

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ СЕВЕРНОГО СЕКТОРА РАДИОТЕЛЕСКОПА РАТАН-600

А. В. Темирова

Приведены результаты экспериментального исследования диаграмм направленности радиотелескопа РАТАН-600 по радиоизлучению космических источников на разных длинах волн при различных высотах наблюдения и в различных режимах работы антенны. Проведено сравнение экспериментальных диаграмм с расчетными. Показано их хорошее совпадение.

The results of experimental research of the radiotelescope RATAN-600 patterns at different elevations using the radiation of discrete quasi-point sources are discussed. Various regimes of the radiotelescope work are used. It is shown that the measured patterns fit with the calculated ones.

Как известно, антенна переменного профиля (АПП) — это антенна, в которой в отличие от обычных параболоидов вращения диаграмма направленности (форма и ширина) зависит от угла места θ_0 или высоты h наблюдаемого источника радиоизлучения [1, 2]. Это связано с тем, что форма раскрыва АПП изменяется с высотой. Кроме того, как и в обычных антеннах, ширина диаграмм направленности (д. н.) антенны переменного профиля зависит также от амплитудного распределения поля в раскрыве, т. е. от закона облучения основного зеркала АПП.

Возможно несколько режимов наблюдений источников радиоизлучения с помощью АПП. Так, например, можно установить и облучать постоянное число элементов, при этом горизонтальный размер антенны не меняется с ростом h , а изменяется только угол облучения антенны φ_0 . В этом случае ширина горизонтальной д. н. меняется мало, причем это изменение связано только с распределением поля в раскрыве АПП. Возможен и другой вариант работы, когда антенна имеет постоянный угол облучения ($\varphi_0 = \text{const}$). При этом по мере увеличения h растет число элементов, попадающих в раствор диаграммы облучателя, что приводит к увеличению размера апертуры и, следовательно, к уменьшению ширины горизонтальной д. н. Ширина же вертикальной д. н. определяется в основном глубиной раскрыва [2] и сужается по мере увеличения h , т. е. увеличения глубины. Возможны и другие режимы работы АПП, зависящие от условия проведения эксперимента. Так, например, при наблюдении одного и того же источника радиоизлучения можно использовать разное количество элементов (N_m).

Многообразие режимов приводит к тому, что амплитудное распределение поля в раскрыве антенны зависит от выбранного режима наблюдений, и при расчете д. н. радиотелескопа сложно выбрать амплитудное распределение поля, соответствующее всем режимам работы. Поэтому представляет большой интерес экспериментальное исследование д. н. радиотелескопа и сравнение их с расчетными.

Так как форма и ширина д. н. АПП зависят от высоты наблюдаемого источника радиоизлучения, то необходимо провести измерение д. н. радиотелескопа РАТАН-600 для ряда высот, находящихся в пределах ($10^\circ \leq h \leq 90^\circ$), при различных режимах наблюдения.

Вопросы исследования д. н. больших антенн радиоастрономическими методами описаны в литературе достаточно подробно [3—6]. Можно измерять д. н. антенны с помощью искусственных источников радиоизлучения как в дальней зоне антенны, так и в ее ближней зоне методом фокусировки антенны на конечное расстояние [7].

При измерении параметров антенн используется и автоколлимационный метод, позволяющий исследовать форму фокального пятна с помощью наземного генератора при работе антенны в сфокусированном режиме [8—10]. Однако измерения параметров АПП в ближней зоне в автоколлимационном режиме ($h=0^\circ$) позволяют провести качественную оценку ее д. н., в частности не позволяют измерить вертикальную д. н. АПП и выяснить зависимости д. н.

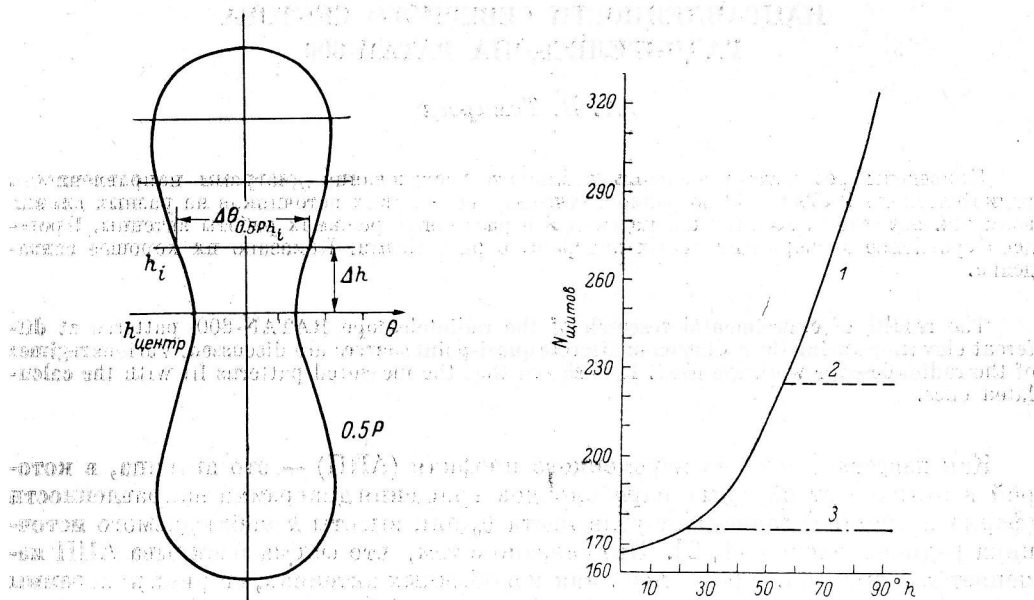


Рис. 1. Форма д. н. радиотелескопа по уровню половины мощности.

$\Delta\theta_{0.5P}$, h_i — полуширина д. н. по уровню половинной мощности в горизонтальном сечении.

Рис. 2. Зависимость количества используемых при наблюдении щитов от высоты источника. 1 — режим работы радиотелескопа с постоянным углом облучения; 2 и 3 — с постоянным размером апертуры антенны, равным соответственно $N_{щ} = 225$ и $N_{щ} = 175$ ($h \geq 25^\circ$).

(формы и ширины) от высоты h . Такие зависимости можно получить, воспользовавшись методом исследования д. н. остронаправленных антенн по радиоизлучению достаточно ярких космических источников. Этот метод позволяет провести окончательную проверку качества установки антенны, измерить ее д. н., определить ее эффективную площадь.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования д. н. Северного сектора радиотелескопа по радиоизлучению космических источников на разных длинах волн при различных высотах наблюдения h и в различных режимах работы антенны. Проведено сравнение экспериментальных диаграмм с расчетными.

1. Так как ширина диаграммы РАТАН-600 в коротковолновой части диапазона мала ($\sim 10''$), то исследования диаграмм в этой части диапазона можно проводить лишь по квазизвездным источникам с размерами менее $0.''001$ и с сильными потоками излучения. В этом случае при прохождении источника через диаграмму антенны запись на выходе радиотелескопа воспроизводит эту диаграмму $T_A(x, y) \sim A(x, y)$, где $T_A(x, y)$ — антенная температура источника, $A(x, y)$ — д. н. антенны по мощности. Поэтому экспериментальное исследование д. н. радиотелескопа проводилось по наблюдениям достаточно ярких точечных источников с различными склонениями, поток от которых хорошо известен: PKS 0521-36 ($h \approx 10^\circ$), OV-236 ($h \approx 17^\circ$), PKS 1830-21 ($h \approx 25^\circ$),

ЗС 273 ($h \approx 48^\circ$), ЗС 84 ($h = 87^\circ$), ЗС 147 ($h = 84^\circ$ к северу от зенита). * Такой выбор источников позволил перекрыть весь наблюдаемый диапазон высот.

