

УДК: 524.3-36

РАСПОЗНОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД

М.Ш.КАРАПЕТЯН, С.Е.НЕРСИСЯН

Поступила 3 июля 1997

Принята к печати 10 августа 1997

Методом многомерного статистического анализа исследована выборка 67 углеродных звезд. В результате выделяются три главных фактора F_1 , F_2 и F_3 . Рассмотрены различные зависимости между этими факторами и спектральными подклассами углеродных звезд. По факторам F_1 и F_2 углеродные звезды четко разделяются и образуют отдельные (R,N) классы объектов, а по F_3 отличие не значимо. Сопоставление факторов F_1 , F_2 , F_3 и двумерной C - классификации показывает, что фактор F_1 коррелирует с первым температурным параметром C - классификации, а факторы F_2 и F_3 с вторым параметром, отражающего изменения углерода. Ошибка классификации данной выборки углеродных звезд по первому параметру не превышает 1.5, а по второму 1.8 спектрального подкласса.

1. *Введение.* Среди гигантов и сверхгигантов низких температур встречаются звезды с аномальным химическим составом. Типичными представителями таких звезд являются углеродные звезды, спектры которых характеризуются присутствием молекулярных полос поглощения углеродных соединений C_2 , CN и CH.

Кенон и Пиккерингом [1] на основе описанных характеристик молекулярных полос C_2 и CN была осуществлена R, N- система классификации, получившая название Гарвардской. Однако R, N- классификация не отражает температурную последовательность углеродных звезд, и чтобы устранить этот недостаток, Кинан и Морган [2] объединили все углеродные звезды в единую температурную последовательность C. Для классификации углеродных звезд по температурным подклассам они предложили четыре независимых критерия:

1) отношение интенсивности отдельных пар атомных линий в синей области спектра; 2) интенсивность дублета NaI $\lambda 5890-96\text{\AA}$; 3) цвет непрерывного спектра звезды около $\lambda 5190, 5640$ и 6150\AA ; 4) отношение интенсивности полос Свана $C_2(0,1)/C_2(1,2)$. А для определения второго параметра, отражающего изменение содержания углерода, они предложили использовать интенсивность полос системы Свана. По мнению Цудзи [3] C - классификация не является температурной классификацией, по крайней мере, для подклассов C4-C7. Проблема как одномерной R, N, так и двумерной C-классификации окончательно не решена и, скорее

всего, требует дополнительных исследований. Наиболее полная библиография исследований, посвященных классификациям углеродных звезд, содержится в книге Алксне и др. [4].

Настоящая работа посвящена исследованию углеродных звезд методами многомерного статистического анализа [5, 6].

Ставится цель ответить на следующие вопросы:

а) Насколько хорошо разделяются R и N звезды по всем отобранным индексам вместе взятым?

б) Возможна ли двумерная C - классификация с выбранным набором индексов, с помощью многомерных методов?

2. Выборка и индексы углеродных звезд. С помощью дифракционного спектрографа UAGS, установленного в фокусе Несмита 2.6 м. телескопа Бюраканской обсерватории, были проведены спектральные наблюдения [7,8] 67 углеродных звезд в диапазоне длин волн 4000-6750Å с дисперсией 136Å/мм (разрешение 2.75Å). Звезды, взятые из каталога [9], среди которых 24 являются класса R и 43 - класса N. Программа для массовой обработки спектров углеродных звезд описывается в работе [10]. Все измерения спектрограмм проводились относительно потока на длине волны $\lambda=5556\text{Å}$. Максимальное среднеквадратическое отклонение логарифма потока, которое относится к коротковолновой части спектра, составляет 10%. Для последующего анализа были вычислены следующие 12 индексов [11]. Полосы системы Свана молекул $C_2(0,2)$ $\lambda 6191\text{Å}-I_{61}$, $(0,1)$ $\lambda 5635\text{Å}-I_{56}$, $(0,0)$ $\lambda 5165\text{Å}-I_{51}$, $(1,0)$ $\lambda 4737\text{Å}-I_{47}$, $(2,0)$ $\lambda 4383\text{Å}-I_{43}$ (которые имеют очень характерный вид: с красного конца резко очерченные, они постепенно ослабевают и образуют широкие депрессии, интенсивности же полос весьма различны). Изотопические полосы $C^{12}N^{14}$ $\lambda 5760\text{Å}-I_{12}$ и $C^{13}N^{14}$ $\lambda 5790\text{Å}-I_{13}$. Полосы систем молекул CN(4,0) $\lambda 6206\text{Å}$ и (5,1) $\lambda 6355\text{Å}-I_{63}$. Дублет линии NaI $\lambda 5890-96\text{Å}-I_D$, линия BaII $\lambda 4554\text{Å}-I_{Ba}$ и линия SrI $\lambda 4554\text{Å}-I_{Sr}$. Приблизительно 10% элементов выборки не вычислены по разным причинам. Для последующего анализа эти элементы были восстановлены новой программой HOLL, которая базируется на корреляционном и регрессионном анализе.

