

УДК 524.3-85

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

Научно-исследовательский институт «Астрономическая обсерватория»  
Одесского национального университета им. И. И. Мечникова  
65014 Одесса, парк Шевченко

**Определение фундаментальных характеристик  
звезд спектральных классов F, G, K.  
Ускорения свободного падения и металличности**

*Даны результаты определения ускорений свободного падения на поверхности звезд и параметров металличности, полученные методом сравнения наблюдаемых и синтетических спектров. Кроме одесского каталога, использованы также данные крымского и пулковского каталогов.*

*ВИЗНАЧЕННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗІРОК СПЕКТРАЛЬНИХ КЛАСІВ F<sub>y</sub> G<sub>y</sub> K. ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ І МЕТАЛІЧНОСТІ, Белік С. І., Драгунова А. В., Комаров М. С. — Надаються результати визначення прискорень вільного падіння на поверхні зірок і параметрів металічності, отримані за методом порівняння спостережених і синтетичних спектрів. Крім одеського каталогу розподілів енергій у видимій області спектру зірок, використані також дані кримського та пулковського каталогів.*

*DETERMINATION OF FUNDAMENTAL CHARACTERISTICS FOR STARS OF THE F, G, AND K SPECTRAL TYPES. THE SURFACE GRAVITIES AND METALLICITY PARAMETERS, by Belik S. I., Dragunova A. V., Komarov N. S. — We give some results of determination of the surface gravities and metallicity parameters derived by the method of comparison of energy distributions in observed stellar spectra with calculated theoretical ones. Data of the Crimean, Pulkovo and Odesa catalogues are used.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Накопленный в астрономических обсерваториях в течение трех десятилетий материал о распределениях энергии в спектрах излучения звезд позволяет получать фундаментальные характеристики звездных атмосфер. Как мы показали в работе [4], метод сравнения наблюдаемых распределений  $E$ , с теоретическими (синтетическими) спектрами дает возможность определить

эффективные температуры звезд с точностью, достаточной для получения содержаний химических элементов. Однако, как известно, значения  $E_x$  в разных оригинальных каталогах могут существенно различаться (до 20 %) при удовлетворительной внутренней точности каталога (2—5 %). Поэтому представляет интерес сравнить данные о фундаментальных характеристиках звезд, полученные с использованием разных каталогов  $E_x$ . Этим косвенно проверяется целесообразность создания нами компилятивного каталога ( $E_{555}$ ) распределений энергии в спектрах звезд [16], который использовался в наших работах [1, 4, 11].

#### ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Идея метода получения фундаментальных характеристик звезд (эффективной температуры  $T_{\text{эф}}$ , логарифма ускорения свободного падения  $\lg g$ , параметра металличности  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) состоит в подгонке наиболее подходящего теоретического спектра к наблюдаемому распределению энергии в спектре реальной звезды [1, 4]. При определении температуры критерием совпадения является достижение минимального значения суммы отклонений по всем точкам спектрального диапазона  $\lambda\lambda = 320\text{--}830$  нм. Для определения значений  $\lg g$  и  $[\text{Fe}/\text{H}]$  сравнивались участки  $\lambda\lambda = 365\text{--}415$  нм и  $480\text{--}530$  нм соответственно. Полученные значения  $\lg g$  и  $[\text{Fe}/\text{H}]$  затем использовались для дальнейшего итерационного уточнения параметров. Исследовались участки спектра:  $XX = 320\text{--}830$  нм в пулковском и одесском каталогах и  $XX = 510\text{--}710$  нм в крымском каталоге.

