

УДК 523.164

## ЭТАЛОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ПОТОКОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНТЕНН РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*В. И. Алтунин, В. П. Иванов, К. С. Станкевич*

Выбрана новая система вторичных эталонных источников, предназначенных для калибровки потоков и определения параметров антенн радиоастрономическими методами в диапазоне частот от 25 МГц до 100 ГГц. Предложенная система позволяет сопоставить шкалы абсолютных величин потоков при наблюдениях в северном и южном полушариях. Рассмотрены спектры источников, принятых за первичные стандарты. Обсуждаются недостатки существующих шкал интенсивности.

К настоящему времени опубликовано более 30 каталогов, насчитывающих в общей сложности около 20000 радиоастрономических объектов\*. Из-за сложности абсолютных измерений, а часто и из-за невозможности их проведения, определение потоков изучаемых объектов делалось путем сравнения их излучения с интенсивностью источников, принятых за этalon. При этом форма спектра, характеризующая физические процессы внутри источника, зависит от вида спектра такого эталона. Табл. 1 дает общую характеристику важнейших каталогов: из нее видно, как велико число калибровочных источников, применяемых в радиоастрономических обсерваториях. По некоторым данным в работах, опубликованных после 1962 г., использовалось более 90 источников сравнения. Среди этого числа лишь немногие имеют достаточно точно измеренное распределение интенсивности и по совокупности параметров могут удовлетворять требованиям, предъявляемым к эталонам.

Еще в 1963 г. Конвей, Келлерманн и Лонг с целью введения единой системы измерения интенсивности дискретных источников провели систематику спектров известных объектов и выбрали ряд источников, спектры которых образовали абсолютную шкалу потоков [1]. Позднее (1969 г.) эта шкала была пересмотрена и введена уточненная шкала KPW [2]. Однако изучение многочисленных объектов, не входящих в шкалы CKL и KPW, красноречиво свидетельствуют о том, что выбор источников в [1] и [2] нельзя считать удовлетворительным. В настоящее время значительно увеличилась информация о характеристиках радиоизлучения небесных объектов, поэтому некоторые источники, ранее рекомендованные для калибровки, теперь оказались непригодными. Некоторые недостатки этих шкал будут обсуждаться ниже.

Точные радиоастрономические методы абсолютных измерений интенсивности дискретных источников в настоящее время реализованы с антennами, имеющими небольшую эффективную площадь. По этой причине большинство абсолютных измерений (на волнах сантиметрового и дециметрового диапазонов все измерения) сделаны только для силь-

\* Огромный экспериментальный материал обобщен в сводном каталоге, включающем 12000 дискретных источников [38].

ных источников Кассиопея-А, Лебедь-А и Телец-А. Среди этой группы особое место занимает самый мощный источник космического радиоизлучения Кассиопея-А, отождествленный с остатком сверхновой второго рода. Из-за благоприятных условий проведения наиболее точных абсолютных измерений потоки Кассиопеи-А известны с погрешностью 3—5% в большей части спектра. Поэтому спектр Кассиопеи-А достаточно хорошо известен и принимается за первичный эталон интенсивности — спектр стандартного источника, который положен в основу абсолютной шкалы потоков. В шкалах СКЛ и КРВ спектр Кассиопеи-А синтезирован по данным, полученным в различные эпохи, в предположении, что вековое уменьшение потока одинаково на всех частотах и составляет 1,1% в год. В последние годы было показано, что временные изменения спектра Кассиопеи-А носят сложный характер: существует частотная зависимость скорости падения потока, временные вариации величины спектрального индекса в целом по спектру и на отдельных участках [3]. Это исключает возможность точного пересчета потоков на другие, тем более на удаленные эпохи. Последнее не отрицает целесообразности применения именно Кассиопеи-А в качестве первичного эталона на частотах ниже 6—8 ГГц, но требует проведения систематических абсолютных измерений по всему спектру за малые промежутки времени, а для точной калибровки по Кассиопее потоков других источников нужно пользоваться данными этих измерений в ту же эпоху.

Таблица 1

Название обзора	Частота, МГц	Предельный поток, ед. п.	Число источников	Калибровочные источники
ARO	3260 408	0,1 0,5		3C 123, 274, 295
BP	1407	0,3	198	3C 147, 196, 289
B1	408	1,0	654	3C 211, 236, 294
B2	408	0,15	328	3C 211, 236, 294
СТА	960	2,4	106	
СТВ	960	2	100	
ДА	1420	2	615	3C 20, 48, 111, 123, 196, 273, 286, 380, 409, 410, 433
NB	3200 81,5	2 1	615 532	3C 33, 295 3C 268.1, 3C 309.1, 3C 390.3, 3C 427.1
H	750 1400	0,5	458	3C 264
OA	600	1,8	120	3C 46, 65, 66, 84, 438, 452,
OB	1415	0,2	2397	3C 103, 111, 119
VRO	610,5	0,8	826	3C 47, 79, 84, 138, 166, 254, 264, 318, 324, 334, 386, 437, СТА 21
NRAO	750 1400 2695 5000	0,4 0,2 0,4 0,05	726	187, 319, 3C 42, 55, 67, 123, 218, 310, 315, 321, 433, 436, 441, 465
3C	159 240 178 408 1410 2695	8 5 9 4 2,5 2,5	471 97 470 1736	3C 19, 41, 48, 123, 286 3C 9, 71, 79, 208, 263, 315, 324, 327, 334, 424 3C 218, 274, 348, 353, 123 0114-21, 0220-42, 05-36 1122-37, 1232-41, 1302-49 1814-51, 3C 218, 274, 353, 409, 444

