

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

## АСТРОФИЗИКА

ТОМ 10

АВГУСТ, 1974

ВЫПУСК 3

### ПЕРЕМЕННОСТЬ ОДИНОЧНЫХ ЗВЕЗД ТИПА ВОЛЬФА-РАЙЕ В КОНТИНУУМЕ И ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЯХ

А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Поступила 21 февраля 1974

В течение пяти лет проводились узкополосные ( $\Delta\lambda = 90 \text{ \AA}$ ) фотозлектрические наблюдения HD 191765 (WN 6) и HD 192103 (WC 7) в континууме  $\lambda 4789$  и эмиссионных полосах  $\lambda 4686$  и  $4653$ . Для обеих звезд WR среднеквадратическая амплитуда переменности составляет  $0^m.010-0^m.014$  для континуума и  $0^m.019-0^m.023$  для интенсивностей эмиссионных полос. Характерное время переменности континуума и линий — несколько суток. Блеск обеих звезд WR в континууме держался в среднем постоянным в течение пяти лет в пределах  $\pm 0^m.005$ . Интенсивности эмиссионных полос в течение пяти лет в среднем также были постоянны в пределах  $\pm 0^m.02$ . Не обнаружено заметных флуктуаций континуума и линий в течение ночи. Средняя амплитуда переменности континуума изученных звезд WR в три-четыре раза меньше средней амплитуды физической переменности "ядра" звезды WR в двойной системе V 444 Cyg, что может служить указанием на то, что HD 191765 и HD 192103 — действительно одиночные звезды WR, лишённые каких-либо спутников.

Оптическая переменность одиночных звезд типа Вольфа-Райе (WR) до последнего времени исследовалась либо с помощью широкополосных фотометрических наблюдений [1—3], либо спектрофотометрической методикой [4—7]. Оба этих метода не позволяют изучать раздельно переменность интенсивности линий и континуума. Поскольку эмиссионные линии (вклад которых в интегральный поток звезд WR достигает 50—60 % [8]) и континуум формируются в областях с различными физическими условиями, естественно ожидать различия в их переменности. Это различие является дополнительным источником информации о природе звезд WR.

Узкополосные фотозлектрические наблюдения двух одиночных звезд WR HD 191765 и HD 192103 проведены нами в период с 1969 г.

по 1973 г. на 60- и 48-см рефлекторах Крымской станции ГАИШ. HD 191765 (WN 6) исследовалась в двух областях:  $\lambda$  4686 (эмиссионная линия He II) и  $\lambda$  4789 (континуум). HD 192103 (WC 7) изучалась в областях:  $\lambda$  4653 (эмиссионная полоса C II—C IV, N III) и  $\lambda$  4789 (континуум). Наблюдения проводились на узкополосном электрофотометре с интерференционными клиновыми фильтрами, описанном в [9]. Ширина по половинной интенсивности контура полосы пропускания фотометра в этой области спектра составляет 60 Å, эффективная ширина полосы пропускания (с учетом крыльев контура) — около 90 Å. звездой сравнения была HD 191917 ( $m_{\text{вр}}=7.8$ , В3), контрольной служила звезда К [10]. Для каждой  $\lambda$  наблюдения велись дифференциальным способом по схеме: HD 191917—К—WR—HD 191917—К—WR—и т. д. По выполнении  $\sim 4$  измерений блеска в данной  $\lambda$ , последняя изменялась, и наблюдения повторялись по той же схеме. Используя наблюдения в континууме  $\lambda$  4789 и данные о среднем распределении энергии в спектре звезды WR в этой области спектра, можно вычислить интенсивность континуума, расположенного „под“ эмиссионной полосой  $\lambda$  4686 или  $\lambda$  4653. Разность между измеренной интенсивностью излучения в эмиссионной области спектра ( $\lambda$  4686 или  $\lambda$  4653) и интенсивностью низлежащего континуума „дает абсолютную интенсивность эмиссионной полосы, выраженную в долях интенсивности излучения звезды сравнения HD 191917 в соответствующей области спектра. Если известно абсолютное распределение энергии в спектре звезды сравнения HD 191917, то интенсивности эмиссионных полос  $\lambda$  4686 и  $\lambda$  4653 могут быть выражены в абсолютных энергетических единицах. Таким образом, в отличие от результатов работ [1—7], наши данные позволяют исследовать независимо переменность интенсивности континуума и эмиссионных линий. Предварительные результаты наблюдений за период J.D. 2440420—96 опубликованы в [11]. В дальнейшем оптическая схема фотометра была несколько изменена — интерференционный клиновый фильтр был установлен позади (а не впереди) диафрагмы, что привело к незначительному уширению полосы пропускания фотометра. Поэтому в интенсивности эмиссионных линий, полученные в период J.D. 2440496—2441958 была внесена поправка — 0<sup>m</sup>.06 (уширение полосы пропускания фотометра на  $\sim 5\%$  практически не повлияло на узкополосные наблюдения в континууме  $\lambda$  4789).