В работе [4] мы использовали метод сравнения данных о распределениях энергии из нашего каталога  $E_{555}$  и теоретические спектры, рассчитанные Куруцем [17, 18]. Однако позже в этих работах обнаружены ошибки для моделей атмосфер с малыми турбулентными скоростями [12]. Поэтому мы провели повторные вычисления с использованием уже исправленного массива теоретических спектров Куруца [19]. В таблице приведены скорректированные данные. Вычисленные вновь значения эффективной температуры  $T_{\text{эф}}$  оказались в среднем на 50 К ниже. В качестве сравнения можно привести данные [10] определений эффективных температур холодных гигантов на основании измерений угловых диаметров и болометрических потоков. Для трех общих звезд эти данные таковы: ВБ 5340 —  $T_{\text{эф}} = 4297$  К (наша оценка 4300 К); ВБ 7949 —  $T_{\text{эф}} = 4743$  К (4900 К); ВБ 4863 —  $T_{\text{эф}} = 4863$  К (4850 К).

Аналогичные расчеты выполнены для каталогов, полученных в ГАО РАН (Пулково) [9] и в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) [13]. Вычисления проводились как по оригинальным данным из каталогов [9, 13], так и по спектральным распределениям энергии из этих каталогов, приведенным в систему одесского каталога [5], поскольку все три каталога созданы в разных системах спектрофотометрического стандарта  $a$  Лун (пулковский — по стандартам [20], а крымский — [15]).

На рис. 1 сравниваются значения эффективных температур для общих звезд, полученные на основе фотометрических данных [6] (65 звезд), компилятивного обзора [14] (63 звезды), а также по оригинальным пулковским (40 звезд) и крымским (35 звезд) каталогам. Рис. 1,  $a$  показывает, что фотометрические методы дают более низкие результаты, а спектроскопические (рис. 1,  $b$ ) — более высокие (в среднем на 100 К).

