

УДК 523.164.4

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ОСТАТКОВ СВЕРХНОВЫХ КАССИОПЕЯ А И КРАБОВИДНАЯ ТУМАННОСТЬ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АБСОЛЮТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

М. И. Агафонов

В период 1984—85 гг. определены величины плотностей потоков для Крабовидной туманности, которые на частотах 81,5 и 140 МГц составляют 1731 Ян ($\pm 5,8\%$) и 1526 Ян ($\pm 6\%$) соответственно. Построен мгновенный спектр радиосточника на эпоху 1984 г. в диапазоне 80—10000 МГц. Уточнены данные векового уменьшения потока Кассиопея А. На частотах 81,5 и 152 МГц падение потока составляет соответственно $1,25 \pm 0,06$ и $1,06 \pm 0,15\%$ в год. Для радиосточника Лебедь А отмечена высокая стабильность радиоизлучения в сравнении с данными 1966 г.

Исследования последних лет указывают на уменьшение плотности потока радиоизлучения Крабовидной туманности в сантиметровом и дециметровом диапазонах. Впервые падение потока было обнаружено Виняйкиным и Разиным в 1977 г. на частоте 927 МГц [1]. При измерениях [2, 3] отмечено, что на эпоху 1981 г. уменьшение мощности по спектру в частотном интервале от 0,6 до 10 ГГц в среднем составило 3,5%. Исследования Аллера и Рейнольдса [4] на частоте 8 ГГц также свидетельствуют об уменьшении плотности потока. В работе [5] приведены результаты абсолютных измерений в сантиметровом и дециметровом диапазонах на эпоху 1984 г., а также выполнен детальный анализ радиоизлучения остатка вспышки сверхновой в различные эпохи по данным всех известных радионаблюдений. В итоге сделано заключение об уменьшении в указанном диапазоне спектрального индекса туманности на 14%. Для выяснения поведения спектра Крабовидной туманности в метровом диапазоне на современную эпоху в течение 1984—85 гг. нами проведены абсолютные измерения плотности потока радиоизлучения на частотах 81,5 и 140 МГц. Сопоставление полученных значений с результатами в сантиметровом и дециметровом диапазонах [5] позволило построить мгновенный спектр туманности на современную эпоху в диапазоне 80—10000 МГц. При наблюдениях радиосточников Кассиопея А и Лебедь А продолжено изучение векового уменьшения плотности потока остатка вспышки сверхновой Кассиопея А. Для Лебеда А данные представляют практический интерес, поскольку радиосточник используется в качестве первичного стандарта.

Наблюдения. Измерения выполнялись на полигоне Кара-Дар с помощью многочастотного интерферометра [6] из двух эталонных дипольных полуволновых антенн [7]. Методика наблюдений, а также основные параметры системы, такие, как величина базы интерферометра ($D=275$ м в направлении восток—запад) и ширина полосы пропускания радиометра ($\Delta f_{\Sigma}=4$ МГц), соответствовали принятым при измерениях Паркера [8]. Использование указанной полосы при данной базе привело к сужению корреляционной диаграммы, что было полезно для уменьшения взаимного влияния радиосточников. В итоге связанная с этим фактором ошибка при наблюдениях Кассиопея А и Лебеда А не превосходила 1,5% от значений величин потоков. Кроме того, подобие систем исключало введение нежелательной коррекции при со-

поставлений настоящих результатов с полученными Паркером в 1966 г. [8].

Как отмечалось [7], использованная конструкция эталонного диполя имела преимущества в сравнении с применявшимися ранее. Расположение симметрирующего устройства под рефлектором, его широкополосность и подводка питания к плечам вибратора миниатюрной симметричной ленточной линией обеспечивали наилучшее соответствие принятой при вычислении усиления идеализации. Расчет кнд проводился исходя из предварительного вычисления по методу пяти членов распределения тока в плечах диполя с учетом его геометрических размеров [9]. Ошибка реализации кнд, который составляет для нашего случая $G=5,96$, оценивается как не превышающая 2%. На всех частотах выдерживалась длина плеч диполя $2l=0,44\lambda$ и высота над рефлектором $h=0,236\lambda$, что сохраняло неизменными диаграммные поправки на склонение источников. Коррекция результатов на кнд фидерного тракта и симметрирующего устройства антенны составляла 16—28% в зависимости от используемой частоты. Ошибка при определении этого коэффициента составляла не более 0,5% [7].

