

УДК 524:520.27-355

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СПЕКТРОВ РАДИОИСТОЧНИКОВ КАТАЛОГА RCR

© 2018 О. П. Желенкова^{1,2*}, Е. К. Майорова¹¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101 Россия

Поступила в редакцию 24 августа 2017 года; принята в печать 14 марта 2018 года

Выполнено определение характеристик источников, обнаруженных на осредненных сканах обзоров 1980–1999 гг. эксперимента «Холод» в интервале прямых восхождений $2^{\text{h}} < \text{RA} < 7^{\text{h}}$. Тем самым завершено уточнение параметров источников каталога RC (RATAN Cold) для этого интервала. На настоящий момент каталог RCR (RATAN Cold Refined) покрывает диапазон прямых восхождений $2^{\text{h}} < \text{RA} < 17^{\text{h}}$ и включает 830 источников. Для них построены спектры с привлечением новых данных диапазона 70–230 МГц. Рассмотрена зависимость между спектральными индексами $\alpha_{0.5}$, $\alpha_{3.94}$ и интегральной плотностью потока на частотах 74 и 150 МГц, на 1.4, 3.94 и 4.85 ГГц. Обнаружено, что на 150 МГц у большинства источников с ростом плотности потока спектральный индекс $\alpha_{0.5}$ становится круче. В целом источники с плоскими спектрами слабее по плотности потока, чем источники с крутыми спектрами, что особенно различается на 150 МГц. Полагаем, что это связано с яркостью их протяженных компонентов, которая может обуславливаться типом аккреции, окружением источника.

Ключевые слова: *радиоконтинуум: общее — каталоги*

1. ВВЕДЕНИЕ

На радиотелескопе РАТАН-600 в эксперименте «Холод» [1–3] с 1980 по 2000 гг. было проведено несколько обзоров полосы неба на склонении микроквара SS 433 ($\text{Dec}_{2000} = 4^{\circ}59' \pm 20'$). По наблюдениям 1980–1981 гг. опубликован каталог радиоисточников RC (RATAN Cold) [4, 5], который включает 1209 объектов с плотностью потока выше 5 мЯн, обнаруженных на частоте 3.94 ГГц. При таких плотностях потока практически все источники, найденные в эксперименте «Холод», являются галактиками с активными ядрами (AGN, Active Galaxy Nucleus) и мощными источниками в радиодиапазоне [6].

В AGN синхротронное излучение в радиодиапазоне производится ультрарелятивистскими частицами в магнитном поле. Высокоэнергичные космические частицы ускоряются в джете, который транспортирует их от активного ядра до области ударного воздействия, называемой горячим пятном [7]. Затем пучок космических лучей расширяется от центра ударной области, образуя протяженные компоненты радиоизлучения [8].

Синхротронное излучение во всех процессах, происходящих в разных структурах радиоисточника, обычно описывается степенной функцией

$F(\nu) \propto \nu^{\alpha}$, где $F(\nu)$ — плотность потока на частоте ν . Однако внутренние изменения в распределении энергии космических лучей, окружение источника, процессы, происходящие в межзвездной среде, спектральное «старение» [9], вызванное более быстрым высвечиванием высокоэнергичных частиц, а также относительная яркость различных компонентов — ядра, струй, горячих пятен и протяженных компонентов, — играют важную роль в формировании его интегрального радиоспектра [10]. Важным вопросом в понимании формирования радиоспектра является оценка вклада физических компонентов источника в общее излучение в разных частотных диапазонах и для различных порядков радиосветимости.

Многочастотные исследования спектральных характеристик источников обзоров «Холод» проводились неоднократно, начиная собственно с публикации каталога RC [4, 5] в 1991–1993 гг., затем в работах 1989–1996 гг. Бурсова и др. [11–13] и в 2001–2006 гг. Соболевой и др. [14, 15]. Спектры источников уточненного каталога RC, или RCR (RATAN Cold Refined) [16], для интервала прямых восхождений $7^{\text{h}} < \text{RA} < 17^{\text{h}}$ также исследовались с привлечением обзора VLSSr [17, 18], включая и оценки плотностей потока по картам обзоров VLSSr и GB6 [19].

*E-mail: zhe@sao.ru

С появлением новых обзоров в низкочастотной области спектра в диапазоне 72–231 МГц GLEAM [20] и TGSS [21] с порогом обнаружения 50 мЯн и угловым разрешением от 25'' появилась возможность уточнить спектры RCR-источников, особенно для той половины объектов каталога, у которых данные по потоку были известны только на двух частотах — 1.4 и 3.94 ГГц. Для интервала $2^{\text{h}} < \text{RA} < 7^{\text{h}}$ это уже было произведено в работе Желенковой и др. [22]. Здесь эту работу мы провели для всего интервала прямых восхождений $7^{\text{h}} < \text{RA} < 17^{\text{h}}$.

2. КАТАЛОГ RCR: ИСТОЧНИКИ В ИНТЕРВАЛЕ $2^{\text{h}} < \text{RA} < 7^{\text{h}}$ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 7.6 см

В работе Соболевой и др. [16], где опубликован каталог RCR (RATAN Cold Refined), включающий источники из интервала $07^{\text{h}} < \text{RA} < 17^{\text{h}}$, приводятся характеристики объектов, которые обнаружены на сканах при обработке их двумя способами, которые различаются тем, как определяется фон неба на осредненных сканах. Проведение фона неба, как это выполняется в пакете *fgr* [23], использовавшемся при обработке, состоит в итерационном приближении к некоторой кривой фона за счет свертки с весовой функцией. Варьируя размер окна вычисления фона, количество итераций и уровень, мы можем изменять вид вычисляемой кривой. В качестве весовой функции использовался прямоугольник, т.е. производилось скользящее осреднение. В первом способе обработки фон определялся при свертке с окном в 80° , во втором случае — с окном 20° .

Использование двух разных способов учета фона неба, как оказалось, позволяет получить более точные результаты при определении прямого восхождения и плотности потока источников. Это целесообразно и для более полного обнаружения источников. Так, три четверти источников были выделены на записях при использовании обоих методов, и четвертая часть источников была обнаружена на сканах при первом или втором способе аппроксимации фона неба.

Результаты обработки для интервала прямых восхождений $02^{\text{h}} < \text{RA} < 07^{\text{h}}$, где фон неба «сглажен» окном 20° , опубликованы в работе Желенковой и др. [22]. Здесь же мы приводим прямые восхождения, интегральные плотности потока и соответствующие ошибки определения этих величин для списка источников, обнаруженных на сканах, «сглаженных» окном 80° , тем самым завершая уточнение параметров объектов каталога RC для этого интервала прямых восхождений.

При обработке данных наблюдений на длине волны 7.6 см использовались стандартные методы редукции. Подробно методика обработки описана в работе Соболевой и др. [16]. Была произведена свертка осредненных сканов с расчетной диаграммой направленности (ДН) в ее центральном сечении. Перед выделением объектов был проведен фон с окном 80° . Далее источники на сканах выделялись с помощью гаусс-анализа. Привязки по времени осуществлялись по сильным источникам обзора NVSS [24]. Для каждого выделенного радиоисточника определялись его положение на скане RA, антенная температура T_a и полуширина гауссианы *HPBW*. Интегральная плотность потока F вычислялась по формуле: $F = k_{\text{eff}} \times k_i \times T_a / k_{\text{DN}}$, где k_{eff} — коэффициент, учитывающий эффективную площадь антенны, k_i — корректирующий коэффициент, учитывающий различие калибровок и небольшое отличие эффективной площади антенны в циклах наблюдений, i — номер цикла, k_{DN} — диаграммный коэффициент, показывающий на сколько ослабляется отклик от источника при удалении его от центрального сечения ДН. Коэффициент k_i определялся по источникам с хорошо известными спектрами, его величина лежала в диапазоне 1.1–1.5 в зависимости от года наблюдений. Значение k_{eff} равнялось 3.5. Диаграммный коэффициент k_{DN} рассчитывался для каждого радиоисточника с учетом поперечного выноса первичного облучателя вдоль фокальной линии вторичного зеркала и расстояния радиоисточника по вертикали до центрального сечения по алгоритмам, представленным в работе Майоровой [25].

После определения плотностей потоков и прямых восхождений объектов в каждом цикле наблюдений вычислялись средние по всем циклам значения F и RA с соответствующими погрешностями.

2.1. Список радионисточников

В работе Соболевой и др. [16] была опубликована сводка по источникам в интервале $07^{\text{h}} < \text{RA} < 17^{\text{h}}$ и приведены характеристики объектов, обнаруженных на сканах, где фон неба «сглажен» как окном 80° , так и 20° . Это различие в обработке данных названо первым и вторым методами соответственно. В настоящей работе мы будем придерживаться формата таблицы в работе [16] и к уже опубликованным характеристикам источников [22], которые обнаружены на сканах, «сглаженных» окном 20° , добавим параметры источников, которые выделены на сканах, где фон определялся с применением фильтра с окном 80° .

Источники, обнаруженные как первым, так и вторым методами в интервале $2^{\text{h}} < \text{RA} < 7^{\text{h}}$,

представлены в Таблице 1, где в столбце (1) приводится имя источника, составленное из координат источника RA_{2000} и Dec_{2000} по каталогу NVSS [24]. В столбцах (2) и (3) — разности прямых восхождений объектов ΔRA_1 и ΔRA_2 с погрешностями: $\Delta RA_1 = RA_{NVSS} - RA_1$, $\Delta RA_2 = RA_{NVSS} - RA_2$, где RA_{NVSS} — прямое восхождение источника по каталогу NVSS; RA_1 , F_1 , RA_2 и F_2 — соответственно прямые восхождения и плотности потоков, полученные при обработке данных наблюдений Е. К. Майоровой первым способом и Н. С. Соболевой и А. В. Темировой вторым способом (см. Таблицу 1 в работе [22]). В столбцах (4) и (5) — плотности потоков источников F_1 и F_2 в мЯн с погрешностями (как среднее по всем циклам наблюдений). В столбцах (6) и (7) приведены величины спектральных индексов $\alpha_{3.94}$ и $\alpha_{0.5}$ ($F_\nu \propto \nu^\alpha$), которые определены на частотах 3.94 и 0.5 ГГц соответственно. Последняя частота была выбрана по аналогии с работой Майли и Де Бройка [26]. Для источников со сложными спектрами, отмеченных символом «h» в колонке (10) с комментариями к радиоспектрам, спектральный индекс $\alpha_{0.5}$ определялся по спектру, построенному по данным до 1 ГГц, а $\alpha_{3.94}$ — от 1 ГГц и выше. В столбце (8) «Mrph» приведены комментарии, касающиеся морфологии источников, определенной по картам обзоров NVSS и TGSS, а также особенностей регистрации источников диаграммной направленности (ДН) радиотелескопа:

d, m — источник с двумя и более NVSS-компонентами соответственно;

b — бленда, т.е. два или больше источников регистрируются как один из-за формы и размера ДН телескопа;

R — блендированный источник, который можно разделить программными средствами.

В столбце (9) «Flx» приведены комментарии к особенностям измерений плотности потока, основанные на калибровочной величине

$$R = (F_{\max} - F_{\min}) / \sqrt{err_{\max}^2 + err_{\min}^2} > 3:$$

V — переменный по сведениям из литературы радиосисточник или (v) заподозрен в переменности [27];

F — плотность потока источника в обзоре FIRST выше, чем в NVSS, что является признаком возможной переменности;

B — имеется существенный ($R > 3$) разброс в величинах плотности потока на частотах 3.94–5 ГГц по данным каталогов;

E, e — оценки плотности потока источника по картам обзора GB6 ярче ($R > 3$) или, соответственно, слабее, чем следует, из сравнения расчетной плотности потока и измерений на частоте 3.94 ГГц;

s (scattered) — большой разброс данных по плотности потока на разных частотах;

— данные о плотности потока имеются только на частотах 1.4 и 3.94 ГГц;

1 — обнаружение только в одном цикле обзоров «Холод.»

В столбце (10) «Sp.» отмечены типы и особенности радиоспектров:

l — спектр, где зависимость плотности потока F от частоты ν выражается степенной функцией ($F \propto \nu^\alpha$) и в логарифмическом масштабе аппроксимируется прямой линией (S-спектр);

«+» и «-» — спектр на высоких частотах становится более плоским (C^+) или более крутым (C^-) соответственно;

h (hill) — спектр образован наложением степенного спектра на спектр с самопоглощением на частотах от 0.1 до 12 ГГц;

g, p — спектр с максимумом в диапазоне ГГц или МГц соответственно;

G — известный по публикациям источник GPS (GigaHertz Peak Spectrum);

u (upturn) — в спектре наблюдается минимум, а затем рост на частотах выше 5 ГГц.

