

УДК 523.164

**С. Я. Брауде, А. П. Мирошниченко, С. Л. Рашковский,
К. М. Сидорчук, М. А. Сидорчук, Н. К. Шарыкин**Радиоастрономический институт Национальной академии наук Украины
61002, Харьков, Краснознаменная, 4**Декаметровый обзор дискретных источников
Северного неба. XIIIб. Спектры дискретных источников
для интервала склонений 30° — 40°**

Новые данные, полученные в результате декаметрового радиообзора Северного неба на радиотелескопе УТР-2 в диапазоне склонений 30° — 40° , совместно с данными высокочастотных радиообзоров были использованы для построения спектров 62 радиоисточников в диапазоне частот 12.6—50 000 МГц. Приведены графики и параметры спектров этих радиоисточников, а также их статистический анализ.

ДЕКАМЕТРОВИЙ ОГЛЯД ДИСКРЕТНИХ ДЖЕРЕЛ ПІВНІЧНОГО НЕБА. XIIIб. СПЕКТРИ ДИСКРЕТНИХ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ ІНТЕРВАЛУ СХИЛЕНЬ 30° — 40° , Брауде С. Я., Мірошніченко А. П., Рашковський С. Л., Сидорчук К. М., Сидорчук М. А., Шарикін М. К. — Нові дані, отримані з обробки декаметрового радіоогляду Північного неба на радіотелескопі УТР-2 у діапазоні схилень 30° — 40° , разом з даними високочастотних радіооглядів були використані для побудови спектрів 62 радіоджерел у діапазоні частот 12.6—50 000 МГц. Наведено графіки та параметри спектрів цих радіоджерел, а також проведено їхній статистичний аналіз.

DECAMETRIC SURVEY OF DISCRETE SOURCES IN THE NORTHERN SKY. XIIIb. SPECTRA OF DISCRETE SOURCES IN THE DECLINATION ZONE FROM $+30^\circ$ TO $+40^\circ$, by Braude S. Ya., Miroshnichenko A. P., Rashkovskii S. L., Sidorchuk K. M., Sidorchuk M. A., Sharykin N. K. — New data obtained in the course of the decametric survey of the Northern sky with the UTR-2 radiotelescope in the declination zone from $+30^\circ$ to $+40^\circ$ were used together with data from high-frequency radio surveys to construct spectra for 62 radio sources in the frequency range from 12.6 to 50000 MHz. Spectra plots and parameters for these radio sources are given together with statistical analysis.

1. ВВЕДЕНИЕ

Эта работа является продолжением серии опубликованных ранее статей (см. ссылки в [9]), посвященных низкочастотному обзору Северного неба,

проводимому на радиотелескопе УТР-2 в диапазоне частот 10—25 МГц. Ниже для обзора небесной сферы в интервале склонений 30° — 40° [6] приводятся данные по спектрам источников, дается их статистический анализ и, по возможности, для ряда источников проводится их оптическое отождествление.

Аналогичные исследования спектров выполнялись нами и ранее [9]. Однако благодаря существенно возросшим возможностям вычислительной техники для построения спектров стала возможной разработка усовершенствованного алгоритма определения типа спектра, обеспечивающая большую его достоверность. Так, определение типа спектра в новом алгоритме имеет более строгую математическую основу — в нем используется метод оценки гипотез, основанный на χ^2 -критерии. Применение этого метода потребовало увеличения количества экспериментальных точек, по которым строится спектр, до четырех и более. В предыдущей версии алгоритма для высокочастотной части спектра (ограниченной в основном диапазоном 178—1415 МГц) использовалось малое количество точек [9].

Использование этих, существенно более строгих, критериев отбора данных привело к уменьшению количества источников, для которых построены спектры, по сравнению с предыдущими публикациями, но это оправдывается увеличением достоверности полученных спектров.

Кроме того, в нашей работе дополнительно приведены параметры десяти относительно мощных источников, не вошедших в каталог [6] из-за ограничений динамического диапазона приемной аппаратуры. Также приводится список наших источников со скорректированными отождествлениями с источниками из каталога 4С [18].

Рассмотрены статистические свойства спектральных распределений радиоисточников с учетом их оптических отождествлений.

2. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ АНАЛИЗА СПЕКТРОВ

Для анализа спектр данного источника во всем доступном диапазоне частот аппроксимировался набором линейных (в масштабе $\lg S$ — $\lg f$, где S — плотность потока источника, f — частота) отрезков, параметры которых определялись методом наименьших квадратов. Первый отрезок аппроксимирует низкочастотный участок спектра по измерениям на УТР-2 (10—25 МГц). Если данные на частотах 26 и 38 МГц [23, 24] хорошо вписываются в прямую, построенную на основе измерений УТР-2, то эти точки также включаются в низкочастотный спектр. В свою очередь, высокочастотная часть спектра может аппроксимироваться одним или двумя отрезками прямых. Выбор между вариантами аппроксимации высокочастотного спектра также производился с использованием χ^2 -критерия.

Как и ранее, спектры источников классифицировались в зависимости от взаимного расположения низкочастотной и высокочастотной аппроксимиру-

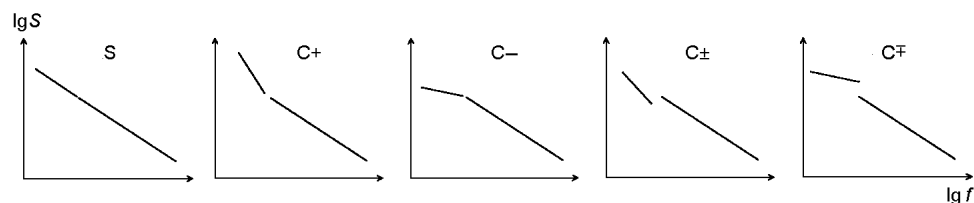


Рис. 1. Классификация спектров в зависимости от взаимного расположения низкочастотного и высокочастотного участков спектра

ющих прямых. Если высокочастотный спектр представлялся двумя прямыми, то для определения типа спектра использовался только низкочастотный отрезок. Варианты взаимного расположения высокочастотного и низкочастотного участков и обозначения для разных типов спектров подробно описаны в работе [7]. Тем не менее, для общности изложения на рис. 1 приведены возможные типы спектров.

Для определения типа спектра (а также при выборе варианта аппроксимации высокочастотного спектра) методом χ -квадрат проверялись две конкурентные гипотезы: гипотеза о линейном спектре на всех частотах (S -тип спектра) и гипотеза о спектре с изломом (все остальные типы).

Количественной мерой достоверности гипотезы о линейности участка спектра являлась статистика χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^{N-1} \left(\frac{S(f_i) - S_i}{\sigma_i} \right)^2, \quad (1)$$

где N — количество экспериментальных точек в спектре, S_i — значение потока для i -й точки, f_i — частота, σ_i — ошибка потока, $S(f_i)$ — аппроксимирующая прямая.

В случае гипотезы о спектре с изломом, результирующая величина χ^2 представлялась как сумма двух слагаемых:

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^{N_L-1} \left(\frac{S_L(f_i) - S_{Li}}{\sigma_{Li}} \right)^2 + \sum_{i=0}^{N_H-1} \left(\frac{S_H(f_i) - S_{Hi}}{\sigma_{Hi}} \right)^2, \quad (2)$$

где N_L и N_H — количество экспериментальных точек отдельно в низкочастотной и высокочастотной частях спектра соответственно, S_{Li} и S_{Hi} — значения потоков, σ_{Li} и σ_{Hi} — ошибки потоков.

