


Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Ордена Трудового Красного Знамени
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

Препринт № 55



НАБЛЮДЕНИЯ
НЕКОТОРЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ
НА ВОЛНЕ 3,9 мм

В.А.Ефанов, И.И.Зинченко, А.Г.Кисляков,
И.В.Кузнецов, И.Г.Мойсеев, А.И.Наумов

Горький - 1974 г

А н н о т а ц и я

С помощью РТ-22 КАО АН СССР проведены наблюдения 21 источника космического радиоизлучения на $\lambda = 3,9$ мм. Чувствительность радиотелескопа составляла порядка $2 \cdot 10^{-26}$ Вт/м²Гц. Измерены плотности потока радиоизлучения этих источников.

Abstract

Using RT-22 KAO AN USSR the observations of 21 sources of cosmic radio emission at $\lambda = 3,9$ mm are made. The sensitivity of the radio telescope is of the order of $2 \cdot 10^{-26}$ wt/m²c/s. Radio emission flux densities of these sources are measured.

Чувствительность радиотелескопов, используемых на миллиметровых волнах, пока еще значительно уступает чувствительности инструментов сантиметрового и дециметрового диапазонов волн. Кроме того, большая часть известных источников радиоизлучения обладает отрицательным спектральным индексом. Это две основные трудности для составления каталога источников по наблюдениям на миллиметровых волнах — задачи, актуальность которой несомненна.

В работе [1] приводятся результаты наблюдений на $\lambda = 3,87$ мм некоторых галактических туманностей с помощью РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории [2] и высокочувствительного радиометра со сканированием [3]. В этих наблюдениях удалось реализовать чувствительность радиотелескопа порядка 10^{-25} Вт/м² Гц, так как облучалась только центральная часть зеркала. Точность поверхности и системы наведения РТ-22 [2], по-видимому, достаточны для эффективного использования всего зеркала на $\lambda \approx 4$ мм. В связи с этим была продолжена, начатая в [1], работа по наблюдению источников космического радиоизлучения в 4-х мм диапазоне волн. Как будет видно из дальнейшего, использование всего зеркала РТ-22 позволило реализовать эффективную площадь ~ 100 м² на $\lambda = 3,9$ мм, что дало возможность существенно расширить количество объектов исследования и включить в их число ряд квазаров. Квазары, как переменные радиоисточники, представляют наибольший интерес для наблюдений на миллиметровых волнах, так как переменность квазаров усиливается с уменьшением длины волны.

Наблюдения проводились в августе-сентябре 1973 г. Чувствительность радиометра при наблюдениях составляла $0,5^\circ$ К при $\tau_i = 1$ сек (после пропускания частот ~ 1000 МГц).

Для облучения зеркала на $\lambda = 3,9$ мм использовалась система Кассегрена РТ-22, описанная в [4]. Эффективная площадь антенны определялась путем наблюдений Сатурна. Яркостная температура диска Сатурна принималась равной $(125 \pm 13)^\circ\text{К}$ [5]. Рис. 1 суммирует результаты измерений эффективной площади РТ-22 на $\lambda = 3,9$ мм в зависимости от угла высоты планеты. Как видно из рис. 1 при $h \approx 60^\circ$ эффективная площадь $A \approx 100 \text{ м}^2$. С уменьшением h величина A убывает. Причины этого явления окончательно не выяснены, однако можно предполагать, что одной из основных является дефокусировка вторичного отражателя из-за прогиба тяг при наклоне антенны. Характер появляющихся при опускании зеркала лепестков диаграммы направленности (они хорошо видны на записях радиоизлучения Юпитера) подтверждает это предположение.

Ширина главного лепестка диаграммы направленности, найденная из записей радиоизлучения планет, оказалась равной $48'' \pm 3''$ по углу высоты и $56'' \pm 4''$ по азимуту (на уровне -3 дБ). Принималось вертикально поляризованное излучение.