На каждой частоте использовался комплект блоков прямого усиления. Фазовая модуляция (ФМ) исключала влияние фона. У антенн располагались преусилители с полосой $\Delta f=0,1f_0$, после суммирования формировалась полоса примерно 4 МГц. Калибровка усиления каждого плеча проводилась с помощью модулированных сигналов стандартных генераторов шума. Контроль температуры каждого из них выполнялся по тепловой нагрузке с использованием жидкого азота. Суммарная погрешность калибровки, по оценкам, около 1%. Контрольные измерения каждой серии проводились с применением схемы с амплитудной модуляцией (АМ). При этом исключалась вероятность появления интерференционных ошибок абсолютной калибровки, которые в некоторых случаях имели место в схеме с ФМ. Компенсация температуры фона осуществлялась при этом дополнительными генераторами шума, расположенными в каждом плече. В итоге абсолютная привязка на каждой частоте выполнена схемой с АМ, для последующего уточнения отношений потоков использовалась ФМ с более высоким отношением сигнала к шуму. Изменение схемы с АМ на ФМ не влияло на значения получаемых отношений. При наблюдениях Лебедя А, Кассиопеи А с постоянной времени 1 с отношение сигнала к шуму при ФМ было не хуже 65—90 и 35 на верхней из используемых частот, для Тельца А оно составляло 8—10.

Таблица 1

Радиоисточник	θ , град.	Д	Частота, МГц				
			81,5	102,5	108	140	152
Лебедь А	4	+0,2%	7.1985	8.12.1984 8.1985	8.1984	12.1984 9.1985	12.1984 8.1985
			+0,5%*	+0,8%	+1,0%	+1,7%	+1,9%
Кассиопея А	14	+1,0%	7.1985				12.1984
			9.1985				8.1985
Телец А	23	+3,5%	+0,7%				
			9.1985			12.1984 9.1985	+3,5%
			+0,8%			+2,6%	

* Величина поправки на конечные угловые размеры источника.

Наблюдения в период 1984—85 гг. включали несколько серий измерений плотности потока радиоисточников Лебедь А, Кассиопея А, и Телец А. В табл. 1 приведены использованные частоты, зенитный угол в кульминации (θ°) для каждого источника и связанные с ним диаграммные поправки (Д). Указаны также дата измерений и вели-

чина коррекции на каждой частоте, введенная из-за конечности угловых размеров радиоисточников. Наблюдения выполнялись в период прохождения источниками кульминации, для каждого источника усреднялись 5—10 отклонений интерференционной бахромы. Проводились отдельные длительные записи на каждой частоте с целью контроля диаграммы и оценки взаимного влияния радиоисточников.

Для наблюдений были выбраны основные частоты 81,5 и 152 МГц, так как они являются традиционными: измерения на них ранее уже проводились [8, 10, 11]. Для радиоисточника Лебедь А, кроме того, использованы три промежуточные частоты. На нижней частоте (81,5 МГц) возможность проведения измерений была только глубокой ночью вследствие сильного влияния помех от телепередач. Поэтому на ней Лебедь А и Кассиопея А наблюдались в июле, а Телец А и Кассиопея А в конце сентября. Полученные записи практически не были испорчены помехами и ионосферными мерцаниями, и подавляющее большинство их было принято для обработки. Исключением являлась только частота 152 МГц, на которой присутствие помех значительно понижало отношение сигнала к шуму, поэтому для наблюдений Тельца А использовалась близкая к ней частота 140 МГц.

Результаты. Измеренные значения плотности потока приведены в табл. 2 вместе с величинами, составляющими суммарную ошибку. На частотах 102,5; 140 и 152 МГц наблюдения выполнялись дважды: в 1984 и в 1985 гг. Полученные результаты вследствие незначительных различий были усреднены. Спектр Лебеда А в интервале 81,5—152 МГц показан на рис. 1. Величина спектрального индекса составляет α (81,5 ÷ 152 МГц) = $0,68 \pm 0,03$. Как видно из рис. 1, значения хорошо согласуются с данными Паркера [8] 1966 г. Отличия величин потоков составляют менее 1,5%. Это свидетельствует о высокой стабильности спектра Лебеда А и подтверждает целесообразность применения его в качестве первичного стандарта [12].

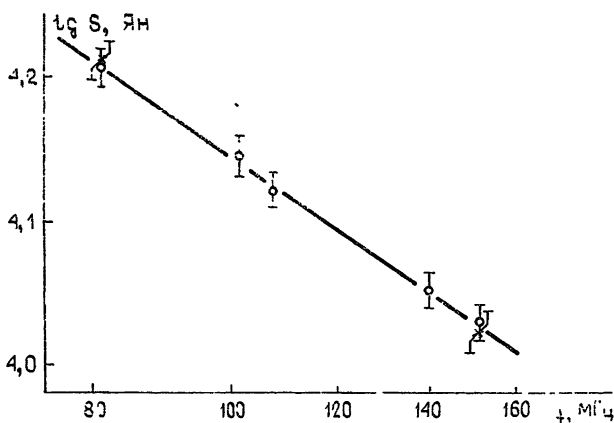


Рис. 1. Спектр Лебеда А в интервале 81,5—152 МГц по измерениям 1984—85 гг., крестиками обозначены результаты Паркера 1966 года.

