

УДК 524.3-85

Определение характеристик звезд спектральных классов F, G, K. Эффективные температуры

Н. С. Комаров, С. И. Белик, А. В. Драгунова

Астрономическая обсерватория Одесского государственного университета имени И. И. Мечникова
270014, Одесса, парк им. Т. Г. Шевченко

Определены эффективные температуры, ускорения свободного падения, металличности для звезд спектральных классов F, G, K. Разработан метод минимизации трехпараметрической функции невязок наблюдаемых и вычисленных потоков в 103 длинах волн. С этой целью использовался каталог Комарова и др. (Odessa Astron. Publ.—1995.—8) и теоретические потоки, рассчитанные Куруцем (CD-ROM SAO, 1995, N13, N 18).

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗІР СПЕКТРАЛЬНИХ КЛАСІВ F, G, K. ЕФЕКТИВНІ ТЕМПЕРАТУРИ, Комаров Н. С., Бєлік, Драгунова А. В. — Визначені ефективні температури, прискорення вільного падіння, металічності для зір спектральних класів F, G, K методом оптимізації трипараметричної функції невязок спостережених та розрахованих потоків в 103 точках по довжинам хвиль. З цією метою використовувався каталог Комарова та ін. (Odessa Astron. Publ.—1995.—8,) та теоретичні потоки, розраховані Куруцем (CD-ROM SAO, 1993, N 13, N 18).

DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF STARS OF SPECTRAL TYPES F, G, TO THE EFFECTIVE TEMPERATURES, by Komarov N. S., Belik S. I., Dragunova A. V. — Effective temperatures, surface gravities, and metallicities were determined for stars of spectral types F, G, K. A method was devised of minimization for the three-parameter function of discrepancies between the observed and calculated fluxes. With this goal the catalogue by Komarov et al. (Odessa Astron. Publ., 1996, 8) and the theoretical fluxes calculated by Kurucz (CD-ROM SAO, 1995, N 13, N 18) were used.

ВВЕДЕНИЕ

Сведения об атмосферах холодных звезд являются ключом к решению многих проблем эволюции звезд и звездных систем, проблем эволюции нуклидов (химических элементов и их изотопов), проблем обогащения атмосфер звезд тяжелыми и легкими элементами. Здесь мы встречаемся с парадоксом — наличие огромного числа атомных и молекулярных линий поглощения в принципе позволяет определить содержания многих нуклидов, и в то же время они создают основную трудность как при исследовании физико-химических параметров атмосфер холодных звезд, так и при построении математических моделей атмосфер звезд. Возникает специфическая проблема — взаимодействие излучения и многокомпонентной среды. Кроме того, моделирование атмосферы звезды подразумевает нахождение тем или иным способом распределения термодинамических величин (темпе-

ратур, газового или электронного давлений) с глубиной на основании физических законов взаимодействия излучения и вещества. Эти расчеты возможны лишь при значительных упрощающих предположениях: плоская или сферическая геометрия, полное локальное термодинамическое равновесие, максвеловское распределение компонентов звездного вещества по скоростям, состояние вещества описывается уравнением для идеального газа (верен закон Дальтона). Поэтому нет моделей, адекватных структуре реальных звезд даже при отсутствии нестационарных или квазистационарных процессов в их атмосферах, что маловероятно.

