

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

Препринт №152

**К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОПОРНЫХ ОБЛАСТЕЙ
ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ МАЛЫХ АНТЕНН
ПО РАДИОИЗЛУЧЕНИЮ КАССИОПЕИ-А**

В.Н.Бубукина

Б.К.Федячев

В.В.Хрулев

Горький 1981

А н н о т а ц и я

УДК 621.396.628:523.164

Предлагается методика выбора опорных областей вблизи радиостойчика Кассиопея-А для определения уровня нулевого отсчета антенной температуры в дециметровом диапазоне длин волн при измерениях параметров малых антенн.

Для частоты 927 МГц вычислены положения опорных областей в зависимости от ширины диаграммы направленности антенны.

Для измерения параметров антенн часто используются космические источники радиоизлучения. Наиболее удобным радиоисточником для калибровки малых антенн является Кассиопея-А вследствие высокого потока излучения, сравнительно малых угловых размеров и достаточно однородного фона вокруг нее.

Однако в дециметровом диапазоне длин волн фон вблизи источника становится существенно неоднородным, что вносит заметную ошибку в измеряемые характеристики. Целью данной работы является выбор опорных областей вблизи источника Кассиопея-А для определения уровня нулевого отсчета антенной температуры. Для этого вычислялись профили антенной температуры при прохождении диаграммы направленности антенны через источник Кассиопея-А с учетом фонового излучения Галактики. Антенна предполагалась неподвижной относительно Земли.

При выбранном способе наблюдения диаграмма направ-

ленности за счет вращения Земли движется в экваториальной системе координат по окружности $\delta = \delta_{\text{кас}}$, где $\delta_{\text{кас}} = 58^{\circ}33,1$ — склонение источника Кассиопея-А.

Траектория движения оси диаграммы в галактических координатах может быть получена с помощью формулы пересчета [1]

$$\sin b = \sin D \sin \delta_{\text{кас}} + \cos D \cos \delta_{\text{кас}} \cos(\alpha - A),$$

$$\cos b \cos l = \cos \delta_{\text{кас}} \sin(\alpha - A), \quad (1)$$

$$\cos b \sin l = \sin \delta_{\text{кас}} \cos D - \cos \delta_{\text{кас}} \sin D \cos(\alpha - A).$$

Здесь $\delta = \delta_{\text{кас}}$ — склонение Кассиопея-А, α — прямое восхождение оси диаграммы, $D = 27^{\circ},4$, $A = 12^{\text{h}}49^{\text{m}}$ — склонение и прямое восхождение Северного полюса Галактики на эпоху 1950,0, b , l — широта и долгота в старой галактической системе координат.

Текущие широта и долгота оси диаграммы направленности в новой галактической системе координат будут принимать значения

$$b_0 = b,$$

$$L_0 = l + 33^{\circ}.$$

Траектория движения оси диаграммы в галактических координатах показана на рис. 1.

Интеграл температуры, измеряемая радиометром, T_{Σ} вычисляется по формуле

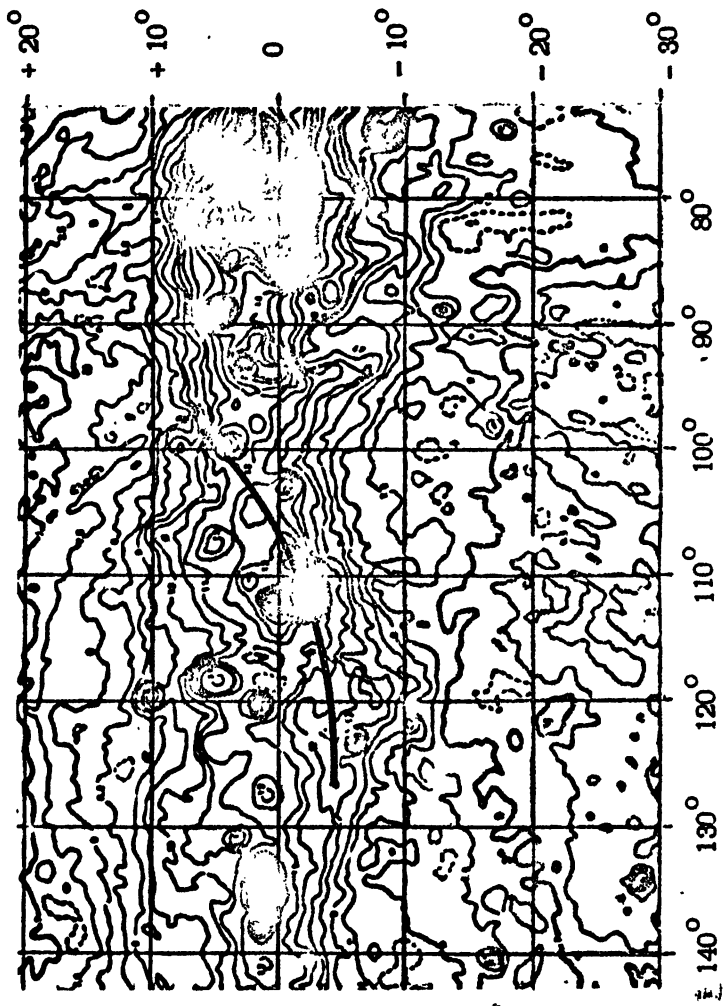


Рис. 1

$$T_{\Sigma} = T_{\alpha \text{ Кас}} + T_{\alpha. \Phi}, \quad (2)$$

где $T_{\alpha \text{ Кас}}$ и $T_{\alpha. \Phi}$ — компоненты, обусловленные радиоизлучением источника Кассиопея-А и фоновым излучением Галактики соответственно.

