

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Koch R. H., Sobieski S., Wood F. B. A finding list for observers of eclipsing variables. Publ. Univ. Pennsylv. 1963, IX.
2. Gaposkin S. A new bright eclipsing variable with small range. Bull. Harvard obs. 1943, N. 917, 5—7.
3. Gaposkin S. The eclipsing variables. Harv. Ann. 1953, 113, 2, 69—149.
4. Plaut L. The elements of the eclipsing binaries brighter than photographic magnitude 8.50 at maximum. Groningen Publ. 1950, 54.
5. Гапошкин С. И. Спектрально-двойная звезда BD+40°4115—затменная переменная V470 Cygni. Перем. зв. 1948, 7, 1, 38—40.
6. Gaposkin S. New eclipsing variables with small ranges. A. J. 1948, 53, 112.

ВОПРОСЫ КЛАССИФИКАЦИИ *C*-ЗВЕЗД ПО НИЗКО-ДИСПЕРСНЫМ СПЕКТРАМ

М. В. ДОЛИДZE, З. АЛКСНЕ И Г. Н. ДЖИМШЕЛЕЙШВИЛИ

За последнее время в близких инфракрасных лучах различными авторами было выявлено большое количество *C*-звезд. Подробная классификация этих звезд не была проведена. Трудности классификации *C*-звезд в близких инфракрасных и визуальных лучах хорошо известны. В лучшем случае в инфракрасных лучах *C*-звезды удается разделить на 3—4 подкласса. Кроме того, возникают трудности при разделении звезд на *R* и *N*. Так как на большой призмной камере Абастуманской астрофизической обсерватории (70 см менисковый телескоп с 8- и 4-градусными призмами) мы имеем возможность выявлять слабые *C*-звезды, то перед нами возникла необходимость классификации вновь выявленных и реклассификации в *C*-системе слабых *C*-звезд. При этом нашей задачей не являлась количественная спектральная классификация. Предварительная работа имела целью выработать качественную классификацию для спектров, получаемых на нашей аппаратуре в *C*-системе, основываясь на глазомерных оценках относительной интенсивности отдельных линий и полос в спектре.

Как известно, для уверенной классификации *C*-звезд необходимо иметь широкие участки спектра, например, 6700—5000 или 8300—6500 ангстрем. Получать подобные спектры мы могли на эмульсиях *A*—700 или Рот Рапид и *H*—850. Но, к сожалению, в этом случае, из-за малой чувствительности эмульсий Рот Рапид и *H*—850 наблюдения ограничены яркими, в большинстве случаев хорошо изученными звездами. На рис. 1, 2 и 3 мы приводим микрофотограммы четырех *C*-звезд, полученных с 8-градусной призмой на эмульсиях *H*—850, *A*—700 и Рот Рапид. Дисперсия около *A*-полосы O_2 равняется приблизительно 760 ангстрем на мм, а около линии $D_{1,2}$ NaI —450. Для 4-градусной призмы дисперсия примерно в два раза меньше—приблизительно 1500 и 900, соответственно.

Следует помнить также о том, что не на всех эмульсиях возможно получать нормально экспонированные спектры *C*-звезд одновременно во всем участке спектра. Поэтому в последнее время для получения и изучения всего участка спектра на одной эмульсии берут различные выдержки. Особенно необходимо получать последовательность спектров с различными выдержками в случае работы на эмульсиях с узкой полосой максимальной спектральной чувствительности (например, на эмульсии *H*—810).

Обычно же, если не вести специальных работ для классификации, спектральные снимки получают в узких участках спектра: 8300—7500,