Значительные трудности встретились при наведении радиотелескопа, обладающего столь узкой диаграммой направленности, на источники. Совместное действие ряда факторов (прогиба тяг, рефракции и т.п.) приводит к сложной зависимости положения диаграммы направленности от угла высоты и азимута. Координаты источников вводятся в системе экваториальных координат (α и δ), что является дополнительным усложнением. В связи с этим перед наблюдениями источников были выполнены наблюдения планет (Юпитера, Венеры, Марса и Сатурна), по которым осуществлялась "привязка" положения диаграммы направленности. Это позволило реализовать наведение радиотелескопа с точностью $\pm 10''$, соответствующей точности сопровождения РТ-22, для источников с $\delta \approx 22^\circ$. При $\delta > 22^\circ$ ошибки в наведении могли быть большими.

Наблюдения источников проводились медленным сканированием по δ (обычно со скоростью $1''/\text{сек}$ и при постоянной времени 32 сек). Диаграмма направленности при этом быстро сканировалась на угол $\sim 5'$ (путем переключения первичных облучателей). Одна серия наблюдений источника вклю-

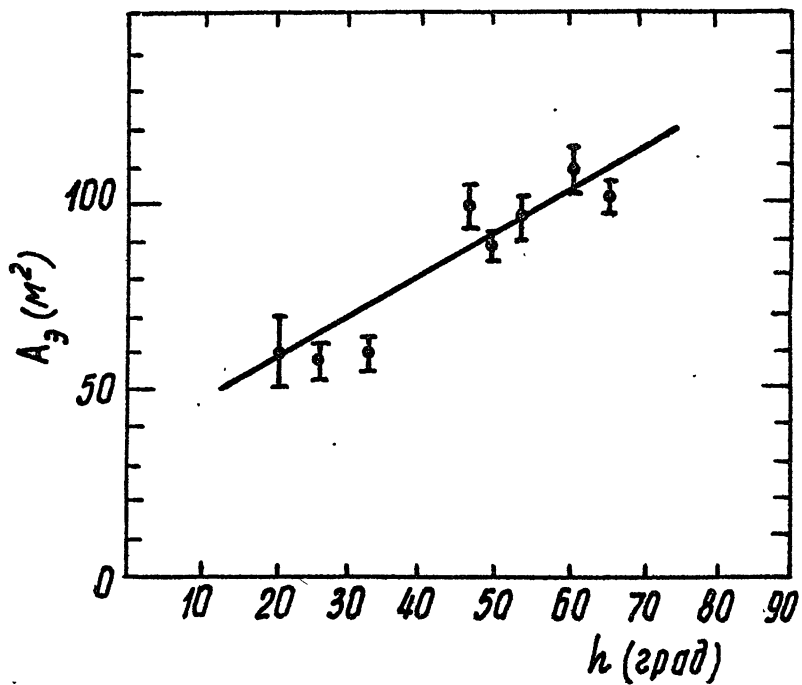


Рис. 1. Зависимость эффективной площади антенны от угла высоты.

чала в себя порядка 10 сканов. В дальнейшем производилось усреднение сканов и определение температуры антенны.

Плотности потоков радиоизлучения источников находились по формуле [6]:

$$S = 2kT_a A_e^{-1} e^{\gamma} q, \quad (1)$$

где k — постоянная Больцмана, T_a — антенная температура, A_e — эффективная площадь антенны, γ — атмосферное поглощение на луче зрения, q — коэффициент, учитывающий несоизмеримость угловых размеров диаграммы направленности и источника. Для источников с гауссовым распределением радиояркостности и при гауссовской аппроксимации диаграммы направленности коэффициент q имеет вид [8]:

$$q = \sqrt{\left[1 + \left(\frac{\varphi_n}{\varphi_a}\right)^2\right] \left[1 + \left(\frac{\theta_n}{\theta_a}\right)^2\right]}, \quad (2)$$

где φ_n , θ_n и φ_a , θ_a — размеры источника и диаграммы направленности в перпендикулярных плоскостях φ и θ .

Атмосферное поглощение радиоволн определялось методом "разрезов" [7] несколько раз в течение суток.

а). Источники с малыми угловыми размерами.

