

DOI: 10.54503/0571-7132-2024.67.1-13

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУППЫ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ЗВЕЗД ВОЛЬФА-РАЙЕ. II. WC И WO ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Л.Н.КОНДРАТЬЕВА, И.В.РЕВА, Э.К.ДЕНИСЮК,
С.А.ШОМШЕКОВА, А.К.АЙМАНОВА

Поступила 1 сентября 2023

Принята к печати 7 марта 2024

Фотометрические и спектральные наблюдения 7 звезд WC и WO последовательностей выполнялись в АФИФ в 2021-2022гг. На основе проведенных наблюдений получены оценки блеска объектов в фильтрах BVRC и абсолютные потоки излучения в эмиссионных линиях. Зарегистрированы изменения блеска WR 121 в пределах $0^m.1 - 0^m.15$. Изменения потоков в эмиссионных линиях обнаружены в спектрах нескольких объектов: WR 4, WR 5, WR 121 и WR 128.

Ключевые слова: *переменные звезды: Вольфа-Райе звезды: фотометрия: спектрофотометрия*

1. *Введение.* Фотометрические и спектральные наблюдения группы звезд Вольфа-Райе выполнялись в Астрофизическом институте им. В.Г.Фесенкова в 2021-2022гг. Цель работы - поиск спектральной и фотометрической активности этих объектов. В программу наблюдений включены звезды умеренной яркости, большинство из них слабее 10^m в фильтре V. В данной статье приводятся результаты, полученные для звезд WC и WO последовательностей. Список объектов (табл.1), описание наблюдений и обработки данных приведены в разделе 2. В разделе 3 представлены результаты: оценки BVRC, потоков излучения в эмиссионных линиях и эквивалентных ширин профилей линий. Обсуждение полученных данных представлено в разделе 4.

2. *Наблюдения и обработка данных.* Спектральные наблюдения проводились в 2021-2022гг. на 0.7-м телескопе АЗТ-8, установленном в Обсерватории Каменское Плато Астрофизического института им. В.Г.Фесенкова (АФИФ). Использовался спектрограф с дифракционной решеткой 400 штр/мм, ширина входной щели 10". В качестве детектора использовалась ПЗС-камера SBIG STT-3200 (2184x1472, 6.8 мкм). Фотометрические наблюдения выполнялись на 1-м телескопе Carl Zeiss Jena, расположенном на Тянь-Шаньской астрофизической обсерватории (ТШАО) АФИФ. Использовался

Таблица 1

СПИСОК ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Название объекта	Sp	α (2000)	δ (2000)	Другое название
WR 4	WC5+?	02 41 11	56 43 50	HD 16523
WR 5	WC6	02 52 12	56 56 07	HD 17638
WR 121	WC9D	18 44 13	-03 47 57	MR 90
WR 125	WC7ED+O9III	19 28 15	19 33 21	MR 93
WR 142	WO2	20 21 44	37 22 30	[KW97] 45-49
WR 143	WC4+OB?	20 28 22	38 37 18	HD 195177
WR 154	WC6	22 27 18	56 15 12	HD 213049

набор фильтров Astrodon BVRc. Более подробное описание процедуры наблюдений и обработки данных представлены в первой части [1].

3. *Полученные результаты.* В нашу программу исследований было включено 6 звезд WC последовательности и одна звезда WO. Результаты фотометрических наблюдений звезд WC и WO даны в табл.2. В первом столбце указано название объекта, его классификация и блеск в фильтрах B и V из астрономической базы данных SIMBAD. Последующие столбцы содержат даты, юлианские даты и значения BVRc.

Таблица 2

ОЦЕНКИ БЛЕСКА ЗВЕЗД WC И WO

Название объекта	Дата наблюдений	JD-2400000	B	V	Rc
1	2	3	4	5	6
WR 4 WC5 B=10.34 V=9.99 [2]	2021-01-27	59242.13	9.98±0.06	9.88±0.05	9.28±0.07
	2021-11-22	59541.29	9.98±0.05	9.88±0.06	9.25±0.06
	2021-12-01	59550.23	9.99±0.06	9.88±0.05	9.32±0.05
	2022-01-27	59607.08	9.99±0.05	9.88±0.06	9.25±0.05
	2022-02-04	59615.07	9.99±0.06	9.88±0.06	9.31±0.06
WR 5 WC6 B=10.86 V=10.41 [4]	2021-11-22	59541.29	10.61±0.03	10.23±0.08	10.28±0.11
	2021-12-01	59550.24	10.62±0.02	10.30±0.05	10.35±0.10
	2021-12-09	59558.26	10.58±0.02	10.24±0.05	10.19±0.11
	2022-01-27	59607.13	10.58±0.03	10.25±0.08	10.14±0.09
	2022-02-04	59615.12	10.61±0.02	10.24±0.07	10.16±0.09
	2022-11-27	59911.14	10.64±0.01	10.29±0.06	10.18±0.00
WR 121 WC 9 B=13.34 V=11.98 [3]	2022-06-18	59380.35	13.39±0.02	11.84±0.06	11.53±0.10
	2021-07-23	59419.22	13.30±0.08	11.84±0.05	11.53±0.09
	2021-07-31	59427.24	13.20±0.04	11.77±0.06	11.43±0.08
	2022-04-28	59698.33	13.24±0.04	11.80±0.05	11.52±0.01
	2022-05-23	59719.41	13.30±0.03	11.81±0.04	11.52±0.04

