

УДК 524:520.27

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАТАН-600 ПО ДАННЫМ ГЛУБОКИХ ОБЗОРОВ

© 2010 Е. К. Майорова¹

¹ *Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия*

Поступила в редакцию 17 июля 2009 г.; принята в печать 15 сентября 2009 г.

В работе проводится исследование диаграммы направленности и эффективной площади РАТАН-600 по выборкам источников, которые наблюдались в процессе проведения обзоров неба на длине волны 7.6 см в 1980, 1988, 1990, 1991, 1993, 1994 и 1999 гг. Обзоры проводились на Северном секторе РАТАН-600 на том же склонении, что и в эксперименте “Холод” ($\delta \sim 5^\circ$). Проведено сравнение экспериментальных диаграмм, построенных по данным обзоров, с расчетными. Среднеквадратичная ошибка отклонения экспериментальных точек от расчетных составила в среднем по всем годам $(0.19 - 0.23) \pm 0.02$. Вертикальная диаграмма направленности в обзоре 1980 г. оказалась сдвинутой относительно центрального горизонтального сечения примерно на $1'$. Диаграммы, полученные по другим годам, симметричны в пределах ошибок измерений. Средняя эффективная площадь по всем годам за исключением 1993 г. составила $803 \pm 88 \text{ м}^2$. Поведение как диаграмм направленности, так и эффективных площадей радиотелескопа на протяжении 1980–1999 гг. оказалось стабильным.

Ключевые слова: *методы астрономических наблюдений, приборы и инструменты*

1. ВВЕДЕНИЕ

Проведение обзоров неба является одним из основных научных направлений РАТАН-600. Большинство обзоров было проведено в режиме работы с одним сектором радиотелескопа. В режиме “Южный сектор с плоским отражателем” проведен многочастотный “Зеленчукский обзор” [1, 2] и полярный обзор 1987–1989 гг. [3]. С использованием всей кольцевой апертуры телескопа в 1988 г. на длине волны 8 см наблюдалась область неба вблизи $\delta \sim 47^\circ 07'$ [4].

Первый глубокий обзор, с рекордной по тем временам чувствительностью, был проведен на Северном секторе в эксперименте “Холод” в 1980 г. [5]. По данным обзора получен каталог радиоисточников (РС-каталог) на частоте 3.94 ГГц с уровнем обнаружения порядка 10 мЯн [6, 7].

В 1987–2000 гг. для уточнения прямых восхождений и плотностей потоков объектов РС-каталога были проведены обзоры полосы неба на том же склонении, что и в эксперименте “Холод” ($\delta \sim 5^\circ$) на длинах волн 7.6 см и 2.7 см [8, 9].

Начиная с 1998 г. на Северном секторе на длинах волн 1 – 55 см проводится околозенитный RZF-обзор на склонении источника 3С84 [10]. В 2001 г. количество сечений этого обзора было увеличено с одного до девяти, а в 2006 г. — до 17.

Как было показано в работе [11], проводимые обзоры являются источниками информации не только о космических объектах. С их помощью можно исследовать электродинамические характеристики радиотелескопа в период наблюдений.

Методика, предложенная в работе [11], позволяет исследовать диаграмму направленности (ДН) в процессе проведения обзора неба во всей его полосе и оценивать эффективную площадь радиотелескопа.

Поскольку обзоры неба проводятся на РАТАН-600 на протяжении нескольких десятилетий, используя данную методику, можно проследить, как менялись электродинамические характеристики радиотелескопа на достаточно большом отрезке времени.

В настоящей работе для исследования диаграммы направленности были использованы сканы неба, полученные в обзорах 1987–1999 гг. на длине волны 7.6 см, а также данные обзора “Холод” 1980 г.

2. МЕТОДИКА

Методика построения диаграммы направленности РАТАН-600 по результатам наблюдений обзоров неба подробно описана в работе [11].

Как известно, в режиме работы радиотелескопа с одним сектором ДН имеет вытянутую в вертикальной плоскости форму [12–15]. Это позволяет наблюдать источники в некоторой полосе склонений, которые определяются угловыми размерами вертикальной ДН¹.

Отметим, что в зависимости от склонения обзора, меняется угол места H , на который фокусируется антенна радиотелескопа, полуширина вертикальной диаграммы направленности $HPBW_v$ и, как следствие, ширина полосы обзора по склонению. В настоящей работе мы исследуем диаграмму на склонении $\delta \sim 5^\circ$, что соответствует углу места $H \sim 51^\circ$.

Отклик антенны на прохождение “точечного” источника через неподвижную ДН есть одномерное горизонтальное сечение диаграммы направленности, отстоящее от центрального сечения на величину $\Delta\delta = \delta_{ist} - \delta_0$, где δ_{ist} — склонение источника, δ_0 — склонение центрального сечения обзора. “Точечным” считается источник, чьи угловые размеры много меньше полуширины ДН в ее горизонтальном сечении.

Для построения диаграммы направленности использовались кривые прохождения источников, чьи склонения отличаются от склонения центрального сечения обзора. Из одного суточного сечения неба можно выбрать достаточное количество “точечных” источников, проходящих через диаграмму в пределах огибающей щита, с хорошо известными координатами и плотностями потоков для построения диаграммы. Пример экспериментальной двумерной ДН РАТАН-600, построенной по данным RZF-обзора приведен в работе [16].

В качестве калибровочных источников выбирались достаточно яркие объекты NVSS-каталога [17, 18] с хорошо изученными, преимущественно крутыми спектрами, для которых известны плотности потоков на нескольких частотах. При построении спектров использовалась база данных CATS [19, 20]. По спектральным данным вычислялись ожидаемые плотности потоков источников на частоте 3.94 ГГц — $P_{3.94}$.

