

УДК 524:520.27-17

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОЛОЗЕНИТНОГО ОБЗОРА НЕБА НА РАТАН-600

© 2008 Е. К. Майорова

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 1 ноября 2007 г.; принята в печать 29 ноября 2007 г.

В настоящей работе проводится моделирование глубокого многочастотного околозенитного обзора неба на РАТАН-600 (RZF-обзор). Для моделирования использовались изображения неба, полученные в NVSS-обзоре на частоте 1.4 ГГц. NVSS-изображения сворачивались с двумерной диаграммой направленности РАТАН-600. Получены 24-часовые модельные сканы прохождения неба на всех длинах волн RZF-обзора. Для волны 7.6 см исследовано влияние размеров площадок изображений на результаты моделирования. Получены оценки точности определения плотностей потоков источников на модельных сканах. Построены распределения спектральных индексов источников. С использованием модельных сканов осуществлена процедура чистки реальных записей RZF-обзора на волне 7.6 см. Среднеквадратичная ошибка остаточного шума на этой волне составила около 1 мЯн.

1. ВВЕДЕНИЕ

Обзоры неба являются одним из основных источников информации о космических объектах. Первый глубокий обзор неба на РАТАН-600 был проведен в 1980–1982 гг. в эксперименте “ХО-ЛОД” на склонении $\delta \sim 5^\circ$ [1]. Использование лучшего по флуктуационной чувствительности радиометра позволило получить новые ограничения на фоновые излучения Вселенной и создать каталог радиоисточников с уровнем обнаружения ~ 10 мЯн (RC-каталог) на волне 7.6 см [2, 3].

В период с 1979 по 1987 гг. на Южном секторе с перископическим отражателем был проведен многочастотный “Зеленчукский обзор” в диапазоне склонений $\delta = 0^\circ \div 14^\circ$ [4, 5], а в 1987–1989 гг. — полярный обзор [6]. Предельный поток обнаружения источников на частоте 3.9 ГГц в “Зеленчукском обзоре составил 50 мЯн, в полярном — 14 мЯн. В 1988 г. с помощью всей кольцевой апертуры РАТАН-600 на волне 8 см наблюдалась область неба $\delta = 47^\circ 06' 45'' \div 47^\circ 07' 45''$, $8^h \leq \alpha < 14^h$ с предельным уровнем обнаружения ~ 15 мЯн [7].

Следующий шаг в проведении обзоров на РАТАН-600 был предпринят в конце 90-х годов. Модернизация радиотелескопа и существенное улучшение чувствительности радиометров позволили провести глубокий обзор неба на более качественном уровне.

RZF-обзор (RATAN-600 Zenith Field) проводился с 1998 по 2003 г. на Северном секторе на длинах волн 1.0 ÷ 55 см на склонении источника ЗС84. Для основной волны наблюдений

($\lambda 7.6$ см) полоса обзора по уровню половинной мощности составила $\delta_{2000.0} = 41^\circ 30' 42'' \pm \pm 2'$, $0^h \leq \alpha_{2000.0} < 24^h$. Результатом проведения обзора стало создание каталога радиоисточников на волне 7.6 см (RZF-каталога) [8]. Минимальная плотность потоков радиоисточников RZF-каталога близка к 2.5 мЯн, что сопоставимо с пороговым значением плотности потока NVSS-каталога [9]. Начиная с 2001 г., кроме центральной полосы обзора, наблюдались дополнительно еще 8 полос неба, сдвинутых относительно центральной на $\Delta\delta = \pm 12'n$ ($n=1, 2, 3, 4$). Отметим, что с 2006 г. плотность полос обзора по склонению была увеличена вдвое и шаг между ними составил $6'$.

Отличительной особенностью обзоров неба, проводимых на РАТАН-600, по сравнению, например, с обзорами, сделанными на VLA (NVSS [9], FIRST [10]), является то, что на заданном склонении мы регистрируем источники в некотором диапазоне (полосе) склонений. Угловые размеры этой полосы определяются размерами вертикальной диаграммы направленности радиотелескопа. Исключение представляет обзор неба 1988 г. в режиме полной кольцевой апертуры антенны, где диаграмма радиотелескопа по уровню половинной мощности имеет “карандашную” форму. Во всех остальных обзорах использовался один из секторов РАТАН-600 (1/4 кольцевой апертуры). В этом режиме работы диаграмма направленности (ДН) радиотелескопа существенно отличается от диаграммы параболоида.

Особенностью диаграммы направленности РАТАН-600 в режиме работы радиотелескопа

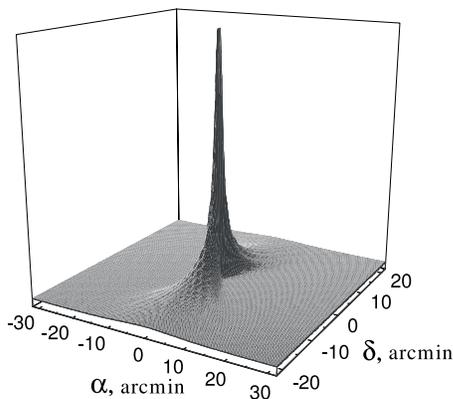


Рис. 1. Диаграмма направленности РАТАН-600 по мощности, рассчитанная на волну 7.6 см и угол места $H = 88^\circ 42''$.

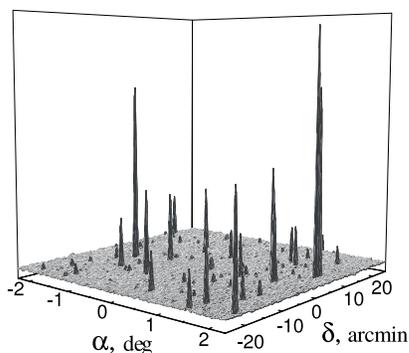


Рис. 2. Часть площадки NVSS-изображения $4^\circ \times 4^\circ$. На рисунке ее размеры по склонению ограничены ($\delta = \pm 20'$).

с одним сектором является вытянутость ее в вертикальной плоскости и наличие на высоких углах места протяженного “веерообразного” фона, интенсивность которого спадает как $1/y$ в вертикальной плоскости [11, 12]. Пример мощностной ДН, рассчитанной для угла места $H = 88^\circ 42''$, показан на рис. 1. Такая структура диаграммы, с одной стороны, позволяет наблюдать источники в некоторой полосе склонений, с другой — затрудняет разделение источников и приводит к появлению протяженных структур на записях прохождения неба через неподвижную ДН телескопа (так называемых сканах неба). Связано это с тем, что величина и форма сигнала от отдельного источника будут существенно зависеть от степени удаленности источника от центрального сечения диаграммы направленности.

Все вышесказанное делает весьма актуальным моделирование обзоров неба, проводимых на РАТАН-600. Моделирование необходимо как при изучении протяженных космических объектов для оценки вклада точечных источников в их излучение,

так и с целью выделения многочисленных слабых источников на фоне шумов и, тем самым, снижения эффекта “путаницы”.

В настоящей работе предпринята попытка моделирования RZF-обзора неба в его центральном сечении $\delta_0 = 41^\circ 30' 42''$ с помощью изображений (карт) неба, полученных в NVSS-обзоре (NRAO VLA Sky Survey) [9] на частоте 1.4 ГГц.

2. МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКОЛОЗЕНИТНОГО ОБЗОРА НЕБА

Впервые моделирование околозенитного обзора неба (RZF-обзора) было предпринято в работе [13]. Для этого использовались данные NVSS-каталога, из которого брались основные параметры источников. С помощью пакета программ расчета двумерной ДН РАТАН-600 [11] моделировались кривые прохождения источников из NVSS-каталога через различные горизонтальные сечения диаграммы. При этом делалось допущение, что все источники точечные, то есть их угловые размеры много меньше полуширины диаграммы направленности (HPBW). В этом случае отклик антенны на прохождение источника со склонением δ_{ist} через диаграмму радиотелескопа есть одномерное горизонтальное сечение ДН, отстоящее от центрального сечения на величину $\Delta\delta$, умноженное на плотность потока данного источника на волне 7.6 см. $\Delta\delta = \delta_{ist} - \delta_0$, где δ_0 — склонение центрального сечения RZF-обзора, которое проходило через источник 3C84.

Кривые прохождения были рассчитаны для большинства источников NVSS-каталога, чьи склонения попадают в полосу $\Delta\delta = 41^\circ 30' 42'' \pm \pm 30'$. Для расчета плотностей потоков источников на волне 7.6 см использовались плотности потоков источников на волне 21 см из NVSS-каталога и их спектральные индексы. Для источников с неизвестными спектральными индексами брался спектральный индекс $\gamma = -0.8$, соответствующий нормальному нетепловому спектру ($S_\nu \sim \nu^\gamma$). Далее кривые прохождения сдвигались во времени в соответствии с прямым восхождением (α) каждого источника и складывались. Полученный таким образом одномерный скан суточного прохождения полосы неба через неподвижную ДН радиотелескопа давал хороший аналог реальных наблюдений. Назовем эту модель RZF-обзора моделью на основе NVSS-каталога.

