

УДК 524.827

## ОБЗОР ОКОЛОЗЕНИТНОЙ ОБЛАСТИ НЕБА НА ЧАСТОТЕ 30 ГГц С 32-ЭЛЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЕЙ РАДИОМЕТРОВ РАТАН-600

© 2013 Ю. Н. Парийский<sup>1</sup>, Н. Н. Бурсов<sup>2</sup>, А. Б. Берлин<sup>1</sup>,  
М. Г. Мингалиев<sup>2,3</sup>, Н. А. Нижельский<sup>2</sup>, В. А. Столяров<sup>2,4</sup>,  
П. Г. Цыбулёв<sup>2</sup>, Т. А. Семенова<sup>2</sup>, В. Б. Хайкин<sup>1</sup>, А. А. Гречкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН,  
Санкт-Петербург, 196140 Россия

<sup>2</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>3</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия

<sup>4</sup>Кавендишевская Лаборатория, Кембриджский Университет, Кембридж, СВ3 0HE Великобритания

Поступила в редакцию 13 апреля 2012 года; принята в печать 18 декабря 2012 года

Сообщается о предварительных результатах глубокого обзора неба в области  $00^h < RA < 24^h$ ,  $40^\circ 5' < Dec < 42^\circ 5'$  на РАТАН-600 с новой фокальной матрицей, состоящей из 32-х первичных излучателей, на предельной частоте радиотелескопа 30 ГГц, с разрешением вплоть до  $5''$  по прямому восхождению и  $30''$  по склонению. Приводятся первые результаты, включая новые оценки по анизотропии фонового излучения на масштабах ( $l > 3000$ ) и шуму от дискретных радиоисточников в диапазоне волн между каталогами NVSS и IRAS.

Ключевые слова: *реликтовое излучение*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей работы является уточнение данных о некоторых частотно-зависимых фоновых излучениях между наблюдателем и эпохой рекомбинации (прежде всего — роль синхротронного и теплового излучения Галактики, дискретных радиоисточников, дипольного излучения макромолекул) на слабо изученных ранее угловых масштабах, интересных для космологии. Работа проводится в рамках программы “Генетический код Вселенной” [1, 2]. Часть полученных на РАТАН-600 результатов уже опубликована в работах [3–11].

В последние годы активно обсуждаются возможности исследования физики Вселенной на красных смещениях  $z \gg 1000$  вплоть до эпохи “инфляции” методами наземной и космической астрономии [12–18]. Одно из многообещающих направлений — исследование интенсивности и поляризации реликтового фона на масштабах, много меньших запланированных в таких проектах как WMAP ( $l < 1000$ ) и Planck ( $l < 2500$ ). Это привело к целесообразности использовать РАТАН-600 на предельной длине волны 1 см на масштабах, значительно меньших, чем планировалось первично, в соответствии со стандартной теорией поляризации в  $E$ -моды сахаровских осцилляций с максимумом поляризации на  $l = 1000$ .

Предполагалось, что эта поляризация в основном связана с томпсоновским рассеянием реликтовых фотонов на электронах, и в этом случае статистический шум в параметре Стокса  $Q$  равен шуму в параметре Стокса  $U$ :  $\langle Q^2 \rangle = \langle U^2 \rangle$ . Первый цикл наблюдений, начатый в июне 2009 г., предполагал исследование интенсивности на малых (вплоть до разрешения радиотелескопа) угловых масштабах одного параметра Стокса ( $Q$ ), который меньше подвержен инструментальной поляризации, связанной с поляризацией излучения Земли, и влиянию щелей между панелями основной поверхности. В настоящей статье мы приведем предварительные результаты, полученные в основном по центральному сечению RZF-обзора [3], проходящему на склонении радиоисточника 3C84, с использованием нового радиометрического комплекса диапазона 30 ГГц — MAPS-3 [19, 20].