Вклад источника дается соотношением

$$T_{\alpha \text{ Кас}} = \frac{A(\theta^*, \varphi^*)}{\Omega_{\alpha}} \frac{S(f_0) c^2}{2K f_0^2}. \quad (3)$$

Здесь f_0 — частота, на которой ведется наблюдение, $S(f_0)$ — плотность потока радиоизлучения источника на данной частоте, c — скорость света, K — постоянная Больцмана, $A(\theta, \varphi)$ — нормированная диаграмма направленности антенны, θ^*, φ^* — координаты источника Кассиопея-А в системе координат, связанной с осью диаграммы, Ω_{α} — телесный угол диаграммы направленности;

$$\Omega_{\alpha} = \int_{4\pi} A(\theta, \varphi) d\Omega. \quad (4)$$

Координаты источника в местной системе координат (θ^*, φ^*) для каждого положения диаграммы направленности $(\delta_{\text{Кас}}, \alpha)$ могут быть получены по формулам пересчета

$$\begin{aligned} \cos \theta^* &= \sin^2 \delta_{\text{Кас}} + \cos^2 \delta_{\text{Кас}} \cos(\alpha_{\text{Кас}} - \alpha), \\ \sin \theta^* \cos \varphi^* &= \cos \delta_{\text{Кас}} \sin(\alpha_{\text{Кас}} - \alpha), \\ \sin \theta^* \sin \varphi^* &= \sin \delta_{\text{Кас}} \cos \delta_{\text{Кас}} [1 - \cos(\alpha_{\text{Кас}} - \alpha)], \end{aligned} \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{Кас}}$ — прямое восхождение радионисточника.

Антенная температура, обусловленная фоновым излучением, определяется следующим образом:

$$T_{a,\varphi} = \frac{1}{\Omega_a} \int_{\Omega} T_{\text{я},\varphi}(\theta, \varphi) A(\theta, \varphi) d\Omega = \quad (6)$$
$$= \frac{1}{\Omega_a} \int_0^{\theta_1} \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} A(\theta, \varphi) T_{\text{я},\varphi}(b(\theta, \varphi), l(\theta, \varphi)) d\varphi.$$

Здесь $T_{\text{я},\varphi}$ — яркостная температура излучения фона, θ , φ — местные координаты, связанные с осью диаграммы направленности.

Для вычисления этой компоненты антенной температуры использовалась карта изофот яркостной температуры фонового излучения Галактики на частоте 820 МГц [2], заданная в галактических координатах (b , l), с последующим пересчетом на нужную частоту.

На основе этой карты в галактических координатах была построена сетка температур $T_{\text{я},\varphi}(b, l)$ в пределах $-30+30^\circ$ по широте и $70+150^\circ$ по долготе с шагом 2° . Для этого снимались значения яркостных температур в точках пересечения данной галактической долготы " l " с изофотами и широт " b ", соответствующих этим пересечениям. (Долгота " l " изменялась в указанных выше пределах через 2°). Величина температуры в узлах сетки по широте " b " вычислялась путем линейной интерполяции. В результате была полу-

чена сетка, в каждом узле которой была определена величина яркостной температуры фонового излучения $T_{820}(b, l)$. Одновременно производился пересчет $T_{820}(b, l)$ на частоту f_0 :

$$T_{\gamma f_0}(b, l) = \left[\frac{f_0 (\text{МГц})}{820} \right]^{-\alpha} T_{820}(b, l). \quad (7)$$

Значение спектрального индекса принималось равным $\alpha = 2,8$ [3-6].

Двойной интеграл, входящий в соотношение (6), вычислялся в системе координат, связанной с осью диаграммы направленности. Чтобы получить значение подынтегральной функции $T_{\gamma\varphi}(b(\theta, \varphi), l(\theta, \varphi))$, в каждой точке интегрирования, местные координаты (θ, φ) пересчитывались в галактические (b, l) , в которых задана карта изофот,

$$\sin b = \cos \theta \sin B_0 + \sin \theta \cos B_0 \sin \varphi,$$

$$\cos(l - L_0) \cos b = \cos \theta \cos B_0 - \sin \theta \sin B_0 \sin \varphi, \quad (8)$$

$$\sin(l - L_0) \cos b = \sin \theta \sin \varphi,$$

где B_0, L_0 - галактические координаты диаграммы направленности.

По сетке температур для вычисленных значений (b, l) определялась величина яркостной температуры фона в данной

точке путем двойной линейной интерполяции. Затем вычислялся искомый интеграл.

Предложенная выше методика была применена для определения профилей антенной температуры на частоте $f_0 = 927 \text{ МГц}$.

На рассматриваемой частоте плотность потока радиозлучения источника Кассиопея-А

$$S(927) = 3000 \text{ ян.}$$

Нормированная диаграмма направленности антенны аппроксимировалась Гауссовой кривой:

$$A = \exp\left(-0,693084 \frac{\theta^2}{\theta_{0,5}^2}\right),$$

где $\theta_{0,5}$ — полуширина диаграммы направленности на уровне половинной мощности.

Расчет производился для угловых размеров диаграммы $2\theta_{0,5} = 1 \div 10^\circ$.

Интегралы, входящие в выражения для антенной температуры фонового излучения (6) и телесных углов диаграммы направленности (4), вычислялись на ЭВМ БЭСМ-6 с использованием стандартных процедур счета интегралов с точностью 1%. Верхний предел интегрирования в (6) принимался равным $\theta_1 = 3\theta_{0,5}$.

Профили антенной температуры, вычисленные для отведения антенны по прямому восхождению α на $\pm 2^h$ от Кассиопея-А с шагом $0,1^h$, представлены на рис. 2-11. Линиями (1) и (2) изображены профили антенной температуры, обусло-

T_a, K

300

250

200

150

100

50

$$\theta_{0.5} = 0,5^\circ$$

1 - таф

2 - тасас

3 - тан

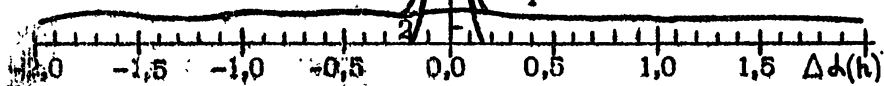


Рис. 2

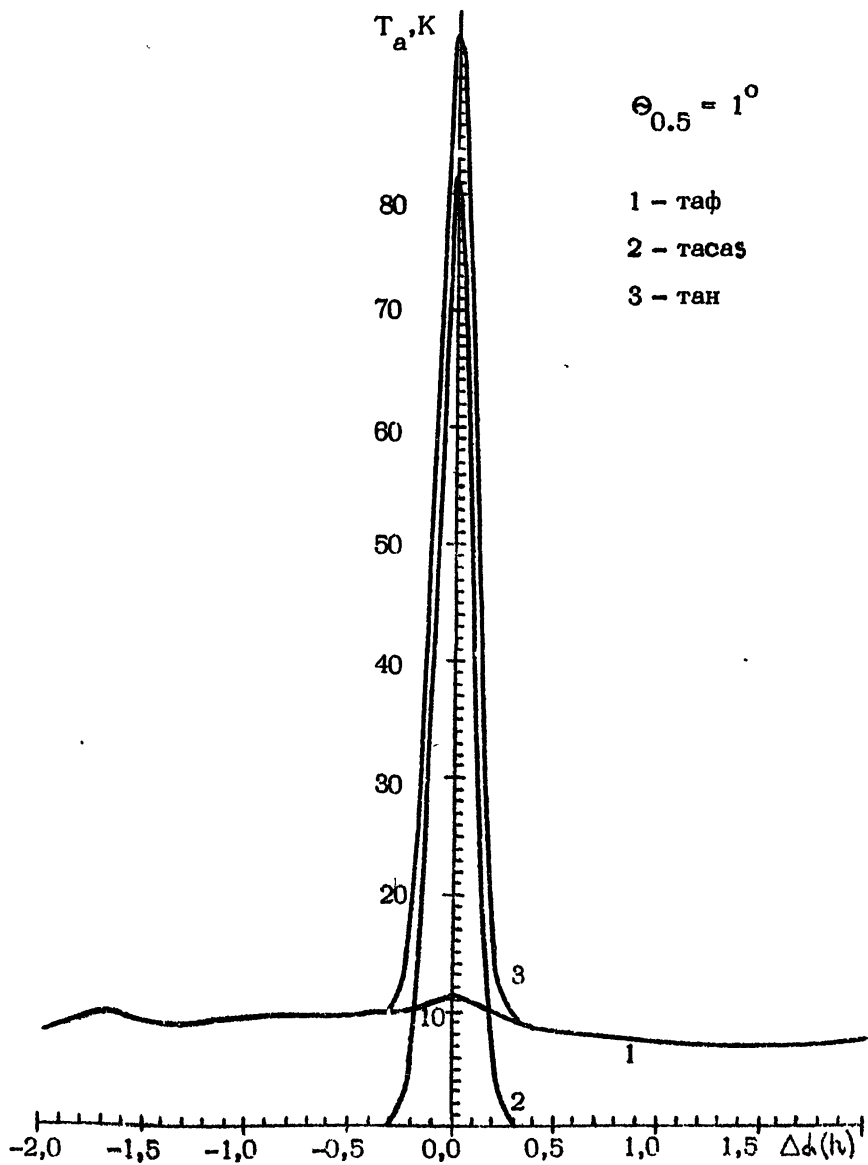


Рис. 3

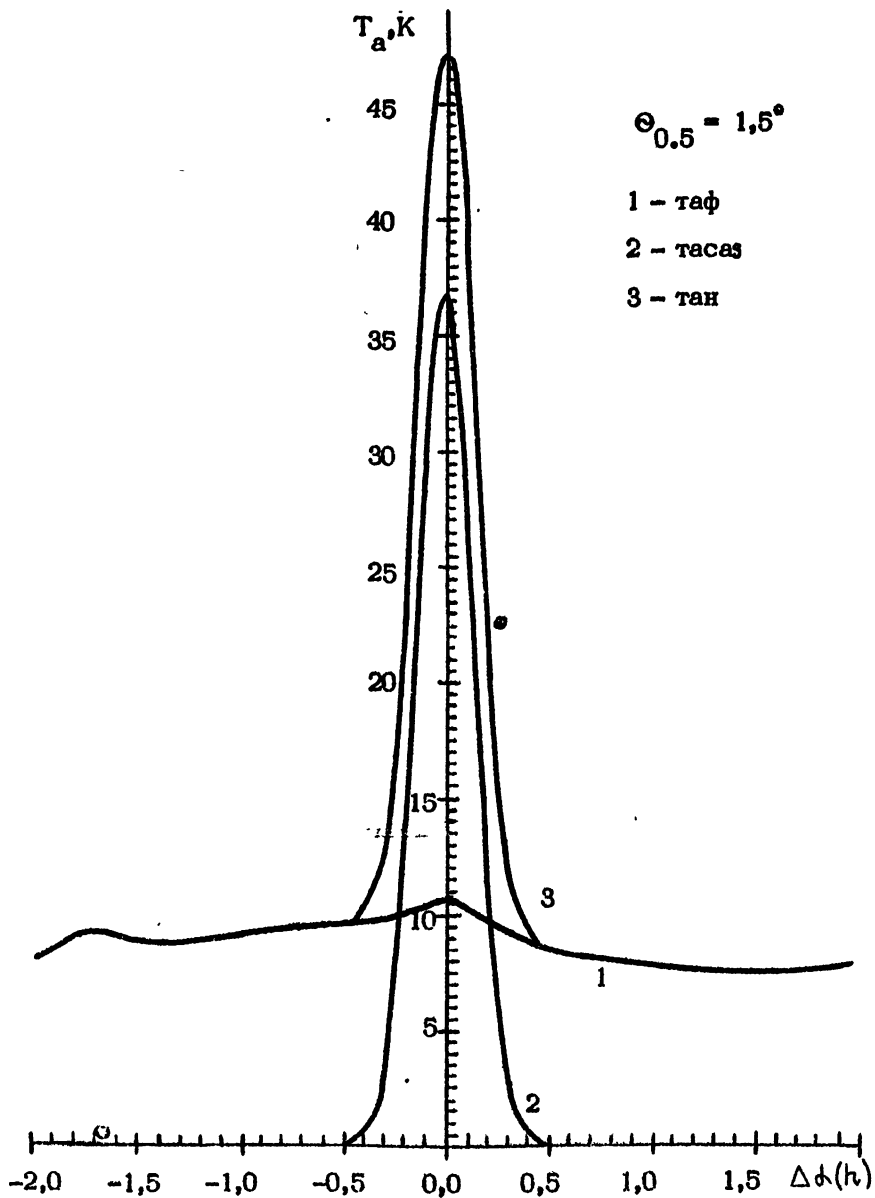


Рис. 4

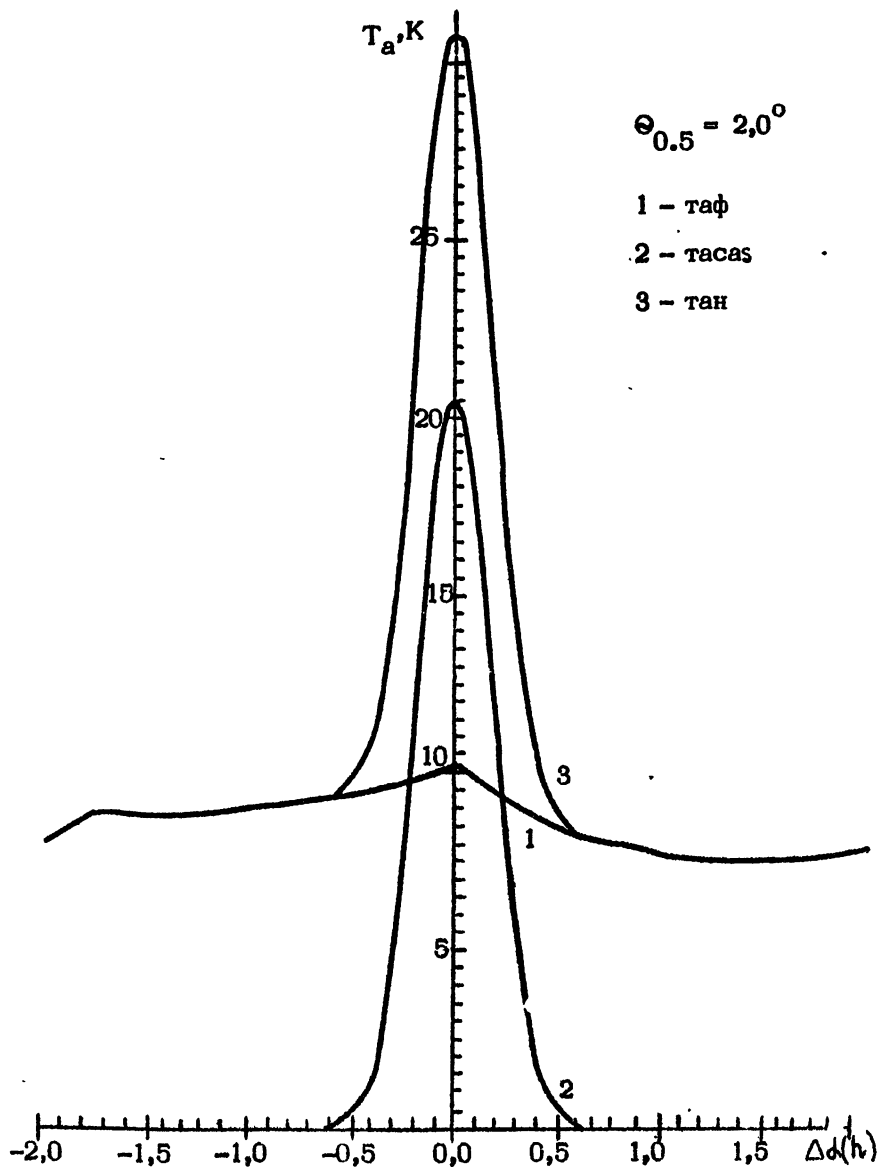


Рис. 5

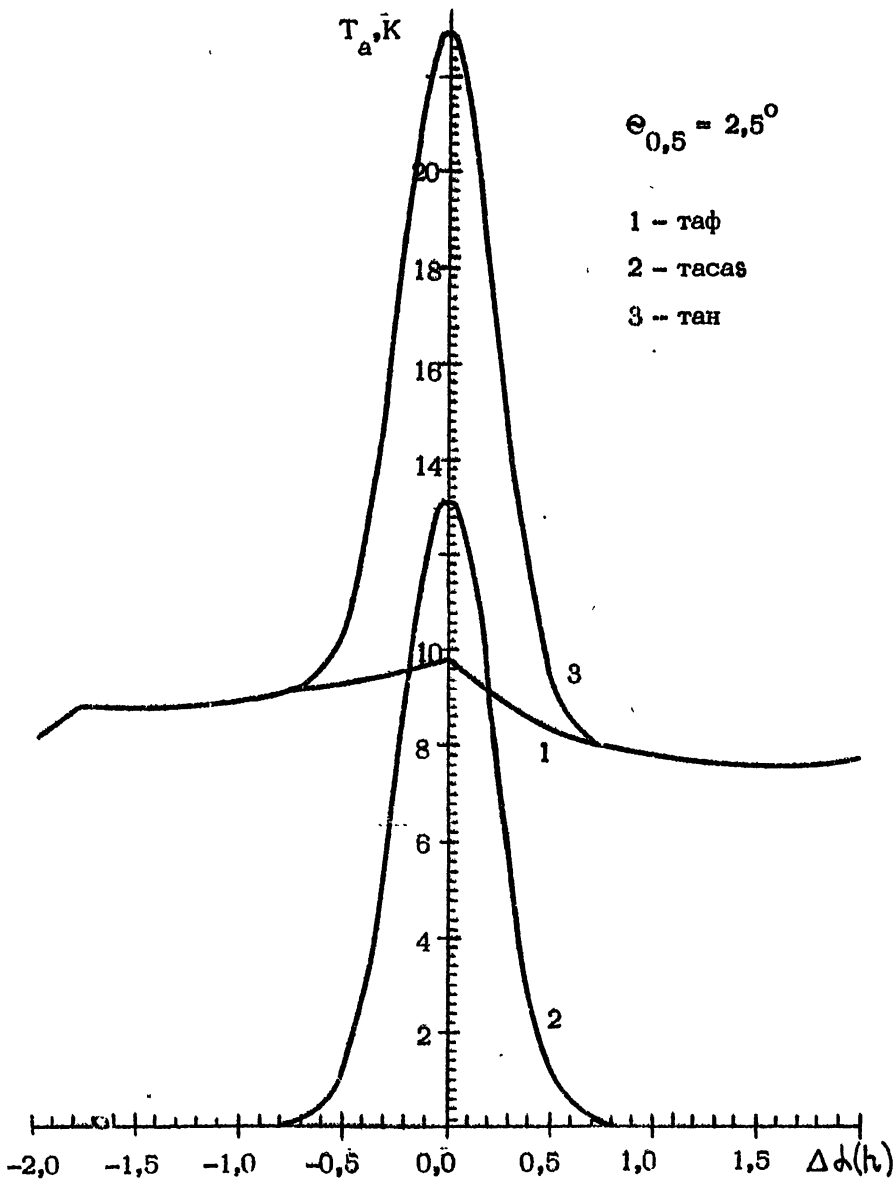


Рис. 6

T_a, K

$\Theta_{0.5} = 3.0^\circ$

1 - таф

2 - тасаз

3 - тан

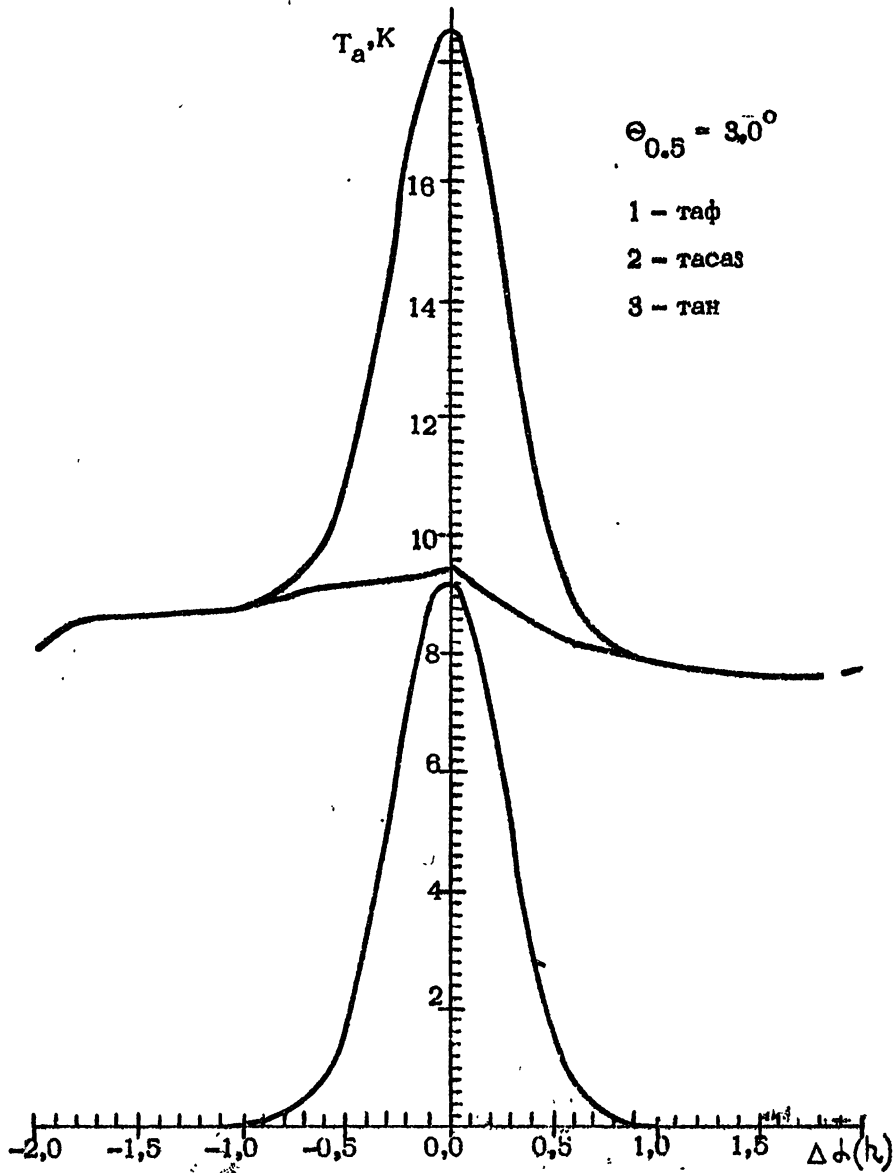


Рис. 7

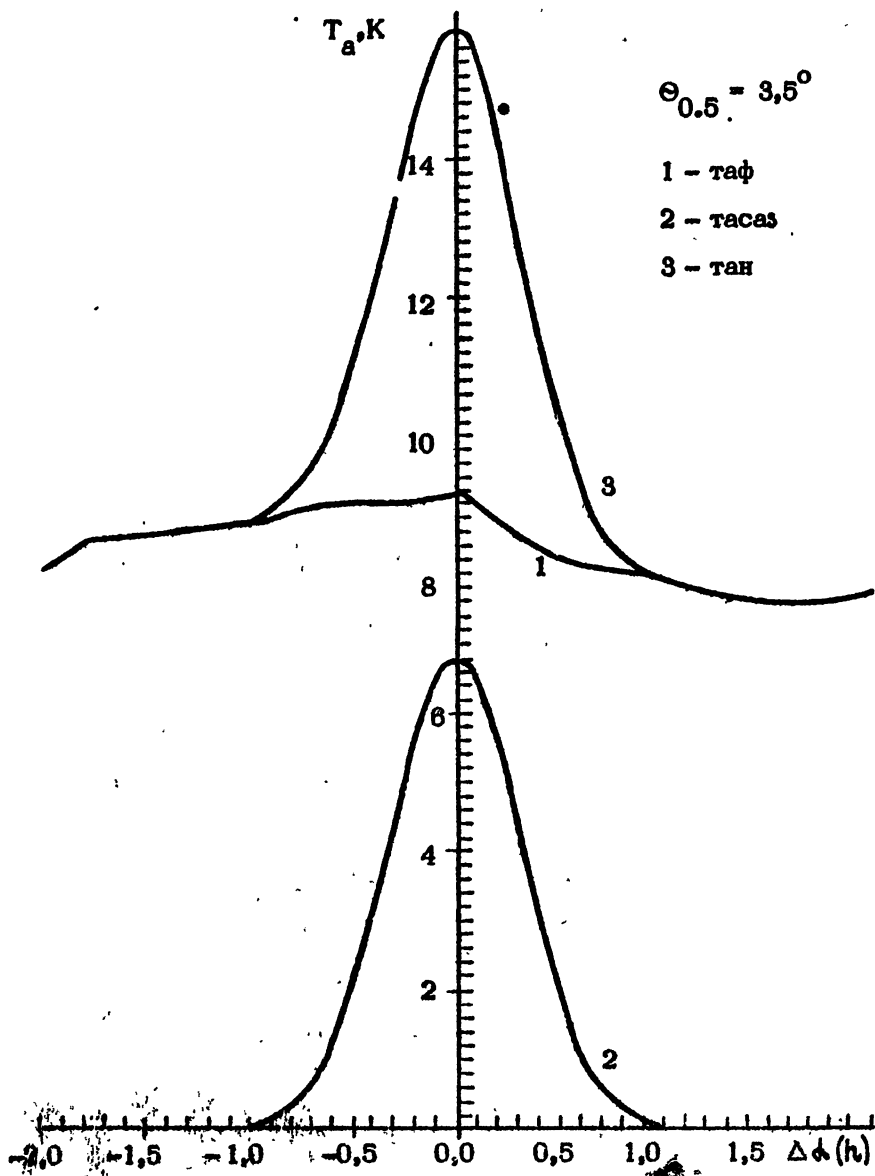


Рис. 8

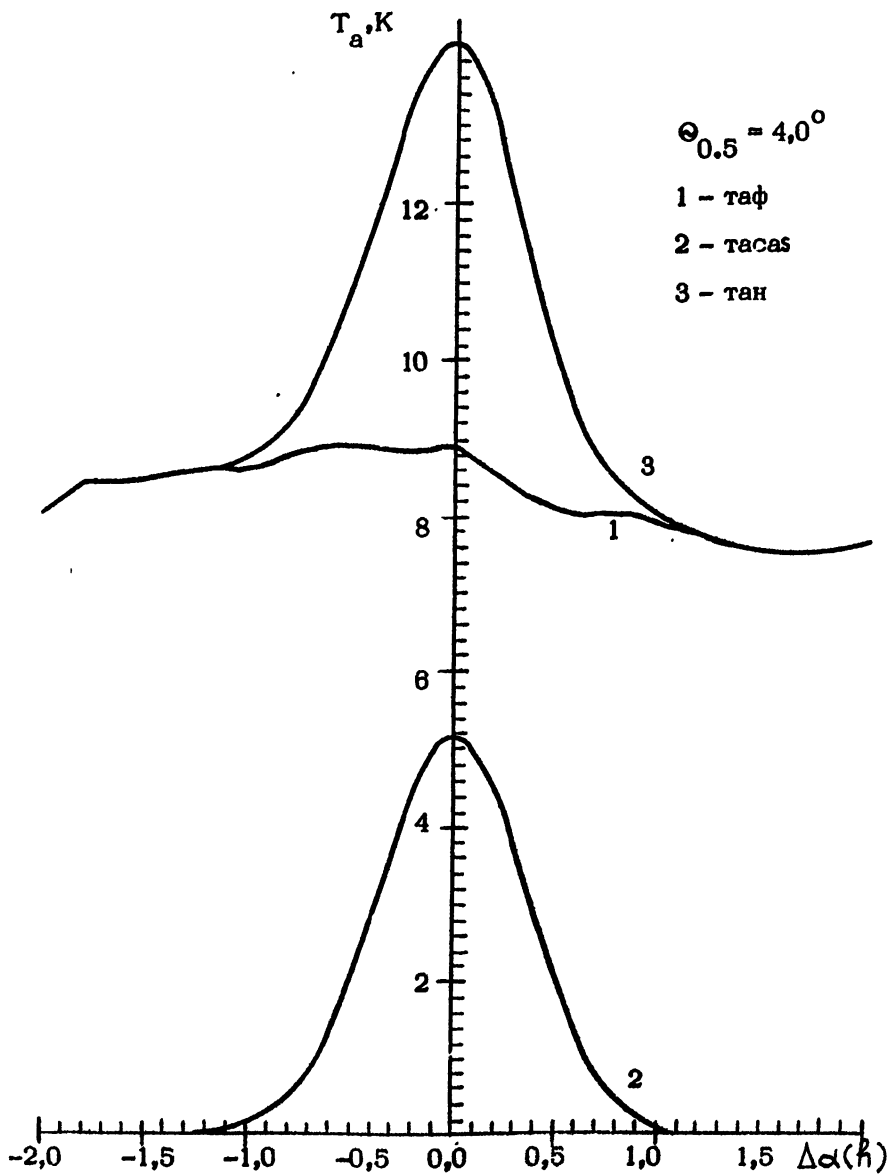


Рис. 9

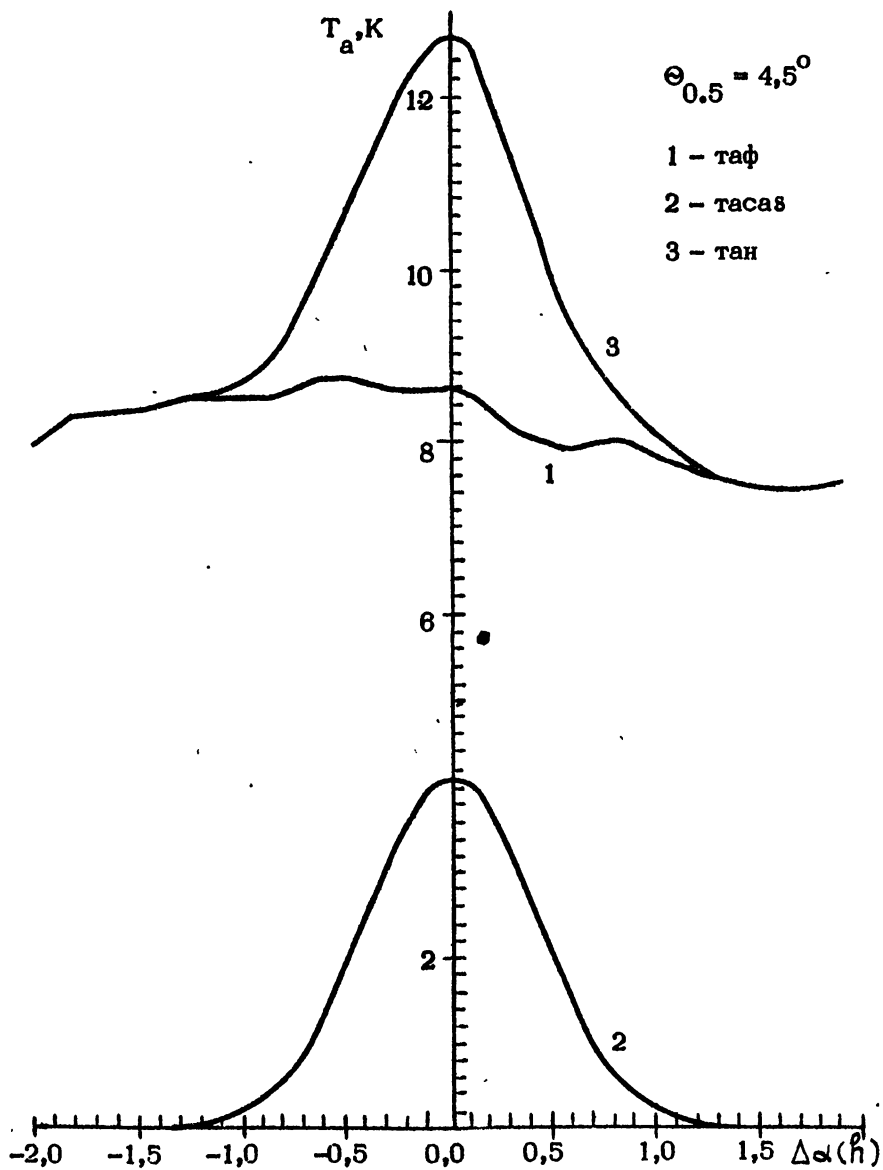


Рис. 10

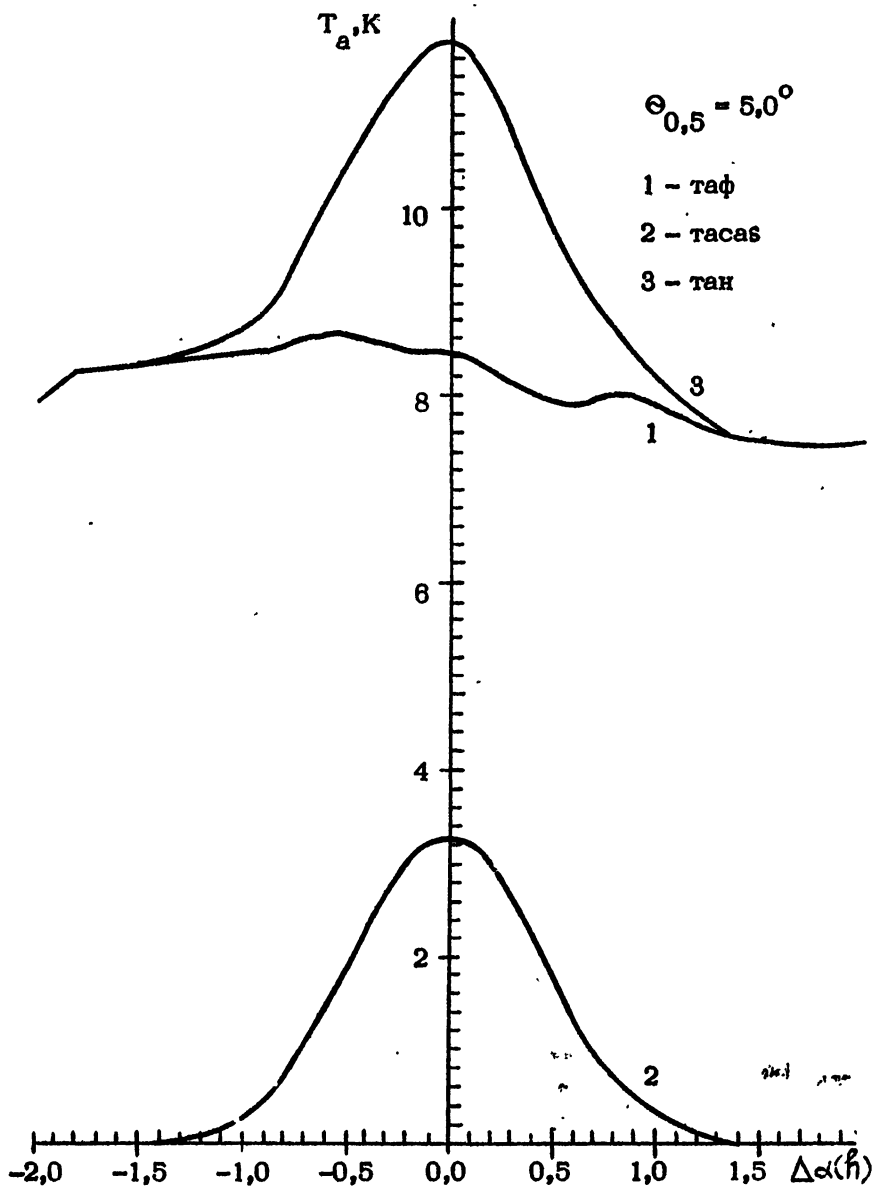


Рис. 11

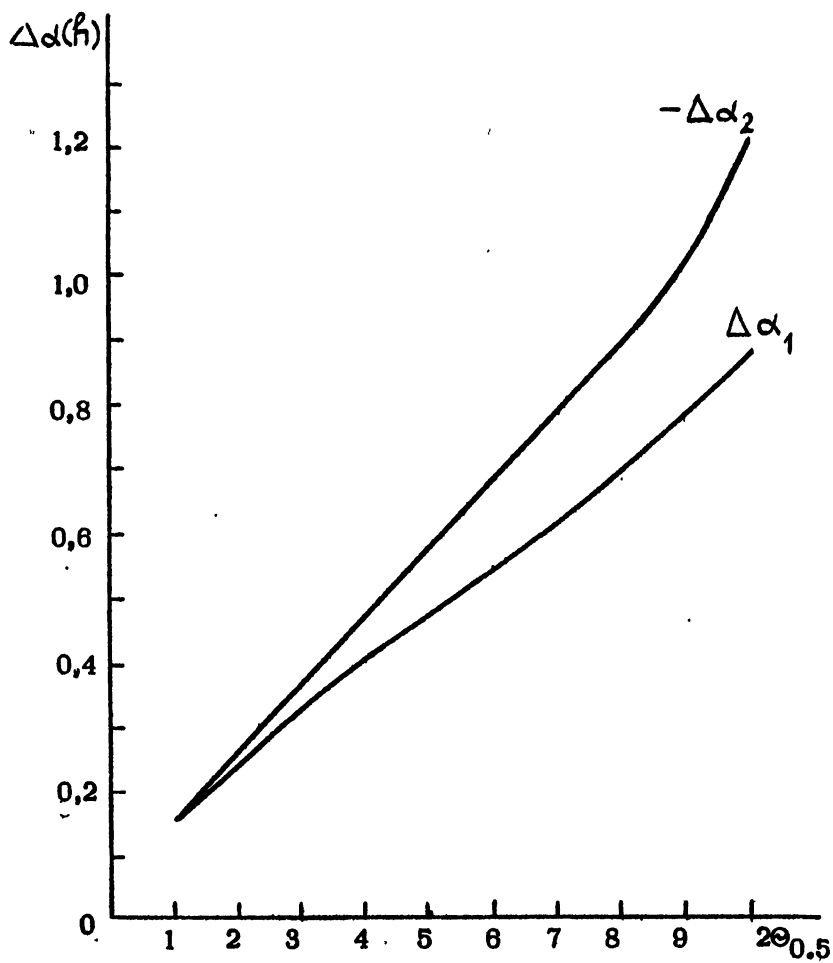


Рис. 12

влияние радиоизлучением фона (ТАФ) и источника (ТАСАС) соответственно. Линией (3) показана суммарная антенная температура, измеряемая радиометром (ТАН).

Для определения уровня нулевого отсчета антенной температуры вблизи Кассиопей-А выбирались опорные области. Этот выбор осуществлялся таким образом, чтобы удовлетворялось условие

$$T_{\Sigma \text{ оп}} = T_{\text{Ф. Кас}}$$

Здесь $T_{\Sigma \text{ оп}}$ - суммарная антенная температура, измеряемая радиометром при наведении антенны на опорную область, $T_{\text{Ф. Кас}}$ - антенная температура, обусловленная излучением фона при наведении антенны на источник.

На рис. 12 изображена зависимость положения опорных областей относительно Кассиопей-А: $\Delta \alpha = \alpha_{\text{оп}} - \alpha_{\text{Кас}}$ - от ширины диаграммы направленности $2\theta_{0,5}$ при отведении антенны в сторону возрастания ($+\Delta \alpha_1$) и уменьшения ($-\Delta \alpha_2$) прямого восхождения.

Для диаграмм $2\theta_{0,5} < 2^\circ$ отношение радиоизлучения фона к полезному сигналу от источника Кассиопей-А мало и поэтому можно применять обычную методику наблюдения с отведением антенны на симметричные относительно источника опорные области.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ^oАстрономический календарь (постоянная часть). — М.: Наука, 1973.
2. Berkhuijsen E.M.—Astron.and Astroph.,1971, v.14,N.3,p.359.
3. Penzias A.A.,Wilson R.W.—Astroph.J.,1966, v.146,N.3,p.666.
4. Howell T.F.—Astroph.Lett.,1970,v.6,N1, p.45.
5. Keen N.J.—Astron.and Astroph.,1973,v.24, N2,p.299.
6. Webster A.S, Mon.Not.Roy Astron.Soc.,1974, v.166,N2,p.355.

Дата поступления статьи
5 октября 1981 г.

Валентина Николаевна БУЕУКИНА
Борис Константинович ФЕДЯНЦЕВ
Владимир Васильевич ХРУЛЕВ

**К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОПОРНЫХ ОБЛАСТЕЙ
ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ МАЛЫХ АНТЕН
ПО РАДИОИЗЛУЧЕНИЮ КАССИОПЕИ-А**

Подписано в печать 31.12.81 г. МЦ 00844. Формат 60/84/16

Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 1.27 усл. печ. лис.

Тираж 120 экз. Заказ 2680. Бесплатно.

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский радиотехнический институт, г. Горький 603600,
ИСЛ-51, ул. Лядова 23/14, т. 38-80-81, д. 5-09.

Отпечатано на ротационте НИРФИ