

Переменные звезды 20, 103–115, 1975

Variable Stars 20, 103–115, 1975

**Система критериев двумерной количественной спектральной
классификации для переменных звезд типа RR Лиры
З. Н. Фенина**

На основе двумерной количественной спектральной классификации стационарных звезд II, III, IV, V классов светимости в спектральном интервале B8–G0 получена система критериев для аналогичной классификации переменных звезд типа RR Лиры. Подобрано 16 критериев для определения спектрального класса звезды и 3 для определения абсолютной величины. В полученной системе критериев ошибка определения спектрального класса в среднем составляет 0.12 спектрального подкласса для водородных линий и 0.28 для линий металлов. Квадратичная ошибка одного определения абсолютной величины составляет в среднем $0^m.23$.

**The System of Criteria of Two-Dimensional Quantitative Spectral
Classification for RR Lyrae Type Variable Stars
by Z. N. Fenina**

Based on two-dimensional quantitative spectral classification of stable stars of luminosity classes II, III, IV, V in the B8–G0 spectral range; a system of criteria for analogous classification of the RR Lyrae type variable stars has been obtained. 18 criteria have been selected to define the spectral class of a star, 3 more of those to define the absolute magnitude. In the criterion system being obtained the error of determination of the spectral class is of 0.12 spectral subclass for hydrogen lines and 0.28 for metallic lines. The square error of one determination of the absolute magnitude amounts to $0^m.23$ on the average.

Введение.

Количественная спектральная классификация звезд – один из важнейших методов изучения физики и эволюции звезд. Этот метод с успехом применен к стационарным звездам для выявления тонкой структуры диаграммы Герцшпрунга–Рессела. Однако той области диаграммы, где располагаются переменные звезды типа RR Лиры, до сих пор не уделялось должного внимания. Изучение переменных объектов особенно ценно тем, что дает возможность проследить за изменением физического состояния атмосферы одной и той же звезды.

Основной целью данной работы является построение системы двумерной количественной спектральной классификации в интервале спектральных классов A–F, пригодной для классификации пульсирующих

переменных звезд типа RR Лиры. Звезды данного типа имеют ряд особенностей в поведении блеска и в характере спектра, чем и объясняется сложность их спектральной классификации. Спектральные классы многих RR Лирид по низкодисперсным спектрограммам показывают различия по линиям водорода и ионизованного кальция; причем водородные спектральные классы оказываются более поздними. Принято считать, что данное обстоятельство отражает химический состав атмосферы этих звезд, а именно указывает на общий недостаток металлов. Однако до сих пор не было уверенного подтверждения этому предположению, т. к. большинство звезд типа RR Лиры слабее 9^m и получение спектрограмм с высокой дисперсией связано в настоящее время с большими техническими трудностями.

Нами предпринята попытка проверить предположение о "дефиците" металлов в атмосферах некоторых звезд типа RR Лиры по спектрограммам со средней дисперсией методом количественной спектральной классификации. Этот метод основывается на определении эквивалентных ширины линий поглощения водорода, ионизованного кальция и других тяжелых элементов, которые в той или иной комбинации являются критериями при определении спектрального класса и абсолютной величины звезды. Для стационарных звезд, не имеющих особенностей в спектрах, спектральные классы, определенные по всем критериям, совпадают в пределах точности измерений и результаты усредняются. Таким образом определяется некоторый средний спектральный класс, который приписывается исследуемой звезде.

В случае пульсирующих переменных звезд типа RR Лиры вопрос о спектральном классе иногда не может быть решен однозначно и для них не всегда пригодны критерии спектральной классификации стационарных звезд. В частности, нельзя использовать критерии, содержащие одновременно параметры водородных линий и ионизованного кальция или других металлов. Поэтому возникает необходимость в построении системы критериев двумерной количественной спектральной классификации для RR Лирид на основании исследования стационарных звезд с известными спектральными классами и абсолютными величинами. В работе Горбачко ГС (1966) отмечено, что теория элементарных атомных процессов, существенных для образования спектра, одна и та же для стационарных и переменных звезд, поэтому критерии, разработанные на основании наблюдений стационарных звезд, правомерно применить для классификации переменных звезд.

2. Наблюдательный материал.

Спектрограммы стационарных и переменных звезд получены в 1969–1970 и 72 годах на 122-см телескопе Крымской Астрофизической обсерватории АН СССР (дисперсия $125 \text{ \AA}/\text{мм}$).

Для выбора критериев двумерной количественной спектральной классификации мы использовали каталог эквивалентных ширины линий поглощения, составленный на Одесской обсерватории по спектрограммам 74 стационарных звезд II, III, IV, V классов светимости в интервале спектральных классов от B8 до G0 (Фенина, 1974).

В таблице 1 приводится список наблюдавшихся звезд, с указанием номера по порядку, названия звезды, номера по каталогу HD, координат эпохи 1950.0 по каталогу Бечваржа (1959), звездная величина в лучах V из Бланко и др. (1968) (звездочкой отмечена звездная величина из каталога Бечваржа), спектрального класса в системе МК из каталогов Ирайерта и др. (1965) и Яшека и др. (1964), абсолютной звездной величины M_v , определенной по параллаксам из каталога Бечваржа (1959), числа спектрограмм n . Звездочкой отмечены абсолютные величины, для которых параллаксы взяты из каталога параллаксов ярких звезд Шлесингера и др. (1940). Звезды расположены по классам светимости по степени возрастания спектрального класса МК.

Для наблюдений мы стремились выбирать звезды, не имеющие особенностей в спектрах. Однако, в списке оказались пекулярная звезда β CrB, "металлические" звезды 111 Her и 68 Tau.

3. Система критериев двумерной количественной спектральной классификации для переменных звезд типа RR Лиры.