Если размеры источника малы по сравнению с шириной диаграммы направленности, то в формуле (1) $q = 1$. В таблице 1 суммированы измеренные значения потоков этих источников. В большинстве случаев они находятся в согласии с имеющимися данными [8 — 16] с учетом переменности некоторых источников. В то же время имеются и расхождения. Так, измеренная плотность потока галактики NRAO 4295 (1345 + 12) составила $(11,5 \pm 4)$ ед. пот., в то время как экстраполяция спектра этого источника, имеющегося в работе [8], дает величину $S \approx 1$ ед. пот. Возможно, этот результат указывает на возрастание плотности потока этой галактики с уменьшением длины волны в коротковолновой части миллиметрового диапазона. Имеющиеся данные о радиоизлучении сейфертовской галактики 3C71 (NGC 1068) в рассматриваемом диапазоне противоречивы [8, 9]. В работе [9] получена плотность потока $S = (9,5 \pm 3)$ ед. пот. на

Т а б л и ц а 1.

Источник	Дата	Т _a °К	$10^{-26} \frac{S}{\text{вт/м}^2 \text{Гц}}$	Тип ис- точни- ка	Приме- чания	
BL Lac	5.09.73	0,43	13 ± 3			
	7.09.73	0,37	16 ± 4			
0J 287	6.09.73	0,20	9 ± 3			
0422+00		0,11	6 ± 2		среднее по 3-м дням наблюдений	
NRAO 150	25.08.73	0,38	12 ± 3	квazar		
	29.08.73	0,28	11 ± 3	"		
4C39.25	26.08.73	0,18	7 ± 3	"		
	26.08.73	0,52	27 ± 6	"		
3C 273	27.08.73	0,40	21 ± 6	"		
	6.09.73	0,53	26 ± 7	"		
3C 279	26.08.73	0,16	10 ± 4	"		
	27.08.73	0,18	12 ± 5	"		
3C 345	21.08.73	0,25	9 ± 3	"		
	4.09.73	0,30	10 ± 3	"		
2134+00	23.08.73	0,30	16 ± 5	"		
3C 454.3	26.08.73	0,20	11 ± 4	"		
NRAO 4702		0,035	3 ± 2	"		по 4-м дням наблюдений
3C 71		0,084	5 ± 2	Галак- тика		по 3-м дням наблюдений
3C 84	26.08.73	0,19	7 ± 2	"	возможна ошибка в наведении	
3C 120	23.08.73	0,15	7 ± 3	"		
	31.08.73	0,24	11 ± 3	"		
NRAO 4295	31.08.73	0,27	12 ± 4	"		
	1.09.73	0,24	11 ± 4	"		
DR-21	12.09.73	0,18	7 ± 2	НП область	возможна ошибка в наведении	

$\lambda = 3,4$ мм, а в работе [8] источник не был обнаружен на $\lambda = 3$ мм и установлен верхний предел 0,8 ед.пот. Измеренное нами значение плотности потока составляет $\delta = (5 \pm 2)$ ед. пот., однако, нужно отметить, что условия наблюдений были неважными. Измеренная величина плотности потока источника 0422 + 00 в 3-4 раза больше, чем следует из спектра, приведенного в работе [8].

Как уже упоминалось выше, у нас имелись некоторые трудности в точном наведении телескопа при $\delta = 22^\circ$. Видимо, этим обстоятельством обусловлены слишком малые значения потоков, полученные для некоторых источников (DR -21, 3C 84). Поэтому данные наблюдений последних источников мы приводим как предварительные.

б). Протяженные источники.

3C 144

Данные о плотности потока Крабовидной туманности в миллиметровом диапазоне весьма противоречивы [1], [17-20]. Имеются указания на изменение знака спектрального индекса в этом диапазоне, однако ряд авторов [17, 18] их отрицает. В наших наблюдениях мы не измеряли размеров источника и для определения плотности потока воспользовались имеющимися в литературе радиокартами. При размерах источника $4',8 \times 3',5$ [1] величина плотности потока составит (340 ± 75) ед.пот. и при размерах $3',9 \times 2',4$ [18] плотность потока будет (200 ± 45) ед.пот. Эти значения согласуются с линейной экстраполяцией длинноволнового спектра источника. Данные о плотности потока 3C 144, приводимые в [1], представляются более надежными (они получены в более благоприятных условиях наблюдений). Тем не менее, для решения вопроса о поведении спектрального индекса источника нужны тщательные наблюдения на более коротких волнах.