С 1967 г. регулярно через каждые два года в НИРФИ проводятся абсолютные измерения потоков мощных дискретных источников в диапазоне частот 400 МГц — 10 ГГц методом «искусственной Луны». На графике рис. 1 приведено сравнение спектра Кассиопеи-А, синтезиро-

ванного в шкалах CKL и KPW, а также в работе [4] (шкала BH) со спектром, полученным в НИРФИ в 1973 г. в диапазоне 408—9700 МГц и экстраполированным на частоту 81,5 МГц. По оси ординат отложены отношения потоков Кассиопеи-А из [1, 2, 4] к соответствующим потокам стандартного источника НИРФИ. Все потоки приведены к эпохе 1964,4, для которой построены спектры [2, 4]. Для редукции данных НИРФИ принята средняя по диапазону скорость уменьшения потока 0,9% в год. Как следует из графика, первичный эталон в CKL, KPW, BH имеет завышенные потоки на сантиметровых волнах. Так, на волнах короче  $\lambda = 6$  см это превышение составляет 10—15%. На волнах длиннее 30 см потоки снижаются.

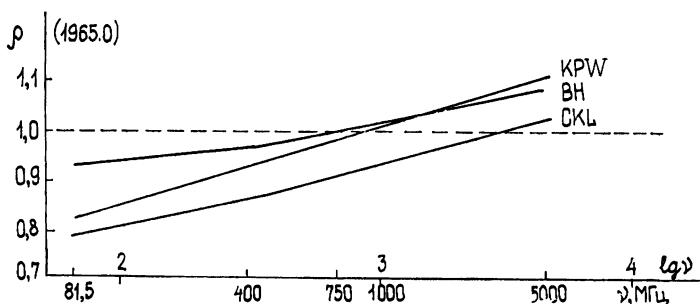


Рис. 1.

Спектры Кассиопеи-А в работах [1, 2, 4] получены интерполяцией прямой данных абсолютных измерений в диапазоне от 38 МГц до 10—15 ГГц. В этих работах использовались данные НИРФИ (например, в [4] из 42 точек 23 взяты из работ НИРФИ) на волнах сантиметрового и дециметрового диапазонов. Отличия от спектра НИРФИ вызваны за счет учета низкочастотных ( $\nu < 400$  МГц) данных, использованных в этих работах при прямолинейной экстраполяции спектра. В ряде работ ранее уже отмечалось, что потоки в шкалах и в диапазоне 38—400 МГц занижены. Так, в работах [5, 6, 41] сравнивались потоки вторичных эталонов, полученные в предположении, что эти источники априори имеют простые (линейные) спектры, и потоки этих же источников, измеренные относительно первичного эталона Кассиопея-А. Считалось, что так можно исключить ошибки из-за нелинейности, разрешения, переменности первичного эталона. В результате было найдено, что названные выше шкалы занижены на частоте 38 МГц на 9% [5], 24% [41], на частоте 81,5 МГц на 22% [6], на частоте 178 МГц на 22% [41]. Абсолютные измерения, проведенные в Харькове на декаметровых волнах [7, 8], также показали, что потоки в шкалах CKL и KPW занижены на низких частотах. В недавней работе [37] получено, что поток Кассиопеи-А на частоте 38 МГц на 25% выше, чем по данным Паркера [39], на основе которых строился спектр Кассиопеи-А в рассматриваемых шкалах [1, 2]. Абсолютные измерения интенсивности нескольких источников с потоками порядка 10 ед. п. на частоте 408 МГц [9], выполненные с помощью интерферометра, в одном из плеч которого находилась антenna с известным усилением, показали, что шкала CKL занижена на этой частоте на 11%. Это подтверждается и нашими данными, согласно которым на этой частоте шкала CKL занижена на 14%, а шкала KPW — на 7%. Из приведенных фактов следует, что по существующим современным данным спектральный индекс Кассиопеи-А в интервале частот 38—400 МГц выше, чем это следует только из данных Паркера ( $\alpha =$

$= 0,716 \pm 0,06$ ) и согласуется с экстраполяцией спектра НИРФИ дециметрового диапазона на эти частоты. Поэтому Кассиопея-А можно применять как первичный эталон и в длинноволновом диапазоне. Общий вид спектра источника дан на рис. 3, где пунктиром отмечен спектр на эпоху 1966 г.