### 2. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Эксперименты по анизотропии реликтового излучения относятся к наиболее трудным в наблюдательной радиоастрономии. Мы поясним некоторые методы, используемые ведущими группами в этой области, которые позволяют получить оценки анизотропии до нескольких  $\mu\text{K}$  статистической обработкой. Целью основных экспериментов является

сравнение теоретических моделей с наблюдениями. Теория пока не в состоянии предсказывать карты реликтового фона и дает только корреляционные свойства флуктуаций фонового излучения неба ( $C_l$ ). Это дает возможность ограничиться статистической оценкой анизотропии реликтового излучения, что позволяет при правильно поставленном эксперименте получать значимые результаты при чувствительности на элемент разрешения в получаемых картах неба значительно ниже анизотропии фона ( $T_b$ ). Практически все астрофизические результаты сегодня основаны на этой информации. Чем больше область обзора, тем точнее определяется искомая дисперсия.

Чувствительность каждого элемента матрицы MAPS-3 составляет около 5 мК при  $\tau = RC = 1$  с (это соответствует  $\sigma = 10$  мК в полосе 0–1 Гц). Для достижения предельной чувствительности необходимо реализовать все возможности многоэлементной матрицы ( $N_{\text{receivers}} \gg 1$ ) и использовать максимально большое время интегрирования ( $N_{\text{days}} \gg 1$ ).

Область обзора должна быть с достаточно большим числом элементов исследуемого масштаба, чтобы статистическая погрешность (Cosmic variance) была не более флуктуационной чувствительности.

Наземные наблюдения отягощены не только фоном атмосферы, но и (в первую очередь) вариациями этого фона в поле зрения радиотелескопа. Радиотелескоп фильтрует часть этого шума [21]. Остаточный шум все равно часто намного превышает шум радиометра [7, 9]. Здесь мы отметим, что анизотропия интенсивности реликтового фона на масштабах, подверженных влиянию атмосферы, в настоящей статье пока не обсуждается. Это ограничивает нас масштабами, недоступными WMAP и эксперименту Planck.

Одной из центральных задач проекта “Генетический код Вселенной” является исследование поляризации фонового излучения Вселенной. Ожидаемые сигналы малы, и требуется предельно тщательное выравнивание свойств каналов, регистрирующих сигналы в ортогональных поляризациях. Мы практически решили эту проблему с помощью независимой регистрации сигнала в одном и другом полупериоде модуляции [20], используя сильный неполяризованный фон атмосферы для выравнивания свойств каналов в ортогональных поляризациях. Этот метод освоен полностью и позволяет реализовать чувствительность радиометров при поляризационных наблюдениях, по крайней мере, на всех угловых масштабах менее  $1^\circ$ . Кроме того, он полностью устраняет как вариации шумов атмосферы, так и вариации усиления в радиометрах (они тождественны в ортогональных поляризациях на масштабах модуляции).

Измерения в режиме полной мощности показывают, что на временных масштабах от нуля до нескольких секунд времени доминирует белый шум радиометров, на больших масштабах, как правило, доминирует шум, связанный с вариациями вида  $1/f$  радиометра, а на самых больших масштабах — шум вариаций атмосферного излучения.

### 3. НАБЛЮДЕНИЯ

РАТАН-600 позволяет проводить наблюдения в различных вариантах. Наблюдения с перископом позволяют охватывать больший интервал склонений в суточных разрезах неба, чем при наблюдениях без перископа на высоких углах места. Однако, оптимальным вариантом является Северный сектор вблизи местного Зенита. Этот вариант позволяет использовать очень большое безабберрационное поле зрения и, следовательно, применять большие фокальные матрицы. Обсуждавшийся при экспертизе проекта Западный сектор также позволяет применять большие фокальные матрицы, однако, в этом случае матрица расширяет поле зрения по склонению пропорционально числу элементов матрицы, но не может использоваться для повышения чувствительности на элемент разрешения. Эффективный телесный угол диаграммы направленности РАТАН-600 приблизительно в восемь раз меньше на Северном секторе в Зените, чем на Южном секторе с перископом. Это уменьшает и шум фоновых источников, который является основным на многих каналах эксперимента Planck.