## Результаты определения параметров звездных атмосфер

BS	ID	Sp	$T_{\text{эф}}$	$\lg g$	[Fe/H]	BS	ID	Sp	$T_{\text{эф}}$	$\lg g$	[Fe/H]
74	1522	K2III	4550	1	-0.5	5681	135722	G8III	4900	0	-1
163	3546	G5III	5050	2.5	-0.5	5787	138749	G8-IV	4600	1.5	-1
188	4128	K0III	4800	2	-0.5	5868	141004	G0V	5850	4	0
219	4614	G0V	5650	3.5	-0.5	5889	141714	G5-IV	5450	3	-0.5
265	5395	G8-IV	4700	2.5	-0.5	5968	143761	G2V	5400	3.5	-1
285	5848	K2III	4500	1	-1	6075	146791	G8III	4850	2	-1
456	9774	G8II-III	4800	1	-1	6148	148856	G8III	5000	0	-1
489	10380	K3III	4350	0.5	-1	6212	150680	G0IV	5700	4	0
509	10700	G8V	5400	3	-0.5	6526	158899	K4III	4200	1.5	-1
510	10761	K0III	4900	2	-0.5	6623	161797	G5IV	5400	3	-0.5
660	13974	G0V	5650	5	-1	6695	163770	K1II	4600	0	-1
788	16739	F9V	5900	5	-0.5	6698	163917	K0III	4800	2.5	-0.5
937	19373	G4V	5600	3	-0.5	6703	163993	K0III	5050	1.25	-1
941	19476	K0III	5000	2.5	-0.5	6752	165341	K0V	4900	4	-0.5
1017	20902	F5Ia	6000	1	-0.5	6770	165760	G8-IV	5050	0	-1
1030	21120	G8III	5050	2.5	-0.5	6895	169414	K2III	4500	2.5	-1
1052	21552	K3III	4300	1	-1	7063	173764	G5II	4600	0	-1
1136	23249	K0IV	5050	3.5	-0.5	7150	175775	K1II	4600	2	-1
1311	26722	G5III	5150	2	-0.5	7176	176411	K2III	4750	2.5	-0.5
1325	26965	K0V	5200	4	-0.5	7193	176678	K1III	4650	2	-1
1346	27371	K0III	4800	2.5	-0.5	7310	180711	G9III	4800	1	-1
1373	27697	K0III	5100	2.5	-0.5	7314	180809	K0II	4400	1.5	-1
1409	28305	G9III	4950	3	-0.5	7352	181984	K3III	4450	3	-1
1454	29094	G8II	4400	1	-1	7417	183912	K3II	4400	2.5	-1
1580	31421	K2III	4600	2.5	-0.5	7478	185734	G8III	4950	0	-1
1601	31767	K2II	4500	1	-1	7479	185758	G0II	5250	2.5	-0.5
1729	34411	G0V	5850	4	0	7488	185958	G8II	4850	2	-1
1995	38656	G8III	5100	0	-1	7576	188056	K3III	4400	2.5	-1
2012	39003	K0III	4600	2.5	-1	7602	188512	G8IV	5050	2.25	-0.5
2035	39364	G8III	4800	2	-0.5	7660	190147	K1Ib	4600	1.25	-1
2047	39587	G0V	5750	3	-1	7685	190940	K3III	4450	2.5	-1
2134	41116	G5III	5000	2.5	-1	7744	192806	K3II	4050	1	-1
2473	48329	G8Ib	4350	0.5	-1	7747	192876	G3Ib	4700	1	-1
2693	54605	F8Ia	5650	0	-1	7754	192947	G9III	5000	3	-0.5
2985	62345	G8III	4950	1	-0.5	7796	194093	F8Ib	5700	1	-0.5
2990	62509	K0III	4850	1	-0.5	7806	194317	K3II	4150	1	-1
3323	71369	G5III	5250	2	-0.5	7896	196755	G5IV	5450	3	-0.5
3547	76294	K0III	4900	2.5	-0.5	7949	197989	K0III	4900	0	-0.5
3748	81797	K3III	4250	1.5	-1	8008	199169	K4II	4100	0.5	-1
3771	82210	G2IV	5250	3.5	-0.5	8115	202109	G8II	5050	0	-1
3873	84441	G0II	5200	0	-1	8167	203387	G8III	5050	1	-1
3905	85503	K2III	4350	2	-0.5	8232	204867	G0Ib	5350	0	-1
4166	92125	G2II	5200	1.5	-0.5	8308	206778	K2Ib	4200	0.5	-1
4301	95689	K0III	4700	1	-1	8321	207089	K0Ib	4450	0.5	-1
4418	99648	G8II-III	4900	1	-0.5	8414	209750	G2Ib	5150	0	-0.5
4471	100920	G9III	5000	0	-0.5	8465	210745	K1Ib	4150	1	-1
4518	102224	K0III	4500	2	-1	8538	212496	G9III	4650	1.5	-1
4527	102509	G5III-IV	5550	0	-1	8667	215665	G8II-III	4850	0.25	-1
4785	109358	G0V	5700	2.5	-0.5	8684	216131	K0III	4900	3	-1
4932	113226	G9III	5200	3	0	8694	216228	K1II	4750	2	-1
4983	114710	G0V	5900	2	0	8796	218356	K0II	4500	2	-1
5235	121370	G0IV	5925	3.5	0	8812	218594	K0III	4500	2	-1
5315	124294	K3III	4150	1	-1	8852	219615	G7III	4800	1.5	-1
5340	124897	K2III	4300	2	-1	8916	220954	K1II	4800	3.5	-1
5544	131156	G8V	5200	4	-0.5	8923	221115	G8III	4900	2.5	-1
5601	133165	K0III	4700	0.5	-1	8974	222404	K1IV	4800	3.5	-0.5
5602	133208	G8III	4950	2.5	-1	9003	223047	G5Ib	4600	2	-1
5616	133582	K2III	4450	2	-1						

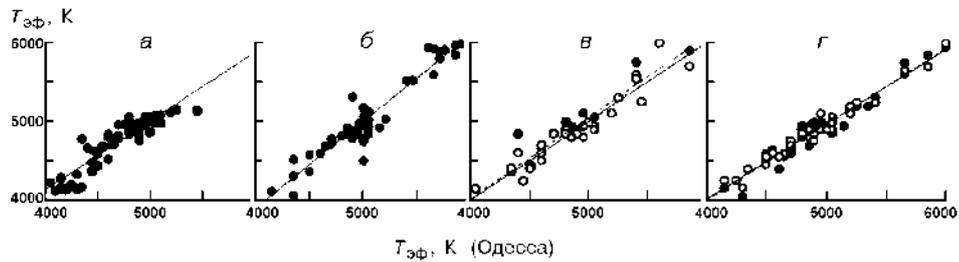


Рис. 1. Корреляции значений эффективных температур  $T_{\text{эф}}$ , полученных на базе разных каталогов: а — [6], б — [14], в — [13], г — [9] (темные кружки и штриховая линия — по оригинальным данным крымского и пулковского каталогов, светлые кружки — по приведенным в систему одесского стандарта)