На частотах, больших  $6-8 \text{ ГГц}$ , за первичный эталон целесообразно взять спектр другого мощного источника — Лебедя-А, имеющего меньшие угловые размеры, чем Кассиопея-А. Параметры двух самых сильных дискретных источников Кассиопея-А, Лебедь-А, полученные по данным абсолютных измерений в НИРФИ, приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Первичные калибровочные эталоны

Диапазон частот	Первичный эталон	Спектральный индекс	Поток ед. п.; температура, К	Размер	Поляризация, %
25—10000 $\text{МГц}$	Кассиопея (1973.8)	0,793	$S(1 \text{ ГГц}) = 2783$	4,3'	<1
6—20 $\text{ГГц}$	Лебедь-А	1,241	$S(2 \text{ ГГц}) = 970$	1'40"	<8
Более 10 $\text{ГГц}$	Юпитер		$T(35 \text{ ГГц}) = 142$	<45"	

Из-за больших угловых размеров и интенсивности первичные эталоны не всегда удобны для целей определения параметров антенн и калибровки потоков при относительных измерениях. Для этого необходим другой класс источников, имеющих малые угловые размеры и умеренную интенсивность, — вторичные калибровочные эталоны. Их спектры определяются при непосредственном сравнении с распределением интенсивности у первичных эталонов, получаемым на соответствующую эпоху из абсолютных измерений. Выбор из существующих каталогов источников для вторичных эталонов был сделан на основе следующих требований. Система вторичных эталонов должна обеспечить возможность калибровки в любое время суток, поэтому необходимо, чтобы они были достаточно равномерно распределены по прямому восхождению и видны при достаточно больших углах места (больших  $30^\circ$ ). Для привязки к единой шкале потоков радиоисточников северного и южного полушарий ряд эталонов должен попадать в диапазон склонений  $-20^\circ < \delta < +20^\circ$ . Вторичные калибровочные источники должны иметь малые угловые размеры. Для большинства современных антенн и сфазированных интерферометров достаточно, чтобы угловые размеры эталона не превышали одной минуты дуги. Источники должны иметь постоянный во времени поток радиоизлучения и однородный окружающий фон распределенного космического радиоизлучения. Желательно, чтобы поляризация радиоизлучения эталонных источников была минимальной и не превосходила 10 %. Чтобы было удобно применять их в широком диапазоне частот, спектр должен иметь простую форму. Наконец, последнее требование — достаточная интенсивность на частотах рассматриваемого диапазона. В результате анализа каталогов оказалось, что невозможно удовлетворить всем названным выше требованиям одними и теми же источниками во всем радиодиапазоне от декаметровых до миллиметровых волн, поэтому рассмотрение было проведено по поддиапазонам.

Все вторичные эталоны диапазона от  $200 \text{ МГц}$  до  $6 \text{ ГГц}$  были отобраны в результате полной выборки из каталогов ЗСР [10], ЗС [11] и РКС [12].

Как известно, каталог 3CR [10] полон для источников с потоками  $S$  ( $178 \text{ МГц}$ )  $\geq 8 \text{ ед. п.}$ , т. е. это каталог наиболее сильных радиоисточников в названном диапазоне со склонениями  $\delta \geq -5^\circ$ . Следовательно, выборка из этого каталога гарантирует полноту отбора «сильных» вторичных эталонов, пригодных для калибровки на широтах  $\phi > 40^\circ$ . Okoло 30% источников в 3CR имеют угловые размеры меньше  $1'$ , и у них не было обнаружено переменности интенсивности [13–23]. Из их числа были отобраны «сильные» — с потоками  $S$  ( $1000 \text{ МГц}$ )  $> 10 \text{ ед. п.}$  и однородным фоном в близлежащей области. Таких источников оказалось всего девять, их параметры приведены в табл. 3, а данные о поляризации собраны на графиках рис. 2, построенных по результатам [24–33].