Таблица 1. Каталог радиосисточников на волне 7.6 см в интервале прямых восхождений $2^h < RA < 7^h$

RA_{2000} Dec_{2000} NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
020421.77+050130.3	-0.09 ± 0.65		10.6 ± 2.0		0.65	-0.44		#	+u
020638.77+044807.2	0.03 ± 0.76	3.10	37.0 ± 4.0	43.8	-0.73	-0.73			l
020651.70+044828.6		2.07 ± 1.76		31.5 ± 6.0	-0.20	-0.06		E	-

Таблица 1. (Продолжение)

RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀ NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
020704.61+050110.4	-0.02 \pm 0.25	0.16 \pm 0.27	10.2 \pm 2.0	10.0 \pm 2.0	-1.30	-0.61			-
020801.88+050033.3	0.05 \pm 0.30	0.20 \pm 0.36	8.2 \pm 2.0	18.3 \pm 7.5	-0.15	0.08		#	-
020912.54+050051.7	-0.21 \pm 0.20	0.24 \pm 0.11	30.8 \pm 2.1	32.3 \pm 2.3	-1.14	-0.84			-
020921.70+050142.7	0.10 \pm 0.35	0.13 \pm 0.13	15.1 \pm 3.0	17.4 \pm 3.0	-0.98	-0.83			-
020931.16+045535.0	-0.13 \pm 0.31	0.98 \pm 0.46	16.6 \pm 2.1	16.1 \pm 2.0	-0.78	-0.78			l
021336.47+051819.2		2.92		134.2 \pm 3.0	-0.86	-0.86			l
021449.84+050409.7	-0.06 \pm 0.35	0.42 \pm 0.30	26.7 \pm 2.7	31.6 \pm 3.0	-0.72	-0.72			l
021906.86+050354.1	0.72 \pm 0.25	0.71 \pm 0.33	20.2 \pm 2.1	14.5 \pm 1.5	-0.39	-0.48			+
022019.20+045226.1		2.13 \pm 1.05		32.3 \pm 3.5	-0.36	-0.69	bR	F	h
022032.66+050243.6	-0.06 \pm 0.28	0.29 \pm 0.14	52.5 \pm 3.7	60.7 \pm 4.0	-0.94	-0.72			-
022046.45+050439.2	0.04 \pm 1.00	0.59 \pm 0.30		151.0 \pm 62.0	-0.83	-0.83		B	l
022218.69+050343.8	-0.08 \pm 0.44	-1.22 \pm 0.18	18.2 \pm 3.0	26.8	-1.14	-0.90	bR		-
022220.25+050010.3	1.48 \pm 0.44	1.04 \pm 0.18	4.5 \pm 1.5		-1.06	-0.70	bR		-
022416.53+045842.8		-1.81 \pm 0.49		13.6 \pm 3.0	-0.51	-1.26	bR		h
022419.41+045657.3	0.00 \pm 0.07	0.60 \pm 0.49	15.4 \pm 3.0	19.0 \pm 3.0	-0.53	0.17	bR	#	-p
022509.74+050837.4	1.10 \pm 0.73	2.11 \pm 0.05	45.0 \pm 2.7	54.0 \pm 7.0	-1.17	-0.90		B	-
022528.41+045316.2	-0.10 \pm 0.17	0.76 \pm 0.94	20.2 \pm 2.0	33.7 \pm 2.0	-1.08	-0.60			-
022619.89+044631.5	0.29 \pm 0.30	0.58 \pm 1.65	76.8 \pm 25.0	54.0 \pm 14.0	-0.94	-0.74			-
022653.88+045233.4		-0.29 \pm 1.23		24.2 \pm 4.0	0.05	0.05			l
022836.14+045619.2	1.50 \pm 0.05	0.54 \pm 0.87	14.8 \pm 2.0	17.0 \pm 1.0	-1.15	-0.41			-p
022929.95+045318.0	3.29 \pm 0.30	1.14 \pm 0.63	19.2 \pm 2.0	29.6 \pm 3.0	-1.18	-0.83			-
023126.85+045846.4	0.06 \pm 0.55	-0.18 \pm 0.33	12.3 \pm 2.5	13.8 \pm 3.0	-0.85	-0.85			l
023155.98+050234.4	-0.10 \pm 0.57	0.14 \pm 0.32	17.0 \pm 4.0	18.0 \pm 2.0	-0.74	-0.51		v	-
023331.40+044909.3		0.33 \pm 1.61		35.7 \pm 7.0	-0.82	-0.82		E	l
023407.16+044642.7	-0.69 \pm 0.80	1.69 \pm 0.34	173.3 \pm 17.7	271.0 \pm 56.0	-0.23	0.59		s	-G
023546.15+045111.4		-0.36 \pm 0.43		27.5 \pm 3.5	-0.77	-0.63			-
023840.05+045516.8	-0.10 \pm 0.50	0.23 \pm 0.34	45.5 \pm 6.6	48.9 \pm 5.0	-0.79	-0.78	bR		l
023840.80+045752.3	0.65 \pm 0.50		12.5 \pm 2.0		-0.45	-0.79	bR		+
023950.49+050042.9	-0.02 \pm 0.08	0.11 \pm 0.11	9.8 \pm 4.5	19.6 \pm 7.0	-1.42	-0.60		s	-p
024309.09+045643.3	-0.11 \pm 0.50	0.00 \pm 0.54	17.6 \pm 4.0	16.3 \pm 3.5	-0.70	-0.55			-
024322.22+045804.2	-0.21 \pm 0.57	-0.02 \pm 0.74	10.0 \pm 2.0	12.7 \pm 1.0	-0.05	-0.84			+u
024430.44+044445.8		0.72 \pm 1.70		59.2 \pm 1.0	-0.64	-0.64		E	l

Таблица 1. (Продолжение)

RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀ NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
024754.12+045414.2		0.39 \pm 0.51		18.4 \pm 3.5	0.31	-0.44		#	+u
024816.44+045345.0	1.02 \pm 0.70	0.53 \pm 0.68	24.4 \pm 12.0	26.5 \pm 12.0	-0.76	-0.76			l
024939.93+044028.8	-0.40 \pm 0.40	1.48 \pm 3.33	139.3 \pm 35.0	133.0 \pm 22.0	-0.96	-0.68			-
025239.26+045840.3	-0.14 \pm 0.30	0.67 \pm 0.16	23.9 \pm 2.6	31.0 \pm 2.6	-0.67	-0.44		F	-
025253.93+050226.0	-0.07 \pm 0.47	0.13 \pm 0.24	16.6 \pm 3.0	21.8 \pm 3.0	-0.62	-0.62			l
025311.49+050032.2	0.68 \pm 0.25	0.30 \pm 0.40	8.7 \pm 1.5	10.3 \pm 2.5	-0.14	-0.52		#	+
025421.04+045723.9	-0.30 \pm 0.31	0.55 \pm 0.18	15.4 \pm 1.5	17.3 \pm 2.0	-0.70	-0.64		E	-
025630.94+050221.1	-0.06 \pm 0.53	0.22 \pm 0.26	16.0 \pm 2.5	25.5 \pm 2.0	-1.00	-0.71			-
025647.96+050014.1	0.77 \pm 0.32	1.31 \pm 0.48	9.7 \pm 2.0	8.5 \pm 2.0	-0.23	-0.62			h
025831.38+045309.0		1.18 \pm 1.66		29.5 \pm 7.0	-0.72	-0.72			l
025856.77+050410.4	0.96 \pm 0.36	0.89 \pm 0.17	14.8 \pm 2.0	18.9 \pm 2.0	-0.89	-0.78			-
030256.65+045521.1	0.21 \pm 0.25	0.61 \pm 0.35	45.6 \pm 4.0	58.1	-1.05	-0.94			-
030321.00+050143.5	-0.16 \pm 0.42	0.21 \pm 0.46	12.8 \pm 3.0	14.8 \pm 1.0	-0.56	-0.56		F	l
030357.72+050240.7	-0.17 \pm 0.30	1.39 \pm 0.66	10.5 \pm 1.5	12.0 \pm 2.0	0.04	-0.71			+
030456.91+045640.4		-0.34 \pm 0.81		12.5 \pm 2.0	0.59	-0.44		#	+u
030546.02+045243.3	-0.17 \pm 1.12	1.92 \pm 1.25	39.5 \pm 3.5	26.4 \pm 12.0	-0.75	-0.75			l
030626.32+045137.2	0.62 \pm 0.38	0.84 \pm 0.71	41.9 \pm 16.0	37.8 \pm 6.0	-0.81	-0.78			-
030656.53+045719.3	0.11 \pm 0.20	0.53 \pm 0.14	50.3 \pm 5.0	53.8 \pm 8.0	-0.98	-0.66			-
030726.37+045517.5		-2.94 \pm 1.30		15.8 \pm 2.0	-0.97	-0.97			l
030733.90+045304.6		2.42 \pm 1.30		23.5 \pm 2.0	0.08	-0.49		E	+
030810.14+050226.7	2.50 \pm 0.06	-0.01 \pm 0.32	9.4 \pm 2.0	12.1 \pm 2.0	0.22	-0.24		F#	+
030833.98+045409.2	1.42 \pm 0.35	2.29 \pm 0.75	30.4 \pm 4.0	34.4 \pm 2.0	-0.83	-0.58		F	-
031114.39+050314.6	-0.75 \pm 1.11	-0.09 \pm 0.30	26.5 \pm 3.0	26.3 \pm 2.0	-0.81	-0.81			l
031124.23+050742.7	0.72 \pm 0.91	-0.36	25.6 \pm 3.0	29.2	-0.71	-0.57			-
031147.96+050802.4	0.17 \pm 0.65	1.45 \pm 0.31	97.9 \pm 16.0	100.1 \pm 16.0	-1.40	-1.06		F	-
031321.84+050452.1	0.10 \pm 0.30	0.51 \pm 0.41	17.5 \pm 2.0	16.9 \pm 4.0	-0.97	-0.97			l
031347.01+044724.5	1.11 \pm 0.70	3.31 \pm 3.40	52.3 \pm 10.0	45.1 \pm 4.0	0.96	0.15			+u
031532.21+050721.0	1.65 \pm 0.47	0.22 \pm 1.00	31.7 \pm 6.5	40.4 \pm 6.5	-0.78	-0.78	d		l
031705.35+045838.2	-0.27 \pm 0.54	-0.07 \pm 0.07	11.3 \pm 2.6	13.2 \pm 1.0	0.15	-0.45		#	+
031736.52+045545.0	2.42 \pm 0.20	1.61 \pm 0.78	13.8 \pm 2.0	14.9 \pm 2.0	-0.15	-0.25			+
031752.52+045452.7	0.22 \pm 0.67	0.82 \pm 0.20	19.8 \pm 3.0	22.5 \pm 4.0	0.47	-0.11		#	+u
031841.77+044137.1	-0.19 \pm 0.36	-0.50 \pm 0.55	200.3 \pm 19.0	188.0 \pm 24.0	-1.07	-0.93	db	B	-

Таблица 1. (Продолжение)

RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀ NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
031844.85+050614.4	1.91 \pm 0.76	1.47 \pm 0.67	44.2 \pm 4.5	47.9 \pm 7.0	-0.80	-0.51		F	-
031858.07+045914.3	-0.02 \pm 0.30	-0.03 \pm 0.11	53.3 \pm 4.0	58.8 \pm 5.0	-0.33	-0.92		F	h
031903.22+045607.9	0.08 \pm 0.65	-0.49 \pm 0.04	24.1 \pm 3.0	30.0 \pm 5.0	-0.57	-0.44		#	-
031926.47+050448.7	0.36 \pm 0.41	1.36 \pm 0.42	79.8 \pm 5.0	96.7 \pm 7.5	-0.73	-0.66		F	-
032125.00+045849.6	-0.19 \pm 0.38	0.28 \pm 0.13	15.7 \pm 3.0	14.0 \pm 3.0	-1.25	-0.50		F	-p
032314.72+044612.7	0.21 \pm 1.30	1.02 \pm 0.71	117.4 \pm 11.0	143.1 \pm 18.0	-0.07	-0.81		F	c
032407.34+044200.2	-0.41 \pm 0.48	-0.02 \pm 0.46	126.7 \pm 22.0	141.5 \pm 25.0	-1.08	-0.94			-
032456.18+044640.9	2.16 \pm 1.08	1.65 \pm 1.18	86.2 \pm 8.7	88.1 \pm 12.0	-1.25	-0.17		F	-p
032506.09+050110.1	0.26 \pm 0.60	1.76	11.6 \pm 2.0	14.3	1.45	-0.24		#	+u
032640.58+051111.6	-1.18 \pm 0.34		23.4 \pm 10.0		-0.44	-0.62	bR		+
032642.23+044650.7	0.23 \pm 0.34	0.98 \pm 0.98	27.7 \pm 11.0	51.4 \pm 8.5	-0.78	-0.78	bR		l
032724.74+045559.6		0.82 \pm 0.43		11.5 \pm 2.0	-0.39	-0.79			+
032825.57+045344.9	0.42 \pm 0.43		23.1 \pm 1.0	50.3 \pm 6.0	-0.73	-0.86	dbR		+
032826.67+045614.3	1.52 \pm 0.43	1.24 \pm 0.81	23.1 \pm 1.0		-0.80	-0.93	dbR		+
032910.98+050336.5	-0.01 \pm 0.21	0.47 \pm 0.22	22.1 \pm 5.0	26.9 \pm 2.0	0.02	-0.81	bR	E	h
032911.02+045817.3	-0.45 \pm 0.30		8.9 \pm 1.0		-0.13	0.32	bR	#	-p
032917.08+050443.6	-0.12 \pm 0.25	-0.04 \pm 0.10	15.1 \pm 2.0	13.6 \pm 3.0	-0.79	-0.79			l
032935.83+045549.0	0.79 \pm 0.23	0.25 \pm 1.17	13.8 \pm 2.0	11.6 \pm 3.0	0.99	-0.43		#	+u
033226.75+045718.7	0.02 \pm 0.33	0.62 \pm 0.06	29.1 \pm 6.0	23.5 \pm 5.0	1.56	0.01		v	+u
033510.40+045723.3	-0.05 \pm 0.15	0.45 \pm 0.08	47.3 \pm 3.0	44.7 \pm 2.0	-0.98	-0.09		F	-p
033524.20+050038.3	0.13 \pm 0.49	0.33 \pm 0.11	12.1 \pm 2.0	11.5 \pm 2.0	0.29	-0.56		#	+u
033613.25+045935.9	0.55 \pm 0.64	0.57 \pm 0.22	7.0 \pm 2.0	8.9 \pm 2.0	-0.72	-0.72		B	l
033726.24+045944.7	0.04 \pm 0.23	0.65 \pm 0.64	19.8 \pm 2.0	24.0 \pm 5.0	-0.98	-0.66	bR		-
033726.67+045005.5		0.29 \pm 0.66		87.3 \pm 11.0	-1.00	-0.79	bR	F	-
033750.84+045833.2	0.84 \pm 0.15	0.00 \pm 0.84	9.8 \pm 1.0	12.1 \pm 1.0	-0.77	-0.77			l
033901.60+051542.4		2.49 \pm 0.21		70.0 \pm 7.0	-0.79	-0.79			l
033959.59+050058.3	0.71 \pm 0.12	0.77 \pm 0.18	12.1 \pm 1.5	12.8 \pm 2.0	-0.01	-0.01		#	l
034024.79+045829.8	0.01 \pm 0.15	0.07 \pm 0.23	21.1 \pm 2.0	22.0 \pm 2.0	-0.55	-0.02		s	-p
034041.76+045736.3	1.36 \pm 0.28	-0.52 \pm 0.73	11.2 \pm 2.0	13.5 \pm 5.0	-0.04	-0.45	b		+
034109.80+050709.6	1.45 \pm 0.32	0.86 \pm 0.61	60.4 \pm 6.0	56.9 \pm 7.0	-0.97	-0.86			-
034151.93+045925.3	0.49 \pm 0.25	-2.01 \pm 3.03	8.5 \pm 1.0	9.0 \pm 1.0	-0.54	-0.30			-
034231.79+044740.6	4.14 \pm 0.58	2.16 \pm 1.62	53.7 \pm 6.0	70.8 \pm 2.0	-0.72	-0.60		F	-

Таблица 1. (Продолжение)

RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀ NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
034243.15+044527.5		-0.18		82.6	-0.67	-0.67		E	l
034329.99+045750.3	-0.01 \pm 0.26	0.21 \pm 0.23	1097.5 \pm 50.0	1133.1	-0.97	-0.83		V	-
034554.43+045729.5	0.33 \pm 0.41	-0.44 \pm 0.70	12.9 \pm 2.0	15.3 \pm 1.0	-0.39	-0.60			h
034628.75+045545.5	0.07 \pm 0.25	-0.03 \pm 0.76	14.2 \pm 2.0	17.3	-0.28	-1.30	d		h
034656.76+045653.8		-0.10 \pm 0.01		12.3 \pm 3.0	-0.21	-0.36			+
034824.81+045421.7	0.10 \pm 0.61	0.82 \pm 0.54	25.6 \pm 5.0	24.3 \pm 3.0	-0.46	-0.46		F	l
034828.10+050151.6		1.03		12.3 \pm 2.0	-0.52	-1.05			h
034901.48+051038.4	0.32 \pm 0.50	0.12 \pm 0.69	55.1 \pm 8.0	66.1 \pm 10.0	-0.76	-0.76		B	l
034931.08+050042.4	-0.28 \pm 0.36	-0.09 \pm 0.33	22.3 \pm 4.0	25.0 \pm 1.0	-0.67	-0.67			l
034940.30+045731.2	-0.10 \pm 0.10	0.03 \pm 0.36	12.8 \pm 4.5	15.8 \pm 4.0	-0.00	-0.00		F#	l
035054.23+050620.9	1.09 \pm 0.70	0.41 \pm 0.28	430.9 \pm 30.0	399.4 \pm 27.0	-0.70	0.15	b	B	-p
035203.68+044612.0		-1.38 \pm 0.74		59.9 \pm 8.0	-0.84	-0.31			-p
035208.14+045128.5	0.05 \pm 0.20	2.92	40.3 \pm 7.0	35.6 \pm 5.0	-0.83	-0.83			l
035303.88+050431.1	1.52 \pm 0.22	2.14 \pm 0.33	28.6 \pm 6.5	32.5 \pm 1.5	-0.15	-0.37			+
035424.14+044107.3	-0.86 \pm 1.10	0.53 \pm 1.04	193.0 \pm 35.0	190.4 \pm 8.0	-0.13	-0.43		B	h
035454.40+050250.2	-0.25 \pm 0.15	-0.41	13.8 \pm 2.0	21.1	-0.97	-0.81			-
035515.52+045703.1		1.15 \pm 0.56		9.2 \pm 2.0	0.84	-0.24		#	+u
035602.18+045602.8	0.54 \pm 0.15	0.88	11.7 \pm 2.0	15.8	-0.76	-0.76			l
035659.95+045947.7		-0.82 \pm 0.21		9.1 \pm 1.5	-0.29	-0.29		#	l
035815.51+045449.1		2.31 \pm 0.05		12.5 \pm 4.0	0.42	-0.36		#	+u
040311.59+045929.0	0.35 \pm 0.05	0.37 \pm 0.93	9.1 \pm 2.0	8.2 \pm 3.0	0.10	0.10		#	l
040332.04+045817.3	-0.07 \pm 0.45	0.42 \pm 0.22	45.3 \pm 6.0	45.8 \pm 6.0	-0.79	0.14			-p
040404.37+045839.5	0.12 \pm 0.05	0.57	11.0 \pm 2.0	10.4 \pm 2.0	0.13	-0.51		s	+
040424.21+050633.6	-2.19 \pm 0.47	-1.29 \pm 0.03	20.6 \pm 3.0	43.6 \pm 2.0	-0.82	-0.82	b		l
040427.26+050207.2	-0.04 \pm 0.50	0.97	30.5 \pm 4.0	39.4 \pm 2.0	-0.79	-0.79			l
040626.84+044753.2	1.56 \pm 1.10	-1.82 \pm 4.50	54.4 \pm 10.0	61.4 \pm 10.0	-0.92	-0.92			l
041034.32+045540.3		1.19 \pm 0.61		12.6 \pm 4.0	-0.08	-0.33			+
041319.72+045839.7	-0.33 \pm 0.56	0.18 \pm 0.17	23.4 \pm 3.0	25.2 \pm 3.0	-0.35	-0.73		E	h
041330.97+045247.7	-1.28 \pm 0.12	-1.21 \pm 0.67	27.2 \pm 2.0	31.7 \pm 3.0	-0.60	-0.60			l
041510.24+050144.4		1.32 \pm 0.56		10.9 \pm 4.0	-0.64	-0.76			+
041752.68+044404.8	1.38 \pm 0.45	-5.30	59.7 \pm 7.0	66.7 \pm 15.0	-0.17	-0.91	b		h
042003.08+045101.9	-0.62 \pm 0.44	0.54 \pm 0.29	36.6 \pm 6.0	41.8 \pm 6.0	-0.45	-0.45			l

Таблица 1. (Продолжение)

RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀ NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
042154.98+050230.5	0.57 \pm 0.28	0.26 \pm 0.23	19.1 \pm 2.0	17.8 \pm 2.0	-0.20	-0.55		B	h
042333.58+045451.3	0.58 \pm 0.37	1.21 \pm 0.32	20.4 \pm 5.0	20.1 \pm 5.0	-0.69	-0.69			l
042545.15+045028.3		1.30 \pm 2.50		24.9 \pm 3.0	-0.49	-0.49			l
042619.18+045025.7	-0.21 \pm 0.79	0.40 \pm 0.40	432.5 \pm 54.0	434.4 \pm 54.0	-1.12	-0.75			-
042636.60+051818.0		7.60		375.0	-0.23	0.18		B	-p
042747.61+045708.9	-0.18 \pm 0.44	0.46 \pm 0.20	645.9 \pm 65.0	642.7 \pm 73.0	-0.26	-0.26		V	l
043311.04+052115.4	3.89 \pm 0.90	0.83 \pm 1.65	1333.2 \pm 120.0	1878.0 \pm 200.0	-0.13	-0.89	m	V	h
043551.33+045612.6	0.95 \pm 0.63	1.43	13.2 \pm 3.0	10.4 \pm 3.0	-0.86	-0.86			l
043558.30+045723.9	0.30 \pm 0.25	1.36	13.2 \pm 2.0	9.2 \pm 2.0	-0.06	-0.06	d	#	l
043611.99+050127.0	-0.51 \pm 0.55	0.31 \pm 0.38	12.3 \pm 2.0	13.3 \pm 2.0	-0.66	-0.66			l
043629.74+050034.9	-0.08 \pm 0.83	0.18 \pm 0.56	13.1 \pm 3.0	16.2 \pm 3.0	-0.30	-0.30			l
043722.65+050529.6		-3.38 \pm 1.38		25.0 \pm 3.0	-0.64	-0.64			l
043732.83+045139.0		3.77		11.0 \pm 3.0	-1.39	-1.10			-
043848.16+044936.2		-0.21 \pm 0.74		46.3 \pm 15.0	-0.57	-0.73			+
044014.54+050002.9	0.20 \pm 1.20	1.12 \pm 0.17	14.1 \pm 2.0	15.3 \pm 1.0	0.01	-0.83			+u
044136.20+045403.4	1.00 \pm 0.10	1.12 \pm 0.05	19.8 \pm 4.0	19.9 \pm 5.0	-0.70	0.04		#	-p
044148.48+044848.7		-3.14		28.3 \pm 3.0	-0.14	-0.63			h
044417.89+050126.8	0.08 \pm 0.35	0.32 \pm 0.18	58.2 \pm 6.0	64.6 \pm 5.0	-1.09	-0.95			-
044455.22+045659.7	-0.06 \pm 0.48	-0.05 \pm 0.61	20.0 \pm 3.0	22.0 \pm 7.0	0.85	0.22		#	+u
044924.30+045844.5	0.21 \pm 0.33	0.89 \pm 0.23	10.7 \pm 2.0	11.7 \pm 2.0	-1.08	-0.73			-
044935.43+050102.3	0.29 \pm 1.03	1.62 \pm 0.15	13.9 \pm 2.0	11.9 \pm 2.0	-0.59	-0.59			l
045000.72+051254.9	0.03 \pm 2.60	2.14	36.5 \pm 3.0	33.2 \pm 5.0	-0.60	-0.60			l
045110.15+045054.8	-0.57 \pm 0.30	0.08 \pm 0.57	41.5 \pm 4.0	38.3 \pm 14.0	-0.72	-0.57	d	E	-
045113.48+043751.2		2.37		30.6	-0.88	-0.58		s	-
045151.26+050134.7	-0.52 \pm 0.55	1.61	9.3 \pm 2.0	9.1 \pm 3.0	-0.74	-0.74			l
045322.45+051052.6	1.29 \pm 0.65	-0.33	64.8 \pm 12.0	57.2 \pm 8.0	-0.09	0.79			-g
045503.78+045302.0	0.61 \pm 0.27	0.56 \pm 0.35	30.9 \pm 5.0	35.3 \pm 7.0	-1.06	-0.93			-
045544.48+045051.9	0.47 \pm 0.62	1.26 \pm 0.54	37.0 \pm 5.0	32.8 \pm 4.0	-0.53	-0.53			l
045754.69+045354.3	0.49 \pm 0.39	0.93 \pm 0.28	87.8 \pm 5.5	75.7 \pm 7.5	-0.98	-0.86			-
045815.27+050410.4	-0.01 \pm 0.60	0.43 \pm 0.38	73.6 \pm 5.0	71.3 \pm 7.0	-1.17	-0.94			-
045905.59+045609.8	-0.24 \pm 0.26	-0.18 \pm 0.24	85.7 \pm 8.0	99.8 \pm 8.0	-0.91	-0.81	db		-
050011.77+045838.8	0.51 \pm 0.53		11.2 \pm 2.5		-0.53	-0.53			l

