

О ЗАВИСИМОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНДЕКСА  
ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ ОТ  
ПЛОТНОСТИ ПОТОКА

Р. Д. ДАГКЕСАМАНСКИЙ

Поступила 18 марта 1968

Исправлена 4 августа 1968

На основе анализа данных о плотностях потоков радиоисточников из каталога 3CR делается вывод об увеличении спектрального индекса внегалактических радиоисточников при уменьшении их плотностей потоков. Найдены наклоны кривых  $\alpha - \lg S_{178}$  для спектральных индексов, соответствующих различным диапазонам частот.

1. *Введение.* Как известно, подсчеты радиоисточников, проведенные за последние 5—6 лет, главным образом в Кембридже (Англия), свидетельствуют в пользу эволюционной модели Вселенной (см., например, [1]). Однако пока еще трудно сделать однозначный вывод о том, меняются ли с эпохой пространственная плотность радиоисточников или их светимость. Было бы весьма желательным проследить возможные изменения с эпохой и других характеристик радиоисточников, например, их спектральных индексов. Подобные работы были выполнены рядом авторов, которые пытались найти корреляцию между спектральным индексом  $\alpha$  и плотностью потока источников  $S$  на некоторой частоте. Все они дали отрицательный результат. В настоящей работе на основе измеренных плотностей потоков радиоисточников из каталога 3CR на частоте 86 мц ([6, 7]) и данных некоторых других авторов сделана еще одна попытка обнаружения этой зависимости.

2. *Анализ данных наблюдений.* Как уже сообщалось в [7], по измеренным на частоте 86 мц плотностям потоков радиоисточников и данным каталога 3CR [8], приведенным к шкале [2], были опреде-

лены спектральные индексы  $\alpha_1 = \alpha(86-178 \text{ мц})$ . Все источники с галактической широтой  $|b| > 10^\circ$  были разделены на 5 групп по плотностям потоков  $S_{3CR}$ , и для каждой группы найдено среднее значение спектрального индекса  $\alpha_1$ . Построенная таким образом зависимость  $\alpha_1$  от  $S_{3CR}$  (см. рис. 1) обнаруживает заметное увеличение спектрального индекса при переходе к последней группе источников с плотностями потоков  $S_{3CR} < 11 \times 10^{-26} \text{ вт/м}^2\text{ц}$ . Анализ возможных ошибок,

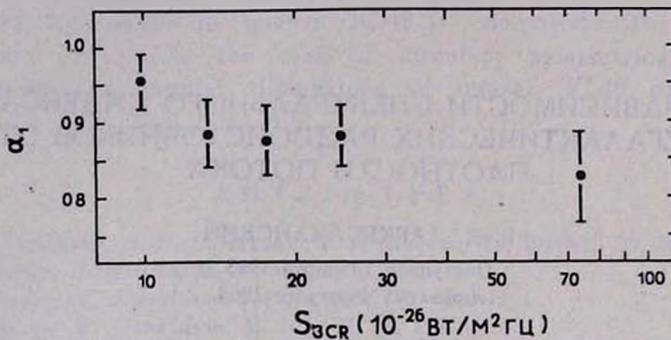


Рис. 1. Зависимость спектрального индекса  $\alpha_1 = \alpha(86-178 \text{ мц})$  от плотности потока  $S_{3CR}$ .

связанных с нелинейностью в калибровке и эффектом „путаницы“ (confusion) на частоте 86 мц, показал, что они не могут объяснить такое увеличение спектрального индекса. В то же время сопоставление плотностей потоков радиисточников, измеренных в каталоге 3CR с плотностями потоков этих же источников по данным каталогов 3C [9] и 4C [10, 11] указывает, по-видимому, на имеющее место в 3CR занижение плотностей потоков слабых радиисточников (см. табл. 1). Однако достаточно точное определение соответствующих

Таблица 1

№№ групп	$S_{3CR}$ в $10^{-26} \text{ вт/м}^2\text{ц}$	$S_{4C}/S_{3CR}$	$S_{3C}/S_{3CR}$
I	$S < 40$	$1.086 \pm 0.009$	$1.052 \pm 0.047$
II	$20 < S < 40$	1.075 .017	1.107 .056
III	$15 < S < 20$	1.061 .012	1.077 .056
IV	$11 < S < 15$	1.079 .012	1.075 .039
V	$S < 11$	1.108 .014	1.183 .030

поправок в плотности потоков  $S_{3CR}$  нам представлялось весьма затруднительным и поэтому в дальнейшем анализе мы использовали

данные о плотностях потоков радиисточников на частоте 178 мц, полученные в обзоре 4С и приведенные к шкале [2].