3. Многомерный анализ. В многомерном статистическом факторном анализе основную роль играет получение некоррелированных факторов, которые описывают линейные комбинации измеренных данных. Для получения главных факторов, характеризующих распределение измеренных величин в наших данных, нами использован метод главных компонент. Обычный путь получения главных факторов состоит в следующем: выбрасываются те главные компоненты, собственные значения которых меньше, чем данный порог (обычно < 1).

В результате применения факторного анализа к нашим данным вы-

делено три главных фактора $F1$, $F2$, и $F3$. Получение оценки факторных нагрузок после вращения факторов, а также накопленные доли суммарной дисперсии по соответствующим компонентам приведены в табл. 1. Отметим, что каждая нагрузка есть коэффициент корреляции между указанным параметром и соответствующим фактором. Для интерпретации факторов рассмотрим нагрузки больше порогового значения 0.6.

Таблица 1

ЗНАЧЕНИЕ ГЛАВНЫХ ФАКТОРОВ ДАННОЙ ВЫБОРКИ
УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД

№	Индексы	$F1$	$F2$	$F3$
1	I_{61}	0.3796	0.0634	-0.7644
2	I_{56}	0.2170	0.6260	-0.5787
3	I_{51}	0.1850	0.7991	-0.3670
4	I_{47}	-0.0999	0.8712	-0.3555
5	I_{43}	0.2526	0.6746	0.3518
6	I_{12}	0.4089	0.2937	-0.7643
7	I_{13}	0.1941	0.2755	-0.7624
8	I_{62}	0.6882	-0.0232	-0.5266
9	I_{63}	0.7011	0.0770	-0.5570
10	I_D	0.7964	0.0166	-0.1476
11	I_{Ba}	0.7201	0.3811	-0.2565
12	I_{Sr}	0.8117	0.2417	-0.1603
Накопленная дисперсия		50.8%	15.4%	9.5%

Как видно из табл. 1 первый фактор $F1$, который объясняет 50% общей дисперсии всех данных, главным образом, зависит от следующих индексов I_{62} , I_{63} , I_D , I_{Ba} , I_{Sr} . $F1$ назовем температурным фактором, так как эти пять индексов показывают корреляцию с температурой. Фактор $F2$, объясняющий 16% общей дисперсии всех данных зависит от индексов полосы системы Свана молекул C_2 - I_{56} , I_{51} , I_{47} , I_{43} , назовем фактором молекулы C_2 . Фактор $F3$, объясняющий 10% общей дисперсии назовем фактором изотопов CN, т.к. включает в себя индексы I_{12} , I_{13} , I_{61} .

Звезды R и N по трем главным факторам, т.е. $F1$, $F2$, $F3$ разделяются и образуют отдельные классы объектов. Проверка на совместимость выборок по каждому фактору в отдельности производилась с помощью непараметрического теста Колмогорова-Смирнова. Принимается, что отличие значимое, если значение $P\%$ на уровне 0.5% и ниже. По факторам $F1$ и $F3$ $P < 0.01\%$, а по $F2$ - $P \sim 0.5\%$, то есть по $F1$ и $F3$ R и N звезды четко отличаются, а по $F2$ отличие не значимо.