В настоящее время имеется несколько сеток моделей атмосфер, рассчитанных для исследования звезд разных спектральных классов и классов светимостей. Методы исследований атмосфер звезд и расчетов моделей их атмосфер описаны в прекрасных обзорах Любимкова [4] и Сахибуллина [7]. Однако для холодных звезд нет такой единой сетки, что не позволяет определять в единой системе физико-химические параметры атмосфер звезд в спектральном интервале от G до M. Практически подбор моделей атмосфер проводится по фундаментальным характеристикам, которые определяются различными астрофизическими методами и не привязываются к конкретным моделям атмосфер. Для этой цели используют спектральную классификацию и соответствующие шкалы эффективных температур $T_{\text{эф}}$. Другие характеристики определяются по исследуемым спектрограммам в тех или иных участках спектра. Например, электронное давление P_e оценивается, как правило, из условия равенства содержания элемента (чаще всего железа) при его определении по линиям поглощения в соседних стадиях ионизации. Но линии поглощения нейтрального атома и его иона в среднем образуются на разных глубинах! Этим может быть объяснен эффект «переионизации»: содержания, определяемые по линиям поглощения нейтральных атомов, занижены по сравнению с содержаниями, получаемыми по линиям поглощения ионов (линии ионов в среднем образуются глубже). В реальности картина может быть еще более сложной из-за эффектов флуоресценции, т. е. резонансной накачки некоторых уровней атомов или их ионов.

В данной работе предлагается новый метод самосогласованного подбора моделей атмосфер из разных сеток для интерпретации звездных спектров, включая определение содержания химических элементов в атмосферах холодных звезд.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВЕЗД

В настоящее время имеется наиболее полная сетка моделей атмосфер Куруца [10] в диапазоне эффективных температур $T_{\text{эф}}$ от 3500 до 50000K, логарифмов ускорений свободного падения от 5 до 0 и металличностей [Be/H] от 1.0 до -5.0. Куруц для этих моделей атмосфер рассчитал теоретические потоки (синтетические спектры) для большой области длин волн с учетом максимально возможных источников непрозрачности, обусловленных связанно-связанными, связанно-свободными и свободно-свободными переходами. С другой стороны, имеются каталоги абсолютизированных распределений энергии в спектрах излучения звезд разных спектральных классов в широком диапазоне длин волн. Они получены в результате электроспектрофотометрических наблюдений на разных обсерваториях. В АО ОГУ был создан сводный каталог, содержащий распределения энергии в спектрах излучения (внеатмосферные монохроматические плотности энергетической освещенности) 555 звезд [9], в том числе — 317 холодных.

Как указывалось выше, все методы определения фундаментальных характеристик звезд, как правило, не зависят от выбранной сетки моделей и/или опираются на те или иные особенности спектра излучения звезды в

узком диапазоне длин волн [1—3]. Поэтому при таких исследованиях необходимо использовать калибровки фундаментальных характеристик по моделям атмосфер

звезд, отобранных для определения содержаний химических элементов. Но калибровки проводятся по разным фотометрическим системам, разными методами и часто не охватывают всего диапазона температур, светимостей и металличностей. Эти параметры не являются, строго говоря, полностью независимыми. Нами были получены разные шкалы эффективных температур для разных металличностей [1—3]. Это особенно заметно при значительном дефиците металлов.

Опишем кратко метод. Спектральное разрешение наблюдаемых спектров около 5 нм. Поэтому теоретические потоки были сглажены и найдены величины потоков в точках, кратных 5 нм. Были получены теоретические потоки в 103 длинах волн от 320 до 830 нм для всех значений температур, ускорений силы тяжести и металличностей. Проводилось линейное интерполирование потоков по температуре через каждые 50 К в интервале 250 К. Интерполирование потоков по ускорению силы тяжести и металличности не проводилось, и невязки по этим параметрам рассчитывались лишь для узловых точек. Затем составлялся функционал невязок значений между теоретическими потоками и наблюдаемыми распределениями энергии в спектрах звезд (внеатмосферными квазимонохроматическими освещенностями, создаваемыми звездами на земной поверхности). Этот функционал зависит от трех переменных — температуры, ускорения силы тяжести (давления), металличности (содержания химических элементов). Искался минимум функционала. Значения температуры, ускорения силы тяжести и металличности теоретического потока, соответствующего минимальным невязкам, принимались в качестве $T_{\text{эф}}$, $\lg g$ и $[\text{Fe}/\text{H}]$ исследуемой звезды.