Таблица 1. (Продолжение)

RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀ NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
050026.57+050433.2	0.88 \pm 0.70		21.5 \pm 2.7		-1.23	-0.69			-
050043.12+051155.8	-2.30 \pm 0.20		55.1 \pm 7.0		0.23	-0.51			hu
050523.20+045942.8	-0.26 \pm 0.25	0.51 \pm 0.12	872.0 \pm 70.0	1000.0 \pm 63.0	-0.06	-0.55		V	h
050625.10+050819.7	1.01 \pm 1.06	2.02 \pm 0.59	75.2 \pm 12.0	66.4 \pm 6.0	-0.83	-0.67		v	-
050649.14+045101.7	0.47 \pm 0.25	0.40 \pm 1.33	28.9 \pm 4.0	29.6 \pm 9.0	-0.23	-1.03			h
050709.01+045520.0	-0.20 \pm 0.32	0.33 \pm 0.01	32.3 \pm 3.0	33.8 \pm 3.0	-0.88	-0.81			-
050825.45+045155.4	-1.94 \pm 0.25	0.82	22.2 \pm 2.0	29.6	-0.90	-0.90			l
051006.04+045910.0	-0.28 \pm 0.18	1.18 \pm 0.30	11.9 \pm 2.0	11.7 \pm 2.0	-0.21	-0.50			+
051018.00+045952.7	-0.07 \pm 0.37	-0.47 \pm 2.25	11.7 \pm 2.0	12.9 \pm 1.0	-0.14	-0.14			l
051106.30+045854.5	-0.37 \pm 0.23	0.55 \pm 0.34	15.6 \pm 1.6	15.2 \pm 1.0	-0.76	-0.76			l
051219.39+045610.8	0.82 \pm 0.39	0.49 \pm 0.83	13.8 \pm 2.0	17.5 \pm 2.0	0.10	-0.44			+
051343.45+045854.7	-0.18 \pm 0.12	-0.85 \pm 0.09	31.4 \pm 4.0	33.8 \pm 5.0	-1.51	-0.02	bR	v	-p
051344.36+050347.3	0.41 \pm 0.15		14.3 \pm 3.0	13.1 \pm 5.0	-0.52	-0.52	bR		-
051359.03+050235.7	-0.19 \pm 0.24	-0.11 \pm 0.48	23.9 \pm 2.5	22.0 \pm 2.0	-0.65	0.45		E#	-g
051539.19+045947.5	-0.05 \pm 0.20	0.26 \pm 0.43	9.3 \pm 1.0	9.0 \pm 1.0	-0.35	-0.35			l
051711.68+050032.6	-0.13 \pm 0.34	0.28 \pm 0.13	38.1 \pm 3.0	44.0 \pm 4.0	0.45	-0.50		s	h
051909.69+050520.3	-0.02 \pm 0.11	0.49 \pm 0.26	22.4 \pm 2.0	31.0 \pm 7.0	-0.72	-0.72			l
051923.70+045900.4	-0.83 \pm 0.15		8.0 \pm 1.5		0.28	-0.49		#	+
052035.50+045401.7	0.36 \pm 0.37	0.82 \pm 0.38	28.4 \pm 3.0	33.0 \pm 4.0	-0.46	-0.82		B	h
052055.49+050654.7	2.00 \pm 0.31	1.77 \pm 0.75	48.5 \pm 6.0	46.0 \pm 4.0	-0.95	-0.78			-
052117.03+050728.8	0.15 \pm 0.20	-0.36 \pm 0.67	67.0 \pm 7.0	80.0 \pm 12.0	-0.92	0.37		B	-g
052241.76+045304.3	1.05 \pm 0.73	-0.09 \pm 1.10	24.2 \pm 3.0	21.0 \pm 5.0	-0.26	-0.84			h
052326.80+045918.6	-0.40 \pm 0.15	0.50 \pm 0.25	11.0 \pm 2.0	16.0 \pm 3.0	-0.74	0.23		#	-p
052331.28+050844.2		1.15 \pm 0.81		66.0 \pm 24.0	-1.06	-0.87			-
052333.28+045827.7	-0.41 \pm 0.74	0.84	17.9 \pm 3.0	19.0 \pm 5.0	-0.84	-0.60			-
052431.59+050736.6		1.09 \pm 1.00		39.0 \pm 5.0	-0.81	-0.81		E	l
052502.08+045432.7	0.08 \pm 0.27	0.70 \pm 0.26	81.7 \pm 8.0	85.0 \pm 9.0	-0.83	-0.73			-
052719.63+050153.9	0.21 \pm 0.37	1.93 \pm 0.25	35.8 \pm 3.0	41.0 \pm 3.0	-0.89	-0.64			-
052801.46+045750.1	-0.34 \pm 0.23	0.32 \pm 0.06	42.1 \pm 3.0	46.0 \pm 1.0	-0.56	-0.56			l
053207.80+050243.6	0.60 \pm 0.10	0.31 \pm 0.30	18.1 \pm 2.0	18.0 \pm 3.0	-0.69	-0.69	d		l
053435.41+050342.5	0.18 \pm 0.38	0.72 \pm 0.23	228.0 \pm 20.0	240.0 \pm 21.0	-1.09	-0.87			-
053603.93+050600.6	0.68 \pm 0.14	1.46 \pm 0.95	23.8 \pm 5.0	29.0 \pm 5.0	-0.94	-0.94			l

Таблица 1. (Продолжение)

RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀ NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
053816.21+045239.5	1.04 \pm 0.93	2.91 \pm 0.45	25.8 \pm 5.0	27.0 \pm 4.0	-0.17	-0.58			h
053849.53+050411.5	-1.22 \pm 0.10	-0.66 \pm 0.48	23.9 \pm 2.5	30.0 \pm 4.0	-0.81	-0.81	dR		l
053851.42+050309.7	0.67 \pm 0.15		11.1 \pm 2.0				dR		
053957.88+045359.5	0.22 \pm 0.10	0.80 \pm 0.33	20.9 \pm 4.5	33.0 \pm 5.0	-0.84	-0.84			l
054118.70+050900.2	1.07 \pm 1.05	1.77 \pm 0.45	87.3 \pm 8.5	100.0 \pm 20.0	-1.02	-0.86			-
054246.21+045419.6	0.15 \pm 0.29	0.51 \pm 0.18	58.4 \pm 5.0	58.0 \pm 5.0	-0.55	-0.19		s	-p
054405.13+045906.4	0.65 \pm 0.24	1.66 \pm 0.34	11.4 \pm 2.0	14.0 \pm 1.0	-0.20	-0.64			+
054555.90+045943.6	-0.06 \pm 0.27	0.75	14.8 \pm 2.0	12.0	-1.25	-0.56		s	-p
054948.75+045246.4	-0.13 \pm 0.76	1.09 \pm 1.00	20.4 \pm 4.0	32.0 \pm 9.0	-0.52	-0.65			+
055256.16+044725.3	1.62 \pm 1.07	2.99 \pm 0.48	82.3 \pm 18.0	94.0 \pm 2.0	-1.09	-0.72	d		-
055313.77+045549.6	-0.02 \pm 0.67	0.44 \pm 0.31	35.7 \pm 4.0	42.0 \pm 5.0	-1.16	-0.13		s	-p
055652.59+050937.2	0.55 \pm 1.50	1.15 \pm 1.50	49.1 \pm 8.0	46.0 \pm 6.0	-1.20	-0.54			-p
055902.37+045304.8	0.12 \pm 2.14	0.83 \pm 1.40	20.7 \pm 2.0	28.0 \pm 2.0	-0.77	-0.66			-
055936.84+045800.8	-0.53 \pm 0.15	0.26 \pm 0.02	14.7 \pm 2.0	16.0 \pm 2.0	-1.17	-0.95			-
060033.87+045601.1	0.04 \pm 1.24		11.6 \pm 2.0		0.08	-0.92			+
060404.70+045657.4	0.28 \pm 0.10	-0.92	9.6 \pm 2.5	12.0 \pm 2.5	-0.87	-0.32	d	#	-p
060428.72+045958.8	0.14 \pm 0.40	0.58 \pm 0.77	8.4 \pm 2.0	12.0 \pm 3.0	-0.87	-0.61			-
060537.91+050020.5		-1.49 \pm 0.35		11.0	0.42	-0.67			+u
060612.31+045743.1	0.00 \pm 0.27	0.21 \pm 0.40	21.2 \pm 4.0	22.0 \pm 3.0	-0.53	-0.53		v	l
060659.73+050659.2	1.64 \pm 0.34	1.43 \pm 0.40	53.7 \pm 11.0	46.0 \pm 9.0	-0.85	-0.68		v	-
060715.71+045818.9	0.08 \pm 0.62	-0.53 \pm 0.33	10.3 \pm 2.0	9.0 \pm 3.0	-0.74	-0.74			l
060829.14+050115.3	0.54 \pm 0.22	0.98 \pm 0.16	13.6 \pm 3.0	15.0 \pm 4.5	-0.75	-0.50	d	#	-
060947.02+045927.9	-0.09 \pm 0.14	0.02 \pm 0.22	10.9 \pm 2.0	11.0 \pm 2.0	-1.26	-0.92			-
061003.66+045354.1	0.40 \pm 0.40	0.55	18.1 \pm 4.0	14.0 \pm 3.0	-0.84	-0.87		v	-
061028.84+050025.8	0.74 \pm 0.47	0.33 \pm 0.43	11.4 \pm 2.0	16.0 \pm 2.0	-0.91	-0.75			-
061048.06+050504.4		0.18		15.0 \pm 3.0	-0.23	-0.77			+
061217.47+045636.7		0.27 \pm 0.10		16.0 \pm 7.0	1.03	0.15		#	+u
061553.63+045650.9		0.65 \pm 0.90		13.0 \pm 4.0	-1.26	-0.79			-
061627.92+045312.0		1.44 \pm 0.50		15.0 \pm 3.0	-0.06	-0.48			+
061756.20+045824.9		-0.41		7.0 \pm 3.0	0.60	-0.18		#	+u
061823.59+050700.1		1.72		33.0 \pm 7.0	-0.07	-0.48			+
061900.21+050630.8	0.55 \pm 0.60	0.91 \pm 0.13	321.0 \pm 39.0	299.0 \pm 27.0	-0.81	0.04	b	v	-p

Таблица 1. (Продолжение)

RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀ NVSS, hhmmss.ss+ddmmss.s	$\Delta RA_1 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$\Delta RA_2 \pm \sigma$, s.ss \pm s.ss	$F_1 \pm \sigma$, mJy	$F_2 \pm \sigma$, mJy	$\alpha_{3.94}$	$\alpha_{0.5}$	Mrph	Flx	Sp.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
061909.63+045400.1	0.25 \pm 0.32	0.76 \pm 0.37	32.5 \pm 5.0	47.0 \pm 1.0	0.52	-0.66	b		+u
061943.49+045748.3	0.67 \pm 0.55	0.63	11.3 \pm 3.0	12.0 \pm 5.0	-0.80	-0.80			l
062128.52+045852.2	-0.21 \pm 0.10		23.1 \pm 7.0	37.0 \pm 5.0	0.20	-0.70	bR	v#	-p
062130.07+045258.2	1.34 \pm 0.10		41.6 \pm 5.0		-0.72	-0.58	bR	s	-
062152.90+043834.4	-4.65 \pm 0.28	1.06 \pm 1.00	361.6 \pm 20.0	392.0 \pm 33.0	-1.01	-0.80			-
062157.68+045606.8	0.13 \pm 0.28	0.31 \pm 0.14	45.0 \pm 5.0	61.0 \pm 11.0	-0.79	-0.55		s	-
062207.41+045651.1	-0.06 \pm 0.24	-0.07 \pm 0.15	35.4 \pm 5.0	25.0 \pm 4.0	-0.90	-0.65		v	-
062310.75+050410.0	-1.67 \pm 0.27	-1.86 \pm 0.14	64.4 \pm 21.0	65.0 \pm 11.0	-0.74	-0.74	m	v	l
062325.66+045624.1	0.02 \pm 0.11	0.34 \pm 0.25	11.3 \pm 2.0	12.0 \pm 2.0	-0.37	-0.06		#	-
062418.85+045701.8	0.02 \pm 0.37	0.48 \pm 0.23	159.0 \pm 10.0	165.0 \pm 30.0	-0.99	-0.73			-
062450.96+050350.0	1.24 \pm 0.50	0.35 \pm 0.38	22.0 \pm 3.0	22.0 \pm 4.0	-1.05	-0.69			-
062549.27+045648.2		0.81 \pm 0.30		28.0 \pm 9.0	-0.28	-0.54	b		+
062741.83+045803.9	0.18 \pm 0.37	0.28	25.1 \pm 3.0	52.0	-0.98	-0.82		v	-
063605.69+043240.5	1.59 \pm 0.15		477.3 \pm 40.0		-0.79	-0.79			l
063759.26+045505.5	0.71 \pm 0.73	0.22 \pm 0.67	15.1 \pm 2.0	18.0 \pm 2.0	0.77	0.40		#	+
063826.31+045246.6	-0.03 \pm 0.70	-0.13 \pm 0.94	19.7 \pm 3.5	27.0 \pm 4.5	-0.79	-0.79			l
063929.62+045937.0	0.51 \pm 0.38	-0.02 \pm 0.27	12.4 \pm 3.0	17.0 \pm 4.0	-0.26	-0.57		v	+
064054.67+050550.3	-0.62 \pm 0.34	0.67 \pm 0.01	38.9 \pm 5.0	36.0 \pm 4.0	-0.44	-0.78			+
064116.31+044748.5	0.28 \pm 0.51	0.99 \pm 0.71	61.5 \pm 6.0	59.0 \pm 18.0	-1.22	-0.66			-
064415.38+050641.5	0.33 \pm 0.71	1.23 \pm 0.40	112.0 \pm 20.0	119.0 \pm 5.0	-0.93	-0.83			-
064753.44+050456.5		-0.22 \pm 0.13		24.0 \pm 3.0	-0.15	1.18		E#	+u
065110.86+045356.1	0.81 \pm 0.73	0.00	12.2 \pm 2.0	17.0 \pm 6.0	0.21	-0.63			+
065327.45+050319.2	0.10 \pm 0.53		45.5 \pm 6.0		-0.90	0.03	d		-p
065327.47+050851.6	0.12 \pm 0.53	0.24 \pm 0.46	151.0 \pm 15.0	149.0 \pm 16.0	-0.48	-0.35	bR	B	-
065529.90+045510.9	0.13 \pm 0.38	0.29 \pm 0.23	42.8 \pm 4.0	48.0 \pm 6.0	-0.03	-0.03		s	l
065848.74+045522.0	0.71 \pm 0.55		25.1 \pm 1.0		0.25	-1.00	bR	v1	+u
065850.15+050206.7	-0.11 \pm 0.73	1.10 \pm 0.71	41.0 \pm 18.0	40.0 \pm 7.0	0.00	0.00	bR	v	l
065929.43+045603.8	0.29 \pm 0.30	-0.94 \pm 0.92	13.5 \pm 4.0	13.0 \pm 2.0	0.28	0.28		v#	l

Напомним, что высота наблюдений для антенны РАТАН-600 в обзорах «Холод» была выбрана по видимым координатам объекта SS 433 на начало эксперимента «Холод» в 1980 г. и сохранялась в последующих циклах, т.е. исследуемая полоса неба

немного смещалась в склонении от цикла к циклу. Таким образом, некоторые источники могли быть зарегистрированы только в одном обзоре [28]. Это относится к 065848.74+045522.0. Все остальные источники в публикуемом списке были обнаруже-

ны по крайней мере в двух циклах эксперимента «Холод.»

Всего было выделено 256 источников в диапазоне прямых восхождений $2^h < RA < 7^h$. Из них 68% обнаружены двумя методами и 32% — первым или вторым методом.

3. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ КАТАЛОГА RCR ДЛЯ ИНТЕРВАЛА $2^h < RA < 17^h$

В литературе публикации по многочастотным исследованиям спектров радиоисточников встречаются не столь часто. В качестве примера можно привести одну из первых работ — Лейнга и Пикокка [29], а затем последующие: Керр и др. [30], Махони и др. [31], Виттам и др. [32], Калистро Ривьера и др. [33].

Лейнг и Пикок [29] обнаружили в интервале частот 178–2700 МГц зависимость формы спектров радиоисточников от светимости. Более мощные источники имеют более плоский спектр, а более слабые источники демонстрируют укрупнение спектра на низких частотах.

Виттам и др. [32] отметили усиление потока для радиогалактик на высоких частотах (15.7 ГГц) и предположили, что это может быть связано с ядрами источников FRI-типа, которые становятся доминирующими в этом диапазоне.

Исследования [33] выборки радиогалактик из глубокого обзора LOFAR в диапазоне от 150 МГц (предел в 120–150 μ Ян) и до 1.4 ГГц (28 μ Ян) показали, что укрупнение на низких частотах, наблюдаемое для слабых AGN, можно объяснить доминированием компонент радиоисточника с крутым спектром, хотя вклад компонент с плоским спектром становится более значимым на высоких частотах, делая спектральный индекс более плоским. Вследствие достаточно высокой неопределенности в оценке плотности потока из-за разного углового разрешения обзоров и методов выделения источников этот результат может оказаться для AGN не столь однозначным, поскольку они являются протяженными источниками.

Спектральные характеристики источников, которые были обнаружены в обзорах эксперимента «Холод», определялись неоднократно как по многочастотным наблюдениям, проведенным на РАТАН-600, так и с привлечением данных из известных каталогов.

Предел чувствительности обзоров эксперимента «Холод» 1980–1981 гг. был существенно лучше всех имевшихся на тот момент каталогов, поэтому в публикации каталога RC [4, 5] спектральные индексы в интервале частот 365–3940 МГц были

определены только для четвертой части источников. В эту выборку вошли достаточно яркие источники. Медианные величины плотности потока и спектрального индекса для нее составили $F_{3.94} = 82$ мЯн и $\alpha = -0.82$ соответственно. На Рис. 1а мы приводим гистограмму с распределением спектральных индексов по материалам работ [4, 5].

В одной из первых публикаций по спектральным характеристикам RC-источников [11] данные были получены в большинстве своем по многочастотным наблюдениям на РАТАН-600. Для трети источников из 840 объектов первого списка каталога RC [4] были построены спектры. У 70% из них спектры оказались крутыми со средним спектральным индексом $\alpha = -0.87$.

В работах Бурсова и др. [12, 13] спектры для 529 (44%) RC-источников в диапазоне 970–3940 МГц определялись, в основном, из наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600. Большинство из них — достаточно яркие объекты ($F_{3.94} > 35$ мЯн) с крутыми спектрами при медианных величинах $F_{3.94} = 69$ мЯн и $\alpha = -0.85$. Присутствует незначительное количество источников (3%) с инверсными спектрами ($\alpha \geq 0.1$). На Рис. 1б приведена гистограмма с распределением индексов для источников из работы [13].

Мы разбили источники, для которых в работах [4, 5, 13] определены спектральные индексы, на группы по плотности потока, взяв в качестве единицы измерения ошибку шума $\sigma = 3.5$ мЯн как среднее из среднеквадратичных ошибок шума по обзорам 1980–1994 гг. [16]. В первый бин были включены источники с $F \leq 10.5$ мЯн на частоте 3.94 ГГц, т.е. слабее 3σ . Границами следующих бинов были выбраны 17.5, 35, 70, 105, 140, 210, 280, 700 и более 700 мЯн или 5σ , 10σ , 20σ , 30σ , 40σ , 60σ , 80σ , 200σ и больше 200σ соответственно. Затем мы немного изменили разбиение для более равномерного распределения источников по группам, чтобы в каждой их количество было достаточным для статистики. В итоге верхние границы бинов были следующими: 15, 25, 35, 50, 70, 100, 150, 250 и больше 250 мЯн.

На Рис. 2 приведена диаграмма рассеяния для спектральных индексов и интегральной плотности потока $F_{3.94}$ по данным работ [4, 5] (Рис. 2а) и [13] (Рис. 2б). Величины для источников показаны серыми кружочками, медианная величина спектрального индекса и плотности потока каждого бина — черным квадратиком, линия регрессии по этим величинам — штриховой линией. Как в первом (Рис. 2а), так и во втором случае (Рис. 2б) у достаточно ярких источников, обнаруженных в эксперименте «Холод» на частоте 3.94 ГГц, с увеличением плотности потока наблюдается тенденция к уплощению спектров.

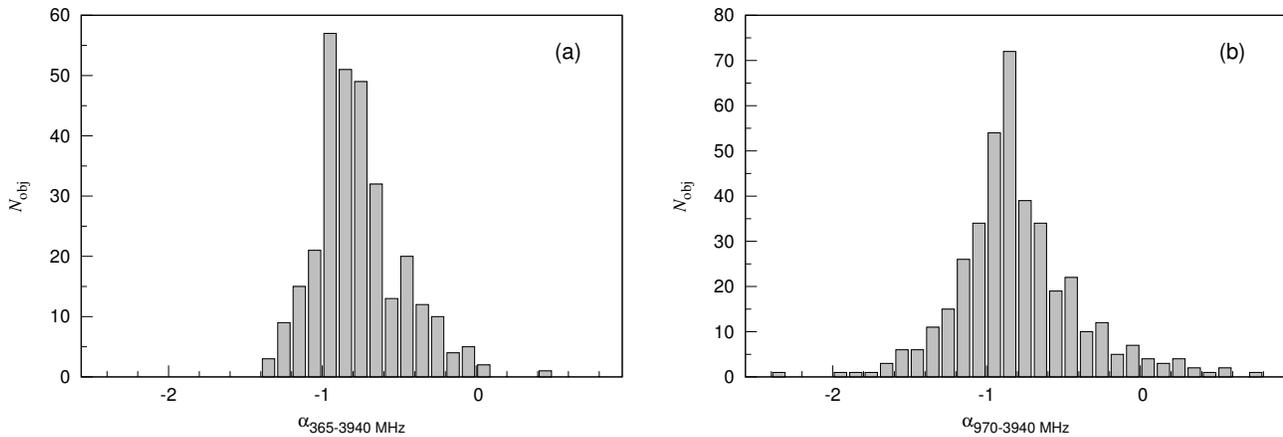


Рис. 1. Гистограммы с распределением спектральных индексов для радиоисточников каталога RC: (a) — для 304 объектов, у которых определены спектральные индексы в работах [4, 5], на частотах 365–3940 МГц; (b) — для 396 источников из работы [13] на частотах 970–3940 МГц.

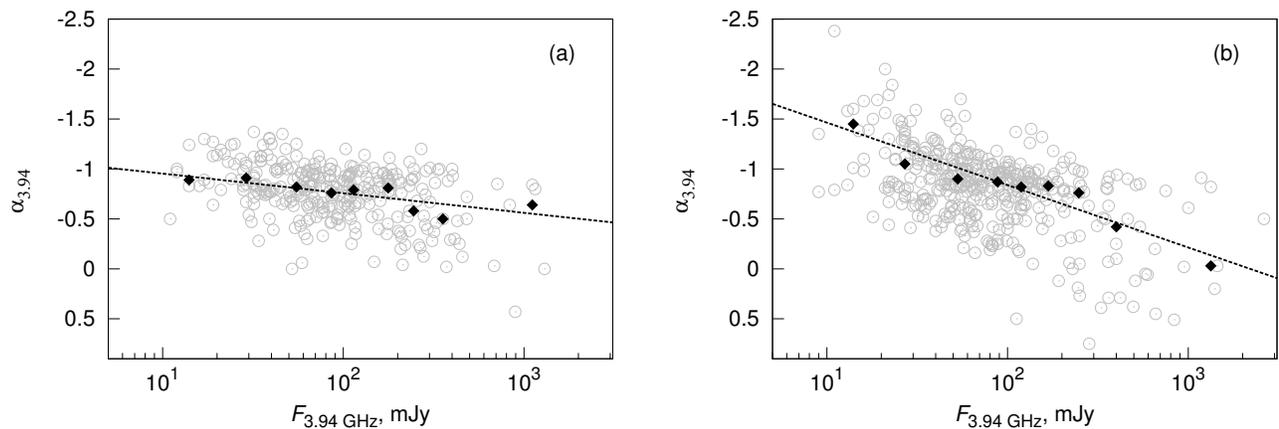


Рис. 2. Диаграмма рассеяния для спектральных индексов и интегральной плотности потока на частоте 3.94 ГГц $F_{3.94}$ для радиоисточников каталога RC: (a) — для 304 объектов из работ [4, 5] и (b) — для 396 источников из работы [13]. Величины для источников показаны на рисунках серыми кружочками. Каждый список был разбит на бины по плотности потока. Медианная величина спектрального индекса и плотности потока каждого бина показана на графике черным квадратиком. Штриховая линия — линейная регрессия.

В работах Соболевой и др. [15, 16] для определения двухчастотных индексов $\alpha_{3.94}^{1.4}$ на 1.4 и 3.94 ГГц (длина волны 20 и 7.6 см соответственно) у RC-источников, включая и слабые объекты ($F_{3.94} < 35$ мЯн), использовался каталог NVSS. В полосе шириной $10'$ и протяженностью около 16^h по прямому восхождению с NVSS-источниками было отождествлено 95% объектов каталога RC. Было обнаружено, что при увеличении плотности потока на длине волны 7.6 см спектральные индексы источников становятся более крутыми.