Для заданной высоты источника h исследование диаграмм РАТАНа необходимо провести в нескольких горизонтальных сечениях $h_i = h_u \pm \Delta h$ (рис. 1), так как источник пересекает диаграмму северного сектора радиотелескопа в этих сечениях. Измерение д. н. состоит в записи кривых прохождения источников

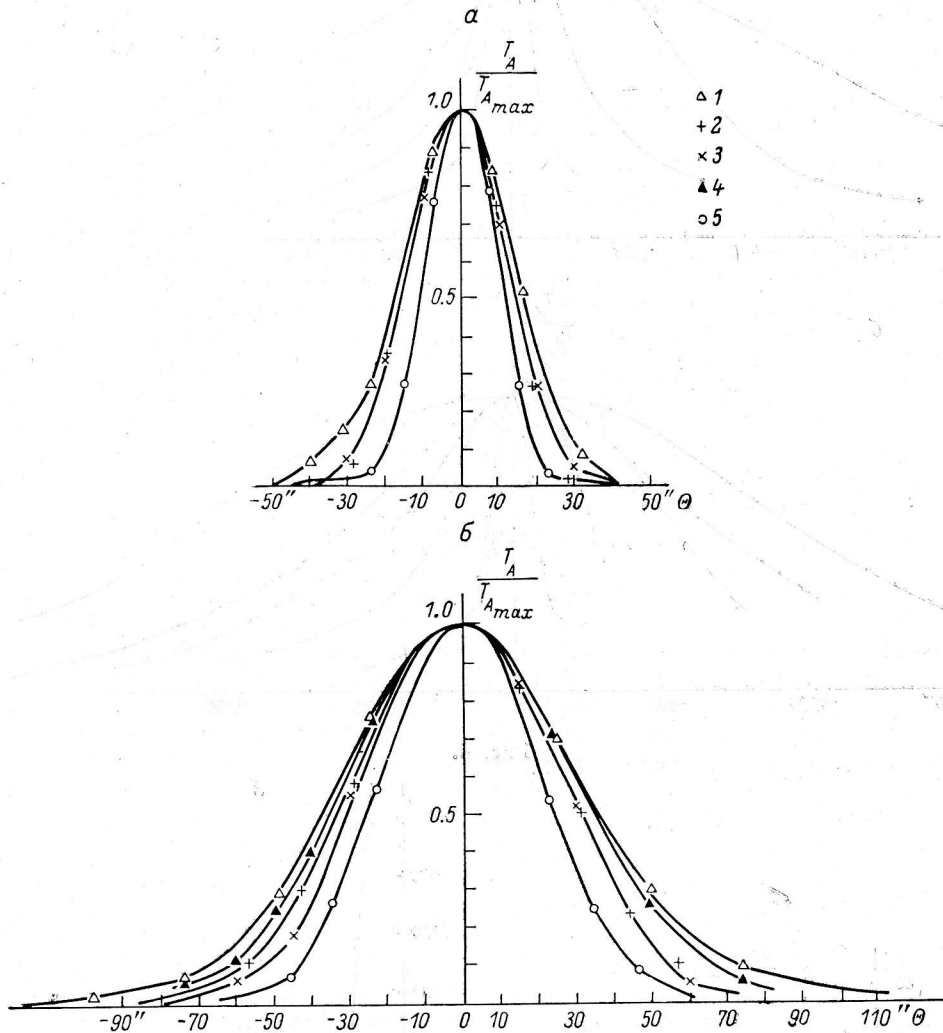


Рис. 3. Горизонтальные диаграммы направленности радиотелескопа, измеренные по радиоизлучению дискретных источников.

α — $\lambda = 3.9$ см; β — $\lambda = 8.2$ см. 1 — PKS 0521-36 ($N_{\text{ш}} = 169$); 2 — PKS 1830-21 ($N_{\text{ш}} = 175$); 3 — ЗС 273 [$N_{\text{ш}} = 175$ (а) и 206 (б)]; 4 — OV-236 ($N_{\text{ш}} = 172$); 5 — ЗС 84 ($N_{\text{ш}} = 225$). Все диаграммы исправлены за τ .

радиоизлучения в различных горизонтальных сечениях h_i и последующем анализе этих кривых: измерении антенной температуры T_A от точечного источника, измерении горизонтальных и вертикальных диаграмм радиотелескопа, оценки изменения ширины диаграммы в зависимости от высоты выбранного сечения h_i , сравнении полученных результатов с расчетными. Следует заметить, что в настоящее время радиотелескоп РАТАН-600 оснащен радиометрами с высокой чувствительностью ($2^\circ - 2.5^\circ$ мК) [11], что позволяет при исследовании д. н. измерять не только главный лепесток диаграммы, но и боковые (по уровню

* Несмотря на то что данные источники не являются точечными, для измерений д. н. на волнах $\lambda = 3.9$ и 8.2 см они могут быть использованы.

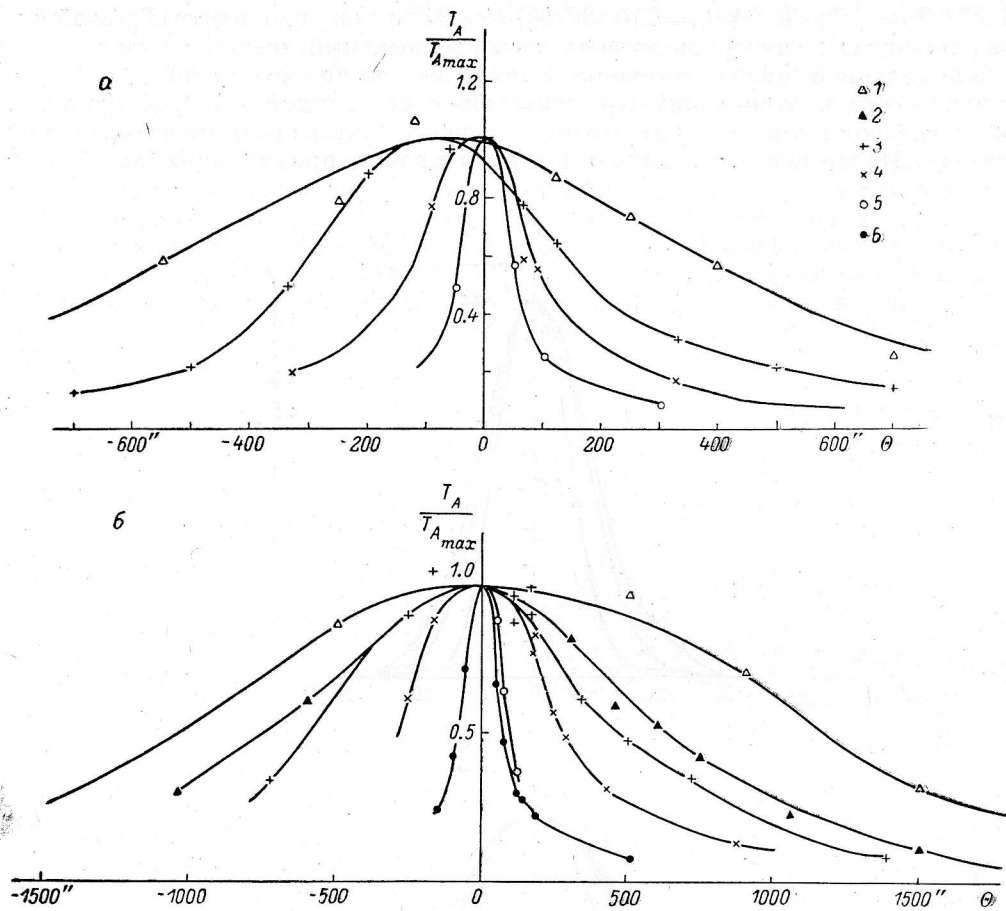


Рис. 4.

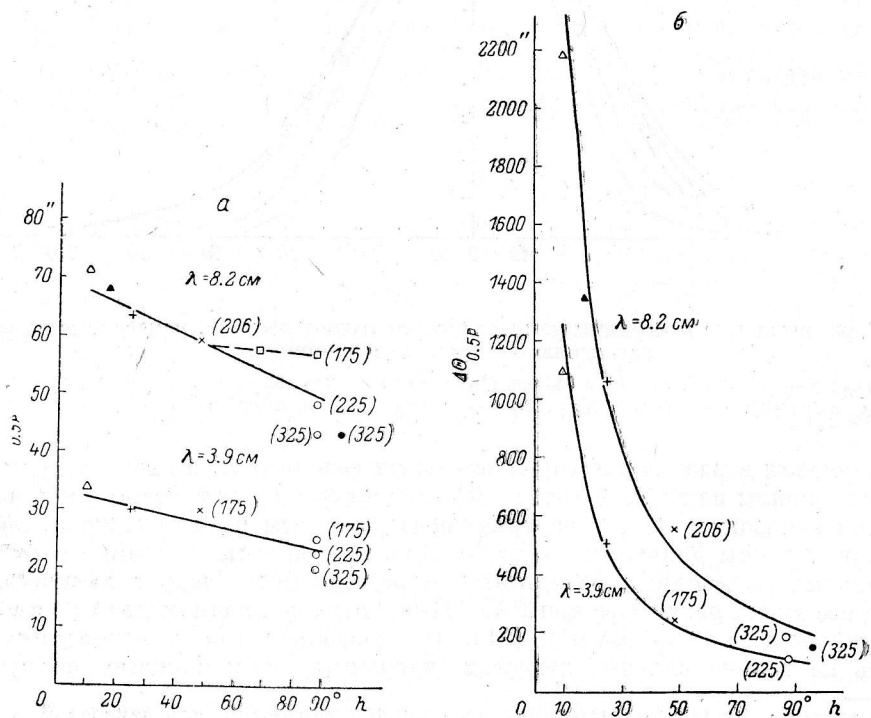


Рис. 5.