В таблице приведены фундаментальные характеристики холодных звезд, определенные новым методом, и эти же величины из других работ.

Метод определения фундаментальных характеристик звезд с использованием наблюдаемых распределений энергии в спектрах излучения звезд в широком диапазоне длин волн [9] позволяет автоматически провести их калибровку в рамках отобранной сетки моделей атмосфер [10]. Полученные параметры можно использовать при определении содержаний химических элементов и их изотопов в атмосферах звезд.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В таблице приведены результаты определения $T_{\text{эф}}$, полученные: в настоящей работе (sp), при выполнении работы Комарова и др. [1—3] (ph), из каталога [8], с отбором данных из одного наиболее полного и однородного источника [11, 12], исследователями АО ОГУ [5, 6, 13].

Анализу всех результатов определения металличностей по спектрограммам с высоким разрешением посвящены работы Тэйлора [14, 15]. Он проводился на базе статистической выборки из каталога [8], который содержит данные о звездах-гигантах спектральных классов Б, О, К. При сведении данных из [8] в единую систему было предположено, что различия в значениях $[\text{Fe}/\text{H}]$ могут быть обусловлены неоднородностью сеток моделей атмосфер, различиями систем эквивалентных ширин и отклонениями от ЛТР, поэтому необходимы дополнительные поправки. Такая работа имеет большое значение при проведении статистических исследований большой группы проэволюционировавших звезд. Ранее было показано [1—3], что имеется зависимость эффективной температуры от металличности. Поэтому при исследовании звезд необходимо иметь весь набор входных данных об основных параметрах звезды для той или иной сетки моделей атмосфер. По нашим определениям, выполненным с использованием сетки Кुरुца [10], видно, что эффективные температуры нахо-

Характеристики звезд

BS	ID	V	B-V	U-B	R-I	Sp	$T_{\text{эф}}$ К	Литературный источник
74	1522	3.56	+1.22	+1.25	+0.59	K1.5III	4550 4600	sp ph
188	4128	2.04	+1.02	+0.87	+0.51	G9.5IIIC11-1	4500 4800 4960 4820	[8] sp ph [8]
219	4614	3.44	+0.57	+0.01	+0.36	F9V+dM0	5650	sp
265	5395	4.63	+0.96	+0.69	+0.50	G8IIbFe-0.5	4770 4850 4810	sp ph [8]
285	5848	4.25	+1.21	+1.33	+0.60	K2II-III	4550 4600 4400	sp ph [8]
489	10380	4.44	+1.36	+1.57	+0.71	K3IIbBa0.1	4350 4150 4110	sp ph [8]
509	10700	3.50	+0.72	+0.21	+0.47	G8V	5450 5305	sp [8]
510	10761	4.26	+0.96	+0.71	+0.48	G8III	5000 4960 4980	sp ph [8]
660	13974	4.87	+0.61	+0.02	+0.24E	G0.5V	5700 5600	sp [8]
937	19373	4.05	+0.59	+0.12	+0.29	G0V	5650	sp
941	19476	3.80	+0.98	+0.83	+0.50	K0III	5050 5040 4940	sp ph [8]
1017	20902	1.79	+0.48	+0.37	+0.33	F5Ib	6000 6250	sp [14]
1030	21120	3.60	+0.89	+0.61	+0.45	G6IIIFe-1	5150 5075 5100	sp ph [8]
1052	21552	4.36	+1.35	+1.54	+0.74	K3III	4300 4130 4100	sp ph [8]
1136	23249	3.54	+0.92	+0.69	+0.50	K0+IV	5100	sp
1325	26965	4.43	+0.82	+0.45	+0.45	K1-V	5300 5091	sp [8]
1346	27371	3.65	+0.99	+0.82	+0.47	K0-IIlabCN1	5000 5050 4930	sp ph [8]
1373	27697	3.76	+0.98	+0.82	+0.47	K0-IIICN0.5	5100 5070 4940	sp ph [8]
1409	28305	3.53	+1.01	+0.88	+0.50	G9.5IIICN0.5	5050 5050 4820	sp ph [8]
1454	29094	4.25	+1.22	+0.82	+0.69	K4III+A3V G8II	4350 4260	sp [8]
1580	31421	4.07	+1.15	+1.11	+0.63	K2-IIIFe-1	4650 4515 4440	sp ph [8]
1601	31767	4.47	+1.40	+1.55	+0.70	K2-II	4600 4120	sp [8]
1729	34411	4.71	+0.63	+0.12	+0.32	G1.5IV-VFe-1	5850 5860	sp [8]
1995	38656	4.52	+0.94	+0.70	+0.49	G8IIIFe-1	5100 4960 4910	sp ph [8]
2012	39003	3.97	+1.13	+1.09	+0.56	G9.5III*	4650 4725 4640	sp ph [8]
2035	39364	3.81	+0.99	+0.68	+0.56	K0IIIFe-1.5CH0.5	4800 4725 4580	sp ph [8]
2047	39587	4.41	+0.59	+0.07	+0.31	G0V	5800 5953	sp [8]

