

УДК 520.272.28

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ РАТАН-600 В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ ГЛУБОКОГО RZF-ОБЗОРА (1998–2003 гг.)

© 2007 Е. К. Майорова, Н. Н. Бурсов

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 2 апреля 2007 г.; принята в печать 10 апреля 2007 г.

В настоящей работе построена экспериментальная диаграмма направленности (ДН) РАТАН-600 по выборке источников из NVSS-каталога, которые наблюдались в процессе проведения глубокого обзора неба вблизи местного зенита. По данным наблюдений источников на волне $\lambda 7.6$ см в 9-ти полосах обзора (сеты 2002 и 2003 гг.) построены вертикальные ДН радиотелескопа при достаточно больших выносах от центрального горизонтального сечения ДН ($\pm 36'$). Проведено сравнение экспериментальных ДН, полученных различными методами, и оценены среднеквадратичные ошибки отклонений экспериментальных ДН относительно расчетных. Получены оценки стабильности диаграммы в ее центральной части ($\pm 6'$) в период проведения RZF-обзора (RATAN-600 Zenith Field) (1998–2003 гг.) и оценки точности измерения плотностей потоков источников, которые наблюдались в этом обзоре и вошли в RZF-каталог [1].

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является продолжением серии работ по исследованию диаграммы направленности (ДН) радиотелескопа РАТАН-600. Эти исследования проводились расчетным путем [2–9], методами оптического моделирования [10–12], а также с помощью наблюдений ярких космических источников [13–15]. Это дало возможность получить достаточно полное представление о ДН в интенсивности и поляризации. Окончательные результаты по согласованию расчетных и экспериментальных диаграмм направленности были получены в работах [9, 15]. Было показано, что дополнительный учет дифракционных эффектов в раскрыве главного зеркала и конечного вертикального размера его отражающих элементов [9] дает хорошее согласие с результатами измерений ДН в большом телесном угле, вплоть до уровня 0.5% от максимума диаграммы направленности [15]. Проведено численное моделирование влияния характера распределения ошибок в установках отражающих элементов главного зеркала на структуру ДН в далеких сечениях. Эти расчеты нашли экспериментальное подтверждение в циклах наблюдений опорных источников в 2001 и 2002 гг. [15].

Необходимость в подробном изучении ДН РАТАН-600 связана с ее сложной структурой и с тем, что форма диаграммы существенно зависит от высоты наблюдаемого источника. При наблюдениях с одним сектором антенны она меняется

от “ножевой” (при наблюдениях на горизонте) до практически “карандашной” — при наблюдениях околосенитных источников. Вблизи местного зенита ДН имеет узкий главный лепесток, полуширина которого (НРВW) определяется горизонтальным раскрывом сектора, и протяженный рассеянный фон, мощность которого в вертикальной плоскости спадает как $1/u$. Протяженность этого фона в вертикальной плоскости зависит от вертикального размера щита и может составлять до 100 НРВW. На небе этот рассеянный фон локализуется в двух симметричных относительно центрального сечения секторах с вершинами в максимуме ДН и угловыми размерами 90° . С уменьшением угла места, на который сфокусирована антенна (высоты наблюдаемого источника H), такой “веер” рассеянного фона ДН постепенно “схлопывается” (уменьшается угловой размер секторов) и на низких углах превращается в узкую, вытянутую в вертикальной плоскости структуру — диаграмма становится “ножевой”.

Для экспериментальных исследований ДН РАТАН-600 в работах [13–15] использовался радиоастрономический метод измерения диаграмм направленности радиотелескопов, описанный, например, в работе [18]. Этот метод заключается в измерении антенных температур космического источника при прохождении его через различные сечения ДН. Для измерений выбираются так называемые “точечные” источники, угловые размеры которых много меньше ширины ДН. В этом случае

отклик антенны на выходе радиометра с точностью до множителя совпадает с ДН в заданном горизонтальном сечении. В процессе наблюдений регистрируются кривые прохождения источника через различные горизонтальные сечения ДН, отстоящие от центрального сечения на величину dH по склонению. Нормировка ДН проводится к максимуму антенной температуры источника в центральном сечении ($dH = 0$). Зависимости нормированных максимальных антенных температур источника от величины dH представляют собой вертикальные диаграммы направленности радиотелескопа F_v по мощности.

Этот метод позволяет построить двумерную карту ДН с высокой степенью точности. Однако, чтобы измерить диаграмму в достаточно большом телесном угле, необходимы наблюдения многочисленных прохождений яркого космического источника через неподвижную ДН. Чем более детально мы хотим измерить диаграмму, тем больше антенного времени требуют такие исследования. Поэтому измерения диаграммы описанным способом не могут быть частыми. Вместе с тем проводимые в течение ряда лет на РАТАН-600 глубокие обзоры неба требуют хорошего знания ДН в больших телесных углах. Чем чувствительнее обзор, тем более надежной должна быть информация о состоянии диаграммы направленности в период его проведения. Для определения плотностей потоков от источников и оценки их склонений необходимо хорошее знание формы диаграммы в далеких сечениях и вертикальной диаграммы направленности радиотелескопа. Кроме того, важна информация о стабильности ДН во времени.

Следует отметить, что при исследовании отдельных источников, проходящих через центральное сечение ДН, для определения их плотностей потоков используются “опорные” источники с хорошо известными плотностями потоков и склонениями, близкими к склонению исследуемого источника. В таком режиме наблюдений вполне достаточно информации о ДН в ее центральном сечении. При проведении глубоких обзоров неба информация о ДН необходима как минимум в полосе склонений проводимого обзора.

Диаграмму можно рассчитать по имеющимся программам [9] или использовать результаты экспериментальных исследований 2001 – 2002 гг. [15]. Однако зависимости $F_v(dH)$ могут быть получены и из данных наблюдений самого обзора. В настоящей работе предлагается использовать для этого кривые прохождения источников околозенитного обзора с известными плотностями потоков, склонения которых отличаются от склонения центрального сечения обзора. Из одного суточного сечения неба, где на волне $\lambda 7.6$ см через ДН РАТАН-600

в пределах огибающей щита проходит более 30000 радиоисточников [16, 17], можно выбрать достаточно большое количество “точечных” источников с хорошо известными координатами и плотностями потоков для построения двумерной диаграммы направленности радиотелескопа.

Такой метод измерения ДН может оказаться менее точным по сравнению с методикой, описанной в работе [18], поскольку требует хорошего знания величины плотностей потоков калибровочных источников. Однако он позволяет оценить состояние диаграммы непосредственно в процессе проведения обзора и не требует дополнительного антенного времени. Кроме того, сравнение измеренной таким образом ДН с диаграммами, полученными другими способами, позволяет оценить ошибки измерений, выполненных в ходе самого обзора.

В настоящей работе проводится исследование ДН в процессе проведения глубокого зенитного обзора неба на РАТАН-600 [1]. В качестве опорных были выбраны преимущественно источники с крутыми спектрами из NVSS-каталога, которые попадают в область обзора.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

RZF-обзор проводился в рамках программы “Генетический код Вселенной” по исследованию пространственных вариаций реликтового излучения неба и слабых радиоисточников в полосе обзора [19, 20]. Наблюдения проводились с 1998 г. по 2003 г. на Северном секторе РАТАН-600 на высоте источника 3С84 ($H = 87^\circ 41'$) на длинах волн $\lambda = 1.0 \div 55$ см. В качестве измерительной аппаратуры использовался высокочувствительный радиометрический комплекс облучателя №1. Было проведено 8 сетов наблюдений. В сетях (1998.10–1999.02), (1999.03), (1999.10–1999.11), (1999.12–2000.03), (2001.01–03, 2001.10–11) наблюдения проводились в полосе обзора $0^h \leq R.A. < 24^h$ на склонении источника 3С84 ($Dec_{2000} = 41^\circ 30' 42''$), в сетях (2001.12 – 2002.03) и (2002.12–2003.03) — в 9-ти сечениях, отстоящих друг от друга на $12'$, так что общая полоса обзора на волне $\lambda 7.6$ см составила $0^h \leq R.A._{2000.0} < 24^h$, $Dec_{2000.0} = 41^\circ 30' 42'' \pm \pm 60'$.

В настоящей работе мы остановимся на исследовании ДН на волне $\lambda 7.6$ см. Чувствительность приемника на этой волне максимальна и составляет 2.5 мК. Наибольший интерес с точки зрения исследования ДН представляют результаты наблюдений в двух последних сетях. Для краткости назовем их сет 2002 г. (2001.12–2002.03) и сет 2003 г. (2002.12–2003.03). Данные наблюдений в 9-ти сечениях (полосах обзора), отстоящих друг

от друга на $\Delta\delta = 12'$, позволяют построить вертикальную ДН в широком диапазоне изменения dH . Большой временной интервал (с 1998 г. по 2003 г.), в течение которого проводился обзор, позволяет получить данные о стабильности ДН во времени.

Для построения ДН отбирались источники NVSS-каталога преимущественно с крутыми спектрами и плотностями потоков, превышающими 15 мЯн на волне $\lambda 21$ см. Пересчет плотностей потоков на волну $\lambda 7.6$ см осуществлялся с использованием всех имеющихся данных о плотностях потоков этих источников на других волнах из базы данных CATS [21, 22]. Плотности потоков отобранных источников на волне $\lambda 7.6$ см оказались не ниже 5 мЯн. Для увеличения отношения сигнал/шум полученные записи осреднялись как по отдельным сетам, так и по группе сетов. В центральном сечении обзора $Dec_{2000} = 41^\circ 30' 42''$ ($\Delta\delta = 0$) число усредненных записей одного источника колебалось в зависимости от сета от 15 до 60. В сечениях, отстоящих от центрального на $\Delta\delta = \pm 12'n$ ($n=1,2,3,4$) число усредненных записей не превышало пяти.

3. ОБРАБОТКА И ПОСТРОЕНИЕ ДН

При прохождении “точечного” неполяризованного источника через центральное сечение ДН его антенная температура на выходе радиометра и спектральная плотность потока связаны следующим соотношением:

$$P/T_a = 2k/S_{eff}, \quad (1)$$

где k — постоянная Больцмана, S_{eff} — эффективная площадь антенны радиотелескопа (1000 м²), T_a — антенная температура (К), P — плотность потока источника (вт/м² Гц).