Количественная спектральная классификация переменных звезд типа RR Лиры может быть выполнена только индивидуально по линиям водорода, ионизованного кальция и в среднем по линиям других металлов. Поэтому при выборе критериев мы руководствовались следующими принципами:

1) критерий не должен содержать одновременно параметры водорода и кальция или других металлов;

2) критерием может служить только такая линия, которая заметно меняется во всем спектральном интервале от B8 до G0;

3) если критерий состоит из суммы эквивалентных ширин каких-либо линий, то они должны быть расположены в одном интервале чувствительности фотоэмульсии.

Всего таких критериев подобрано 16, из них 2 для классификации по линиям поглощения водорода, один — ионизованного кальция и 13 — других металлов, охватывающих участок спектра от $\lambda 3998.0 \text{ \AA}$ до $\lambda 4454.9 \text{ \AA}$. Водородные линии H_{β} и более поздние, чем H_{γ} , не использовались для построения редуцированных кривых, т. к. расположены на спаде чувствительности фотоэмульсии. В таблице 2 приводится список линий, выбранных в качестве критериев. Блендированные линии отмечены звездочкой. На рисунках 1–16 показаны кривые изменения эквивалентных ширин соответствующих линий или их комбинаций со спектральным классом.

При построении кривых мы принимали, что в интервале B8–G0 спектральные подклассы располагаются в следующем порядке: B8, B9, A0, A1, A2, A3, A5, A7, F0, F2, F5, F6, F8, G0, согласно работе Кинана (1963) и Михаласа (1968). При этом каждый спектральный подынтервал от B8 до A3 разбивался на 10 равных участков, которым придавались значения: B8.1, B8.2 и т. д. до A2.9, A3.0. Середина спектральных подынтервалов A3–A5 и A5–A7 придавались значения соответственно A4 и A6. Подынтервал A7–F0 разбивался на три равных участка и им придавались значения соответственно A8, A9 и т. д. Это позволило выполнить отсчеты спектральных классов по редуцированным кривым в десятич-

ной системе. На рисунках 1 и 2 приведены кривые зависимости полусумм эквивалентных ширин водородных линий H_γ , H_δ и H_β , H_α от спектрального класса. Т. к. в спектральном интервале A2–A5 на интенсивность водородных линий существенно влияет эффект светимости, то мы провели среднюю кривую для этих критериев, начиная от спектрального класса A5. Эквивалентные ширины линий у звезд II класса светимости обозначены крестиком и для них проводится редуцированная кривая отдельно от звезд III, IV, V классов светимости. На рис. 3 показана редуцированная кривая для линии K CaII. Т. к. линии ионизованных элементов у звезд II класса светимости усилены, то на этом рисунке она также показана крестиками. Для остальных критериев эффект светимости существенно не проявляется и для них проводится средняя кривая по звездам всех классов светимости. Наиболее удобны для классификации по линиям металлов критерии 8, 10, 12, 13, т. к. их кривые имеют наибольший угол