Продолжение таблицы

BS	HD	V	B-V	U-B	R-I	Sp	$T_{\text{эф}}$ К	Литературный источник
2473	48329	2.98	+1.40	+1.46	+0.61	G8Ib	4300	sp
							4625	[11]
2693	54605	1.84	+0.68	+0.54	+0.33	F8Ia	5650	sp
							6250	[11]
2985	62345	3.57	+0.93	+0.69	+0.45	G8IIIa	5100	sp
							5030	ph
							5000	[8]
2990	62509	1.14	+1.00	+0.85	+0.50	K0IIIb	4950	sp
							4950	ph
							4850	[8]
3547	76294	3.11	+1.00	+0.80	+0.49	G9II-III	4950	sp
							4910	ph
							4860	[8]
3748	81797	1.98	+1.44	+1.72	+0.77	K3II-III	4200	sp
							4185	ph
							4120	[8]
3771	82210	4.56	+0.77	+0.34	+0.41	G4III-IV	5450	sp
							5250	[8]
3873	84441	2.98	+0.80	+0.47	+0.44	G1II	5250	sp
							5310	[8]
3905	85503	3.88	+1.22	+1.39	+0.58	K2IIICN1Ca1	4500	sp
							4775	ph
							4480	[8]
4166	92029	4.71	+0.81	+0.54	+0.38	G2.5IIa	5200	sp
							5600	[12]
4301	95689	1.79	+1.07	+0.92	+0.58	K0IIIa	4800	sp
							4925	ph
							4660	[8]
4471	100920	4.30	+1.00	+0.75	+0.52	G8.5IIICN-0.5	5000	sp
							4845	ph
							4800	[8]
4518	102224	3.71	+1.18	+1.16	+0.60	K0.5IIb	4600	sp
							4430	ph
							4380	[8]
4785	109358	4.26	+0.59	+0.05	+0.31	G0V	5750	sp
							5879	[8]
4932	113226	2.83	+0.94	+0.73	+0.45	G8IIIab	5200	sp
							5105	ph
							5060	[8]
4983	114710	4.26	+0.57	+0.07	+0.30	F9.5V	5900	sp
5235	121370	2.68	+0.58	+0.20	+0.29	G0IV	6000	sp
							6100	[6]
							6000	[8]
5315	124294	4.19	+1.33	+1.47	+0.75	K2.5IIIFe-0.5	4150	sp
							4155	ph
							4120	[8]
							4125	[8]
5340	124897	-0.04	+1.23	+1.27	+0.65	K1.5IIIFe-0.5	4400	sp
							4250	[5]
							4280	[8]
5544	131156	4.55	+0.76	+0.28	+0.43	G8Ve+K4Ve	5200	sp
							5500	[8]
5601	133165	4.40	+1.04	+0.88	+0.54	K0.5IIbFe-0.5	4650	sp
							4765	ph
							4650	[8]
5616	133582	4.54	+1.24	+1.33	+0.65	K2III	4500	sp
							4475	ph
							4280	[8]
5681	135722	3.47	+0.95	+0.66	+0.51	G8IIIFe-1	5000	sp
							4835	ph
							4830	[8]
5787	138905	3.91	+1.01	+0.74	+0.55	G8.5III	4800	sp
							4805	ph
							4700	[8]
5868	141004	4.43	+0.60	+0.11	+0.32	G0-V	5900	sp
							5937	[8]
5889	141714	4.63	+0.80	+0.37	+0.42	G3.5III-IVFe-1	5500	sp