Помимо работы [6] и каталога 4С в дальнейшем использовались данные обзора радиисточников из каталога 3СR на частотах [750 мц и 1400 мц [3]. На основе этих данных для источников с галактической широтой  $|b| > 10^\circ$  были построены зависимости  $\alpha(\nu_1 - \nu_2)$  от  $S_{178}$  для ряда возможных комбинаций  $\nu_1$  и  $\nu_2$  (см. рис. 2). Средние значения спектральных индексов и среднеквадратичные отклонения их от среднего, найденные для каждой группы источников, приведены в табл. 2\*. Там же приведены значения коэффициентов  $a$  и  $b$  ( $\alpha = a \lg S_{178} + b$ ), найденных по способу наименьших квадратов. При этом условными уравнениями служили соотношения между  $a$  и  $S_{178}$  для каждого источника в отдельности (всего свыше 240 уравнений) и все они были взяты с равными весами. Данные по каждому источнику, использованные в настоящей работе, приведены в [12].

3. *Результаты.* Проведенный анализ показывает, что спектральные индексы радиисточников в среднем увеличиваются с уменьшением плотности потока  $S_{178}$ . Этот факт, на наш взгляд, невозможно объяснить ошибками, связанными с нелинейностью калибровки в отдельных обзорах или с влиянием эффекта „путаницы“. Так, для объяснения зависимости  $\alpha_2 = \alpha(86-1400 \text{ мц})$  от  $S_{178}$  систематической ошибкой в измеренных плотностях потоков на 86 или 1400 мц требуется нелинейность  $\sim 30\%$  при изменении мощности входного сигнала в 10 раз. Такая нелинейность в калибровке не может остаться незамеченной. Не может быть она вызвана и эффектом „путаницы“. Действительно, среднеквадратичная ошибка, обусловленная эффектом „путаницы“, на 86 мц составляет (см. [13]) величину порядка  $2 \times 10^{-26} \text{ вт/м}^2\text{мц}$  (на 1400 мц она оказывается совершенно незначительной), и ожидаемое систематическое завышение плотностей потоков радиисточников, равное  $1/4 \sigma^2/S$  (где  $\sigma$  — среднеквадратичная ошибка, обусловленная эффектом „путаницы“, см. [14]), даже для самых слабых источников составляет величину порядка  $10\%$ .

Следует отметить, что если эта ошибка ( $\sim 30\%$ ) содержится в обзоре на частоте 1400 мц, то необходимо объяснить, почему наблюдается аналогичная зависимость  $\alpha_4 = \alpha(86-750 \text{ мц})$  от  $S_{178}$ , а если считать, что она содержится в обзоре на частоте 86 мц, то

\* Значения  $\alpha_4$  и  $\alpha_3$ , приведенные в табл. 2, не являются независимыми от предыдущих значений  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ .

Таблица 2

№№ групп	Плотность потоков в $10^{-20}$ вт/м <sup>2</sup> ц на частоте 178 мц	$\overline{\lg S}$	Спектральные индексы и их среднеквадратичный разброс				
			$\alpha_1 = \alpha(86-178)$	$\alpha_2 = \alpha(178-750)$	$\alpha_3 = \alpha(750-1400)$	$\alpha_4 = \alpha(86-750)$	$\alpha_5 = \alpha(86-1400)$
I	$S > 40$	1.83	$0.81 \pm 0.05$ $\sigma = 0.25$	$0.76 \pm 0.04$ $\sigma = 0.19$	$0.86 \pm 0.05$ $\sigma = 0.25$	$0.77 \pm 0.04$ $\sigma = 0.18$	$0.79 \pm 0.04$ $\sigma = 0.19$
II	$S < 40$ $\geq 20$	1.40	$0.91 \pm 0.03$ $\sigma = 0.23$	$0.79 \pm 0.03$ $\sigma = 0.19$	$0.84 \pm 0.03$ $\sigma = 0.18$	$0.83 \pm 0.02$ $\sigma = 0.16$	$0.83 \pm 0.02$ $\sigma = 0.16$
III	$S < 20$ $\geq 15$	1.23	$0.86 \pm 0.04$ $\sigma = 0.32$	$0.82 \pm 0.03$ $\sigma = 0.21$	$0.86 \pm 0.03$ $\sigma = 0.23$	$0.83 \pm 0.02$ $\sigma = 0.17$	$0.84 \pm 0.02$ $\sigma = 0.18$
IV	$S < 15$ $\geq 12.5$	1.13	$0.90 \pm 0.05$ $\sigma = 0.34$	$0.89 \pm 0.04$ $\sigma = 0.27$	$0.86 \pm 0.03$ $\sigma = 0.25$	$0.89 \pm 0.03$ $\sigma = 0.23$	$0.88 \pm 0.03$ $\sigma = 0.22$
V	$S < 12.5$	1.04	$0.95 \pm 0.04$ $\sigma = 0.33$	$0.85 \pm 0.03$ $\sigma = 0.21$	$0.88 \pm 0.02$ $\sigma = 0.17$	$0.87 \pm 0.03$ $\sigma = 0.19$	$0.87 \pm 0.02$ $\sigma = 0.16$
	a		$-0.146 \pm 0.080$	$-0.130 \pm 0.058$	$-0.042 \pm 0.056$	$-0.125 \pm 0.050$	$-0.103 \pm 0.047$
	b		$1.079 \pm 0.102$	$0.994 \pm 0.074$	$0.914 \pm 0.071$	$1.005 \pm 0.064$	$0.979 \pm 0.061$