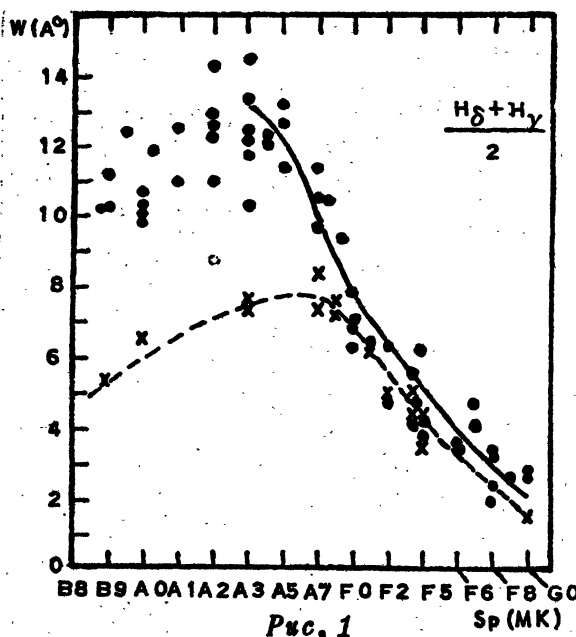


Рис. 1

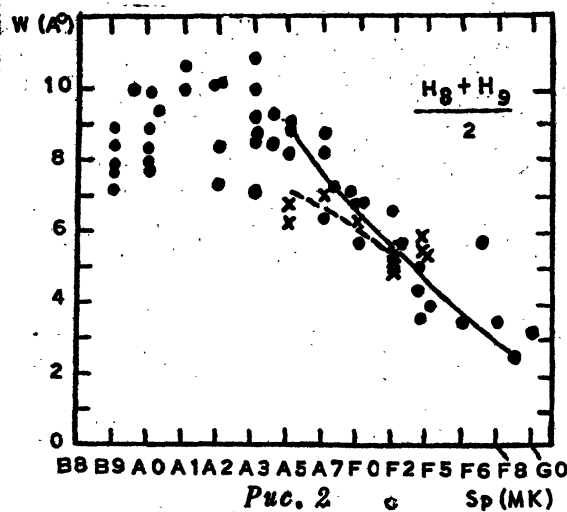
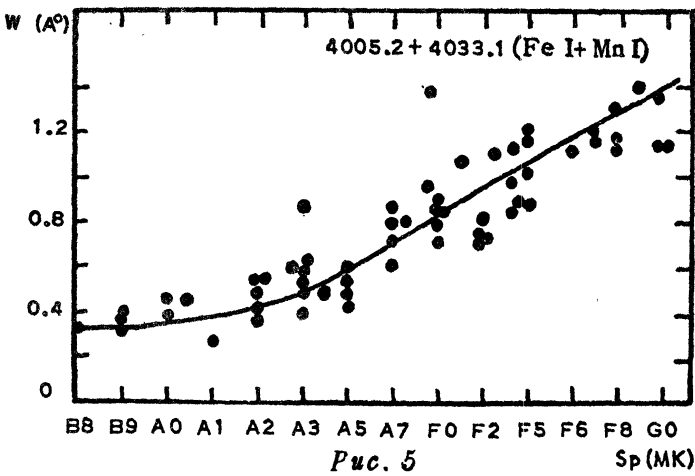
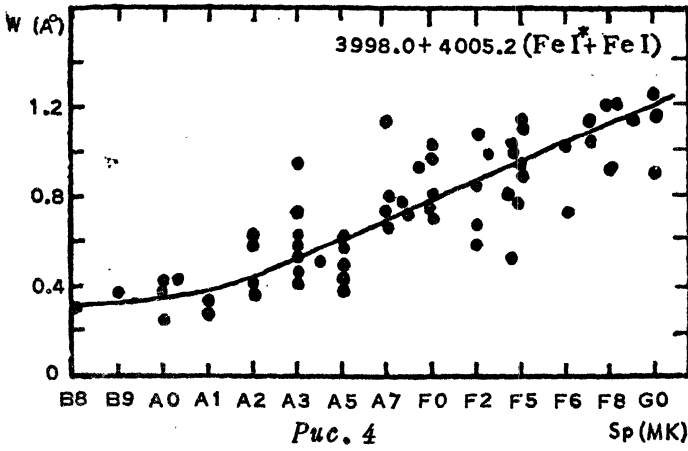
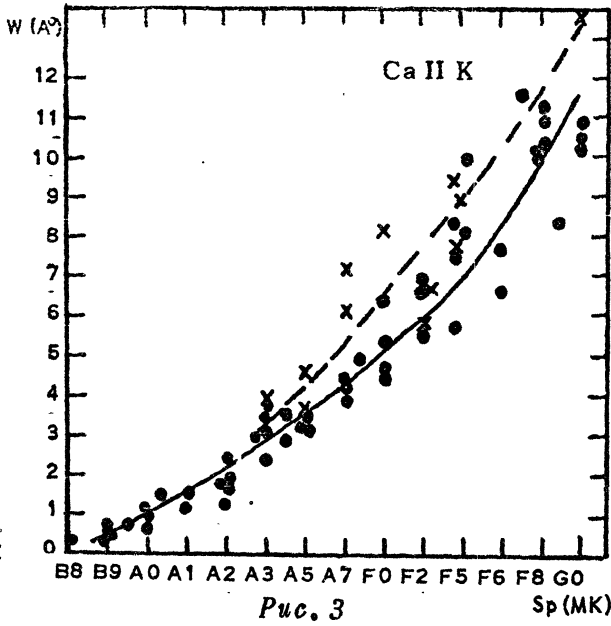


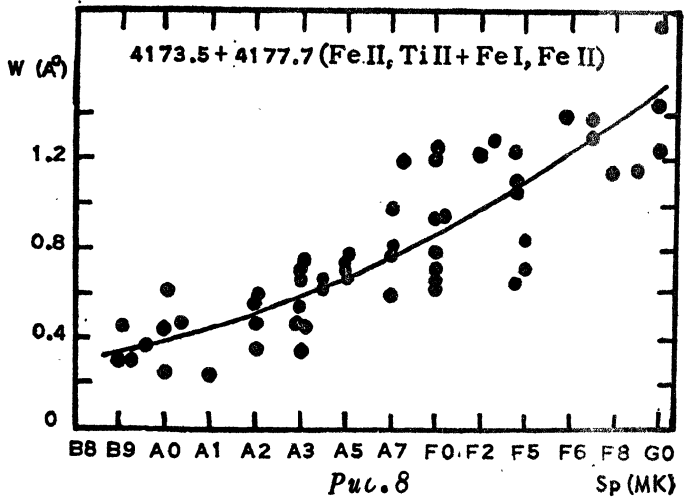
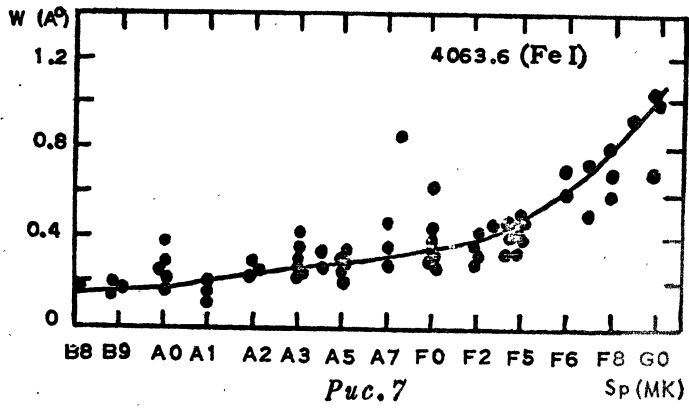
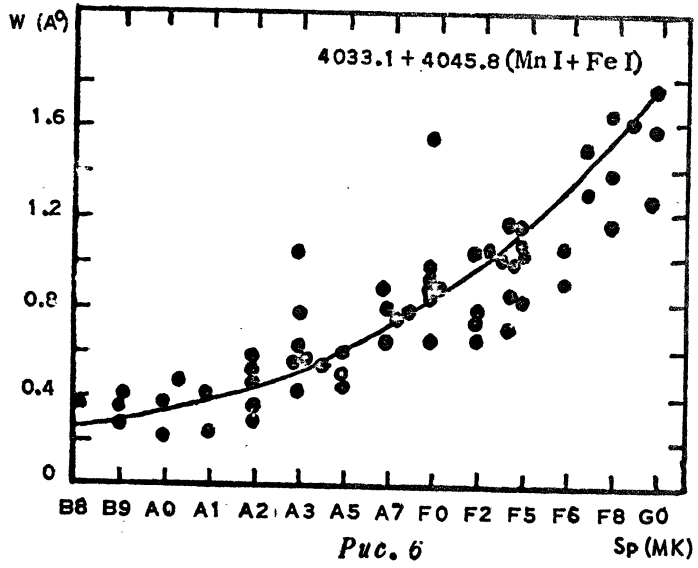
Рис. 2

