекция скорости выброса на луч зрения относительно эмиссионной компоненты составляет ~ 110 -130 км/с. Появление на спектрограмме от 14 апреля 2019г. довольно широких полос поглощения возможно связано с локальным выбросом фрагмента газа (или оболочки). Широкие абсорбции практически исчезли через несколько дней, а появиться могли после 15 марта 2019г. (из-за скважности наблюдений точный момент определить невозможно). Аналогичные

локальные выбросы газа наблюдались в этом объекте во время вспышки 1990г. Они отражают нестабильность аккреционного диска [17]. Наблюдаемое постепенное уменьшение потоков излучения в эмиссионных линиях обусловлено изменением мощности ионизирующего излучения возможно из-за деформации аккреционного диска.

В симбиотических объектах главными источниками светимости горячих звезд считаются ядерные реакции горения водорода на их поверхности и аккреция вещества из ветра красного гиганта [18]. В 2016г. источником вспышки послужила ускоренная аккреция вещества [17]. Современная столь длительная активная стадия позволяет предположить, что эта активность поддерживается ядерными реакциями на поверхности белого карлика.

Работа поддерживается Программой целевого финансирования Министерства науки и образования Республики Казахстан (Грант AP08855631).

Астрофизический Институт им. Фесенкова, Алматы,
Казахстан, e-mail: lu_kondr@mail.ru

ACTIVE STAGE 2018-2021 OF THE SYMBIOTIC OBJECT MWC 560

L.N.KONDRATYEVA, I.V.REVA, A.K.AIMANOVA,
S.A.SHOMSHEKOVA, M.A.KRUGOV

During the long years observations of the symbiotic object MWC 560, several powerful flashes were recorded. The last active stage began in the late 2018 and continues to this day. At the Fesenkov Astrophysical Institute observations of this event began in January 2019. In our previous article, we published the results obtained in the early 2019. The light curve of the object and the profiles of the emission lines are presented, and the disappearance of the broad absorption band formed in the high-velocity collimated jet was registered. This article presents the results of the further spectral and photometric observations of MWC 560. It can be noted that in 2021 the brightness level is still high, and exceeds brightness during the previous flashes. At the same time, at the end of 2020 a tendency for a gradual weakening of the emission line fluxes has appeared. Now the profiles of all lines have the absorption components shifted towards the "blue" side by 52 ± 5 km/s. It can be assumed that during the current outburst there was a partial (or complete) destruction of the accretion disk, and as a result the source of the

high-velocity collimated jet was disappeared. A gradual decrease of radiation fluxes in emission lines can be caused by a weakening of the power of ionizing radiation.

Keywords: *variable stars: symbiotic stars: emission lines: individual objects: MWC 560 = V694 Mon*

ЛИТЕРАТУРА

1. *H.M.Schmid, A.Kaufer, M.Camenzind et al.*, Astron. Astrophys., **377**, 206, 2001.
2. *P.Merrill, G.Burwell*, Astrophys. J., **98**, 153, 1943.
3. *D.A.H.Buckley, D.Laney, T.Lloyd Evans et al.*, IAUC, 4980, (2), 1990.
4. *P.Szkody, M.Mateo, P.Schmeer*, IAUC, 4987 (1), 1990.
5. *H.Bond, J.Pier, C.Pilachowski et al.*, BAAS, **16**, 516, 1984.
6. *T.Iijima*, Astron. Astrophys., **391**, 617, 2002.
7. *A.Lucy, C.Knigge, J.Sokoloski*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **478**, 568, 2018.
8. *T.Tomov*, IAUC, **4955**, 1, 1990.
9. *T.Tomov, R.Zamanov, D.Kolev et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **258**, 23, 1992.
10. *U.Munari, S.Dallaporta, F.Castellani et al.*, New Astron., **49**, 43, 2016.
11. *A.Azzollini, M.Bellomo, L.Giovanni et al.*, ATel, 12231, 1, 2018.
12. *V.Goranskij, A.Zharova, E.Barsukova et al.*, ATel, 12227, 1, 2018.
13. *L.Kondratyeva, I.Reva, M.Krugov et al.*, OEJV, 199, 1, 2019.
14. *А.Харитонов, В.Терещенко, Л.Князева*, Спектрофотометрический каталог звезд, Алматы, 2011.
15. *A.Landolt*, Astron. J., **146**, 131, 2013.
16. *L.Kondratyeva, F.Rspaev*, IBVS, 6032, 2012.
17. *A.Lucy, J.Sokoloski, U.Munari et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **492**, 3107, 2020.
18. *A.Mondal, R.Das, G.Anupama et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **492**, 2326, 2020.