При прохождении источника через сечение, удаленное от центрального на величину dH по склонению, его антенная температура будет уменьшаться в соответствии с изменением вертикальной диаграммы направленности $F_v(dH)$. Если диаграмма измеряется с помощью одного источника, проходящего через различные сечения ДН, то ее значение в сечении, удаленном от центрального на величину dH , может быть определено по формуле:

$$F_v(dH) = \frac{(P/T_a)_{dH=0}}{(P/T_a)_{dH}} = \frac{(T_a)_{dH}}{(T_a)_{dH=0}}, \quad (2)$$

где $(T_a)_{dH=0}$ и $(T_a)_{dH}$ — антенные температуры источника в центральном сечении и в сечении, удаленном от центрального на величину dH , соответственно.

Если при измерении ДН используется набор источников, проходящих через различные сечения ДН, то для вычисления вертикальной диаграммы

в сечении dH необходимо, кроме антенных температур источников $(T_a^i)_{dH=0}$, $(T_a^j)_{dH}$, знать и их плотности потоков P_i , P_j . В этом случае выражение для $F_v(dH)$ имеет вид:

$$F_v(dH) = \frac{(P_i/T_a^i)_{dH=0}}{(P_j/T_a^j)_{dH}}. \quad (3)$$

В сетях 2002 и 2003 гг. при наблюдениях в 9-ти полосах обзора антенна радиотелескопа фокусировалась на высоты, соответствующие склонениям:

$$Dec_n = Dec_{3C84} \pm 12'n, \quad (n = 0, 1, 2, 3, 4).$$

Величина dH источника со склонением Dec_i , наблюдаемого в n -ной полосе обзора, отсчитывалась от центрального сечения этой полосы:

$$dH = Dec_i - Dec_{3C84} \pm 12'n, \quad (n = 1, 2, 3, 4).$$

Достаточно яркие источники наблюдались в нескольких полосах обзора.

Для построения суммарной диаграммы из всех 9-ти полос обзора было отобрано около 140 источников NVSS-каталога, плотности потоков которых на волне $\lambda 7.6$ см оказались не ниже 80 мЯн, за исключением трех источников. В сете 2002 г. в центральном сечении обзора было усреднено около 35 записей каждого из источников, в сете 2003 г. — около 20 записей.

После определения плотностей потоков и антенных температур источников для каждого сета наблюдений были построены зависимости $P/T_a = f(dH)$. На рис. 1 заполненными квадратами показаны значения отношения P/T_a для источников исследуемой выборки, удаленных от центрального сечения в пределах изменения $dH = -4' \div 4'$ ((a) сет 2002 г., (b) сет 2003 г.). Методом наименьших квадратов через полученные точки вписывались аппроксимирующие кривые (полиномы 2-й и 4-й степеней), которые позволили определить средние величины $(P/T_a)_{dH=0}$ в центральном сечении диаграммы направленности. На рис. 1 аппроксимирующие кривые представлены сплошными линиями. Отношение $(P/T_a)_{dH=0}$, полученное из аппроксимирующих кривых, составило: 2.3 ± 0.3 для сета 2002 г. и 2.2 ± 0.3 для сета 2003 г. Зная величину отношения $(P/T_a)_{dH=0}$, по формуле (1) можно оценить эффективную площадь антенны радиотелескопа в этот период наблюдений. На волне $\lambda 7.6$ см при установке антенны на высоту источника 3C84 ($H = 87^\circ 41'$) эффективная площадь оказалась равной $S_{eff} = 1200 \pm 130$ м² в сете 2002 г. и $S_{eff} = 1250 \pm 130$ м² в сете 2003 г.

Для построения вертикальной ДН были использованы полученные из аппроксимирующих кривых значения $(P/T_a)_{dH=0}$, а также антенные температуры $(T_a^i)_{dH}$ источников и плотности их потоков P_i . Вычисления $F_v(dH)$ проводились по

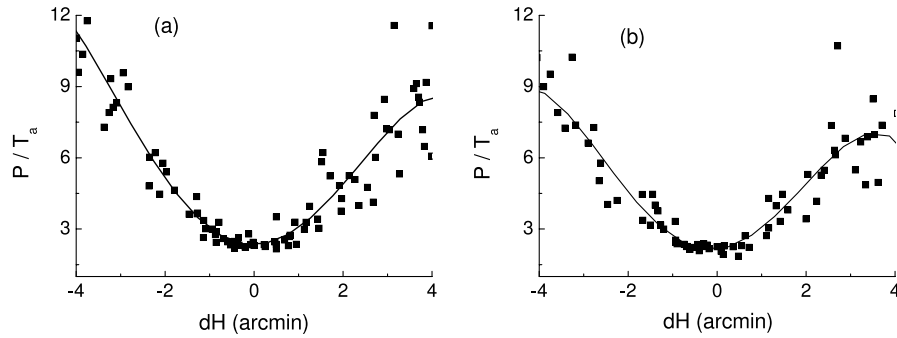


Рис. 1. Отношение спектральной плотности потока источника к его антенной температуре P/T_a в зависимости от величины dH . Заполненные квадраты — экспериментальные значения, сплошные линии — аппроксимирующие полиномы. (a) — данные сета 2002 г., (b) — данные сета 2003 г.

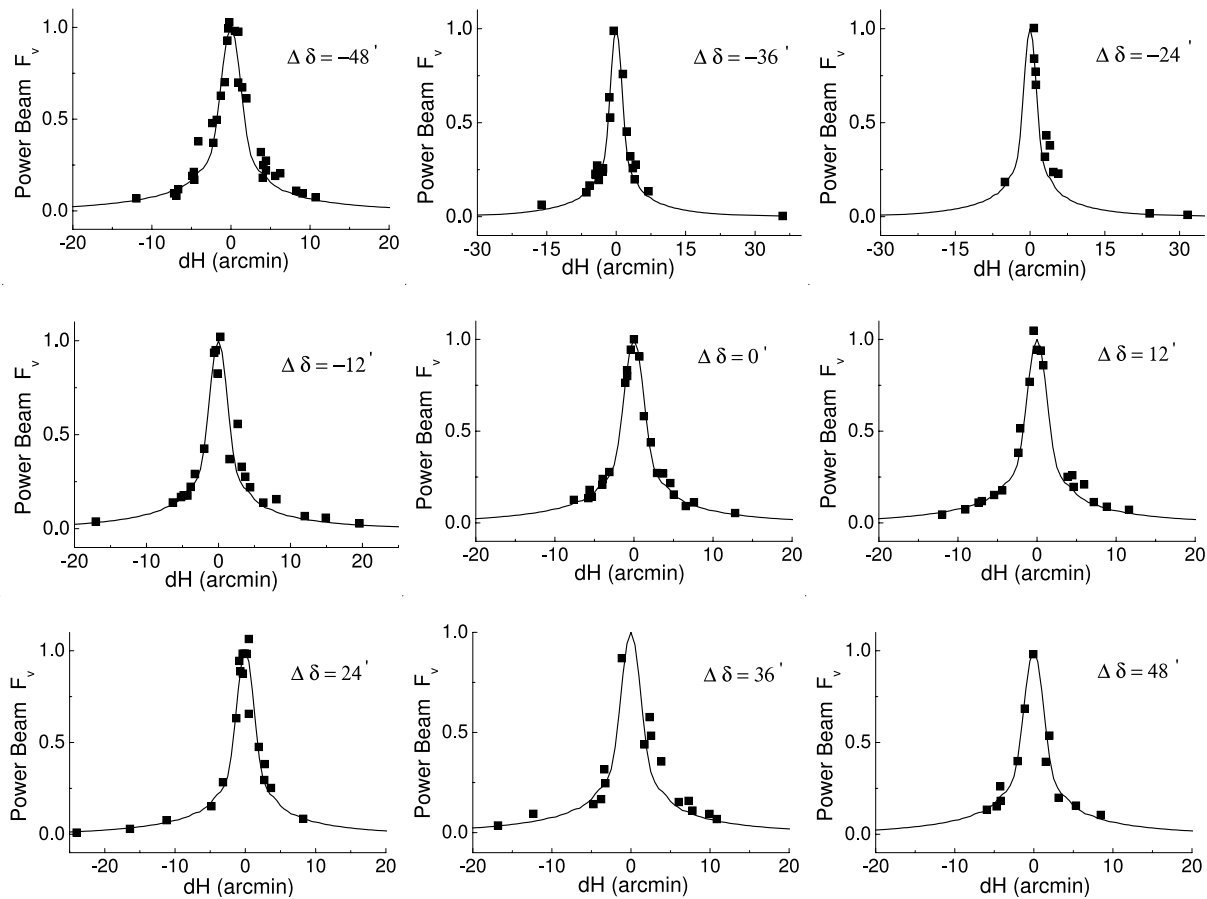


Рис. 2. Вертикальные ДН, построенные по результатам наблюдений выборки источников NVSS-каталога с плотностями потоков $P > 80$ мЯн на волне $\lambda 7.6$ см в 9-ти полосах RZF-обзора: центральной $Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42''$ ($\Delta\delta = 0'$) и сдвинутых относительно центральной на величину $\Delta\delta = \pm 12', \pm 24', \pm 36', \pm 48'$. Заполненные квадраты — экспериментальные точки ДН, сплошные линии — ДН, полученные расчетным путем. Сет наблюдений 2002 г.