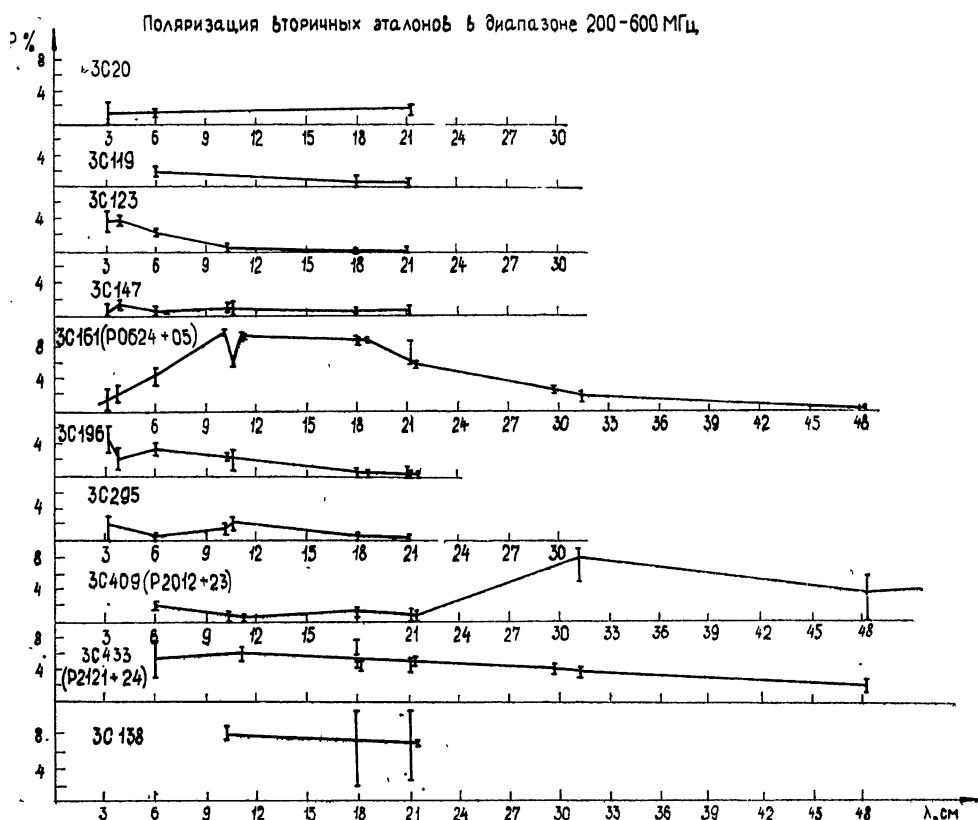


Рис. 2.

Для отбора источников, видимых одновременно в северном и южном полушариях, т. е. попадающих в интервал склонений  $-20^\circ \leq \delta \leq 20^\circ$ , использовался парковский каталог. На частоте  $408 \text{ МГц}$  каталог является полным до потока  $S$  ( $408 \text{ МГц}$ ) =  $2,5 \text{ ед. п.}$  В указанном интервале склонений насчитывается 1230 источников, из них только два — 3С 138 и 3С 161 — имеют поток больше  $10 \text{ ед. п.}$  на частоте  $1000 \text{ МГц}$ . Поэтому были рассмотрены источники с меньшей интенсивностью, за критерий принимались потоки, большие  $4 \text{ ед. п.}$  на частоте  $1410 \text{ МГц}$  ( $S$  ( $1410 \text{ МГц}$ )  $\geq 4 \text{ ед. п.}$ ). Число таких источников равно 58, из них 23 исключаются, так как имеют угловые размеры больше  $1'$ . Хотя 3С 218 (Гидра-А) имеет большие угловые размеры (порядка  $200''$ ), его

Таблица 3

Вторичные эталоны в диапазоне 200—6000 MHz

Источники	PKS	S (1 ГГц), ер. н.	$\alpha$	Отождес- твление	Размер		Координаты (1950.0)		Поляризация максимальная, %
					B—3	C—Ю	R. A.	δ	
3C 20		13,8	0,695	G	42° ± 3"	<18"	00h40m19s.6	51°47'08".9	2
3C 119		9,8	0,667	QSS	<15"	<15"	04h29m07s.88	41°32'08".6	2
3C 123		- 61,8	0,88	G	<15"	27° ± 5"	04h33m55s.24	29°34'14".0	4
3C 138*	P0518+16	10,1	0,66	QSS	<15"	<18"	05h18m16s.46	16°35'26".2	8
3C 147		28,8	0,86	QSS	<15"	<15"	05h38m43s.52	49°49'42".4	1,5
3C 161*	P0624—05	20	0,695		<15"	20" ± 10"	06h24m38s.05	-05°51'13".9	10
3C 196		17,4	0,88	QSS	<15"	<15"	08h09m39s.4	48°22'07".0	6
3C 218*	P0915—11	61,4	1,00	G		Гало 200"	09h15m41s.5	-11°33'06"	1
						Ядро 47"			
3C 295		25,1	0,9	G	<15"	<18"	14h09m33s.64	52°26'13".5	2
3C 409	P2012+23	17,4	1,02		<15"	22" ± 5"	20h12m18s.16	23°25'41".5	8
3C 433		16,2	0,98	G	17" ± 3"	30" ± 5"	21h21m30s.57	24°51'17".9	6

\* — источники, рекомендованные для калибровки в южном полушарии.

целесообразно оставить, так как он используется в качестве основного при калибровках потоков источников южной полусфера. Среди оставшихся у 13 источников обнаружена переменность потока, один (P0055-01) имеет большую степень поляризации ( $P_{2650} > 10\%$ ), три близко расположены от соседних источников и четыре имеют сложный спектр. Таким образом, только 14 источников удовлетворяют всем сформулированным выше требованиям, характеристики их приведены в табл. 3, 4.

Таблица 4  
Вторичные калибровочные эталоны в диапазоне 200—6000 МГц,  
видимые из южного полушария

PKS	Другие каталоги	$S_{1410}$ , ед. н.	Размер В—З	Размер С—Ю	Отожде- ствление	Галактические координаты $l$	$b$	Поляризация максимальная, %
0034—01	3C 15	4,1	<15"		G	115°	—64°	6%
0038+09	3C 18	4,4	17"	41"		119	—53	
0117—15	3C 38	4,6	<15"	38"		154	—76	6,4
0235—19		4,3	32"	<35"		201	—64	7,9
1005+07	3C 237	5,8	<15"	<18"		232	47	2,5
1345+12	4C 12.50	4,9	<15"	<18"	G	347	70	0,6
1416+06	3C 298	5,8	<15"	<18"	QSS	352	61	1,6
1514+07	3C 317	5,2	<15"	30"	G	9	50	1,4
1938—15		6,7	<15"	<25"	QSS	24	—18	6,2
2203—18		6,0	<18"	<40"	G	37	—51	2,9
2313+03		4,3	<1"			83	—51	4,0

Большинство вторичных эталонных источников становятся слишком слабыми на частотах выше 6 ГГц. Лишь три из них имеют величину  $S$  (10 ГГц)  $\geq 5$  ед. н., они приведены в табл. 5.