Наряду с этим был проведен также дискриминантный анализ в пространстве трех факторов. Кроме звезд TT CVn и RV Aur, все остальные 65 звезд по своим спектральным характеристикам, с вероятностью ~99%, принадлежат спектральным классам R или N. Звезда TT CVn с вероятностью 53% классифицируется как звезда класса N, и RV Aur, с вероятностью 79% - как R. Это, по-видимому, можно объяснить с переменностью этих объектов.

На рисунках 1, 2, 3 с разными символами нанесены значения факторов F_1 , F_2 , F_3 в зависимости от температурного класса S и параметра, отражающего изменение содержания углерода. Как видно из рис. 2, фактор F_1 от температурного класса S зависит линейно. Средняя ошибка

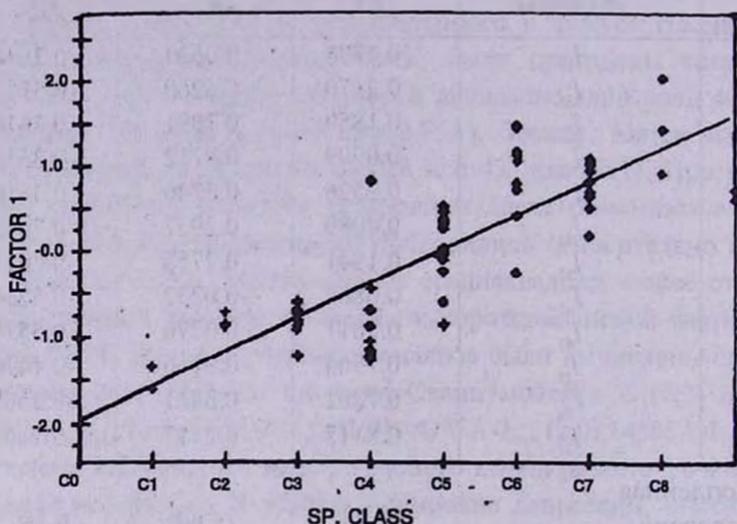


Рис. 1. Зависимость между температурным фактором (F_1) и спектральным подклассом S .

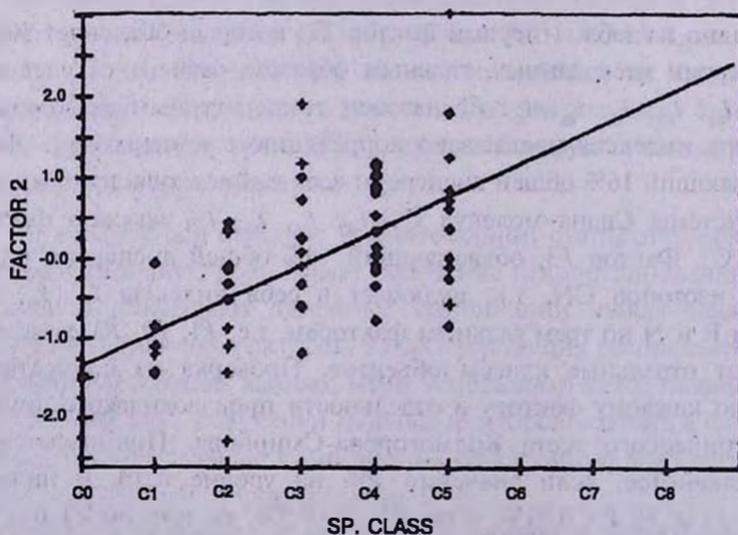


Рис. 2. Зависимость между фактором молекулы C_2 (F_2) и спектральным подклассом S .

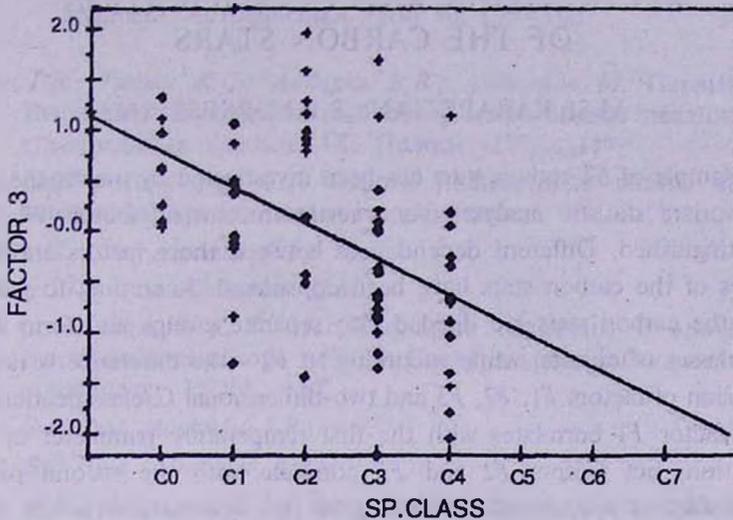


Рис. 3. Зависимость между фактором изотопов CN (F_3) и спектральным подклассом С.