формуле (3). Относительная среднеквадратичная ошибка измерения антенных температур по всей выборке рассматриваемых источников составила $\sigma_{T_a} = 0.10 \pm 0.08$, среднеквадратичная ошибка

определения плотностей потоков источников — $\sigma_P = 0.16 \pm 0.06$, суммарная среднеквадратичная ошибка измерений — $\sigma_{\Sigma} = 0.19 \pm 0.10$. Суммарная ошибка определяется вкладом трех компонент:

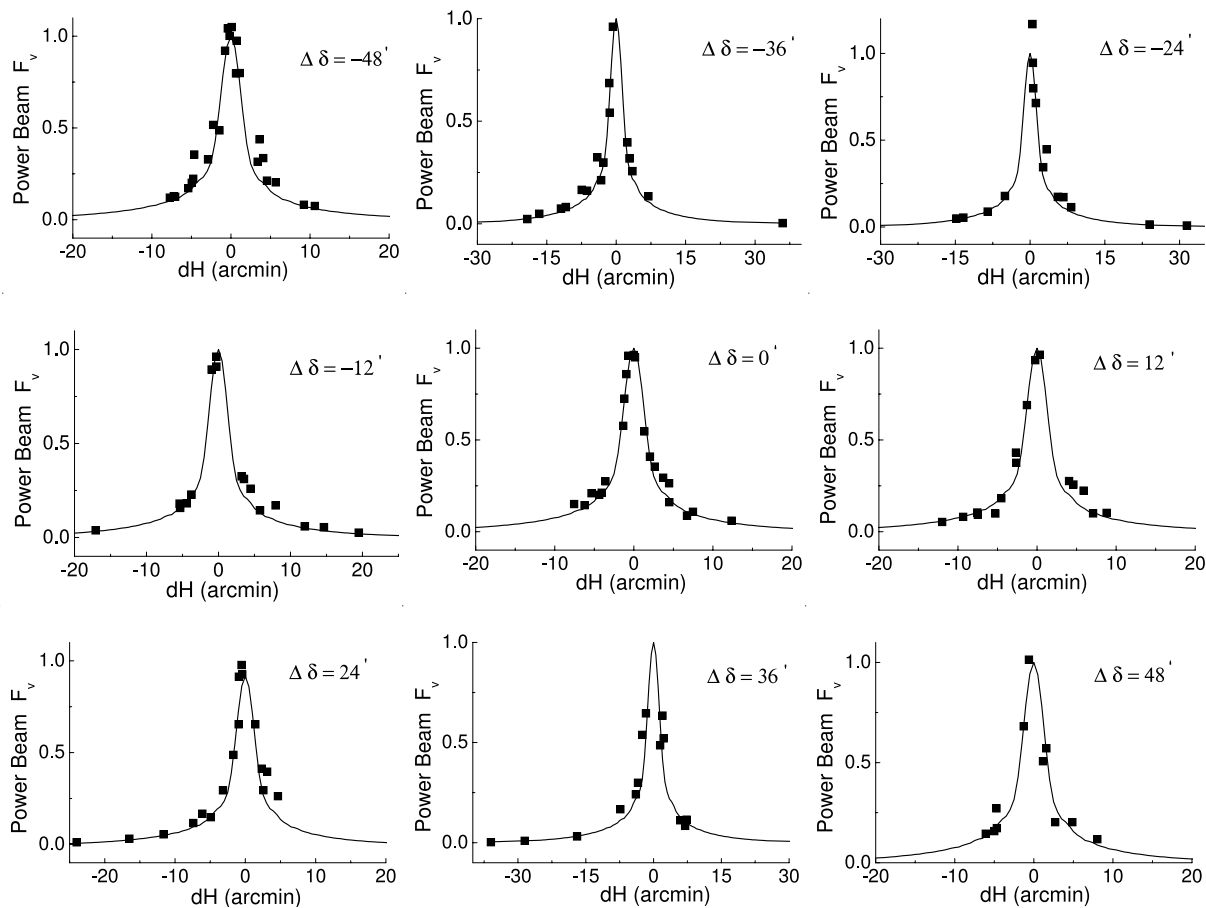


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, для сета наблюдений 2003 г.

погрешностями интерполяции спектров на волну $\lambda 7.6$ см по данным других наблюдений, отношением сигнал/шум и стабильностью характеристик антенной системы РАТАН-600.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ДН

На рис. 2, 3 заполненными квадратами показаны экспериментальные вертикальные ДН, построенные по результатам наблюдений источников в сетах 2002 г. и 2003 г. в каждой из 9 полос обзора: в центральной ($\Delta\delta = 0$) и сдвинутых относительно центральной на величину $\Delta\delta = \pm 12', \pm 24', \pm 36', \pm 48'$. Сплошными линиями обозначены ДН, полученные расчетным путем. На рис. 4, 5 представлены зависимости полуширины ДН ($HPBW$) от величины dH для сетов 2002 г. и 2003 г. соответственно (заполненные квадраты — экспериментальные значения $HPBW$, сплошные линии — теоретические кривые $HPBW(dH)$). Из приведенных графиков видно, что в целом экспериментальные точки близки к расчетным кривым. Причем точки, соответствующие экспериментальным полуширинам

ДН, лучше ложатся на теоретические кривые, чем экспериментальные точки вертикальных диаграмм направленности (F_v). Скорее всего это связано с ошибками определения плотностей потоков исследуемых источников, а также с изменениями эффективной площади антенны в процессе наблюдений. Можно также отметить, что отклонение экспериментальных ДН от теоретических кривых неодинаково в разных полосах обзора. И, наконец, в обоих сетах наблюдений чаще имеет место превышение экспериментальных значений F_v над расчетными в области положительных dH .

Поскольку форма диаграммы на волне $\lambda 7.6$ см практически не меняется при изменении высоты источника в пределах 1° , были построены общие для всех полос зависимости $F_v(dH)$ и $HPBW(dH)$. На рис. 6 заполненными квадратами показаны экспериментальные вертикальные диаграммы направленности $F_v(dH)$, полученные из наблюдений во всех 9-ти полосах обзора, сплошными линиями — расчетные ДН ((а) сет 2002 г., (b) сет 2003 г.). При построении диаграмм направленности значения $(P/T_a)_{dH=0}$ принимались равными 2.3 и 2.17 для сетов 2002 г. и

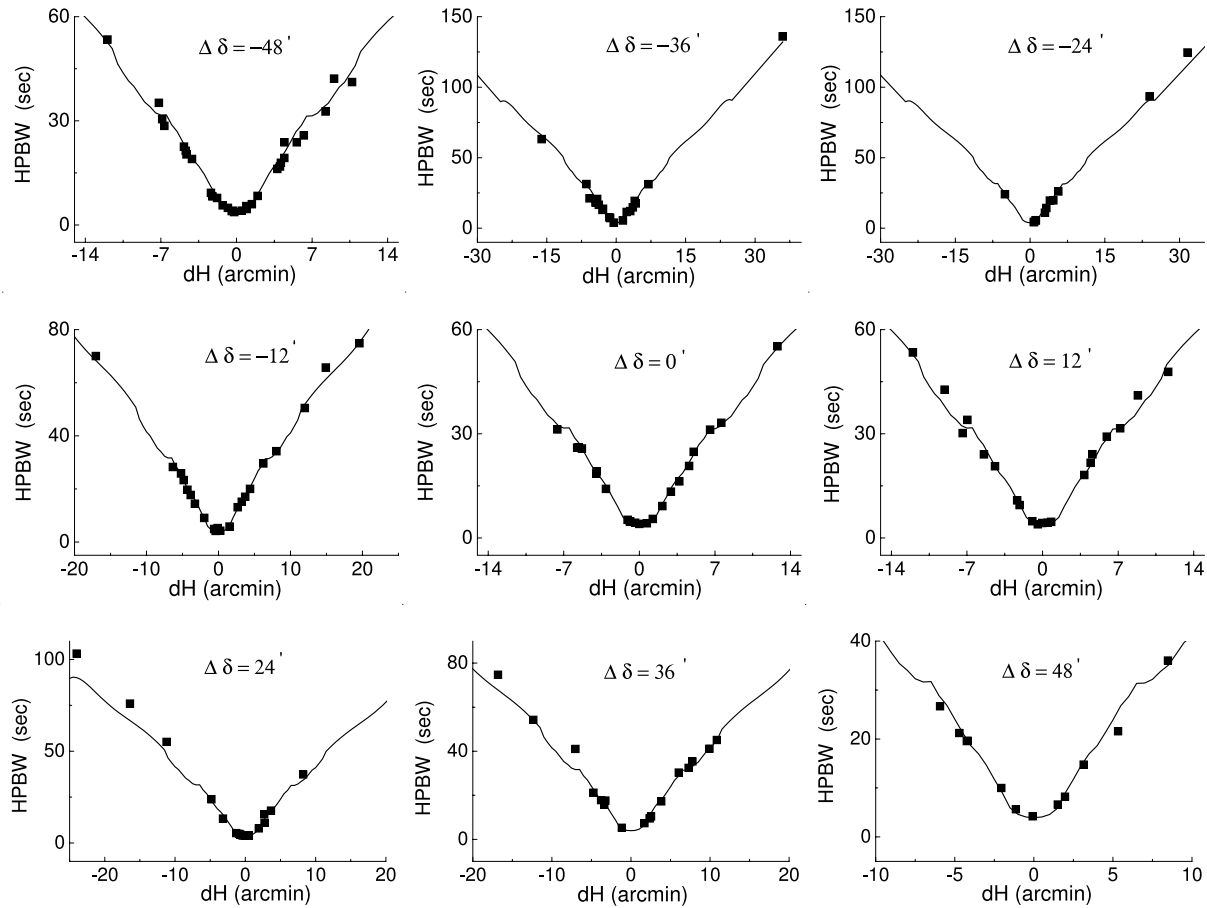


Рис. 4. Зависимости полуширины ДН от dH , построенные по результатам наблюдений выборки источников NVSS-каталога с плотностями потоков $P > 80$ мЯн на волне $\lambda 7.6$ см в 9-ти полосах RZF-обзора: центральной $Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42''$ ($\Delta\delta = 0'$) и сдвинутых относительно центральной на величину $\Delta\delta = \pm 12', \pm 24', \pm 36', \pm 48'$. Заполненные квадраты — экспериментальные точки, сплошные линии — зависимости, полученные расчетным путем. Сет наблюдений 2002 г.

2003 г. соответственно. На рис. 8 приведены экспериментальные зависимости $HPBW(dH)$ по всем 9-ти полосам обзора (заполненные квадраты). Расчетные кривые $HPBW(dH)$ показаны сплошными линиями.

Из сравнения экспериментальных и теоретических зависимостей $F_v(dH)$, представленных на рис. 6, видно, что точки экспериментальной ДН имеют достаточно большой разброс. Кроме того, в обоих сетях наблюдается некоторая асимметрия экспериментальной ДН. Среднеквадратичная ошибка отклонений экспериментальной ДН от расчетной по всей выборке наблюдаемых источников составила $\sigma = 0.071 \pm 0.005$ для сети 2002 г. и $\sigma = 0.068 \pm 0.005$ — для сети 2003 г. Что касается зависимостей $HPBW(dH)$, представленных на рис. 8, то в сети 2002 г. экспериментальные точки очень хорошо совпадают с теоретическими кривыми практически во всем диапазоне изменения dH , в сети 2003 г. — лишь в диапазоне $-10' < dH < 15'$. Для сравнения экспериментальных и расчетных

полуширин ДН были рассчитаны коэффициенты K_{HPBW} , равные отношению экспериментальной полуширины ДН к расчетной. Средние значения коэффициента K_{HPBW} по всей выборке наблюдаемых источников составили: 1.00 ± 0.08 — для сети 2002 г. и 1.04 ± 0.12 — для сети 2003 г.

Следует отметить, что основной вклад в экспериментальные ДН, представленные на рис. 6, дают источники, наблюдавшиеся в боковых полосах обзора, где чувствительность измерений была существенно ниже, чем в центральной полосе. Именно они дают наибольший разброс точек экспериментальной ДН. Напомним, что в полосах с $\Delta\delta = \pm 12'n$ ($n = 1, 2, 3, 4$) осреднялось не более $3 \div 5$ записей каждого источника, в то время как в центральной полосе ($\Delta\delta = 0$) — $20 \div 35$ записей. Поэтому кроме общих для всех 9-ти полос диаграмм направленности были построены экспериментальные вертикальные ДН по данным наблюдений только в боковых полосах обзора. Для уменьшения разброса точек при их построении

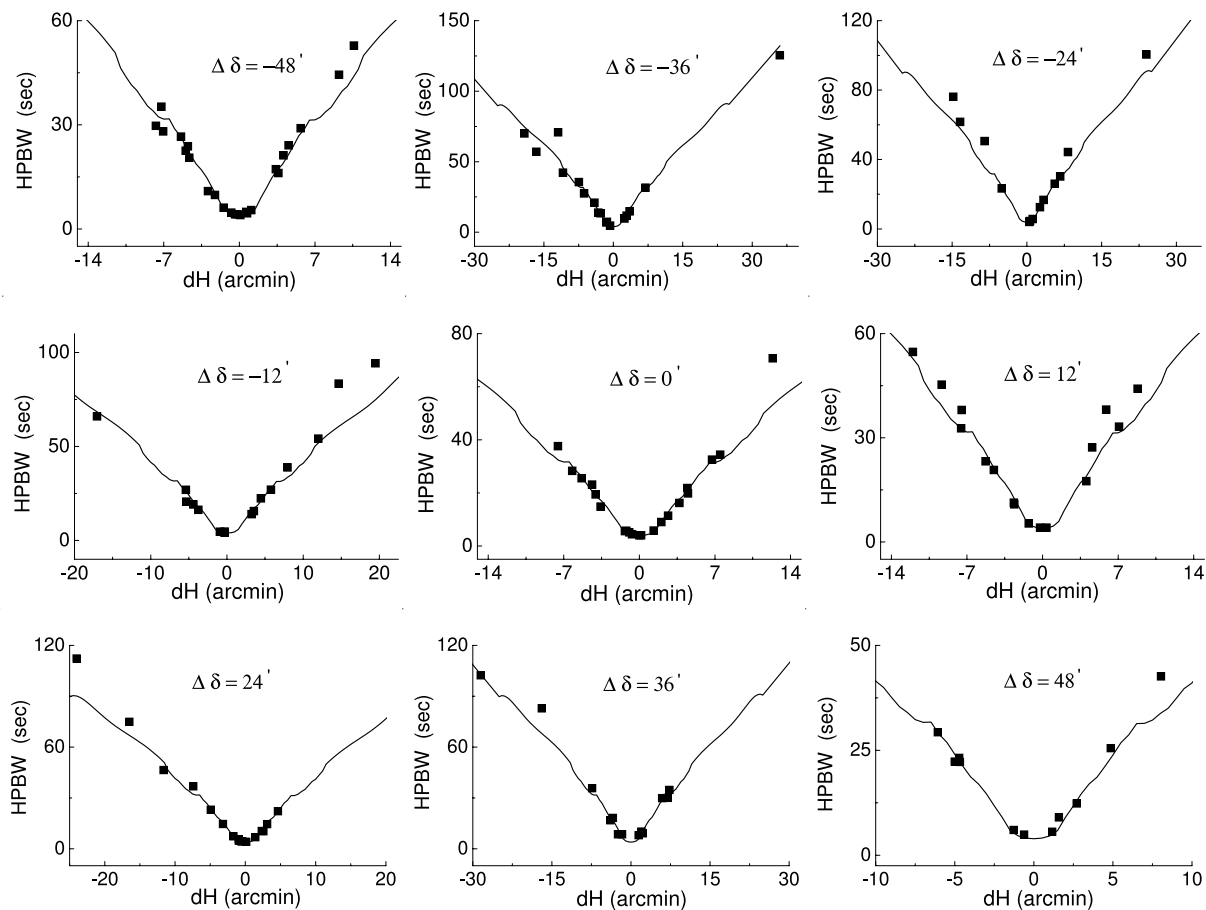


Рис. 5. То же, что и на рис. 4, для сета наблюдений 2003 г.

проводилась так называемая процедура “уплотнения” точек: значения F_v усреднялись в некотором интервале dH . Построенные таким образом диаграммы направленности показаны на рис. 7 заполненными квадратами ((a) сет 2002 г., (b) сет 2003 г.). Среднеквадратичная ошибка отклонений экспериментальной ДН, построенной по результатам наблюдений в боковых полосах обзора с осреднением в интервале dH , равном $1'$, составила $\sigma = 0.030 \pm 0.005$ для сета 2002 г. и $\sigma = 0.035 \pm 0.006$ — для сета 2003 г. Эти величины оказались близки к значениям среднеквадратичной ошибки отклонений ДН, построенной по результатам наблюдений в центральной полосе обзора (рис. 9) ($\sigma = 0.033 \pm 0.007$ — для сета 2002 г., $\sigma = 0.050 \pm 0.009$ — для сета 2003 г.)

На рис. 9 и 10 для сравнения приведены экспериментальные вертикальные ДН, полученные по результатам наблюдений в центральной полосе обзора и в боковых полосах обзора. Для последних проводилась процедура “уплотнения” экспериментальных точек. Сплошными линиями на рисунках показаны расчетные ДН. Для наглядности

диаграммы построены в одних и тех же интервалах изменения dH . Из графиков, приведенных на рис. 7 и 10, видно, что экспериментальные ДН, полученные в обоих сетах, хорошо совпадают с теоретическими кривыми во всем диапазоне изменения dH , за исключением области $dH = 3' \div 5'$. Здесь наблюдается некоторое превышение значений экспериментальной ДН над расчетной. Такие же отклонения наблюдаются и по результатам измерений в центральной полосе обзора (рис. 9). Эти искажения ДН могут быть обусловлены систематической ошибкой в установке отражающих элементов главного зеркала по углу места, а также большими ошибками (“отскоками”) мест нулей по угломерной координате у ряда щитов. Такие ошибки возникали из-за износа движущих механизмов щитов и имели один знак. Влияние их на ДН было описано в работе [15].

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДН ПО ИСТОЧНИКУ ЗС84

В сетах 2002 г. и 2003 г. независимо были измерены вертикальные ДН радиотелескопа с помощью яркого “точечного” источника ЗС84 по

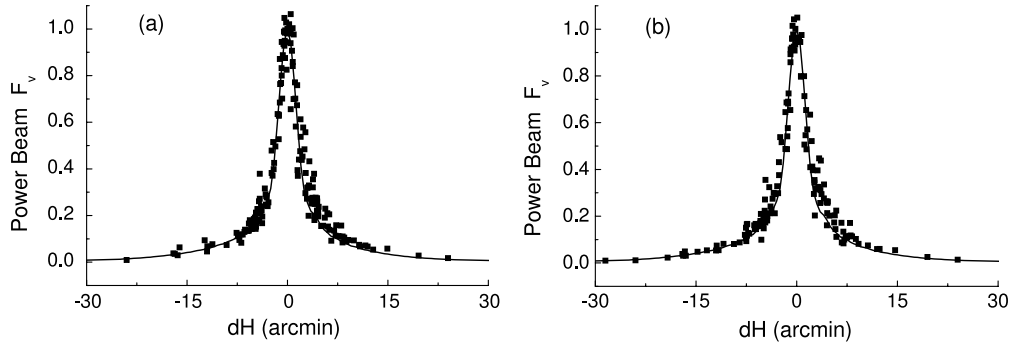


Рис. 6. Вертикальные ДН, построенные по результатам наблюдений источников во всех 9-ти полосах RZF-обзора: $Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42'' \pm 12'n$, $n = 0, 1, 2, 3, 4$. (a) — сет 2002 г., (b) — сет 2003 г. Заполненные квадраты — экспериментальные точки ДН, сплошные линии — расчетные ДН.

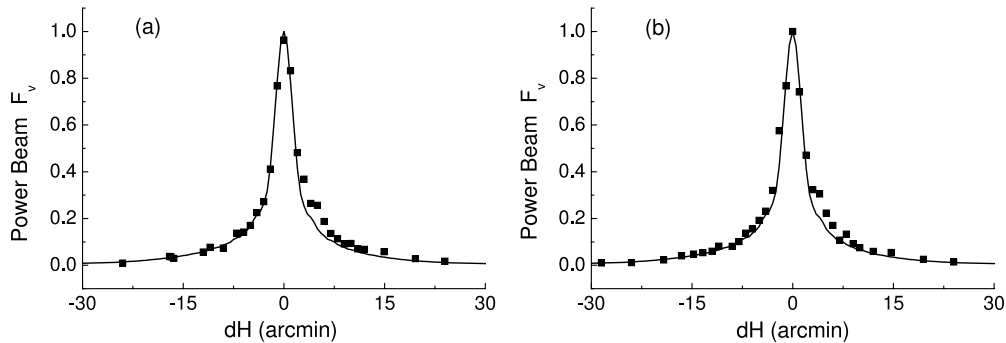


Рис. 7. То же, что и на рис. 6, с последующим "уплотнением" точек (усреднение в интервале dH , равное $1'$).