По данным, полученным в 1987–2000 гг., для полосы «Холод» протяженностью 11^h по прямому восхождению было обнаружено около 600 источников [16], которые были отождествлены с NVSS.

Средняя величина двухчастотного спектрального индекса $\alpha_{3.94}^{1.4}$ для них составила -0.44 . У половины из этих источников оказался стандартный степенной спектр, причем у 30% объектов спектр становится круче с увеличением частоты. Наблюдается уплощение двухчастотного спектрального индекса $\alpha_{3.94}^{1.4}$ при более слабых плотностях потока, как отмечалось и в работе [15], что может быть связано с уменьшением доли источников FR II-типа.

3.1. Спектральные индексы RCR-источников и новые данные

С появлением более чувствительных по плотности потока обзоров TGSS и GLEAM появилась

возможность уточнить спектры ярких источников в низкочастотной области, а также более уверенно определить спектры у половины RCR-источников, для которых данные по плотности потока имелись только на 1.4 и 3.94 ГГц.

Для построения спектров источников использовались средние величины из полученных двумя способами интегральных плотностей потоков на частоте 3.94 ГГц, данные из обзоров VLSSr, GLEAM, TGSS, TXS [34], NVSS, FIRST, GB6, а также информация из баз данных CATS [35, 36], Vizier [37] и NED.

Теперь осталось 13% объектов, плотности потока которых известны на двух частотах. Они отсутствуют в каталогах VLSSr, GLEAM, TGSS и GB6, поскольку их поток слабее принятого в каталогах порога обнаружения для надежно выделяемых источников. Для ряда таких источников при визуальном контроле на картах обзоров обнаруживалось заметное уярчение. Для построения их спектров мы привлекали оценки плотности потока по радиокартам обзоров VLSSr (74 МГц), TGSS (150 МГц) и GB6 (4.85 ГГц), иногда используя еще и GLEAM (полоса 70–231 МГц). Эти оценки произведены с помощью функций Aladin [38, 39]. Для работы с таблицами использовалось программное приложение TOPCAT [40].

Для источников списка с помощью программного пакета `spg` [23] произведена аппроксимация спектров полиномами первой или второй степени и вычислены спектральные индексы $\alpha_{3.94}$ и $\alpha_{0.5}$ на частотах 3.94 и 0.5 ГГц соответственно.

Сравним, как по мере появления новых данных в других частотных диапазонах менялось распределение спектральных индексов источников, обнаруженных в обзорах «Холод.»

В публикации Соболевой и др. [14] для построения спектров источников каталога RCR привлекались обзоры VLSS и GB6. Новые низкочастотные обзоры GLEAM и TGSS были использованы при следующей итерации по построению спектров для RCR-источников из интервала $2^h < RA < 7^h$ [22]. Продолжая ее здесь, мы приводим результаты по всем RCR-источникам из интервала $2^h < RA < 17^h$ и сравниваем спектральные индексы, вычисленные по спектрам, где при аппроксимации использовались данные обзоров GLEAM и TGSS (мы здесь называем их «новыми»), и индексов, полученных без привлечения данных GLEAM и TGSS («старые»).

На Рис. 3 приведены распределения спектральных индексов 830 RCR-источников на частотах 0.5 (Рис. 3а) и 3.94 ГГц (Рис. 3б), причем «новые» спектральные индексы показаны серыми барами, а «старые» — черной ломаной линией. Гистограммы показывают заметное отличие для «старых» и

«новых» индексов, что мы связываем с уточнением радиоспектров для тех источников, у которых данные по потоку прежде были известны только на двух частотах, и спектр обычно аппроксимировался прямой. Так, количество спектров, которые лучше всего аппроксимируются прямой линией (S-спектры)¹ уменьшилось с 73% («старые» спектральные индексы) до 35% («новые» спектральные индексы).

Разбив источники на группы с ультракрутыми (USS, Ultra Steep Spectrum; $\alpha \leq -1.0$), крутыми (SS, Steep Spectrum; $-1.0 < \alpha \leq -0.5$), плоскими (FS, Flat Spectrum; $-0.5 < \alpha \leq 0.1$) и инверсными (IS, Inverted Spectrum; $0.1 < \alpha$) спектрами, мы получили следующий состав на частоте 0.5 ГГц (Рис. 3а) с медианной величиной спектрального индекса для каждой группы:

USS — 2%, $\alpha = -1.02$;

SS — 68%, $\alpha = -0.74$;

FS — 21%, $\alpha = -0.32$;

IS — 9%, $\alpha = 0.38$,

и на частоте 3.94 ГГц (Рис. 3б):

USS — 14%, $\alpha = -1.12$;

SS — 52%, $\alpha = -0.77$;

FS — 24%, $\alpha = -0.28$;

I — 10%, $\alpha = 0.42$.

Статистика для других типов спектров также изменилась с добавлением данных обзоров GLEAM и TGSS.

У 10% источников максимум спектра приходится на частоты 0.1–12 ГГц. Такие спектры наблюдаются у CSS (Compact Steep Spectrum), GPS (Gigahertz Peak Spectrum) и HFP (High Frequency Peak). Семь объектов из них, или 8%, есть в опубликованных списках таких источников.

И еще у 3% источников есть максимум в спектре, но спектр имеет более сложную форму. Он образован наложением степенного спектра на низких частотах на спектр с самопоглощением на частотах 0.5–12 ГГц. Источники с таким радиоспектром обозначены в Таблице 1 символом «с.»

В нашем списке 3% источников с upturn-спектрами, где в спектрах наблюдается минимум, а затем рост на частотах от нескольких гигагерц.

3.2. Спектральные индексы и плотность потока

Полные по плотности потока выборки радиоисточников могут включать разные популяции объектов в зависимости от того, на какой частоте и с каким пределом по плотности потока они получены,

¹Мы сравнивали спектральные индексы на 0.5 и 3.94 ГГц.

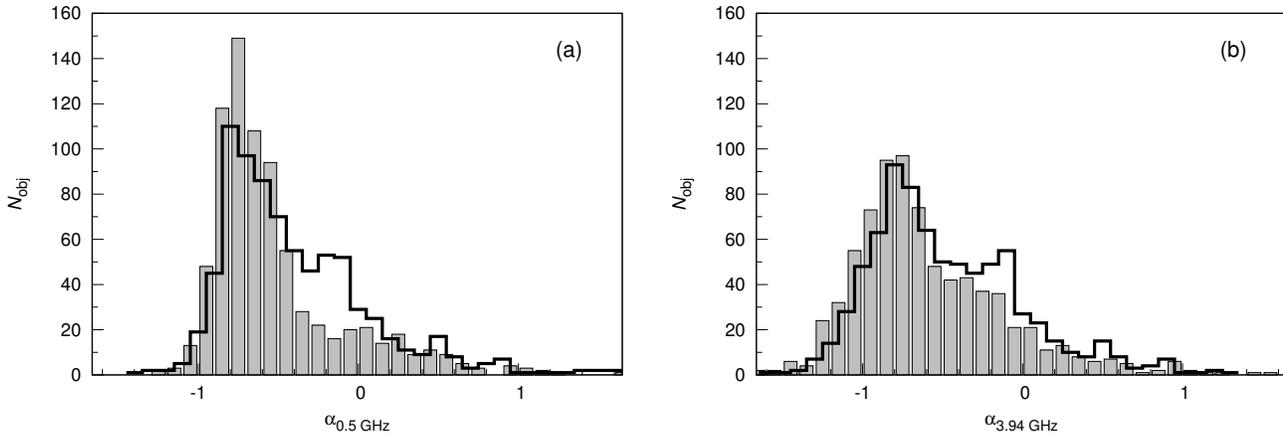


Рис. 3. Распределение спектральных индексов 830 источников каталога RCR для интервала прямых восхождений ($2^{\text{h}} < \text{RA} < 17^{\text{h}}$) на частотах 0.5 ГГц (a) и 3.94 ГГц (b). Серые бары обозначают спектральные индексы, определенные по спектрам, построенным с привлечением данных из обзоров GLEAM и TGSS, черная ломаная линия — без них.

поскольку из-за разного красного смещения объектов вклады в интегральный наблюдаемый спектр получаются от различных физических компонентов источника (см. [30], Рис. 2). Если источник наблюдается не по оси джета, то на низких частотах будет доминировать синхротронное излучение от протяженных компонентов. На частотах выше нескольких гигагерц вклад от ядра в излучение становится существенным.

Если выборка подготовлена на 100–300 МГц, то вплоть до больших красных смещений ($4 \leq z \leq 6$) радиоизлучение будет по-прежнему регистрироваться от протяженных компонентов, что позволяет напрямую сопоставлять характеристики. Если выборка производится на частоте от 1 ГГц и выше, то источники со значительным вкладом ядра, которые ориентированы так, что джет направлен по лучу зрения, будут предпочтительнее попадать в выборку, и тем чаще, чем больше их красное смещение. Отметим, что большинство источников, известных на $z > 4$, являются компактными и часто демонстрируют изогнутый или с пиком спектр, что свидетельствует о молодости источника или активности, связанной со слиянием галактик. Поскольку наша выборка произведена на частоте около 4 ГГц, то в ней должна быть существенная доля источников со значительным вкладом ядра в интегральный радиоспектр.

Рассмотрим на гистограммах (Рис. 4), как меняются распределения двухчастотных спектральных индексов для RCR-источников в диапазоне частот от 74 МГц до 4.85 ГГц. На каждом графике Рис. 4 приведены по две гистограммы с распределением двухчастотных индексов: для более низких частот гистограмма представлена барами серого цвета, а для более высоких частот — черной ломаной

линией. Самое компактное распределение индексов получилось для двухчастотного спектрального индекса $\alpha_{1.4}^{0.15}$, а наибольший разброс — для $\alpha_{4.85}^{3.94}$.

Сравнивая эти графики, можно предположить, как меняется вклад разных физических компонентов радиоисточника в интегральный спектр. Так, на 74–150 МГц работает, скорее всего, синхротронное самопоглощение в ударной области. Для диапазона частот 0.15–1.4 ГГц основной вклад дает синхротронное излучение протяженных компонентов, причем физические условия в них, видимо, достаточно близки. На частотах 1.4–3.94 ГГц добавляется излучение ядра, а на частотах 3.94–4.85 ГГц его вклад становится более существенным. На это еще накладывается как разная мощность источников, так и их эволюционный статус — начальная фаза, где джет начинает пробиваться через окружающую среду, далее сформировавшийся джет, где его подпитка ядром еще продолжается, и relic-фаза, где подпитка джета уже прекратилась.

Чтобы выявить возможную зависимость между спектральным индексом и интегральной плотностью потока, на которую указывалось в работах [15, 16] для источников RC-каталога, мы рассмотрели различные комбинации спектральных индексов и плотностей потока на разных частотах для 830 источников RCR-каталога (Рис. 5). На графиках линейная регрессия по всем точкам для источников с крутыми спектрами, SS, ($\alpha \leq -0.5$) показана верхней серой штриховой линией, для источников с плоскими спектрами, FS, ($\alpha > -0.5$) — нижней штриховой линией. Отметим, что SS-источники составляют 70%, если для разделения на группы мы используем $\alpha_{0.5}$, и 66%, если использовать $\alpha_{3.94}$.