Наблюдения остатка вспышки сверхновой Кассиопея А выполнялись на традиционных частотах 81,5 и 152 МГц с целью продолжения изучения векового хода. Значения плотности потока приведены в табл. 2. Результаты, полученные нами в течение последних 5 лет с помощью интерферометра на Кара-Даге, выделены на рис. 2 пунктиром. Там же показаны данные других авторов за предшествующие годы [8, 10, 13, 14].

По данным, имеющимся на частоте 81,5 МГц за период с 1948 г., а на частоте 152 МГц — с 1966 г., вычислены значения уменьшения плотности потока сверхновой, которые составляют соответственно $(1,25 \pm 0,06)$ и $(1,06 \pm 0,15)$ % в год. Это уточняет результаты, получен-

ные ранее [10, 14]. Средний спектральный индекс для Кассиопеи А в данном интервале частот равен α ($81,5 \div 152$ МГц) = $0,74 \pm 0,04$.

Т а б л и ц а 2

Радиоисточник	f, МГц	Плотность потока, 10^{-28} Вт·м ⁻² ·Гц ⁻¹	Составляющие суммарной ошибки			
			T _{гш} , %	кнд, %	Взаимное влияние источников, путаница, %	Ошибка серии наблюдений, %
Лебедь А	81,5	16090 ($\pm 2,9\%$)	1,0	2,0	1,5	1,0
	102,5	13990 ($\pm 2,9\%$)				1,0
	108,0	13200 ($\pm 2,9\%$)				1,1
	140,0	11220 ($\pm 2,9\%$)				1,0
	152,0	10630 ($\pm 3,0\%$)				1,4
Кассиопея А	81,5	16975 ($\pm 2,9\%$)	1,0	2,0	1,5	1,0
	152,0	10732 ($\pm 3,0\%$)				1,4
Телец А	81,5	1731 ($\pm 5,8\%$)	1,0	2,0	4,0	3,5
	140,0	1524 ($\pm 6,0\%$)				4,0

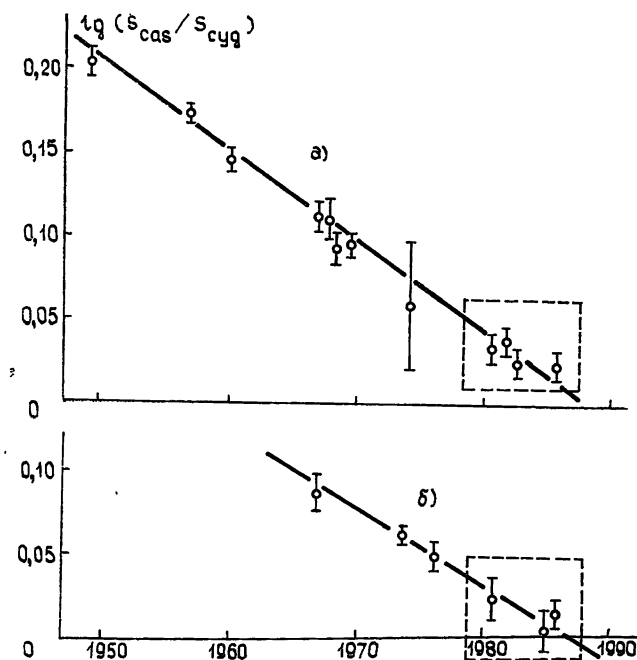


Рис. 2. Уменьшение плотности потока Кассиопеи А относительно плотности потока Лебедя А в зависимости от времени на частотах 81,5 МГц (а) и 152 МГц (б). Пунктиром выделены наблюдения автора.