методике, изложенной в работах [15, 18]. Этот источник наблюдался во всех 9-ти полосах обзора. Кривые прохождения его через сечения с $\Delta\delta = \pm 12'n$ ($n = 0, 1, 2, 3, 4$) нормировались к антенной температуре источника в центральном сечении обзора ($\Delta\delta = 0$). Значения вертикальной диаграммы направленности вычислялись по формуле (2). Результаты измерений вертикальной ДН показаны на рис. 11. На рис. 12 приведены зависимости полуширины ДН от dH . Звездочками обозначены результаты, полученные в сете 2002 г., треугольниками — в сете 2003 г. Сплошными линиями показаны расчетные ДН и расчетные полуширины ДН. На рис. 11(a) вертикальные ДН представлены в линейном масштабе, на рис. 11(b) — в логарифмическом.

Как видно из рис. 11 и 12, сходимость экспериментальных точек, полученных по источнику 3С84, и расчетных кривых очень высокая. Среднеквадратичная ошибка отклонений экспериментальной ДН от расчетной составила $\sigma = 0.010 \pm 0.004$ для сета 2002 г. и $\sigma = 0.005 \pm 0.002$ — для сета 2003 г. Это в $3 \div 10$ раз меньше среднеквадратичной ошибки, полученной по выборке

источников из NVSS-каталога. Однако следует отметить, что экспериментальная ДН, построенная по результатам наблюдений 3С84, содержит всего 9 точек, отстоящих друг от друга на $12'$, и в ней отсутствует информация об областях $dH = 3' \div 5'$, где имели место наибольшие расхождения между расчетной ДН и экспериментальной ДН, построенной по выборке источников NVSS-каталога. Средние значения коэффициента K_{HPBW} , полученные по результатам наблюдений источника 3С84, составили: 1.02 ± 0.05 — для сета 2002 г. и 1.05 ± 0.08 — для сета 2003 г. Они практически совпадают со значениями K_{HPBW} , полученными по выборке источников NVSS-каталога.

Для более детального сравнения экспериментальных ДН, полученных двумя независимыми методами, были построены зависимости $K_v(dH)$. Коэффициент K_v равен отношению экспериментальной вертикальной ДН к расчетной при одних и тех же значениях dH . На рис. 13 приведены зависимости $K_v(dH)$, построенные по результатам наблюдений выборки источников NVSS-каталога в боковых полосах обзора с последующим "уплотнением" точек, на рис. 14 — по результатам на-

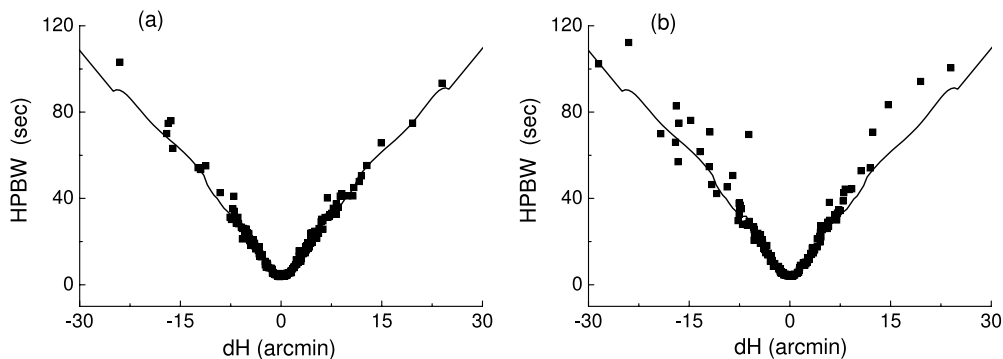


Рис. 8. Зависимости полуширины ДН от dH , построенные по результатам наблюдений источников во всех 9-ти полосах RZF-обзора. (a) — сет 2002 г., (b) — сет 2003 г. Заполненные квадраты — экспериментальные точки, сплошные линии — расчетные зависимости $HPBW(dH)$.

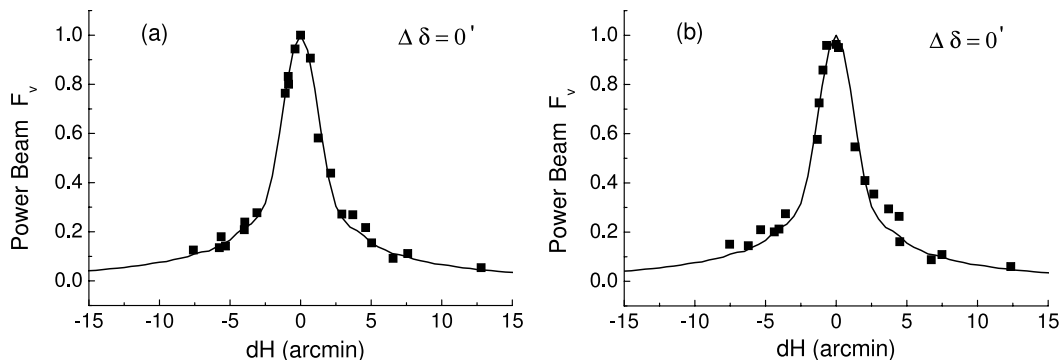


Рис. 9. Вертикальные ДН, построенные по результатам наблюдений источников в центральной полосе RZF-обзора ($Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42''$) (a) — сет 2002 г., (b) — сет 2003 г. Заполненные квадраты — экспериментальные точки ДН, сплошные линии — расчетные ДН.

блюдений источника ЗС84 ((a) сет 2002 г., (b) сет 2003 г.). Через полученные семейства точек проведены аппроксимирующие прямые $y = a + bx$.

Обращает на себя внимание тот факт, что зависимости $K_v(dH)$, полученные по выборке источников и по источнику ЗС84, для данного сета наблюдений имеют практически одинаковый наклон аппроксимирующей прямой. Для сета 2002 г. он составил: $b = 0.016$ (по выборке источников) и $b = 0.018$ (по ЗС84), для сета 2003 г.: $b = 0.008$ (по выборке источников) и $b = 0.009$ (по ЗС84). Наклон аппроксимирующей прямой свидетельствует о развороте экспериментальной ДН относительно расчетной. Этот разворот хорошо виден на рис. 11(b). Значения коэффициентов, характеризующих наклон аппроксимирующей прямой, показывают, что, несмотря на разную точность, оба метода измерения ДН фиксируют одинаковый разворот ДН, причем в сете 2002 г. этот разворот почти в два раза превышает разворот ДН в сете 2003 г.

6. СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДН, ПОЛУЧЕННЫХ В СЕТАХ НАБЛЮДЕНИЙ 1998–2003 гг.

В сетах 2002 и 2003 гг. наблюдения проводились в 9-ти полосах обзора, сдвинутых относительно друг друга на $\Delta\delta = 12'$, что позволило построить экспериментальную ДН в диапазоне $-36' < dH < 36'$. В сетах 1998 (1998.10 – 1999.02) и 2000 гг. (1999.12 – 2000.03) источники наблюдались только в центральной полосе обзора на склонении источника ЗС84 ($Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42''$). Чтобы сравнить экспериментальные ДН, полученные в этих наблюдениях, была использована выборка источников NVSS-каталога (около 80 источников) с плотностями потоков, превышающими 5 мЯн на волне $\lambda 7.6$ см. Из результатов наблюдений 1998 и 2000 гг. было осреднено около 60 записей каждого источника, из наблюдений 2002 г. — около 40 и из наблюдений 2003 г. — около 20 записей. Значения dH этой выборки источников лежали в

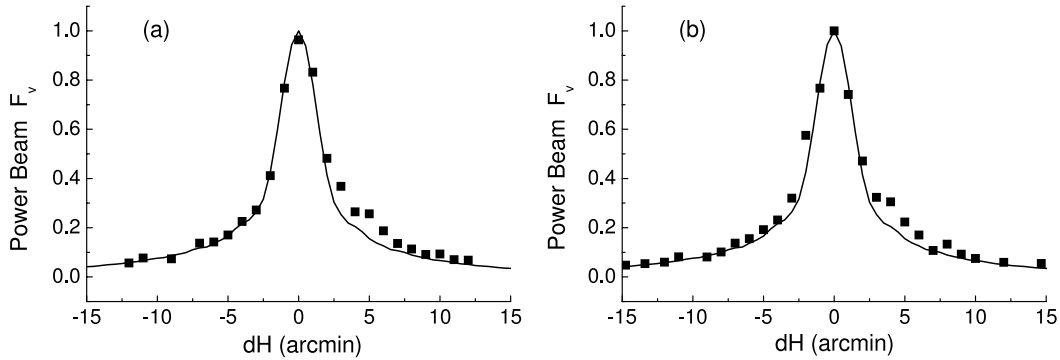


Рис. 10. Вертикальные ДН, построенные по результатам наблюдений источников в боковых полосах RZF-обзора ($Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42'' \pm 12'n$, $n = 1, 2, 3, 4$) с последующим “уплотнением” точек. (а) — сет 2002 г., (б) — сет 2003 г. Заполненные квадраты — экспериментальные точки ДН, сплошные линии — расчетные ДН.

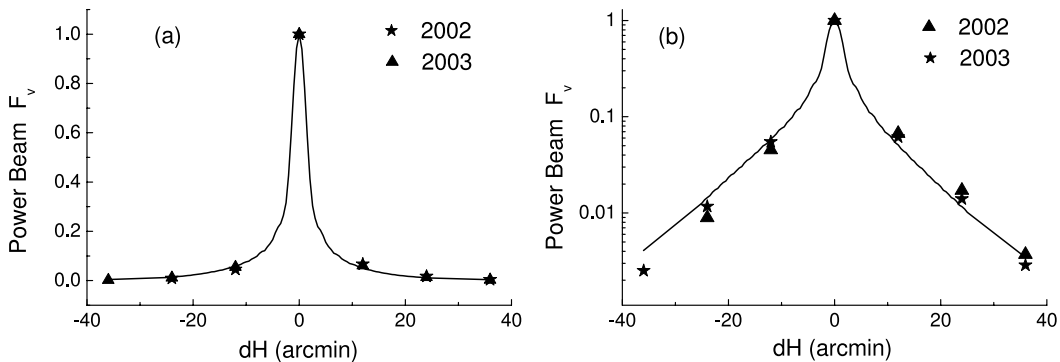


Рис. 11. Вертикальные ДН, построенные по результатам наблюдений источника 3С84 в 9 сечениях RZF-обзора ($Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42'' \pm 12'n$, $n = 0, 1, 2, 3, 4$) с помощью радиоастрономического метода, изложенного в работе [18]. Звездочки — результаты измерений в сете 2002 г., треугольники — в сете 2003 г., сплошные линии — расчетные ДН. (а) — ДН представлены в линейном масштабе, (б) — в логарифмическом масштабе.