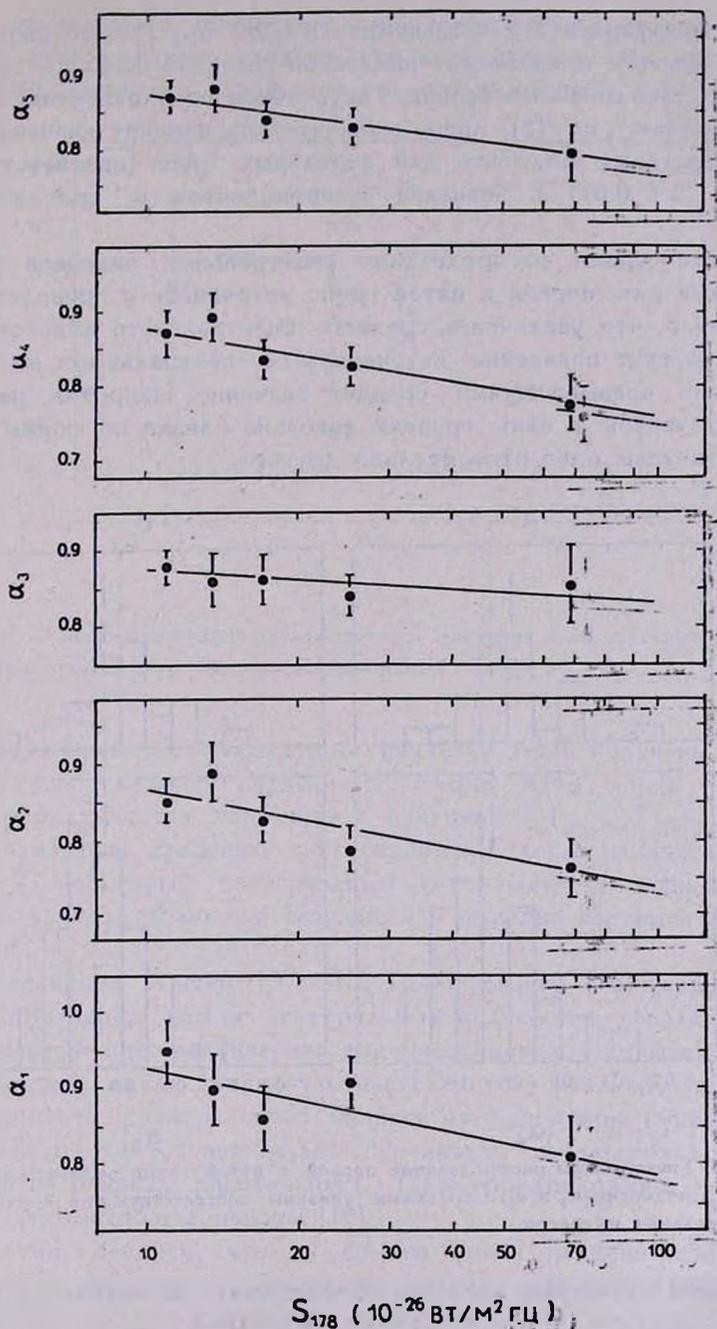


Рис. 2. Зависимости спектральных индексов  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$  (см. табл. 2) от плотности потока  $S_{178}$ . Прямые соответствуют коэффициентам  $a$  и  $b$  ( $a = a \lg S_{178} + b$ ), приведенным в табл. 2.