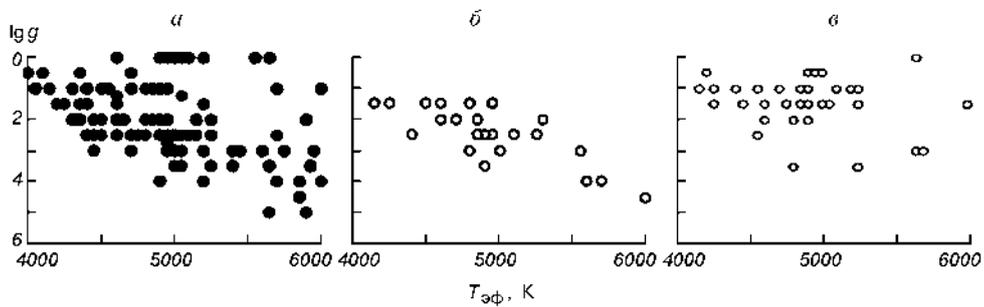


Рис. 2. Корреляции значений  $T_{\text{эф}}$  и  $\lg g$ : а — по одесскому каталогу  $E_{555}$ , б, в — по крымскому и пулковскому каталогам, приведенным в систему одесского стандарта

### ЗНАЧЕНИЯ ЛОГАРИФМОВ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛИЧНОСТИ

При определении  $\lg g$  использовалась сетка теоретических спектров Куруца с шагом 0.5 dex для значений  $\lg g$  от 0 до 5.0. Для нахождения параметров металличности выбирались теоретические спектры с тремя значениями  $[\text{Fe}/\text{H}]$ : 0, -0.5, -1.0. Следует отметить, что при расчетах мы использовали теоретические спектры, вычисленные по моделям со значением микротурбулентной скорости  $\xi_t = 2$  км/с. Для К-гигантов Н. С. Комаровым [3] ранее были получены значения  $\xi_t = 1.8 \dots 2.2$  км/с с ошибкой  $\pm 0.5$  км/с по спектрам высокого разрешения (0.03 нм). Как правило, при моделировании атмосфер звезд классов О и К также принимается значение 2 км/с. Мы не проводили исследование зависимости полученных нами параметров звезд от принимаемого значения микротурбулентной скорости, полагаясь на то, что поправки не превысят погрешности наших определений. Согласно независимым оценкам при вариациях микротурбулентной скорости 1...2 км/с глубина сильной линии Ca 2 671.768 нм изменяется на 7 % [7], а содержание железа, определенное по линиям Fe I, изменяется на 0.03 dex при изменении  $\xi_t$  на 0.2 км/с [8]. Исходя из этого, можно предположить, что суммарное влияние микротурбулентной скорости не превысит погрешности наших определений  $[\text{Fe}/\text{H}]$ , составляющей 0.5 dex.

Как видно из рис. 2, а, для большого количества звезд, а среди них почти все гиганты, наиболее подходящими теоретическими спектрами оказались спектры с  $\lg g = 0$ , т. е. оценки оказались слишком заниженными, о чем свидетельствует и сравнение результатов для общих звезд с данными