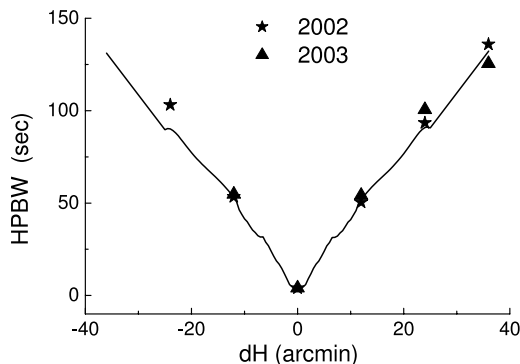


Рис. 12. Зависимости полуширины ДН от dH , построенные по результатам наблюдений источника 3С84 в 9-ти сечениях RZF-обзора ($Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42'' \pm 12'n$, $n = 0, 1, 2, 3, 4$) с помощью радиоастрономического метода, изложенного в работе [18]. Звездочки — результаты измерений в сете 2002 г., треугольники — в сете 2003 г., сплошные линии — расчетные ДН.

диапазоне $-6' < dH < 6'$, то есть исследовалась главным образом центральная часть (“ядро”) ДН.

Построение вертикальных ДН осуществлялось по методике, изложенной в разделе 3 данной работы. Экспериментальные вертикальные ДН, полученные по результатам наблюдений в 1998, 2000, 2002 и 2003 гг., показаны на рис. 15 заполненными квадратами, там же приведены расчетные ДН (сплошные линии). Среднеквадратичная ошибка отклонений экспериментальной ДН от расчетной составила: $\sigma = 0.13 \pm 0.02$ для сета 1998 г., $\sigma = 0.11 \pm 0.01$ для сета 2000 г., $\sigma = 0.16 \pm 0.02$ для сета 2002 г. и $\sigma = 0.20 \pm 0.02$ для сета 2003 г. После процедуры “уплотнения” точек среднеквадратичная ошибка отклонений уменьшилась до: $\sigma = 0.06 \pm 0.02$ в сете 1998 г., $\sigma = 0.05 \pm 0.01$ в сете 2000 г., $\sigma = 0.06 \pm 0.02$ в сете 2002 г. и $\sigma = 0.04 \pm 0.01$ в сете 2003 г. Экспериментальные вертикальные ДН, полученные после процедуры

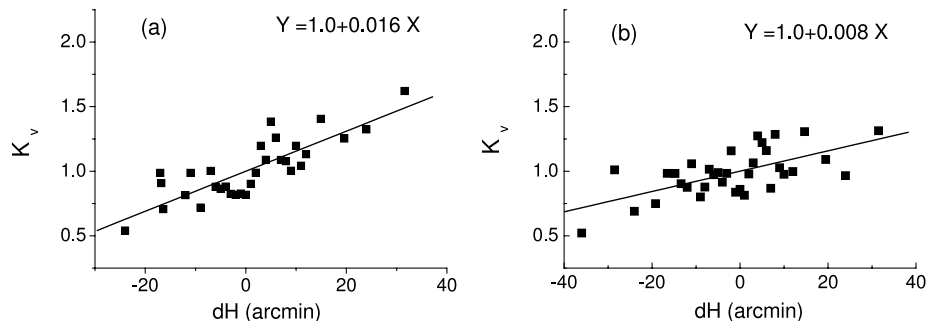


Рис. 13. Зависимости отношения $K_v(dH)$ вертикальной ДН к расчетной, построенные по результатам наблюдений источников в боковых полосах RZF-обзора ($Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42'' \pm 12'n$, $n = 1, 2, 3, 4$) с последующем “уплотнением” точек. (a) — сет 2002 г., (b) — сет 2003 г.

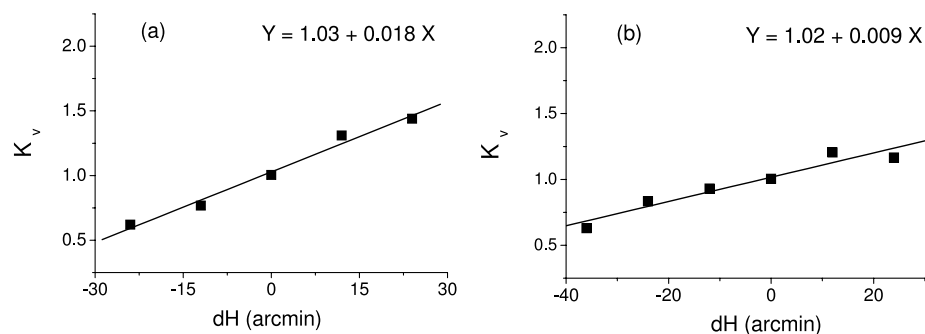


Рис. 14. Зависимости отношения $K_v(dH)$ вертикальной ДН к расчетной, построенные по результатам наблюдений источника 3C84 в 9-ти сечениях RZF-обзора ($Dec_{2000} = 41^{\circ}30'42'' \pm 12'n$, $n = 0, 1, 2, 3, 4$). (a) — сет 2002 г., (b) — сет 2003 г.

“уплотнения”, показаны на рис. 16 заполненными квадратами.

На рис. 17 приведены экспериментальные вертикальные ДН, полученные из наблюдений 13-ти ярких “точечных” источников NVSS-каталога, плотности потоков которых превышали 150 мЯн на волне $\lambda 7.6$ см. Среднеквадратичная ошибка отклонений экспериментальной ДН, построенной по этим ярким источникам, от расчетной ДН составила: $\sigma = 0.06 \pm 0.02$ для сетов 1998, 2000, 2002 гг. и $\sigma = 0.05 \pm 0.01$ для сета 2003 г. Эти значения практически совпали со среднеквадратичными ошибками отклонений экспериментальных ДН, построенных по всей выборке источников с последующим “уплотнением” точек. Отметим, что для построения последних использовались источники, больше половины которых имели плотности потоков в диапазоне $5 \text{ мЯн} < P < 50 \text{ мЯн}$. Отсюда следует, что с помощью большого числа относительно слабых источников можно получить такую же точность при построении экспериментальной ДН, как и при использовании небольшого числа сильных источников. Однако чем слабее источни-

ки, тем больше должна быть выборка и тем больше записей каждого источника необходимо усреднить.

Для экспериментальных ДН, полученных по всей выборке источников, были построены зависимости $K_v(dH)$. Через полученные семейства точек проводились аппроксимирующие прямые. Коэффициенты, характеризующие наклон аппроксимирующей прямой, получены по всей выборке источников: $b = 0.021$, $b = 0.023$, $b = 0.012$, $b = 0.006$ соответственно для сетов 1998, 2000, 2002 и 2003 гг. Эти значения близки к значениям коэффициентов, полученных по результатам наблюдений источника 3C84 и источников в боковых полосах обзора. Что касается зависимостей $K_v(dH)$, построенных по наблюдениям 13-ти ярких источников, то для них коэффициент, характеризующий наклон аппроксимирующей прямой, оказался близок к нулю.

Для сравнения вертикальных ДН, полученных в разные сетов наблюдений, в экспериментальные диаграммы направленности, представленные на рис. 15, 16 и 17, точками, методом наименьших квадратов вписывались гауссианы. Сравнялись

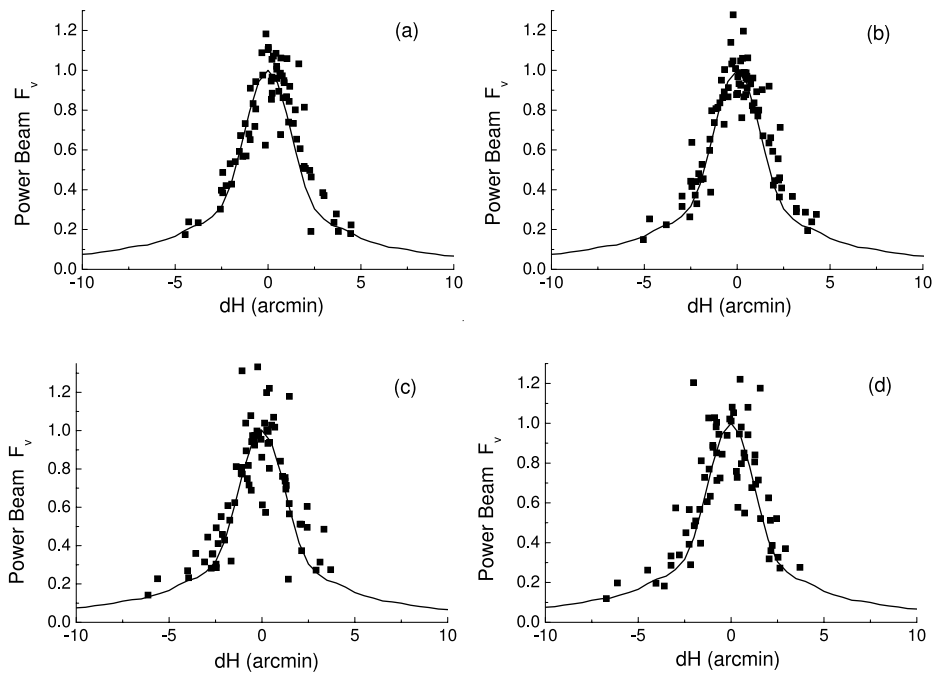


Рис. 15. Вертикальные ДН, построенные по результатам наблюдений выборки источников NVSS-каталога с плотностями потоков $P > 5$ мЯн на волне $\lambda 7.6$ см в центральной полосе RZF-обзора ($Dec_{2000} = 41^{\circ} 30' 42''$). (a) — сет 1998 г., (b) — сет 2000 г., (c) — сет 2002 г., (d) — сет 2003 г. Заполненные квадраты — экспериментальные точки ДН, сплошные линии — расчетные ДН.