Многие вышерассмотренные источники на частотах  $\nu < 200$  МГц имеют сложный спектр, поэтому для диапазона 25—200 МГц эталоны были отобраны специально. Выбор проведен в соответствии с общими требованиями из числа источников, потоки которых измерялись в Харькове на  $\nu = 25$  МГц [7, 8] и имели  $S$  (25 МГц)  $\geq 150$  ед. н. Параметры вторичных эталонов для диапазона 25—200 МГц приведены в табл. 6, где звездочкой отмечены источники, рекомендованные для калибровки в южном полушарии.

В миллиметровом диапазоне за первичный эталон обычно принимают Юпитер (табл. 2), имеющий тепловой спектр на этих волнах. Для привязки шкалы потоков миллиметрового диапазона к более низкочастотной в НИРФИ проведены абсолютные измерения интенсивности Кассиопеи-А, Тельца-А и Юпитера на длине волн 8,65 мм по методу «искусственной Луны». Яркостная температура Юпитера на этой длине волны оказалась равной  $T = 137 \pm 5$  К, что находится в хорошем согласии с соответствующей температурой, принятой для планеты в существующих шкалах [40].

Вторичные эталоны миллиметрового диапазона выбраны из числа источников, имеющих плоские спектры, т. е. планет, планетарных туманностей, HII-областей. Большинство (до 90%) источников с положительными спектральными индексами в этом диапазоне являются переменными [23]. Поэтому среди дискретных источников не удалось найти пригодных для калибровки. В последние годы были проведены радиоастрономические исследования всех известных в оптике планетарных туманностей [34]. NGC 7027 — единственный среди этих объектов имеет достаточно большой поток и малые угловые размеры. Из планет Сатурн более остальных подходит для вторичного эталонирования. Тепловой источник DR-21 является наиболее подходящим из HII-областей для

Таблица 5

Вторичные калибровочные эталоны для частот выше 6 ГГц

Источники	$S (10 \text{ ГГц}),$ $\text{эд. н.}$	$\alpha$	Отождес- твление	Размер		Координаты (1950 0)	Поляризация максимальная, %
				B-3	C-Ю		
3C 123	6,18	$0,8 \pm 0,04$	QSS	$\begin{matrix} <15'' \\ <15'' \end{matrix}$	$\begin{matrix} 27'' \\ <15'' \end{matrix}$	04h33m55s 2 05d38m43s.5	$29^{\circ}34'14''0$ $49^{\circ}49'42''$
3C 147	2,88	$0,86 \pm 0,04$	G	Гало 200''	Гало 200''		$<1,5$
3C 218	6,16	$1,00 \pm 0,03$	G	Ядро 47'' 18'' $<30''$	Ядро 15'' 11'' $<30''$	09h15m41s.5 21d05m09s.4 20h37m14s.2	$4$ $>1$ $>1$
NGC7027	6,7						
DR 21	21	0,13					

Таблица 6

Вторичные эталоны в диапазоне 25—200 МГц

Источники	PKS	$S (25 \text{ МГц}),$ $\text{эд. н.}$	$\alpha$	Отождествле- ние	Размер		Координаты (1950 0)	$\delta$
					B-3	C-Ю		
3C 9*	P0017+15	190	0,96	QSS	$<15''$	$<18''$	00h17m49s.85	$15^{\circ}24'15''.6$
3C 28	P0053+26	180	1,22	G	$<25''$	$<30''$	00h53m08s.7	$28^{\circ}08'22''.4$
3C 161*	P0624—05	300	0,69		$<15''$	$20'' \pm 10''$	06h24m45s.05	$-05^{\circ}51'13''.9$
3C 196.1	P0812—02	290	1,18	G	$<15''$	$<30''$	08h12m51s.15	$-02^{\circ}59'16''.0$
3C 218*	P0915—11	215	1,00	G	Гало 200''	Гало 200''	09h15m41s.5	$-11^{\circ}53'08''$
					Ядро 47''	Ядро 47''		
3C 226	P0944+10	170	1,07	G	$<21''$	$33'' \pm 5''$	09h44m38s.20	$10^{\circ}00'08''.0$
3C 238*	P1008+06	150	1,1	G	$<15''$	$<25''$	10h08m28s.11	$06^{\circ}39'27''.8$
3C 317*	P1514+07	250	0,91	G	$<15''$	$30'' \pm 5''$	15h14m16s.47	$07^{\circ}12'16''.6$
3C 409	P2021+23	280	1,02	G	$<15''$	$22'' \pm 5''$	20h21m7s.16	$23^{\circ}25'41''.5$
3C 433	P2121+24	336	0,98	G	$<15''$	$17'' \pm 3''$	21h21m30s.57	$24^{\circ}51'17''.9$

\* — источники, рекомендованные для калибровки в южном полушарии.