Продолжение таблицы

BS	HD	V	B-V	C-B	R-I	Sp	T _{эф} , К	Литературный источник
							5130	ph
							5230	[8]
5968	143761	5.41	+0.60	+0.08	+0.32	G0+VaFe-1	5500	sp
							5782	[8]
6075	146791	3.24	+0.96	+0.75	+0.49	G9.5IIbFe-0.5	4900	sp
							4855	ph
							4850	[8]
6148	148856	2.77	+0.94	+0.69	+0.47	G7IIIa	5150	sp
							5000	ph
							4920	[8]
6212	150680	2.81	+0.65	+0.21	+0.32	G0IV	5700	sp
							5740	[8]
6526	158899	4.41	+1.44	+1.68	+0.75	K3.5III	4300	sp
							4120	ph
							4070	[8]
6623	161797	3.42	+0.75	+0.39	+0.38	G5IV	5500	sp
							5520	[8]
6695	163770	3.86	+1.35	+1.46	+0.63	K1IIaCN+2	4600	sp
							4300	[5]
							4330	[8]
6698	163917	3.34	+0.99	+0.88	+0.48	K0IIIaCN-1	4900	sp
							4940	ph
							4880	[8]
6703	163993	3.70	+0.94	+0.70	+0.46	G8+III	5100	sp
							5040	ph
							5030	[8]
6752	165341	4.03	+0.86	+0.54	+0.46	K0V	5100	sp
							5419	[8]
6770	165760	4.64	+0.96	+0.74	+0.50	G8III	5050	sp
							4975	ph
							4900	[8]
6895	169414	3.84	+1.18	+1.17	+0.60	K2.5IIIab	4700	sp
							4580	ph
							4450	[8]
7063	173764	4.22	+1.10	+0.81	+0.57	G4IIa	4800	sp
							4700	[8]
7150	175775	3.51	+1.18	+1.13	+0.59	K1III	4700	sp
							4820	ph
							4560	[8]
7176	176411	4.02	+1.08	+1.04	+0.52	K1-IIIcN0.5Ba0.2	4850	sp
							4945	ph
							4733	[13]
							4760	[8]
7193	176678	4.02	+1.09	+1.04	+0.54	K1III	4700	sp
							4715	ph
							4600	[8]
7310	180711	3.07	+1.00	+0.78	+0.51	G9III	4950	sp
							4835	ph
							4820	[8]
7314	180809	4.36	+1.26	+1.23	+0.59	K0+II	4350	sp
							4600	[8]
7352	181984	4.45	+1.25	+1.45	+0.58	K2+IIIbCN1Fe1	4450	sp
							4480	[13]
							4440	[8]
7417	183912	3.08	+1.13	+0.62	+0.66	K3II+B9.5V	4450	sp
							4270	[8]
7478	185734	4.69	+0.97	+0.80	+0.47	G8III-IV	5050	sp
							5000	ph
							4980	[8]
7479	185758	4.37	+0.78	+0.43	+0.37	G1II	5450	sp
							5440	[8]
7488	185958	4.37	+1.05	+0.89	+0.50	G8IIIaC\0.5	4850	sp
							4800	[5]
							4850	[8]
7576	188056	5.03	+1.28	+1.53	+0.50E	K3IIICN1	4400	sp
							4350	[5]
							4200	[8]