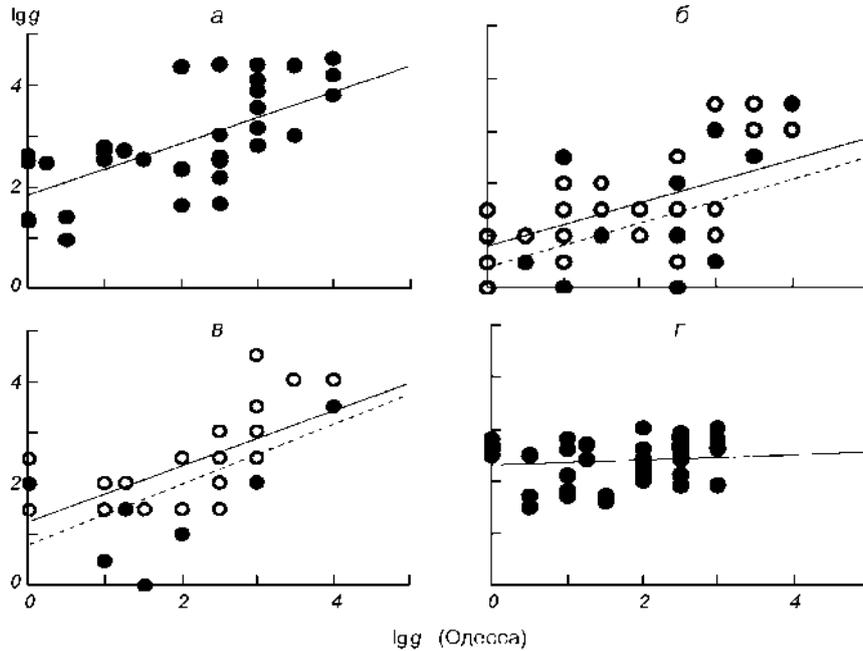


Рис. 3. Сравнение значений  $\lg g$ , полученных на базе разных каталогов: *а* — [14], *б* — [13], *в* — [9], *г* — [16]

обзора [14] (рис. 3, *а*). Найденные значения параметра металличности  $[Fe/H]$  также оказались отличными от полученных по спектрам высокого спектрального разрешения, а именно — тяготеющими к дефициту металлов. Выход из этой ситуации мы попытались найти, используя оригинальные каталоги [9, 13], распределение энергии в которых даны с интервалом  $\Delta\lambda = 2.5$  нм и 1 нм, в то время как наш каталог  $E_{555} - 5$  нм. К тому же эти данные были усреднены по исходным каталогам, что привело к сглаживанию отдельных спектральных деталей. При создании каталога  $E_{555}$  все оригинальные каталоги были приведены в систему одесского спектрофотометрического стандарта.

Определение параметров  $T_{\text{эф}}$ ,  $\lg g$  и  $[Fe/H]$  было проведено по пулковским и крымским данным сначала по оригинальным каталогам, а затем — по приведенным в систему одесского стандарта  $\alpha$  Луг.

Из рис. 1 (светлые и темные кружки) видно, что, приведение в одну систему почти не влияет на температуры, определенные по пулковскому каталогу, и немного (примерно на 50 К) уменьшает температуры, определенные по крымским данным, для горячих звезд. Для значений  $\lg g$  и  $[Fe/H]$  это различие существеннее (рис. 3, б, в и рис. 4, а, б). Причем для  $\lg g$  эти отличия почти одинаковые по пулковским и крымским данным — от +0.3 до +0.5dex (на всех рисунках сплошная линия тренда соответствует данным, приведенным в систему одесского стандарта). В то же время приведение в одну систему почти не изменяет соотношение между «одесскими» и «пулковскими» значениями  $[Fe/H]$ , но существенно изменяет результаты по крымскому каталогу. Это хорошо демонстрирует положение линий тренда, так как они отражают соотношение по всем общим звездам, хотя на рисунке из-за совпадения значений видно только несколько точек, однако каждая точка здесь соответствует нескольким звездам. Поскольку получае-