Лебедь А

Радиогалактика Лебедь А состоит из двух небольших (с размером менее ширины диаграммы направленности) компонент, разнесенных примерно на $2'$ [21]. Мы пронаблюдали западную часть источника. Измеренное значение плотности потока составило (10 ± 3) ед., что хорошо согласуется

с имеющимися данными о спектре [9] . Восточная часть не была нами обнаружена.

Центр Галактики (Sgr)

Центр Галактики является очень интересным источником с неожиданно большим потоком на субмиллиметровых волнах [22] . Нами были проведены наблюдения источников Sgr A и Sgr B2 . Однако оценка их плотности потока затруднена неопределенностью размеров источников, которые зависят от длины волны [19] . В литературе имеются различные оценки этих размеров в миллиметровом диапазоне. Так, для Sgr A они меняются от $1,3 \times 1,5$ до $1,7 \times 2,4$ [15] . Соответственно плотность потоков, получающаяся по измеренной нами антенной температуре $0,15^\circ \text{K}$, будет меняться в пределах от (72 ± 30) ед.пот. до (130 ± 55) ед.пот. Меньшее из этих значений хорошо согласуется со спектром источника, заимствованным из работы [15] (рис. 2), и подтверждает вывод о постоянстве спектрального индекса в этом диапазоне. Отметим, что наблюдения района Sgr A на 350 мкм [23, 24] позволили установить лишь верхний предел плотности потока этого источника в 270 ед.пот. [24] .

В оценках размеров источника Sgr B2 имеется еще больший разброс от $0,5 \times 1,25$ [26] до $2,9 \times 3,6$ [15] . Наши оценки размеров источника по δ согласуются скорее с большим из этих значений. Допустив, что размеры источника $2,9 \times 3,6$, мы получили плотность потока (450 ± 160) ед.пот., что противоречит измерениям на 3,55 мм [26], в которых получено значение плотности потока $(72 \pm \frac{11}{14})$ ед.пот. (рис.3). Это расхождение связано с разницей в оценках размеров источника. В работе [26] измерены размеры $0,5 \times 1,25$. Измеренное нами значение S указывает на возрастание плотности потока с уменьшением длины волны в этом диапазоне. Заметим, что в отличие от приведенного выше результата работы [26], оно согласуется с экстраполяцией по закону Рэлея-Джинса данных измерений на 350 мкм [23] .