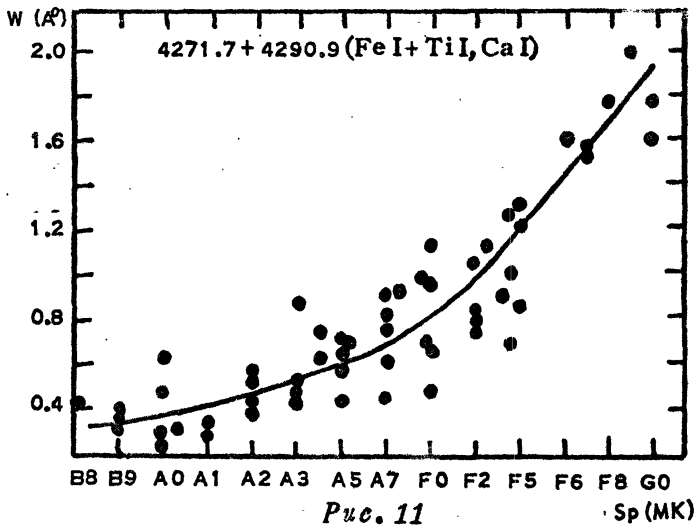
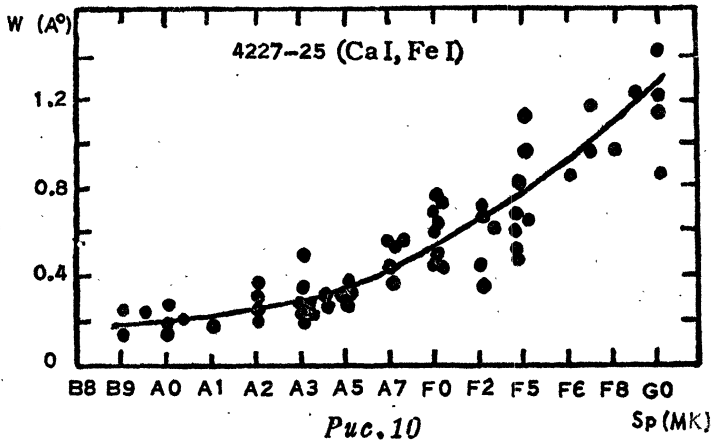
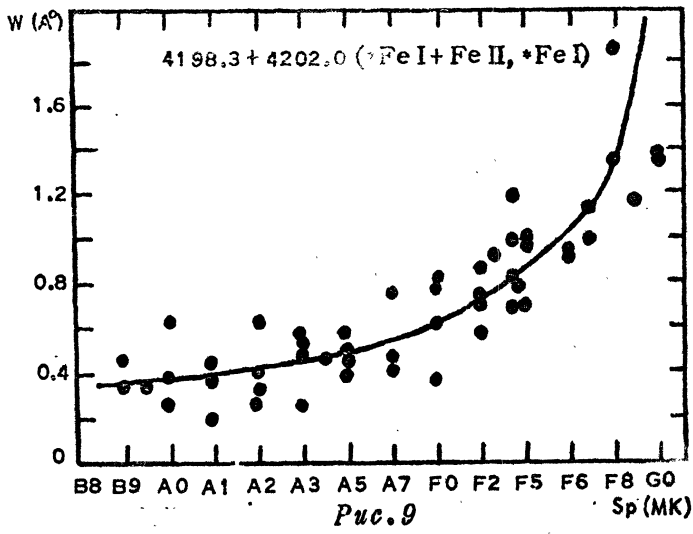
наклона, и менее удобны критерии 4, 5, 6, 7, 9, 14, 15, 16, которые имеют несколько меньший угол наклона. Особенно затруднительна классификация в интервале спектральных классов B9–A5, т. к. редуцированные кривые для водородных линий испытывают в этой области перегиб, а линии металлов со спектральным классом меняются еще очень слабо. Т. к. переменные звезды типа RR Лиры в максимуме блеска обычно не превышают спектрального класса A5, то можно уверенно применять для их классификации критерии, приведенные в таблице 2.

Разброс точек вокруг некоторой средней кривой на рис. 1–16 обусловлен ошибками в определении эквивалентной ширины и спектрального класса, индивидуальными особенностями звезд, т. е. усилением или ослаблением в интенсивностях отдельных линий, а также эффектом светимости.

Мы оценили среднюю квадратичную ошибку определения спектрального класса по одному критерию. Для водородных линий эта ошибка в среднем составила 0.12 спектрального







подкласса и для линий металлов – 0.28. Кроме того мы оценили разброс, вносимый ошибками в определение эквивалентной ширины. При одном определении эквивалентной ширины по линии водорода и ионизованного кальция она, в среднем, составляет 0.34 спектрального подкласса, а для остальных линий – 0.58 спектрального подкласса.

При выборе критериев для определения абсолютной величины мы остановились главным образом на линиях водорода H_γ , H_δ , H_8 , H_9 . В таблице 2 это критерии 1, 2. Вся исследуемая область спектральных классов разбивалась на несколько участков. Так для критерия 1 выбра-