В настоящей работе моделирование околозенитного обзора осуществляется путем свертки двумерной ДН РАТАН-600 с изображениями неба NVSS-обзора, полученными на VLA с разрешением $\theta = 45''$, которые представляют собой набор

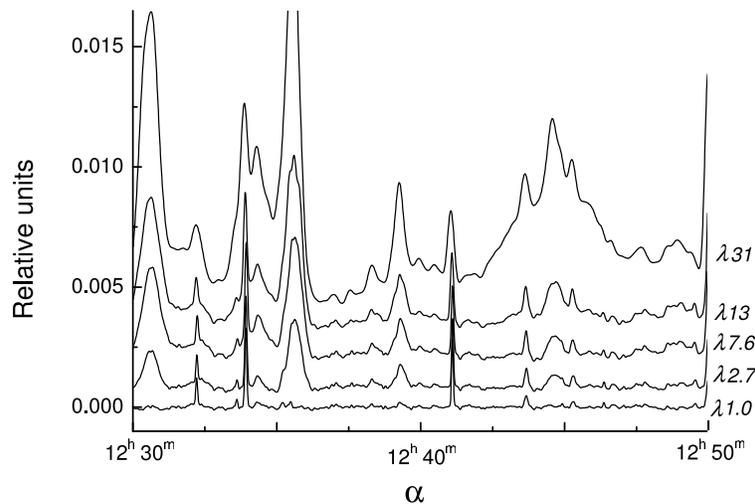


Рис. 3. Нормированные модельные 20-минутные сканы участка неба с координатами $\delta_{2000.0} = 41^{\circ}30'42''$, $12^{\text{h}}30^{\text{m}} \leq \alpha_{2000.0} \leq 12^{\text{h}}50^{\text{m}}$ на волнах 1.0, 2.7, 7.6, 13 и 31 см, полученные с помощью свертки ДН РАТАН-600 с площадками NVSS-изображений $4^{\circ} \times 4^{\circ}$. Нормировка сканов проводилась к уровню сигнала от источника 3С84. Кривые сдвинуты относительно друг друга по оси ординат.

площадок изображений размерами $4^{\circ} \times 4^{\circ}$. Изображения представлены в FITS-формате и размещены на сайте NRAO [14]. Каждое из 2326 изображений, содержащее 1024×1034 пикселей, имеет имя, представленное в форме РННММSDD, где Р — название параметра Стокса (I, Q и U), НН и ММ — часы и минуты прямого восхождения центра изображения, S — знак склонения (Р для +, М для -) и DD — склонение центра изображения в градусах на эпоху 2000 г. (J2000).

Для моделирования RZF-обзора использовались изображения в интенсивности Ihh00PDD, Ihh20PDD, Ihh40PDD протяженностью около 20^{m} (где hh = 00, 01, ..., 23), с координатами центра по склонению: $\delta_0 = +40^{\circ}$ — при моделировании на $\lambda \leq 7.6$ см, $\delta_0 = +40^{\circ}$ и $+44^{\circ}$ — на $\lambda 13$ и 31 см и $\delta_0 = +36^{\circ}$, $+40^{\circ}$ и $+44^{\circ}$ — на $\lambda 49$ см.

Двумерная мощностная ДН РАТАН-600 рассчитывалась по методике, описанной в работе [11]. Расчет проводился для угла места источника 3С84 ($H = 88^{\circ}42''$) в таких диапазонах по склонению, чтобы максимальные значения диаграммы направленности в наиболее удаленных сечениях составляли доли процента от величины максимума диаграммы в ее центральном сечении. Для $\lambda 1.0$ см этот диапазон составил $d\delta = \pm 6'$, для $\lambda 7.6$ см — $d\delta = \pm 37'15''$, для $\lambda 49$ см — $d\delta = \pm 4^{\circ}53'$. Шаг, с которым рассчитывалась диаграмма радиотелескопа, равнялся размеру пикселей на картах NVSS-обзора (15 arcsec). На рис. 1 показана двумерная мощностная ДН, рассчитанная на волну 7.6 см и

угол места $H = 88^{\circ}42''$. На рисунке ее размеры ограничены, $d\delta = \pm 20'$.

С диаграммой сворачивалась та часть изображений NVSS-обзора, которая по склонению равнялась вертикальным размерам расчетной ДН на соответствующей длине волны ($d\delta$). Центр NVSS-изображений проходил через склонение $\delta = 41^{\circ}30'45''$, практически совпадающее со склонением 3С84. На волнах 7.6 см $< \lambda < 49$ см, кроме изображений ИННММР40, использовались изображения ИННММР44, на волне 49 см — изображения ИННММР36 и ИННММР44. Пример NVSS-изображения размерами $d\delta = \pm 20'$ представлен на рис. 2.

Изображения переводились из FITS-формата в двоичные двумерные матрицы, которые затем сворачивались с двумерными матрицами ДН. В результате свертки на каждой длине волны получены 72 одномерных 20-минутных скана неба. Отметим, что размеры NVSS-изображений (и диаграммы направленности) по склонению больше чем на порядок, превышают ширину полосы обзора на данной длине волны. Это позволяет лучше учесть вклад далеких сильных источников, попадающих в ДН радиотелескопа. Дальнейшее увеличение размеров изображений по δ практически не меняет результатов моделирования.

Полученные сканы нормировались к уровню сигнала от источника 3С84 и преобразовывались в файлы F-формата. Этот формат представляет

собой модификацию FITS-формата и используется на РАТАН-600 для представления реальных записей и их последующей обработки.

На рис. 3 показаны нормированные модельные 20-минутные сканы участка неба $\delta_{2000.0} = 41^\circ 30' 42''$, $12^h 30^m \leq \alpha_{2000.0} \leq 12^h 50^m$ на волнах 1.0, 2.7, 7.6, 13 и 31 см, полученные с помощью вышеописанной методики. Здесь и на следующих рисунках сканы сдвинуты относительно друг друга по оси ординат для лучшего их просмотра.

Из приведенных кривых видно, что с переходом от $\lambda 1.0$ см к более длинным волнам происходит увеличение полуширин источников на записях, появляются новые источники, а также протяженные структуры. Это связано с тем, что с увеличением длины волны размеры ДН увеличиваются и она начинает захватывать все более далекие от центрального сечения обзора области неба. Сильные источники, проходящие далеко от центрального сечения по δ , будут давать протяженные структуры, подобные той, что мы видим на рис. 3 на $\lambda 13$ и 31 см в диапазоне $12^h 42^m < \alpha < 12^h 47^m$.

На рис. 4 приведены нормированные модельные сканы на волнах 7.6, 13 и 31 см (кривые 1) и соответствующие им нормированные кривые прохождение, полученные в RZF-обзоре (кривые 2). Реальные записи, приведенные на рисунках, любезно предоставлены Н. Н. Бурсовым. Они были получены путем усреднения порядка 200 прохождений одного и того же участка неба в центральной полосе обзора в период 1998–2003 гг. [16] Модельные и реальные сканы нормированы к уровню сигнала от источника 3C84.

Дальнейший анализ будет основываться на результатах моделирования RZF-обзора на волне 7.6 см. На этой волне чувствительность RZF-обзора максимальна и близка к чувствительности NVSS-обзора.

Представляет интерес сравнение результатов моделирования не только с реальными записями, но и с модельными сканами, полученными на основе данных NVSS-каталога [13]. На рис. 5 представлены 20-минутные модельные сканы неба, полученные с помощью NVSS-изображений (кривые 1), и модельные сканы на основе данных NVSS-каталога (кривые 3), а также соответствующие им усредненные реальные записи RZF-обзора (кривые 2) на волне 7.6 см. Все сканы нормированы к уровню сигнала от источника 3C84. Модельные сканы на основе данных NVSS-каталога и усредненные реальные записи любезно предоставлены Н. Н. Бурсовым. Записи сдвинуты относительно друг друга по оси ординат.

Из сравнения кривых, приведенных на рис. 5, видно, что обе модели хорошо согласуются с наблюдательными данными, однако мелкомасштабная структура модельных сканов, полученных с

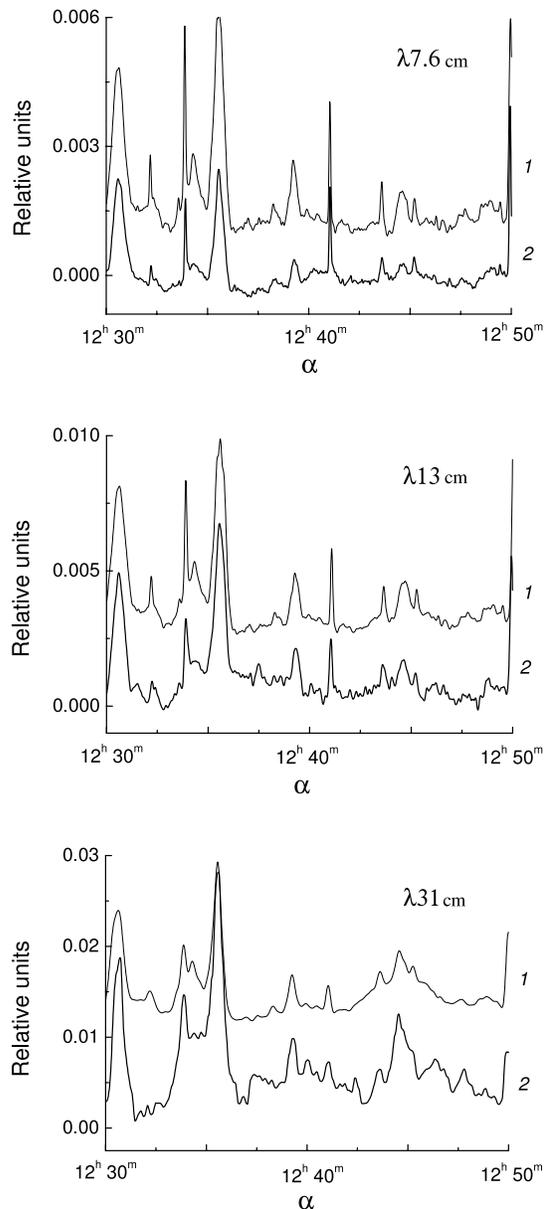


Рис. 4. Нормированные модельные сканы на волнах 7.6, 13 и 31 см, полученные с помощью NVSS-изображений (кривые 1) и нормированные реальные усредненные записи тех же участков неба, полученные в RZF-обзоре (кривые 2). Нормировка сканов проводилась к уровню сигнала от источника 3C84. Кривые представлены со сдвигом по оси ординат.