классификации по фактору F_1 составляет 1.5 спектрального подкласса С. Из рисунков 2 и 3 видно, что факторы F_2 и F_3 также показывают линейную зависимость от класса по содержанию углерода со средними ошибками 1.8 и 2.4 подкласса соответственно. Ошибки классификации могут возникнуть от следующих причин: а) при определении относительных распределений энергии, б) при определении непрерывного спектра для вычисления спектральных индексов, в) из-за различия методов определения спектральных индексов в разных работах.

4. **Заключение.** Исследование методами многомерного статистического анализа выборки ($N=67$) углеродных звезд приводит к следующим результатам:

Выделяется три главных фактора F_1 , F_2 и F_3 . По факторам F_1 и F_3 углеродные звезды R и N четко отличаются, а по F_2 отличие не значимо.

При реализации факторного анализа на общей выборке 67 углеродных звезд, намечается, что первый главный фактор F_1 коррелирует с первым температурным параметром двумерной С - классификации, а факторы F_2 и F_3 с изменением содержания углерода.

Из всего сказанного следует, что многомерные методы дают возможность осуществлять двумерную С-классификацию на данной выборке.

Ошибка двумерной С-классификации не превышает по первому параметру 1.5, а по второму - 1.8 спектрального подкласса.

RECOGNITION AND CLASSIFICATION OF THE CARBON STARS

M.Sh.KARAPETIAN, S.E.NERSESIAN

The sample of 67 carbon stars has been investigated by means the method of multivariate statistic analyses. As a result three main factors F_1 , F_2 , F_3 were distinguished. Different dependences between those factors and spectral subclasses of the carbon stars have been considered. According to factors F_1 and F_3 , the carbon stars are divided into separate groups and form different (R, N) classes of objects, while according to F_2 - the difference is negligible. Comparison of factors F_1 , F_2 , F_3 and two-dimensional C-classification shows, that the factor F_1 correlates with the first temperature parameter of the C-classification, but factors F_2 and F_3 correlate with the second parameter reflecting carbon alterations. According to the first parameter the error of classification for the given sample of carbon stars doesn't exceed 1.5 and according to the second parameter - 1.8 spectral subclass.

ЛИТЕРАТУРА

1. *A.J.Cannon, E.C.Pickering*, The Henry Draper Catalog. Ann. Harv. Coll. Obs., 1918, v. 91, 290 p.
2. *P.C.Keenan, W.W.Morgan*, Astrophys. J., 94, 501, 1941.
3. *T.Tsuji*, Astron. Astrophys., 1, 95, 1981.
4. *З.Алксне, А.Алкснис, У.Дзервитис*, Характеристики углеродных звезд Галактики.-Рига, "Зинатнс", 1983, с. 250.
5. *A.A.Afifi, S.P.Azen*, Statistical Analysis, A Computer Oriented Approach, Akademik Press, 1979.
6. *М.Ш.Карапетян*, Сообщ. Бюраканской обс., вып. 60, 125, 1987.
7. *Р.Х.Оганесян, С.Е.Нерсисян, М.Ш.Карапетян*, Астрофизика, 23, 99, 1985.
8. *Р.Х.Оганесян, С.Е.Нерсисян*, Астрофизика, 23, 245, 1985.
9. *C.V.Stephenson*, A General Catalogue of Cool Carbon Stars. Publ. Warner Swassey Observ., 1, 79, 1973.
10. *М.Ш.Карапетян, Р.А.Саркисян*, Сообщ. Бюраканской обс., 56, 61, 1985.
11. *С.Е.Нерсисян*, Кандидатская диссертация, Ереван, 1987.