ниже 30 дБ), т. е. оценить динамический диапазон РАТАНа. Однако настоящая работа ограничивается только исследованием главного лепестка диаграммы антенны.

При экспериментальном исследовании д. н. радиотелескопа необходимо помнить также, что конструкция АПП такова, что если принять угол облучения антенны из фокуса равным $2\varphi_0=124^\circ$, то при $h=0$ можно выставить всего 167 щитов по заданной кривой, близкой к параболе [1]. По мере увеличения высоты наблюдаемого источника радиоизлучения и сохранения постоянным угла облучения антенны φ_0 количество используемых щитов увеличивается (рис. 2) и на высотах $h \approx 55^\circ$ достигает $N_{\text{щ}}=225$ (размера Северного сектора). При наблюдении источников с $h \geq 55^\circ$ режимы наблюдения радиотелескопа могут быть разные: с постоянным углом облучения антенны $2\varphi_0=124^\circ$ (рис. 2, кривая 1) и с постоянным размером апертуры антенны, при этом количество используемых щитов равно $N_{\text{щ}}=225$ независимо от h (кривая 2).

Исследования д. н. радиотелескопа РАТАН-600 проводились в два этапа: в январе 1979 г. и в январе 1980 г. В первом случае исследовались диаграммы на волне $\lambda=8.2$ см при постоянном угле облучения антенны. Во втором случае проводились измерения д. н. на волне $\lambda=3.9$ см при постоянном горизонтальном размере антенны ($N_{\text{щ}}=175$, рис. 2, 3). В обоих случаях использовались и другие режимы работы радиотелескопа.

2. Результаты исследования д. н. Северного сектора радиотелескопа РАТАН-600 приведены ниже. На рис. 3 построены горизонтальные диаграммы антенны при разных h для волн $\lambda=3.9$ и 8.2 см. Из рис. 3 видно, что д. н. на волне $\lambda=3.9$ см при $h=25$ и 48° практически совпадают, так как горизонтальный размер антенны при наблюдении на этих высотах не меняется ($N_{\text{щ}}=175$). На волне $\lambda=8.2$ см наблюдается сужение горизонтальной диаграммы с ростом h , так как количество используемых щитов непрерывно увеличивается (рис. 3, б). На рис. 4 представлены вертикальные д. н. радиотелескопа для разных h и длин волн. Как видно из приведенных рисунков, наблюдается смещение измеренных вертикальных диаграмм на низких высотах, особенно при $h=25^\circ$. По-видимому, смещение центра вертикальной диаграммы, построенной по наблюдениям максимальной антенной температуры T_A источника PKS 1830-21 в различных горизонтальных сечениях, происходит вследствие неточного учета рефракции.

На рис. 5 сплошной линией приведены зависимости полуширины горизонтальной и вертикальной диаграмм радиотелескопа по уровню половины мощности ($\Delta\theta_{0.5P_{\text{гор}}}$, $\Delta\theta_{0.5P_{\text{верт}}}$) от высоты источника для разных длин волн при условии, что угол облучения антенны $\varphi_0=63^\circ$ сохраняется постоянным в диапазоне высот $10^\circ \leq h \leq 60^\circ$. При $h=90^\circ$ угол облучения принимался равным $\varphi_0=45^\circ$, что соответствует количеству используемых при расчете щитов $N_{\text{щ}}=225$ [12]. Здесь же нанесены экспериментальные точки, полученные по наблюдениям источников радиоизлучения при различных режимах работы радиотелескопа. Поэтому в скобках обозначено количество щитов, используемых при наблюдении данного источника. Так как при $h \leq 25^\circ$ количество выставляемых щитов радиотелескопа не превышает 175 (рис. 2), то условия наблюдений и расчета в этом случае совпадают. Как видно из рис. 5, расчетные и экспериментальные величины полуширин д. н. достаточно хорошо согласуются друг с другом, если принять во внимание условия проведения эксперимента и расчета. При этом $\Delta\theta_{0.5P_{\text{гор}}}$ меняется мало с ростом h , в то время как $\Delta\theta_{0.5P_{\text{верт}}}$ уменьшается более чем в 10 раз, что связано с искривлением формы раскрыва антенны [2]. При

Рис. 4. Вертикальные д. н. радиотелескопа, измеренные по радиоизлучению дискретных источников.

а — $\lambda=3.9$ см; б — $\lambda=8.2$ см; 1 — PKS 0521-36 ($N_{\text{щ}}=169$); 2 — OV-236 ($N_{\text{щ}}=172$); 3 — PKS1830-21 ($N_{\text{щ}}=175$); 4 — 3C 273 [$N_{\text{щ}}=175$ (а) и 206 (б)]; 5 — 3C 84 [$N_{\text{щ}}=175$ (а) и 325 (б)]; 6 — 3C 147 ($N_{\text{щ}}=325$).

Рис. 5. Зависимости полуширин горизонтальной (а) и вертикальной (б) диаграмм радиотелескопа от высоты источника для волн $\lambda=3.9$ и 8.2 см.

Сплошной и штриховой линиями обозначены расчетные зависимости; около экспериментальных точек в скобках указано количество используемых щитов.

$h=48^\circ$ на волне $\lambda=3.9$ см измеренная полуширина горизонтальной д. н., как и следовало ожидать, больше расчетной, так как измерения на этой высоте проводились при $N_{\text{щ}}=175$, а расчет при $N_{\text{щ}}=206$. На рис. 5, а для волны $\lambda=8.2$ см штриховой линией построены также расчетные $\Delta\theta_{0.5P_{\text{гор}}}$ для высот $50^\circ \leq h \leq 90^\circ$ при $N_{\text{щ}}=175$. В этом случае расчетные величины $\Delta\theta_{0.5P_{\text{гор}}}$ практически не меняются с ростом высоты, так как сохраняется постоянным горизонтальный размер антенны.

Наибольшее отличие экспериментальной величины $\Delta\theta_{0.5P_{\text{верт}}}$ от расчетной наблюдается на волне $\lambda=8.2$ см при $h=10^\circ$ (рис. 5, б), что, по-видимому, связано с необходимостью учета эффекта перископичности основного зеркала АПП при вычислении вертикальной д. н. Эффект перископичности приводит к более равномерному распределению поля по вертикали, а следовательно, к уменьшению вертикальной д. н. элемента, которая на низких h и определяет вертикальную диаграмму антенны. При больших h это обстоятельство несущественно, так как вертикальная диаграмма определяется не высотой щита, а формой и глубиной раскрыва [2].

На рис. 6 представлена зависимость экспериментальной полуширины горизонтальной д. н. от количества щитов, используемых при наблюдении источника ЗС 84 для волн $\lambda=3.9$ и 8.2 см. Как и следовало ожидать, при увеличении $N_{\text{щ}}$ величина $\Delta\theta_{0.5P_{\text{гор}}}$ уменьшается.

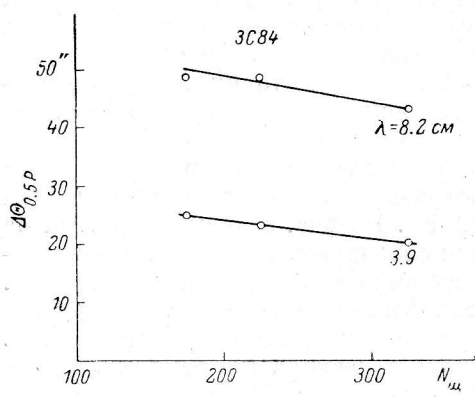


Рис. 6. Зависимость полуширины горизонтальной д. н. от количества выставленных щитов.

волн $\lambda=3.9$ и 8.2 см. На этом же рисунке нанесены также расчетные точки при $h=25^\circ$ для $\lambda=3.9$ см.

Таким образом, приведенные в работе результаты экспериментального исследования д. н. радиотелескопа РАТАН-600 на различных высотах при разных режимах работы позволили провести сравнение экспериментальных характеристик с расчетными.

Так как экспериментальные и расчетные д. н. радиотелескопа хорошо совпадают на выбранных нами для исследования высотах, то при обработке наблюдений можно воспользоваться расчетными характеристиками и для всех остальных высот диапазона ($10^\circ \leq h \leq 90^\circ$).

На низких углах при длине волны $\lambda=8.2$ см, по-видимому, следует провести расчет д. н. радиотелескопа с учетом перископичности основного отражателя АПП, так как он находится в промежуточной зоне антенны.

Следующий этап экспериментального исследования характеристик Северного сектора радиотелескопа РАТАН-600, — это измерение его д. н. в более широком телесном угле.

В заключение автор выражает благодарность Н. А. Есепкиной и Н. С. Солевой за проявленный интерес к работе, а Н. Е. Гольневой за помощь в обработке результатов наблюдений.

Литература

1. Большой пулковский радиотелескоп / С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Н. А. Есепкина, О. Н. Шиврис. — Изв. ГАО, 1960, 164, с. 3—26.
2. Исследование характеристик излучения остронаправленных зеркальных антенн с отражателем переменного профиля / Н. А. Есепкина, Н. Л. Кайдановский, Б. Г. Кузнецов, Г. В. Кузнецова, С. Э. Хайкин. — Радиотехника и электроника, 1961, № 12, с. 1947—1960.

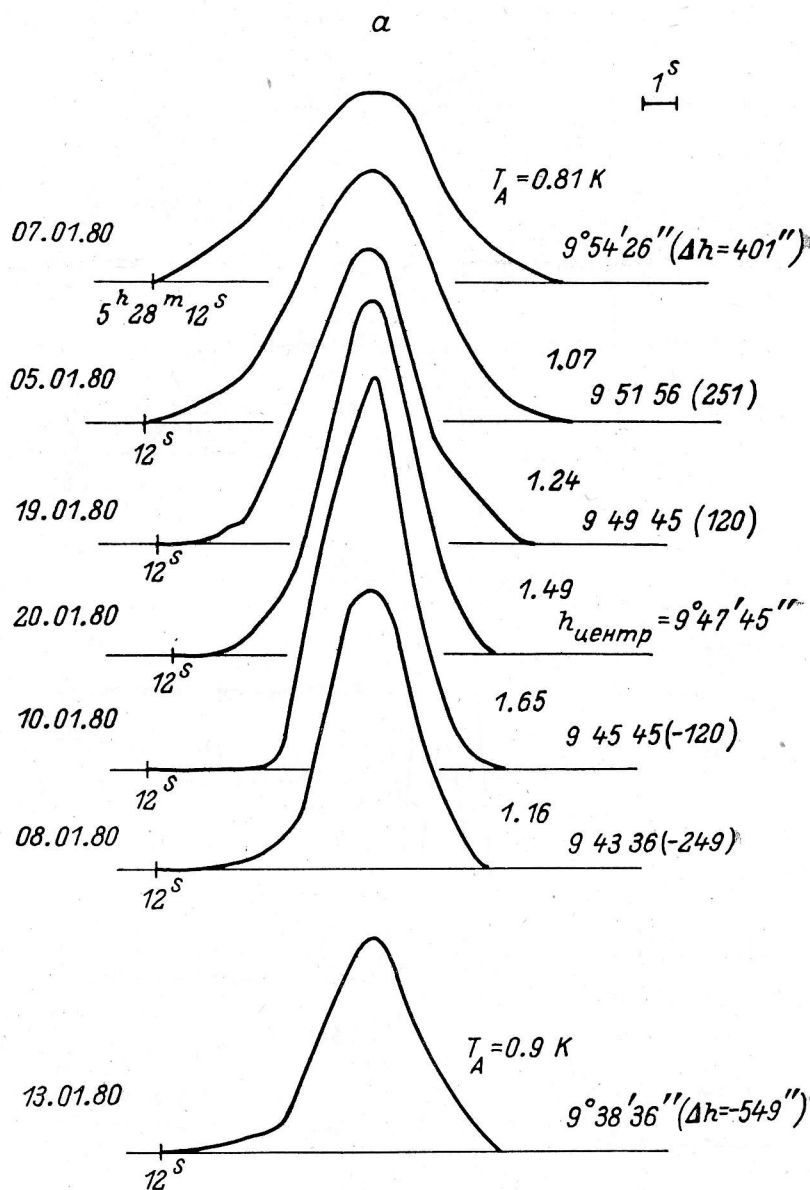


Рис. 7. Кривые прохождения PKS 0521-36 в различных горизонтальных сечениях.

a — $\lambda = 3.9$ см. Все записи пронормированы к центральному сечению и исправлены за постоянную времени τ ; калибровка велась по генератору шума $\Gamma_{\text{Ш}} = 1.03 K$, $\Delta h = h_i - h_{\text{ц}}$; **б** — $\lambda = 8.2$ см; $\tau = 0.2$.

6

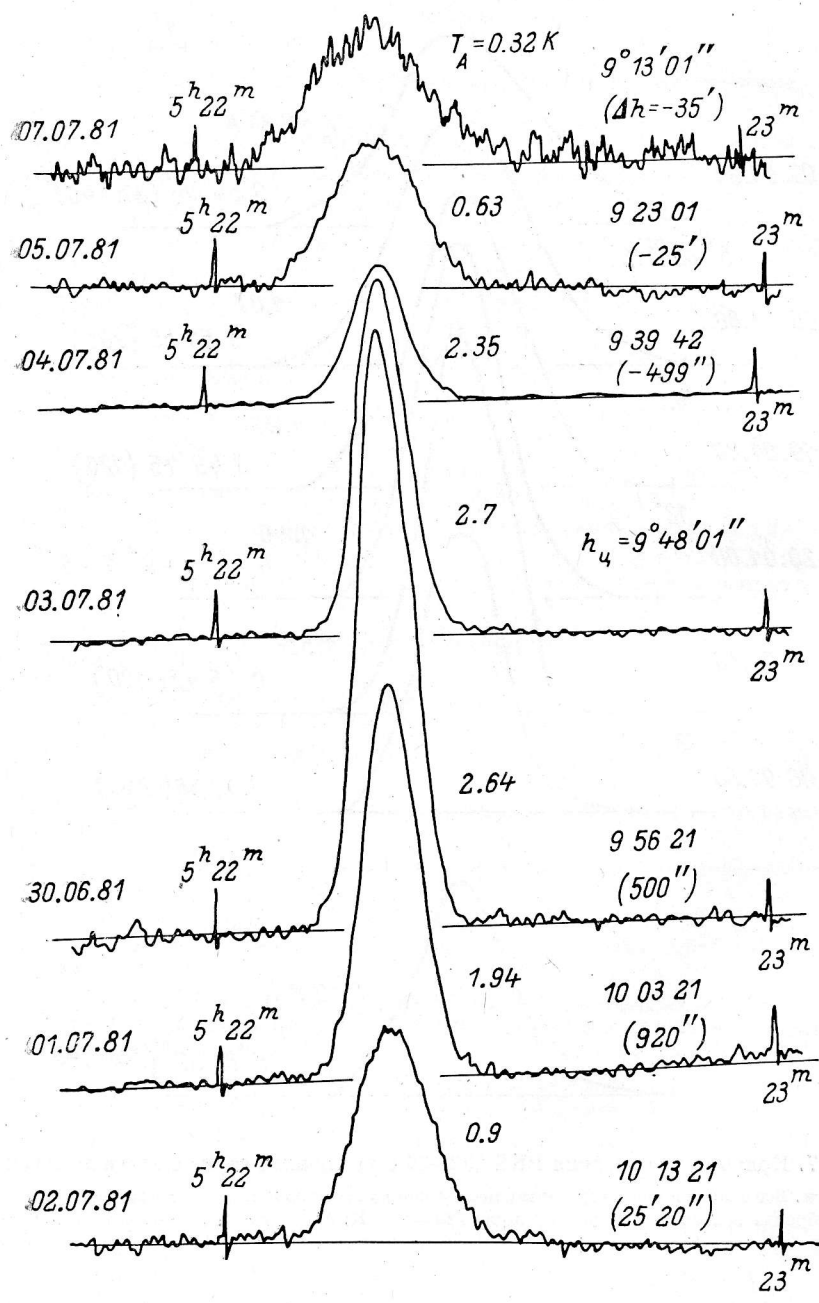


Рис. 7 (продолжение).

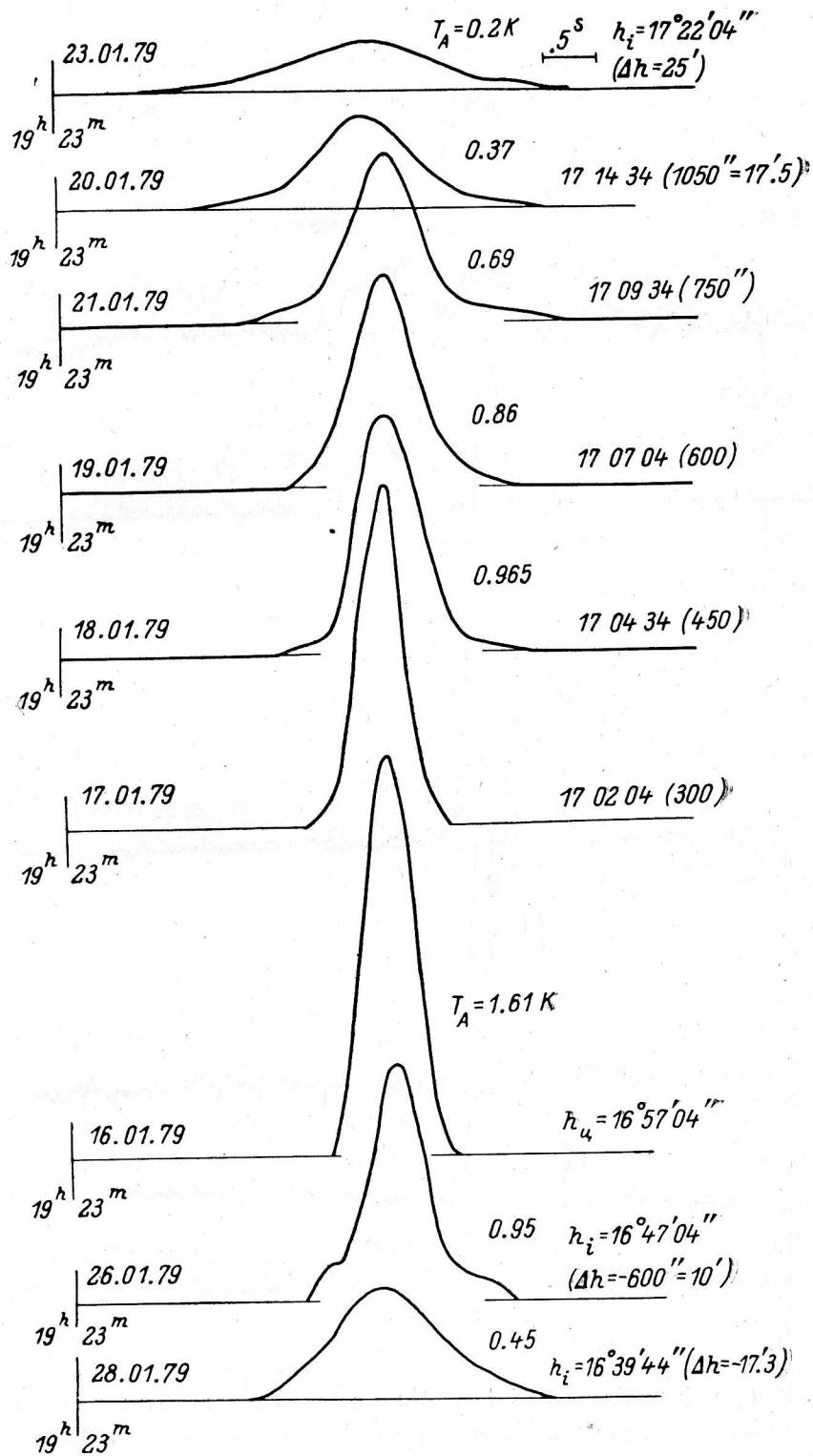


Рис. 8. Кривые прохождения OV-236 в различных горизонтальных сечениях на волне $\lambda = 8.2$ см ($\tau = 0.2$).

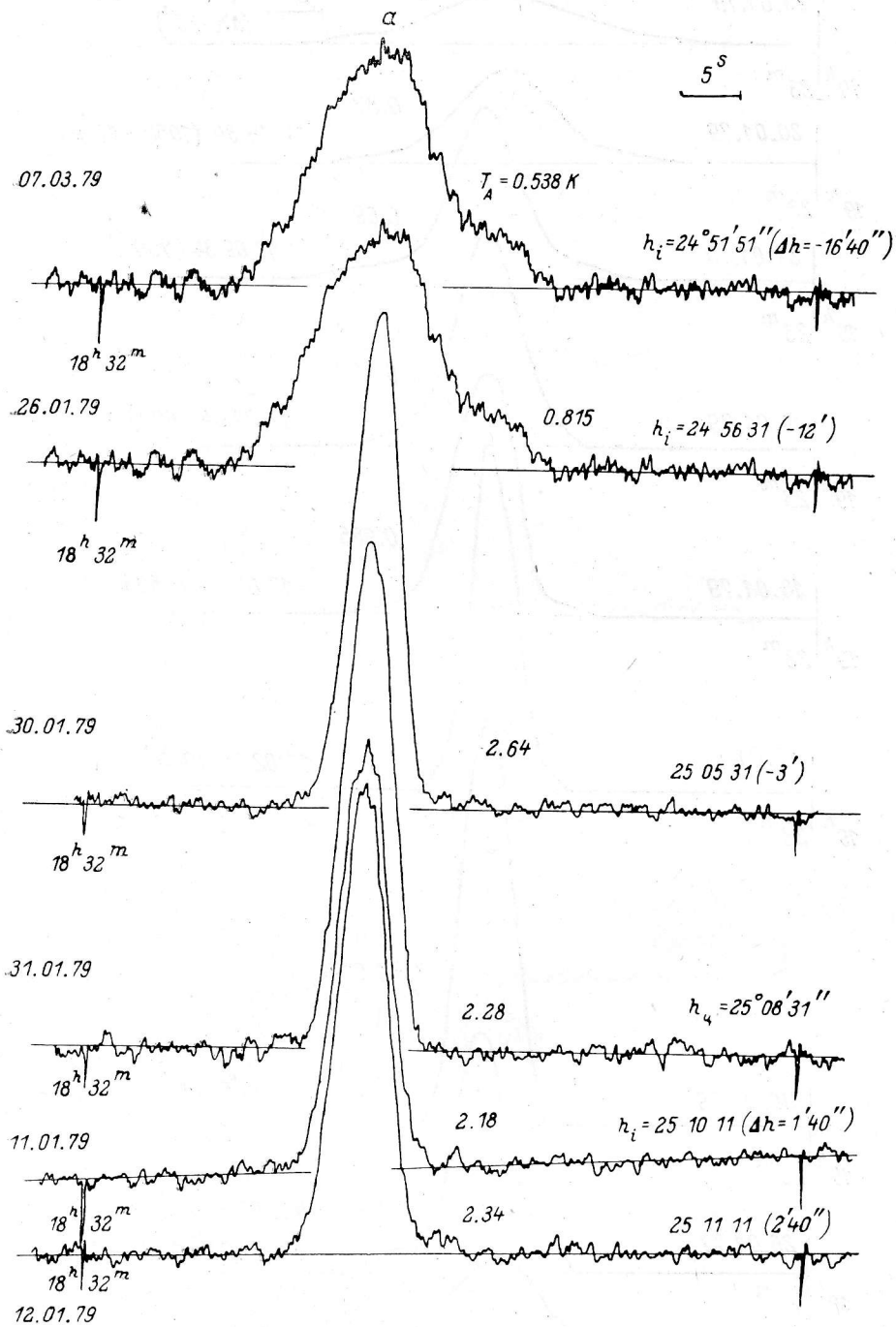


Рис. 9. Кривые прохождения PSK 1830-21 в различных горизонтальных сечениях.

α — $\lambda = 8.2$ см; β — $\lambda = 3.9$ см; $\tau = 0.2$. Все записи пронормированы к центральному сечению и исправлены за τ .