Оказалось полезным регистрировать сигналы отдельно от каждого СВЧ-входа (от каждой поляризации). Новый вариант системы сбора данных [22] позволяет это делать, сохраняя возможность использовать режим сканирования, как в интенсивности, так и в поляризации. Пока проект ограничивается накоплением данных в интенсивности и в одном параметре Стокса  $Q$ , принимая достаточно очевидную гипотезу о равенстве на больших  $l$  реликтового шума в  $Q$  и  $U$  параметрах Стокса. Как и на всех радиотелескопах, имеет место инструментальная поляризация антенны (Земля, СВЧ-тракты и прочие). Опыт наблюдений (и теория) показывают, что поляризация собственного излучения Земли может достигать нескольких градусов антенной температуры, но доминирует горизонтальная поляризация. Поэтому мы выбрали для исследования поляризации параметр  $Q$ , разность сигналов с позиционными углами  $+45^\circ$  и  $-45^\circ$  относительно вертикали. Это практически полностью снимает проблему поляризации Земли. Инструментальные эффекты в радиометрах уменьшены более чем на порядок, используя неполяризованную атмосферу как опорный сигнал. Выравнивая сигнал от атмосферы в плоскостях

**Таблица 1.** Статистика имеющихся данных: количество часовых наблюдений на первом этапе накопления

RA, h	Declination, deg																
	40.7	40.8	40.9	41.0	41.1	41.2	41.3	41.4	41.5	41.6	41.7	41.8	41.9	42.0	42.1	42.2	42.3
00	7	25	23	21	26	23	19	44	90	41	27	27	22	22	23	20	16
01	7	24	22	21	26	23	20	44	90	43	28	27	25	25	23	19	16
02	7	25	22	23	26	22	22	43	92	42	28	26	25	25	24	19	16
03	6	27	23	22	26	22	14	41	61	43	26	25	25	25	24	20	19
04	6	27	22	22	25	23	14	42	79	42	26	26	25	23	23	19	19
05	5	26	21	23	25	22	14	21	76	30	26	26	25	25	22	20	19
06	3	25	19	22	23	22	15	41	81	42	26	26	24	26	25	20	19
07	4	25	19	23	23	23	14	41	81	42	26	22	24	27	25	20	19
08	4	26	21	22	23	21	15	44	85	42	26	21	24	23	25	20	19
09	4	26	21	23	23	23	15	43	79	44	25	21	25	23	24	18	19
10	4	28	21	21	23	23	16	43	87	45	24	21	25	22	24	18	18
11	3	25	20	23	21	24	16	43	87	44	22	21	25	23	24	18	18
12	3	26	20	23	23	23	16	42	78	40	23	22	21	24	25	18	19
13	4	28	22	23	24	23	16	42	80	42	24	21	25	23	24	18	19
14	4	28	22	23	25	19	16	43	78	40	21	21	24	23	25	17	19
15	4	28	23	23	26	24	17	43	77	39	22	24	24	25	26	17	18
16	4	26	23	22	25	24	15	40	80	41	25	25	25	26	26	17	18
17	4	26	23	23	25	23	15	38	79	40	22	25	25	26	26	18	17
18	5	26	24	23	25	23	13	39	75	38	21	24	23	25	26	18	16
19	6	25	23	22	25	23	13	17	78	29	24	24	24	24	25	18	15
20	6	19	22	22	22	21	12	17	67	28	23	25	23	22	21	19	15
21	6	21	23	23	23	19	13	42	80	40	26	25	24	24	24	19	15
22	7	24	23	22	27	20	13	42	96	39	27	25	20	24	23	20	14
23	7	24	23	22	27	21	13	42	93	39	26	25	24	23	23	20	16

+45° и –45° (что легко сделать, имея независимую регистрацию этих каналов), мы добились резкого снижения всех основных инструментальных вкладов. Заготовлены также сменные входные тракты радиометров для перехода (при необходимости) к параметру Стокса  $U$ .