Так как для каждого линейного аппроксимирующего отрезка имеется два свободных параметра, величины χ^2 распределены по закону χ -квадрат с количеством степеней свободы $k = N - 2$ для гипотезы о линейном спектре и $k = N - 4$ для гипотезы о спектре с изломом.

Исходя из закона распределения величины χ^2 для заданного количества степеней свободы вычисляется степень достоверности для каждой гипотезы. Согласно методу χ -квадрат, степенью достоверности является значение интегральной функции распределения $P(\chi^2)$ (см. [4]). В результате принимается та гипотеза, достоверность которой оказалась выше ($P(\chi^2)$ ниже), при условии, что ее $P(\chi^2)$ меньше некоторого порога. Для анализа гипотез мы пользуемся стандартным значением порога $P(\chi^2)$, равным 0.9.

При построении спектра сначала проверяется гипотеза о линейности его высокочастотной части. Если эта гипотеза не является правдоподобной ($P(\chi^2) > 0.9$), то проверяется гипотеза об изломе в высокочастотной части спектра. Для выбора частоты излома перебираются с некоторым малым шагом все частоты высокочастотного участка спектра, и для каждого варианта проверяется правдоподобие гипотезы. Если для всех значений частоты излома гипотеза об изломе не является правдоподобной, то происходит «линеаризация» высокочастотного спектра. При линеаризации спектра поочередно отбрасываются самые высокочастотные точки, и точки, которые не вписываются по критерию 3σ в линейную зависимость. Процедура останавливается, когда спектр становится линейным или количество экспериментальных точек не уменьшится до 4. Программа обработки построена так, что все стадии линеаризации контролируются оператором, который может по своему выбору корректировать ход процесса.

После того как высокочастотную часть спектра удалось аппроксимировать отрезками прямых, аналогичным образом проверяется гипотеза о линейности или изломе всего спектра (включая измерения на УТР-2). После проверки гипотез определяется тип спектра по правилам, описанным в работе [7].

Спектры для спутывающихся или блендированных* источников не строились.

3. ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ ИСТОЧНИКОВ И КОРРЕКЦИЯ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЙ

При составлении каталога УТР-2 [6] в связи с ограниченным динамическим диапазоном регистрирующей аппаратуры, в него не были включены 10 мощных источников в интервале склонений 30° — 40° . Для определения параметров этих объектов осенью и зимой 2000 г. были проведены дополнительные измерения на радиотелескопе УТР-2. Эти наблюдения проводились не в режиме обзора, как делалось для всех источников, а в режиме сканирования. При этом каждый источник за одну ночь наблюдений регистрировался в нескольких 40-мин сканах. Это дало возможность определить координаты и потоки наблюдаемых источников за меньший интервал времени. Соответствующие результаты представлены в табл. 1.

Таблица оформлена следующим образом. На каждый источник отводится несколько строк. Первая строка содержит галактический номер источника; IAU-имя источника для эпохи 2000 г.; средние по всем частотам наблюдений координаты α , δ для эпохи 2000 г. и их ошибки; средний поток S на частоте 16.7 МГц, восстановленный из аппроксимации спектра степенной зависимостью, и его ошибка; спектральный индекс S_p и его ошибка, признак W надежности источника (из трех классов надежности А, В и С первый соответствует наиболее качественным наблюдательным данным); имена источников из других каталогов, которые были отождествлены с данным источником радиообзора УТР-2.

Последующие строки содержат: частоту f наблюдений; количество N сеансов наблюдений, в которых источник был зарегистрирован; количество NRA часовых углов, на которых наблюдался источник.

В исследуемую полосу среди мощных источников попал источник 3С84, который привлекает большое внимание исследователей. Он является сейфертовской галактикой NGC 1275 со свойствами лацертида [21, 22] и отличается высокой переменностью как в радио-, так и в оптическом диапазонах. К сожалению, он блендируется с 3С83.1, и в табл. 1 приведен их суммарный поток.

В настоящей работе исправлены отдельные опечатки и замеченные неточности в каталоге [6] при отождествлении дециметровых источников с объектами из каталога 4С. Мы уточнили процедуру отождествления и теперь приводим не только ближайший по координатам 4С-источник, но и все спутывающиеся и блендирующие объекты из каталога 4С, попавшие в наш интервал отождествления 0.3° [6]. В табл. 2 приведены скорректированные радиоотождествления источников, опубликованных в каталоге [6]. Первая графа содержит имена источников из каталога УТР-2; вторая — уточненное отождествление с каталогом 4С. Здесь 4С-источники, разделенные запятыми, — вероятные спутывающиеся источники; на первом месте стоит источник, ближайший по координатам к соответствующему источнику

* Блендированные источники — близкие по угловому расстоянию объекты, одновременно попавшие в главный луч радиотелескопа.

Таблица 1. Параметры мощных источников, не вошедших в каталог радиоисточников УТР-2 [2] (интервал склонений 30°—40°)

Источник J	α			σ_α	δ	σ_δ	f	S	$\%S$	N	NRA	Sp	W	Другое имя	
	h	m	s	s	град		МГц	Ян	%						
GR0157+28	01 57 42	10	28.85	0.05	16.7	266	6								
	01 57 39	41	28.42	0.34	14.7	352	32	2	2			2.1±0.2	A	4C28.05(3C55)	
	01 58 41	21	28.98	0.13	16.7	252	19	5	5						
	01 57 34	17	28.84	0.07	20.0	194	16	11	5						
GR0319+41	01 57 23	12	28.87	0.05	25.0	113	14	12	5						
	03 19 56	7	41.36	0.02	16.7	1142	2					1.2±0.1	A	4C41.07(3C84)+ 4C41.06(3C83.1)	
	03 19 53	23	41.26	0.07	12.6	1596	12	11	7						
	03 20 21	22	41.32	0.06	14.7	1274	12	15	7						
	03 19 58	20	41.35	0.06	16.7	1201	12	16	7						
GR0418+37	03 19 46	13	41.40	0.04	20.0	924	12	15	7						
	03 19 42	8	41.43	0.03	25.0	700	13	18	7						
	04 18 41	11	37.79	0.04	16.7	492	7					1.4±0.2	A	4C37.12(3C111)	
	04 19 39	19	37.63	0.18	14.7	676	30	3	3						
	04 19 25	23	37.78	0.08	16.7	544	26	4	4						
GR0437+29	04 18 18	21	37.74	0.08	20.0	343	14	8	4						
	04 18 30	17	37.87	0.04	25.0	312	17	12	4						
	04 37 31	5	29.70	0.02	16.7	879	2					0.6±0.1	A	4C29.14(3C123)	
	04 37 42	10	29.62	0.07	14.7	842	11	5	5						
	04 37 40	15	29.71	0.06	16.7	861	13	10	10						
GR0504+37	04 37 17	9	29.67	0.03	20.0	769	12	11	11						
	04 37 24	7	29.72	0.04	25.0	760	12	20	13						
	05 04 59	18	37.99	0.05	16.7	539	4					0.9±0.1	A	4C38.15(3C134)	
	05 03 53	36	37.72	0.12	12.6	703	13	4	4						
	05 04 08	39	37.96	0.10	16.7	504	27	3	3						
GR0526+32	05 05 08	36	38.02	0.08	20.0	471	14	8	5						
	05 05 29	23	38.06	0.05	25.0	354	20	10	5						
	05 26 22	6	32.77	0.03	16.7	92	4					0.8±0.2	A	4C32.18(3C141)	
	05 26 02	5	32.77	0.10	16.7	84	11	4	4						
GR1001+28	05 26 18	11	32.73	0.04	20.0	84	12	13	8						
	05 26 27	9	32.79	0.04	25.0	69	12	18	8						
	10 01 50	6	28.74	0.02	16.7	210	3					0.7±0.1	A	4C29.35(3C234)	
	10 01 49	37	28.64	0.10	12.6	267	12	5	5						
	10 01 45	22	28.73	0.07	14.7	202	14	12	9						
GR1629+39	10 02 17	23	28.72	0.06	16.7	246	15	16	9						
	10 01 39	10	28.74	0.03	20.0	169	13	23	9						
	10 01 46	7	28.77	0.02	25.0	163	12	30	9						
	16 29 15	8	39.38	0.03	16.7	335	2					0.5±0.1	A	4C39.45(3C338)	
	16 29 33	24	39.36	0.11	14.7	398	11	9	9						
GR2156+37	16 29 10	24	39.28	0.08	16.7	338	13	10	9						
	16 29 17	16	39.37	0.04	20.0	322	12	22	9						
	16 29 13	14	39.47	0.03	25.0	263	11	25	9						
	21 56 00	8	37.99	0.02	16.7	370	5					1.7±0.2	A	4C37.63(3C438)	
	21 55 49	31	37.76	0.10	14.7	500	17	5	5						
GR2245+39	21 56 44	22	37.99	0.05	16.7	383	18	12	8						
	21 55 55	13	37.99	0.04	20.0	238	13	22	8						
	21 55 47	9	38.02	0.03	25.0	208	14	24	8						
	22 45 39	4	39.46	0.06	16.7	460	3					0.9±0.1	A	4C39.71(3C452)	
	22 45 38	10	39.63	0.11	14.7	509	12	3	3						
	22 45 47	16	39.70	0.07	16.7	469	11	4	4						
	22 45 33	7	39.31	0.10	20.0	388	11	11	8						
	22 45 44	6	39.52	0.08	25.0	316	11	10	8						