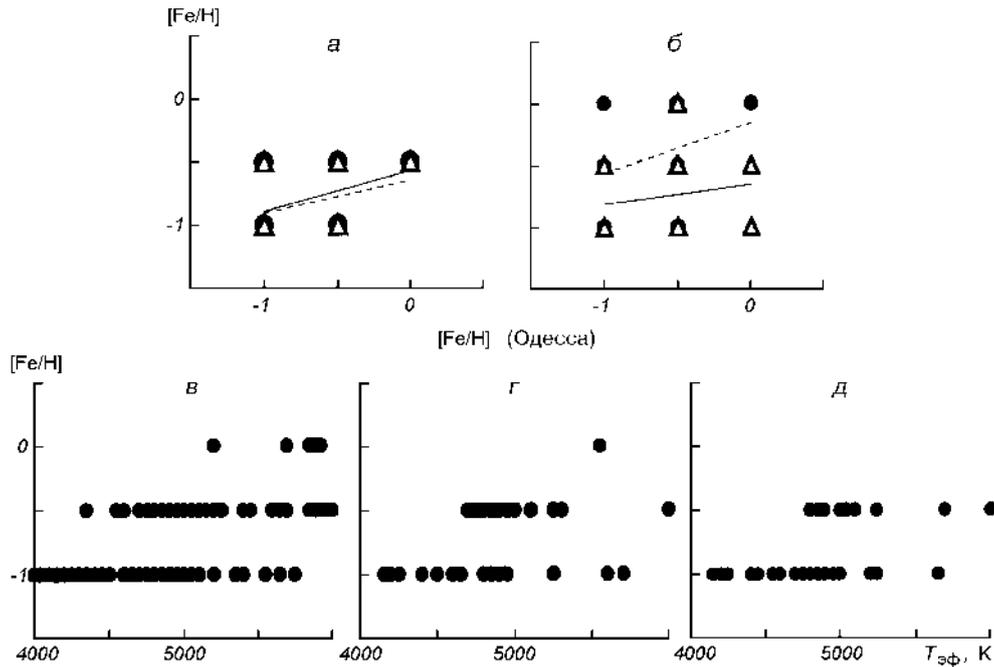


Рис. 4. Корреляции значений  $[Fe/H]$ : а, б — полученные по каталогам [9, 13] (треугольники — для распределений, приведенных в одесскую систему); в, г, д — корреляция между полученными параметрами  $[Fe/H]$  и  $T_{\text{эф}}$  по данным  $E_{555}$ , [9] и [13] соответственно

мые точности в данном методе определяются шагом используемых сеток моделей атмосфер, а в нашем случае это  $\pm 50$  K по температуре,  $\pm 0.5$  dex для  $\lg g$  и  $\pm 0.5$  для  $[Fe/H]$ , то для определения характеристик звездных атмосфер данным методом приведение распределений энергии в одну систему не обязательно, так как расхождения в определяемых параметрах атмосфер не выходят за пределы ошибок.

Из рис. 2 видно, что среди значений  $\lg g$ , полученных по крымскому каталогу, где распределения энергии в спектрах звезд даны через 1 нм, нет нулевых, т. е. они более соответствуют значениям  $\lg g$  из компилятивного обзора. Результаты, полученные по пулковскому каталогу, мало отличаются от наших.

## ВЫВОДЫ

Получены фундаментальные характеристики 115 звезд поздних спектральных классов — эффективные температуры, ускорения свободного падения на поверхности и параметры металличности по разработанной методике. Проанализированы данные, полученные с применением различных каталогов распределений энергии в спектрах звезд. Можно с уверенностью утверждать, что предложенная методика применима для экспрессного получения фундаментальных характеристик звездных атмосфер, в особенности — для определения эффективных температур. В этом случае можно использовать спектральные распределения энергии с низким разрешением. Наличие наблюдательных данных со средним разрешением — порядка 1 нм — позволяет определять также ускорения свободного падения и параметры металличности.



Эта работа была начата по инициативе и с участием доктора физ.-мат. наук, профессора, заведующего отделом АО ОНУ Николая Сергеевича Комарова, безвременно покинувшего нас в августе 2003 г. Успешное ее завершение — это наш долг и свидетельство бесконечной благодарности Н. С. Комарову за многие годы совместной работы.