Окончание таблицы

BS	HD	V	B-V	U-B	R-I	Sр	T _{эф} К	Литературный источник
7602	188512	3.71	+0.86	+0.48	+0.49	G8IV	5050	sp
							5100	[8]
7660	190147	5.05	+1.11	+1.02	+0.55	K1II-III	4700	sp
							4610	[8]
7685	190940	4.51	+1.32	+1.51	+0.65	K3III	4500	sp
							4370	[13]
							4260	[8]
7744	192806	4.52	+1.26	+1.12	+0.71	K3-IIIFe-I	4100	sp
							4210	ph
							4200	[8]
7747	192876	4.24	+1.07	+0.78	+0.53	G3Ib	4900	sp
7754	192947	3.57	+0.94	+0.69	+0.48	G8IIIb	5100	sp
							5005	ph
							5000	[8]
7796	194093	2.20	+0.68	+0.53	+0.34	F8Ib	5600	sp
							6100	[11]
7806	194317	4.43	+1.33	+1.50	+0.67	K2.5IIIFe-0.5	4150	sp
							4275	ph
							4230	[8]
7896	196755	5.05	+0.72	+0.21		G2IV	5450	sp
							5520	[8]
7949	197989	2.46	+1.03	+0.87	+0.54	K0-III	4900	sp
							4750	ph
							4730	[8]
8008	199169	5.01	+1.48	+1.79		K4III	4100	sp
							4110	ph
							3980	[8]
8167	203387	4.28	+0.90	+0.58	+0.48	G7IIIFe-1.5	5150	sp
							5045	ph
							5080	[8]
8232	204867	2.91	+0.83	+0.56	+0.43	G0Ib	5450	sp
							5350	[11]
8308	206778	2.39	+1.53	+1.70	+0.76	K2Ib	4200	sp
							4375	[11]
8321	207089	5.29	+1.41	+1.33		K0IbHdel 0.5	4400	sp
8414	209750	2.96	+0.98	+0.74	+0.49	G2Ib	5150	sp
							5250	[11]
8465	210745	3.35	+1.57	+1.71	+0.78	K1.5Ib	4150	sp
							4500	[8]
8538	212496	4.43	+1.02	+0.77	+0.57	G8.5IIIbCaI	4700	sp
							4760	ph
							4710	[8]
8684	216131	3.48	+0.93	+0.68	+0.47	G8+III	5100	sp
							4960	ph
							5060	[8]
8694	216228	3.52	+1.05	+0.90	+0.51	K0-III	4800	sp
							4820	ph
							4770	[8]
8796	218356	4.76	+1.34	+1.16	+0.68	G8Ib	4500	sp
8812	218594	3.66	+1.22	+1.24	+0.60	K1III	4500	sp
							4870	ph
							4430	[8]
8852	219615	3.69	+0.92	+0.58	+0.51	G9-III:Fe-2	5000	sp
							4910	ph
							4850	[8]
8916	220954	4.28	+1.07	+1.01	+0.53	K1III	4700	sp
							4815	ph
							4680	[8]
8923	221115	4.55	+0.94	+0.73	+0.45	G7+III	5000	sp
							5080	ph
							4990	[8]
8974	222404	3.21	+1.03	+0.94	+0.51	K1III-IV	4900	sp
							4800	[13]
							4770	[8]
9003	223047	4.95	+1.11	+0.82	+0.38F	G5Ib+A0V	4600	sp
							5000	[12]

дятся с достаточной степенью надежности, а их величины лежат в пределах ошибок определения ± 50 К. Ускорения свободного падения оцениваются с меньшей надежностью (0.5 dex), что связано с локализацией спектральных участков, чувствительных к этому параметру. Такой же результат получен и для параметра металличности (± 0.5 dex). Распределение энергии в синей и УФ-областях спектра холодных звезд существенно зависит от эффективной температуры и металличности, и в меньшей степени — от ускорения свободного падения (т. е. давления). В дальнейшем будет предпринята попытка уточнения значений ускорения свободного падения на поверхности и металличности.