Результаты исследования переменности указанных звезд WR от ночи к ночи представлены в табл. 1 и на рис. 1. Все результаты выражены по отношению к звезде сравнения HD 191917 в звездных величинах. В табл. 1 в третьем и шестом столбцах даны интенсивно-

сти эмиссионных полос  $\lambda$  4686 и  $\lambda$  4653, определенные способом, описанным выше, и выраженные в звездных величинах. Каждое значение—среднее за ночь (4—6 измерений). На рис. 1 приведены (снизу вверх):

Таблица I

J.D. 244...	HD 191765		J.D. 244...	HD 192103	
	$\lambda$ 4789	$\lambda$ 4686		$\lambda$ 4789	$\lambda$ 4653
0420.53	+0 <sup>m</sup> .148	-0 <sup>m</sup> .411	0420.60	+0 <sup>m</sup> .358	-0 <sup>m</sup> .725
0421.40	.173	.460	0422.42	.372	.738
0436.35	.172	.485	0436.45	.361	.770
0441.42	.153	.450	0442.32	.392	.770
0443.53	.178	.420	0443.58	.375	.755
0446.41	.210	.465	0450.38	.404	.769
0455.52	.167	.435	0455.54	.405	.760
0458.40	.180	.440	0458.40	.371	.766
0459.51	.171	.450	0459.53	.361	.770
0460.42	.165	.452	0460.43	.385	.765
0461.50	.173	.477	0461.52	.370	.754
0475.34	.225	.511	0475.37	.382	.758
0476.43	.170	.471	0476.45	.371	.825
0489.51	.158	.428	0489.53	.394	.762
0491.44	.165	.441	0491.46	.370	.753
0494.55	.177	.439	0494.58	.380	.753
0495.45	.172	.440	0495.47	.375	.748
1158.43	.176	.459	1161.45	.395	.765
1161.37	.187	.510	1163.43	.381	.775
1163.46	.198	.432	1167.45	.390	.775
1167.37	.180	.485	1169.46	.372	.759
1169.42	.184	.450	1171.42	.391	.794
1171.39	.193	.468	1173.51	.379	.795
1173.42	.193	.475	1175.51	.405	.725
1175.42	.204	.460	1456.51	.378	.730
1456.48	.162	.425	1460.53	.378	.731
1460.52	.180	.420	1462.53	.375	.740
1462.51	.167	.403	1957.47	.388	.750
1957.45	.180	.435			

наблюдения контрольной звезды К в континууме  $\lambda$  4789, континуум  $\lambda$  4789 и абсолютная интенсивность эмиссионной полосы  $\lambda$  4686 для HD 191765, континуум  $\lambda$  4789 и абсолютная интенсивность эмиссионной полосы  $\lambda$  4653 для HD 192103. На основе результатов, приве-