Плотность потока Крабовидной туманности на частоте 81,5 МГц ранее измерялась Паркером [8] в 1966 г. На этой же частоте Скотт и Шейкшафт [11] в 1969 г. получили ее значение с помощью относительных измерений, используя в качестве опорных плотности потоков Кассиопеи А и Лебедя А [8]. При повторении нами подобных Паркеру измерений на частоте 81,5 МГц через 18 лет значение плотности потока туманности (см. табл. 2) оказалось ниже его результата на 8,5% ($S_{81,5} = 1979$ Ян [8]), или на 11,7% ниже величины, полученной Скоттом и Шейкшафтом ($S_{81,5} = 1934$ Ян [11]) в 1969 г. Необходимо отметить, что значительное перекрытие пределов ошибок настоящих измерений и результатов 1966 г. не позволило получить точные данные о количественном уменьшении потока за год. Однако в целом результат на

частоте 81,5 МГц свидетельствует о падении потока радиосточника, происшедшем со времени измерений 1966 г., на величину не более 8%. Сопоставление данных, полученных нами в метровом диапазоне, с измерениями в сантиметровом и дециметровом диапазонах [5] показало, что значения настоящей работы хорошо согласуются с линейным продолжением спектра 1984 г. в низкочастотную область (см. рис. 3). При этом спектральный индекс для туманности, вычисленный в работе [5], составляет $\alpha = 0,286 \pm 0,005$. В свою очередь, полученные данные позволили расширить границы спектра туманности 1984 г. Для области частот 80 — 10000 МГц он показан на рис. 3.

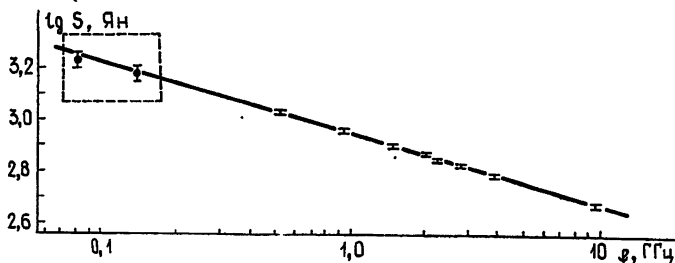


Рис. 3. Спектр Крабовидной туманности в диапазоне 80 — 10000 МГц на эпоху 1984 года. Пунктиром выделены результаты настоящих измерений.

Автор выражает благодарность К. С. Станкевичу за постоянное внимание к работе и ценные советы, а также В. П. Иванову за обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виняйкин Е. Н., Разин В. А. — Астрон. журн., 1979, 56, № 5, с. 913.
2. Иванов В. П., Барабанов А. П., Станкевич К. С., Столяров С. П. — Астрон. журн., 1982, 59, № 5, с. 963.
3. Иванов В. П., Бубукин И. Т., Станкевич К. С. — Письма в Астрон. журн., 1982, 8, № 2, с. 83.
4. Aller H. D., Reynolds S. P. — *Astrophys. J.*, 1985, 293, p. 73.
5. Барабанов А. П., Иванов В. П., Малышев И. А., Станкевич К. С., Столяров С. П. — Астрон. журн., 1987, 64, № 2, с. 280.
6. Агафонов М. И. Тезисы докладов XIV Всесоюзной радиоастрон. конференции по аппаратуре, антеннам и методам. — Ереван, 1982, с. 363.
7. Агафонов М. И., Барабанов А. П., Иванов В. П., Станкевич К. С. Тезисы докладов XIV Всесоюзной радиоастрон. конференции по аппаратуре, антеннам и методам. — Ереван, 1982, с. 274.
8. Parker E. A. — *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 1968, 138, p. 407.
9. Chang V. W. H., King R. W. P. — *IEEE Trans.*, 1968, AP-16, p. 309.
10. Scott P. F., Shakeshaft J. P., Smith M. A. — *Nature*, 1969, 223, p. 1139.
11. Scott P. F., Shakeshaft J. P. — *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 1971, 154, p. 19 P.
12. Иванов В. П., Станкевич К. С. Препринт НИРФИ № 183. Горький, 1984.
13. Erickson W. C., Perley R. A. — *Astrophys. J. Lett.*, 1975, 200, p. L 83.
14. Read P. L. — *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 1977, 178, p. 259.

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию
9 июля 1986 г.

RADIO EMISSION OF SUPERNOVA REMNANTS OF CASSIOPEIA A AND THE CRAB NEBULA OVER THE RESULTS OF ABSOLUTE MEASUREMENTS IN THE METER WAVELENGTH

M. I. Agafonov

Flux density values have been defined in the period 1984—1985 for Crab Nebula, which at frequencies 81,5 and 140 MHz amounts $1731 \text{ Jy} \pm 5,8\%$ and $1526 \text{ Jy} \pm 6\%$, respectively. An instant spectrum of the radio source has been built for the epoch 1984 in the range 80+10000 MHz. The data of the secular decrease of Cassiopeia A flux are specified. At frequencies of 81,5 and 152 MHz the flux drop amounts $(1,25 \pm 0,06)$ and $(1,06 \pm 0,15)\%$ in a year, respectively. For the radio source Cygnus A a high radiation stability is noted in comparison with the data of 1966.