УТР-2; 4C-источники, разделенные знаком «+» — блендированные источники. Третья графа содержит отождествление [6].

Следует обратить внимание, что источники GR0606+41, GR0650+41, GR1445+41 [6], а также GR0319+41 (3C84+3C83.1) (см. табл. 1), попадающие на стык полос, есть и в каталоге для полоски 40°—50° [8]. Мы считаем,

Таблица 2. Скорректированные отождествления источников УТР-2 с каталогом 4С

Имя источника УТР-2	Исправленное отождествление	Прежнее отождествление
0012+32	4С32.01, 4С32.02	4С32.02
0124+32	4С32.06, 4С32.07	4С32.07
0220+39	4С39.07, 4С39.06	4С39.07
0225+37	4С36.04, 4С37.06	4С37.06
0232+28	4С28.06	4С28.07
0258+35	4С35.06, 4С34.09	4С35.06
0303+34	4С34.11, 4С34.12, 4С34.10	4С34.12
0313+31	4С31.10, 4С31.11	4С31.11
0345+33	4С34.15+ 4С33.08	4С34.15
0401+37	4С37.11, 4С38.12	4С38.12
0403+30	4С29.11, 4С29.12, 4С30.06	4С30.06
0409+35	4С35.07, 4С35.08	4С35.08
0421+39	4С39.14, 4С39.13	4С39.14
0444+33	4С33.10+4С33.11	4С33.11
0506+29	4С29.17+4С29.15	4С29.17
0538+28	4С28.16+4С29.19	4С29.19
0621+40	4С40.15, 4С40.16	4С40.16
0636+29	4С29.23	4С30.11
0638+31	4С31.24, 4С31.25	4С31.25
0655+35	4С35.14	4С35.15
0659+37	4С38.19+4С37.18	4С38.19
0721+31	4С31.27	4С31.28
0741+37	4С38.21+4С37.19	4С38.21
0747+39	4С39.20+4С39.19	4С39.20
0750+29	4С29.26, 4С29.27	4С29.27
0755+39	4С39.21+4С39.22	4С39.22
0756+37	4С37.21	4С38.22
0809+35	4С35.18	4С35.19
0811+38	4С38.23	4С38.24
0858+29	4С29.34, 4С29.33	4С29.34
0902+41	4С41.18, 4С41.19	4С41.19
0908+37	4С38.27, 4С38.26	4С38.27
0938+39	4С39.28	4С40.23
0955+32	4С32.32, 4С32.33	4С32.33
1014+39	4С39.30+4С39.29	4С39.30
1111+40	4С40.28	4С41.23
1126+32	4С32.37, 4С32.38	4С32.38
1130+33	4С33.28+4С33.27	4С33.28
1219+31	4С31.40	4С32.39
1254+37	4С37.35, 4С36.22	4С37.35
1258+38	4С38.34	4С38.35
1301+38	4С38.35	4С38.36
1323+37	4С37.38, 4С36.24	4С37.38
1327+30	4С30.26, 4С31.42	4С31.42
1448+37	—	4С37.41
1512+31	—	4С32.48
1514+33	—	4С33.35
1529+35	4С35.36, 4С35.37, 4С34.40	4С35.37
1549+34	4С33.37, 4С33.36	4С33.37
1609+39	4С39.43, 4С39.44	4С39.44
1737+31	4С31.48+4С31.49	4С31.49
1739+33	4С33.41, 4С33.42	4С33.42
1743+39	—	4С39.50
1754+39	4С39.51, 4С39.52	4С39.52
1809+40	4С40.36	4С41.37
1819+35	4С36.29, 4С35.43, 4С35.42, 4С36.31	4С36.31
1821+37	4С37.54+4С36.30	4С37.54
1833+32	4С32.55, 4С32.56	4С32.56
1845+34	—	4С35.45
1845+29	4С30.33, 4С29.57	4С30.33
2236+40	4С40.47, 4С40.46	4С40.47
2305+40	4С40.49, 4С40.48	4С40.49
2350+32	4С32.69+4С32.70	4С32.70