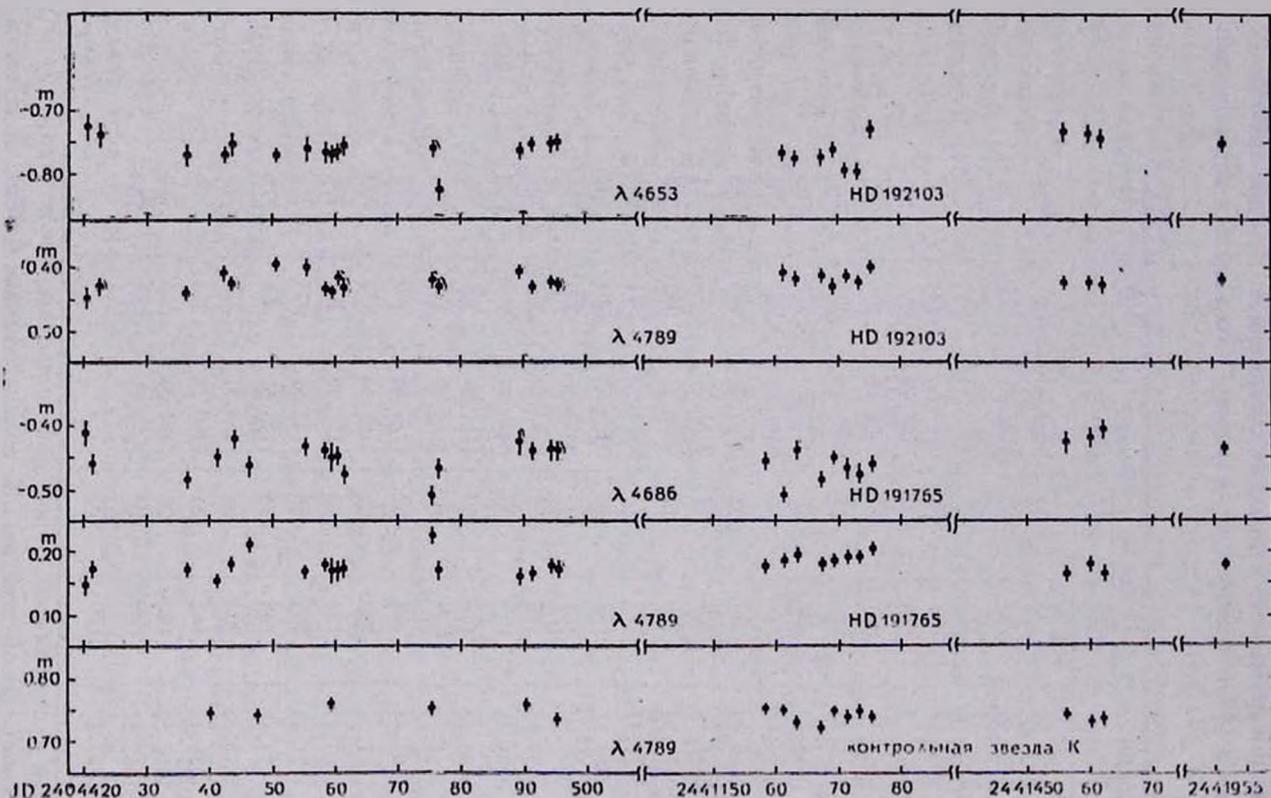


Рис. 1. Узкополосные фотоэлектрические наблюдения одиночных звезд WR (снизу вверх): контрольная звезда К в континууме  $\lambda$  4789, континуум  $\lambda$  4789 и интенсивность эмиссионной полосы  $\lambda$  4686 для HD 191765, континуум  $\lambda$  4789 и интенсивность эмиссионной полосы  $\lambda$  4653 для HD 192103. Вертикальные линии — среднеквадратические погрешности среднего. Каждая точка — среднее за ночь (4–6 индивидуальных наблюдений).