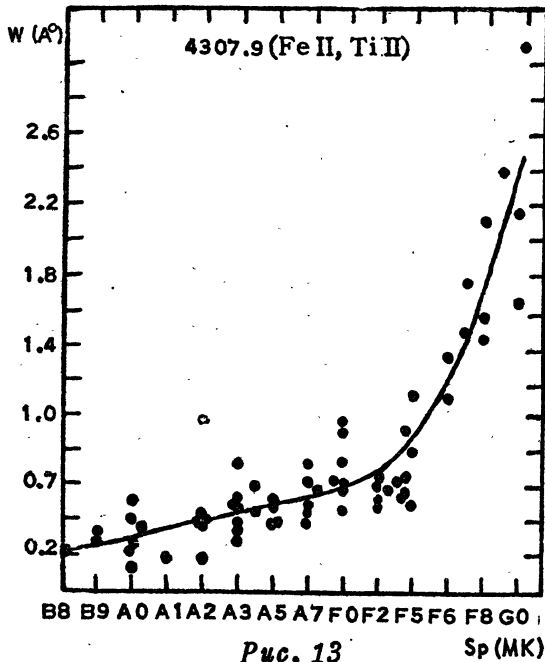


Рис. 13

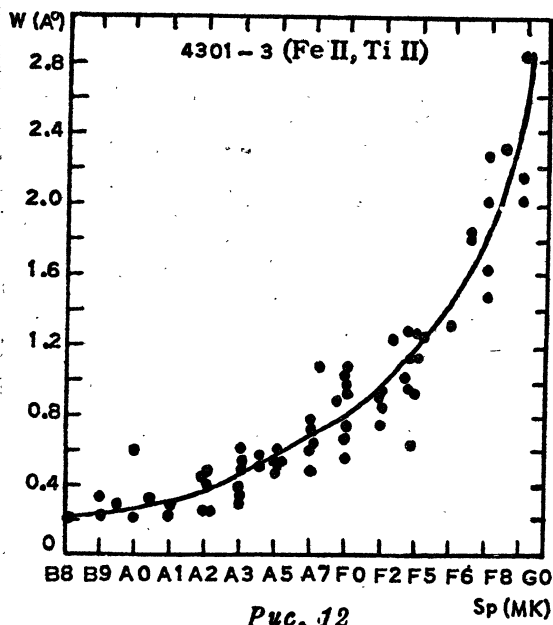
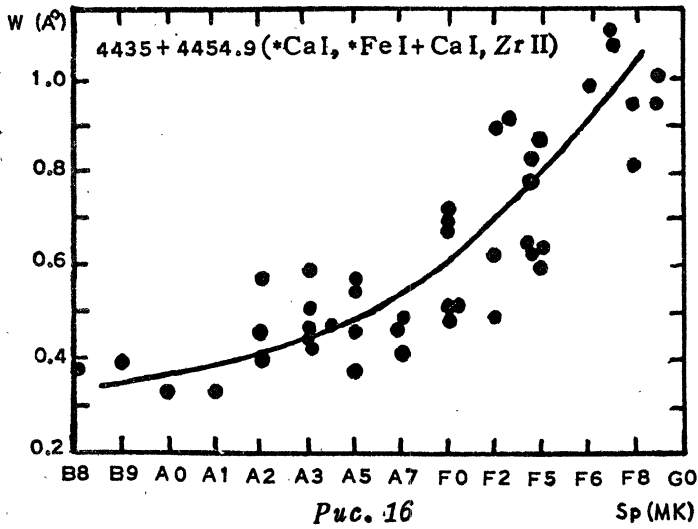
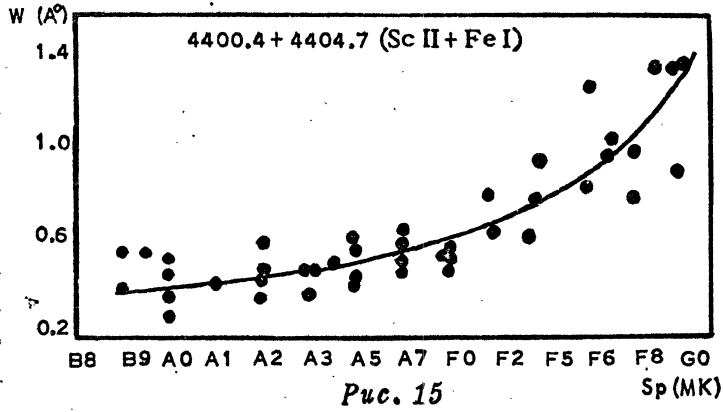
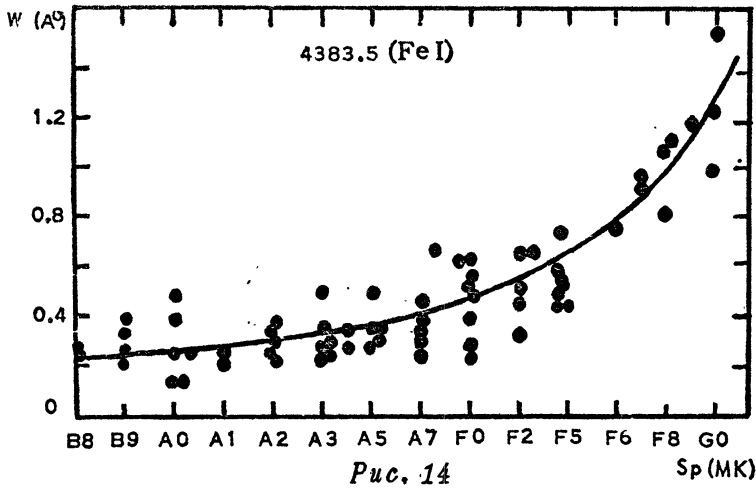
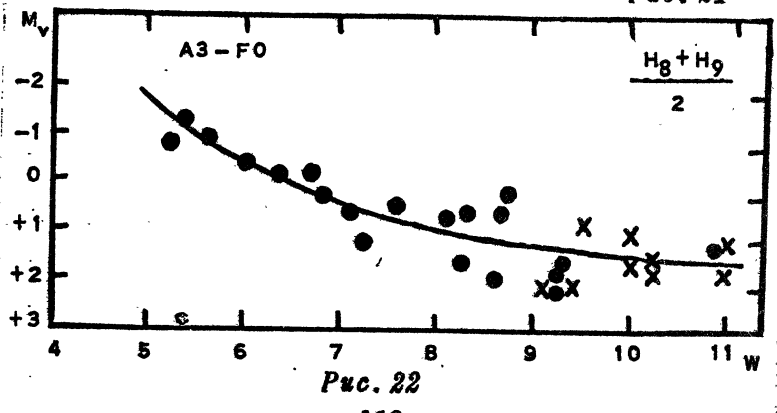
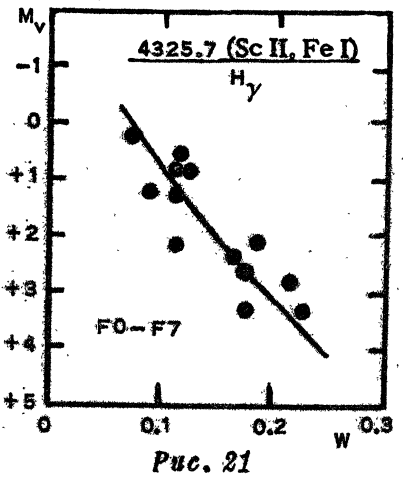
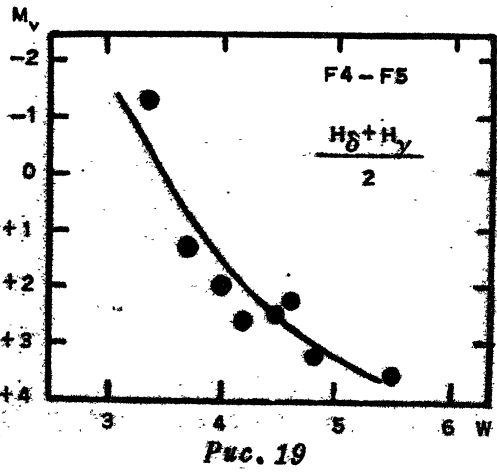
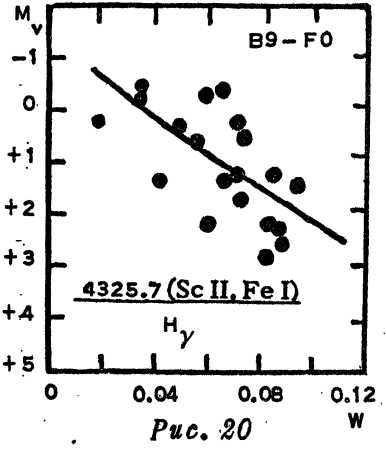
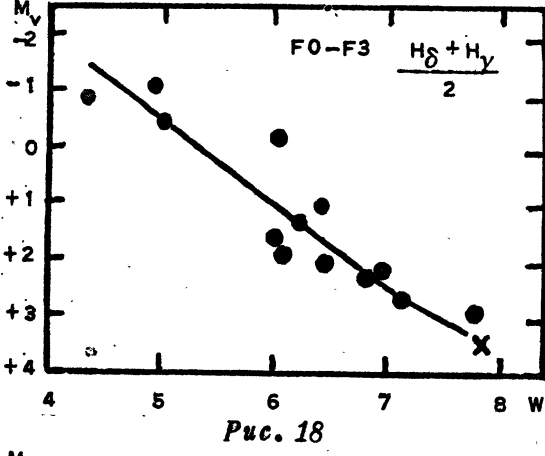
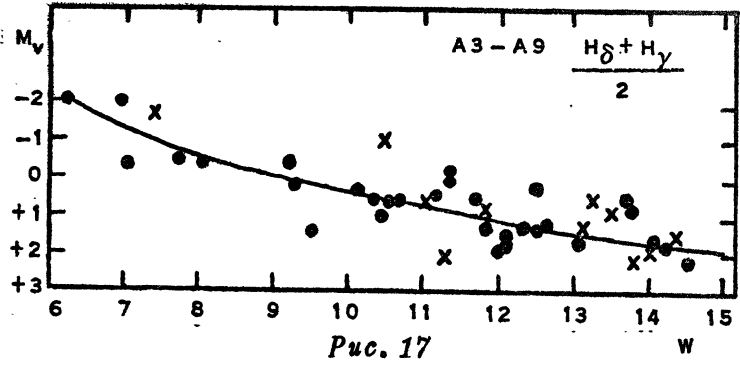