Таблица 2 (Окончание)

1	2	3	4	5	6
WR 125 WC 7+O9III B=14.83	2021-09-06	59464.27	14.34±0.09	12.74±0.03	11.86±0.01
	2021-07-24	59420.38	14.34±0.07	12.76±0.03	11.90±0.08
	2022-06-05	59736.27	14.32±0.09	12.76±0.04	11.87±0.02
	2022-12-02	59917.03	14.27±0.08	12.74±0.02	11.94±0.02
WR 142 WO 2 B=14.39 V=12.99 [5]	2021-08-10	59437.23	14.38±0.02	12.90±0.01	12.62±0.01
	2021-09-01	59459.26	14.37±0.02	12.90±0.01	12.62±0.01
	2021-10-07	59495.09	14.36±0.02	12.91±0.04	12.60±0.01
	2022-11-10	59894.06	14.34±0.01	12.95±0.04	12.57±0.01
WR 143 WN5+O5V-III B=12.67 V=11.46 [4]	2021-07-25	59421.28	12.59±0.04	11.45±0.04	11.86±0.01
	2021-09-03	59461.32	12.58±0.04	11.46±0.09	11.86±0.01
WR 154 WC 6 B=11.71 V=10.99 [3]	2021-10-12	59500.29	11.04±0.06	10.99±0.04	10.67±0.06
	2021-11-05	59524.16	11.09±0.05	11.02±0.04	10.79±0.06
	2021-11-21	59540.08	11.08±0.05	11.03±0.03	10.76±0.06
	2021-12-01	59550.15	11.08±0.05	11.02±0.03	10.67±0.09
	2021-12-16	59565.03	11.09±0.05	11.03±0.03	10.81±0.06
	2021-12-29	59578.12	11.08±0.05	11.03±0.04	10.76±0.06
	2022-01-21	59601.07	11.08±0.05	11.08±0.06	10.81±0.06
	2022-01-27	59607.07	11.07±0.05	11.07±0.06	10.76±0.06
	2022-11-27	59911.13	11.08±0.05	11.08±0.06	10.74±0.06
	2022-12-02	59916.06	11.08±0.05	11.07±0.06	10.72±0.06

WR 4 (HD 16523). Этот объект принадлежит WC5+? типу. Фотометрическая переменность с периодом $P=4.3$ дня была обнаружена авторами работы [6]. Зарегистрированные изменения профилей эмиссионных линий в пределах ($\sim 1.2\%$) оказались недостаточными для включения объекта в список кандидатов типа CIR [7]. Двойственная природа объекта была подтверждена в работе [8].

Сравнение наших результатов, полученных в 2021-2022гг., с данными каталога [2] показало увеличение яркости объекта в фильтре V на $0^m.3$. В табл.3 и 3а приводятся значения абсолютных потоков в шкале 10^{-12} эрг/см²с и эквивалентных ширин эмиссионных линий. Точность определения этих параметров составляет 15-20%.

Зарегистрированы волнообразные флуктуации эмиссионных потоков в конце 2021 - начале 2022гг. Эти изменения могут быть связаны с орбитальным вращением звездных компонентов и, следовательно, с вариациями мощности звездного ветра.

WR 5 (HD 17638). Этот объект относится к последовательности WC6. Измерения лучевых скоростей не подтвердили его двойственную природу [8]. Предыдущие исследования профилей эмиссионных линий также не выявили признаков переменности [7]. Наши результаты: потоки в шкале 10^{-12} эрг/см²с

Таблица 3

**ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 4**

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.01.03		2021.12.10		2021.12.29		2022.01.27		2022.02.05		2022.10.12	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
4619 4650	CIII CIV HeII	218	1174	260	1100	289	1156	321	1123	323	964	239	1065
4780	OIV CIV	2.7	16	2.8	10	4.4	19	4.0	15	3.0	10	2.4	11
4860 4930 5017 5280 5411 5469	HeII OV CIV OVI HeII CIV	2.0 3.1	12 19	2.5 2.6 4.1 5.6 4.7 8.4	10 11 16 20 18 35	3.2 2.5 5.3 8.8 5.1 8.2	15 12 24 38 23 33	3.3 2.8 6.3 9.5 7.1 10	13 11 25 36 26 38	2.4 2.9 4.4 6.6 9.3	9.1 11 16 23 32	2.5 2.0 3.2 6.5 5.5	13 11 16 11 21
5595	HeII CIV			10	37	14	54	15	56	15	46		