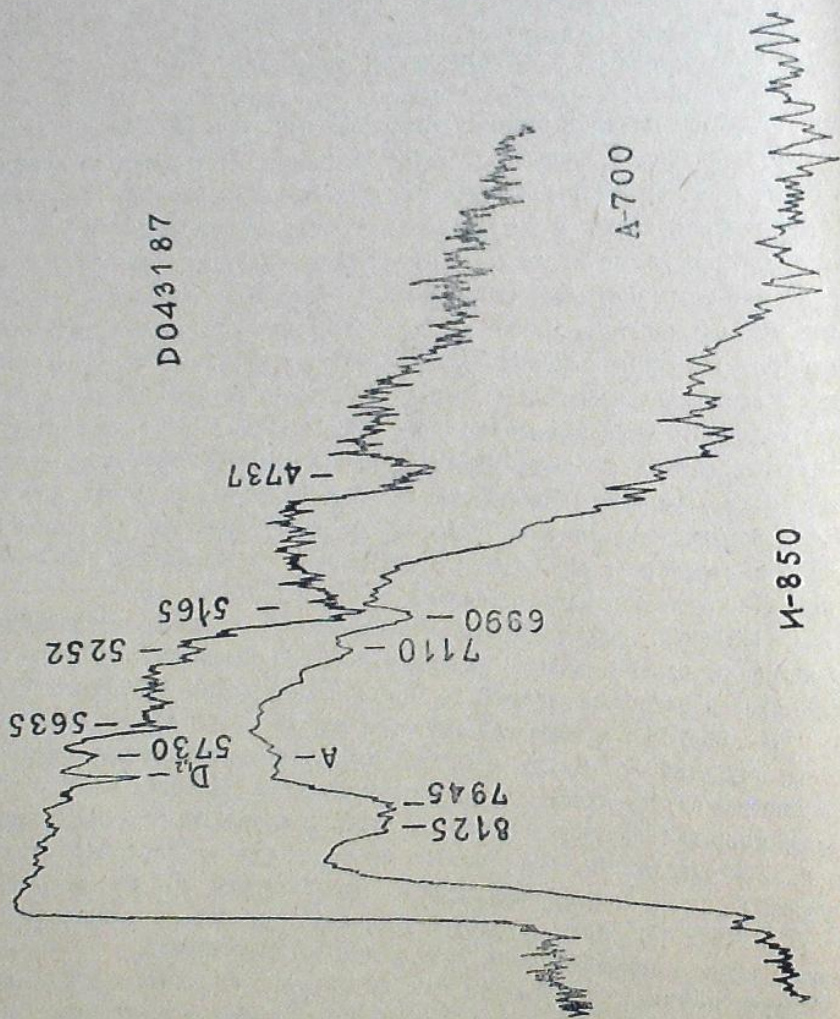


Рис. 1.

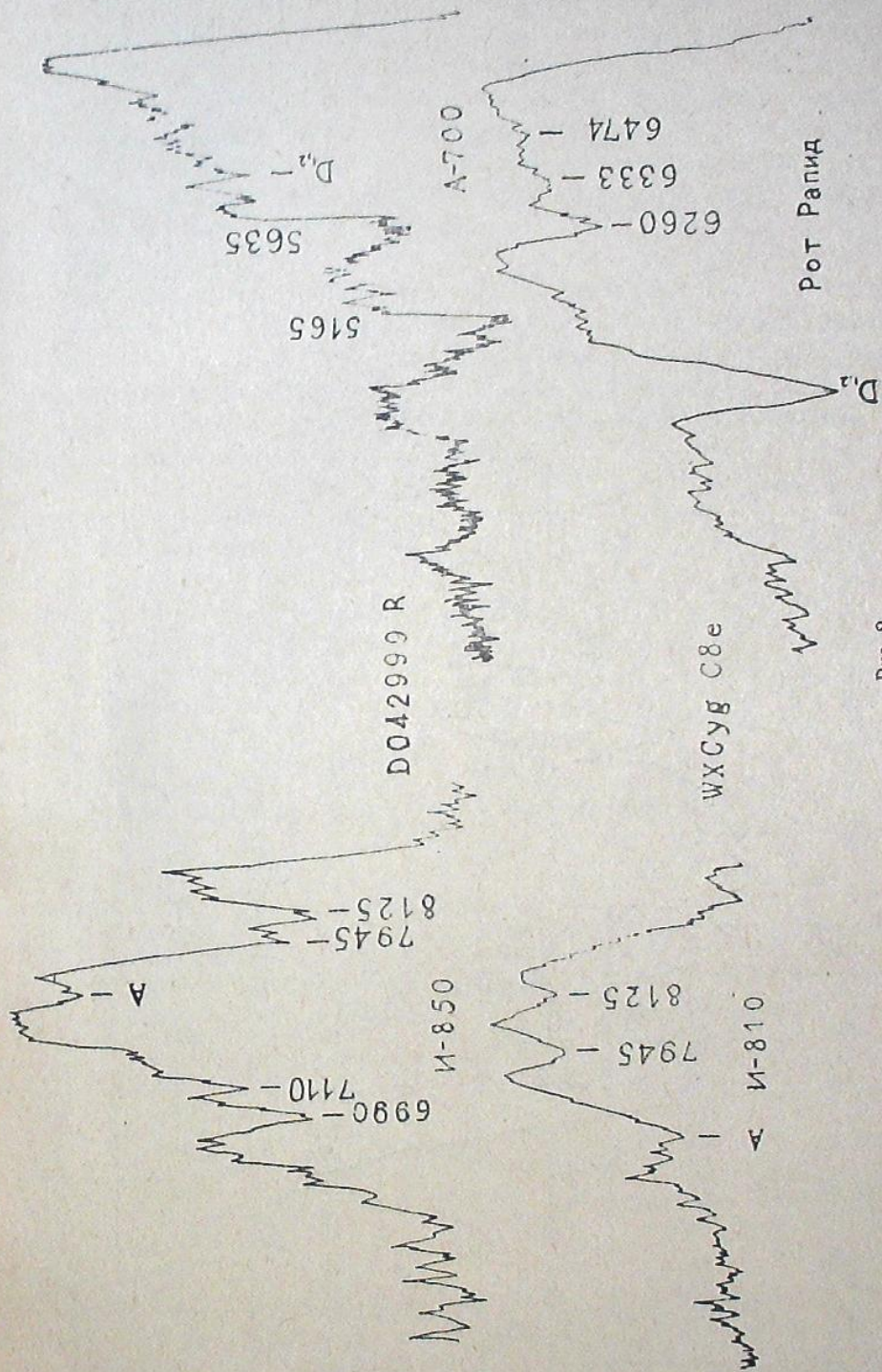


Рис. 2.