Рис. 12

но 3 участка A3–A5, F0–F3, F4–F5 (рис. 17, 18, 19). В интервале F5–G0 удовлетворительной зависимости по нашим данным получить не удалось. Для критерия 2 мы выбрали два интервала A3–F0, F2–F5 (рис. 22, 23). Для других интервалов спектральных классов по этому критерию удовлетворительной зависимости не получилось. При построении кривых эквивалентная ширина – абсолютная величина по водородным линиям, мы дополняли наши данные определениями эквивалентных ширин Си ннерстадта (1961), с этим каталогом наши данные имеют вполне удовлетворительную сходимость при сравнении по общим звездам. Такие точки на рисунках 17–23 отмечены крестиком.

Мы попытались найти критерии светимости, содержащие линии металлов. С этой целью было построено несколько редуцированных кривых по критериям светимости, предложенные в работе Альбицкого и др. (1973). Но эти критерии оказались неприменимыми, что выяснилось при попытке использовать их для исследования изменений абсолютной величины переменной звезды с фазой основного колебания. Только отношение линий 4325.7 (Sc II, Fe I): H_γ может быть использовано для определения абсолютной величины

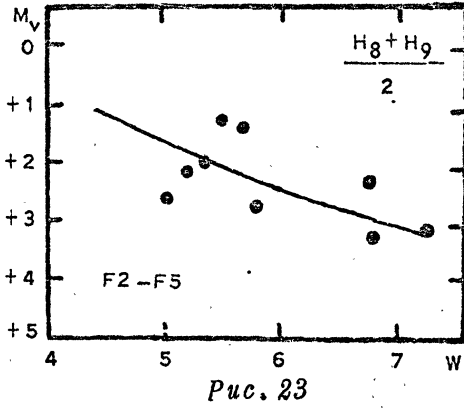




в интервалах спектрального класса АЗ—F0, F0—F7 (рис. 20, 21). Мы выполнили по тр: определения абсолютной величины для каждой стандартной звезды и определили среднюю квадратичную ошибку, которая заключена в пределах от 0^m.12 до 0^m.90.