Таблица 3а

**ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В КРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА WR 4**

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.11.28		2022.11.01		2021.11.28		2022.11.01		2022.09.02		2022.11.01	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
6560	HeII CIV	23	110	21	103	19	103	23	110	21	103	19	103
6744	CIII CII	41	185	37	185	32	182	42	185	37	185	32	182
7060	CIV	26	129	27	135	23	128	26	129	27	135	23	128
7207 7258	CII	7.9	39	7.3	45	6.6	36	7.9	39	7.3	45	6.6	36

и эквивалентные ширины эмиссионных линий приведены в табл.4. Средняя точность значений составляет 15-20%.

WR 121. Звезда относится к последовательности WC9. Как и многие другие углеродные звезды поздних типов, она имеет пылевую оболочку, которая может вызывать колебания уровня блеска из-за изменения поглощения. Для WR 121 подобное событие произошло в 1990г. Авторы работы [8] предположили, что наблюдаемое тогда ослабление блеска объекта на $0^m.8$ в фильтре V было вызвано образованием пылевого облака на луче зрения.

Таблица 4

ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 5

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.01.03		2021.01.09		2022.01.27		2022.02.05		2022.09.02		2022.10.12		01.11.2022	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
4340	HeII, CIV	2.8	24												
4444	CIII, CIV	2.8	23												
4515+	CIII, HeII	3.5	32									3.5	25		
4540															
4650	CIV, HeII	129	1129			158	965	168	1120			128	1100		
4686															
4780	CIV, OIV	1.5	15			1.7	11	1.7	11			1.7	15		
4860	HeII, CIV	1.8	18			2.1	14	2.2	14			1.9	16		
4940	HeII	0.8	8.5			1.2	8.9	1.5	6.0			1.1	6.0		
5017	CIV, HeI	2.5	25			2.7	17	3.0	19			2.5	21		
5260	CIII, OIV					3.8	21	5.4	38			3.5	32		
5411	HeII, CIV					6.1	34	5.8	39			4.7	34		
5460	CIV					5.8	32	6.4	43			5.2	39		
6560	HeII, CIV			22	111					16	98			16	115
6744	CIII, CII			36	185					29	180			28	185
7060	CIV, HeI			20	112					17	120			16	123

Во время наших наблюдений в 2021-2022гг. изменения блеска не превышали $0^m.2$ и $0^m.07$ в фильтрах В и V, соответственно. В табл.5 и 5а собраны результаты наших спектральных наблюдений: потоки излучения в шкале 10^{-12} эрг/см² с и эквивалентные ширины эмиссионных линий. Точность

Таблица 5

ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 121

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.08.11		2022.05.08		2022.06.07		2022.06.29		2022.07.16	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
4656	CIV	2.1	76	2.3	80	3.6	79	2.0	77	2.5	78
4686	CIV, HeII	0.8	23	0.7	23	0.8	20	0.6	22	0.9	23
4860	CIV, HeII	0.3	10	0.3	9.0	0.3	8.0	0.2	8.2	0.2	8.2
4921	HeI	0.1	8.0	0.2	7.9	0.3	8.2	0.2	8.1	0.3	10
5016	CIV, HeI	0.6	19	0.8	29	0.8	33	0.7	22	0.7	22
5141	CII, CIII	1.1	27	1.2	33	1.4	34	1.3	34	1.3	34
5250+5270	CIII	0.6	14	0.8	22	0.8	20	0.7	19	0.7	15
5305	CIII	0.2	4.3	0.2	4.3	0.2	4.9	0.2	5.0	0.2	4.0
5411	CIV, HeII	0.2	4.5	0.3	6.9			0.2	8.0	0.3	6.9
5471	CIV	0.3	6.6	0.3	7.0						

Таблица 5а

**ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В КРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН
ВОЛН В СПЕКТРЕ WR 121**

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.08.07		2022.04.28		2022.06.04		2022.06.26	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
6580	СII,HeII	7.5	109	8.8	113	8.6	110	7.3	108
6678	HeI	2.1	31	2.2	29	2.6	35	2.0	29
6732	СII,СIII			5.0	64	4.9	64	4.2	63
6780	СII,СIII	3.9	43	3.9	50	3.8	48	3.7	48
7037	СIII	1.6	23	2.3	25	2.6	24	2.3	25
7065	СII,HeI	3.1	45	3.7	42	3.7	46	2.6	44
7122	СII	1.5	21	1.6	21	1.6	19	1.3	17
7234	СII	14	210	19	220	19	214	14	201

определения параметров составляет 15-20%. Зарегистрированы нерегулярные изменения потоков в эмиссионных линиях в пределах 20-30%.