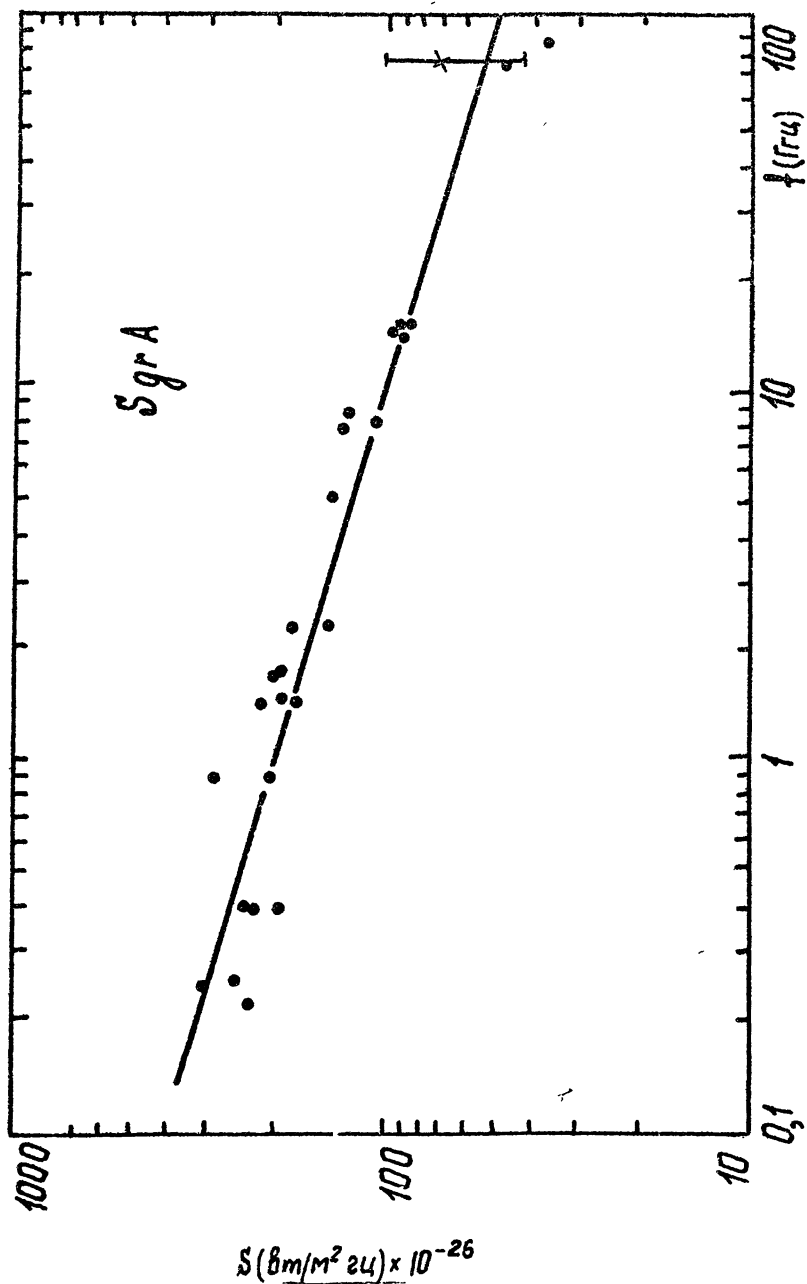


Рис. 2. Спектр Sgr A. График заимствован из работы [15]. Крестиком отмечено полученное нами значение.

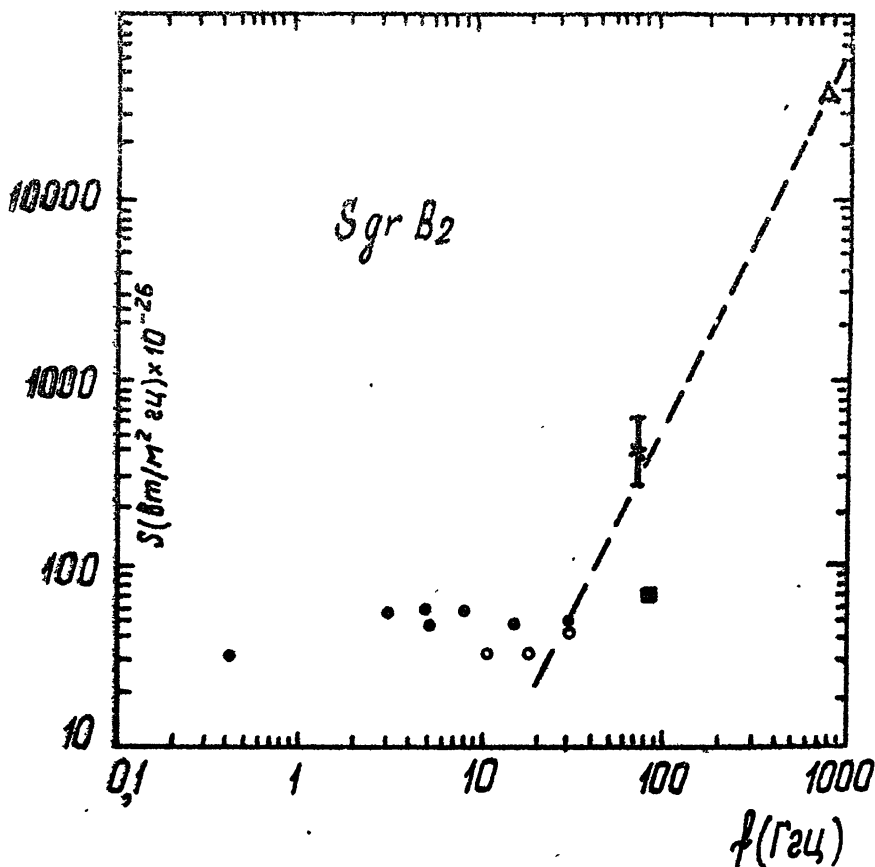


Рис. 3. Спектр Sgr B2. График заимствован из работы [15] и дополнен данными работ [25] (кружки), 23 (треугольник) и [26] (черный квадратик). Полу-ценное нами значение отмечено крестиком. Штриховая линия соответствует Рэлей-Джинсовской ветви излучения черного тела.