Таблица 3. Параметры спектров радиоисточников в диапазоне частот 12.6—5000 МГц

Имя источника	Радиоидентификация	Оптическое отождествление	Тип спектра	НЧ Спектральный индекс	ВЧ Спектральный индекс	$S_{16.7}$ Ян	Частота ВЧ-излома, МГц	Спектральный индекс после ВЧ-излома
GR0013+40	4C+40.01	QSO	C+	3.26±0.22	0.44±0.02	72±21		
GR0034+39	4C+39.01	GAL	S		0.83±0.00	82±11	1400	1.19±0.01
GR0041+33	4C+32.03	GAL	S		0.72±0.00	65±5	5000	1.16±0.03
GR0058+30	B2055+30	GAL	S		0.84±0.01	89±8		
GR0107+32	4C+32.05	GAL	S		0.67±0.00	139±6		
GR0128+29	4C+28.04	GAL	S		0.68±0.00	66±9	750	0.89±0.00
GR0137+30	4C+29.03		C+	1.78±0.12	0.52±0.03	74±5		
GR0144+34	4C+33.03	QSO	S		0.81±0.01	39±18		
GR0157+28	4C+28.05	GAL	S		0.94±0.00	266±6		
GR0207+29	4C+29.06	GAL	S		0.81±0.01	89±5		
GR0209+35	4C+35.03	GAL	S		0.66±0.00	42±4		
GR0220+35	B20218+35	GAL	C+	1.85±0.10	0.17±0.01	31±10		
GR0232+34	4C+34.08	QSO	S		0.82±0.00	114±5	1400	0.99±0.01
GR0251+39	4C+39.10	GAL	S		0.84±0.00	78±4		
GR0312+39	4C+39.11	GAL	S		0.83±0.00	83±4		
GR0418+37	4C+37.12	GAL	C+	1.37±0.25	0.53±0.02	515±7		
GR0437+29	4C+29.14	GAL	C-	0.39±0.04	0.67±0.01	879±2	750	0.84±0.00
GR0505+38	4C+38.15		S		0.86±0.01	539±4	750	1.23±0.03
GR0526+32	4C+32.18		C-	0.49±0.22	1.04±0.01	92±4		
GR0745+31	4C+31.30	QSO	C+	1.82±0.11	0.77±0.01	84±4		
GR0825+34	4C+34.28	GAL	C+	1.80±0.14	0.88±0.02	45±4		
GR0827+29	4C+29.29	GAL	S		0.81±0.00	80±3	750	0.91±0.01
GR0827+35	4C+35.20	QSO	C+	1.74±0.15	0.49±0.01	32±5	2695	0.15±0.02
GR0831+37	4C+37.24	QSO	C±	1.67±0.19	0.73±0.01	36±7		
GR0831+32	4C+32.25	GAL	S		0.74±0.00	66±3		
GR0848+31	4C+31.32	GAL	S		0.79±0.01	64±3		
GR0857+33	4C+34.30	GAL	S		0.71±0.01	51±4	408	0.94±0.01
GR0939+35	4C+36.16	GAL	S		0.77±0.00	104±3		
GR0941+39	4C+39.28	GAL	S		0.84±0.01	60±9	750	0.71±0.01
GR0949+40	4C+40.24	QSO	C+	1.95±0.19	0.15±0.02	32±23		
GR1001+28	4C+29.35	GAL	S		0.84±0.00	210±3	408	0.99±0.00
GR1006+34	4C+35.22	GAL	C+	1.66±0.07	0.58±0.00	74±3		
GR1113+40	4C+40.28	QSO	S		0.84±0.00	136±2	1400	1.15±0.01
GR1116+29	4C+29.41	GAL	S		0.74±0.00	61±4		
GR1134+30	4C+30.22	QSO	C+	1.99±0.20	0.62±0.01	84±6	1400	1.44±0.05
GR1145+31	4C+31.37	GAL	S		0.92±0.01	204±3	750	1.10±0.00
GR1200+31	4C+31.39	GAL	S		0.94±0.00	83±4		
GR1217+34	4C+35.28	QSO	C+	2.48±0.25	0.34±0.00	32±11		
GR1220+33	4C+33.29	QSO	S		0.68±0.00	72±3	750	0.77±0.00
GR1300+40	4C+40.32	QSO	C-	0.69±0.07	1.09±0.00	59±3		
GR1318+34	B21315+34A	QSO	C+	1.42±0.09	0.10±0.02	32±4		
GR1322+29	4C+29.48	QSO	C+	1.62±0.11	0.68±0.01	43±9		
GR1338+38	4C+39.39	GAL	S		0.71±0.00	88±3	1400	1.12±0.01
GR1351+31	4C+31.43	GAL	S		0.59±0.00	72±3	750	0.76±0.00
GR1403+38	4C+38.38	GAL	S		0.90±0.00	36±4		
GR1406+34	4C+34.38	GAL	S		1.02±0.00	116±3	1400	1.29±0.03
GR1514+36	4C+37.43	QSO	S		0.90±0.00	61±2	2695	0.46±0.03
GR1528+37	4C+37.44		S		0.73±0.00	23±8		
GR1601+34	4C+34.43	GAL	S		0.87±0.01	49±4		
GR1609+32	4C+33.39	GAL	S		0.82±0.00	66±5		
GR1616+34	4C+35.40	GAL	S		0.81±0.01	81±3		
GR1617+32	4C+32.51	GAL	S		0.71±0.00	57±11		
GR1629+39	4C+39.45	GAL	C-	0.52±0.04	1.15±0.01	335±2	750	1.56±0.01
GR1643+37	4C+37.49	GAL	S		0.92±0.00	84±3		
GR1705+38	4C+38.43		S		0.94±0.00	87±2		
GR1721+35	B21719+35	QSO	C+	1.12±0.14	0.13±0.01	38±13		
GR1723+34	4C+34.47	QSO	S		0.80±0.00	54±3	1410	0.46±0.00
GR1727+31	4C+31.47	GAL	S		0.70±0.00	54±4		
GR2155+37	4C+37.63	GAL	S		0.78±0.01	370±5	408	1.19±0.00
GR2231+39	4C+39.69	GAL	C-	0.16±0.17	0.68±0.01	37±17		
GR2245+39	4C+39.71	GAL	S		0.82±0.01	460±3	750	0.97±0.01
GR2327+40	4C+40.50	GAL	C±	2.49±0.25	0.70±0.00	60±6		

что более надежная и полная информация содержится в [6] и в настоящей работе.

4. АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ИСТОЧНИКОВ

В упомянутом выше обзоре дискретных радиоисточников на радиотелескопе УТР-2 для склонений от 30° до 40° [6] обнаружено 483 радиоисточника с плотностями потоков более 10 Ян для верхней частоты наблюдений 25 МГц. Все источники соответствуют объектам в высокочастотных радиокаталогах [12—19]. Данные для оптических отождествлений взяты из работ [5, 10, 11, 20—22]. С оптическими объектами удалось отождествить 255 источников (53 %), в том числе 91 квазар и 164 галактики (табл. 3).

С целью построения радиоспектров источников мы использовали данные измерений УТР-2 на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц [6] и соответствующие данные из радиокаталогов на высоких частотах [12—19]. В основном мы пользовались каталогом [17], в котором потоки источников уже приведены к единой шкале и есть отождествления с каталогом 4С [18], используемым нами в качестве базового для сопоставления декаметровых наблюдений с высокочастотными. Необходимо помнить, что в каталоге [17] приведены источники для $|b| > 10^\circ$, т. е. только внегалактические объекты. Остальные каталоги использовались для построения спектров 10 относительно мощных источников (табл. 1). Оказалось, что достаточное количество данных о плотностях потоков объектов на высоких частотах (не менее чем на 4 частотах от 80 МГц и выше), позволяющее построить надежные спектры и удовлетворяющие критериям п. 2, имеется только для 62 объектов. Эти спектры представлены на рис. 2; по оси абсцисс в логарифмическом масштабе отложена частота в мегагерцах, а по оси ординат — плотность потока в янских (также в логарифмическом масштабе). На графиках темными кружками отмечены низкочастотные точки УТР-2 и точки на 26 и 38 МГц, если они хорошо вписываются в декаметровый спектр, как отмечалось выше; квадратиками — точки из высокочастотных каталогов с соответствующими ошибками (вертикальные черточки). На графиках спектров приведены все высокочастотные точки, в том числе и «забракованные» алгоритмом, описанным в п. 2.

Для детального анализа статистических свойств радиоисточников использовалась выборка из наиболее надежных спектров объектов. Распределение спектральных индексов данной выборки спектров источников (рис. 3) в диапазоне частот в основном от 12.6 до 5000 МГц характеризуется средним спектральным индексом $\langle \alpha \rangle = 1.05 \pm 0.07$. При этом среднее значение плотности потока источников на частоте 16.7 МГц составляет $\langle S_{16.7} \rangle = 117.89 \pm 18.55$ Ян, а их среднее красное смещение $\langle z \rangle = 0.498 \pm 0.084$.