Вертикальная диаграмма направленности радиотелескопа $F_v(dH)$ измерялась с использованием выборки калибровочных источников, для которых методом гаусс-анализа определялись антенные температуры T_a и полуширины гауссиан на кривых прохождения (сканах неба). Последние дают величину полуширины диаграммы направленности $HPBW_{dH}$ в сечении, удаленном от центрального на величину dH ($dH = \Delta\delta$).

При определении $F_v(dH)$ использовалось выражение:

$$F_v(dH) = \frac{A}{(P_{3.94}^i / T_a^i)_{dH}}, \quad (1)$$

где $P_{3.94}^i$ — ожидаемая плотность потока i -того калибровочного источника, на частоте 3.94 ГГц;

T_a^i — антенная температура i -того калибровочного источника, выделенного на скане методом гаусс-анализа.

Для нахождения коэффициента A строились зависимости $P_{3.94}^i / T_a^i = f(dH)$. Величина коэффициента A есть значение аппроксимирующей кривой $P/T_a = f(dH)$ в точке $dH = 0$.

Примеры таких зависимостей, построенных для выборки калибровочных источников, наблюдавшихся в обзоре 1994 г., показаны на Рис. 1 заштрихованными квадратами. На левом рисунке зависимости приведены в диапазоне $-30' \leq dH \leq 30'$, на правом — те же зависимости в диапазоне $-15' \leq dH \leq 20'$. Сплошными линиями показаны аппроксимирующие полиномы.

Отметим, что этот метод измерения диаграммы направленности несколько отличается от хорошо известного радиоастрономического метода, описанного в работе [21], при котором для измерения ДН используются кривые прохождения одного достаточно яркого радиоисточника через различные горизонтальные сечения диаграммы.

Радиоастрономический метод позволяет построить двумерную ДН с более высокой точностью. Однако, чтобы измерить диаграмму в достаточно большом телесном угле, необходимы многочисленные прохождения калибровочного источника через ДН на разных склонениях. Чем более детально мы хотим измерить диаграмму, тем больше антенного времени требуют такие исследования.

Предлагаемая методика позволяет получать информацию о диаграмме направленности сразу во всей полосе обзора из одного скана, на котором фиксируются многочисленные объекты, проходящие на разном удалении от центрального сечения обзора.

3. ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ

В настоящей работе для исследования диаграммы направленности РАТАН-600 были использованы усредненные сканы неба, полученные в обзорах 1980, 1988, 1990, 1991, 1993, 1994 и 1999 годов на длине волны 7.6 см на склонении источника SS433².

¹Под вертикальной ДН понимается центральное сечение ДН в вертикальной плоскости.

²Сканы были любезно предоставлены Н.С.Соболевой и А.В.Темировой

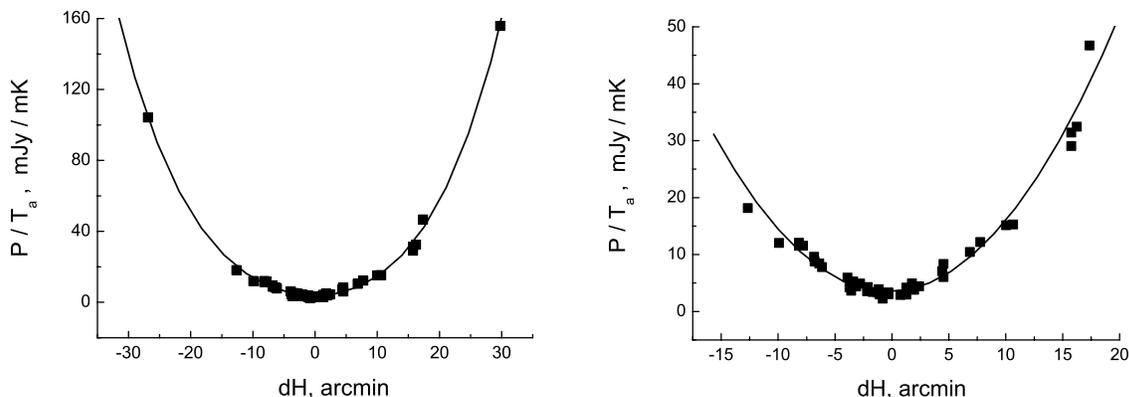


Рис. 1. Отношения спектральных плотностей потоков калибровочных источников к их антенным температурам в зависимости от величины dH (заполненные квадраты), полученные в обзоре 1994 г. Сплошные линии — аппроксимирующие полиномы. Слева зависимости приведены в диапазоне $-30' \leq dH \leq 30'$, справа — те же зависимости в диапазоне $-15' \leq dH \leq 20'$ в увеличенном масштабе.

Для построения диаграммы направленности использовались две выборки калибровочных источников. В первую группу вошли яркие источники NVSS-каталога с плотностями потоков на частоте 1.4 ГГц $P_{1.4} > 100$ мЯн; плотность потока этой выборки источников на частоте 3.94 ГГц составила $P_{3.94} > 50$ мЯн. Во вторую группу, кроме источников первой выборки, вошли также и более слабые объекты с плотностями потоков $P_{1.4} > 60$ мЯн ($P_{3.94} > 20$ мЯн). Такое разделение позволяет оценить, как влияет величина плотностей потоков калибровочных источников на точность построения диаграммы.

Для каждого из обзоров были построены зависимости $P_{3.94}^i / T_a^i = f(dH)$. Через полученные точки методом наименьших квадратов вписывались аппроксимирующие полиномы и находились значения коэффициента A .

Кроме антенной температуры и ожидаемой плотности потока на длине волны 7.6 см для каждого из источников этих двух выборок определялась полуширина вписанной гауссианы. Значения полуширин использовались для построения зависимостей $HPBW_{dH} = f(dH)$.