использованием NVSS-изображений, ближе к реальным записям неба. Модельные сканы, полученные по NVSS-каталогу, более гладкие по сравнению с кривыми 1 и 2.

Эти различия еще отчетливее видны на рис. 6, где представлены 10-минутные участки записей. Объяснить эти различия можно тем, что на модельных сканах, полученных на основе данных NVSS-

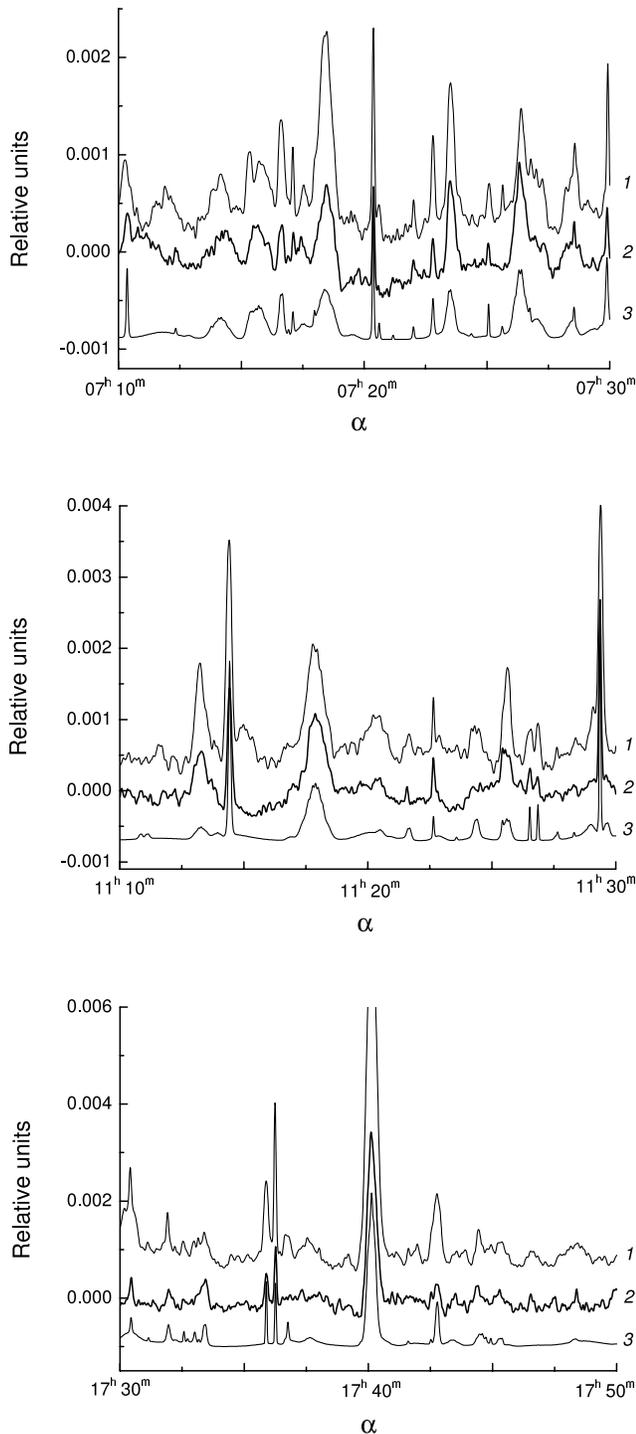


Рис. 5. Нормированные 20-минутные модельные сканы неба, полученные на основе NVSS-изображений $4^\circ \times 4^\circ$ (кривые 1), соответствующие им усредненные реальные записи RZF-обзора (кривые 2) на волне $\lambda 7.6$ см и модельные сканы на основе данных NVSS-каталога [13] (кривые 3). Все сканы нормированы к уровню сигнала от источника 3C84. Кривые представлены со сдвигом по оси ординат.

каталога, присутствуют лишь NVSS-источники в заданной полосе склонений с плотностями потоков выше некоторого уровня. На модельных же сканах, для построения которых использовались NVSS-изображения, присутствуют еще и шумы приемника VLA, свернутые с ДН ПАТАН-600, а также источники, сигналы от которых находятся на уровне обнаружения и близки к шумам NVSS-обзора. Такие источники могли и не войти в NVSS-каталог.

Однако следует отметить, что моделирование RZF-обзора с помощью методики, предложенной в работе [13], имеет и свои преимущества. Так, уровни сигналов от источников, чьи спектральные индексы известны, будут ближе к реальным величинам в модели, построенной на основе NVSS-каталога, поскольку пересчет плотностей потоков этих источников с $\lambda 21$ см на $\lambda 7.6$ см осуществлялся в соответствии с их спектральными индексами.

В модели, предложенной в настоящей работе, такую индивидуальную корректировку плотностей потоков источников сделать весьма проблематично. Пересчет плотностей потоков возможен только для всех источников на записи в целом с использованием среднего спектрального индекса.

3. НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ РЕШЕНЫ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ RZF-ОБЗОРА

Остановимся на задачах, которые могут быть решены с помощью полученных модельных сканов RZF-обзора неба.

Отметим, что модельные сканы, полученные как на основе данных NVSS-каталога, так и с помощью NVSS-изображений, уже использовались при выделении источников околозенитного обзора неба и составлении RZF-каталога [8]. Высокая степень корреляции модельных и наблюдаемых сканов ($\sim 90\%$) позволила разделить вклад дискретных источников и фонового излучения и отождествить источники на записях обзора с источниками NVSS-каталога. Особую ценность модельные кривые представляют при выделении слабых объектов и обнаружении новых, не зафиксированных на дециметровых волнах.

В настоящей работе мы остановимся еще на ряде проблем. Во-первых, работа с модельными сканами, полученными с помощью NVSS-изображений, позволяет оценить точность, с которой могут быть выделены источники и определены их потоки на записях прохождения неба. Во-вторых, с помощью модельных сканов может быть осуществлена чистка реальной записи от источников и получена оценка минимального остаточного шума. Кроме того, представляет интерес оценка спектральных индексов источников по отношению

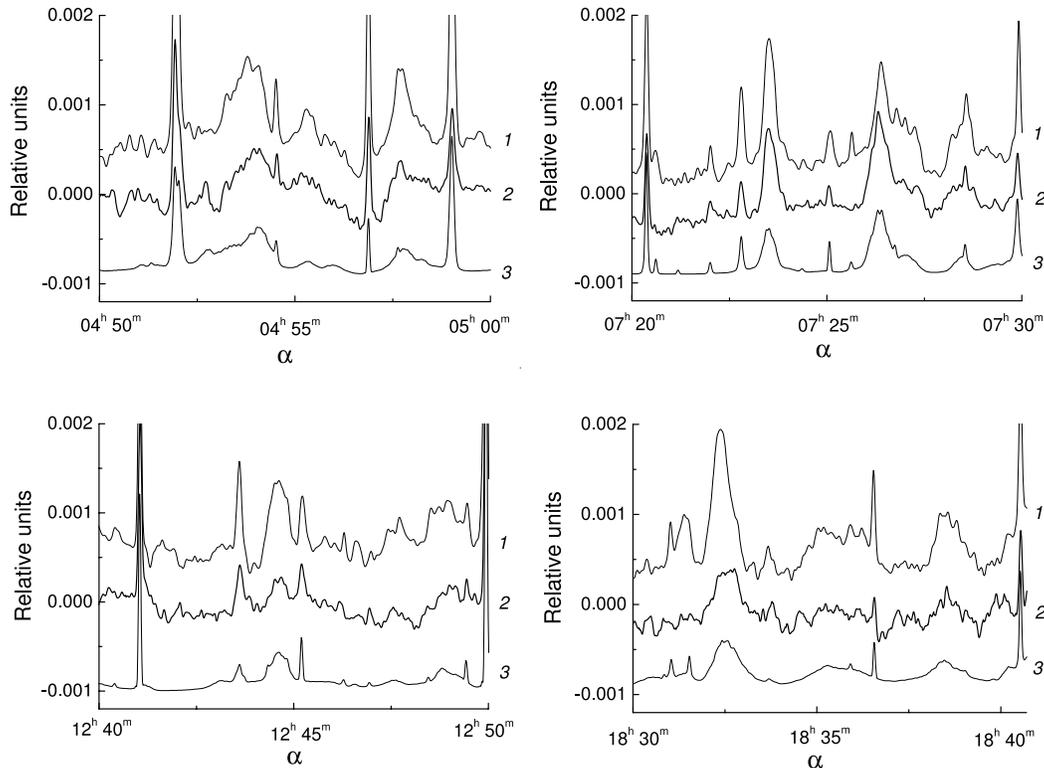


Рис. 6. 10-минутные участки нормированных модельных сканов неба, полученные по NVSS-изображениям $4^\circ \times 4^\circ$ (кривые 1), соответствующие им усредненные реальные записи RZF-обзора на волне 7.6 см и модельные сканы на основе данных NVSS-каталога [13] (кривые 3). Все сканы нормированы к уровню сигнала от источника 3C84. Кривые сдвинуты относительно друг друга по оси ординат.