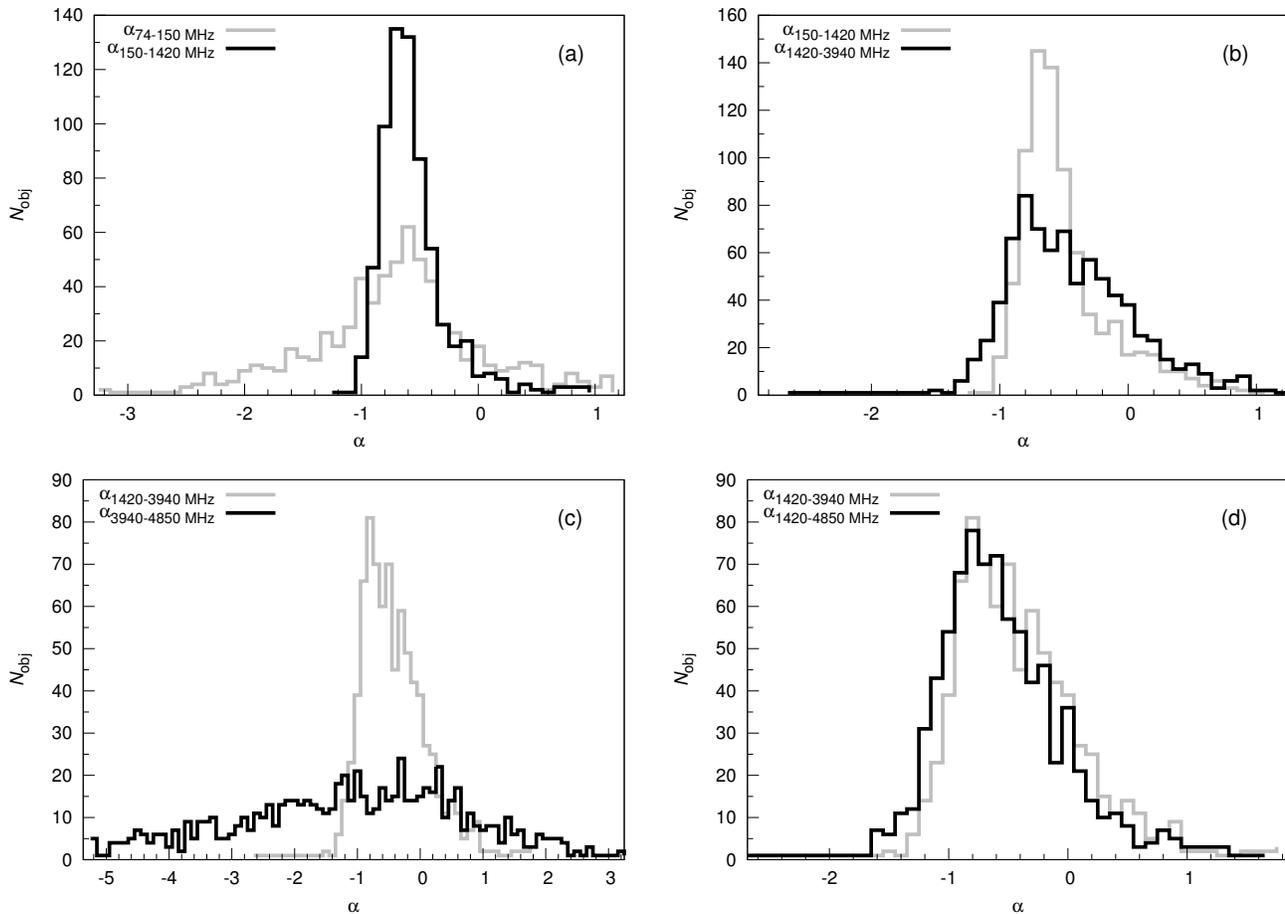


Рис. 4. Распределение двухчастотных спектральных индексов для источников каталога RCR. На графике (а) приведены индексы, вычисленные по величинам плотности потока на частотах 74 и 150 МГц (α_{74-150}), а также на 150 и 1420 МГц ($\alpha_{150-1420}$); (b) — $\alpha_{150-1420}$ и $\alpha_{1420-3940}$; (c) — $\alpha_{1420-3940}$ и $\alpha_{3940-4850}$; (d) — $\alpha_{1420-3940}$ и $\alpha_{1420-4850}$.

Наблюдается бóльшая концентрация источников с крутыми спектрами в определенной области графика на всех рисунках по сравнению с источниками с плоскими спектрами, что может указывать на близкие физические условия в протяженных компонентах, излучение которых доминирует у источников с крутыми спектрами.

Мы определили коэффициенты корреляции Пирсона r для пар «десятичный логарифм интегральной плотности потока—спектральный индекс.» Были рассмотрены комбинации между $\alpha_{0.5}$ и плотностями потока на частотах 0.15, 1.4, 3.94 и 4.85 ГГц и, соответственно, для $\alpha_{3.94}$ как для источников с крутыми, так и с плоскими спектрами. Коэффициент корреляции для пары $\alpha_{0.5}$ и $F_{0.15}$ (Рис. 5а) для источников с крутыми спектрами составил $r = -0.42$ и для источников с плоскими спектрами $r = -0.50$. Здесь с ростом плотности потока наблюдается укрупнение радиоспектра.

Для других пар параметров коэффициенты корреляции оказались от 0.2 и меньше. Так, для $\alpha_{0.5}$ и $F_{1.4}$ (Рис. 5b) r составляет -0.22 и -0.09 для

источников с крутыми и плоскими спектрами соответственно; для $\alpha_{3.94}$ и $F_{3.94}$ (Рис. 5с) $r = -0.14$ и $r = -0.15$; для $\alpha_{3.94}$ и $F_{4.85}$ (Рис. 5d) $r = -0.12$ и $r = -0.13$.

Также мы сравнили распределение интегральных плотностей потока для этих двух групп источников. На Рис. 6а и 6b приведены гистограммы с распределением $F_{0.15}$ и $F_{1.4}$, где разделение на SS- (серые бары) и FS-группы (черная линия) произведено по $\alpha_{0.5}$, а на Рис. 6с и 6d — гистограммы с распределением $F_{3.94}$ и $F_{4.85}$ с разделением на SS- и FS-источники произведено по $\alpha_{3.94}$.

В целом FS-источники слабее по плотности потока, чем SS-источники. Интересно, что на Рис. 6с и 6d как максимумы гистограмм (около 20 мЯн), так и вид распределений приблизительно совпадают для SS- и FS-групп. На частоте 1.4 ГГц максимум (Рис. 6b) для SS-источников смещается относительно максимума для FS-источников и находится на 40–50 мЯн. Существенная разница по положению максимума распределения $F_{0.15}$ между

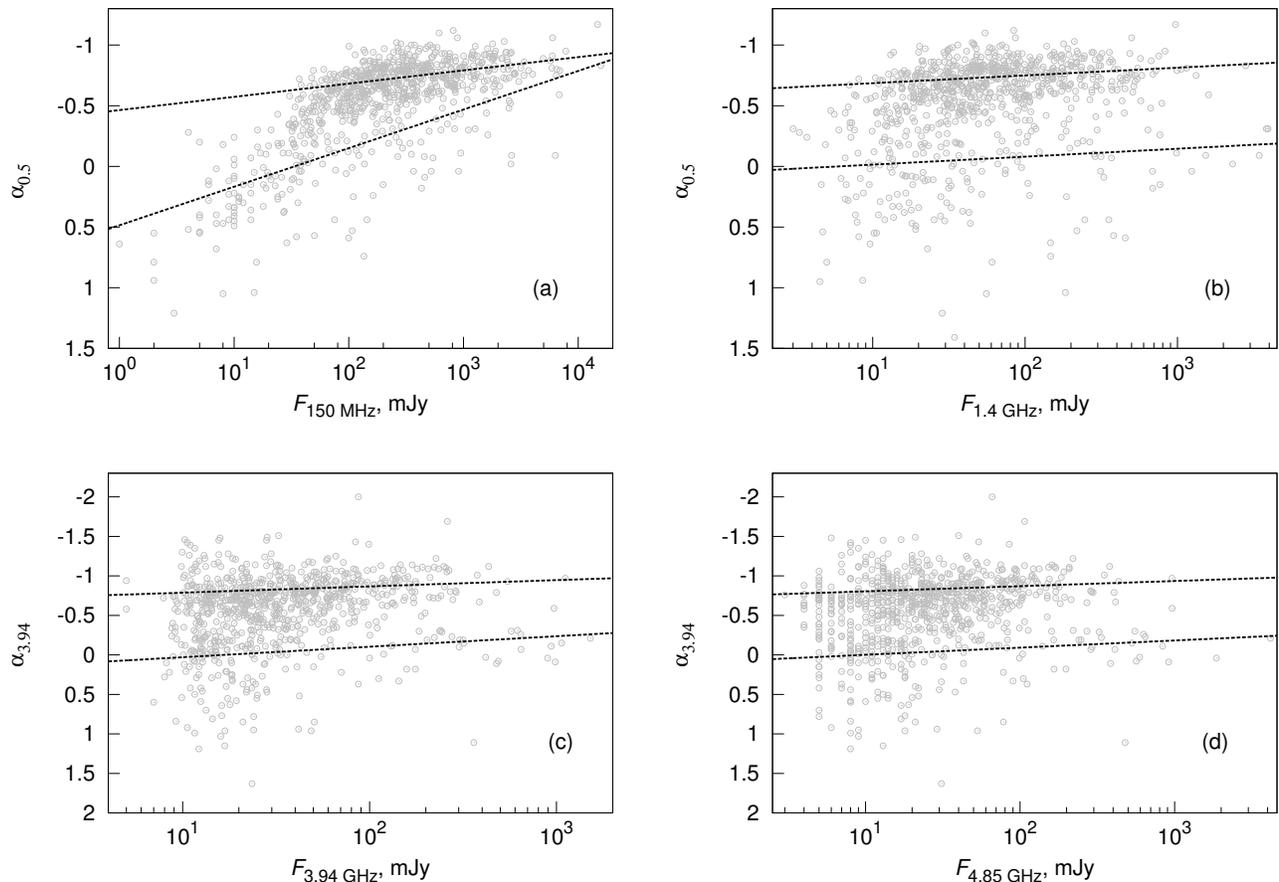


Рис. 5. Диаграмма рассеяния спектральных индексов на частотах 0.5 (а, б) и 3.94 ГГц (с, д) для плотностей потока на 150 МГц (а) и 1.4 ГГц (б), 3.94 ГГц (с), 4.85 ГГц (д) для 830 источников каталога RCR. Верхняя штриховая линия — линия регрессии для источников с крутыми спектрами ($\alpha \leq -0.5$), нижняя — для источников с плоскими спектрами.

SS- и FS-источниками заметна на 0.15 ГГц. Полагая, что это связано с разной яркостью протяженных компонентов у SS- и FS-источников, причем на частотах 3.94–4.85 ГГц, где превалирует вклад от ядерной части, такого заметного различия нет.

Сравнивая графики на Рис. 5 и 6, можно предположить, что источники с крутыми и плоскими спектрами относятся к разным типам объектов, где энергетика джетов определяется разными типами аккреции. Чтобы проверить это предположение, необходимо привлечь, по крайней мере, данные оптического диапазона для классификации родительских галактик радиисточников.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полоса неба, покрываемая обзорами эксперимента «Холод» 1980–1999 гг., для которой была произведена повторная обработка наблюдательного материала и был получен каталог источников RCR, имеет ширину порядка 40', если определять ее по самым ярким источникам, и протяженность

по прямому восхождению 15^h, что дает площадь (с вычетом 2^m калибровок) порядка 150 □°. Слабые источники ($F_{3.94} \leq 17.5$ мЯн, 30%) регистрируются в 10'-полосе, тогда площадь обзора составляет 40 □°. Соответственно для источников ярче 17.5 мЯн и слабее 35 мЯн (30%) это — 20' и 68 □°, для источников ярче 35 мЯн и слабее 70 мЯн (20%) — 25' и 96 □°. В полосу 20' попадает около трех четвертей от общего количества объектов каталога RCR, или немногим более 600 источников, что совпадает с количеством источников в работе [16].

Завершена обработка участка полосы обзоров в интервале прямых восхождений 2^h < RA < 7^h и получен список источников и их характеристики по осредненным сканам, где фон неба определялся при «сглаживании» окном 80^s. Теперь в каталоге RCR представлены источники из интервала прямых восхождений 2^h < RA < 17^h, где для каждого выделенного радиисточника двумя методами, описанными выше, определены его положение на