Прежде всего нас интересовала вертикальная диаграмма направленности радиотелескопа $F_v(dH)$, построенная по калибровочным источникам в каждом из обзоров, и то, насколько хорошо она согласуется с расчетной диаграммой [14]. Расчетная ДН используется для пересчета антенных температур выделенных на записях источников к центральному сечению обзора и последующего определения плотностей потоков объектов RCR-каталога на длине волны 7.6 см [9]. Степень ее совпадения с экспериментальной ДН позволяет

судить, насколько точно мы определяем плотности потоков источников в данном обзоре.

На Рис. 2–8 слева показаны вертикальные диаграммы направленности РАТАН-600, полученные по результатам обработки калибровочных источников в обзорах 1980, 1988, 1990, 1991, 1993, 1994 и 1999 годов (заполненные квадраты). Сплошными линиями показаны расчетные ДН.

Для обзоров 1980, 1988, 1993 и 1994 гг. приводятся диаграммы направленности, построенные по второй группе калибровочных источников с плотностями потоков $P_{3.94} > 20$ мЯн, для обзоров 1990, 1991 и 1999 гг. — вертикальные ДН, построенные по ярким источникам с $P_{3.94} > 50$ мЯн (первая группа). Объясняется это тем, что часть источников второй группы не наблюдалась или плохо выделялась на записях обзоров 1990, 1991, 1999 гг. вследствие более низкой их чувствительности.

На Рис. 2–8 справа показаны зависимости $HPBW_{dH} = f(dH)$, полученные по тем же источникам (заполненные квадраты). Сплошные линии — расчетные кривые. Расчеты диаграммы направленности и ее полуширины $HPBW_{dH}$ выполнялись по алгоритмам, описанным в работе [14].

Как видно из приведенных рисунков, экспериментальные точки, несмотря на некоторый разброс, достаточно хорошо ложатся на теоретические кривые.

Среднеквадратичная ошибка отклонения экспериментальной ДН относительно расчетной, вычисленная по первой группе калибровочных источников, составила $\sigma_F = 0.25 \pm 0.04$, 0.16 ± 0.03 , 0.18 ± 0.03 , 0.27 ± 0.06 , 0.19 ± 0.03 , 0.13 ± 0.02 , 0.16 ± 0.04 соответственно по обзорам 1980, 1988, 1990, 1991, 1993, 1994 и 1999 гг. В данном случае

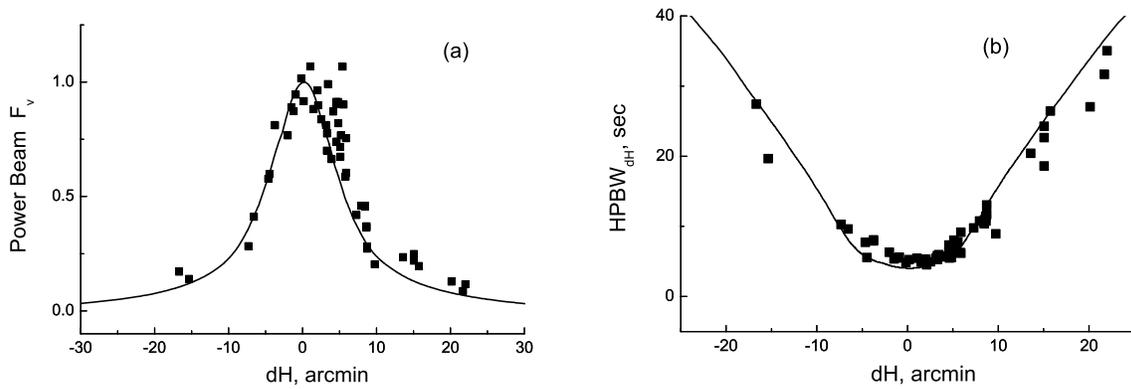


Рис. 2. Экспериментальные вертикальная диаграмма направленности F_v (a) и зависимость $HPBW_{dH} = f(dH)$ (b), построенные по данным наблюдений калибровочных источников в обзоре 1980 г. (заполненные квадраты). Сплошными линиями показаны расчетные кривые.

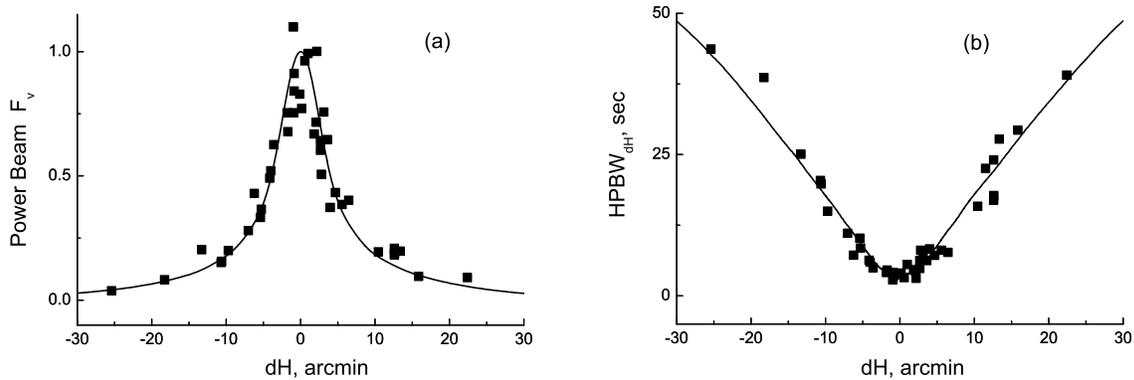


Рис. 3. То же, что и на Рис. 2 по данным обзора 1988 г.