Отметим, что 66 % вышеупомянутых спектров (41 источник) являются линейными. Их средний спектральный индекс $\langle \alpha \rangle = 0.80 \pm 0.02$ (см. рис. 4), в том числе для галактик (количество объектов $n = 32$) $\langle \alpha \rangle = 0.80 \pm 0.02$ и для квазаров ($n = 6$) $\langle \alpha \rangle = 0.81 \pm 0.03$. Соответствующие средние красные смещения $\langle z \rangle$ имеют значения 0.308 ± 0.079 для галактик и 0.920 ± 0.230 для квазаров. Среднее значение плотности потока на частоте 16.7 МГц составляет для источников с линейным спектром 113.49 ± 16.79 Ян, в частности для галактик $\langle S_{16.7} \rangle = 112.25 \pm 17.64$ Ян и для квазаров $\langle S_{16.7} \rangle = 79.33 \pm 15.35$ Ян.

В то же время среди приведенных 62 спектров наблюдается около 26 % (16 объектов) спектров с укрупнением в декаметровом диапазоне (тип С+) и около 8 % (5 объектов) спектров типа С-, обнаруживающих уменьшение спектрального индекса в декаметровом диапазоне. В подвыборке источников

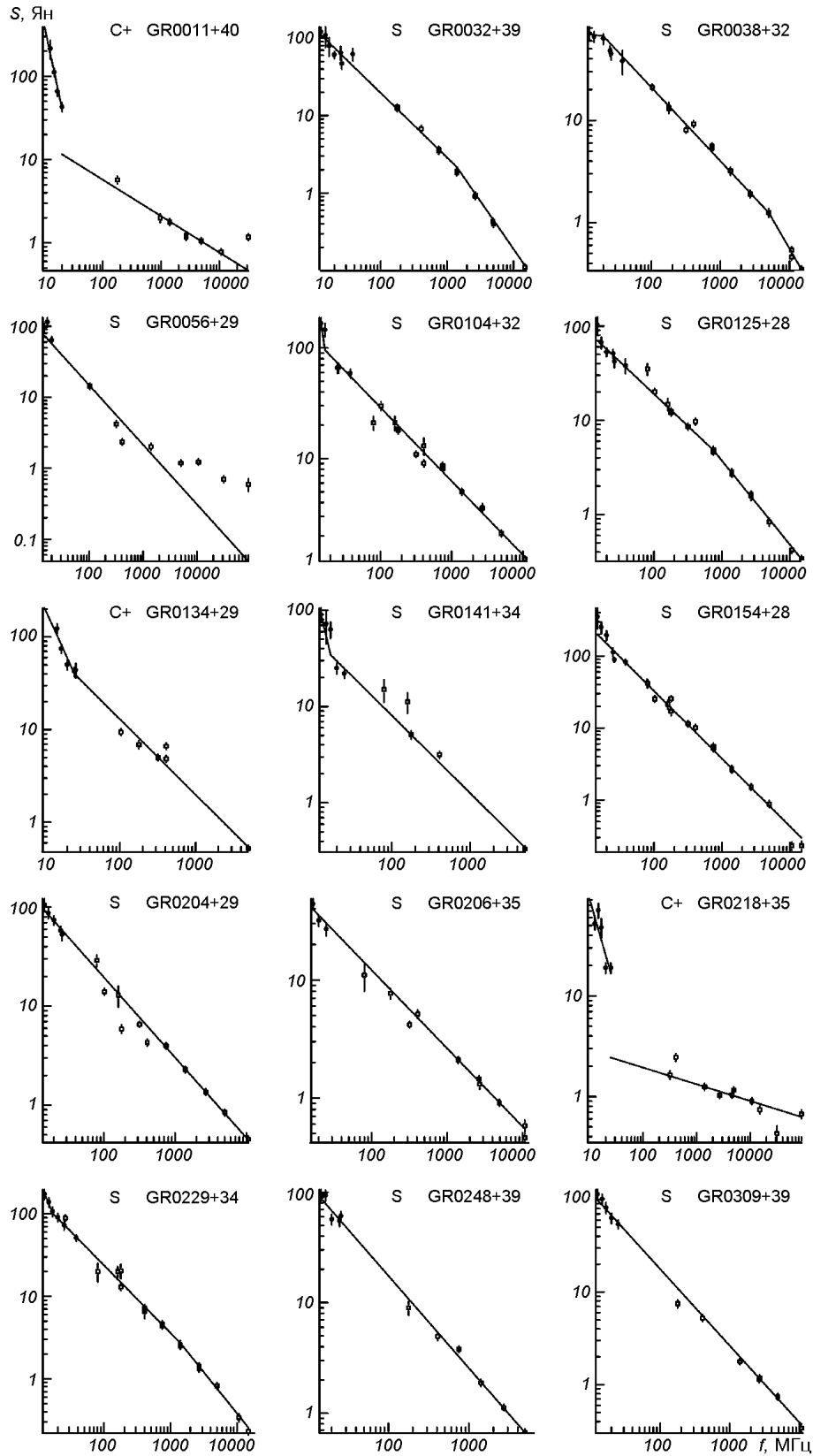


Рис. 2. Спектры источников

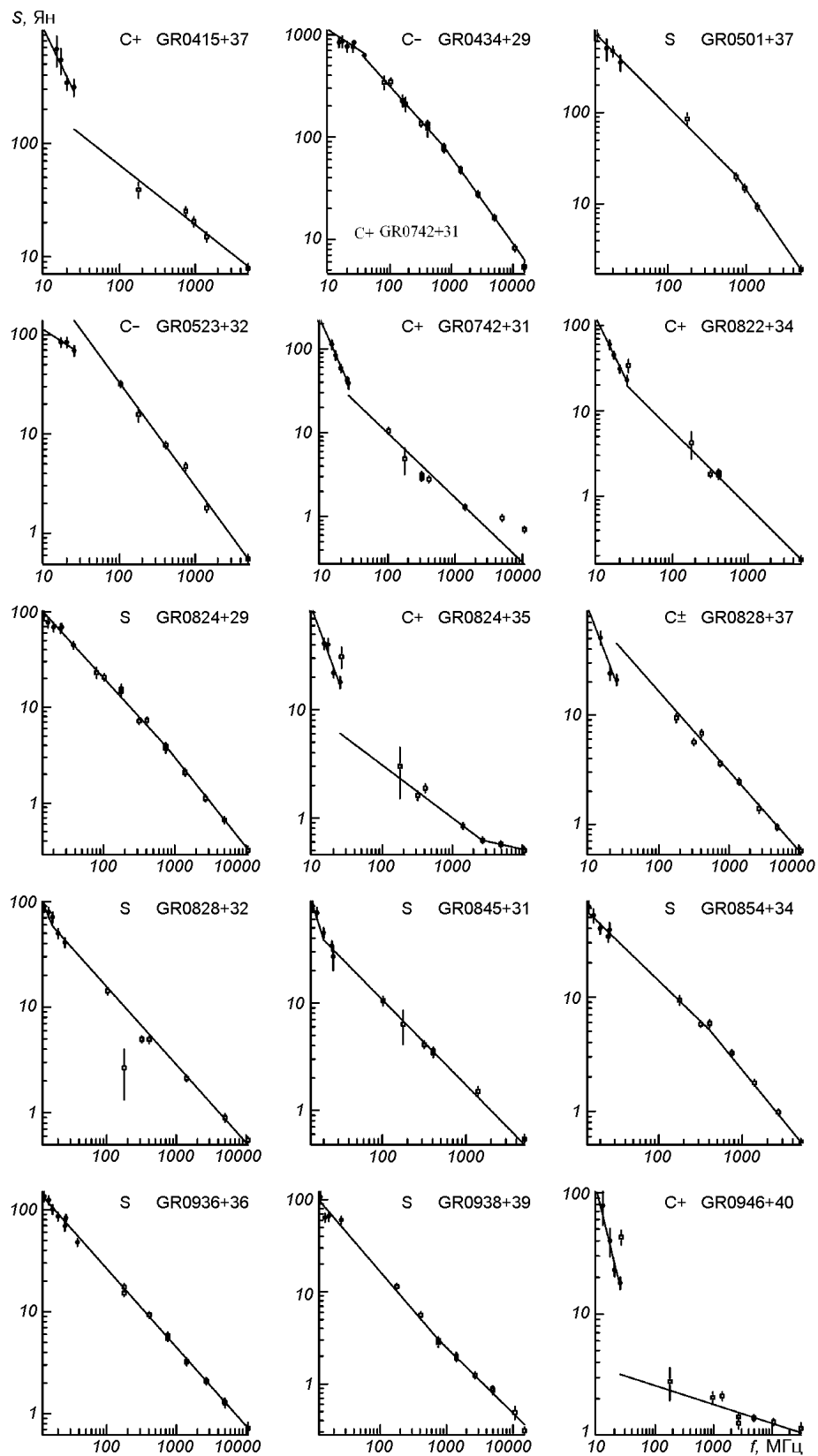


Рис. 2. (продолжение)

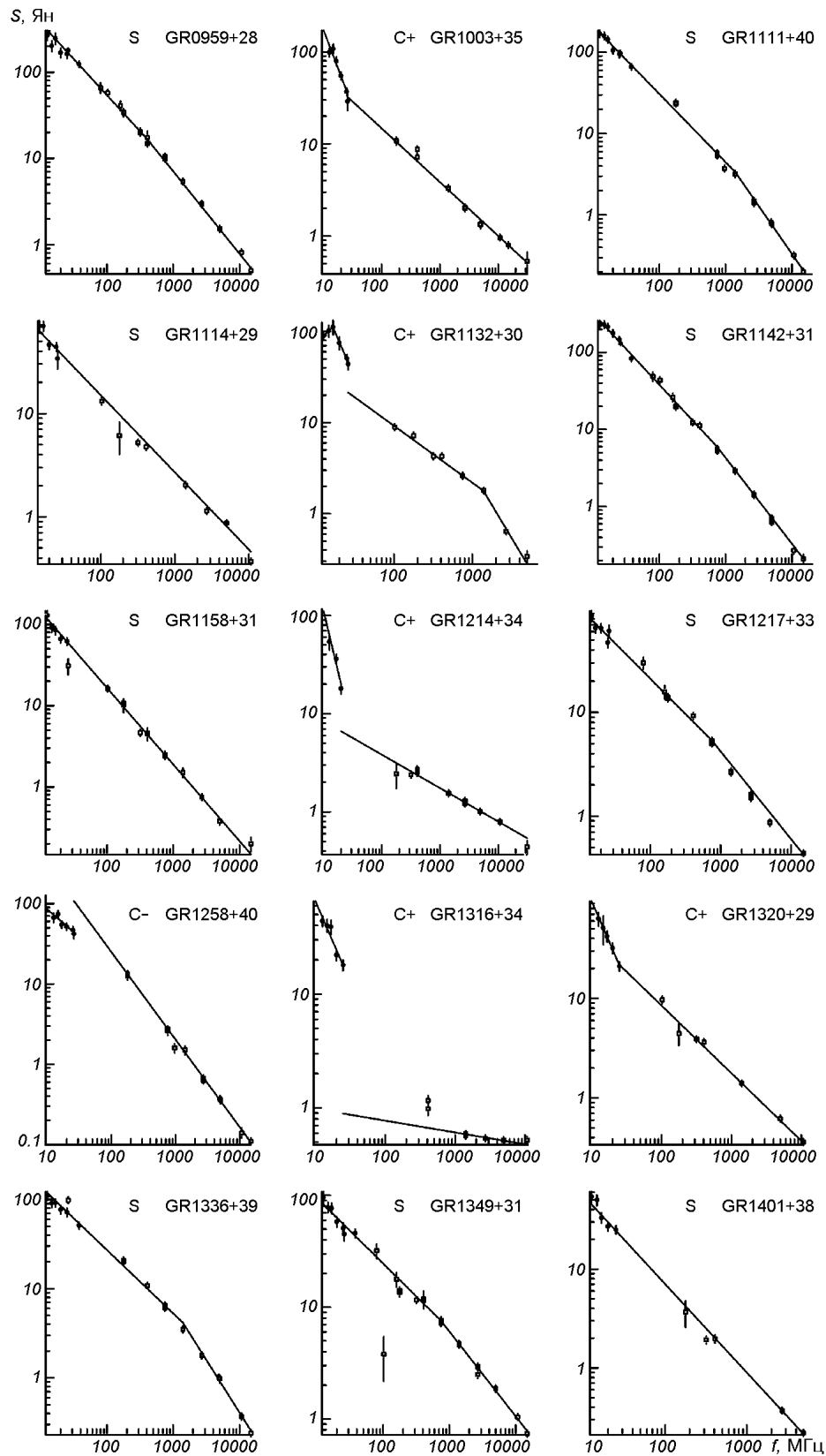


Рис. 2. (продолжение)