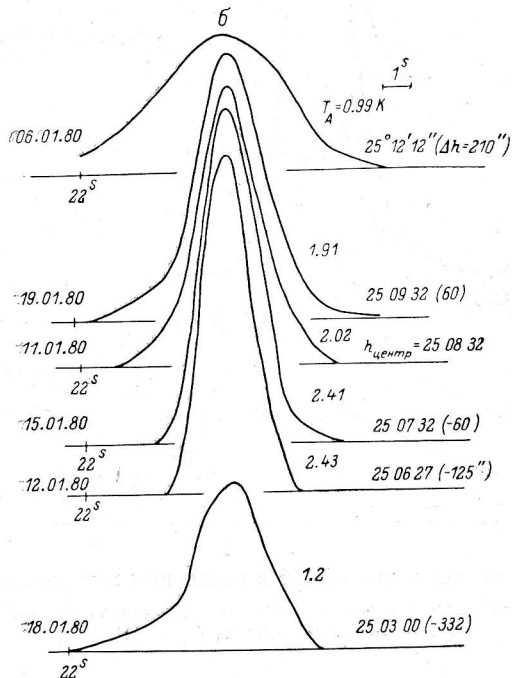
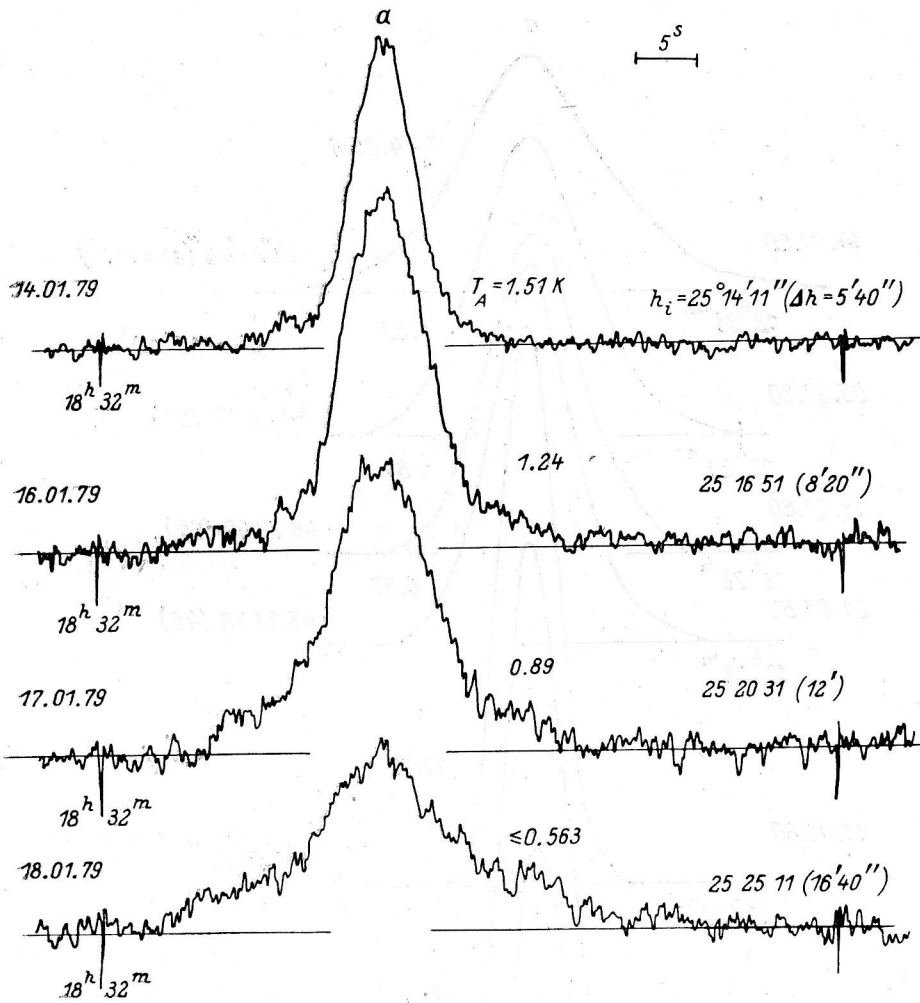


Рис. 9 (продолжение).

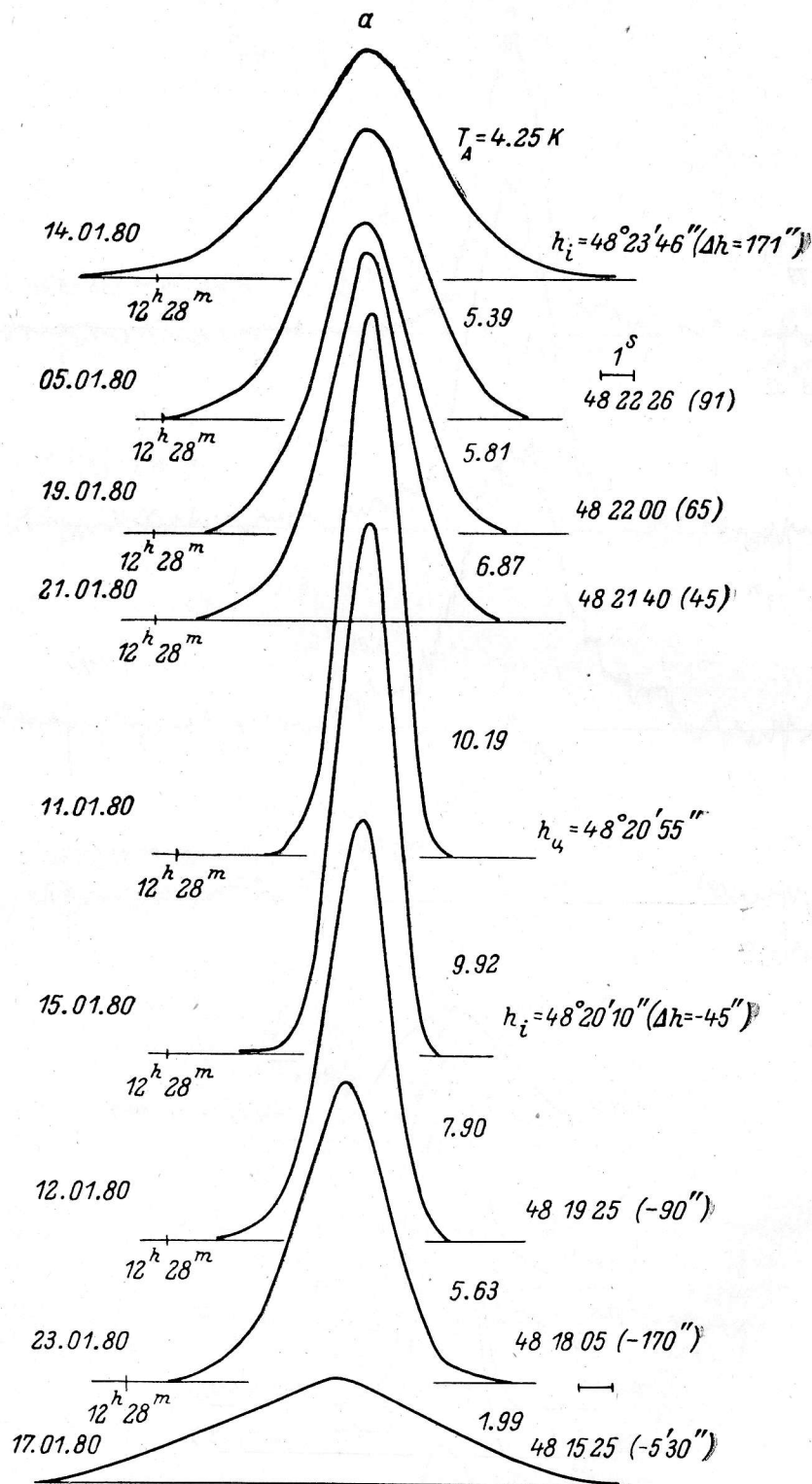


Рис. 10. Кривые прохождения 3С 273 в различных горизонтальных сечениях.

α — $\lambda = 3.9$ см. Все записи пронормированы к центральному сечению и исправлены за $\tau (N_{\text{ш}} = 175)$.
 β — $\lambda = 8.2$ см ($\tau = 0.1$, $N_{\text{ш}} = 175$).