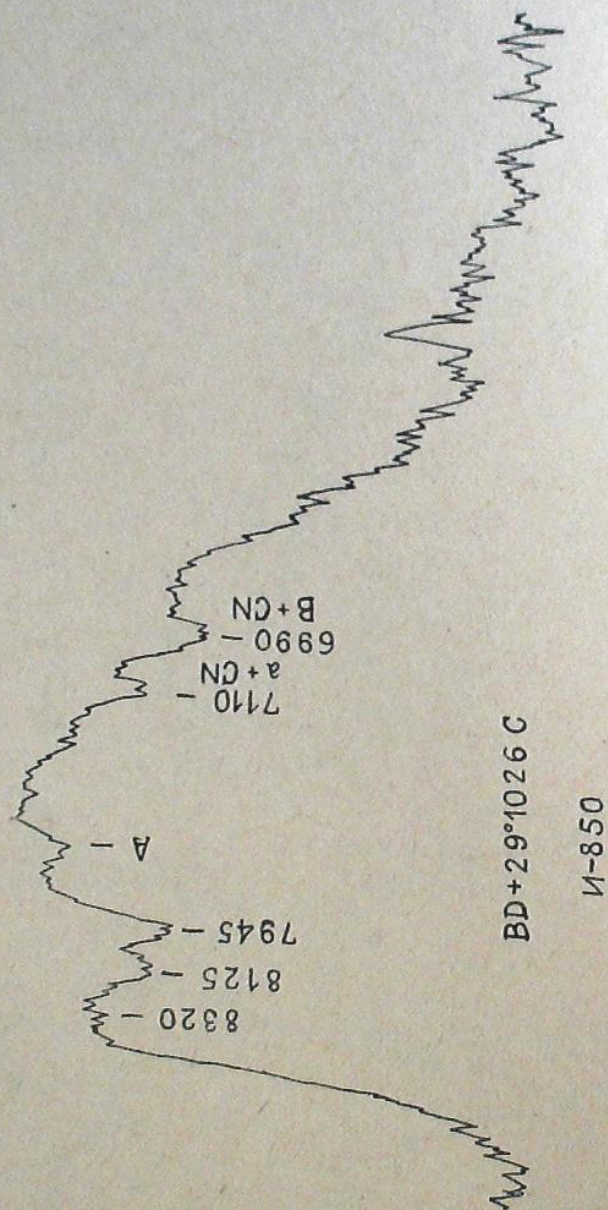


Рис. 8.

6600—6000, 6500—5500 и реже 5700—5000 ангстрем. Поэтому мы решили проанализировать спектры С-звезд различных подклассов, полученных нами в этих участках спектра. Хотя у нас имеется большое количество спектральных снимков, полученных в участке спектра 6500—6000, к сожалению, это наименее удобный для исследования С-звезд участок, в котором расположены лишь слабые полосы поглощения, невыгодные для спектральной классификации. В связи с этим мы выбрали дополнительно участок спектра в желтых лучах 5700—5000, в котором расположены наиболее сильные в С-звездах полосы поглощения C_2 , а также атомные линии поглощения и полоса CN.

Для выявления возможности деления С-звезд на подклассы по нашим спектральным снимкам, нами получена серия спектральных снимков с 8-градусной призмой в близких инфракрасных и желтых лучах восьми хорошо изученных С-звезд из списка Кинана и Моргана [1] и двух ярких С-звезд из списка Е. Перро [2]. Список звезд приводится в таблице 1. Данные наблюдений приведены в таблице 2.

Таблица 1

| №№ п/п | Звезда | HD | α_{1900} | δ_{1900} | M_v | C $T_{\text{тип}}$ | R, N $T_{\text{тип}}$ |
|-----------|--------|---------|---------------------------------|-----------------|----------|--------------------|-----------------------|
| 1 | | 156074 | 17 ^h 10 ^m | +42°15' | 7.7— | C1 ₂ | R1 |
| 2 | | 223392 | 23 44 | 05 50 | 8.8— | C ₂ | R3 |
| 3 | RU Cyg | 191783 | 20 07 | 35 39 | 8.5—10 | C ₃ | N |
| 4 | DS Peg | 21 6570 | 21 38 | 35 03 | 6.0—7.0 | C6 ₂ | N1 |
| 5 | TX Psc | 223075 | 23 41 | 02 56 | 5.3— | C6 ₂ | N0 |
| 6 | RV Cyg | 21 6750 | 21 39 | 37 34 | 7.1—9.3 | C6 ₁ | N5 |
| 7 | UX Dra | 183556 | 19 25 | 76 23 | 6.1—7.1 | C7 ₃ | N0 |
| 8 | RS Cyg | 19 443 | 20 10 | 38 26 | 7.5—8.7 | C8 ₂ | NOpe |
| 9 | WX Cyg | 19 3363 | 20 15 | 37 03 | 8.8—13.2 | C8e | N3e |
| 10 | WZ Cas | 224855 | 23 56 | 59 48 | 6.9—8.5 | C9 ₁ | N1p |