значение коэффициента  $\alpha$  в зависимости  $\alpha_1$  от  $S_{178}$  должно быть около 0.40, что намного превосходит найденное значение 0.146.

Учет закона распределения источников по плотностям потоков („population-law“, см. [5]) лишь незначительно изменит значения средних спектральных индексов для отдельных групп (соответствующая поправка  $\Delta\alpha < 0.01$ ) и значения коэффициентов  $\alpha$ , приведенные в табл. 2.

Из гистограмм распределения спектральных индексов  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$ , построенных для первой и пятой групп источников и приведенных на рис. 3, видно, что увеличение среднего спектрального индекса происходит не за счет появления источников со спектральными индексами, существенно превышающими среднее значение. Напротив, распределения источников в этих группах довольно близки по форме, но несколько смещены одно относительно другого.

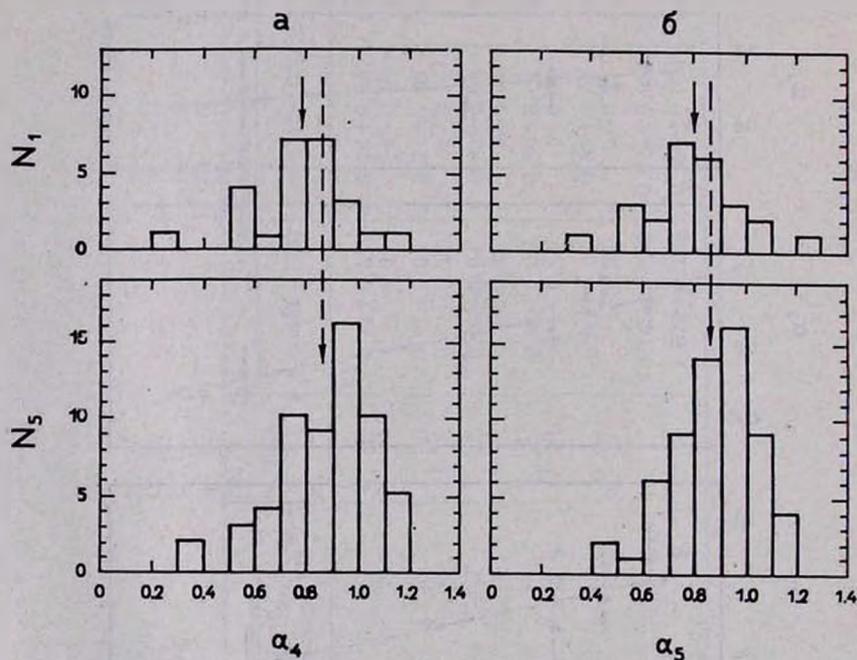


Рис. 3. Гистограммы распределения первой и пятой групп радиожсточников по спектральным индексам  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$ . Стрелками указаны соответствующие средние значения спектральных индексов.

На рис. 4 нанесены значения коэффициента  $\alpha$ , взятые из табл. 2, в зависимости от частоты  $\nu_{\text{ср}}$  ( $\lg \nu_{\text{ср}} = \frac{\lg \nu_1 + \lg \nu_2}{2}$ ). Крестиками здесь обозначены точки, соответствующие спектральным индексам  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$ ,

которые не являются полностью независимыми от остальных трех точек. Из этого рисунка следует, что зависимость  $\alpha (\nu_1 - \nu_2)$  от  $S_{178}$ , по-видимому, несколько ослабевает по мере увеличения  $\nu_{cp}$ .

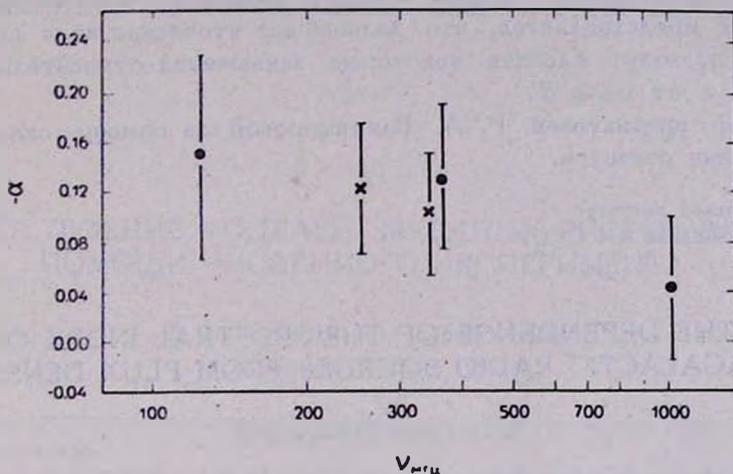


Рис. 4. Зависимость коэффициента  $\alpha$  от  $\nu_{cp}$ . Значения  $\alpha$ , соответствующие спектральным индексам  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$ , обозначены крестиками.