сигналов на модельных и реальных сканах и сравнение их распределения с распределением спектральных индексов, полученным в работе [8].

Прежде чем переходить к решению этих задач, перечислим основные факторы, которые могут влиять на точность моделирования с помощью NVSS-изображений. К ним относятся: точность знания диаграммы направленности радиотелескопа, правильность выделения источников на полученных модельных сканах, влияние размеров площадок NVSS-изображений на результаты моделирования.

Значения вертикальной ДН используются для пересчета антенных температур источников к центральному сечению обзора и последующего определения плотностей потоков источников. Как показано в работах [12, 17], при хорошем состоянии антенны расчетная ДН с высокой степенью точности согласуется с экспериментальной, поэтому ошибки, связанные с использованием расчетной ДН, минимальны и составляют $1 \div 3\%$.

Выделение источников на модельных и реальных сканах, проводимое с помощью гаусс-анализа, имеет свои сложности, особенно для слабых источников и источников с близкими прямыми восхож-

дениями. Оценка точности определения плотностей потоков источников, выделяемых на записях, будет сделана в параграфе 6.

Что касается влияния размеров NVSS-изображений на результаты моделирования, то здесь основной задачей является нахождение максимальных размеров площадок, при которых ошибки моделирования минимальны.

4. ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ПЛОЩАДОК NVSS-ИЗОБРАЖЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для решения вышеперечисленных задач на модельных сканах, полученных с помощью NVSS-изображений на волне 7.6 см, выделялись источники NVSS-каталога, лежащие в полосе $\pm 6'$ от центрального склонения обзора. Как и на реальных записях, выделение источников осуществлялось с помощью гаусс-анализа [8, 16]. Склонения источников контролировались по полуширинам гауссиан. При этом использовались расчетные зависимости полуширины ДН от расстояния до ее центрального сечения.

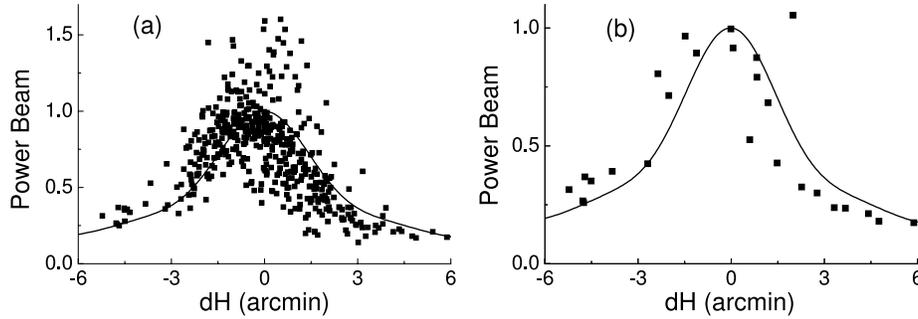


Рис. 7. Вертикальные ДН, построенные по источникам, выделенным на модельных сканах (заполненные квадраты), по всей выборке источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 200$ мЯн — (б). Модельные сканы получены с помощью NVSS-изображений $4^\circ \times 4^\circ$. Сплошными линиями показано вертикальное сечение расчетной ДН на волне 7.6 см после свертки ее в каждом горизонтальном сечении с гауссианой размера $\theta_{0.5} = 45''$.

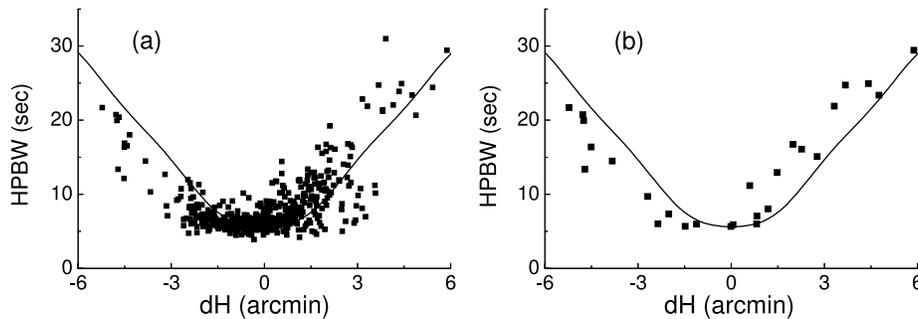


Рис. 8. Зависимости полуширины ДН от dH , построенные по источникам, выделенным на модельных сканах (заполненные квадраты), по всей выборке источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 200$ мЯн — (б). Модельные сканы получены на основе NVSS-изображений $4^\circ \times 4^\circ$. Сплошными линиями показаны полуширины расчетной ДН на волне 7.6 см после свертки ее в каждом горизонтальном сечении с гауссианой размера $\theta_{0.5} = 45''$.

На полученных модельных сканах было выделено около 500 источников NVSS-каталога с плотностями потоков $S > 2.7$ мЯн на волне 21 см. Уровень сигнала от каждого из выделенных источников был определен как в относительных (к уровню сигнала от 3С84), так и в абсолютных (мЯн) единицах.

По этой выборке источников были построены зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\delta$ и $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\alpha$, а также вертикальная ДН РАТАН-600 и зависимость полуширины диаграммы направленности от dH . S_k — плотность потока источника по данным NVSS-каталога, $S_m(0)$ — плотность потока того же источника, полученная из модельного скана и пересчитанная к центральному сечению обзора ($\Delta\delta = 0$), dH — величина выноса из центрального сечения ДН по углу места.

$$S_m(0) = S_m(\Delta\delta)/F_r(dH),$$

где $S_m(\Delta\delta)$ — плотность потока источника с координатами $(\delta_{ist}, \alpha_{ist})$, полученная из модельного

скана, $F_r(dH)$ — вертикальная ДН, рассчитанная с помощью компьютерных программ по методике, описанной в работе [11], $\Delta\delta = \delta_{ist} - \delta_0$, $\Delta\alpha = \alpha_{ist} - \alpha_0$.

Поскольку при проведении обзора центральное сечение ДН проходит через центральное сечение обзора, то выполняется соотношение $dH = \Delta\delta$.

Значения вертикальной ДН радиотелескопа F_e для различных dH можно получить по формуле:

$$F_e(dH) = S_m(\Delta\delta)/S_k,$$

где $dH = \Delta\delta$, используя значения плотностей потоков источников, определенные из модельных сканов, и величины плотностей потоков тех же источников, приведенных в NVSS-каталоге.

Полуширины мощностных диаграмм направленности равны полуширинам гауссиан, которые вписывались при выделении источников на модельных сканах.

На рис. 7(а) и 8(а) заполненными квадратами показаны вертикальные ДН и зависимости HPBW

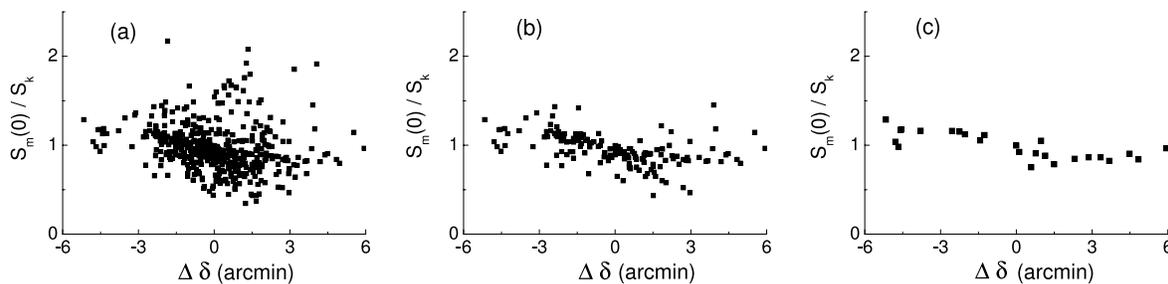


Рис. 9. Зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\delta$, построенные по всей выборке выделенных на модельных сканах источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 30$ мЯн — (б) и $S \geq 200$ мЯн — (с). Модельные сканы получены на основе NVSS-изображений $4^\circ \times 4^\circ$.