Таким образом, ошибки в определении спектрального класса и абсолютной величины не превышают ошибок, получаемых другими авторами в аналогичных работах (Копылов, 1960; Вильямс, 1936; Копылов и др., 1963). Подобранные критерии будут применены для двумерной количественной спектральной классификации переменных звезд типа RR Лиры.

Выражаю глубокую благодарность профессору В.П.Цесевичу за руководство работой, дирекции Крымской астрофизической обсерватории за предоставление наблюдательного времени на 122-см телескопе и операторам Долго-



вой С.И., Симоновой Р.В., Урсаловой Т.К, за большую техническую помощь при статистической обработке материала.

Таблица 1

№	НАЗВ. ЗВ.	HD	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	V	SpMK	M_V	n
1		193182	20 ^h 15 ^m 5 + 39° 25		6 ^m 52	B9 II		5
2		222275	23 36. 6 + 61 91		6. 59	A3 II		3
3	19 Aur	34578	05 16. 4 + 33 54		5. 03	A5 III	-2.0	4
4	2 Cas	218753	25 07. 3 + 59 03		5. 75	A5 II	+1.9	3
5		10497	01 40. 5 + 52 38		6. 8*	A7 II	-	3
6		202240	21 11. 2 + 36 25		6. 0*	A7 II	+1.8	2
7		25291	04 00. 3 + 59 01		5. 01	F0 II	+0.8	3
8	22 And	571	00 07. 4 + 45 47		5. 03	F2 II-III	-1.0	5
9	ν Her	164136	17 56. 3 + 30 11		4. 38	F2 II-III	-0.7	4
10		15784	02 27. 2 + 67 55		6. 8*	F4 II	-	2
11	ν Per	23230	03 41. 5 + 42 25		3. 77	F4 - F5 II	-0.4*	6
12	41 Cyg	195295	20 27. 2 + 30 12		3. 99	F5 II	-1.4	4
13	α Sge	185758	19 37. 5 + 17 53		4. 37	G0 II	-1.7	4
14	β Vul	188260	19 51. 2 + 23 56		4. 56	B9 III	-0.1	3
15	δ Cyg	186882	19 43. 2 + 45 00		2. 87	A0 III	-0.5	3
16	23 Com	109485	12 32. 2 + 22 54		4. 81	A0 III-IV	-0.4	4
17	α Dra	123290	14 03. 0 + 64 36		3. 66	A0 III	-0.5	6
18		20149	03 12. 2 + 30 22		5. 53*	A1 III	+1.1	3
19	29 Cyg	192640	20 12. 4 + 36 39		4. 99	A2 III	+1.4	6
20	θ Gem	50019	06 49. 3 + 34 01		3. 62	A3 III	+0.5*	5
21	30 Cyg	192514	20 11. 4 + 46 39		4. 82	A3 III	+0.5	6
22	β Tri	13161	02 06. 3 + 34 45		3. 00	A5 III	-0.6	5
23	γ Boo	127762	14 30. 0 + 38 31		3. 03	A7 III	+0.6	8
24	β CrB	137909	15 25. 4 + 29 16		3. 69	A8 III-V	+1.2	7
25	γ Her	147547	16 19. 4 + 19 16		3. 76	A9-F0 III	+0.6	6
26	γ Leo	89025	10 13. 5 + 23 40		3. 46	F0 II-III	-0.1	3
27	16 Per	17584	02 47. 2 + 38 06		4. 22	F2 III	+1.2	2

Таблица 1 (продолжение)