Таблица 2

| Звезда | Номер пластинки | Д а т а | Эмульсия и фильтр | Время выдерж- ки в минутах | Наблюда- тель |
|--------|--------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| 1 | 4166 | 23.VII.1964 | 2 | 15 | Д.А |
| 1 | 4172a | 23.VII. " | 1 | 10 | Д.А |
| 1 | 4382 | 21. X. " | 1 | 20 | Д |
| 25 | 4169 | 24.VII. " | 2 | 30 | Д.А |
| 25 | 4179a | 24.VII. " | 1 | 30 | Д.А |
| 5 | 4377b | 17.X. " | 1 | 5 | Д |
| 5 | 4378 | 20.X. " | 2 | 15 | Д |
| 5 | 4379 | 20.X. " | 1 | 20 | Д |
| 5 | 4384 | 21.X. " | 1 | 3 | Д.ДЖ |
| 5 | 43-5 | 21.X. " | 2 | 5 | Д.ДЖ |
| 5 | 4397 | 23.X. " | 2 | 40 | Д.ДЖ |
| 4,6 | 4167 | 24.VII. " | 2 | 14 | Д.А |
| 4,6 | 4168a | 23.VII. " | 3 | 40 | Д.А |
| 4,6 | 4169a | 23.VII. " | 1 | 35 | Д.А |
| 4,6 | 4175a | 24.VII. " | 1 | 14 | Д.А |
| 4,6 | 4.77 | 17.X. " | 1 | 30 | Д |
| 4,6 | 4377a | 17.X. " | 1 | 8 | Д |
| 4,6 | 4530 | 4.1.1965 | 1 | 5 | Д |
| 4,6 | 4531 | 4.1.1965 | 2 | 14 | Д |

Продолжение табл. 2

| Звезда | Номер пластинки | Дата | Эмульсия и фильтр | Время выдержки в минутах | Наблюдатель |
|--------|-----------------|--------------|-------------------|--------------------------|-------------|
| 7 | 4168 | 24.VII. 1964 | 2 | 15 | Д.А. |
| 7 | 4177a | 24.VII. 1964 | 1 | 15 | Д.А. |
| 7 | 4390 | 22.X. 1964 | 2 | 9 | Д.ДЖ. |
| 7 | 4391 | 22.X. 1964 | 1 | 7 | Д.ДЖ. |
| 3,8,9 | 3216 | 28.XI. 1962 | 1 | 60 | Д. |
| 3,8,9 | 4174a | 23.VII. 1964 | 1 | 20 | Д.А. |
| 3,8,9 | 4394 | 22.X. 1964 | 2 | 15 | Д.ДЖ. |
| 3,8,9 | 4395 | 22.X. 1964 | 1 | 8 | Д.ДЖ. |
| 10 | 4380 | 21.X. 1964 | 2 | 15 | Д. |
| 10 | 4381 | 21.X. 1964 | 1 | 15 | Д. |
| 10 | 4426 | 31.X. 1964 | 1 | 9 | Д.ДЖ. |
| 10 | 4512 | 4.I. 1965 | 1 | 5 | Д. |
| 10 | 4533 | 4.I. 1965 | 2 | 10 | Д. |

Примечания к табл. 2

1. И—810+КС—10

2. Гельб рапид + ЖС—18

3. Ultra ortho + ЖС—18

Д—Долидзе, А—Алксне, Дж.—Джимшелейшвили.

На рис. 4 приводятся микрофотограммы *C*-звезд различных подклассов, полученных с 8-градусной призмой в близких инфракрасных и желтых лучах. Рассмотрение микрофотограмм показывает, что по нашим спектрам *C*-звезды могут быть разделены на 2—3 подкласса. Приведем отдельно для этих участков спектра характерные для них признаки, которые могут быть приняты во внимание при классификации *C*-звезд. Здесь же приводятся описания соседних спектральных участков, длины волн и значения колебательных переходов для линий и полос.

Участок 5700—5000 ангстрем. Линии и полосы приведены в таблице 3.

Таблица 3

| Атомные линии | C_2 (V' , V'') | СN | Бленды линий и полос |
|---------------|------------------------|------|----------------------|
| MgI 5175 | 5070 (3,3) | 5250 | 5100 5270 |
| Cr—TiI 5209 | 5097 (2,2) | | |
| TiI—FeI 5252 | 5129 (1,1) | | |
| | 5165 (0,0) | | |
| | 5101 (3,4) | | |
| | 5510 (2,3) | | |
| | 5535 (1,2) | | |
| | 5635 (0,1) | | |

По ним *C*-звезды можно разделить грубо на 3 подкласса. C_1 — C_4 : —полосы Свана C_2 слабл. В группе 5165 и 5635 выделяются только первые полосы 5165 и 5635. Остальные очень слабы. Т. е. 5165 сильнее 5129 и 5635 сильнее 5535. C_5 — C_6 — C_7 —наибольшей интенсивности. В группе полос 5165, 5635 хорошо выделяются все полосы. Спектр имеет