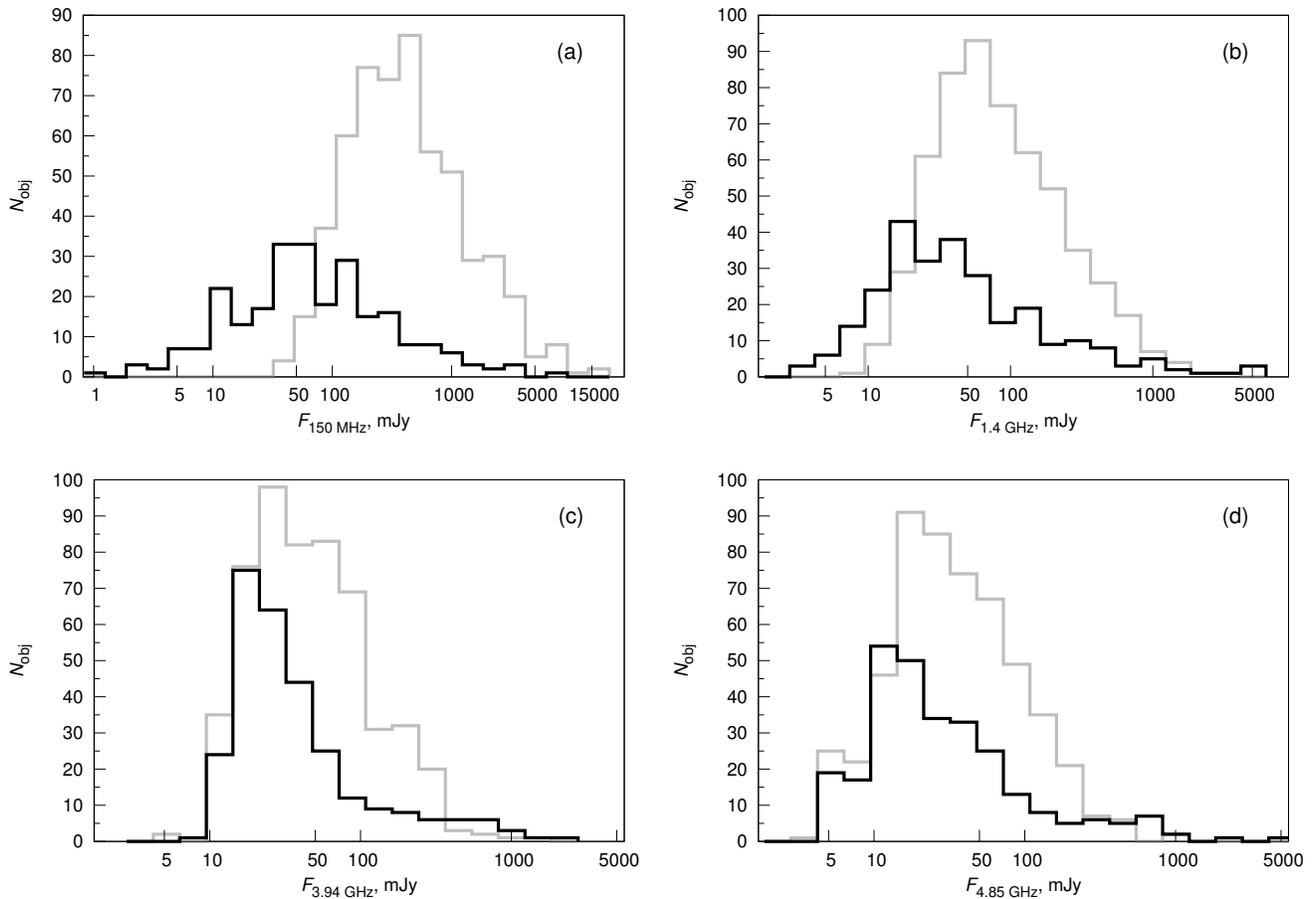


Рис. 6. Распределение интегральной плотности потока для источников с крутыми (серый цвет) и плоскими спектрами (черный цвет): разделение на группы по $\alpha_{0.5}$ для 150 МГц (а) и 1.4 ГГц (б); разделение на группы по $\alpha_{3.94}$ для 3.94 ГГц (с) и 4.85 ГГц (д).

скане (RA) и интегральная плотность потока (F) на частоте 3.94 ГГц.

Для каждого из объектов RCR-каталога построены радиоспектры и вычислены спектральные индексы на 0.5 и 3.94 ГГц, а также двухчастотные спектральные индексы на 74 и 150 МГц, 1.4, 3.94 и 4.85 ГГц. Для построения спектров привлекалась вся известная информация по интегральным плотностям потоков на разных частотах, доступная с помощью ресурсов CATS, Vizier и NED, а также оценочные значения плотностей потоков, полученные по картам обзоров VLSSr, GLEAM, TGSS и GB6. Прежде всего, эти оценочные значения были полезны при построении спектров источников, имеющих данные о плотностях потоков только на двух частотах: 3.94 ГГц (RCR) и 1.4 ГГц (NVSS). В основном это источники с плотностями потоков менее 30 мЯн. Порядка 80% из них имеют плоские спектры ($\alpha > -0.5$).

По результатам работ Соболевой и др. [15, 16] у RC-источников, разбитых по плотности потока на 3.94 ГГц на четыре группы — 5–10 мЯн,

10–20 мЯн, 20–30 мЯн и ярче 30 мЯн, медианная величина двухчастотного спектрального индекса $\alpha_{3.94}^{1.4}$ составила -0.09 , -0.22 , -0.45 и -0.65 соответственно. Для каталога RCR у таких же групп источников медианные величины $\alpha_{3.94}^{1.4}$ получились соответственно следующие: -0.21 , -0.41 , -0.51 и -0.61 . Сохранилась тенденция уплощения спектрального индекса при более слабых плотностях потока и для новых определений $F_{3.94}$ по более обширному наблюдательному материалу обзоров 1980–1999 гг., которая может быть связана с уменьшением доли источников FR II-типа [41].

Мы рассмотрели те же шесть типов интегральных радиоспектров, что и в статье Соболевой и др. [14]: S, C⁻, C⁺, спектры с максимумом (MPS, GPS, HFP) и с минимумом (upturn) на частотах 2–5 ГГц, а также спектры более сложной формы (hill). Оказалось, что при добавлении данных GLEAM и TGSS количество спектров, аппроксимируемых прямой, уменьшилось с 73% до 35%, число C⁻-спектров увеличилось с 19% до 29%,

а C^+ — с 2% до 23%, количество источников со спектрами, имеющими максимум, — с 4% до 10%, с *upturn*-спектрами — увеличилось примерно с 0.01% до 3%.

Эти изменения связаны с наблюдательной селекцией. Для ее учета при классификации источников нашего списка по радиоспектру явно не хватает данных по плотности потока в высокочастотной области от 5 ГГц и выше.

Чтобы выявить возможную зависимость между спектральным индексом и интегральной плотностью потока, мы вычислили коэффициенты корреляции для различных комбинаций спектральных индексов и плотностей потока на разных частотах. Обнаружена заметная корреляция между $\alpha_{0.5}$ и $F_{0.15}$ (Рис. 5а) как для источников с крутыми спектрами, так и для источников с плоскими спектрами. С ростом плотности потока радиоспектр становится круче. Однако на других частотах корреляция между интегральной плотностью потока и спектральным индексом отсутствует.

В целом FS-источники слабее по плотности потока, чем SS-источники. Эта разница особенно заметна на частоте 150 МГц. Полагаем, что это связано с разной яркостью протяженных компонентов у SS- и FS-источников, причем на частотах 3.94–4.85 ГГц, где превалирует вклад от ядерной части, такого заметного различия нет. Можно предположить, что источники с крутыми и плоскими спектрами относятся к разным типам объектов с разной энергетикой джетов, что может определяться разным типом аккреции. Однако окружение и эволюционная стадия радиоисточника также могут оказывать влияние. Чтобы проверить это предположение, необходимо привлечь данные и других диапазонов для классификации родительских галактик и самих радиоисточников.

Для полного анализа спектров объектов в глубоких дециметровых обзорах неба (TGSS, NVSS, FIRST) чувствительность на сантиметровых волнах должна быть на 1–2 порядка выше, чем в дециметровых обзорах, т.е. не хуже десятков микроантенных. Такую чувствительность в сантиметровом диапазоне пока удалось реализовать только на очень малых площадках неба. По этой причине материалы обзоров эксперимента «Холод» полученные в 1980–2000 гг., еще продолжают оставаться актуальными.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ No. 17-07-01367.

Работа выполнялась при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракт 14.518.11.7054).

В исследованиях использовались средства доступа к каталогам VizieR, база данных SIMBAD (CDS, Страсбург, Франция), а также база данных внегалактических объектов NED (NASA/IPAC Extragalactic Database), поддерживаемая лабораторией JPL Калифорнийского технологического университета по контракту с NASA.

Авторы выражают глубокую признательность рецензенту за высказанные замечания, которые существенно улучшили текст статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu. N. Pariiskii and D. V. Korolkov, *Itogi Nauki i Tekhniki Seriya Astronomiia* **31**, 73 (1986).
2. A. B. Berlin, E. V. Bulaenko, V. Y. Golnev, et al., *Soviet Astronomy Letters* **7**, 161 (1981).
3. Y. N. Parijskij and D. V. Korol'kov, *Astrophysics Space Physics Reviews* **5**, 39 (1987).
4. Y. N. Pariiski, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **87**, 1 (1991).
5. Y. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **98**, 391 (1993).
6. O. P. Zhelenkova, N. S. Soboleva, E. K. Majorova, and A. V. Temirova, *Astrophysical Bulletin* **68**, 26 (2013).
7. K. Meisenheimer, H.-J. Roser, P. R. Hiltner, et al., *Astron. and Astrophys.* **219**, 63 (1989).
8. M. Krause, P. Alexander, J. Riley, and D. Hopton, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **427**, 3196 (2012).
9. J. J. Harwood, M. J. Hardcastle, and J. H. Croston, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **454**, 3403 (2015).
10. M. J. Hardcastle, *ASP Conf. Series* **407**, 121 (2009).
11. N. N. Bursov, N. E. Gol'neva, N. M. Lipovka, et al., *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii* **63**, 50 (1989).
12. N. N. Bursov, A. V. Chepurinov, N. M. Lipovka, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **101**, 447 (1993).
13. N. N. Bursov, N. M. Lipovka, N. S. Soboleva, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **42** (1996).
14. N. S. Soboleva and A. V. Temirova, *Astronomy Reports* **45**, 935 (2001).
15. N. S. Soboleva, N. N. Bursov, and A. V. Temirova, *Astronomy Reports* **50**, 341 (2006).
16. N. S. Soboleva, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, et al., *Astrophysical Bulletin* **65**, 42 (2010).
17. A. S. Cohen, W. M. Lane, W. D. Cotton, et al., *Astron. J.* **134**, 1245 (2007).
18. W. M. Lane, W. D. Cotton, S. van Velzen, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **440**, 327 (2014).
19. P. C. Gregory, W. K. Scott, K. Douglas, and J. J. Condon, *Astrophys. J. Suppl.* **103**, 427 (1996).
20. N. Hurley-Walker, J. R. Callingham, P. J. Hancock, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **464**, 1146 (2017).
21. H. T. Intema, P. Jagannathan, K. P. Mooley, and D. A. Frail, *Astron. and Astrophys.* **598**, A78 (2017).

22. O. P. Zhelenkova, N. S. Soboleva, A. V. Temirova, and N. N. Bursov, *Astrophysical Bulletin* **72**, 150 (2017).
23. O. V. Verkhodanov, *ASP Conf. Series* **125**, 46 (1997).
24. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astron. J.* **115**, 1693 (1998).
25. E. K. Majorova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 78 (2002).
26. G. Miley and C. De Breuck, *Astron. Astrophys. Rev.* **15**, 67 (2008).
27. E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, and A. V. Temirova, *Astrophysical Bulletin* **70**, 33 (2015).
28. O. P. Zhelenkova and E. K. Majorova, *Astrophysical Bulletin* **71**, 14 (2016).
29. R. A. Laing and J. A. Peacock, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **190**, 903 (1980).
30. L. M. Ker, P. N. Best, E. E. Rigby, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **420**, 2644 (2012).
31. E. K. Mahony, R. Morganti, I. Prandoni, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **463**, 2997 (2016).
32. I. H. Whittam, J. M. Riley, D. A. Green, and M. J. Jarvis, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **462**, 2122 (2016).
33. G. Calistro Rivera, W. L. Williams, M. J. Hardcastle, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **469**, 3468 (2017).
34. J. N. Douglas, F. N. Bash, F. A. Bozayan, et al., *Astron. J.* **111**, 1945 (1996).
35. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *ASP Conf. Series* **125**, 322 (1997).
36. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118 (2005).
37. F. Ochsenbein, P. Bauer, and J. Marcout, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **143**, 23 (2000).
38. F. Bonnardel, P. Fernique, O. Bienaymé, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **143**, 33 (2000).
39. T. Boch and P. Fernique, *ASP Conf. Series* **485**, 277 (2014).
40. M. B. Taylor, *ASP Conf. Series* **347**, 29 (2005).
41. B. L. Fanaroff and J. M. Riley, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **167**, 31P (1974).

Study of RCR Catalogue Radio Source Integral Spectra

O. P. Zhelenkova and E. K. Majorova

We present the characteristics of the sources found on the averaged scans of the «Cold» experiment 1980–1999 surveys in the right-ascension interval $2^{\text{h}} < \text{RA} < 7^{\text{h}}$. Thereby, a refinement of the parameters of the RC catalog sources (RATAN Cold) for this interval is complete. To date, the RCR catalog (RATAN Cold Refined) covers the right-ascension interval $2^{\text{h}} < \text{RA} < 17^{\text{h}}$ and includes 830 sources. The spectra are built for them with the use of new data in the range of 70–230 MHz. The dependence between the spectral indices $\alpha_{0.5}$, $\alpha_{3.94}$ and integral flux density at the frequencies of 74 and 150 MHz, at 1.4, 3.94 and 4.85 GHz is discussed. We found that at 150 MHz in most sources the spectral index $\alpha_{0.5}$ gets steeper with increasing flux density. In general, the sources with flat spectra are weaker in terms of flux density than the sources with steep spectra, which especially differs at 150 MHz. We believe that this is due to the brightness of their extended components, which can be determined by the type of accretion and the neighborhood of the source.

Keywords: