

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600 МЕТОДОМ «ЭСТАФЕТЫ С ЗОНИРОВАНИЕМ»

О. А. Голубчина

Обсуждаются результаты первых экспериментальных наблюдений W 49, Лебеда А, Солнца на РАТАН-600 методом «эстафеты с зонированием». Приводится сравнение теоретически ожидаемых антенных температур источников радиоизлучения при наблюдении методом «эстафеты с зонированием» с данными, полученными из наблюдений. Показано, что теоретически ожидаемые величины сигналов от наблюдаемых источников радиоизлучения совпадают с результатами, полученными из эксперимента.

The results of the first experimental observations of W 49, Cygnus A and the Sun with the radiotelescope RATAN-600 by the method of «estafette with zoning» are discussed in the paper. A comparison of theoretically expectable antenna temperatures of the radio emission sources with those obtained from the observations using the method «estafette with zoning» is presented. It is shown that theoretically expectable values of signals from the observable radio emission sources are in agreement with the results obtained after the experiment.

В 1981—1982 гг. был разработан один из возможных методов наблюдений на РАТАН-600 — метод «эстафеты с зонированием» [1].\*

В 1983 г. на радиотелескопе РАТАН-600 проведены первые экспериментальные наблюдения в этом режиме. Эксперименты в первую очередь были направлены на установление корректности работы зонированной поверхности радиотелескопа при наблюдении протяженных источников W 49 и Солнца ( $\Omega_i \gg \Omega_a$ , где  $\Omega_i$  — телесный угол источника,  $\Omega_a$  — телесный угол диаграммы направленности антенны), а также источников радиоизлучения Лебедь А, для которого при наблюдении на Западном секторе РАТАН-600 на  $\lambda=21$  см  $\Omega_i < \Omega_a$ .

Наблюдения проводились при неподвижном положении вторичного отражателя в центре круга.

Протяженный двухкомпонентный (I, II) источник радиоизлучения W 49 наблюдали на западном секторе РАТАН-600 на  $\lambda=21$  см в двух каналах радиометра, полоса частот одного из них составляла  $\Delta f=10$  МГц, а другого —  $\Delta f=30$  кГц. 24 и 29.03.83 проводились наблюдения W 49 в обычном для РАТАН-600 режиме («штатном») и способом «эстафеты с зонированием» соответственно (рис. 1).

Для оценки точности определения  $T_A$  в «штатном» режиме ( $T_A \equiv T_{шт}$ ) 24.03.83 выполнены наблюдения W 49 в азимуте  $A=270^\circ$ . Главное зеркало антенны было сформировано из 167 отражающих элементов. Антенные температуры ( $T_A$ ) для обеих компонент и точности их определения приведены в табл. 1. Заметим, что точность определения  $T_A$  в канале  $\Delta f=30$  кГц в «штатном» режиме наблюдения практически полностью обусловлена корректностью проведения нулевого уровня сигнала на записи (рис. 1, а, 2, а). 29.03.83 были выполнены наблюдения на Западном секторе РАТАН-600 методом «эстафеты с зонированием». Источник наблюдался в нескольких азимутах при неподвижном положении вторичного отражателя. Условия эксперимента следующие.

1. Радиальная координата опорного отражающего элемента соответствовала радиусу средней окружности ( $l_{оп}=500$  мм).

\* [1] Голубчина О. А. Метод «эстафеты с зонированием». — *Астрофиз. исслед.* (Иzv. SAO), 1984, 21, с. 75—84.

2. Задавался «узкий» диапазон радиальных перемещений ( $\Delta kR=300$  мм) [1].
3. Количество выставляемых элементов  $\Sigma N=55$ .

Поскольку наблюдения методом «эстафеты с зонированием» проводились без специальных облучателей, то, как показано в [1], для протяженных источников изменение  $T_A$  сигнала от наблюдаемого источника должно быть пропорционально количеству выставляемых отражающих элементов главного зеркала рабочей части антенны, т. е.

$$m = T_a / T_{шт} = N_a / N_{шт} \quad (1)$$

(полагаем, что чувствительность радиометра  $\Delta T$ , а также полосы частот радиометра  $\Delta f$  постоянны для обоих режимов наблюдений;  $T_a$ ,  $T_{шт}$ ,  $N_a$ ,  $N_{шт}$  — антенные температуры и количество выставляемых отражающих элементов при наблюдении методом «эстафеты с зонированием» и в «штатном» режиме). Вследствие этого ожидаемое уменьшение антенной температуры сигнала при наблюдении методом «эстафеты с зонированием» в нашем эксперименте должно быть равным  $m=0.33$ .

Результаты наблюдений, приведенные в табл. 2, показали удовлетворительное согласие теоретических расчетов и экспериментальных данных.

Разброс в значениях величин  $m$ , полученных в эксперименте для наблюдений, выполненных в канале с полосой частот  $\Delta f=10$  МГц ( $m=0.33 \div 0.36$ ),

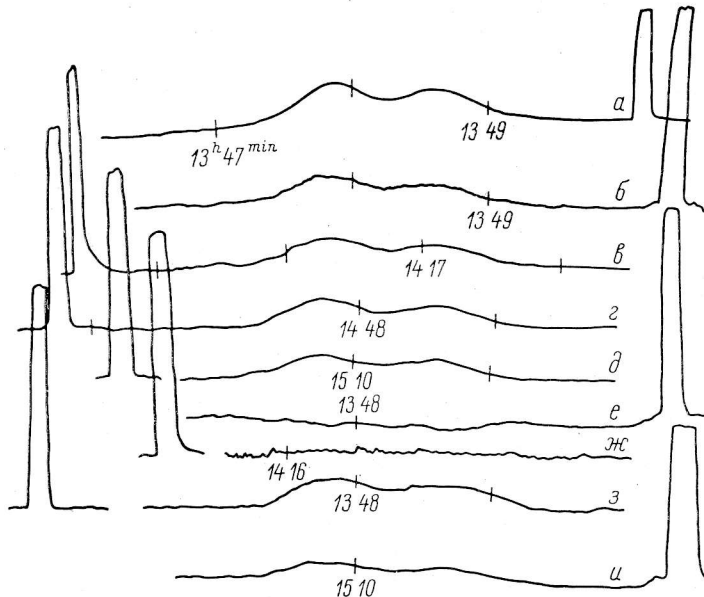


Рис. 1. Копии записей радиоизлучения W 49,  $\lambda=21$  см,  $\Delta f=10$  МГц.

а — 24.03.83, «штатный» режим наблюдения; азимут источника  $A=270^\circ$ ,  $\Sigma N=167$ ; б—д — 29.03.83, режим «эстафеты с зонированием»;  $\Sigma N=55$ ; азимуты источника: б —  $A=270^\circ$ , в —  $A=285^\circ$ ; е—ж — 30.03.83, режим «эстафеты с зонированием»,  $\Sigma N=14$ ; азимуты источника: е —  $A=270^\circ$ , ж —  $A=275^\circ$ ; з—и — 01.04.83, режим «эстафеты с зонированием», «широкий» диапазон радиальных перемещений; азимуты источника: з —  $A=270^\circ$ , и —  $A=285^\circ$ . Справа и слева записей приведены калибровочные ступеньки.

составляет  $\sim 10\%$ , а в канале с  $\Delta f=30$  кГц ( $m=0.34 \div 0.42$ )  $\sim 25\%$  (табл. 2). Такой разброс в значениях величины  $m$  объясняется следующими причинами:

1) закономерным падением антенной температуры наблюдаемого источника при работе вне максимума главного лепестка диаграммы направленности вторичного отражателя. Наблюдения в «штатном» режиме проведены только в азимуте  $270^\circ$  (рис. 1 а, 2 а), а при наблюдении методом «эстафеты с зонированием» азимут источника менялся (рис. 1, б—д, 2, б—г);

2) точностью снятия отсчетов, %, соответствующих  $T_A$ , с записи наблюдаемого источника на самописце. Эта точность зависит от  $\Delta f$  и для наблюдений в полосе частот  $\Delta f=10$  МГц составляет в среднем 6—10 %, а в полосе частот  $\Delta f=30$  кГц — 12—19 % (табл. 3).

Следующий эксперимент 30.03.83 также связан с проверкой правильности работы антенны в режиме «эстафеты с зонированием».

Цель эксперимента — проверить корректность расчета установки антенны и работы отражающих элементов, выставленных с зонированием. Поскольку

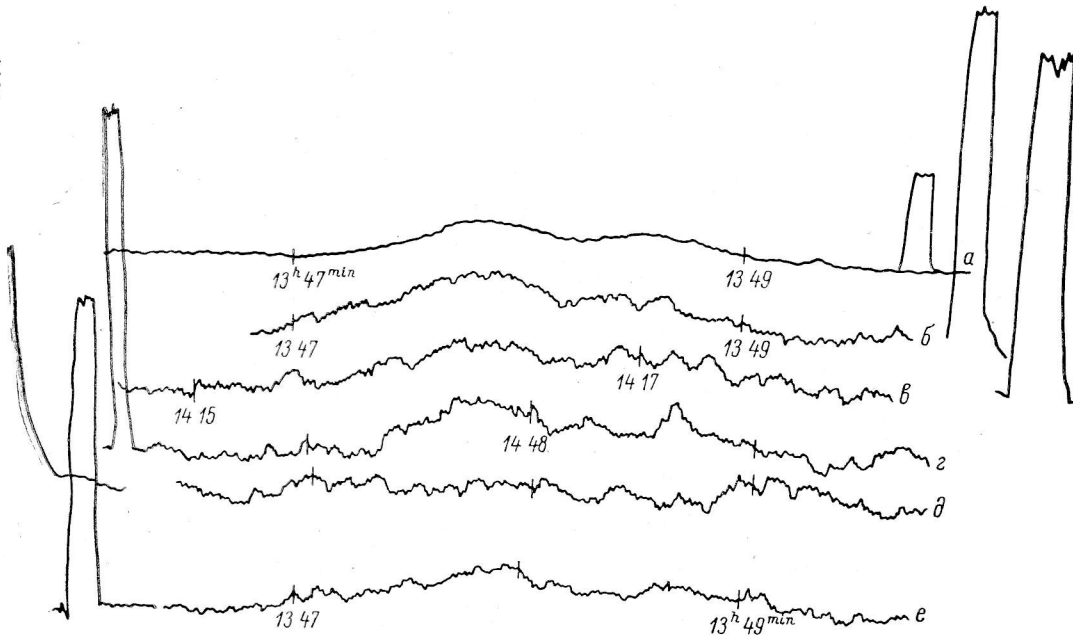


Рис. 2. Концы записей радиоизлучения W 49,  $\lambda=21$  см,  $\Delta f=30$  кГц.

*а* — 24.03.83, «штатный» режим наблюдения,  $EN=167$ ; азимут источника  $A=270^\circ$ ; *б* — 29.03.83, режим «эстафеты с зонированием»,  $EN=55$ ; азимуты источника: *б* —  $A=270^\circ$ , *в* —  $A=275^\circ$ , *г* —  $A=280^\circ$ , *д* — 30.03.83, режим «эстафеты с зонированием»; азимут источника  $A=270^\circ$  (сигнал от источника не виден); *е* — 01.04.83, режим «эстафеты с зонированием»; азимут источника  $A=270^\circ$ ; «широкий» диапазон радиальных перемещений. Справа и слева записей приведены калибровочные ступеньки.

в методе «эстафеты с зонированием» большая часть антенны выставлена со смещением отражающих элементов по радиусу на величины, пропорциональные целому числу  $\lambda$ , необходимо было удостовериться в том, что регистрируемый сигнал обусловлен корректной работой всей зонированной отражающей поверхности главного зеркала, а не только лишь ее центральной частью, сформированной без зонирования. Для этого сравнивались теоретически ожидаемые и наблюдаемые величины сигналов от источника W 49 по их антенным температурам.

В этом эксперименте при наблюдении в режиме «эстафеты с зонированием» рабочая часть антенны состояла из 14 центральных элементов (относительно  $A=275^\circ$  — азимута источника), выставленных без зонирования так, что образующая главного зеркала антенны представляла собой дугу эллипса с фокусом

ТАБЛИЦА 2

A	Параметр	I	II	I	II
270°	$T_A$ , К	0.92	0.62	0.89	0.61
	$m$	0.42	0.34	0.36	0.33
275	$T_A$ , К	0.82	0.76	0.86	0.65
	$m$	0.35	0.42	0.35	0.35
		$\Delta f=30$ кГц		$\Delta f=10$ МГц	



тически ожидаемым ( $m=0.33$ ) с точностью 14 %, т. е. в пределах допустимых ошибок измерений (рис. 1,  $z-u$ , 2,  $e$ ).

Итак, качество наблюдений, полученных на антенне, поверхность которой сформирована с большим зонированием, не хуже, чем при наблюдениях на антенне, большая часть элементов которой выставлена без зонирования и совпадает с теоретически ожидаемым.

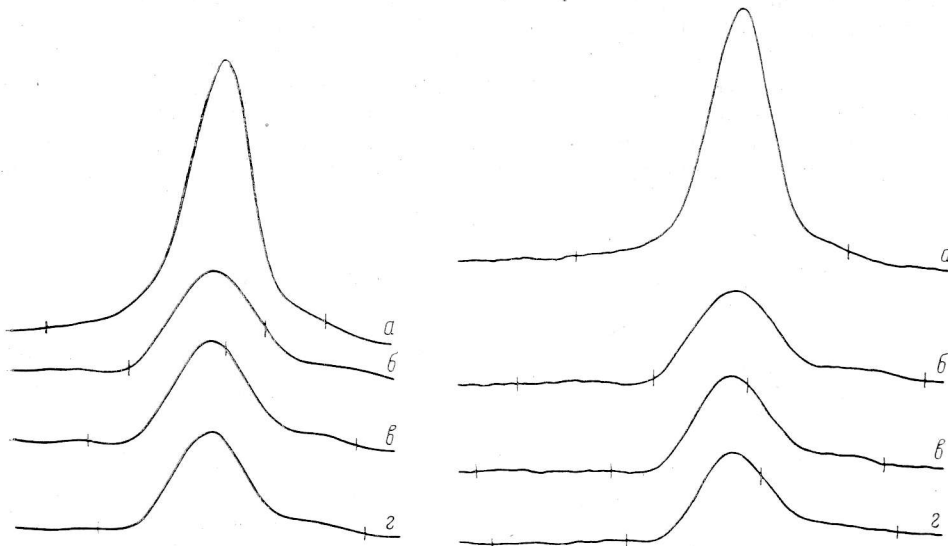


Рис. 3. Копии записей радиоизлучения источника Лебедь А,  $\lambda=21$  см,  $\Delta f=10$  МГц.  
 $a$  — «штатный» режим наблюдения, азимут источника  $A=270^\circ$ ;  $б-г$  — режим «эстафеты с зонированием», азимуты источника:  $б-A=276^\circ$ ,  $в-A=280^\circ$ ,  $г-A=284^\circ$ .

Рис. 4. Копии записей радиоизлучения источника Лебедь А,  $\lambda=21$  см,  $\Delta f=30$  кГц.  
 $a$  — «штатный» режим наблюдения, азимут источника  $A=270^\circ$ ;  $б-г$  — режим «эстафеты с зонированием»; азимуты источника:  $б-A=276^\circ$ ,  $в-A=280^\circ$ ,  $г-A=284^\circ$ .

**Эксперимент по наблюдению источника Лебедь А.** Для контроля работы антенны в режиме «эстафеты с зонированием» при неподвижном облучателе в центре круга 08.04.83 проведены наблюдения точечного радиоисточника Лебедь А на  $\lambda=21$  см.

В этом эксперименте при работе антенны в режиме «эстафеты с зонированием» отражающая поверхность антенны сформирована 130 элементами, что обеспечивает угловое разрешение антенны в горизонтальном направлении на  $\lambda=21$  см ( $\Omega_i \leq \Omega_a$ )  $\rho \sim 3'$ . В «штатном» режиме наблюдений  $\Sigma N=200$  и  $\rho \sim 2.5'$ . Угловой размер радиоисточника Лебедь А в оптическом диапазоне составляет  $\sim 3'$ . Результаты наблюдений приведены в табл. 5 и на рис. 3, 4.

При наблюдении на АПП без специального облучателя радиоисточников, для которых  $\Omega_i < \Omega_a$ , изменение антенных температур пропорционально квадрату отношения количества выставляемых элементов [1]:

$$m = (N_{шт}/N_0)^2 \quad (3)$$

( $\Delta f = \text{const}$ ,  $\Delta f \leq \Delta f_k$ ).

В нашем эксперименте теоретически рассчитанная величина, соответствующая уменьшению эффективной площади антенны при наблюдении методом

ТАБЛИЦА 5

А	Н	Режим наблюдений	Т, К ( $\Delta f = 10$ МГц)	$\Delta f = 10$ МГц		Т, К ( $\Delta f = 30$ кГц)	$\Delta f = 30$ кГц		$\Sigma N$	$\Sigma N_0$	$k_{\text{max}}$
				$m_T$	$m_N$		$m_T$	$m_N$			
270°	70°	«Штатный»	201.9	—	—	198.4	—	—	200	200	—
280°	78°	«Эстафета с зонированием»	79.1	2.4	2.5	71.6	2.4	2.7	130	25	28

«эстафеты с зонированием», равна  $m_T=2.4$ . Это практически совпадает с гелиоцентрической  $m_H=2.5 \div 2.7$ , полученной из наблюдений.

**Эксперимент, связанный с наблюдением солнца на РАТАН-600 методом «эстафеты с зонированием».** Наблюдения Солнца методом «эстафеты с зонированием» впервые проведены на западном секторе РАТАН-600 30.07.83 на  $\lambda=18$  см (рис. 5).

Для оценки качества работы антенны в режиме «эстафеты с зонированием» были выполнены наблюдения Солнца 28 и 31.07.83 в «штатном» режиме. Положения вторичного облучателя при этом совпадали и равнялись  $F_3=F_{шт}=145863.7$  мм от центра круга. Диапазон радиальных перемещений отражающих элементов при расчете установки антенны для наблюдений в режиме «эстафеты с зонированием» был уменьшен до  $\Delta kR=500$  мм, а положение опорного элемента соответствовало радиусу средней окружности ( $l_{оп}=500$  мм). 62 % отражающей

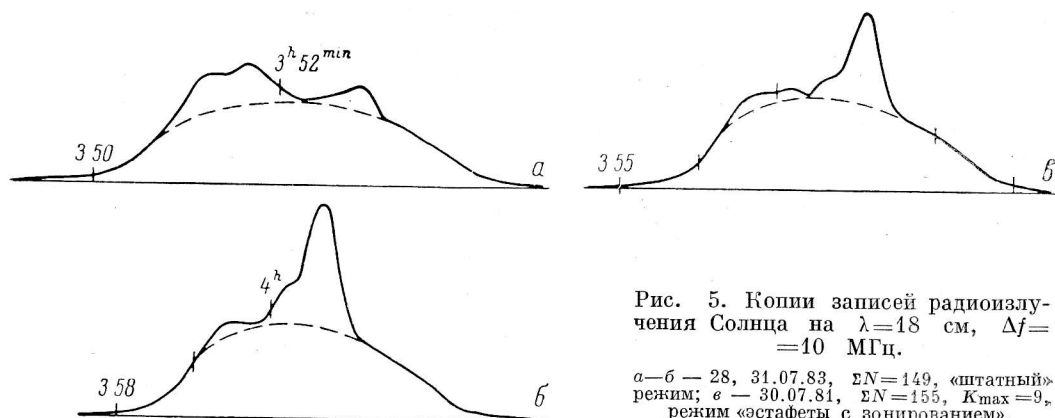


Рис. 5. Копии записей радиоизлучения Солнца на  $\lambda=18$  см,  $\Delta f=10$  МГц.

а-б — 28, 31.07.83,  $EN=149$ , «штатный» режим; в — 30.07.81,  $EN=155$ ,  $K_{max}=9$ , режим «эстафеты с зонированием».

поверхности главного зеркала было зонировано. Максимальное целое число периодов электромагнитной волны при зонировании достигало величины  $k_{max}=8$ . Поверхность главного зеркала антенны при наблюдении методом «эстафеты с зонированием» была сформирована из 155 отражающих элементов, а в «штатном» режиме — из 149. Согласно формуле (2), допустимая полоса частот радиометра не должна превышать значения  $\Delta f=30$  МГц. В наших наблюдениях  $\Delta f=10$  МГц, следовательно, условие сохранения когерентности сигнала выполнено.

Качество записи оценивалось по антенной температуре спокойного Солнца. Для этого на каждой записи радиоизлучения Солнца по площадкам, свободным от локальных источников, проводилась огибающая, соответствующая уровню спокойного Солнца. Амплитуда этой огибающей с учетом калибровочной ступеньки на записи Солнца дает значение антенной температуры спокойного Солнца. Величина, равная отношению антенных температур радиоизлучения спокойного Солнца для двух режимов наблюдений, определяет качество работы антенны в режиме «эстафеты с зонированием». Как показано в [1], для протяженного источника должно выполняться соотношение  $T_3/T_{шт} = N_3/N_{шт}$ . В нашем эксперименте  $T_3/T_{шт} = 1.06$ , а  $N_3/N_{шт} = 1.04$ . Следовательно, этот эксперимент также подтверждает корректность установки антенны с зонированием ее поверхности.

**Заключение.** В марте, июле 1983 г. на РАТАН-600 проведены первые экспериментальные наблюдения источников радиоизлучения W 49, Лебедь А, Солнце методом «эстафеты с зонированием». Результаты наблюдений показали корректность расчета установки поверхности главного зеркала с зонированием, работоспособность нового метода и полное совпадение теоретически ожидаемых и экспериментальных данных.

Автор выражает благодарность Рыжкову Н. Ф. за предоставленную возможность выполнения экспериментов на радиометрах спектрального комплекса, а также Н. П. Комару, Г. Жеканису, Г. С. Голубчину за помощь в проведении наблюдений.