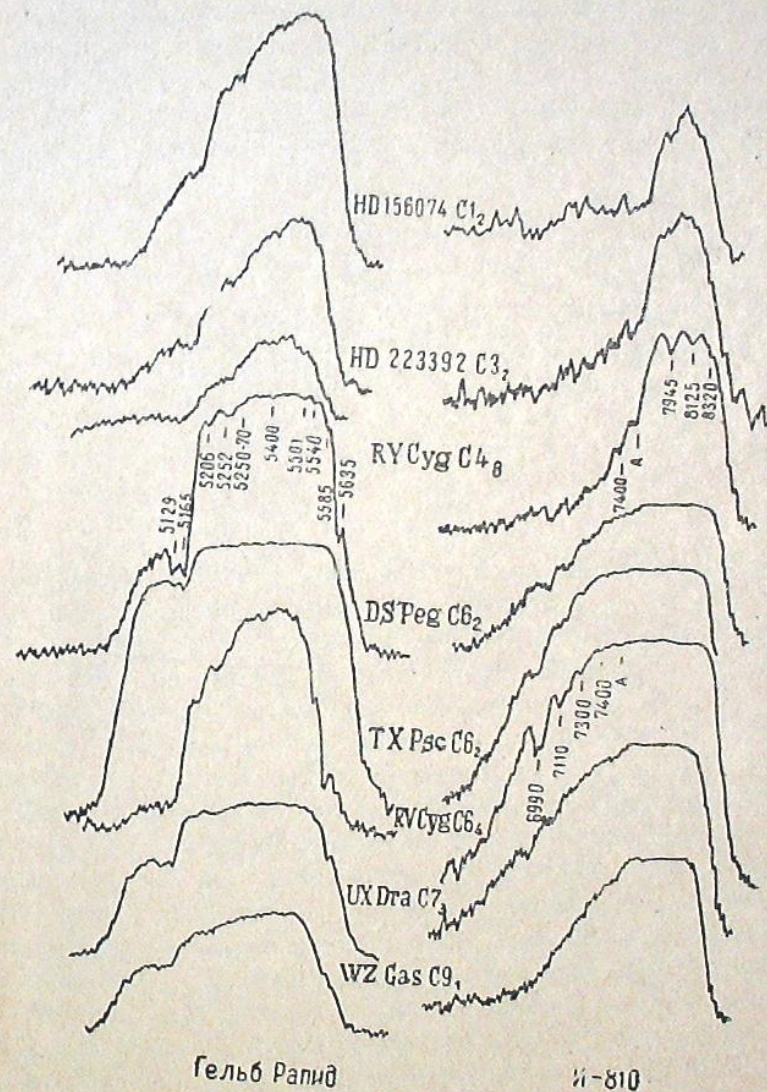


Рис. 4.