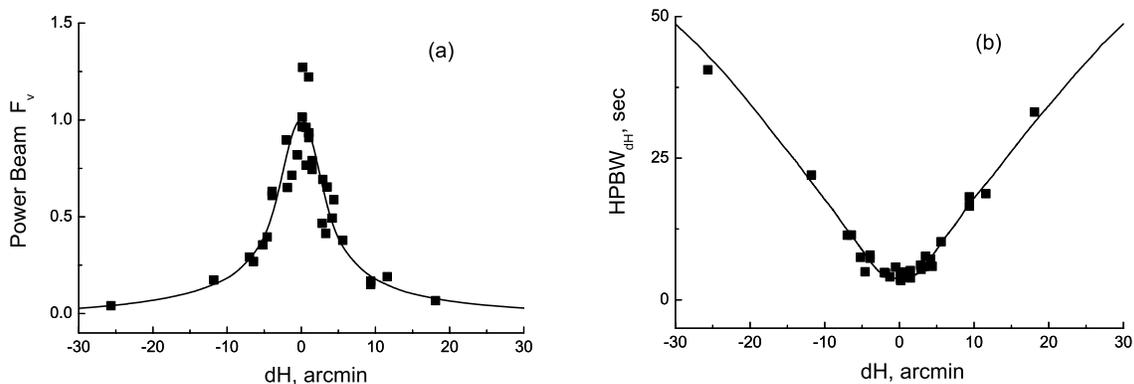


Рис. 4. То же, что и на рис. 2 по данным обзора 1990 г.

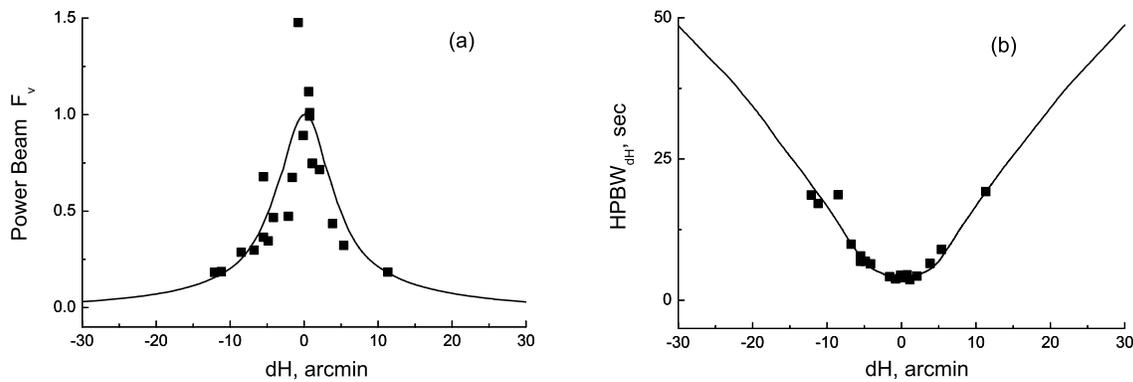


Рис. 5. То же, что и на рис. 2 по данным обзора 1991 г.

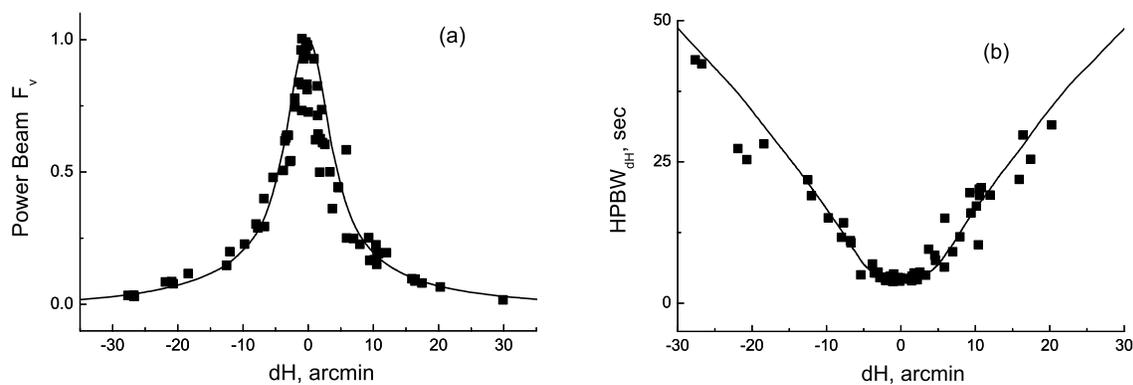


Рис. 6. То же, что и на рис. 2 по данным обзора 1993 г.

вычислялась среднеквадратичная ошибка отношения F_v^e/F_v^t , где F_v^e – значения вертикальной ДН, полученные экспериментальным путем, F_v^t – расчетные значения вертикальной ДН. Среднее значение σ_F по всем годам составило $\overline{\sigma_F} = 0.19 \pm 0.01$.

Среднеквадратичная ошибка σ_F , вычисленная по второй группе источников, равна 0.29 ± 0.06 , 0.23 ± 0.04 , 0.21 ± 0.03 , 0.18 ± 0.03 соответственно по 1980, 1988, 1993 и 1994 гг. Ее среднее значение равно $\overline{\sigma_F} = 0.23 \pm 0.02$.

Среднеквадратичная ошибка σ_F позволяет оценить точность, с которой мы получаем плотности потоков источников в обзорах, и оценить насколько стабильно ведет себя ДН радиотелескопа во времени.

Из приведенных на Рис. 2–8 зависимостей и сравнения величин σ_F , полученных по разным годам, можно заключить, что диаграмма направленности РАТАН-600 оставалась достаточно стабильной на протяжении большого промежутка времени (1980–1999 гг.). Лишь в обзоре 1980 г. мы

видим некоторый сдвиг экспериментальной ДН по отношению к расчетной.