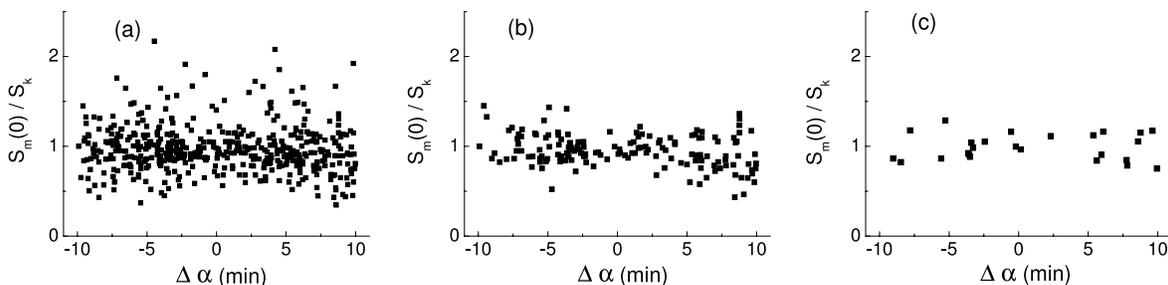


Рис. 10. Зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\alpha$, построенные по всей выборке выделенных на модельных сканах источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 30$ мЯн — (б) и $S \geq 200$ мЯн — (с). Модельные сканы получены на основе NVSS-изображений $4^\circ \times 4^\circ$.

от dH , построенные по всей выборке выделенных на модельных сканах источников, на рис. 7(b) и 8(b) — то же, но только по ярким источникам с плотностями потоков $S \geq 200$ мЯн. Сплошными линиями представлены расчетная вертикальная ДН и расчетная зависимость НРВW от dH . Отметим, что поскольку двумерные ДН сворачивались с изображениями, уже пропущенными через аппаратную функцию радиотелескопа VLA, то и расчетная ДН РАТАН-600 предельно сворачивалась в каждом из горизонтальных сечений с гауссианой, полуширина которой равнялась $\theta_{0.5} = 45''$ (НРВW VLA [9]).

Как видно из рис. 7 и 8, имеет место достаточно сильное расхождение между ДН, построенными по модельным сканам, и расчетными кривыми. Характер расхождений не зависит от яркости источников, по которым построены эти зависимости.

На рис. 9 представлены зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\delta$, построенные по всей выборке выделенных источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 30$ мЯн — (б) и $S \geq 200$ мЯн — (с). Все они имеют четко выраженный наклон, который свидетельствует о том, что величины плотностей потоков источников, полученные по модельным сканам, отличаются от плот-

ностей потоков этих же источников, приведенных в NVSS-каталоге, и тем больше, чем дальше по склонению располагается источник от центрального сечения обзора.

И наконец, зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\alpha$, приведенные на рис. 10, показывают, что расхождения между $S_m(0)$ и S_k увеличиваются с удалением источников от центров сканов (или от центров площадок изображений Ihh20P40, Ihh00P40, Ihh40P40). Особенно наглядно эти особенности проявляются у зависимостей, построенных по сильным источникам с плотностями потоков $S \geq 30$ мЯн и $S \geq 200$ мЯн.

Все эти отклонения связаны с тем, что точки небесной сферы проецируются на плоскости площадок изображений NVSS. В работе [9] приводятся формулы, связывающие небесные координаты (α, δ) с координатами пикселей (x, y) площадки изображения:

$$x = x_0 - \cos\delta \sin(\alpha - \alpha_0)/\epsilon,$$

$$y = y_0 + [\sin\delta \sin\delta_0 - \cos\delta \sin\delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)]/\epsilon,$$

где $\epsilon = \pi/43200$ radian = $15''$, $x_0 = 512$, $y_0 = 513$.

Из формул видно, что чем дальше находится источник от центра площадки на небесной сфере

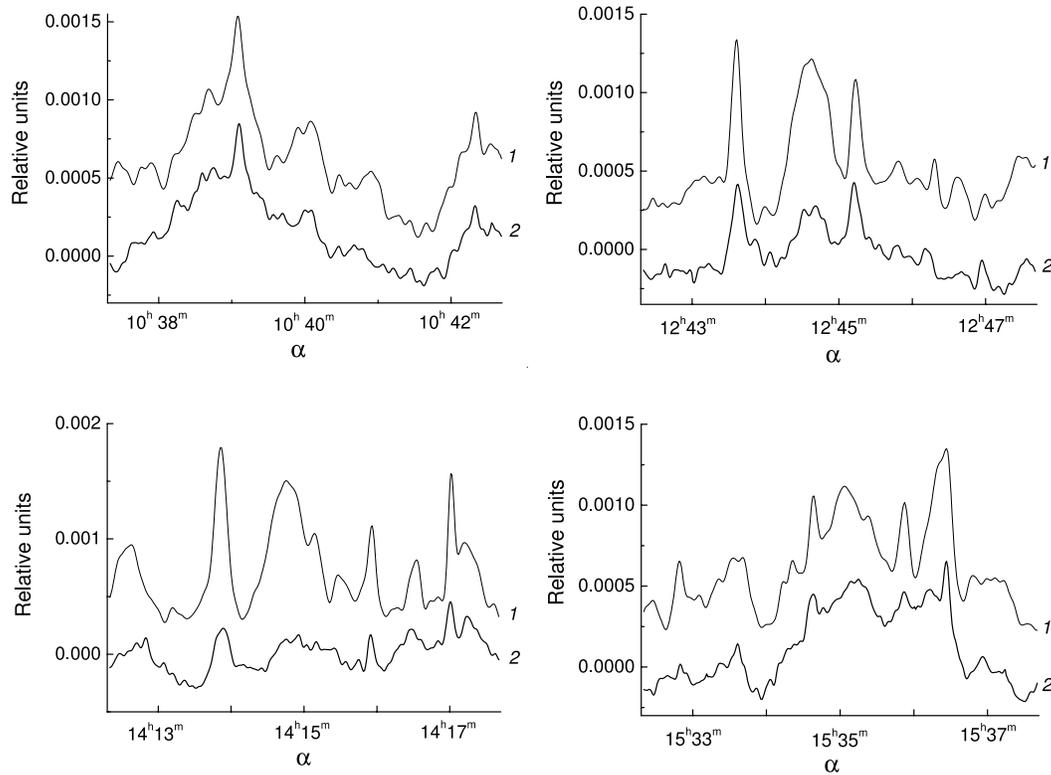


Рис. 11. Нормированные 5-минутные модельные сканы неба, полученные по NVSS-изображениям $1^\circ \times 1^\circ$ (кривые 1) и соответствующие им усредненные реальные записи RZF-обзора (кривые 2) на волне 7.6 см. Все сканы нормированы к уровню сигнала от источника 3С84. Кривые представлены со сдвигом по оси ординат.

(α_0, δ_0) , тем больше будет погрешность в определении его положения в плоскости изображений. Разница в значениях $\Delta\delta$ и $\Delta y = y_{ist} - y_0$ приводит к тому, что при пересчете плотностей потоков источников к центральному сечению обзора с помощью вертикальной диаграммы радиотелескопа появляются систематические ошибки в определении плотностей потоков источников. Это, в свою очередь, приводит к наклону зависимостей на рис. 9, отклонению модельных точек от расчетных кривых на рис. 7, 8 и увеличению разброса точек к краям сканов на рис. 10.

Зависимости, приведенные на рис. 10, позволяют выбрать максимальные размеры площадок изображений по прямому восхождению, при которых соотношение $S_m(0)/S_k \sim 1$ выполняется по всей длине модельного скана. Это размер порядка $d\alpha = \pm 2.5^m$ (или $\sim 1^\circ$). Размер изображений по склонению, используемый при моделировании, близок к оптимальному. Так, для волны $\lambda 7.6$ см он составит $d\delta = \pm 37'15''$.

Таким образом, модельные сканы, полученные в результате свертки 20-минутных (по прямому восхождению) площадок неба NVSS-обзора с

двумерной ДН РАТАН-600, представляют несомненный интерес при выделении источников на реальных записях околозенитного обзора. Модельные и реальные сканы имеют высокую степень корреляции, что особенно помогает при выделении слабых источников. Однако для количественных оценок они не подходят. Для этих целей размер площадок изображений должен быть порядка $1^\circ \times 1^\circ$ (по прямому восхождению около 5^m). Отметим, что при таких размерах изображений их количество на волне 7.6 см, как и количество модельных сканов, увеличивается в четыре раза. Это было одной из причин, по которой моделирование сначала проводилось с помощью площадок NVSS-изображений размерами $4^\circ \times 4^\circ$.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОЛОЗЕНИТНОГО ОБЗОРА С ПОМОЩЬЮ NVSS-ИЗОБРАЖЕНИЙ РАЗМЕРАМИ $1^\circ \times 1^\circ$

Моделирование околозенитного обзора с помощью NVSS-изображений $1^\circ \times 1^\circ$ проводилось на волне 7.6 см. Изображения площадок неба, представленные в FITS-формате и помещенные на сайте [15], скачивались и преобразовывались

в F-формат, а затем — в двоичные двумерные матрицы размерами 300×300 . Последние сворачивались с двумерной ДН ПАТАН-600, рассчитанной на $\lambda 7.6$ см и имеющей тот же шаг по α и δ , что и изображения NVSS-обзора.

Центры площадок изображений имели координаты: $\alpha_0 = H^h 5^m n$, $\delta_0 = +41^\circ 30' 45'' + \Delta$, где H — часы от 0 до 23, $n = 0, 1, 2, \dots, 11$, Δ — поправка за прецессию.