WR 125 - это двойная звездная система WC7+O9III. Она является источником жесткого рентгеновского излучения и, следовательно, может обладать аккреционным диском вокруг компактной звезды. Кроме того, для данного объекта характерны периодические повышения мощности излучения в рентгеновском, визуальном и ИК диапазонах волн, связанные с прохождениями периастра [9]. Тем не менее, наблюдения авторов работы [6] не выявили спектральных изменений.

Наши результаты показывают, что в 2021-2022гг. блеск объекта был выше на $0^m.5$ в фильтре В по сравнению со значением из базы SIMBAD. В табл.6 и ба даны результаты наших спектральных наблюдений: потоки излучения в шкале 10^{-12} эрг/см²с и эквивалентные ширины эмиссионных линий. Точность определения параметров составляет 15-20%. Наблюдаемые колебания эмиссионных потоков не выходили за пределы указанных погрешностей измерений.

Таблица 6

**ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 125**

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.06.13		2022.06.07		2022.06.29		2022.07.15	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
4540	HeII	0.2	19	0.2	20				
4660	CIV,HeII	2.3	315	2.1	319	2.3	310	2.0	320

Таблица 6а

ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 125

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.06.20		2021.07.24		2022.06.15		2022.06.25		2022.06.26	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
6560	CIV, HeII	2.1	60	2.0	69	1.8	60	1.9	57	1.9	62
6748	CIII, CIV	2.1	56	2.0	65	2.0	65	2.0	58	2.0	59
7065	CIV, CII	2.2	55	2.2	57	1.8	54	1.7	51	1.8	53
7254				0.2	3.9			0.2	3.7	0.1	3.9

WR 142. Звезда относится к последовательности WO2. Это одна из самых горячих среди известных галактических звезд WR ($T^* \sim 200000 \text{ K}$, [10]). Объекты этого типа рассматриваются как высокотемпературное расширение класса WC [11] и по прогнозам, могут взорваться, как сверхновые типа Ic в течение нескольких тысяч лет [12]. Появление дополнительных пиков в профилях эмиссионных линий CIII, 4659 $\text{\AA}$ объясняется неоднородной структурой звездного ветра [10].

Таблица 7

ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 142

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	15.07.2022		16.07.2022		01.09.2022	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
4660	CIV	2.8	300	3.0	300	3.2	290
4940	OV	0.2	21	0.2	18		
5280	OVI	0.6	43	0.6	43	0.7	42
5440	CVI	0.4	18	0.4	19	0.4	20

Таблица 7а

ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В КРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН
ВОЛН В СПЕКТРЕ WR 142

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	20.06.2021		24.07.2021		07.08.2021		21.07.2022		25.07.2022		02.09.2022	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
6560	HeII, CIV	3.4	137	3.6	125	3.7	137	3.4	133	3.4	136	3.2	127
7065	HeI			4.5	147	4.5	145	4.0	140	4.0	143	3.8	144

Таблица 7а (Продолжение)

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	13.09.2022		25.09.2022		01.10.2022		01.11.2022	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
6560	HeII, CIV	3.2	125	3.4	120	3.3	126	3.5	122
7065	HeI	3.6	127	3.7	128	3.6	122	3.7	116

Во время наших наблюдений блеск звезды оставался стабильным. Значения потоков излучения в шкале 10^{-12} эрг/см²с и эквивалентных ширин эмиссионных линий в спектре WR 142 приведены в табл.7 и 7а. Точность определения параметров составляет 15-20%. Вариации этих значений не выходили за пределы погрешности.

WR 143. Объект относится к последовательности WC4+OB. Возможная двойственная природа этого объекта неоднократно обсуждалась многими авторами. Инфракрасные наблюдения выявили наличие эмиссионных линий HII и HeI [13]. Значительная переменность лучевых скоростей RV (11.2 ± 4.2 км/с) была обнаружена в работе [14], на основе этого был сделан вывод, что вторым компаньоном в этой системе является В-звезда, и именно она отвечает за наблюдаемую фотометрическую переменность [13].

Наши результаты - потоки эмиссионных линий в шкале 10^{-12} эрг/см²с и эквивалентные ширины приведены в табл.8. Точность определения параметров составляет 15-20%. Небольшое увеличение потоков излучения в линиях зарегистрировано в конце 2022г.