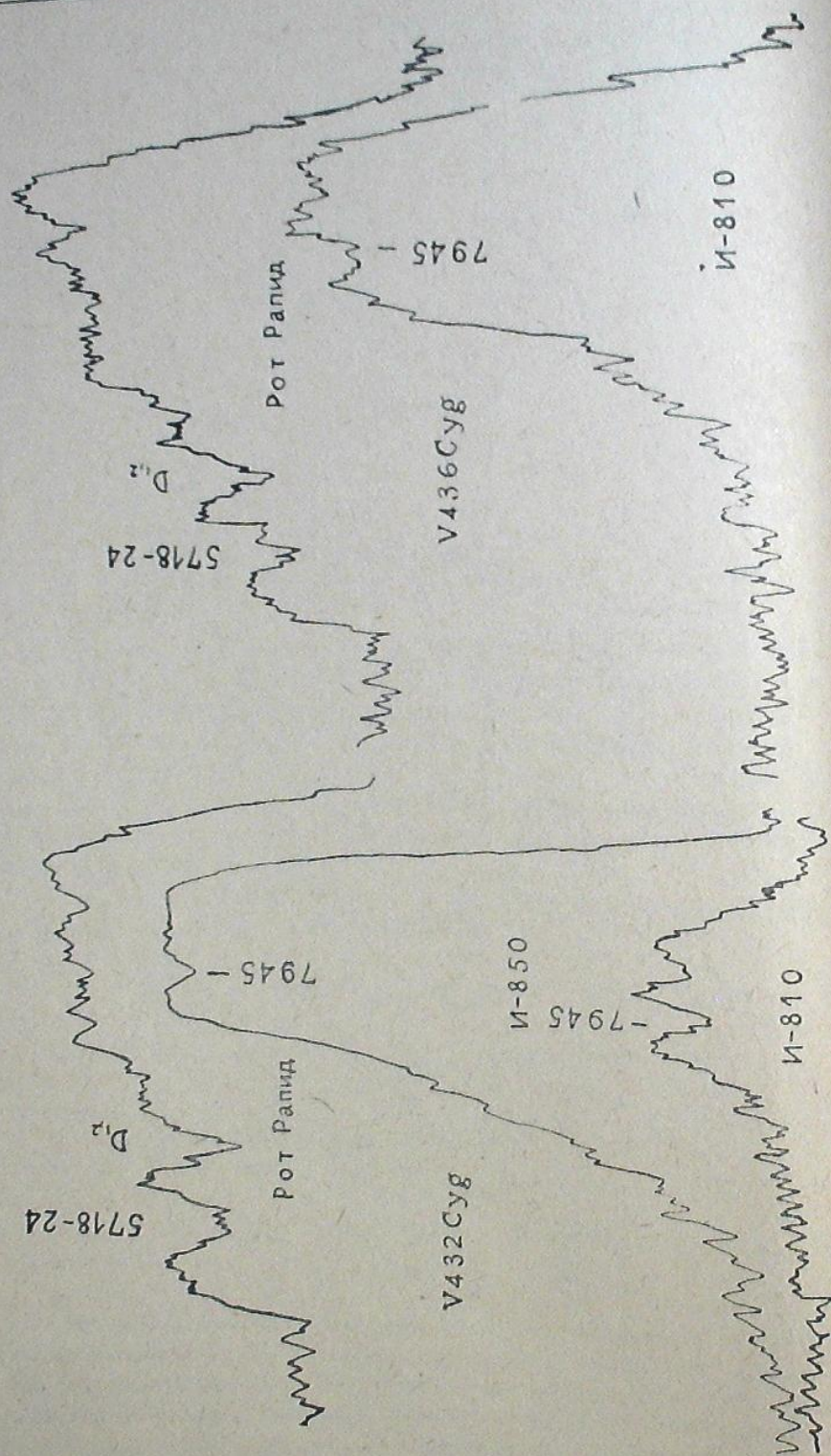


Рис. 5.

характерный вид темного четырехугольника с резко отделенными светлыми краями с обеих сторон. C_8-C_9 :—полосы C_2 слабы. В группах полос хорошо выделяются первые и вторые, почти одинаковой интенсивности полосы: 5165, 5129 и 5635, 5585.

При сравнении полос в группах C_2 некоторое искажение могут внести полосы изотопов $C^{12}C^{13}$ и $C^{13}C^{13}$. При нашей дисперсии это влияние учесть невозможно. Эквивалентные спектральные классы можно определять по блендам атомных линий, общим со спектрами звезд G, K, M (5175, 5209, 5250—70, 3410).

Участок 6700—5000 ангстрем. К описанному выше участку здесь добавляются полосы и линии, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

| Атомные линии | C_2 (V', V'') | C N | Бленды линий и полос |
|-----------------|---------------------|------|----------------------|
| NaI 5890—96 | 6059 (2,4) | 5730 | 5718—24 |
| H α 6563 | 6122 (1,3) | 5860 | 6020 |
| ZnI 6707 | 6191 (0,2) | 6012 | 6260 |
| | | 6196 | |
| | | 6333 | |
| | | 6481 | |
| | | 6206 | |

Деление на подклассы можно вести, кроме описанных выше, по следующим хорошо известным признакам [1,3].

1. По относительной интенсивности NaI 5890—96 С-звезды можно делить на C_0-C_2 , C_3-C_4 , C_5-C_7 , C_8-C_9 . Наличие и интенсивность полосы 5635 уточняет это деление, особенно для подклассов C_3-C_4 , где линия 5890—96 замывается поглощением в участке 5750—6050 [1].

2. По оценке цвета звезды соответственно интенсивности непрерывного спектра в трех точках (или узких спектральных участках): 5190, 5670 и 6150 [1]. Как нам представляется сейчас, лучше сместить третью точку в сторону коротких волн и брать вместо 6150—5800, т. е. точку между полосами $D_{1,2}$ и 5730, так как уровень непрерывного спектра в точке 6150 все же понижается под влиянием соседних перекрывающихся между собой полос поглощения. Для увеличения базиса можно на эмульсиях Кодак ОаF и А—700 брать еще одну точку 6700. Наличие в некоторых звездах узкой линии LiI 6707 не затрудняет проведения уровня непрерывного спектра.

3. Сравнением между собой интенсивности полос поглощения 5730, 6020, 6260 и линии $D_{1,2}$ Na I. Это дает возможность уточнить спектральный подкласс звезды. Подбор точек для определения цвета звезд нас интересовал в первую очередь в связи с вопросами спектрофотометрии непрерывного спектра. Для деления С-звезд на подклассы мы использовали признаки 1,3 и оценку градиента интенсивности полос поглощения C_2 . Для определения эквивалентного спектрального класса можно использовать оценку относительной интенсивности бленд атомных линий.

Если красный конец спектра нормально экспонирован, то полосы CN 6481, 6833, 6210 и C₂ 6191, также как наличие в оранжевых лучах полосы поглощения C₂ 5635, удобны для выявления C-звезд, а вышеперечисленные признаки помогают уточнить подкласс звезды.

Таблица 5

| CN | Атмосферные полосы |
|------------|--------------------------|
| 6990 (3,2) | 6870 O ₂ —B |
| 7110 (4,1) | 7240 H ₂ O —a |
| 7300 (5,2) | 7615 O ₂ —A |
| 7460 (6,3) | 8220 H ₂ O |
| 7945 (2,0) | |
| 8125 (3,1) | |
| 8320 (4,2) | |

Участок спектра 8320—6800 ангстрем. Список полос поглощения приводится в таблице 5.