В результате было получено 288 5-минутных модельных сканов. Примеры этих сканов показаны на рис. 11 (кривые 1). Там же приведены осредненные 5-минутные записи прохождения неба, полученные в RZF-обзоре на волне 7.6 см в период 1998–1999 гг. (кривые 2). Модельные и реальные сканы, приведенные на рисунках, нормированы к уровню сигнала от источника 3С84. Кривые сдвинуты относительно друг друга по оси ординат.

Как видно из рисунков, модельные сканы и сканы, полученные из наблюдений, очень хорошо коррелируют. Коэффициент корреляции составил ~ 0.95 , что выше коэффициента корреляции между 20-минутными модельными сканами и сканами RZF-обзора, а также коэффициента корреляции между модельными сканами, полученными на основе данных NVSS-каталога, и реальными записями.

На модельных сканах методом гаусс-анализа выделялись источники NVSS-каталога, определялась амплитуда (в относительных и абсолютных единицах) и полуширина их сигнала. По полученным данным были построены те же зависимости, что и для источников, выделенных на 20-минутных модельных сканах, а именно: $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\delta$, $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\alpha$, НРВW от dH и вертикальная ДН радиотелескопа. Результаты представлены на рис. 12, 13, 14 и 15.

Как видно из рисунков, вертикальная ДН и зависимость НРВW от dH , полученные по 5-минутными модельным сканам, хорошо согласуются с расчетными кривыми, зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\delta$ не имеют наклона, а зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\alpha$ имеют разброс точек, равномерный по всей длине скана. Это свидетельствует о том, что нет систематических ошибок в построении модельных сканов и они могут быть использованы для количественных оценок, а не только для обнаружения и отождествления источников NVSS-каталога на реальных записях.

6. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ИСТОЧНИКОВ

Выделяя на модельных сканах, полученных в результате свертки NVSS-изображений с диаграммой ПАТАН-600, источники NVSS-каталога и

пересчитывая их потоки к центральному сечению обзора, мы должны получить величины плотностей потоков, которые дает NVSS-каталог. Однако из приведенных на рис. 14(a,b,c) и 15(a,b,c) зависимостей видно, что имеет место разброс точек относительно $S_m(0)/S_k = 1.0$, и разброс этот тем больше, чем слабее источники.

Связано это с тем, что с уменьшением плотностей потоков источников сигналы от них и шум фоновых источников становятся близкими по величине, что затрудняет выделение источников как на модельных, так и на реальных сканах. Встречаются случаи блендирования (наложения) источников. Иногда даже сильные источники могут быть выделены недостаточно уверенно, если они имеют близкие координаты по прямому восхождению, но расположены на разных расстояниях от центрального сечения обзора. Все это приводит к искажению сигналов от источников и даже к возникновению ложных источников.

Оценить ошибки определения плотностей потоков можно, используя полученные зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\alpha$. Среднеквадратичная ошибка σ_S^m будет равна среднеквадратичному отклонению величины $S_m(0)/S_k$ от среднего по всей выборке выделенных источников.

Величина этой ошибки является нижним пределом ошибки определения плотностей потоков источников, выделенных на реальных записях на $\lambda 7.6$ см. Напомним, что в ошибку определения плотностей потоков на реальных сканах, кроме ошибок выделения источников, входит еще и ошибка интерполяции (экстраполяции) плотностей потоков на волну 7.6 см. Другие составляющие ошибок будут близки по величине при работе с реальными и модельными сканами, поскольку мы применяем один и тот же метод выделения источников и используем одну и ту же аппаратную функцию радиотелескопа для пересчета плотностей потоков источников к центральному сечению обзора.

Величина среднеквадратичной ошибки определения плотностей потоков источников, выделенных на модельных сканах, составила: $\sigma_S^m = 0.20 \pm 0.01$ — по всей выборке рассматриваемых источников с плотностями потоков $S > 2.7$ мЯн, $\sigma_S^m = 0.10 \pm 0.01$ — для источников с $S > 30$ мЯн и $\sigma_S^m = 0.08 \pm 0.01$ — для источников с $S > 200$ мЯн. (Здесь приведены плотности потоков источников на $\lambda 21$ см).

Сравним ошибки σ_S^m с ошибками определения плотностей потоков источников, выделенных на реальных записях, σ_S^r . Величины σ_S^r , полученные в работах [8, 17] по всей выборке рассматриваемых источников, превышают σ_S^m на $20 \div 25\%$ ($\sigma_S^r = 0.24 \pm 0.03$ [17], $\sigma_S^r = 0.25$ [8]). Для сильных источников σ_S^r составила 0.15 ± 0.03 [8, 17].

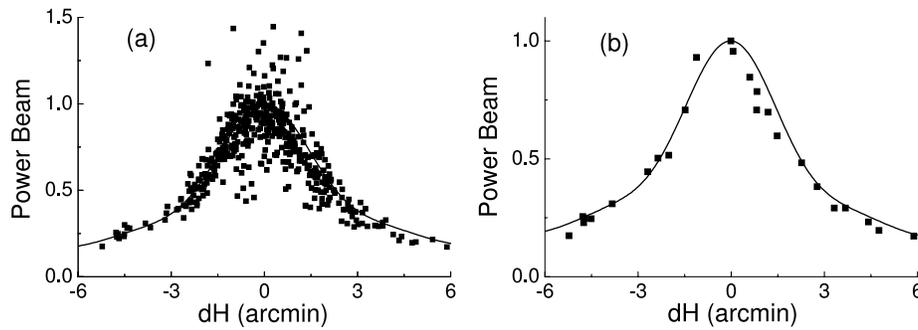


Рис. 12. Вертикальные ДН, построенные по источникам, выделенным на модельных сканах (заполненные квадраты), по всей выборке источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 200$ мЯн — (б). Модельные сканы получены на основе NVSS-изображений $1^\circ \times 1^\circ$. Сплошными линиями показано вертикальное сечение расчетной ДН на волне 7.6 см после свертки ее в каждом горизонтальном сечении с гауссианой размерами $\theta_{0.5} = 45''$.

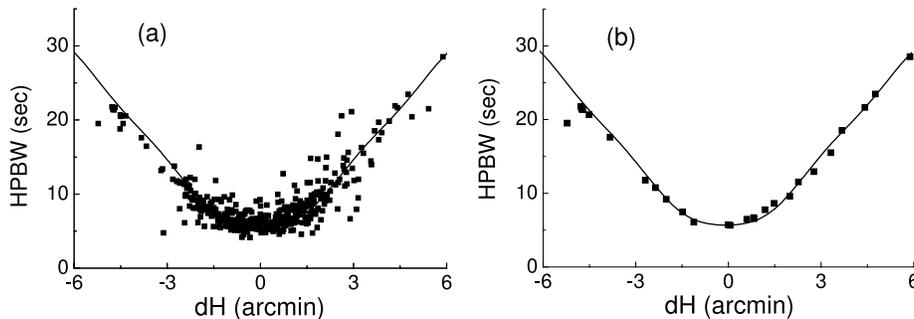


Рис. 13. Зависимости полуширины вертикальной ДН от dH , построенные по источникам, выделенным на модельных сканах (заполненные квадраты), по всей выборке источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 200$ мЯн — (б). Модельные сканы получены на основе NVSS-изображений $1^\circ \times 1^\circ$. Сплошными линиями показаны полуширины расчетной ДН на волне 7.6 см после свертки ее в каждом горизонтальном сечении с гауссианой размерами $\theta_{0.5} = 45''$.

Как отмечалось выше, такие расхождения между значениями σ_S^m и σ_S^r связаны прежде всего с ошибками интерполяции (экстраполяции) плотностей потоков с λ_{21} см на $\lambda_{7.6}$ см. Но свой вклад может вносить и некоторое отличие реальной ДН от расчетной в процессе проведения обзора.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ИСТОЧНИКОВ

Спектральный индекс источника можно рассчитать как логарифм отношения $S_{7.6}/S_{21}^k$ или логарифм отношения $S_{7.6}/S_{21}^m$, где $S_{7.6}$ — плотность потока источника, полученная из реальной осредненной записи RZF-обзора на $\lambda_{7.6}$ см, S_{21}^k — плотность потока этого источника на λ_{21} см по данным NVSS-каталога, S_{21}^m — плотность потока источника в мЯн, полученная из модельного скана.

Поскольку методика выделения источников на реальных и модельных сканах одинакова и имеет

место высокая степень корреляции между ними, можно предположить, что ошибки выделения одного и того же источника на обоих сканах будут идентичны. То есть мы будем или завышать, или занижать поток источника, выделяя его одновременно на модельной и реальной записях. Таким образом, величины спектральных индексов, вычисленные по формуле $\gamma_m = \ln(S_{7.6}/S_{21}^m)$, могут оказаться даже более точными, чем определенные по данным NVSS-каталога ($\gamma_k = \ln(S_{7.6}/S_{21}^k)$). Это при условии, что расчетные и реальные диаграммы направленности радиотелескопа хорошо совпадают.

Для сравнения спектральных индексов источников, полученных разными способами, на осредненных записях RZF-обзора на волне 7.6 см выделялись источники NVSS-каталога в полосе склонений $\pm 6'$ от центрального сечения RZF-обзора. На 24-часовой записи прохождения неба было выделено около 500 источников NVSS-каталога.