применения в качестве вторичного эталона в миллиметровом диапазоне [42].

Полная система первичных и вторичных эталонов приведена в табл. 7. Спектры первичных и наиболее мощных вторичных эталонов показаны на рис. 3. Спектры остальных вторичных эталонов даны в относительных единицах на рис. 4, их потоки взяты из шкал CKL и KPW и приведены к первичному эталону НИРФИ 1973.8. Распределение вторичных эталонов по небосводу представлено на рис. 5, на котором также нанесены изофоты на 178 МГц [35].

Таблица 7

Первичные эталоны	
Диапазон частот	Источник
25 — 200 МГц	Кассиопея-А
200 — 10000 МГц	Кассиопея-А
6 — 20 ГГц	Лебедь-А
10 — 100 ГГц	Юпитер

Вторичные эталоны	
I	<p>Диапазон частот 25—200 МГц</p> <p>Требования к источникам: 1) размеры <math>\theta &lt; 1'</math>                                            2) степенной спектр                                            3) однородный фон                                            4) поток <math>S_{25} \geq 150</math> ед. п.</p> <p>Источники: 3С 9*; 28, 161*; 218*; 226; 238*; 317*; 409; 433.</p>
II	<p>Диапазон частот 200 — 6000 МГц</p> <p>Требования к источникам: 1) размеры <math>\theta &lt; 1'</math>                                            2) однородный фон                                            3) поток <math>S_{1000} \geq 10</math> ед. п.                                            4) поляризация <math>&lt; 10\%</math>                                            5) отсутствие переменности</p> <p>Источники: 3С 20; 119; 123; 138*; 147; 161*; 196, 218*; 295; 3С 409; 433.</p>
III	<p>Диапазон частот 6 — 10<sup>1</sup> ГГц</p> <p>Требования к источникам: 1) размеры <math>\theta &lt; 1'</math>                                            2) однородный фон                                            3) поток <math>S_{10 \text{ ГГц}} \geq 5</math> ед. п.                                            4) поляризация <math>&lt; 10\%</math>                                            5) отсутствие переменности</p> <p>Источники: 3С 123; 147; 218; NGC 7027.</p>
IV	<p>Диапазон частот более 10 ГГц</p> <p>Требования к источникам: 1) размеры <math>\theta &lt; 1'</math>                                            2) поток <math>S_{10 \text{ ГГц}} \geq 5</math> ед. п.                                            3) отсутствие переменности</p> <p>Источники: Сатурн, NGC 7027, DR-21</p>

Предлагаемую систему вторичных эталонов интересно сравнить с источниками, предлагавшимися для калибровки в шкалах CKL и KPW. Из семи предложенных в [1] вторичных эталонов в диапазоне 38—3200 МГц, три имеют угловые размеры более 1'. Источники 3С 123, 3С 161, 3С 196, 3С 409 рассматриваются как калибровочные в настоя-

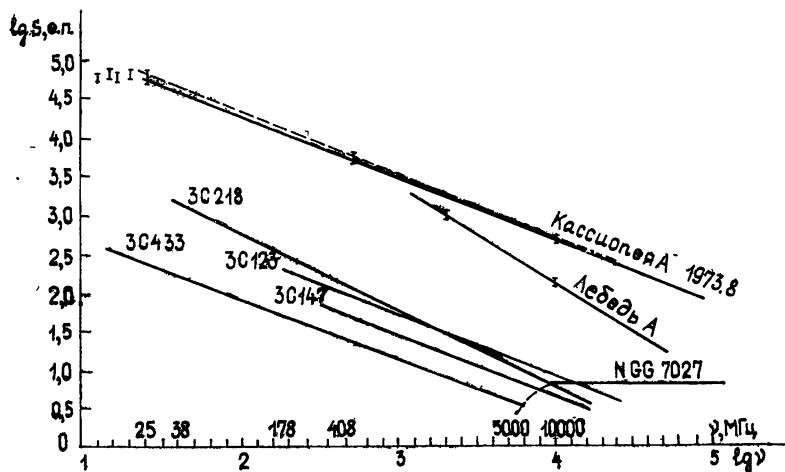


Рис. 3.