денных в табл. 1 и на рис. 1, были вычислены величины  $\sigma$  — среднеквадратичные амплитуды рассеяния нормальных точек от ночи к ночи, с учетом неравноточности этих точек, (см. табл. 2). Тот факт, что  $\sigma_{WR}^{4789}$  для звезд WR превышает величину  $\sigma_k$  для контрольной звезды К,

Таблица 2

Контрольная звезда К	HD 191765		HD 192103	
	$\sigma_{WR}^{4789}$	$\sigma_{WR}^{4656}$	$\sigma_{WR}^{4789}$	$\sigma_{WR}^{4653}$
0 <sup>m</sup> 011	0 <sup>m</sup> 017	0 <sup>m</sup> 025	0 <sup>m</sup> 014	0 <sup>m</sup> 022

свидетельствует о наличии физической переменности звезд WR в континууме и линиях. Оценку амплитуды этой физической переменности можно провести, исходя из следующих простейших соображений. Значение  $\sigma_k = 0^m011$  характеризует возможную физическую переменность контрольной звезды или звезды сравнения, а также аппаратурные эффекты. Значения  $\sigma_{WR}^{4789}$  для обеих звезд WR отражают как действие отмеченных факторов, так и реальную физическую переменность этих звезд. Считая эти процессы независимыми и случайными, мы можем оценить „минимальные“ среднеквадратичские амплитуды физической переменности звезд WR в континууме  $\lambda$  4789, воспользовавшись формулой сложения дисперсий:

$$\sigma_{WR}^{4789} = \sqrt{(\sigma_{WR}^{4789})^2 - (\sigma_k^{4789})^2} \quad (1)$$

Оценка „минимальной“ среднеквадратической амплитуды физической переменности интенсивности эмиссионных полос более сложна и неопределенна, поскольку в погрешность определения интенсивности эмиссионной полосы входит, помимо описанных факторов, также и погрешность, допустимая при учете низлежащего континуума. Однако, поскольку интенсивности исследуемых эмиссионных полос почти вдвое превышают интенсивность континуума (в полосе пропускания нашего фотометра), влиянием этого фактора можно пренебречь и считать „минимальные“ среднеквадратические амплитуды физической переменности эмиссионных полос по формулам, аналогичным формуле (1):

$$\sigma_{WR}^{4656} = \sqrt{(\sigma_{WR}^{4656})^2 - (\sigma_k^{4789})^2}; \quad \sigma_{WR}^{4653} = \sqrt{(\sigma_{WR}^{4653})^2 - (\sigma_k^{4789})^2}. \quad (2)$$

„Минимальные“ среднеквадратические амплитуды физической переменности звезд WR от ночи к ночи в континууме и линиях, вычисленные по формулам (1), (2), приведены в табл. 3.

Для современной теории эволюции звезд WR представляет интерес исследование этих объектов на микропеременность с характерным временем  $0^d01-0^d04$  [12]. Такое исследование естественно проводить в континууме, поскольку континуум непосредственно отражает свойства „ядра“ звезды WR, содержащего основную часть массы (согласно [12] именно пульсационная нестабильность „ядра“ звезды WR должна вызывать указанный выше микропеременность). Предва-

Таблица 3

HD 191765		HD 192103	
$\lambda_{4789}$ $\sigma_{WR}$	$\lambda_{4686}$ $\sigma_{WR}$	$\lambda_{4789}$ $\sigma_{WR}$	$\lambda_{4653}$ $\sigma_{WR}$
0.014	0.023	0.010	0.019

рительные результаты поиска быстрых флуктуаций блеска у одиночных звезд WR опубликованы в [10], где не найдено микрофлуктуаций блеска, больших  $0^m02$  за время от 5 минут до 4—5 часов. Если использовать данные работы [10], отбросив наблюдения, соответствующие большим воздушным массам, то можно понизить верхний предел микрофлуктуаций. На рис. 2 приведены наблюдения HD 191765 и HD 192103, выполненные в моменты J.D. 2441158 и 2441167, соответственно, для которых воздушная масса меньше 1.3. Для каждой ночи вычислена среднеквадратическая ошибка индивидуального наблюдения контрольной звезды ( $\sigma_k$ ) и звезды WR ( $\sigma_{WR}$ ) в континууме  $\lambda_{4795}$  (см. табл. 4.) Данные табл. 4 позволяют заключить, что у обеих звезд WR отсутствуют физические изменения блеска за время от 5 минут до 4 часов, превышающие  $0^m01$ . При этом блеск обеих звезд WR в