ВЫВОДЫ

Разработан новый метод независимого определения фундаментальных характеристик звезд с автоматической «привязкой» к той или иной сетке моделей атмосфер, используемой для определения содержания химических элементов. Он не требует предварительного знания спектральных классов, шкал эффективных температур, ускорений свободного падения на поверхности, металличности. Основное преимущество метода состоит в том, что он применим для исследования индивидуальных звезд, которые могут иметь те или иные особенности. Он опирается только на знание распределения энергии в спектре излучения исследуемой звезды в максимально широком диапазоне длин волн и на расчеты синтетических спектров. Этот метод позволяет свести все системы определений характеристик звезд, в частности содержаний химических элементов, в единую систему.

1. Комаров Н. С., Коротина Л. В. Фундаментальные характеристики звезд-гигантов // Кинематика и физика небес. тел.—1996.—12, № 2.—С. 3—13.
2. Коротина Л. В., Драгунова А. В., Комаров Н. С. Определение фундаментальных характеристик звезд-гигантов по Женевской фотометрической системе // Астрофизика.—1989.—31, вып. 3.—С. 539—549.
3. Коротина Л. В., Комаров Н. С. Фундаментальные характеристики холодных звезд-гигантов // Астрон. журн.—1992.—69, вып. 6.—С. 1188—1194.
4. Любимков Л. С. Химический состав звезд: метод и результаты анализа. — Одесса: Астропринт, 1995.—323 с.
5. Мишенкина Т. В., Куценко С. В. Содержание химических элементов в атмосферах трех гигантов с индексами CN_2 // Кинематика и физика небес. тел.—1996.—12, № 1.—С. 17—23.
6. Мишенкина Т. В. Химический состав двух звезд с повышенной металличностью // Астрон. журн.—1998.—75, вып. 2.—С. 202—208.
7. Сахибуллин Н. А. Методы моделирования в астрофизике. III. Звездные атмосферы. — Казань: ФЭН, 1997.—328 с.
8. Cayrel de Strobel G., Soubiran C., Friel E. D., et al. A catalogue of [Fe/H] determinations: 1996 edition // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1997.—124, N 2.—P. 299—305.
9. Komarov N. S., Dragunova A. V., Belik S. I. The spectrophotometric star catalogue // Odessa Astron. Publ.—1995.—8.—115 с.
10. Kurucz R. L. Model stellar atmospheres and real stellar atmospheres // Astron. Soc. PCS.—1996.—108.—P. 2—18.
11. Luck R. E., Bond H. E. Supergiants and the galactic metallicity gradient. II. Spectroscopic abundances for 64 distant F- to M-type Supergiants // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1989.—71, N 2.—P. 559—581.
12. Luck R. E., Wepfer G. G. Chemical abundances for F and G luminosity class II stars // Astron. J.—1995.—110, N 5.—P. 2425—2456.
13. Mishenina T. V., Kutsenko S. V., Musaeu F. A. Chemical composition of five giants with positive CN-indices // Astron. and Astrophys.—1995.—113, N 1.—P. 333—339.
14. Taylor B. J. Analyses of archival [Fe/H] results for cool evolved stars. I. Basic rules and [Fe/H] corrections // Publ. Astron. Soc. Pacif.—1998.—110.—P. 699—707.
15. Taylor B. J. Analyses of archival [Fe/H] results for cool evolved stars. II. [Fe/H] standard stars // Publ. Astron. Soc. Pacif.—1998.—110.—P. 708—721.

Поступила в редакцию 15.03.99