1. *Белик С. И., Драгунова А. В., Закожуришкова И. И. и др.* Спектрофотометрические и фотометрические каталоги: фундаментальные характеристики звезд // JINAM 2000. «Спектрофотометрические и фотометрические каталоги. Звезды-стандарты и аналоги Солнца»: Тр. — Санкт-Петербург, 2000.—С. 20—27.
2. *Депенчук Е. А., Комаров Н. С.* Распределение энергии в непрерывном спектре излучения пяти спектрофотометрических стандартов // Астрометрия и астрофизика.—1982.— Вып. 46.—С. 15—17.
3. *Комаров Н. С.* Холодные звезды-гиганты. — Одесса: Астропринт, 1999.—214 с.
4. *Комаров Н. С., Белик С. И., Драгунова А. В.* Определение характеристик звезд спектральных классов F, G, K. Эффективные температуры // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—15, № 3.—С. 215—222.
5. *Комаров Н. С., Карамыш В. Ф., Позигун В. А.* Спектрофотометрические стандарты. Абсолютные распределения энергии в спектрах излучения шести звезд // Астрон. журн.—1978.—55, вып. 6.—С. 1208—1213.
6. *Коротина Л. В., Драгунова А. В., Комаров Н. С.* Каталог фундаментальных характеристик 980 звезд-гигантов поздних спектральных классов. — Одесса, 1988.—34 с.—(Рукопись деп. В УкрИНТЭИ; №2037).
7. *Любчик Ю. И.* Моделирование спектров звезд поздних спектральных классов: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Киев, 2001.—138 с.—Машинопись.
8. *Мишенина Т. В.* Химический состав двух звезд с повышенной металличностью // Астрон. журн.—1998.—75, вып. 2.—С. 202—208.
9. *Alekseeva G. A., Arkharov A. A., Galkin V. D., et al.* The pulkovo spectrophotometric catalog of bright stars in the range from 320 to 1080 nm // Baltic Astron.—1996.—5.—P. 603—838;—1996.—6.—P. 481—496.
10. *Alonso A., Arribas S., Martinez-Roger C.* The effective temperature scale of giant stars (G0—K5). I. The effective temperature determination by means of the IRFM // Astron and Astrophys. Suppl. Ser.—1999.—139.—P. 335—358.
11. *Belik S. I., Komarov N. S., Dragunova A. V.* Determination of the fundamental characteristics of cold stars // Odessa Astron. Publ.—2001.—14.—P. 231—234.
12. *Bersier D., Burki G., Kurucz R. L.* Fundamental parameters of Cepheids. IV. Radii and luminosities // Astron. and Astrophys.—1997.—320, N 1.—P. 228—236.
13. *Burnashov V. I., Guziy S. S.* The energy distributions catalogue of 111 late type stars // <http://www.crao.crimea.ua/database/>
14. *Cayrel de Strobel G., Soubiran C., Ralite N.* Catalogue of [Fe/H] determinations for FGK stars: 2001 edition // Astron. and Astrophys.—2001.—373, N 1.—159 p.
15. *Hayes D. S.* Stellar absolute fluxes and energy distributions from 0.32 to 4.0  $\mu\text{m}$  // IAU Symp. N 111 «Calibration of Fundamental Stellar Quantities» / Eds by D. S. Hayes, L. E. Pasinetti, A. G. Davis Philip. — Dordrecht: Reidel, 1985.—P. 225—250.
16. *Komarov N. S., Dragunova A. V., Belik S. I., et al.* The spectrophotometric star catalog // Odessa Astron. Publ.—1995.—8.—P. 1—115.
17. *Kurucz R. L.* ATLAS9 stellar atmosphere program and 2 km/s grid. — 1993.—CD-ROM 13.
18. *Kurucz R. L.* Solar abundance atmosphere models for 0, 1, 2, 4, 8 km/s. — 1994.—CD-ROM 19.
19. *Kurucz R. L.* Solar abundance atmosphere models for 0.1, 2, 4, 8 km/s. — 1996.—CD-ROM 25.
20. *Oke J. B., Schild R. E.* The absolute spectral energy distribution of Alfa Lyrae // Astrophys. J.—1970.—161, N 3.—P. 1015—1023.