4. *Заключение.* В предыдущих разделах были получены некоторые, пока еще скудные, сведения о функции  $\alpha (\nu_{cp}, S_{178})$ . В общем случае она оказывается связанной с функцией  $\alpha' (\nu_{нзл}, T)$ , характеризующей изменения среднего спектрального индекса радиоисточников с эпохой  $T$ , некоторым интегральным соотношением, зависящим от конкретно выбранной модели Вселенной и функции светимости радиоисточников.

В свое время Хишен [15] и Ю. П. Псковский [16] указывали на наличие корреляции между спектральным индексом и абсолютной радиосветимостью внегалактических радиоисточников. Нам кажется, что эта корреляция могла возникнуть как следствие реально существующей зависимости спектрального индекса от расстояния (эпохи) и эффекта селекции (источники малой светимости наблюдаются преимущественно на близких расстояниях). Такое предположение не противоречит данным табл. 2 работы [16].

Отметим, наконец, что из самого факта наличия зависимости спектрального индекса от плотности потока еще вовсе не следует, что средний спектр излучения радиоисточников меняется с эпохой (точно также и из отсутствия ее еще не следует постоянство среднего спектра радиоисточников). Действительно, из-за космологи-

ческого красного смещения мы наблюдаем для близких и далеких источников разные участки спектров излучения. Следовательно, даже в том случае, если  $\alpha'$  зависит только от  $\nu_{\text{изл}}$  и не зависит от  $T$ , измеряемый спектральный индекс  $\alpha$  будет меняться с плотностью потока. Нам представляется, что дальнейшее уточнение вида функции  $\alpha(\nu_{\text{ср}}, S)$  позволит сделать некоторые заключения относительно зависимости  $\alpha'$  от  $\nu_{\text{изл}}$  и  $T$ .

Автор признателен Р. А. Владимировой за помощь, оказанную в проведении расчетов.

Физический институт  
им. П. Н. Лебедева АН СССР

## ON THE DEPENDENCE OF THE SPECTRAL INDEX OF EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES FROM FLUX DENSITY

R. D. DAGKESAMANSKI

From the analysis of the data for flux densities of sources from 3CR catalogue the growth of mean spectral index is found when flux density is decreasing. The slopes of  $\alpha - \lg S_{178}$  curves are calculated for some frequency diapasons.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. M. S. Longair, M. N., 133, 421, 1966.
2. K. I. Kellermann, Ap. J., 140, 969, 1964.
3. I. I. K. Pauliny-Toth, C. M. Wade, D. S. Heeschen, Ap. J., Suppl. ser., 13, № 116, 1966.
4. R. J. Long, M. A. Smith, P. Stewart, P. J. S. Williams, M. N., 134, 371, 1966.
5. P. J. S. Williams, P. Stewart, M. N., 135, 319, 1967.
6. В. С. Артюх, В. В. Виткевич, Р. Д. Дагкесаманский, В. Н. Кожухов, Астрон. ж., 45, 4, 1968.
7. В. С. Артюх, В. В. Виткевич, Р. Д. Дагкесаманский, В. Н. Кожухов, ДАН СССР, 178, 6, 1968.
8. A. S. Bennett, Mem. R. astr. Soc., 68, 163, 1962.
9. D. O. Edge, W. B. McAdam, J. E. Baldwin, J. R. Shakeshaft, Mem. R. astr. Soc. 68, 37, 1959.
10. J. D. Pilkington, P. F. Scott, Mem. R. astr. Soc., 69, 183, 1965.
11. J. F. R. Gower, P. F. Scott, D. Wills, Mem. R. astr. Soc., 71, 49, 1967.
12. Р. Д. Дагкесаманский, Препринт ФИАН, 64, 1968.
13. В. С. Артюх, В. В. Виткевич, Р. Д. Дагкесаманский, Астрон. ж., 44, 5, 1967.
14. A. S. Bennett, M. N., 125, 75, 1962.
15. D. S. Heeschen, A. J., 65, 346, 1960.
16. Ю. П. Псковский, Астрон. ж., 39, 222, 1962.