Таблица 4

J.D.24411...	Звезда	$\lambda_{4795}$ $\sigma_{WR}$	$\lambda_{4795}$ $\sigma_k$
58	HD 191765	$0^m014$	$0^m016$
67	HD 192103	0.014	0.014

континууме остается в среднем постоянным в течение 4 часов в пределах  $\pm 0^m002$ . Если объединить наблюдения континуума группами в интервалах  $0^d01$ , то можно гарантировать отсутствие физических флуктуаций блеска, превышающих  $0^m006$  за время, большее  $0^d01 \approx 15$  минут. Изменения интенсивностей эмиссионных полос  $\lambda_{4686}$  и  $\lambda_{4653}$  не

превышают  $0^{\text{m}}01-0^{\text{m}}02$  за время  $\sim 4$  часов (см. рис. 2). За все время наблюдений ( $\sim 30$  ночей) нам не удалось наблюдать быстрые (за время  $\sim 15$  минут) флуктуации интенсивностей эмиссионных полос  $\lambda$  4686 и  $\lambda$  4653 у обеих звезд WR, превышающие  $0^{\text{m}}02$ .

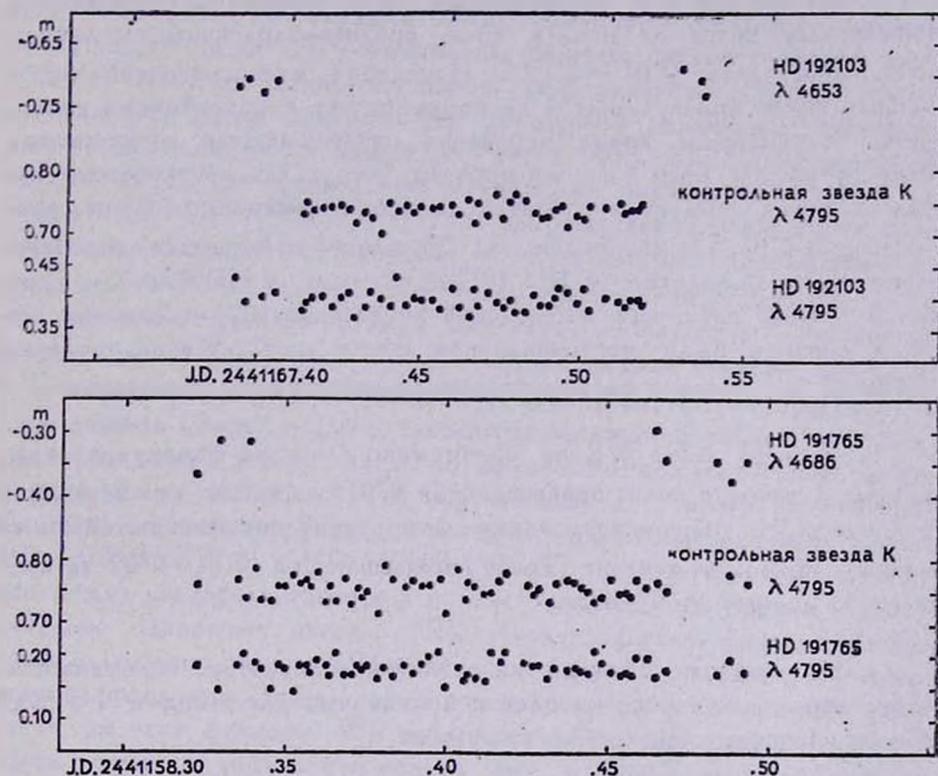


Рис. 2. Узкополосные фотовольметрические наблюдения HD 191765, HD 192103 и контрольной звезды K в течение ночи. Каждая точка — индивидуальное наблюдение.