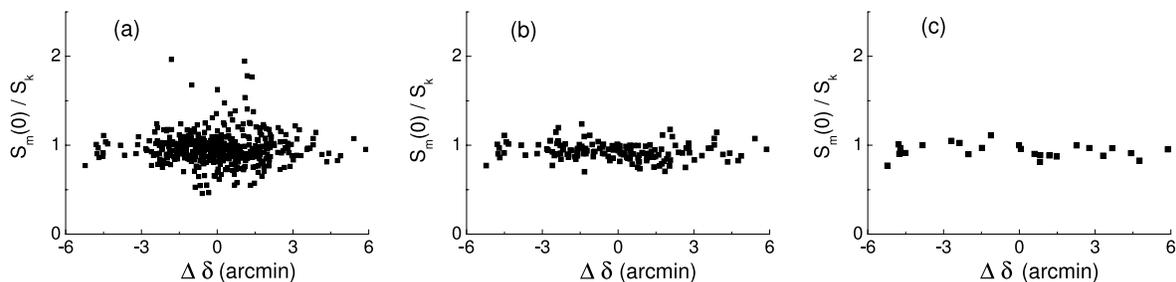


Рис. 14. Зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\delta$, построенные по всей выборке выделенных на модельных сканах источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 30$ мЯн — (б) и $S \geq 200$ мЯн — (с). Модельные сканы получены на основе NVSS-изображений $1^\circ \times 1^\circ$.

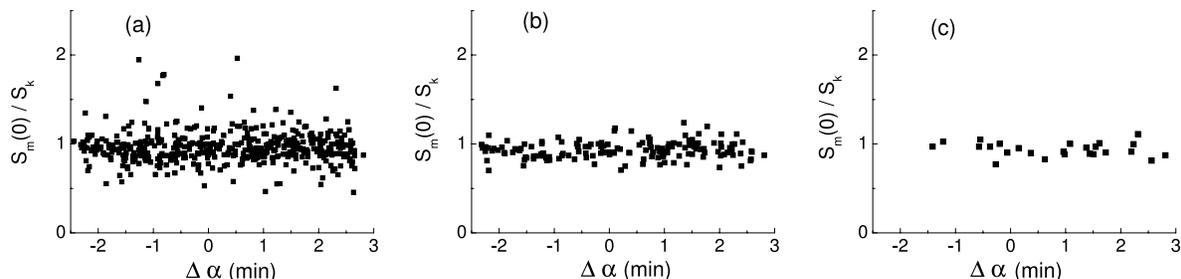


Рис. 15. Зависимости $S_m(0)/S_k$ от $\Delta\alpha$, построенные по всей выборке выделенных на модельных сканах источников ($S \geq 2.7$ мЯн) — (а), по источникам с плотностями потоков $S \geq 30$ мЯн — (б) и $S \geq 200$ мЯн — (с). Модельные сканы получены на основе NVSS-изображений $1^\circ \times 1^\circ$.

Для всех были найдены спектральные индексы γ_k и γ_m , которые затем сравнивались со спектральными индексами, полученными в работе [8]. Для более корректного сравнения использовалась только общая с RZF-каталогом выборка из 317 источников.

На рис. 16 незаполненными столбцами показаны гистограммы распределения спектральных индексов, вычисленных с использованием плотностей потоков, приведенных в NVSS-каталоге, $\gamma_k = \ln(S_{7.6}/S_{21}^k)$ (а), и распределения спектральных индексов, вычисленных с использованием плотностей потоков, полученных из модельных сканов $\gamma_m = \ln(S_{7.6}/S_{21}^m)$ (б). Гистограммы построены по выборке из 317 источников, выделенных нами на модельных и реальных сканах. Заполненными столбцами на том же рисунке представлены гистограммы распределения спектральных индексов этой же выборки источников, построенная по данным RZF-каталога [8]. Гистограммы построены с учетом ошибок определения спектральных индексов.

Как видно из приведенных рисунков, гистограмма распределения спектральных индексов, вычисленных с использованием значений плотностей потоков, полученных из модельных сканов, γ_m , оказывается ближе к распределению спектральных индексов по данным RZF-каталога для данной

выборки источников. С учетом доверительного интервала они практически совпадают.

Отсюда следует, что, имея в распоряжении реальные записи и соответствующие им модельные сканы, полученные с помощью NVSS-изображений, можно получить спектральные индексы источников из отношения их сигналов на этих сканах. Предварительно реальные и модельные сканы должны быть отнормированы. Для большого числа источников, чьи спектральные индексы неизвестны, такая процедура их определения весьма проста и удобна.

8. ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО ШУМА НА РЕАЛЬНЫХ ЗАПИСЯХ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЬНЫХ СКАНОВ

Полученные с помощью NVSS-изображений модельные сканы использовались для чистки реальных записей от дискретных источников. Для этого нормированные 5-минутные модельные сканы “сшивались” в один 24-часовой скан и пересчитывались на волну 7.6 см в соответствии со средним спектральным индексом.

Как уже отмечалось, исправить сигнал от каждого источника в соответствии с его спектральным индексом в данном методе проблематично,

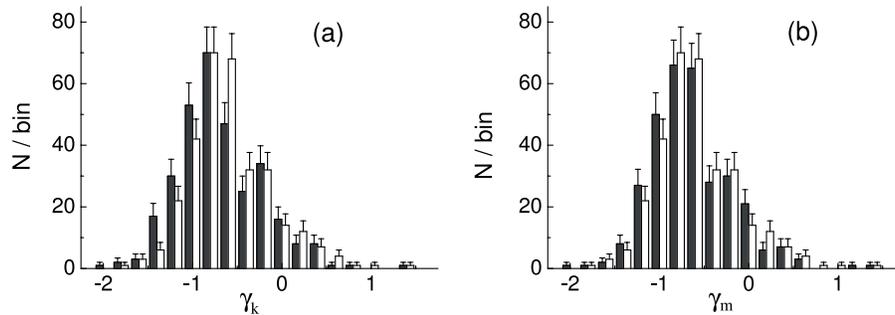


Рис. 16. Гистограммы распределения спектральных индексов, вычисленных с использованием плотностей потоков, приведенных в NVSS-каталоге, $\gamma = \ln(S_{7.6}/S_{21}^k)$ — (a) (незаполненные столбцы) и с использованием плотностей потоков, полученных из модельных сканов на основе NVSS-изображений, $\gamma = \ln(S_{7.6}/S_{21}^m)$ — (b) (незаполненные столбцы). Гистограмма распределения спектральных индексов, построенная по данным RZF-каталога (заполненные столбцы) [8]. Гистограммы построены по общей выборке из 317 источников с учетом ошибок определения спектральных индексов.

даже если спектральный индекс известен, поэтому для пересчета использовались значения спектральных индексов, близкие к индексам источников с нормальными нетепловыми спектрами, лежащие в диапазоне $\gamma = 0.78 \pm 0.02$. Величина спектрального индекса подбиралась таким образом, чтобы среднеквадратичная ошибка отклонений модельной записи, исправленной за спектральный индекс, от реальной записи, была минимальной. Для оценки величины остаточного шума использовались укороченные записи: $0^h \leq \alpha < 20^h$ (исключалась плоскость Галактики).

Величина среднеквадратичной ошибки остаточного шума на волне 7.6 см составила $\sigma = 7.6 \pm \pm 0.9$ мЯн. Этот остаточный шум включает шум от неразрешенных источников, шумы радиометров, шум атмосферы, а также остаточные сигналы от источников, чьи спектральные индексы отличаются от среднего спектрального индекса, использовавшегося для пересчета плотностей потоков источников.

Вычитание фона, полученного с окном сглаживания 30^s (далее — тридцатисекундный фон), частично убирает шумы атмосферы и шумы от источников, расположенных вне полосы $\Delta\delta = 41^\circ 30' 42'' \pm 6'$. Это снижает величину σ остаточного шума до 4.6 ± 0.6 мЯн. Для сравнения — величина остаточного шума после вычитания из реальной усредненной записи модельного скана, полученного по данным NVSS-каталога, и последующего вычитания тридцатисекундного фона составила $\sigma = 5.9 \pm 0.6$ мЯн. То есть чистка реальных записей с помощью модельных сканов, полученных двумя различными методами, дает близкие результаты.

На рис. 17(a) показан остаточный шум на реальной осредненной записи RZF-обзора после вычитания из нее модельного скана, полученного с

помощью NVSS-изображений и исправленного за средний спектральный индекс, на рис. 17(b) — остаточный шум после дополнительного вычитания из разности реальной и модельной сканов фона, полученного с окном сглаживания 30^s .

Как видно из рисунков, на записях еще остаются сигналы от источников, у которых спектральные индексы не совпадают со средним спектральным индексом. После удаления таких сигналов (они хорошо видны на записях) величина σ остаточного шума составила около 1 мЯн. Запись остаточного шума приведена на рис. 17(c). Отметим, что среднеквадратичная ошибка того же участка реальной записи ($0^h \leq \alpha < 20^h$), не подвергнутая процедуре чистки, составляет 19 ± 3 мЯн. При оценке величины σ сигнал от источника 3С84 не учитывался. Таким образом, чистка записей с помощью модельных сканов снижает величину остаточного шума на реальной записи больше чем на порядок.