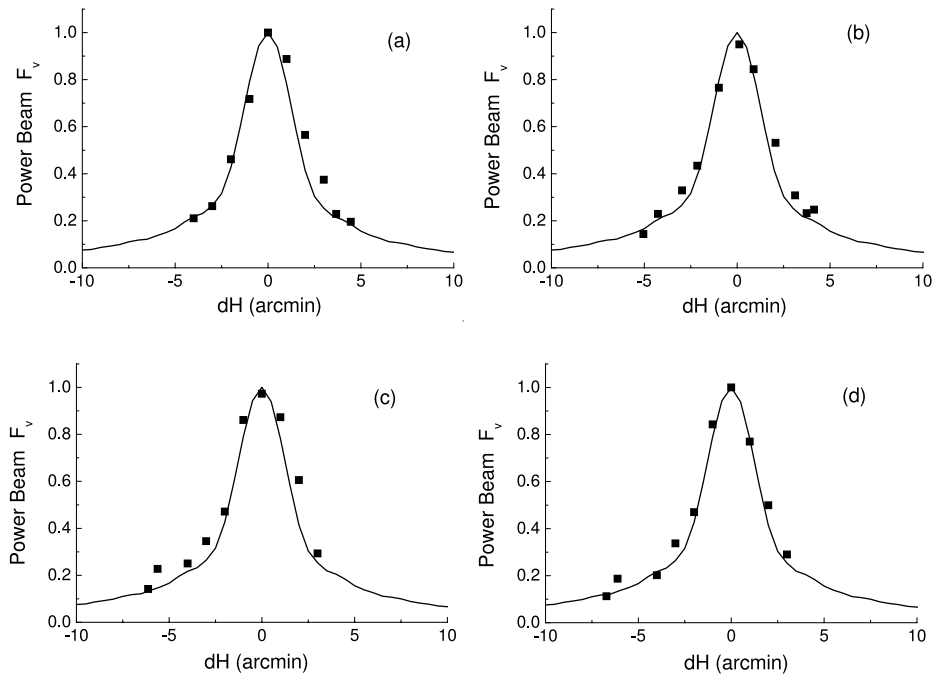


Рис. 16. То же, что и на рис. 15, с последующим “уплотнением” точек.

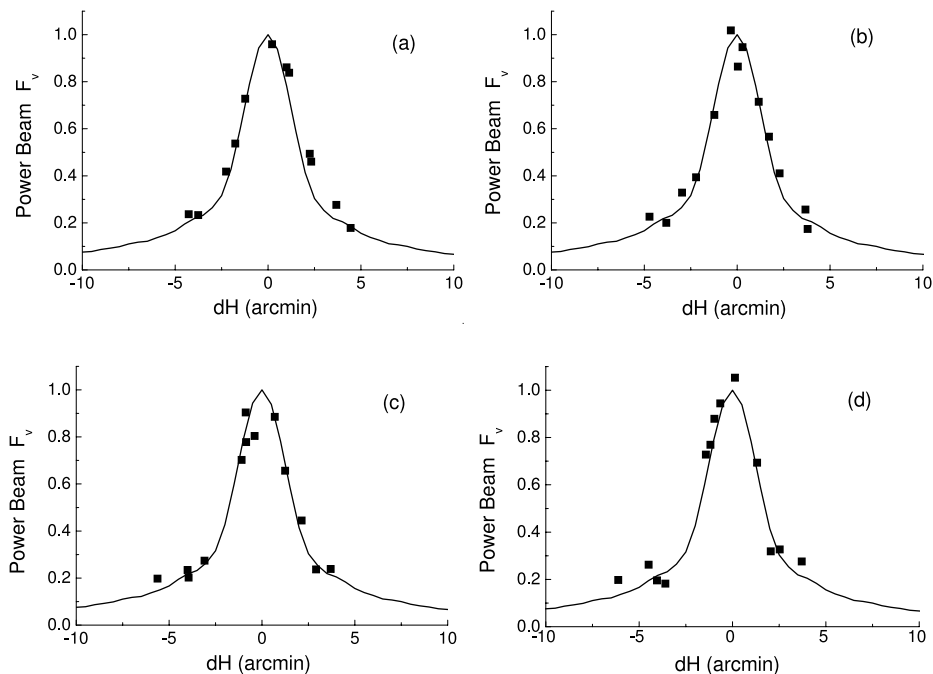


Рис. 17. Вертикальные ДН, построенные по результатам наблюдений 13-ти источников NVSS-каталога с плотностями потоков $P > 150$ мЯн на волне $\lambda 7.6$ см в центральной полосе RZF-обзора ($Dec_{2000} = 41^\circ 30' 42''$). (a) — сет 1998 г., (b) — сет 2000 г., (c) — сет 2002 г., (d) — сет 2003 г. Заполненные квадраты — экспериментальные точки ДН, сплошные линии — расчетные ДН.

полуширины гауссиан $G_{0.5}$ и параметр Δ_{max} , характеризующий сдвиг вершины гауссианы вдоль оси dH относительно начала координат ($dH = 0$). Параметр Δ_{max} характеризует величину смещения максимума вертикальной ДН от центрального сечения. Оказалось, что параметры $G_{0.5}$ и Δ_{max} не меняют свою величину от сета к сету: $G_{0.5} = 4.06' \pm 0.10$ и $\Delta_{max} = -0.024' \pm 0.005$, независимо от того, вписывались ли гауссианы в экспериментальные диаграммы, полученные по всей выборке источников, или по выборке только ярких источников. Те же величины параметров $G_{0.5}$ и Δ_{max} ($G_{0.5} = 4.06' \pm 0.10$ и $\Delta_{max} = -0.024' \pm 0.005$) были получены и при вписывании гауссианы в расчетные ДН, что подтверждает хорошее согласие экспериментальных и расчетных диаграмм направленности.

Учитывая, что среднеквадратичные ошибки отклонений экспериментальных ДН от расчетных, полученные как по ярким источникам, так и по всей выборке источников, практически совпадают для разных сетов наблюдений, можно констатировать, что экспериментальная ДН в период проведения зенитного обзора (1998–2003 гг.) была достаточно стабильна и в своей центральной части ($\pm 6'$) хорошо совпала с расчетной ДН.

7. ОЦЕНКА ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТЕЙ ПОТОКОВ ИСТОЧНИКОВ В ЗЕНИТНОМ ОБЗОРЕ

Данные, полученные при построении экспериментальных ДН в сетах наблюдений 1998–2003 гг., могут быть использованы для оценок ошибок измерений плотностей потоков источников, которые наблюдались в зенитном обзоре на волне 7.6 см и вошли в RZF-каталог [1].

Зная величину антенной температуры источника, проходящего через сечение, отстоящее от центрального на величину dH , и используя в качестве аппаратной функции расчетную вертикальную ДН, можно пересчитать антенную температуру источника к центральному сечению. Далее по формуле (1), где $k/S_{eff} = (P/T_a)_{dH=0}$, можно найти плотность потоков источников на волне $\lambda 7.6$ см и интерполировать (или экстраполировать) ее на волну $\lambda 21$. Найденные таким образом плотности потоков источников можно теперь сравнить со значениями плотностей потоков, которые дает NVSS-каталог. Очевидно, что эта цепочка обратна той, которая использовалась при построении экспериментальной ДН по выборке источников с известными плотностями потоков. Отношение величины плотности потока источника с заданным dH (или склонением) из NVSS-каталога к величине плотности потока,

полученной из наблюдений, будет равно отношению величины экспериментальной ДН, полученной по результатам наблюдения этого источника, к величине расчетной ДН в сечении dH , через которое проходит источник. Среднеквадратичные ошибки определения плотностей потоков источников в рассматриваемой выборке будут равны среднеквадратичным ошибкам отклонения величины K_v от среднего по той же выборке источников.

Отношения K_v были рассчитаны как для выборки источников, наблюдавшихся в 9-ти полосах обзора в сетах 2002 и 2003 гг., так и для выборки источников, наблюдавшихся в центральной полосе обзора в сетах 1998–2003 гг. Значения среднеквадратичной ошибки отклонения величины K_v от среднего, σ_{K_v} , полученные из наблюдений источников в 9-ти полосах обзора, составили: $\sigma_{K_v} = 0.27 \pm 0.03$ для сета 2002 г. и $\sigma_{K_v} = 0.26 \pm 0.03$ для сета 2003 г. Среднеквадратичные ошибки получены по выборке из 140 источников NVSS-каталога, плотности потоков которых на волне 7.6 см превышали 80 мЯн. Точки экспериментальной ДН не подвергались процедуре “уплотнения”. Если убрать систематическую ошибку в распределении $K_v(dH)$, обусловленную разворотом экспериментальной ДН относительно расчетной, то величины среднеквадратичной ошибки уменьшатся до $\sigma_{K_v} = 0.24 \pm 0.02$ в сете 2002 г. и $\sigma_{K_v} = 0.25 \pm 0.02$ в сете 2003 г.

Значения среднеквадратичной ошибки по выборке из 80-ти источников, наблюдавшихся в центральной полосе обзора в сетах 1998–2003 гг., составили: $\sigma_{K_v} = 0.23 \pm 0.03$ в сетах 1998, 2000 гг. и $\sigma_{K_v} = 0.27 \pm 0.03$ — в сетах 2002, 2003 гг. Потоки этих источников на волне 7.6 см были не ниже 5 мЯн. Если ограничить выборку, оставив только источники с плотностями потоков выше 100 мЯн, то среднеквадратичная ошибка, полученная по такой выборке, составит: $\sigma_{K_v} = 0.15 \pm 0.03$ в сетах 1998, 2000 гг. и $\sigma_{K_v} = 0.23 \pm 0.05$ — в сетах 2002, 2003 гг. Значения среднеквадратичной ошибки по выборке из 13 ярких источников составили: $\sigma_{K_v} = 0.15 \pm 0.04$, $\sigma_{K_v} = 0.14 \pm 0.04$, $\sigma_{K_v} = 0.16 \pm 0.04$ и $\sigma_{K_v} = 0.18 \pm 0.04$ соответственно для сетов 1998, 2000, 2002 и 2003 гг.