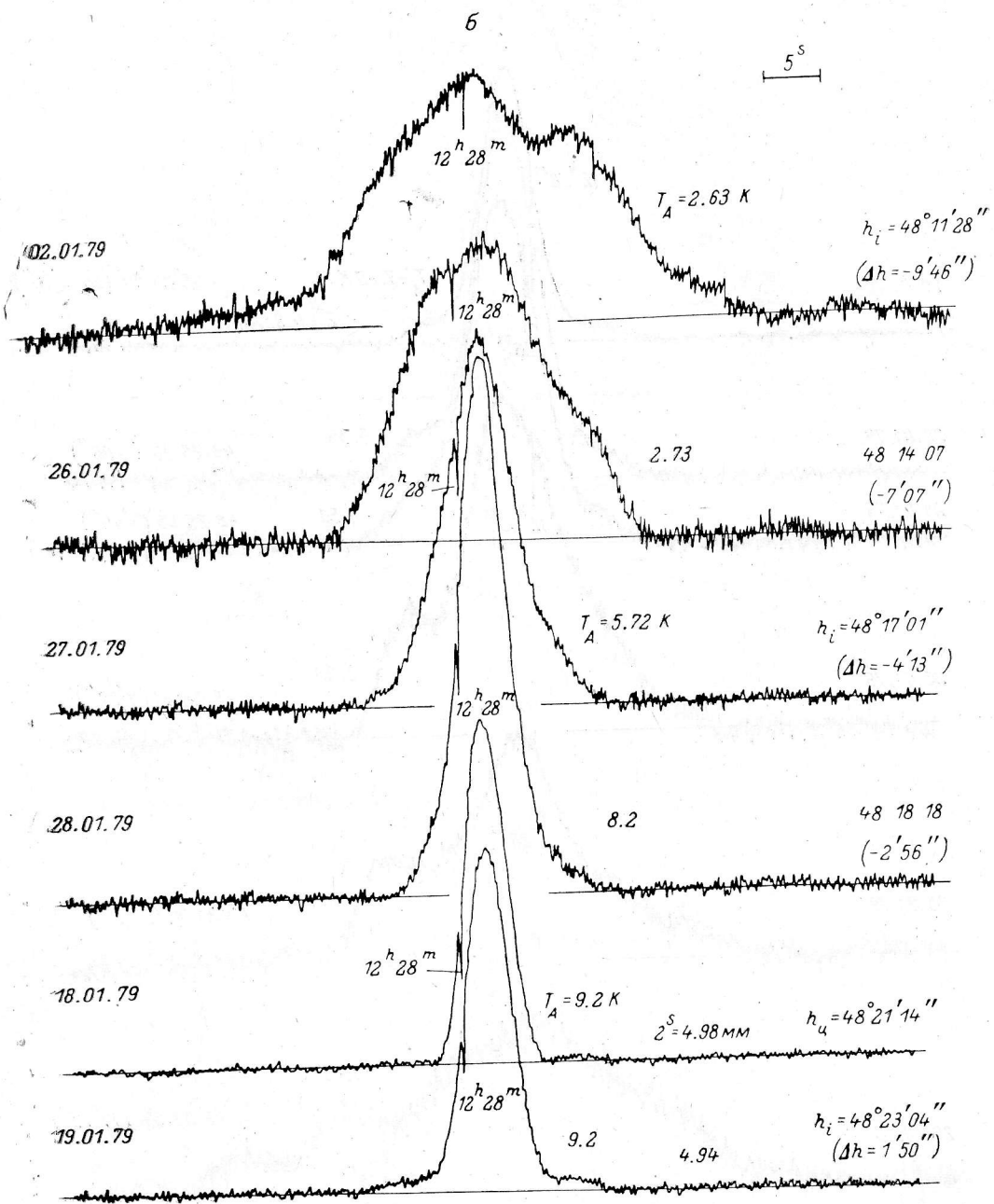


Рис. 10 (продолжение).

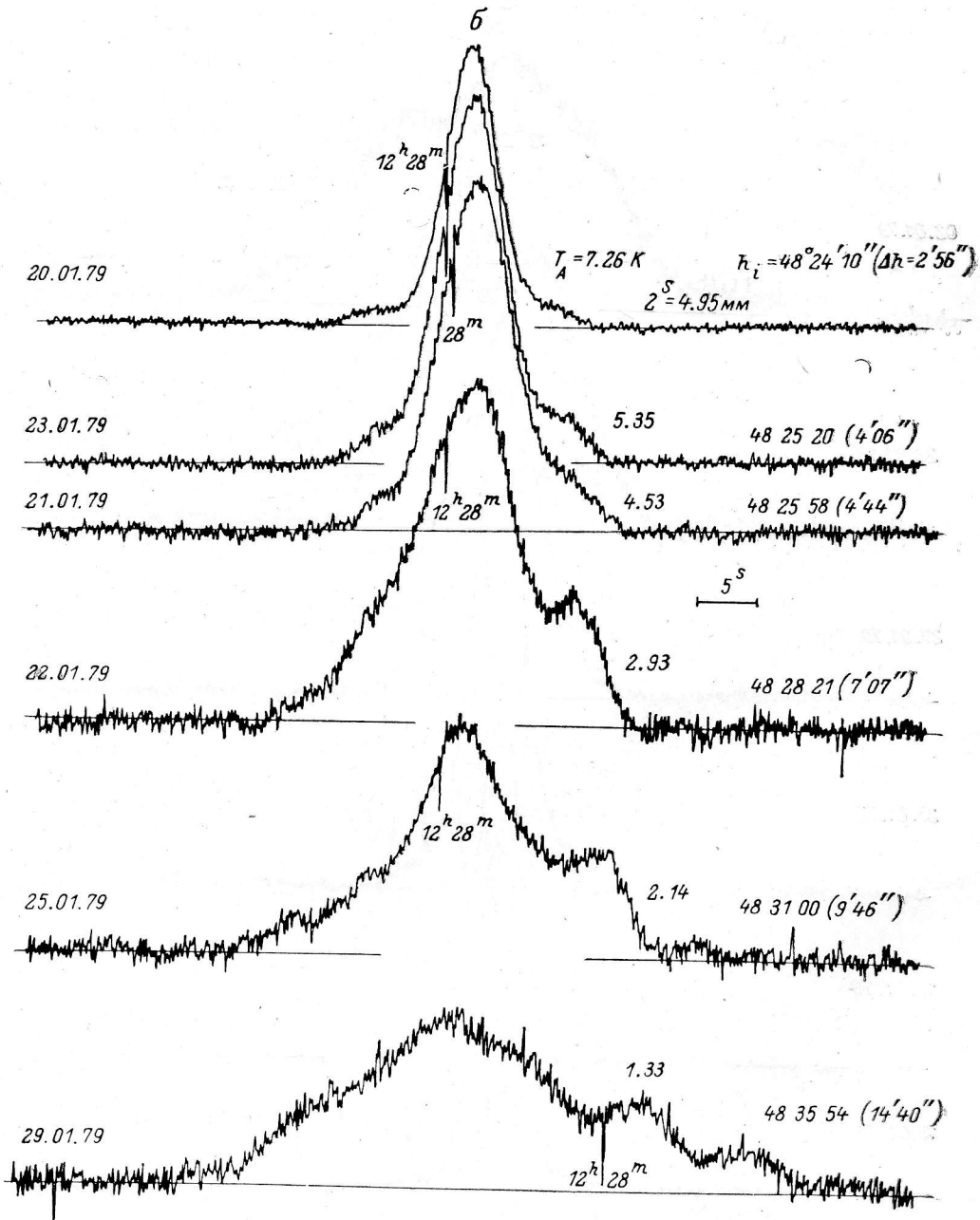


Рис. 10 (продолжение).

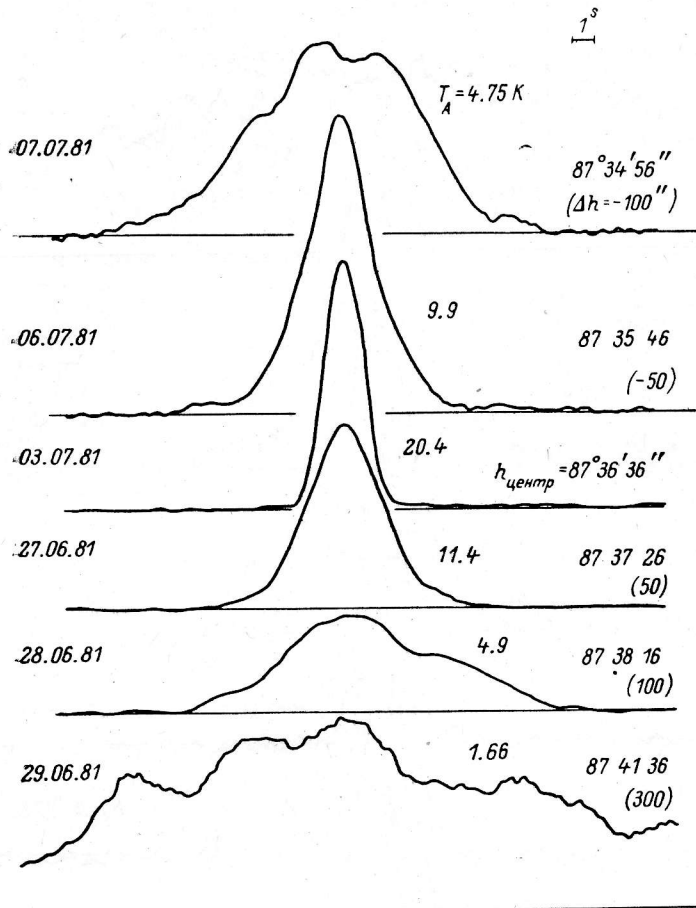


Рис. 11. Кривые прохождения ЗС 84 в различных горизонтальных сечениях на волне $\lambda=3.9$ см ($\tau=0^{\circ}2$, $N_{\text{ш}}=225$).