Нам не известно об успешных наблюдениях ЗС 58 в миллиметровом диапазоне (в работе [10] источник не был обнаружен на 4,3 мм). Нами измерена плотность потока (77 ± 20) ед. пот., в предположении, что размеры источника $3,5 \times 3,5$ (это соответствует нашим оценкам протяженности источника по δ и измерениям на 1400 МГц (каталог NRAO). Антенная температура была равна 0,15 К. Этот результат получился при суммировании данных двух дней наблюдений (т.е. двух серий по 10 сканов). На рис.4 приведен спектр источника в радиодиапазоне, построенный по данным каталога NRAO.

Полученный нами результат свидетельствует о возрастании плотности потока в миллиметровой области, хотя, конечно, он требует подтверждения и уточнения.

Авторы пользуются случаем поблагодарить В.Н.Воронова, В.И.Чернышева, А.Б.Бурова и В.Г.Рыскина, участвовавших в наблюдениях, а также П.Н.Стежку, обеспечившего высококачественную работу систем РТ-22 во время наблюдений.

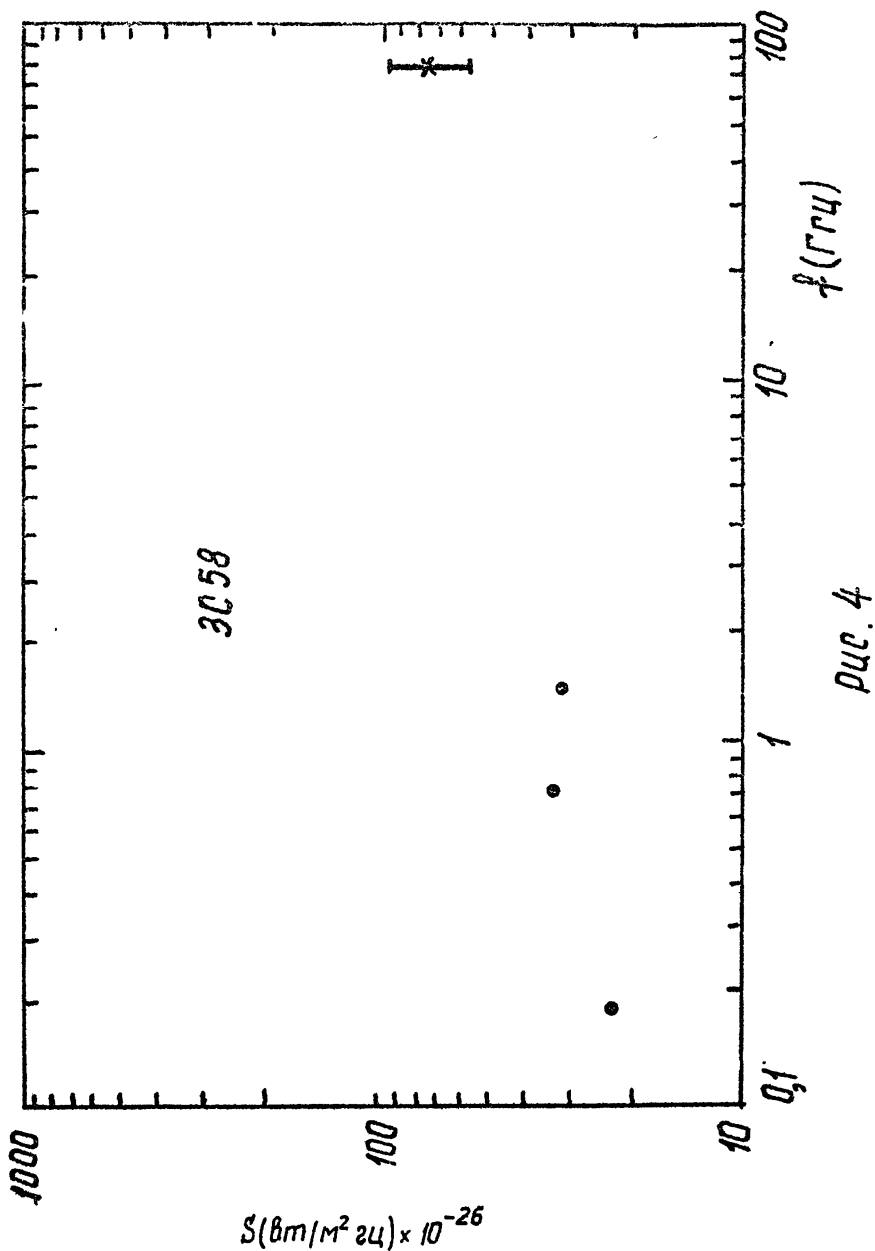


Рис. 4. Спектр 3С 58 (по данным каталога NRAO). Полученное нами значение отмечено крестиком.

1. В.А.Ефанов, А.Г.Кисляков, И.В.Кузнецов, И.Г.Моисеев, А.В.Троицкий, Астрон.ж., 51, № 2 (1974).
2. В.Н.Иванов, И.Г.Моисеев, Ю.Г.Монин, Изв. Крымск. астрофиз. обс., 39, 3 (1969).
3. В.Н.Воронов, Р.Киракосян, Изв.высш.уч.зав. - Радиофизика, 16, 1439 (1973).
4. Л.Д.Бахрах, М.И.Григорьева, В.А.Ефанов, Л.Р.Коган, В.И.Костенко, Л.И.Матвеевко, И.Г.Моисеев, Ю.Г.Монин, Изв.высш.уч.зав. - Радиофизика, 16, 675 (1973).