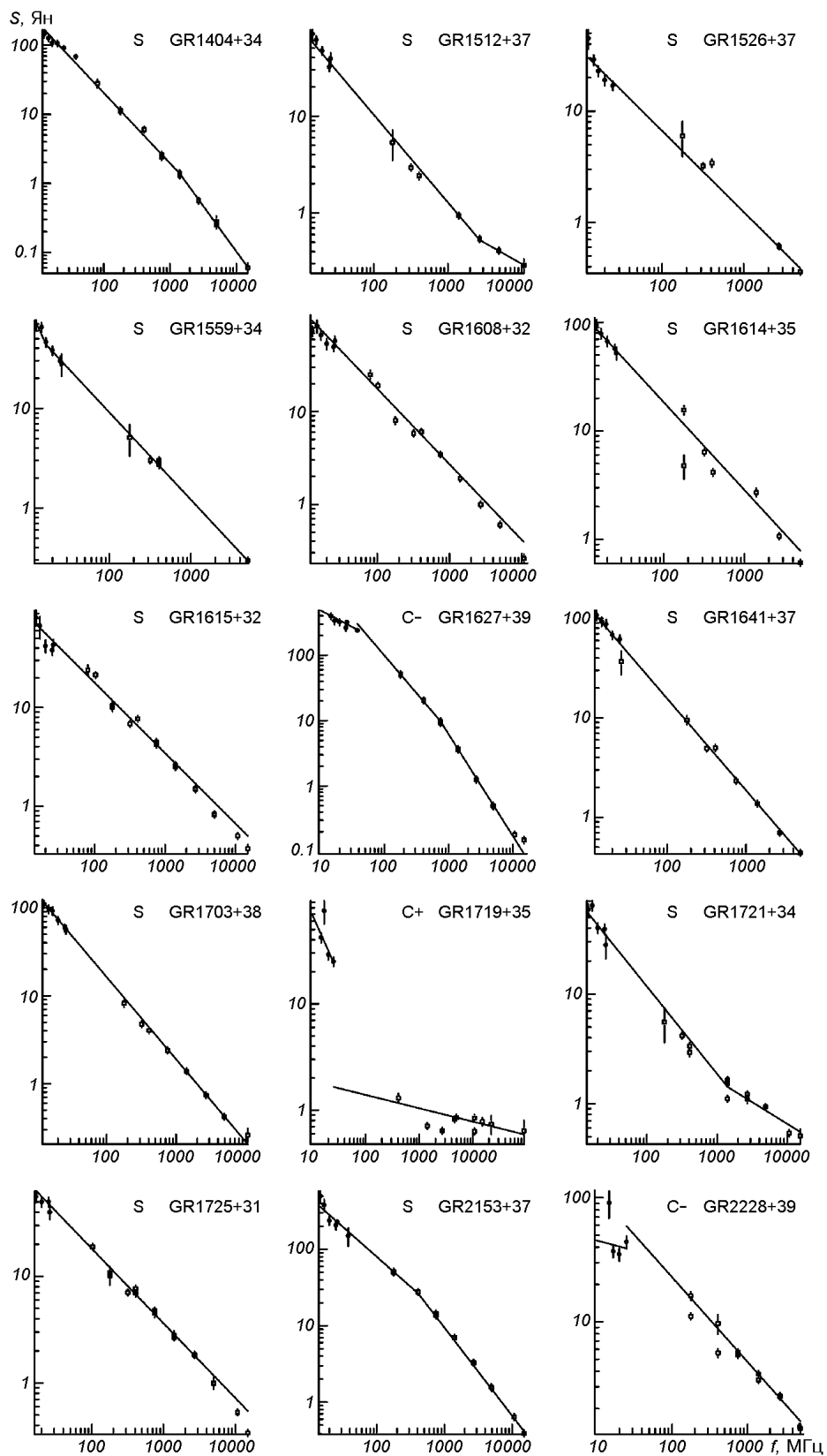


Рис. 2. (продолжение)

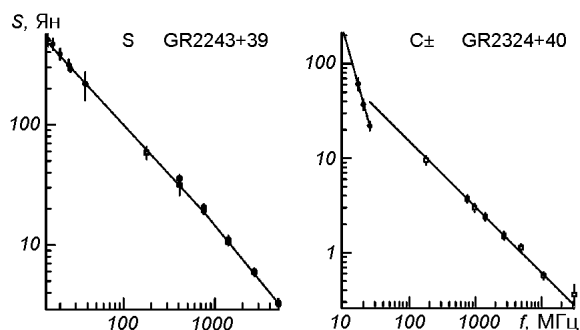


Рис. 2. (окончание)

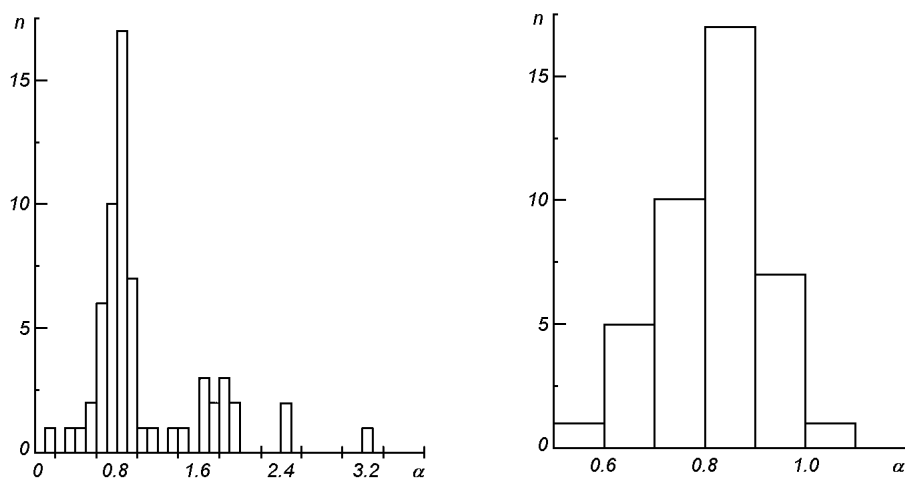


Рис. 3. Распределение спектральных индексов для 62 надежных источников

Рис. 4. Распределение спектральных индексов для надежных источников с линейными спектрами

со спектральным типом С+ среднее значение спектрального индекса на низких частотах составляет $\langle \alpha_{\text{low}} \rangle = 1.95 \pm 0.13$, а на высоких — $\langle \alpha_{\text{high}} \rangle = 0.51 \pm 0.07$. Для этих источников среднее значение плотности потока $\langle S_{16.7} \rangle = 80.06 \pm 29.23$ Ян и среднее красное смещение $\langle z \rangle = 0.772 \pm 0.232$, а оптические отождествления соответствуют 10 квазарам и 5 галактикам. В подвыборке источников спектрального типа С- соответствующие средние величины имеют значения $\langle \alpha_{\text{low}} \rangle = 0.45 \pm 0.09$, $\langle \alpha_{\text{high}} \rangle = 0.93 \pm 0.10$, $\langle S_{16.7} \rangle = 275 \pm 156.1$ Ян, $\langle z \rangle = 0.481 \pm 0.395$. Оптические отождествления объектов подвыборки С- представляют собой три галактики и один квазар.

Среди особенностей спектров «надежной» выборки можно отметить наличие не только низкочастотных (на частотах 16.7 МГц и 20 МГц), но и высокочастотных изломов (в основном вблизи частоты 1 ГГц) для 25 объектов, в том числе для 17 галактик и 8 квазаров. Практически все эти объекты имеют высокую радиосветимость ($> 10^{25}$ Вт/(Гц·стер)), т. е. являются мощными источниками типа FR II. Диапазон красных смещений z , соответствующий данным объектам, достаточно широкий — от 0.017 до 2.249.

Наличие указанных изломов в радиоспектрах согласуется в рамках общепринятого синхротронного механизма радиоизлучения источников. Как

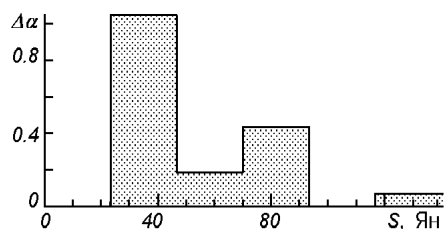


Рис. 5. Гистограмма распределения разности спектральных индексов низкочастотной и высокочастотной частей спектра источников по плотностям потоков на 16.7 МГц для 62 надежных источников

показал Н. С. Кардашев [2], в случае непродолжительной инъекции релятивистских электронов радиоспектр объекта эволюционирует со временем. Линейность спектра объекта будет нарушаться изломом при некоторой частоте ν_b , причем значение ν_b уменьшается со временем: $\nu_b \propto t^{-2}$.