**Выводы.** 1. Обе одиночные звезды WR обнаруживают физическую переменность континуума от ночи к ночи, среднеквадратическая амплитуда которой  $0^{\text{m}}010-0^{\text{m}}014$ . Эта переменность носит иррегулярный характер. Флуктуации континуума от ночи к ночи, превышающие  $0^{\text{m}}03$ , чрезвычайно редки: в течение 29 ночей наблюдений такие флуктуации у HD 192103 не наблюдались ни разу, у HD 191765 — один раз. Характерное время флуктуаций континуума от ночи к ночи — порядка нескольких суток. Блеск обеих звезд WR в континууме

остается в среднем практически постоянным в интервалах времени, превышающих один-два месяца. За пять лет наблюдений не замечено медленных систематических изменений блеска обеих звезд WR в континууме: блеск держался в среднем постоянным в пределах  $\pm 0^m005$ .

2. Обе звезды WR обнаруживают переменность интенсивностей эмиссионных полос от ночи к ночи, среднеквадратичная амплитуда которой составляет  $0^m019-0^m023$ . Изменения интенсивностей эмиссионных полос иррегулярны и не коррелируют с изменениями континуума. Характерное время изменения интенсивностей эмиссионных полос от ночи к ночи того же порядка, что и для континуума — несколько суток. Флуктуации интенсивностей эмиссионных полос, превышающие  $0^m06$ , весьма редки: за 29 ночей наблюдений подобные флуктуации наблюдались у HD 191765 два раза, у HD 192103 — один раз. В течение пяти лет наблюдений интенсивности эмиссионных полос в среднем были постоянны для обеих звезд WR в пределах  $\pm 0^m02$  (2%), никаких систематических изменений не обнаружено.

3. У обеих звезд WR не обнаружено быстрых флуктуаций континуума в течение ночи, превышающих  $0^m01$  за время от 5 минут до 4 часов. Не обнаружено также флуктуаций интенсивностей эмиссионных полос в течение ночи, превышающих  $0^m01-0^m02$  за время от 15 минут до 4 часов.

4. Не обнаружено заметных различий в характере переменности интенсивности эмиссионных полос и континуума для звезд WN и WC во всех изученных временных масштабах.

Таким образом, наши данные свидетельствуют о том, что одиночные звезды WR — весьма стабильные объекты. По-видимому, сильная физическая переменность в континууме и линиях звезд WR — компонент двойных систем [13—15] связана с эффектами близости компонент: приливными эффектами, газовыми потоками и переработкой излучения спутника в газовых потоках и оболочке. Для выяснения природы феномена WR представляет большое значение решение вопроса о том, все ли звезды WR двойные или действительно существуют одиночные звезды WR. Большой процент двойных среди звезд WR не может служить доказательством того, что все звезды WR двойные. С другой стороны, спектроскопические критерии позволяют лишь дать ограничения сверху на массу и светимость спутника в двойной системе, но не доказывают отсутствия спутника. Поэтому