Остановимся на диаграмме направленности обзора 1980 г. подробнее. Для ее построения была использована более многочисленная (третья) выборка источников, в которую, кроме источников второй группы, вошли слабые объекты с плотностями потоков $P_{3.94} > 10$ мЯн, для которых имелись данные о плотностях потоках на нескольких частотах.

Диаграмма направленности в обзоре 1980 г., построенная по третьей выборке источников, показана на Рис. 9а. На Рис. 9б приведена та же диаграмма после процедуры “уплотнения” точек. Эта процедура состоит в усреднении значений F_v в некотором интервале dH .

Сравнение диаграмм на Рис. 2 и 9 показывает, что, независимо от яркости источников, входящих в выборку, и от их многочисленности, ДН, полученная по результатам наблюдений 1980 г., имеет одну и ту же особенность, а именно, некоторый сдвиг относительно центрального сечения ($dH = 0$). Этот сдвиг составляет порядка $1'$. Он хорошо виден и

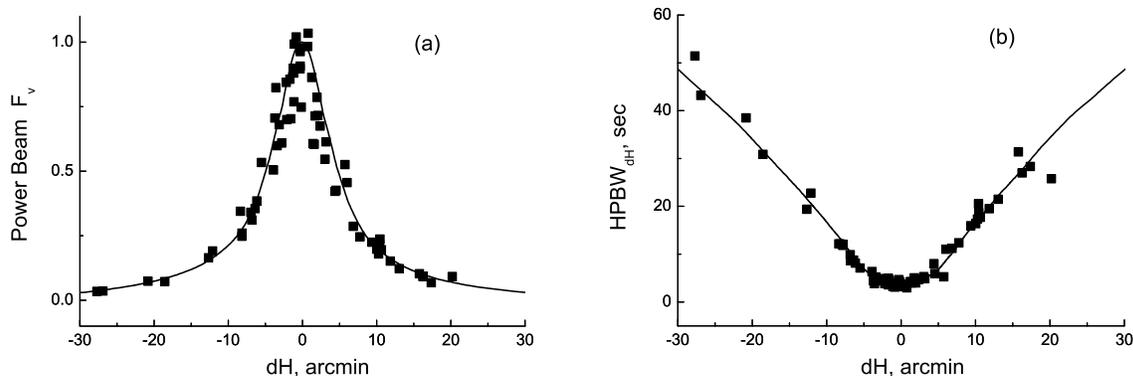


Рис. 7. То же, что и на рис. 2 по данным обзора 1994 г.

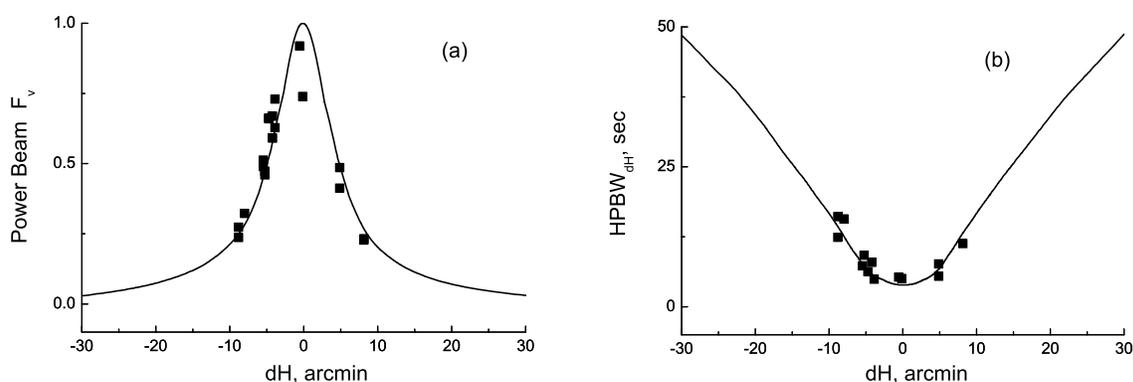


Рис. 8. То же, что и на рис. 2 по данным обзора 1999 г.

на Рис. 2b, где приведены экспериментальная и расчетная зависимости $HPBW_{dH} = f(dH)$.

Этот сдвиг может быть объяснен выносом вторичного зеркала из фокуса по продольной координате, а может быть связан с проблемой “8-ми делений” на РАТАН-600. В этом случае щиты главного зеркала оказываются сдвинутыми по угломерной координате на несколько делений от их “нуль-пункта”, и максимум ДН одного щита не совпадает с максимумом ДН от всего раскрыва антенны.

Кроме того, надо отметить, что обзор 1980 г. проводился с вынесенным из фокуса первичным рупором. Такая подфокусировка была сделана для сужения электромагнитного пучка, распространяющегося от вторичного к главному зеркалу, в вертикальной плоскости [5, 22]. Это позволило уменьшить шумовую температуру антенны радиотелескопа, но должно было несколько расширить ДН в вертикальной плоскости.

Скорее всего именно сдвигом ДН в вертикальной плоскости относительно центрального сечения объясняется тот факт, что плотности потоков

источников обзора 1980 г., вычисленные с помощью расчетной диаграммы направленности оказались существенно завышенными. Такое превышение плотностей потоков наблюдалось в основном у источников, удаленных от центрального сечения обзора на $15' - 20'$.

В обзорах 1988–1999 гг. вертикальные диаграммы направленности более симметричны, хотя разброс точек относительно расчетной ДН все равно существует и тем больший, чем многочисленнее выборка и чем слабее входящие в нее источники.

На Рис. 10 показаны зависимости $q = f(dH)$, полученные по данным обзоров 1980, 1993 и 1994 гг. По оси x отложена величина $q = P_{RCR}/P_{3.94}$, где P_{RCR} — плотности потоков источников RCR-каталога (уточненного RC) на длине волны 7.6 см, полученные нами в работе [9] первым способом, $P_{3.94}$ — предвычисленные по спектрам плотности потоков тех же источников на длине волны 7.6 см.