Спектры по нашим данным и согласно работам [4,5] можно разделить на 3—4 подкласса. C1—C2:—с красной стороны от атмосферной полосы поглощения O₂—A хорошо

выделяется только полоса CN7945. Полосы CN 8125 и 8320 очень слабы. Интенсивность красного конца спектра начинает спадать около 8100. Полосы поглощения CN 6990, 7110 и 7300 начинают выделяться. C3—C4:—все полосы CN усилились. Спектр с красной стороны обрывается около CN 8320. Из красных полос CN более интенсивная полоса—7945. Между полосами поглощения появляются уплотнения, подобные эмиссии 8220, 8010, 7770 (особенно сильное) 7540, 7390 и 7070. C5—C6:—полосы CN с красной стороны от полосы A начинают ослабевать. Участки, подобные эмиссии, хорошо видны. С синей части от полосы A более заметная полоса CN 6990. C7—C9:—полосы поглощения CN с красной стороны A—полосы поглощения: 7945, 8125, 8320 слабы. В отличие от равных подклассов спектр тянется дальше в красную сторону. Спектр ослабевает за 8320. Полосы CN с коротковолновой стороны A—полосы тоже ослабели. Хорошо выделяется CN 6990. Здесь мы должны отметить, что по некоторым источникам [5,6] в спектрах C7—C9 полосы CN 7945, 8125, 8320 продолжают усиливаться. Противоречие мы встречаем в случае звезды WXCyg. Это—звезда N3 по фотографическому и визуальным участкам и R по инфракрасному концу, как по нашим данным, так и по [6] (рис. 2). В работе [6] указано еще на 5 случаев, когда имеются расхождения результатов классификации, проведенных в различных участках спектра. Во всех пяти случаях N—звезды в инфракрасных лучах оказываются типа R. Возможно, что это частично вызвано эффектом бленды [7, стр. 18], т. е. наложением сильной полосы CN (7, 2), расположенной на участке 5882—5902, на натриевый дублет в спектральном интервале C5—C9. Контролем могли бы служить ультрафиолетовые снимки, так как в этих лучах звезды R и N выглядят различно.

Участок спектра 8320—6563 ангстрем. К вышеописанному участку добавляется участок с двумя еще полосами поглощения CN 6670 и 6560.

Желательно было бы одновременно оценивать цвет звезд на основе укорочения и сужения коротковолнового конца спектра [6], но, к сожалению, в этом случае эмульсия И—810, более высокой чувствительности, чем И—850, менее пригодна. Работа усложняется из-за необходимости получения спектров с различными выдержками.

Таким образом, для проведения классификационной работы, т. е. деления C-звезд на 4 подкласса, в нашем случае пригодны спектры, полученные в двух широких участках 8320—6563 (И—850) и 6700—5000 (А—700 или Рот Репид). Для более грубой классификации, т. е. деления звезд на 3 подкласса и для деления звезд на R и N вполне пригодны спектры, полученные в узких участках: 8320—6800 (И—810) и 5700—5000 (Гельб Репид).

Очевидно, что для более детальной классификации в дальнейшем должны приниматься во внимание все особенности C-системы, и, кроме того, изучаться изменения спектра звезд в зависимости от изменения их блеска.

Что касается спектров, получаемых с 4-градусной призмой, то несмотря на большую разницу в дисперсиях, спектры, полученные в выбранных участках, дают почти одинаковую информацию и их можно делить на одинаковые подклассы.

Для нескольких C-звезд по пластинкам, полученным ранее для других целей, нами была проведена предварительная классификация. В таблице 6 приводим данные для этих звезд. Соответственно, наблюдательные данные приведены в таблице 7. Микрофотограммы двух звезд приведены на рис. 5.

Таблица 6

| № п/п | Звезда | α 1900 | δ 1900 | m _v (m _e) | Sp | Спектр Абастумани | | |
|-------|--------|------------------------------------|----------|----------------------------------|--------|-------------------|-----------|--------|
| | | | | | | Vis | JR | |
| 1 | VZPer | 01 ^h 23 ^m .1 | +58°23' | 8.8 | R | R, C4 | | |
| 2 | | 02 31 .6 | 55 20 | 7.8 | R4 | R, C3—C4 | | |
| 3 | | 05 46 .4 | 29 53 | 7.8 | C | | C4 | |
| 4 | | 05 51 .8 | 28 27 | 7.7 | C | | C6 | |
| 5 | | 20 05 .6 | 34 55 | 8.4 | N | R, C4: | | |
| 6 | | 20 07 .4 | 35 48 | 7.9 | R | | C4—C5 | |
| 7 | | 432Cyg | 20 11 .8 | 36 43 | 7.9 | R | R, C5 | R, C5 |
| 8 | | 436Cyg | 20 13 .4 | 36 35 | | C | R, C5 | C5 |
| 9 | | | 20 23 .0 | 37 57 | 7.9 | R | R, C2—C3 | |
| 10 | | | 20 33 .8 | 36 29 | 7.7 | N | R, C5 | |
| 11 | | | 21 18 .6 | 41 58 | (9.5) | R, N, C6 | | C6 |
| 12 | | D042999 | 23 15 .3 | 46 43 | (10.6) | R | N0, C4—C5 | N0, C5 |
| 13 | | D043187 | 23 22 .3 | 48 57 | (9.0) | R [?] | N2—N3, C6 | C6 |