не исключено, что на самом деле многие „одиночные“ звезды WR двойные со слабыми маломассивными спутниками. В последнее время появились косвенные указания на то, что действительно существуют одиночные звезды WR: из семи звезд WR, окруженных оболочечными туманностями [16], нет ни одной, которая обладала бы признаками двойственности. Косвенным указанием на существование одиночных звезд WR могло бы служить также различие в характере переменности „ядер“ звезд WR — компонент двойных систем и „ядер“ звезд WR без заметных следов спутников. Это различие в характере неустойчивости „ядер“ может быть следствием различных эволюционных путей двойных и одиночных звезд WR. Как показано в [14], средняя амплитуда физических флуктуаций континуума двойной системы V 444 Cyg (WN 5 + O6) в моменты соединений, когда экранируется физически нестабильная область между компонентами, составляет  $\sim 0^m01$ . Учитывая отношение светимостей компонент системы, получаем оценку средней амплитуды собственных физических флуктуаций блеска „ядра“ звезды WR в двойной системе V 444 Cyg  $\sim 0^m05$  (эта амплитуда, по-видимому, характеризует физическую неустойчивость „ядра“ и слабо зависит от близости спутника, поскольку размеры „ядра“ весьма малы по сравнению с расстоянием между компонентами системы V 444 Cyg, меньше 7% этого расстояния). Средняя амплитуда флуктуаций континуума, наблюдаемая нами у звезд HD 191765 (WN 6) и HD 192103 (WC 7) в три-четыре раза меньше, что может свидетельствовать в пользу того, что эти звезды — действительно одиночные звезды WR. Доказательство факта существования одиночных звезд WR имело бы большое значение для понимания эволюции этих резко пекулярных объектов и свидетельствовало бы о том, что феномен WR может реализоваться двумя независимыми путями: в результате обмена масс в тесных двойных системах звезд большой массы [12] и вследствие интенсивной потери массы одиночными массивными звездами в области красных сверхгигантов на стадии горения гелия [17].

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга

## THE VARIABILITY OF SINGLE WOLF-RAYET STARS IN THE CONTINUUM AND EMISSION LINES

A. M. CHEREPASHCHUK

Narrow band photoelectric observations HD 191765 (WN 6) and HD 192103 (WC 7) were carried out for a period of 5 years in continuum  $\lambda$  4789 and emission lines  $\lambda$  4686 and  $\lambda$  4653. For both WR stars the average square amplitude of variability is  $0^{\text{m}}010$ — $0^{\text{m}}014$  for continuum and  $0^{\text{m}}019$ — $0^{\text{m}}023$  for the intensity of emission lines. The characteristic time of variability of continuum and lines is about a few days. The brightness of both WR stars in continuum was kept constant during 5 years in the limits of  $\pm 0^{\text{m}}005$ . The intensity of emission lines during 5 years was also constant in the average in the limits of  $\pm 0^{\text{m}}02$ . Noticeable fluctuation of continuum and lines during night has not been revealed. The average amplitude of variability of continuum of the investigated WR stars was 3—4 times less than the average amplitude of physical variability (of the nucleus) of the WR star in the double system V 444 Cyg which can serve as an indication that HD 191765 and HD 192103 are really single WR stars without any satellites.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Э. С. Бродская, Изв. КрАО, 6, 84, 1951.
2. L. W. Ross, P.A.S.P., 73, 365, 1961.
3. S. Demers, J. D. Fernie, P.A.S.P., 76, 350, 1964.
4. M. K. V. Varri, A. J., 56, 120, 1951.
5. A. Underhill, V.A.N., 19, 173, 1967.
6. L. F. Smith, L. V. Kuhi, Ap., J., 162, 535, 1970.
7. Т. Нуис, Т. Евсеевко, Астрон. Цирк. № 664, 1971.
8. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Астрон. ж., 23, 9, 1946.
9. А. М. Черепашук, В. М. Лютый, Х. Ф. Халиуллин, Астрон. ж., 50, 1105, 1973.
10. А. М. Черепашук, Астрон. Цирк. № 682, 1972.
11. А. М. Черепашук, В. А. Ерижиков, Астрон. Цирк. № 561, 1970.
12. В. Расзуньку, Acta Astron., 17, 355, 1967.
13. А. М. Черепашук, Переменные звезды, 16, 226, 1967.
14. А. М. Черепашук, Х. Ф. Халиуллин, Астрон. ж., 50, 516, 1973.
15. А. М. Черепашук, Астрон. ж., 48, 1201, 1971.
16. H. M. Johnson, D. E. Hogg, Ap. J., 142, 1033, 1965.
17. G. S. Bisnovatyi-Kogan, D. K. Nadyozhina, Astrophys. Space Sci., 15, 353, 1972.