Среднеквадратичные ошибки по наблюдениям источников, склонения которых лежат в диапазоне $Dec_{2000.0} = 41^\circ 30' 42'' \pm 2'$ (полоса RZF-каталога), составили $0.15 \div 0.24$. Они практически совпадают с оценками погрешностей плотностей потоков источников ($\pm 15\% \div \pm 25\%$), полученных в работе [1].

Суммируя полученные результаты, можно констатировать, что среднеквадратичная ошибка измерений плотностей потоков источников, наблюдавшихся в зенитном RZf-обзоре на волне 7.6 см, лежит в пределах $(0.15 \div 0.27) \pm 0.05$ и зависит как

от яркости источника, так и от степени удаленности его от центрального сечения ДН.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построена экспериментальная ДН РАТАН-600 по выборке источников из NVSS-каталога с хорошо известными координатами и плотностями потоков, которые проходят через различные сечения ДН в процессе проведения глубокого обзора неба.

В сетах 2002 и 2003 гг. зенитный обзор проводился в 9-ти полосах обзора, отстоящих друг от друга на $\Delta\delta = \pm 12'$. По достаточно представительной выборке из 140 источников, наблюдавшихся в этих сетах, были построены экспериментальные вертикальные ДН радиотелескопа, которые в дальнейшем сравнивались с экспериментальными ДН, измеренными традиционным методом [18] по наблюдениям источника 3С84. Среднеквадратичная ошибка отклонений экспериментальной ДН от расчетной по всей выборке наблюдаемых источников составила 0.070 ± 0.005 . После процедуры “уплотнения” точек (усреднения значений F_v в интервале dH , равном $1'$) среднеквадратичная ошибка отклонений экспериментальной ДН уменьшилась до 0.033 ± 0.006 . Для источников, наблюдавшихся в центральной полосе обзора, где чувствительность измерений была значительно выше, чем в боковых полосах обзора, среднеквадратичная ошибка отклонений составила: 0.033 ± 0.007 — для сета 2002 г. и 0.050 ± 0.009 . — для сета 2003 г. (без процедуры “уплотнения”).

Сравнение экспериментальных диаграмм направленности с расчетными показало, что в области $dH = 3' \div 5'$ в обоих сетах имеет место превышение экспериментальных значений над расчетными. Кроме того, наблюдается разворот экспериментальной вертикальной ДН относительно расчетной. Эти искажения ДН могут быть обусловлены систематической ошибкой в установке отражающих элементов главного зеркала по углу места, а также большими “отскоками” мест нулей у ряда щитов. Эти “отскоки” по угломестной координате имели один знак и были вызваны износом движущих механизмов щитов в этот период наблюдений.

Сравнение ДН, построенной по наблюдениям выборки источников из NVSS-каталога, с экспериментальной ДН, полученной из наблюдений источника 3С84 в тех же сечениях обзора, показало, что точность предложенного метода уступает точности измерения ДН по источнику 3С84 как минимум в 3 раза. Однако несмотря на разную точность измерения вертикальной ДН оба метода дали хорошее согласие в оценках величины разворота экспериментальной ДН относительно расчетной. Кроме того, практически совпали средние

значения отношения полуширин экспериментальной и расчетной ДН, полученные по всей выборке источников ($K_{HPBW} = 1.03 \pm 0.06$) и по источнику 3С84 ($K_{HPBW} = 1.02 \pm 0.10$). Последнее свидетельствует о том, что основной вклад в ошибку при построении экспериментальной ДН предложенным методом вносит ошибка определения плотностей потоков наблюдаемых источников.

Вопрос стабильности ДН в период проведения зенитного обзора исследовался с помощью выборки из 80 источников NVSS-каталога, которые наблюдались в центральной полосе обзора в сетах 1998, 2000, 2002 и 2003 гг. Параметры экспериментальных ДН, построенных по этой выборке источников, в рассматриваемых сетах наблюдений оказались практически неизменными. Так, полуширина гауссианы $G_{0.5}$, вписанной в экспериментальную ДН, и параметр Δ_{max} , характеризующий сдвиг максимума экспериментальной ДН относительно центрального сечения, не меняют своей величины от сета к сету и равны значениям параметров $G_{0.5}$ и Δ_{max} для гауссианы, вписанной в расчетные ДН ($G_{0.5} = 4.06' \pm 0.10$ и $\Delta_{max} = -0.024' \pm \pm 0.005$). Кроме того, с высокой степенью точности совпали среднеквадратичные ошибки отклонений экспериментальных ДН от расчетных по всем сетам наблюдений. Среднее по всем сетам значение среднеквадратичной ошибки отклонений составило $\sigma = 0.055 \pm 0.020$. Различия значений σ для разных сетов лежат в пределах ошибок измерения их значений. Таким образом, можно утверждать, что в период проведения RZF-обзора экспериментальная ДН РАТАН-600 была достаточно стабильна и в своей центральной части ($\pm 6'$) хорошо совпадала с расчетной.

Используя данные, полученные при построении экспериментальной ДН в сетах 1998–2003 гг., мы сделали оценки ошибок измерений плотностей потоков источников, которые наблюдались в зенитном обзоре на волне 7.6 см и вошли в RZF-каталог [1]. Величина среднеквадратичной ошибки измерений плотностей потоков по всей выборке рассматриваемых источников лежит в пределах $(0.15 \div 0.27) \pm 0.05$ в зависимости от яркости источника и степени удаленности его от центрального сечения ДН. В RZF-каталог были внесены только объекты, отстоящие от центрального сечения обзора на величину, не превышающую $-2' < dH < 2'$. Полученная в работе [1] оценка погрешности плотностей потоков источников ($\pm 15\% \div \pm 25\%$) находится в соответствии с результатами настоящих исследований, по которым в диапазоне $-2' < dH < 2'$ погрешности плотностей потоков составили $0.15 \div 0.24$.

Все вышеизложенное позволяет сделать следующий вывод. Несмотря на большой разброс точек, который могут иметь экспериментальные ДН,

построенные с помощью предложенной методики, они подвергнуты процедуре “уплотнения” полностью повторяют особенности диаграммы направленности, измеренной более точным радиоастрономическим методом [18]. Данная методика не только может быть использована для измерения диаграммы направленности в процессе проведения обзоров, но с ее помощью могут быть получены достаточно надежные выводы о состоянии антенны радиотелескопа и об ошибках измерений самого обзора.

Полученные данные о двумерной диаграмме направленности РАТАН-600 уже используются при интерпретации двумерного обзора неба в полосе склонений $\pm 1^\circ$: $40^\circ 30' 42'' < Dec_{2000} < 42^\circ 30' 42''$, $0^h \leq R.A. < 24^h$, а также и для более глубокой “чистки” далеких от оси ДН дискретных радиосисточников.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Ю. Н. Парийскому за поддержку работы, обсуждение результатов и полезные замечания.

В работе была использована база данных CATS, разработанная О. В. Верходановым, С. А. Трушкиным, Х. Андернахом и В. Н. Черненковым.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 05-02-1751 и гранта Президента РАН “Научные школы” (“Школа С.Э.Хайкина”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. Н. Бурсов, Ю. Н. Парийский, Е. К. Майорова и др., *Астрономический журнал* **84**, No.3, 1 (2007).
2. Н. А. Есепкина, Н. Л. Кайдановсий, Б. В. Кузнецов и др., *Радиотехника и электроника* **6**, No.12, 1947 (1961).
3. Н. А. Есепкина, Б. А. Васильев, И. А. Водоватов, М. Г. Высоцкий, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **11**, 197 (1979).
4. Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др., *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **11**, 182 (1979).
5. Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др., *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **12**, 106 (1980).
6. Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др., *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **15**, 151 (1982).
7. Г. Б. Гельфрейх, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **9**, 89 (1977).
8. А. Н. Коржавин, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **11**, 170 (1979).
9. Е. К. Majorova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 78 (2002)
10. Г. Б. Гельфрейх, А. Н. Коржавин, *Радиотехника и электроника* **7**, 1176 (1968).
11. Н. А. Есепкина, Б. А. Васильев, И. А. Водоватов и др., *Радиотехника и электроника* **22**, №7, 1484 (1977).

12. А. Н. Коржавин, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **9**, 71 (1977).
13. А. В. Темирова, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **17**, 131 (1983).
14. А. В. Темирова, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **19**, 101 (1985).
15. E. K. Majorova, S. A. Trushkin, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 89 (2002).
16. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen et al., *Astronomical Journal* **115**, 1693 (1998)
17. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen et al., <http://www.cv.nrao.edu/nvss/> (1998).
18. А. Д. Кузьмин, А. Е. Соломонович, *Радиоастрономические методы измерения параметров антенн* (М: Сов. радио, 1964).
19. Ю. Н. Парийский, *Astr.Astroph.Trans.* **19**, 265 (2000).
20. Ю. Н. Парийский, <http://brown.nord.nw.ru/CG/pagepar.htm> (2000).
21. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, V. N. Chernenkov, *In "Astronomical Data Analysis Software and Systems VI". eds. G. Hunt and H. E. Payne. ASP Conference Series*, **125**, 322 (1997) (<http://cats.sao.ru>)
22. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, **58**, 118 (2005).

STUDY OF THE POWER BEAM PATTERN OF RATAN-600 DURING THE DEEP RZF SURVEY (1998–2003)

E. K. Majorova, N. N. Bursov

This paper proposes a method for constructing an experimental power beam pattern (PB) of RATAN-600 based on the sample of NVSS sources observed in the process of a deep sky survey near local zenith. The data obtained from observations of radio sources at $\lambda 7.6$ cm in nine bands of the survey (the 2002 and 2003 sets) are used to construct vertical PB of the telescope at rather large offsets from the central horizontal section of the PB ($\pm 36'$). The experimental PBs obtained using different methods are compared and the root-mean-square deviations of the experimental PB from the corresponding computed PB are determined. The stability of the power beam pattern in its central part ($\pm 6'$) during the RATAN-600 Zenith Field (RZF) survey (1998–2003) and the accuracies of the fluxes of the sources observed within the framework of this survey and included into the RZF catalog are estimated [1].