Таблица 7

| Звезда | Номер пластинки | Дата | Эмульсия и фильтр | Время выдержки в минутах | Призма | Наблюдатель |
|--------|-----------------|----------------|---------------------|--------------------------|--------|-------------|
| 1 | 4407 | 25. X. 1964 | Гельб рапид + ЖС—18 | 30 | 4 | Д, Дж |
| 1 | 4412 | 25. X. 1964 | Рот рапид + ЖС—18 | 30 | 4 | Д, Дж |
| 2 | 281 | 2. X. 1956 | Рот рапид | 60 | 8 | Д |
| 3,4 | 2531 | 7. XI. 1961 | И—850 + КС—10 | 120 | 8 | Д |
| 5 | 4404 | 24. X. 1964 | Рот рапид + ЖС—18 | 60 | 4 | Д, Дж |
| 6,7,8 | 3216 | 28. XI. 1962 | И—810 + КС—10 | 60 | 8 | Д |
| 6 | 4175a | 24. VIII. 1964 | И—810 + КС—10 | 14 | 8 | Д, А |
| 6 | 4395 | 22. X. 1964 | И—810 + КС—10 | 8 | 8 | Д, Дж |
| 6,7 | 4174a | 23. VII. 1964 | И—810 + КС—10 | 20 | 8 | Д, А |

Продолжение табл. 7

| Звезда | Номер пластинки | Дата | Эмульсия и фильтр | Время выдержки в минутах | Призма | Наблюдатель |
|--------|-----------------|--------------|-------------------|--------------------------|--------|-------------|
| 7,8,9 | 273 | 30. IX. 1956 | Рот рапид | 51 | 8 | Д |
| 7,8 | 280 | 1. X. 1956 | Рот рапид | 41 | 8 | Д |
| 9,10 | 4488 | 2. XI. 1964 | Рот рапид+ЖС-18 | 60 | 8 | Д |
| 11 | 2586 | 8. XI. 1961 | И-85+КС-10 | 120 | 8 | Д |
| 12,13 | 2525 | 2. XI. 1961 | И-850+КС-10 | 40 | 8 | Д,К |
| 12,13 | 2514а | 13. X. 1961 | И-850 | 35 | 8 | Д,П,К |
| 12,13 | 2482 | 3. X. 1961 | Кодак ОаF | 40 | 8 | Д,П |

Примечание к табл. 7:

Д—Долидзе, Дж—Джимшелейшвили, А—Алкне,
К—Кундзия, П—Пугач.

Январь, 1965.

მცირე დისპერსიანი სპექტრების მიხედვით
C-ვარსკვლავების კლასიფიკაციის საკითხები

ა. დოლიძე, ზ. ალკნე და გ. ჯიმშელეიშვილი

(რეზუმე)

სტატია ეხება მცირე დისპერსიანი სპექტრების მიხედვით C-ვარსკვლავების კლასიფიკაციის საკითხებს. განხილულია C-ვარსკვლავების სპექტრები, რომლებიც მიღებული იყო ყვითელ, ვიზუალურ და ინფრაწითელ სხივებში. დადგენილია, რომ ამ სპექტრების მიხედვით C-ვარსკვლავების სპექტრების დაყოფა შესაძლებელია 4 ქვეკლასად. მოყვანილია 13 ვარსკვლავის კლასიფიკაციის შედეგები.

THE PROBLEMS OF CLASSIFICATION OF C-STARS
BASED ON THE LOW-DISPERSION SPECTRA

M. V. DOLIDZE, Z. ALXNE, G. N. JIMSHELEISHVILI

(Summary)

The problems of classification of C-stars according to low-dispersion spectra, obtained in yellow, visual and infrared light, are considered.

It seems to be possible to divide C-stars into 4 subgroups in the system of C.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Keenan P. C., Morgan W. W. The classification of the red carbon stars. *AphJ.* 1941, 94, 501.
- Perraud H. Listes et classification d'étoiles M, C, S trouvées dans divers champs pris aux prismes objective à vision direct. *Journ. des obs.* 1959, 42, № 3, 33.
- Buigne R. Contribution à l'étude des étoiles rouges carbonées. *Ann. d'Aph.* 1954, 17, № 2, 104.

- Nassau J. J., Colacevich A. Note on the spectral classification of carbon stars in the infrared. *AphJ.* 1950, 114, 199.
- Nassau J. J., Velghe A. G. Objective prism spectra in the near infrared. *AphJ.* 1964, 139, 190.
- Nassau J. J., Blanco V. M. Carbon stars at the galactic equator in a zone 4° wide. *AphJ.* 1954, 120, 129.
- Wyller A. A. Problems related to the spectral classification of carbon stars: vibrational temperatures and C¹³ abundances. *Astrophysica Norvegica*, 1960, 7, 13.