WR 154. Звезда относится к последовательности WC6. Двойственная природа объекта не подтвердилась. Исследования показали, что вокруг WR 154 распо-

Таблица 8

ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 143

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.07.08		2021.07.24		2022.07.15		2022.07.17		2022.07.20		2022.09.01		2022.09.02	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
4656,	CIII, CIV,					22	710	20	650			23	680		
4686	HeII														
4921	HeII					0.6	21	0.6	20			0.6	21		
5016	CIV					0.5	15	0.6	16						
5250+5305	CIII					1.2	25	1.3	27			1.3	30		
5411+5470	HeII+CIII					1.5	24					1.7	28		
6560	HeII	4.0	40	4.7	51					4.8	42			5.3	44
6740	CIII	9.7	98	9.8	100					12	106			12	110
7065	CIV HeI	9.2	98	9.1	96					9.2	112			11	106

Таблица 9

ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 154

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2022.07.16		2022.07.17		2022.09.01		2022.10.12		2022.10.13	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
4540	HeII	2.7	27	2.54	28	2.44	30			2.30	30
4656	CIII,CIV	96	960	90	970	86	990	92	930	78	990
4686	CIV,HeII										
4780	CII			1.0	12	1.0	12	0.9	9	0.9	12
4861	CIV,HeII	1.2	15	1.1	14	1.0	12	1.1	11	1.0	15
4921	HeII	0.8	11	0.9	12	0.8	11	0.8	9	0.8	11
5016	CIV HeI	1.7	21	1.7	21	1.6	19	1.5	16	1.5	19
5141	CII,CIII	2.0	23	1.9	24	1.9	22	1.8	19		
5250+5305	CIII	2.6	32	2.6	32	2.2	27	2.2	28	2.3	30
5411	CVI,HeII	2.2	27	2.2	26	2.2	27	2.2	26	2.2	25
5471	CIV	2.4	27	2.4	28	2.5	29	2.4	26		

Таблица 9а

ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ WR 154

$\lambda(\text{\AA})$	Ионы	2021.12.01		2022.07.18		2022.07.20		2022.07.21		2022.09.02		2022.10.06	
		Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW	Fabs	EW
6580	HeII,CII	9.0	90	10	96	10	99	10	105	9.9	99	9.2	86
6748	CI,CIII	16	172	17	174	16	173	17	189	14	145	15	151
7065	CIV,HeI	12	167	12	154	13	154	12	146	11	163	12	152
7260	CIII	4.5	51	3.6	45	3.7	46	4.0	53	4.6	60	4.5	60

лагается туманность с размерами (15x10 парсек) [15]. Сравнение расстояний до туманности и до WR звезды подтверждает физическую связь между ними.

Наши наблюдения свидетельствуют о стабильном блеске объекта в 2021-2022гг., но сравнения с каталогом [3] показали, что в 2021-2022гг. объект стал ярче на $0^m.6$ в фильтре В. Наши результаты - потоки эмиссионных линий в шкале 10^{-12} эрг/см²с и эквивалентные ширины приведены в табл.9 и 9а. Точность определения параметров составляет 15-20%.

Фрагменты спектрограмм звезд WC последовательности приводятся на рис.1. Соответствующие численные данные о спектрах исследуемых WR звезд будут представлены на сайте АФИФ.

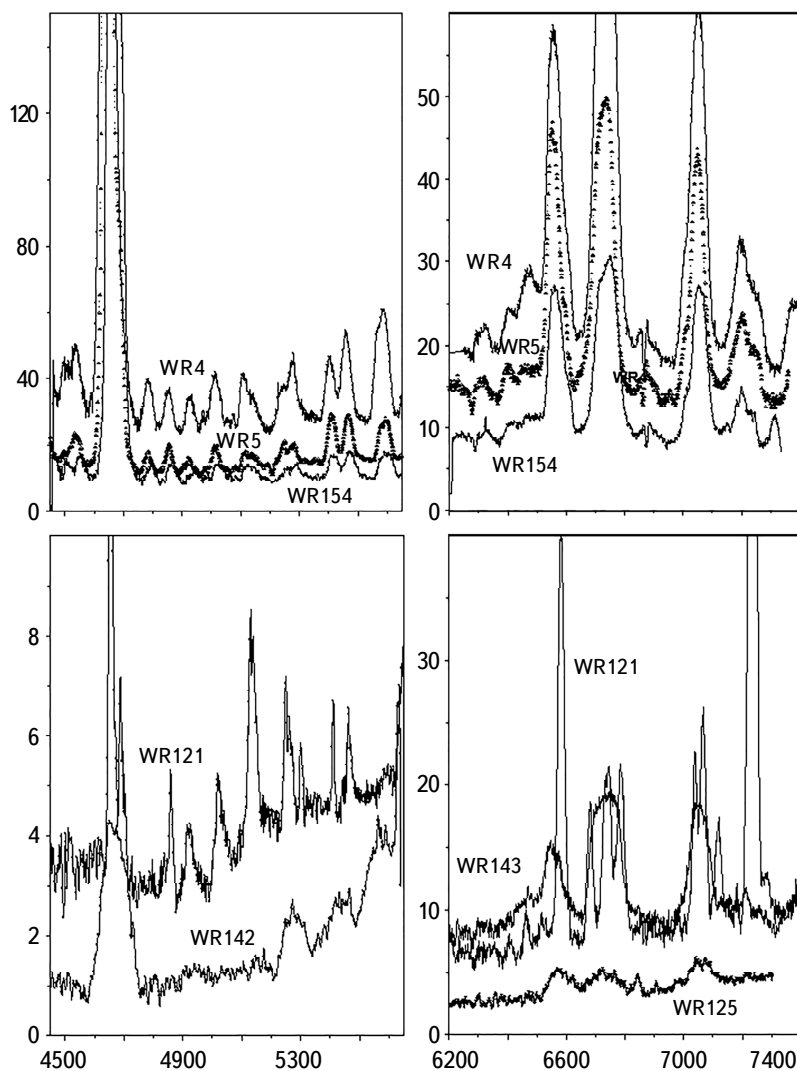


Рис.1. Спектрограммы звезд WC последовательности. Ось X - шкала длин волн, ось Y - потки излучения в шкале 10^{-12} эрг/см² с Å.

4. *Обсуждение и выводы.* Проведены фотометрические и спектральные наблюдения группы звезд Вольфа-Райе. Были зарегистрированы изменения блеска объекта WR 121 ($\Delta B = 0^m.15$). Наши результаты сравнивались с данными, полученными в 2000-2014 гг. в фильтрах В и V в каталогах [2-4]. Зарегистрировано увеличение блеска WR 4 и WR 5 на $\sim 0^m.2 - 0^m.3$ в фильтре В и на $0^m.1 - 0^m.15$ в фильтре V. Для объектов WR 125 и WR 154 получены значительные расхождения с каталожными данными ($\Delta B \sim 0^m.5$). Возможные

причины подобных расхождений: переменность объекта, ошибки, связанные, например, с погодными условиями, а также использование авторами разных наборов фильтров. Звезды Вольфа-Райе имеют спектральные особенности - мощные эмиссионные линии. Вклад этих линий в регистрируемый блеск зависит от кривой спектральной чувствительности используемого фильтра. Мы провели небольшое исследование для того, чтобы сравнить результаты спектрофотометрии с фильтрами Johnson-Cousins UBV_{Rc} и Astrodon UBV_{Rc}. Последний набор фильтров участвует в наших наблюдениях. Спектры нескольких WR звезд из нашего списка, полученные в широком диапазоне длин волн (3500-7500 Å) [16], были обработаны с использованием коэффициентов пропускания упомянутых выше фильтров, спектральной чувствительности ПЗС камеры и с учетом поглощения в земной атмосфере. Коэффициенты прозрачности $P(\lambda)$ были получены для ТШАО, воздушные массы $M(z)$ принимались для момента кульминации объекта. Спектр Веги [17] использовался в качестве стандарта. Для примера на рис.2 приводится спектр WR 142 вместе с кривыми пропускания фильтров.

В табл.10 приведены значения показателей цвета звезд, полученные при использовании двух наборов фильтров. Разность этих параметров может достигать $0^m.2$. Для перевода инструментальных значений блеска в интернациональную систему Johnson-Cousins мы использовали уравнения из [18], полу-

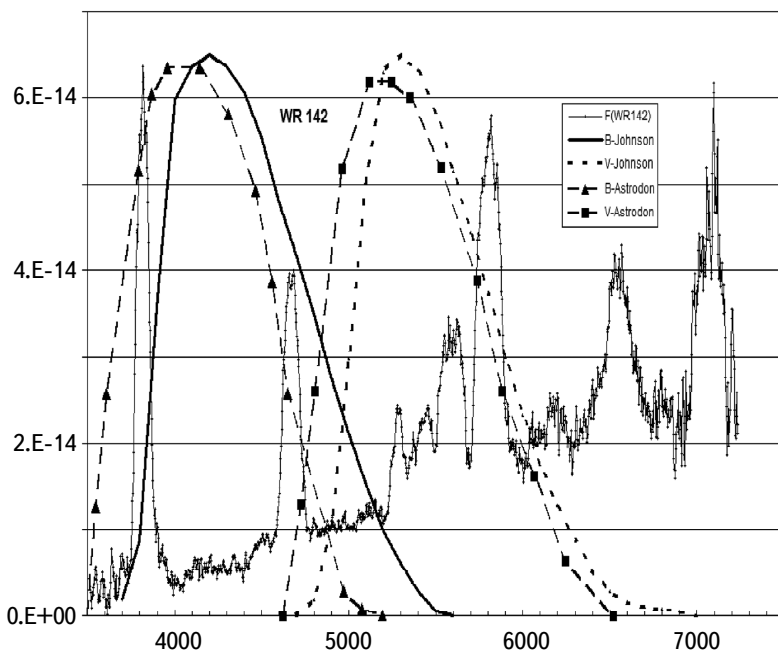


Рис.2. Спектр WR 142 и кривые пропускания фильтров.