На Рис. 10а зависимости $q = f(dH)$ построены по выборке самых ярких калибровочных источни-

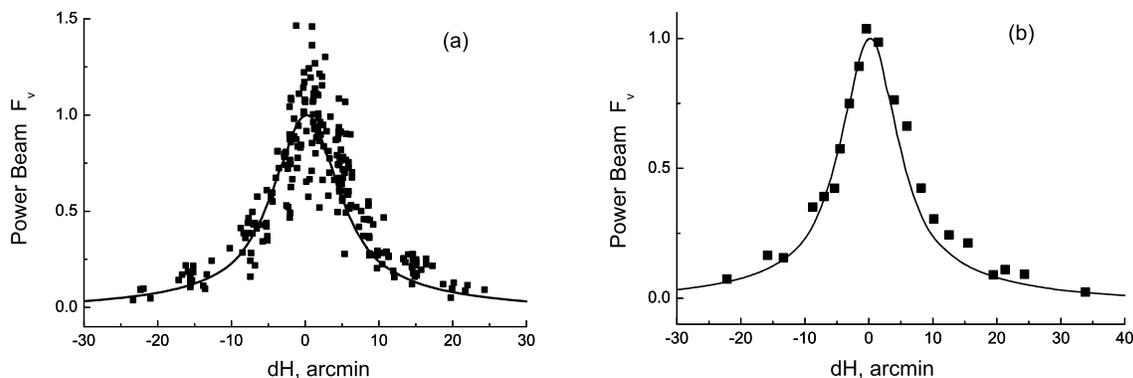


Рис. 9. Вертикальная диаграмма направленности F_v , построенная по данным наблюдений источников уточненного RC-каталога (обзор 1980 г.) (a); та же диаграмма с последующим “уплотнением” точек (b) (заполненные квадраты). Сплошными линиями показаны расчетные ДН.

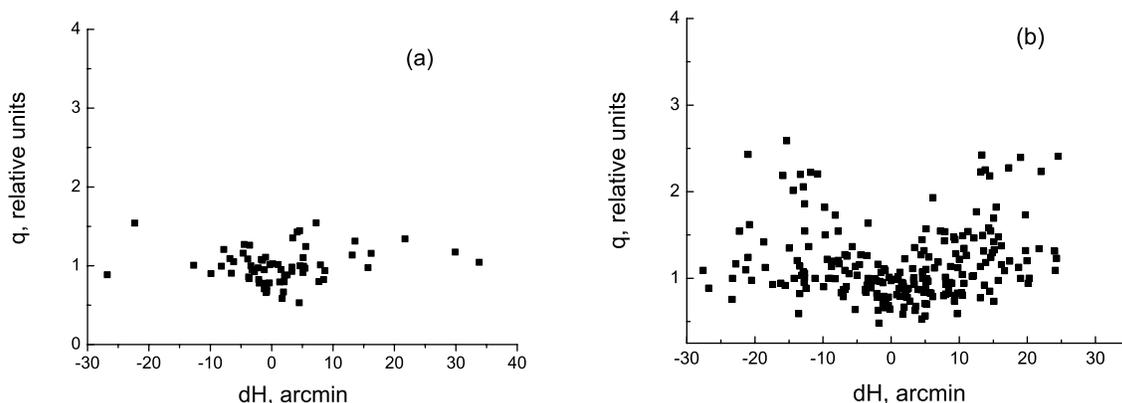


Рис. 10. Зависимости $q = f(dH)$, полученные по данным обзоров 1980, 1993 и 1994 гг. По оси x отложена величина $q = P_{RCR}/P_{3.94}$, где P_{RCR} — плотности потоков источников RCR-каталога (уточненного RC) на длине волны 7.6 см, полученные в работах [9] первым способом, $P_{3.94}$ — предвычисленные по спектрам плотности потоков тех же источников на длине волны 7.6 см. На (a) показаны зависимости, построенные по выборке самых ярких калибровочных источников с крутыми спектрами, на (b) — по более многочисленной выборке источников с хорошо изученными спектрами.

ков с крутыми спектрами, на Рис. 10b — по более многочисленной выборке источников с известными спектрами, однако, менее ярких.

Приведенные зависимости показывают, что величина q для выборки самых ярких объектов RCR-каталога и основной массы источников второй выборки лежит в диапазоне $0.5 \leq q \leq 1.5$. Однако, чем многочисленнее выборка и чем слабее источники, тем больше доля источников, для которых $q > 1.5$. Эти источники располагаются преимущественно в диапазоне $-25' < dH < -15'$ и $15' < dH < 25'$. Скорее всего, в этих областях проведение фона и выделение источников на записях становится уже менее надежно. Не исключено, что и сама диаграмма направленности при таких выносах от оси ведет себя менее стабильно [15].

4. ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ РАДИОТЕЛЕСКОПА

Эффективная площадь радиотелескопа рассчитывалась по формуле, которая связывает антенную температуру источника на выходе радиометра и его спектральную плотность потока:

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

где k — постоянная Больцмана, S_{eff} — эффективная площадь антенны радиотелескопа (1000 м^2), T_a — антенная температура источника, приведенная к центральному сечению обзора (К), P — плотность потока источника ($\text{вт}/\text{м}^2 \text{ Гц}$).