№	НАЗВ. ЗВ.	HD	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	V	SpMK	M_V	n
28	O Gem	61110	07 ^h 35 ^m 5	+34° 42'	4 ^m 90	F3 III	+1.3	3
29	36 Per	21770	03 27. 0	+47 49	5. 30	F4 III	+2.5	5
30	π Peg	210459	22 07. 4	+32 55	4. 36	F5 II-III	-0.2	4
31	ι Vir	124850	14 13. 2	-05 45	4. 08	F7 III-IV	+2.4	4
32	31 Com	111812	12 49. 1	+27 48	4. 95	G0 III	+1.1	5
33	ϵ Hyo	74874	08 44. 1	-06 45	3. 36	G0 III	+0.2	3
34	21 Peg	209459	22 00. 8	+11 08	5. 80	B9 IV	+0.3	2
35	19 And	222439	23 37. 5	+44 03	4. 13	A0 IV	+0.3	2
36	43 Peg	214994	22 39. 2	+29 02	4. 80	A1 IV-V	+1.0	3
37	π Dra	182564	19 20. 2	+65 37	4. 59	A2 IV	+1.0	3
38	60 Her	154494	17 03. 0	+12 48	4. 91	A3 IV	+1.3	2
39	δ Her	156164	17 12. 9	+24 53	3. 14	A3 IV	+0.6	3
40	γ Peg	220061	23 18. 1	+23 27	4. 60	A5 IV	+2.0	3
41	9 Lac	214454	22 35. 2	+51 17	4. 63	A7 IV-V	+1.5	5
42	δ Gem	56986	07 17. 1	+22 04	3. 52	F0 IV	+2.2	3
43	γ Cyg	202444	21 12. 4	+37 49	3. 74	F0 III-IV	+2.2	3
44	ϵ Cep	210336	22 13. 1	+56 47	4. 23	F0 IV	+2.3	6
45	ω And	8799	01 24. 4	+45 08	4. 83	F4 IV	+2.2	4
46	κ Peg	206901	21 42. 2	+25 24	4. 15	F5 IV	+1.3	3
47	α Tri	11443	01 50. 1	+29 20	3. 40	F6 III-IV	+2.1	4
48		5015	00 50. 0	+60 51	4. 79	F8 IV	+3.9	3
49	δ Boo	123999	14 08. 0	+25 19	4. 83	F8 IV	+2.8	3
50	γ And	222173	23 35. 4	+42 59	4. 28	B8 V	-0.4	4
51	λ Aql	177756	19 03. 4	-04 57	3. 44	B9 V	+0.5	2
52	27 Vul	196504	20 34. 5	+26 17	5. 52*	B9 V	0.0	4
53	29 Vul	196724	20 36. 2	+21 01	4. 82	B9.5 V	+0.2	2
54	γ Oph	161868	17 45. 2	+02 43	3. 72	A0 V	+1.2	2
55	39 Dra	170073	18 23. 1	+58 46	4. 98	A1 IV-V	+1.7	6
56	θ And	1280	00 14. 3	+38 24	4. 60	A2 V	+1.4	5
57	68 Tou	27962	04 22. 3	+17 48	4. 29	A2 III-V	+1.3	4
58	69 Her	156729	17 15. 6	+37 20	4. 66	A2 V	+0.7	8
59	111 Her	173880	18 44. 5	+18 07	4. 36	A3 V	+2.2	6
60	58 And	2552	02 05. 2	+37 37	4. 83	A4 V	+1.6	4
61	21 CVn	118232	13 32. 2	+49 16	4. 70	A4 V	+1.7	3
62	μ And	5448	00 53. 6	+38 13	3. 85	A5 III-V	+1.7	4
63	ι Cyg	184006	19 28. 3	+51 37	3. 79	A5 V	-0.2	6
64	θ Cas	6961	01 08. 0	+54 53	4. 33	A7 V	+0.1	7
65	7 And	219080	20 10. 1	+49 07	4. 52	F0 V	+2.9	4
66	77 UMa	113139	12 58. 3	+56 38	4. 94	F2 V	+2.6	3
67	σ Boo	128167	14 32. 3	+29 57	4. 46	F2 V	+3.4	7
68	θ Cyg	185390	19 35. 0	+50 38	4. 48	F4 V	+3.6	9
69	ω Dra	160922	17 37. 1	+68 46	4. 80	F5 V	+2.7	3
70	110 Her	173667	18 44. 5	+18 07	4. 20	F6 IV-V	+2.8	8
71	γ Boo	120136	13 44. 5	+17 42	4. 51	F7 IV-V	+3.5	3
72	36 UMa	90839	10 27. 2	+56 14	4. 82	F8 V	+4.3	3
73	χ Her	142373	15 50. 5	+42 35	4. 60	F9 V	+3.5	7
74	λ Ser	141004	15 44. 0	+07 30	4. 44	G0 V	+4.3	7

Таблица 2

№	A°	СИМВОЛЫ ХИМ. ЭЛЕМЕНТОВ
1	(3889.1 + 3835.4):2	H α + H γ
2	(4101.7 + 4340.5):2	H δ + H η
3	3933.7	Ca II K γ
4	(3998.0 + 4005.2)	Fe I + *Fe I
5	(4005.2 + 4033.1)	Fe I + Mn I
6	(4033.1 + 4045.8)	Mn I + Fe I
7	4063.6	Fe I
8	(4173.5 + 4177.7)	Fe II, Ti III + Fe I, Fe II
9	(4198.3 + 4202.0)	*Fe I + Fe II, *Fe I
10	4227-25	Ca I, Fe I
11	(4271.7 + 4290.9)	Fe I + Ti II, Ca I
12	4301-3	Fe II, Ti III
13	4307.9	Fe II, Ti III
14	4383.5	Fe I
15	(4400.4 + 4404.7)	Sc II + Fe I
16	(4435 + 4454.9)	*Ca I, *Fe I + Ca I, Zr II

Литература:

- Альбицкий и др., 1973 – Альбицкий В. А., Мельников О. А., в кн. "Курс астрофизики и звездной астрономии" т. I, 320, изд. "Наука", Москва.
- Бечварж, 1959 – Bečvář A., Atlas Coeli II, Katalog 1950,0, Praha.
- Бланко и др., 1968 – Blanco N. M., Demers S., Douglass G. G., Fitzgerald M. P., Publ. of the United States Naval Obs., v. XXI, Washington.
- Вильямс, 1936 – Williams E. G., ApJ 83, 279.
- Горбацкий В. Г., 1966, в кн. "Теория звездных спектров", 233, изд. "Наука", Москва.
- Ирайэрт и др., 1965 – Iriarte B., Johnson H. L., Mitchell R. I., Wisniewski W. K., Sky and Telescope, v. XXX, 1.
- Кинан, 1963 – Keenan P. C., in "Classification of Stellar Spectra", Editor by Strand K. A. "Basic astronomical data" . 91, Chicago.
- Копылов И. М., 1960, Изв. КрАО 22, 189.
- Копылов и др., 1963 – Копылов И. М., Белякина Т. С., Витриченко Э. А., Изв. КрАО, 29, 18.
- Михалас, 1968 – Mihalas D., in "Galactic Astronomy", San Francisco, London.
- Синнерстадт, 1961 – Sinnerstadt U., Stockholm Obs. An., Band 21, 6.
- Фенина З. Н., 1974, "Эквивалентные ширины линий поглощения в спектрах 25 звезд V класса светимости в интервале спектральных классов В9–G0", депонировано № 3270–74.
- Шлесингер и др., 1940 – Schlesinger F. and Jenkins L. F., Catalogue of Bright Stars., Yale University Observatory.
- Яшек и др., 1964 – Jaschek C., Conde H., Sierra A. C., Catalogue of Stellar Spectra Classified in the Morgan–Keenan System, La Plata.

Одесская астрономическая
обсерватория

*Поступила в редакцию
24 апреля 1975 г.*