ченные по наблюдениям стандартных звезд с довольно "гладкими" спектрами. В частности, основой уравнений служит зависимость между истинным (каталожным) и наблюдаемым показателями цвета (рис.3). Данные, полученные для Вольф-Райе звезд, имеют большой разброс точек и плохо соответствуют зависимости, построенной для нормальных звезд. Строить подобную зависимость специально для Вольф-Райе звезд не имеет смысла, так как интенсивности эмиссионных линий в их спектрах изменяются со временем. Подобные дополнительные ошибки могут возникать при сравнении результатов, полученных с разной аппаратурой. Однако апертурная фотометрия остается эффективным инструментом для изучения переменности объектов.

Таблица 10

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ,
ПОЛУЧЕННЫХ С РАЗНЫМИ ФИЛЬТРАМИ

Объект	Johnson-Cousins			Astrodon		
	B	V	B-V	B	V	B-V
WR4	10.08	9.81	0.27	10.21	9.88	0.33
WR121	13.05	11.84	1.19	13.20	11.80	1.40
WR125	14.36	12.76	1.60	14.34	12.82	1.42
WR142	14.344	12.95	1.39	14.36	13.10	1.26
WR143	12.49	11.13	1.36	12.63	11.20	1.43
WR154	11.39	10.89	0.50	11.47	10.93	0.54

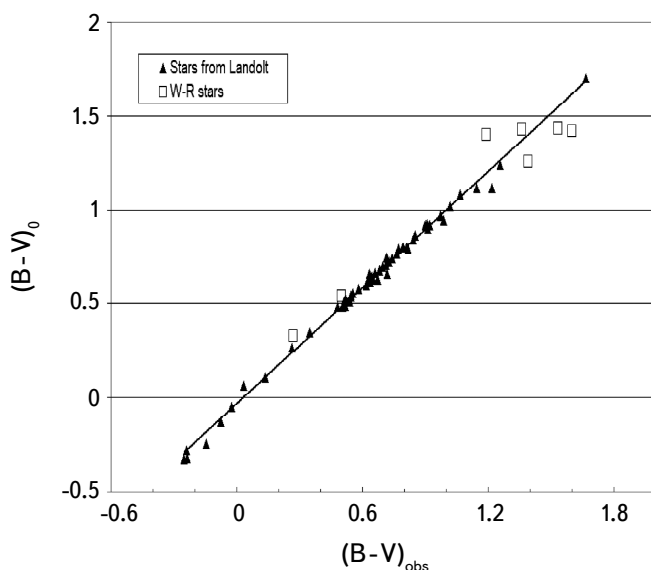


Рис.3. Соотношение показателей цвета $(B-V)_0$ и $(B-V)_{\text{obs}}$.

Спектральные наблюдения выполнялись со спектральным разрешением $1.1 \text{ \AA} / \text{пиксель}$, недостаточным для исследования профилей эмиссионных линий. Основной целью проекта было определение потоков излучения в эмиссионных линиях. Для большинства исследованных звезд наблюдаемые изменения потоков в эмиссионных линиях не выходили за пределы ошибок измерений. Довольно высокие значения погрешностей (15-20%) обусловлены тем, что в ряде объектов (WR4, WR5) спектр буквально заполнен множеством слабых эмиссионных линий, и определить истинный уровень непрерывного спектра довольно трудно. Широкие крылья эмиссионных линий в другой группе звезд (WR121, WR125, WR142, WR143 и R154) также сокращают участки свободного континуума и приводят к большим ошибкам при определении потоков излучения. В спектрах WR4 и WR5 зарегистрированы значительные волнообразные вариации потоков в эмиссионных линиях (до 30%) и эквивалентных ширин, т.е. изменялась именно интенсивность эмиссионных линий при довольно стабильном уровне континуума. В спектре объекта WR121 зарегистрированы изменения потоков излучения, сопровождаемые нерегулярными колебаниями блеска. К сожалению, наши спектральные и фотометрические наблюдения проводились несинхронно, так как соответствующие телескопы расположены на разных обсерваториях с разными погодными условиями. Это обстоятельство затрудняет выбор источников переменности. Это могут быть изменения поглощения на луче зрения, увеличение плотности звездного ветра, флуктуация скорости потери массы или горячие пятна на поверхности звезды.

С точки зрения возможной генетической связи звезд WR со вспышками сверхновых наибольший интерес представляют объекты, в которых происходят такие глобальные процессы, как увеличение массы вещества в зоне звездного ветра и значительные изменения скорости потери массы.