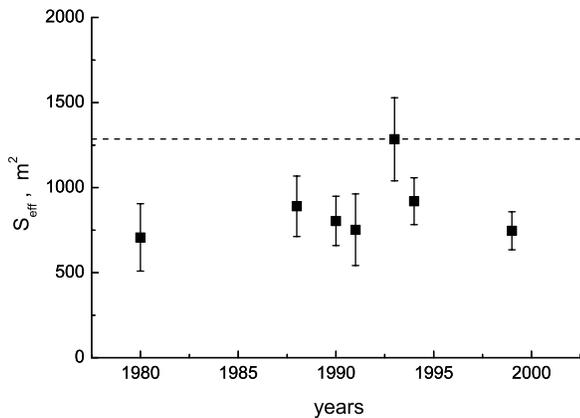


Рис. 11. Эффективные площади S_{eff} РАТАН-600, полученные из обзоров. По оси абсцисс указаны годы проведения обзоров. Пунктирной линией показано значение идеализированной (расчетной) эффективной площади на угле места $H = 51^\circ$.

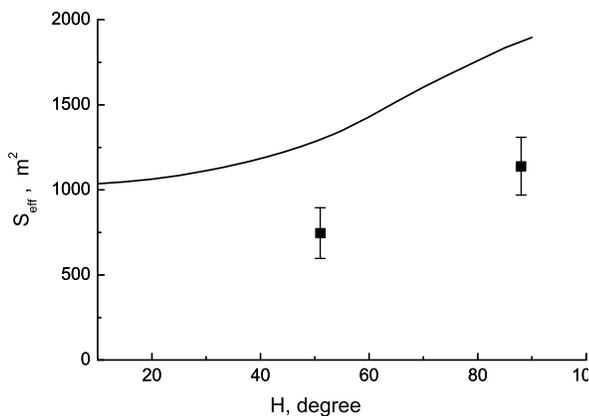


Рис. 12. Зависимость идеализированной (расчетной) эффективной площади от угла места H (сплошная линия). Заполненными квадратами показаны значения эффективных площадей, полученные по данным обзоров неба, проводимых в 1999 г. на длине волны 7.6 см: обзор неба на склонении источника SS433 (RCR-обзор) и околозенитный RZF-обзор на склонении источника ЗС84. Первому соответствует угол места фокусировки антенны $H = 51^\circ$, второму $H = 88^\circ$. Значение эффективной площади радиотелескопа в период проведения RZF-обзора взято из работы [11].

Значение коэффициента $A = (P/T_a)_{dH=0}$ для каждого из обзоров находилось из соответствующей данному обзору аппроксимирующей кривой $P/T_a = f(dH)$ (см. Рис. 1).

Полученные таким образом значения эффективных площадей S_{eff} РАТАН-600 показаны на рис. 11 заполненными квадратами. По оси абсцисс указаны годы проведения обзоров. Пунктирной линией показано значение идеализированной (расчетной) эффективной площади на угле места $H = 51^\circ$.

Средняя эффективная площадь по всем годам

за исключением 1993 г. составила 803 м^2 . Среднеквадратичная ошибка отклонения эффективных площадей от среднего значения $\sigma = (11 \pm 3)\%$ (без 1993 г.). Эта ошибка, как минимум, в полтора раза меньше ошибки определения эффективной площади в каждом из обзоров.

Что касается эффективной площади в обзоре 1993 года, то ее величина примерно на 30% превысила среднее значение и практически совпала с величиной идеализированной эффективной площади на угле места $H = 51^\circ$.

Идеализированной эффективной площадью мы называем эффективную площадь, которая была рассчитана с учетом геометрии антенны радиотелескопа и характера ее облучения в приближении дифракции Френеля [23]. Учитывались особенности перископической системы “вторичное—главное зеркало”, геометрия зеркал и диаграмма первичного рупора.

При расчете идеализированной эффективной площади не учитывается ряд факторов, таких как переоблучение вторичного зеркала, наличие щелей между щитами главного зеркала, а также потери, обусловленные случайными ошибками в раскрыве зеркал. Таким образом величина идеализированной эффективной площади всегда выше измеренной по опорным источникам. То, что в обзоре 1993 г. эффективная площадь антенны практически совпала с идеализированной эффективной площадью объясняется, скорее всего, изменением калибровки радиометра.

На Рис. 12 заполненными квадратами показаны величины эффективных площадей, полученные по данным обзоров неба, проводимых на РАТАН-600 в 1999 г. на длине волны 7.6 см. Это обзор неба на склонении источника SS433 ($\delta \sim 5^\circ$) и околозенитный обзор (RZF) на склонении источника ЗС84 ($\delta \sim 41^\circ 31'$). Первому соответствует угол места фокусировки антенны $H = 51^\circ$, второму $H = 88^\circ$. Значение эффективной площади радиотелескопа в RZF-обзоре взято из работы [11].

Сплошной линией показано изменение идеализированной эффективной площади от угла места H . Зависимость эта была рассчитана по формулам, приведенным в работах [23, 24].

Как видно из Рис. 12, экспериментальные точки повторяют ход теоретической кривой, но лежат ниже ее, поскольку, как уже отмечалось, при расчете идеализированной эффективной площади учитываются не все потери в антенной системе.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный ранее [11] метод построения экспериментальной ДН по выборке достаточно ярких источников, наблюдаемых в процессе проведения глубоких обзоров неба, позволил проследить, как менялась диаграмма направленности и эффективная площадь радиотелескопа РАТАН-600 на протяжении достаточно продолжительного промежутка времени: с 1980 г. по 1999 г.

Для построения диаграммы направленности использовались данные обзоров, проводимых на РАТАН-600 на длине волны 7.6 см на склонении источника SS433 ($\delta \sim 5^\circ$) в 1980, 1988, 1990, 1991, 1993, 1994 и 1999 гг. Для исследования ДН использовались две (в обзоре 1980 г. три) выборки источников, отличающиеся количеством объектов и их яркостью. Выбирались источники NVSS-каталога, у которых имелись данные о плотностях потоков на нескольких частотах и преимущественно крутые спектры.