Следует отметить, что чистку записей можно осуществлять и без использования модельных сканов, “вырезая” источники на записях в соответствии с их координатами. Однако, учитывая тот факт, что кривые прохождения, полученные в обзорах РАТАН-600, представляют собой суперпозицию сигналов от источников, прошедших через ДН на разных склонениях, такая чистка весьма трудоемка и не всегда однозначна. Предлагаемый метод позволяет достаточно просто исключить основную долю точечных источников в заданной полосе склонений с потоками больше 3 мЯн ($> 3\sigma$). Для более глубокой чистки необходимы более усовершенствованные методы, на описании которых мы здесь не останавливаемся, поскольку это тема отдельной работы.

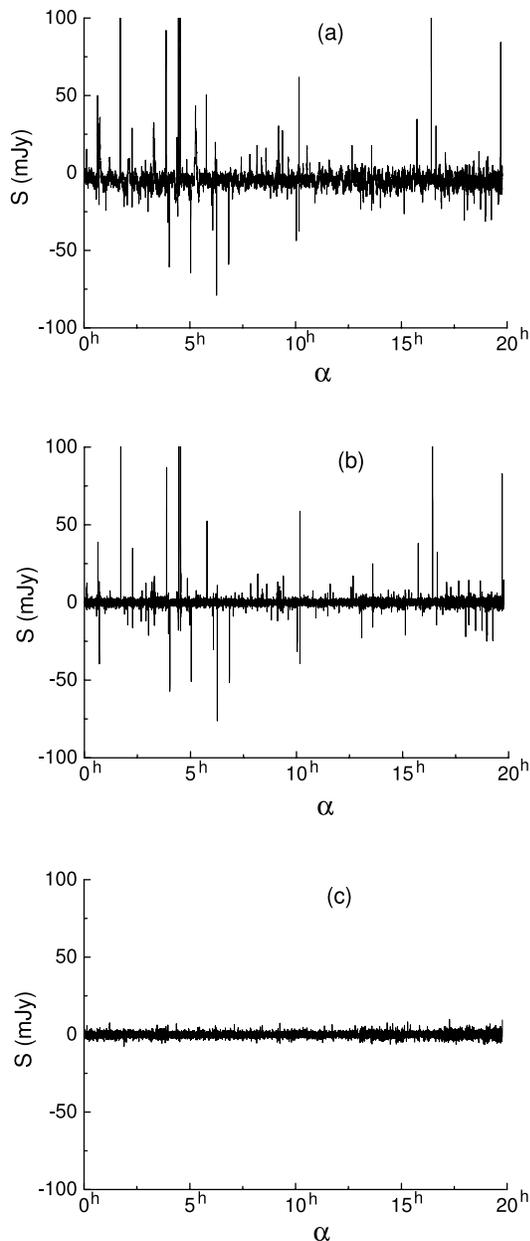


Рис. 17. Остаточный шум на реальной осредненной записи RZF-обзора после вычитания из нее модельного скана, полученного с помощью NVSS-изображений, — (a), остаточный шум после вычитания из разности реального и модельного сканов фона, полученного с окном сглаживания 30° , — (b), остаточный шум после удаления источников, у которых спектральные индексы не совпадают со средним спектральным индексом — (c).

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен и разработан метод моделирования глубокого многочастотного околоразенитного обзора неба путем свертки NVSS-изображений с двумерными ДН РАТАН-600.

Моделирование проводилось на волнах 1.0, 2.7, 3.9, 7.6, 13, 31 и 49 см в центральной полосе обзора. Получены 24-часовые модельные сканы прохождения неба через диаграмму радиотелескопа на каждой из перечисленных длин волн. Проведено сравнение модельных сканов с реальными записями и с модельными сканами, полученными с использованием данных NVSS-каталога [13].

Проведено исследование влияния размеров площадок NVSS-изображений на результаты моделирования на волне 7.6 см. Показано, что модельные сканы, полученные с помощью площадок NVSS-изображений $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ (20^m по прямому восхождению), имеют высокую ($\sim 90\%$) корреляцию с реальными сканами, что позволяет использовать их для отождествления и выделения слабых источников на записях RZF-обзора. Однако для количественных оценок размер площадок NVSS-изображений должен быть уменьшен до $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (5^m по прямому восхождению).

На волне 7.6 см путем свертки NVSS-изображений $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ с ДН РАТАН-600 получено 288 5-минутных модельных сканов прохождения неба, которые “сшивались” в один 24-часовой скан. На модельных сканах и параллельно на реальных осредненных записях RZF-обзора было выделено около 500 источников NVSS-каталога в полосе $\pm \pm 6'$ относительно центрального сечения обзора, оценены их потоки.

Полученный материал позволил оценить точность определения плотностей потоков источников на модельных сканах. Величина среднеквадратичной ошибки определения плотностей потоков источников на модельных сканах по всей выборке рассматриваемых источников ($S > 2.7$ мЯн) составила $\sigma_S^m = 0.20 \pm 0.01$. Эта величина на $20 \div 25\%$ ниже среднеквадратичной ошибки для реальных записей ([8, 17]). Для источников с потоками больше 30 мЯн $\sigma_S^m = 0.10 \pm 0.01$. Полученные величины σ_S^m можно считать нижним пределом ошибок определения плотностей потоков источников на реальных сканах на $\lambda 7.6$ см.

Построены распределения спектральных индексов источников с помощью выделения источников на реальных и модельных сканах. Для расчета спектральных индексов использовались потоки источников, приведенные в NVSS-каталоге, а также плотности потоков, полученные из реальных и модельных сканов. Проведено сравнение распределений спектральных индексов, полученных разными способами, с распределением спектральных индексов по данным RZF-каталога для общей выборки из 317 источников. Показано, что распределение спектральных индексов, вычисленных как логарифм отношения плотностей потоков источников, выделенных на реальных и модельных сканах, в пределах ошибок совпадает с распределением

спектральных индексов, построенным по данным RZF-обзора для той же выборки источников.

С использованием полученных модельных сканов осуществлена процедура чистки реальной 20-часовой записи RZF-обзора. Величина σ остаточного шума после вычитания тридцатисекундного фона и удаления остаточных сигналов от источников, у которых спектральные индексы отличаются от среднего, составила ~ 1 мЯн на волне 7.6 см. Это на порядок уменьшило шумы исходной записи RZF-обзора.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность Ю. Н. Парийскому за поддержку работы и обсуждение результатов, Бурсову Н. Н. за предоставление материалов RZF-обзора и модельных сканов, полученных на основе данных NVSS-каталога.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 05-02-17521 и гранта Президента РАН “Научные школы” (“Школа С. Э. Хайкина”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю. Н. Парийский и Д. В. Корольков, *Итоги науки и техники. Астрофизика и космическая физика под ред. Сюняева Р.А. Серия Астрономия* (ВИНИТИ, Госкомитет по науке и технике, Москва, 1986) **31**, 73 (1986).
2. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, *et al.*, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.*, **87**, 1 (1991).
3. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, *et al.*, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **96**, 583 (1992).
4. *Каталог радиоисточников Зеленчукского обзора неба в диапазоне склонений $0^\circ - 14^\circ$* , ред. М. Г. Ларионов (Изд-во Московского университета, 1989).
5. В. Р. Амирханян, А. Г. Горшков и А. В. Ипатов, *Сообщения САО* **58**, 41 (1988).
6. В. Р. Амирханян, А. Г. Горшков, А. А. Капусткин и др. *Письма в АЖ* **18**, 396 (1992).
7. М. Г. Мингалиев, О. В. Верходанов и А. Р. Хабраманов, *Письма в АЖ* **17**, 787 (1991).
8. Н. Н. Бурсов, Ю. Н. Парийский, Е. К. Майорова и др., *Астроном. журнал* **84**, 227 (2007).
9. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen et al., *Astronom. J.* **115**, 1693 (1998)
10. R. L. White, R. H. Becker, D. J. Helfand and M. D. Gregg, *Astrophys. J.* **475**, 479 (1997).
11. E. K. Majorova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 78 (2002)
12. E. K. Majorova and S. A. Trushkin, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 89 (2002).
13. Н. Н. Бурсов и Е. К. Майорова, *Тезисы докладов Российской конференции памяти А. А. Пустелькорса “Радиотелескопы РТ-2002”, Пуццано, 9–11 октября 2002*, 26, (2002).
14. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen et al., <http://www.cv.nrao.edu/nvss/>, <http://ftp.cv.nrao.edu/fits/os-support/unix/xfitsview/>
15. <http://skyview.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/skvbasic.pl>
16. Н. Н. Бурсов, Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (САО РАН, Нижний Архыз, 2003).
17. E. K. Majorova and N. N. Bursov, *Astrophys. Bull.* **62**, 398 (2007).

SIMULATION OF A ZENITH-FIELD SKY SURVEY ON RATAN-600

E. K. Majorova

In this paper we simulate a deep multifrequency zenith-field sky survey on RATAN-600 (the RZF survey). In our simulations we use the 1.4-GHz sky images obtained in the NVSS survey. We fold NVSS images with the two-dimensional power beam pattern of RATAN-600 and obtain simulated 24-hour scans of sky transits at all wavelengths of the RZF survey. For the 7.6-cm wavelength we analyze the effect of the image area size on the results of the simulation. We estimate the accuracy of the determination of source fluxes on simulated scans and derive the distributions of the spectral indices of the sources. We use the simulated scans to clean real records of the RZF survey at 7.6 cm. The standard error of the residual noise at this wavelength is about 1 mJy.