 Е.Е.Ерstein, М.М.Dworetzky, J.W.Montgomery, W.G.Fogarty, Icarus, 13, 276 (1970).
6. А.Д.Кузьмин, А.Е.Саломонович, Радиоастрономические методы измерения параметров антенн, "Сов.радио", М., 1964.
7. А.Г.Кисляков, Радиотехника и электроника, 13, 1161 (1968).
8. K.I.Kellermann, I.I.K.Pauling-Toth, Astrophys.Lett., 8, 153 (1971).
9. R.A.Schorl, E.E.Erstein, J.P.Oliver, S.L.Soter, W.J.Wilson, Astrophys.J., 151, L 27 (1968).
10. R.W.Hobbs, H.H.Corbett, N.J.Santini, Astron.J., 74, 824 (1969).
11. R.W.Hobbs, H.H.Corbett, N.J.Santini, Astrophys.J., 152, 43 (1968).
12. R.W.Hobbs, J.A.Waak, Astrophys.J., 161, 793 (1970).

13. K.W.Riegel, E.E.Epstein, Astrophys.J. 151, L 33 (1968).
14. N.Visvanathan, Astrophys.J., 185, 145 (1973).
15. D.Dawnes, A.Maxwell, R.Rinehart, Astrophys.J., 161, L 123 (1970).
16. W.A.Dent, R.W.Hobbs, Astron.J., 78, 163 (1973).
17. J.W.Montgomery, E.E.Epstein, J.P.Oliver, M.M.Dworetzky, W.G.Fogarty, Astrophys.J., 167, 77 (1971).
18. L.I.Matveyenko, Astrophys.Lett., 8, 165 (1971).
- 19.
20. Krishn M.V., Apparao.Astrophys.Space Sci., 25, 3 (1973).
21. Ka Bing W.Gip, G.A.Seielstad, Astrophys.J., 177, 291 (1972).
22. W.F.Haffmann, C.L.Frederick, Astrophys.J., 157, L 9 (1969).
23. L.Y.Gezari, R.R.Joyce, M.Simon, Astrophys.J., 179, L 67 (1973).
24. G.H.Rieke, D.A.Harper, F.I.Low, K.R.Armstrong, Astrophys.J., 183, L 67 (1973).
25. R.W.Hobbs, K.J.Johnston, Astrophys.J., 163, 299 (1971).
26. R.W.Hobbs, S.B.Modali, S.P.Maran, Astrophys.J., 171, L 67 (1972).