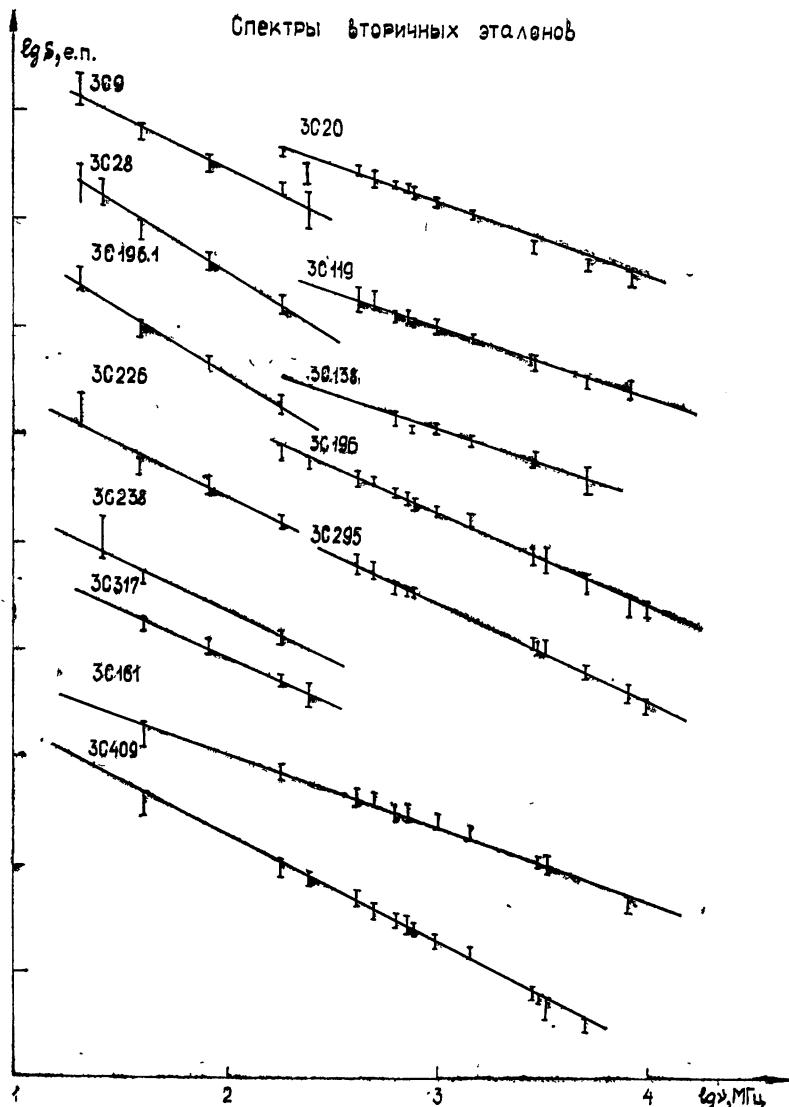


Рис. 4.

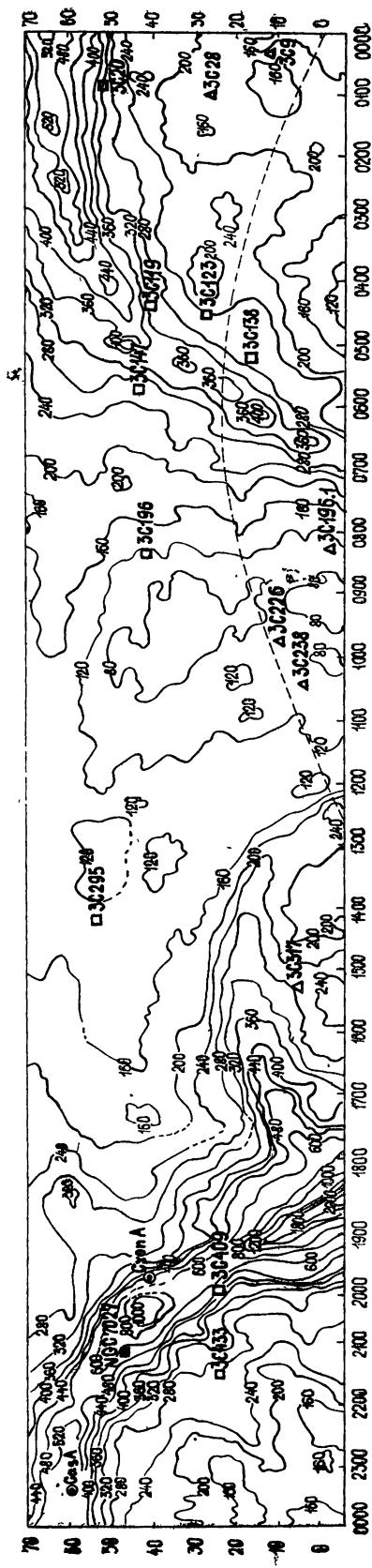


Рис. 5.

щей работе, но ЗС 123 и ЗС 196 предлагается использовать на частотах  $\nu > 200 \text{ МГц}$ , так как на более низких частотах они имеют сложный спектр.

Вторичные эталоны шкалы КРВ, ЗС 274, ЗС 348, ЗС 353 имеют большие угловые размеры, к тому же ЗС 274 является переменным на высоких частотах. Из 20 третичных эталонов шкалы КРВ восемь имеют угловые размеры больше  $1'$ . Лишь ЗС 196.1 целесообразно использовать на низких частотах ( $\nu < 200 \text{ МГц}$ ). Остальные слишком слабы на волнах сантиметрового и дециметрового диапазонов, а на низких частотах не подходят из-за неоднородности окружающего фона или сложности спектра.