Предлагаемая эволюционная последовательность O-Of-H-rich WN-LBV-H-roog WN-H-free WN-WC-SN выдвигает звезды WC на передний план среди возможных эволюционных предшественников сверхновых звезд SN. Однако следует учитывать, что фотометрическая и спектральная переменность многих WC-звезд связана с наличием мощной пылевой компоненты. Фрагменты пыли при прохождении по лучу зрения вызывают наблюдаемые изменения яркости и интенсивности эмиссионных линий, не влияя на общую структуру объекта.

Двойные системы с большим эксцентриситетом орбиты (WR125) являются перспективными с точки зрения их связи со вспышками сверхновых. Изменение расстояния между звездными компонентами вызывает флуктуации скорости потери массы и перестройку зоны звездного ветра. В этих объектах при прохождении периастра наблюдается повышенная активность вплоть до

эруптивных процессов. Не исключено, что такие объекты находятся на завершающей стадии эволюции звезд с начальными массами $40-60 M_{\odot}$ и в течение нескольких тысяч лет превратятся в сверхновые.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (программа № BR20280974).

Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова, Алматы,
Казахстан, e-mail: lu_kondr@mail.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ

ERRATUM к статье [1]

		Printed	Must be
1	Abstract, 4th row	WR 120, WR 151, and WR 152 in the WRI stars	WR 1, WR 120, WR 151, and WR 152
2	Page 487, 7th row from the bottom of section 2	CCD Alta F16M (4096x4096, 9m) were used	CCD Alta F16M (4096x4096, 9m) was used
3	Page 487, 3th row from the bottom of section 2	standard IRAF and MaximD1-6 standard	IRAF and MaximD1-6 standard
4	Page 500, 9th row from the top	also contains segments of free continuum	also reduce segments of free continuum
5	Page 500, 12th row from the top	but did not clearly follow their tendency	but clearly follow their tendency

PHOTOMETRIC AND SPECTRAL STUDY OF THE
GROUP OF GALACTIC WOLF-RAYET STARS. II.
WC AND WO SEQUENCESL.N.KONDRATYEVA, I.V.REVA, E.K.DENISSYUK,
S.A.SHOMSHEKOVA, A.K.AIMANOVA

Photometric and spectral observations of 7 WC and WO stars were carried out at the FAI in 2021-2022. On the base of observations we obtained estimates of the brightness of objects in the BVRc filters and absolute fluxes of radiation in the emission lines. Changes in brightness within $0^m.1 - 0^m.15$ were detected in WR 121. Changes in the emission-line fluxes were detected in the spectra of several objects: WR 4, WR 5 and WR 121.

Keywords: *variable stars: W-R stars: photometry: spectrophotometry*

ЛИТЕРАТУРА

1. *L.Kondratyeva, E.Denissyuk, I.Reva et al.*, Astrophysics, **66**, 485, 2023.
2. *N.Kharchenko, A.Piskunov, S.Roser et al.*, Astron Nachr., **325**, 740, 2004.
3. *E.Hog, C.Fabircius, V.Makarov et al.*, Astron. Astrophys., **355**, L27, 2000.
4. *J.Ducati*, 2002yCat 1322.
5. *N.Finch, C.Girard et al.*, 2012yCat 1322, 2012.
6. *A.Moffat, M.Shara*, Astron. J., **92**, 952, 1986.
7. *N.St-Louis, A.-N.Chené*, Astrophys. J., 698, 1951.
8. *P.Veen, A. van Genderen, K. van der Hucht et al.*, Astron. Astrophys., **329**, 199, 1998.
9. *E.Moreno, G.Koenigsberger, D.Harrington*, Astron. Astrophys., **528**, A48, 2011.
10. *A.-N.Chene, N.St-Louis, A.Moffat*, Astrophys. J., **903**, 113, 2020.
11. *P.Crother*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **45**, 177, 2007.
12. *F.Tramper, S.Straal, D.Sanayal et al.*, Astron. Astrophys., **581A**, 110, 2015.
13. *W.Varricatt, N.Ashok*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **365**, 127, 2006.
14. *K.Dsilva, T.Shenar, H.Sana et al.*, Astron. Astrophys., **641**, A26, 2020.
15. *S.Cichowolski, E.Arnal*, Astron. Astrophys., **414**, 203, 2004.
16. *A.Torres, P.Massey*, Astrophys. J. Suppl., **65**, 459, 1987.
17. *V.Tereschenko, A.Kharitonov, L.Knyazeva*, Spectrophotometric Catalogue of Stars ISBN-10: 365968371: LAP Lambert Academic Publishing, 2015, p.312.
18. *A.Landolt*, Astron. J., **146**, 131, 2013.