Безусловно, получаемый вид радиоспектра зависит от физических условий в источнике и искажений, вносимых ионосферой. На рис. 5 приведена гистограмма распределения разности спектральных индексов источников по плотностям потоков на 16.7 МГц (по измерениям на УТР-2) для надежной выборки. По оси абсцисс отложена разность декаметрового и высокочастотного спектральных индексов источников. Из гистограммы видно, что в диапазоне потоков примерно от 20 до 40 Янских на 16.7 МГц попадает большое число источников с крутыми спектрами. Такой избыток слабых источников в нашем каталоге объясняется совместным действием двух эффектов — космологической эволюцией и влиянием ионосферы на результаты декаметровых измерений.

Ионосфера на декаметровых волнах вносит заметный вклад в количество регистрируемых слабых источников. В процессе регистрации ионосфера модулирует амплитуду принятого сигнала, причем с такими периодами, которые сравнимы со временем прохождения источником диаграммы направленности радиотелескопа. Так как обработка принятых сигналов сугубо нелинейна, то отсчеты слабее некоторого порога отбрасываются. То есть, завышенные отсчеты, которые попали на моменты ионосферного усиления сигнала, беспрепятственно проходят пороговую обработку. За счет такой селекции поток слабых источников, близких к порогу, завышается. (Порог на $f = 25$ МГц имеет величину около 5 Ян, но при высоких уровнях мерцаний будут искажены данные по источникам с потоком, в несколько раз превышающим порог.) Аналогичные эффекты селекции наблюдаются и на высоких частотах за счет влияния аддитивных шумов. Но ионосферные мерцания на декаметровых волнах имеют существенно отличающийся закон распределения. Они сказываются в большем диапазоне потоков и имеют большую частотную зависимость.

За счет ионосферы имеют место два основных эффекта — увеличение числа слабых источников в классической зависимости $N(S)$ (N — число источников, S — их поток) и, так как ионосфера сильнее модулирует именно низкочастотные сигналы, то происходит укрупнение спектров на самых низких частотах. Попытки качественной оценки этих эффектов делались в работе [1]. Однако более строго эти эффекты планируется вскоре подробно рассмотреть в следующих работах.

Из концепции же синхротронного механизма радиоизлучения галактик и квазаров следует, что за радиоизлучение в декаметровом диапазоне ответственны периферийные компоненты источников — радиолепестки, спектральные индексы которых заметно выше, чем у центральных компонентов [3]. Поскольку время высвечивания релятивистских электронов на низких частотах очень велико ($\sim 10^8 \div 10^9$ лет), функция распределения

электронов по энергиям может существенно измениться за период жизни радиоисточника. Спектр релятивистских электронов со временем укрупняется, так как существенно увеличивается количество электронов относительно низких энергий, обеспечивающих синхротронное радиоизлучение именно в декаметровом диапазоне.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из анализа спектров источников, вошедших в обзор УТР-2 в полосе склонений 30° — 40° , следует, что большинство спектров в декаметровом диапазоне, как и на более высоких частотах, являются линейными. Однако, спектры на декаметровых волнах, как правило, круче, чем на высоких частотах.

Статистические свойства декаметровых каталогов могут быть заметно искажены влиянием ионосферы, особенно для слабых объектов.

Авторы выражают благодарность А. А. Коноваленко за постоянный интерес к работе.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта INTAS97-1964.

1. Брауде С. Я., Жук И. Н., Рябов Б. П., Шарыкин Н. К. Низкочастотная шкала абсолютных потоков дискретных радиоисточников. — Харьков, 1976.—30 с.—(Препринт / АН УССР, Ин-т радиоэлектроники; № 62).
2. Кардашев Н. С. Нестационарность спектров молодых источников нетеплового космического радиоизлучения // Астрон. журн.—1962.—39.—С. 393—409.
3. Пахольчик А. Радиогалактики: Пер. с англ. Р. Д. Дагкесаманского. — М.: Мир, 1980.—239 с.
4. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. — М.: Мир, 1973.—957 с.
5. Bozyan E. Optical identification, radio galaxy environment, and statistical properties for a homogeneous sample of 3196 radio sources from the Texas survey // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1992.—82.—P. 1—92.
6. Braude S. Ya., Rashkovsky S. L., Sidorchuk K. M., et al. Decametric survey of discrete sources in the Northern sky. XIIIa. The catalogue of sources in declination range $+30^\circ$ to $+40^\circ$ // *Astrophys. and Space Sci.*—2002.—280.—P. 235—299.
7. Braude S. Ya., Ryabov B. P., Sharykin N. K., Zhouck I. N. Decametric survey of discrete sources in the Northern sky. III. Low-frequency absolute flux scale of discrete radio sources // *Astrophys. and Space Sci.*—1978.—54.—P. 129—143.
8. Braude S. Ya., Sokolov K. P., Zakharenko S. M. Decametric survey of discrete sources in the Northern sky. XII: The results of the UTR-2 very low-frequency sky survey in the declination range 41° to 52° // *Astrophys. and Space Sci.*—1994.—213, N 1.—P. 1—61.
9. Braude S. Ya., Sokolov K. P., Sharykin N. K., Zakharenko S. M. Decametric survey of discrete sources in the northern sky. XII. Spectra of some radio sources in the frequency range 12.6 to 1400 MHz for declinations 41° to 52° // *Astrophys. and Space Sci.*—1995.—226.—P. 245—271.
10. Burbidge G., Crowne A. An optical catalog of radio galaxies // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1979.—40.—P. 583—655.
11. Chambers R., Miley G., van Breugel W., et al. Ultra-steep-spectrum radio sources II // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1996.—106.—P. 247—279.
12. Dixon R. A master list of radio sources // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1970.—20, N 1.—P. 1—503.
13. Dixon R., Kraus J. A high-sensitivity 1415 MHz survey at north declinations between 19° and 37° // *Astron. J.*—1968.—73.—P. 381—407.
14. Gregory P., Condon J. The 87GB catalog of radio sources covering 0 to $+75^\circ$ deg. at 4.85 GHz // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1991.—75.—P. 1011—1291.
15. Hales S., Baldwin J., Warner P. The 6C survey of radio sources-II // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1988.—234.—P. 919—936.
16. Hales S., Baldwin J., Warner P. The 6C survey of radio sources-VI // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1993.—263, N 1.—P. 25—30.
17. Kuhr H., Nauber U., Pauliny-Toth I., Witzel A. A catalogue of radio sources. — Bonn, Max-Planck-Institute für Radioastronomie, 1981.—337 p.—(Preprint N 55).

18. *Pilkington J., Scott P.* A survey of radio sources between declinations 20° and 40° // *Mem. Roy. Astron. Soc.*—1965.—69.—P. 183—224.
19. *Scheer D., Kraus J.* A high-sensitivity survey of the northern galactic polar region at 1415 MHz // *Astron. J.*—1967.—72.—P. 536—543.
20. *Valentiyn E., Bijleveld W.* The trivariate (radio, optical, X-ray) luminosity function of cD galaxies. II. — 1983.—56 p.—(ESO preprint N 256).
21. *Veron-Cetti M.-P., Veron P.* A catalogue of extragalactic radio source identifications // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1983.—53.—P. 219—221.
22. *Veron-Cetti M.-P., Veron P.* A catalogue of quasars and active nuclei (5th edition) // *ESO scientific report.*—1991.—N 10.—199 p.
23. *Viner M. R., Erickson W. C.* 26.3 MHz radio source survey. II // *Astron. J.*—1975.—80.—P. 931—987.
24. *Williams P., Kenderdine S., Baldwin J.* A survey of radio sources and background radiation at 38 MHz // *Mem. Roy. Astron. Soc.*—1966.—70.—P. 53—110.

Поступила в редакцию 09.06.03