В [36] предложена группа калибровочных источников, имеющих линейные спектры в диапазоне 10—5000 МГц, построенных на основании данных [7, 8]. Из 57 источников лишь восемь удовлетворяют поставленным выше требованиям (ЗС 9, ЗС 20, ЗС 28, ЗС 161, ЗС 196.1, ЗС 218, ЗС 226, ЗС 433); они включены в настоящую систему вторичных калибровочных эталонов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. R. G. Conway, K. I. Kellermann and R. J. Long, MNRAS, 125, № 3 (1963).
2. K. I. Kellermann, I. I. K. Pauliny-Toth and P. J. S. Williams, Ap. J., 157, № 1 (1969).
3. К. С. Станкевич, В. П. Иванов, С. А. Пелюшенко, В. А. Торохов, А. Н. Иванникова, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 16, № 5, 786 (1973).
4. J. W. Baars and A. P. Hartsuijker, Astron. Astrophys., 17 (1972).
5. K. I. Kellermann, Ap. J., 140, № 3 (1964).
6. P. F. Scott and J. R. Shakeshaft, MNRAS, 155, № 1 (1971).
7. S. Ya. Braude, O. M. Lebedeva, A. W. Megn, B. P. Ryabov and I. N. Zhouk, MNRAS, 143, № 3 (1969).
8. S. Ya. Braude, O. M. Lebedeva, A. V. Megn, B. P. Ryabov and I. N. Zhouk, Ap. Lett., 5, № 3 (1970).
9. D. V. Wyllie, MNRAS, 142, № 2 (1969).
10. A. S. Bennett, Mem. RAS, 68, 163 (1962).
11. D. O. Edge, J. R. Shakeshaft, W. B. McAdam, J. E. Baldwin and S. Archer, Mem. RAS, 68, 37 (1959).
12. A. Ekers, Austral. J. Phys., Astrophys. Suppl., № 7 (1969).
13. E. B. Fomalont and A. T. Moffet, A. J., 76, № 1 (1971).
14. E. B. Fomalont, A. J., 76, № 6 (1971).
15. C. D. Mac Kay, MNRAS, 145, № 1 (1969).
16. G. H. MacDonald and S. Kenderdine, Ann. C. Nevill, MNRAS, 138, № 3 (1968).
17. K. I. Kellermann and I. I. K. Pauliny-Toth, Ap. J., 152, № 2 (1968).
18. A. Witzel and P. Veron, Ap. Lett., 7, № 4 (1971).
19. Allan T. Moffet, A. J., 72, № 3 (1967).
20. K. I. Kellermann and I. I. K. Pauliny-Toth, A. J., 78, № 10 (1968).
21. W. J. Medd, J. L. Locke and B. H. Andrew, A. J., 73, № 5 (1968).
22. W. A. Dent and G. Kojoian, A. J., 77, № 10 (1972).
23. B. H. Andrew, W. J. Medd, G. A. Harrey and J. L. Locke, Nature, 236, 445 (1972).
24. D. Morris and G. L. Berge, A. J., 69, № 8 (1964).
25. S. V. Sastry, I. I. K. Pauliny-Toth and K. I. Kellermann, A. J., 72, № 2 (1967).
26. H. D. Aller, Ap. J., 161, № 1 (1970).
27. D. Morris and J. B. Whithoak, Austral. J. Phys., 21, № 4 (1968).
28. F. F. Gardner and R. D. Davies, Austral. J. Phys., 19, № 3 (1966).
29. G. L. Berge and G. A. Scielstad, A. J., 77, № 9 (1972).
30. F. F. Gardner, J. B. Whithoak and D. Morris, Austral. J. Phys., 22, № 6 (1969).

31. F. F. Gardner, D. Morris and J. B. Whithoak, *Austral. J. Phys.*, **22**, № 1 (1969).
32. J. M. Bologna, *Ap. J.*, **142**, № 1 (1965).
33. G. L. Berge and G. A. Scielstad, *Ap. J.*, **157**, № 1 (1969).
34. J. Heckethorn, *Astrophys. and Space Sci.*, **11**, № 2 (1971).
35. A. J. Turtle and J. E. Baldwin, *MNRAS*, **124**, № 3 (1962).
36. S. Ya. Braude, A. V. Megn, B. P. Ryabov and I. N. Zhouck, *Astrophys. and Space Sci.*, **8**, № 2 (1970).
37. W. C. Erickson and R. A. Perley, *Ap. J.*, **200**, L83-L87 (1975).
38. R. S. Dixon, *Ap. J. Suppl.*, **20**, № 180 (1970).
39. E. A. Parker, *MNRAS*, **138**, 407 (1968).
40. K. I. Kellermann, *Radio Sci.*, **5**, № 2 (1970).
41. Beverley J. Willis, *Ap. J.*, **180**, № 2 (1973).
42. William A. Dent, *Ap. J.*, **177**, № 1 (1972).

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию  
28 января 1976 г.

## STANDARD SOURCES FOR FLUXES CALIBRATION AND DETERMINATION OF ANTENNA PARAMETERS BY RADIO ASTRONOMICAL METHODS

*V. I. Altunin, V. P. Ivanov, K. S. Stankovich*

A new system of standard sources assigned for calibration and determination of antenna parameters by radio astronomical methods in 25 Mc/s to 100 Gc/s frequency range has been chosen. The system suggested permits to match the scales of absolute values of the fluxes observed in the north and south semispheres. The spectra of sources taken as standard are considered. The shortcomings of existing intensity scales are discussed.