Сравнение экспериментальных диаграмм, построенных по данным обзоров, с расчетными показало, что среднеквадратичная ошибка отклонения экспериментальных точек от расчетных составила в среднем по всем годам $(0.19 - 0.23) \pm 0.02$ в зависимости от выборки источников. Наибольшие отклонения имели место для диаграмм направленности, построенных по данным обзоров 1980 и 1991 годов.

Вертикальная ДН обзора 1980 г. оказалась несколько сдвинутой относительно центрального горизонтального сечения (на примерно $1'$). Диаграммы, полученные по другим годам, симметричны в пределах ошибок измерений.

Эффективная площадь радиотелескопа также оказалась достаточно стабильной в период проведения обзоров. Средняя эффективная площадь по всем годам за исключением 1993 г. составила 803 м^2 . Среднеквадратичная ошибка отклонения эффективных площадей от среднего значения $\sigma = (11 \pm 3)\%$ (без 1993 г.). Эта ошибка, как минимум, в полтора раза меньше ошибки определения эффективной площади в каждом из обзоров.

Эффективная площадь в обзоре 1993 года примерно на 30% превысила среднее значение S_{eff} и практически совпала с величиной идеализированной эффективной площади на угле места $H = 51^\circ$. Скорее всего такое ее увеличение объясняется изменением калибровки радиометра.

Сравнение эффективных площадей, полученных в один и тот же год (1999 г.), но в разных обзорах, показало, что экспериментальные значения S_{eff} на разных углах места повторяют ход идеализированной (расчетной) зависимости $S_{eff} = f(H)$ на длине волны 7.6 см с точностью до коэффициента, учитывающего потери в антенне. Оценки эффективных

площадей проводились по обзорам полос неба на склонениях $\delta \sim 5^\circ$ и $\delta \sim 41^\circ 31'$, что соответствует $H = 51^\circ$ и $H = 88^\circ$.

БЛАГОДАРНОСТИ

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 грантов РФФИ 09-07-00320, 08-02-00486а и гранта Президента РАН “Научные школы” (“Школа С.Э.Хайкина”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каталог радиостанций Зеленчукского обзора неба в диапазоне склонений $0^\circ - 14^\circ$* , (под ред. М. Г. Ларионова, Изд-во Московского университета, 1989).
2. В. Р. Амирханян, А. Г. Горшков и А. В. Ипатов, *Сообщения САО* **58**, 41 (1988).
3. В. Р. Амирханян, А. Г. Горшков, А. А. Капустин и др. *Письма в АЖ* **18**, 396 (1992).
4. М. Г. Мингалиев, О. В. Верходанов и А. Р. Хабраманов, *Письма в АЖ* **17**, 787 (1991).
5. Ю. Н. Парийский и Д. В. Корольков, *Итоги Науки и Техники. Астрофизика и космическая физика* **31**, 73 (1986).
6. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **87**, 1 (1991).
7. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **96**, 583 (1992).
8. Н. С. Соболева, Н. Н. Бурсов, А. В. Темирова, *Астрономический журнал* **83**, 387, (2006).
9. N. S. Soboleva, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova et al., *Astrophysical Bulletin* **65**, 42, (2010).
10. Н. Н. Бурсов, Ю. Н. Парийский, Е. К. Майорова и др., *Астрономический журнал* **84**, 277, (2007).
11. E. K. Majorova and N. N. Bursov, *Astrophysical Bulletin* **62**, 398 (2007).
12. Н. А. Есепкина, Б. А. Васильев, И. А. Водоватов, М. Г. Высоцкий, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **11**, 197, (1979).
13. Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др., *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **11**, 182, (1979).
14. E. K. Majorova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 78, (2002).
15. E. K. Majorova, S. A. Trushkin, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 89, (2002).
16. E. K. Majorova, Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, *Astrophysical Bulletin* **63**, 374, (2008).
17. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen et al., *Astronom. J.* **115**, 1693, (1998).
18. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen et al., <http://www.cv.nrao.edu/nvss/>

19. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, in *Astronomical Data Analysis Software and Systems VI*, Ed. by G. Hunt and H. E. Payne, ASP Conference Series, **125**, 322, (1997) (<http://cats.sao.ru>)
20. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118, (2005).
21. А. Д. Кузьмин, А. Е. Соломонович, *Радиоастрономические методы измерения параметров антенн* (Москва, Сов.радио, 1964).
22. Е. К. Майорова, *Астрофиз.исслед.* (Изв. САО), **17**, 102, (1983)
23. Е. К. Майорова, Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (Нижний Архыз, САО АН СССР, 1985)
24. Е. К. Майорова, А. А. Стоцкий, *Астрофиз.исслед.* (Изв. САО), **15**, 117, (1982)

STUDY OF THE RATAN-600 POWER BEAM PATTERN AND ANTENNA EFFECTIVE AREA BASED ON DEEP SKY SURVEY DATA

Е.К. Majorova

The power beam pattern and effective surface area of the RATAN-600 radio telescope are analyzed based on source samples observed during the 7.6-cm sky surveys conducted in 1980, 1988, 1990, 1991, 1993, 1994, and 1999. The surveys were made with the Northern sector of the RATAN-600 at the same declination as the COLD experiment ($\delta \sim 5^\circ$). Experimental power beam patterns derived from the survey data are compared with the computed patterns. The r.m.s. deviation of the experimental data points from the corresponding computed values averaged over all years is $(0.19 - 0.23) \pm 0.02$. The vertical power beam pattern of the 1980 survey is offset by about $1'$ with respect to the central horizontal section. The patterns obtained from the data for other years are symmetric within the measurement errors. The mean effective surface area averaged over all years except 1993 is $803 \pm 88 \text{ m}^2$. The behavior of both the beam pattern and effective telescope surface areas was stable from 1980 through 1999.

Key words: *methods of astronomical observations, equipment and instruments*