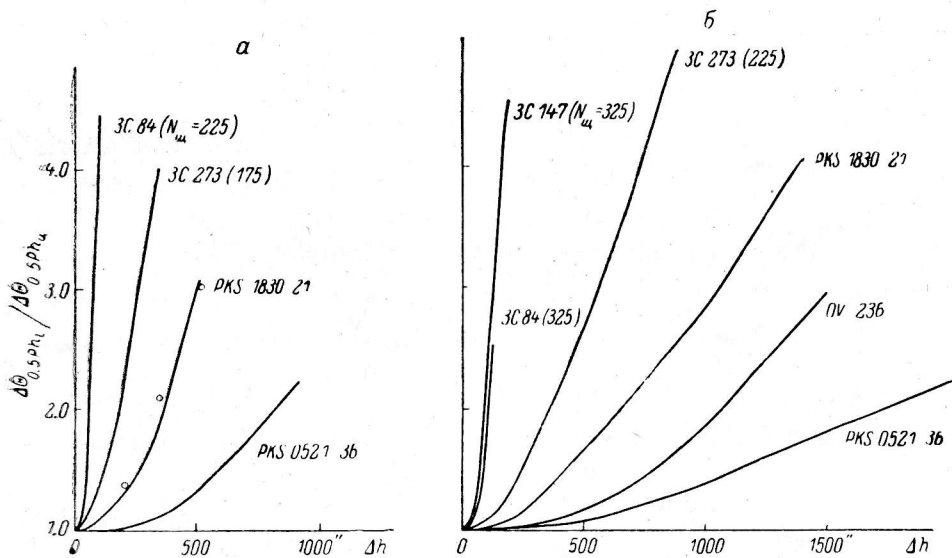


Рис. 13. Увеличение полуширины горизонтальной д. н. $\Delta\theta_{0.5P h_i}$ в сечении h_i в зависимости от Δh — величины отклонения высоты наблюдаемого сечения от центрального для длин волн $\lambda=3.9$ см (а) и $\lambda=8.2$ см (б).

Полуширина $\Delta\theta_{0.5P h_i}$ пронормирована к полуширине горизонтальной д. н. по уровню половинной мощности в центральном сечении — $\Delta\theta_{0.5P h_0}$.

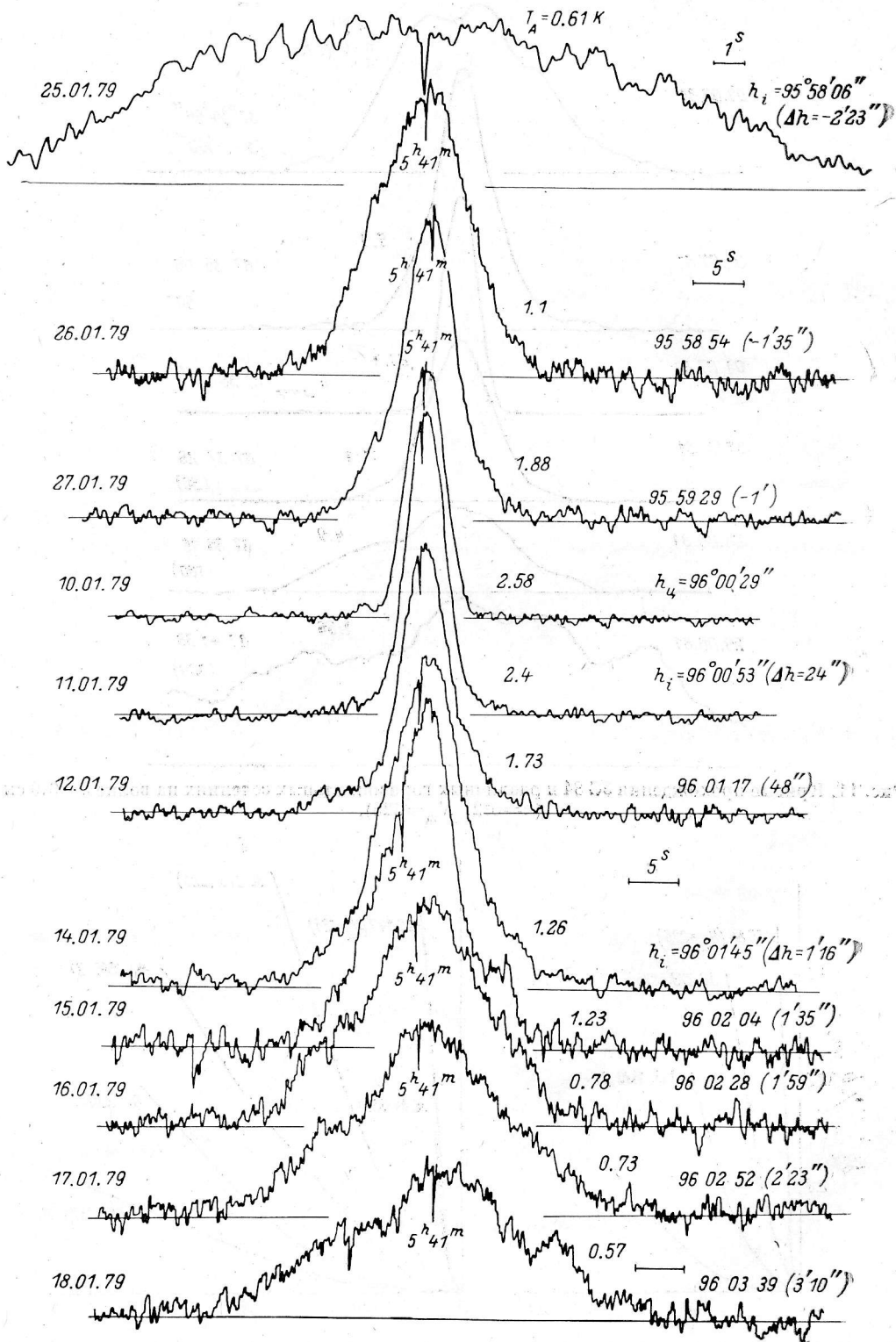


Рис. 12. Кривые прохождения ЗС 147 в различных горизонтальных сечениях на волне $\lambda = 8.2$ см ($\tau = 0^{\circ}1$, $N_{\text{ш}} = 325$).

3. Кузьмин А. Д., Саломонович А. Е. Радиоастрономические методы измерения параметров антенн. Сов. радио, 1964.
4. Парийский Ю. Н. Контроль параметров антенны по радиоастрономическим наблюдениям. — Изв. ГАО, 1972, 188, с. 149—151.
5. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. Наука, 1973.
6. Цейтлин Н. М. Антенная техника и радиоастрономия. Сов. радио, 1976.
7. Брауде Б. В., Есепкина Н. А. Об измерении параметров остронаправленных антенн в ближней зоне методом фокусировки на конечное расстояние. — Радиотехника и электроника, 1970, 15, № 6, с. 1131—1139.
8. Методы настройки антенны переменного профиля в ближней зоне / С.Э. Хайкин, В. Ю. Петрунькин, Н. А. Есепкина, В. Н. Умецкий, Б. Г. Кузнецов. — Изв. ГАО, 1964, 23, № 179, с. 128—136.
9. Стоцкий А. А., Ходжамухаммедов Н. Экспериментальное исследование автоколлимационного метода юстировки антенны переменного профиля. — Изв. ГАО, 1972, 188, с. 129—137.
10. Ходжамухаммедов Н., Стоцкий А. А., Боровик В. Н. Автоколлимационный метод юстировок и контроля антенны переменного профиля. — Радиотехника и электроника, 1970, 15, № 2, с. 257—262.
11. Глубокий обзор неба на волне 7.6 см с помощью радиотелескопа РАТАН-600 / А. Б. Берлин, Е. В. Булаенко, В. Я. Гольнев, В. Н. Докучаев, В. В. Кононов, Д. В. Корольков, Н. М. Липовка и др. — Письма в Астрон. журн., 1981, 7, № 5, с. 290.
12. Поляризационные характеристики радиотелескопа РАТАН-600 с учетом aberrаций / Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев, Л. Г. Васильева, И. А. Водоватов, А. В. Темирова. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1980, 12, с. 106—124.

Поступила в редакцию 30.12.81