Интервал склонений, выбранный для наблюдений на МАРС-3, совпадает с выбранным для многочастотных наблюдений, где поле зрения обзора было оптимизировано между шумом радиометров и шумом “cosmic variance” (статистический шум,

связанный с конечным числом элементов разрешения).

#### 4. ПОДГОТОВКА НАБЛЮДЕНИЙ

В начале цикла наблюдений по программе “Генетический код Вселенной” было обследовано качество поверхности вторичного зеркала облучателя тип 2. По геодезическим измерениям точность центральной части зеркала облучателя оказалась около 0.3 мм (СКО), без учета верхнего ряда элементов.

При подготовке антенны к обзору на длине волны 1 см выполнялась автоматическая автоколлимационная (АК) юстировка Северного сектора радиотелескопа на волне 8 мм [23].

Кроме самой юстировки в рамках подготовки коротковолновых наблюдений на облучателе тип 2 проведен поиск фазового центра фокусирующей системы по максимуму АК фокального пятна во всем фокальном объеме вторичного зеркала. Продольный АК фокус системы находился смещением облучателя вдоль рельсов, а также уточнялось положение горизонта вторичного зеркала. Уровень первых боковых лепестков отклика АК фокального пятна составил порядка 2–3% от максимума сигнала на длине волны 8 мм (в ночное время).

Следующим этапом была привязка антенны и матрицы радиометров МАРС-3 по небу. Для этого проводился ряд наблюдений яркого источника 3С84. В результате этих работ боковые лепестки сформированной диаграммы направленности радиотелескопа на высоте наблюдений (примерно 88°) составили около 5%, куда дополнительно вошли угломестные и прочие ошибки установки антенны.

## 5. ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ

В марте 2012 г. завершен первый этап накопления данных глубокого обзора неба в области  $0^h < RA < 24^h$ ,  $40^\circ 5' < Dec < 42^\circ 5'$  с применением новой фокальной 32-элементной матрицы на предельной частоте радиотелескопа 30 ГГц в рамках программы “Генетический код Вселенной.”

С 2009 г. проведено пять циклов наблюдений продолжительностью 2–4 месяца каждый. Сечения по склонению проводились через 6', с центральным сечением, проходящим через радиосточник 3С84. Расстояние между сечениями больше, чем полуширина диаграммы направленности по склонению, но меньше, чем полная ширина диаграммы по склонению, определяемая размером панелей отражающей поверхности РАТАН-600.

Это позволяет отдельно обработать области на высоких галактических широтах ( $75^\circ$ ) и на низких (Млечный путь пересекается 2 раза). В Таблице 1 представлена итоговая статистика по первому этапу накопления данных.

Эта статистика позволяет оценить возможность более глубокой обработки для области основных сахаровских осцилляций и для метода Брейсуэлла 2D FFT [24] через “стрип-интегрирование.”

При проведении наблюдений около 15% данных теряется по различным причинам (атмосферные осадки, технические и другие причины). Остальные записи имеют удовлетворительное качество для исследования малых угловых масштабов ( $l > 1000$ ).

При предварительной селекции полученных данных еще около 15% записей исключены из рассмотрения (на всех масштабах), в основном из-за погоды. Практически все остальные записи удовлетворительны для исследования малых угловых масштабов ( $l > 1000$ ). Для более крупных масштабов необходима тщательная селекция записей, достаточно свободных от атмосферного шума и других помех. Некоторые опробованные нами ранее методы можно найти в [7, 9]. Массив данных, пригодных к дальнейшей обработке, как правило, на треть подвержен атмосферному влиянию.

Калибровка каналов по неполяризованному излучению атмосферы позволяет получить данные удовлетворительного качества по поляризации фонового излучения неба даже в очень плохих погодных условиях.

Аномальный низкочастотный шум практически отсутствует в поляризационных наблюдениях, где исчезает шум атмосферы и шум от нестабильности коэффициента усиления (см. рисунок).

## 6. АНАЛИЗ ДАННЫХ И ПЕРВИЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные 2009 г. по центральному RZF-сечению (2740 часовых записей) пока использованы для оценки некоторых параметров фонового излучения Вселенной.

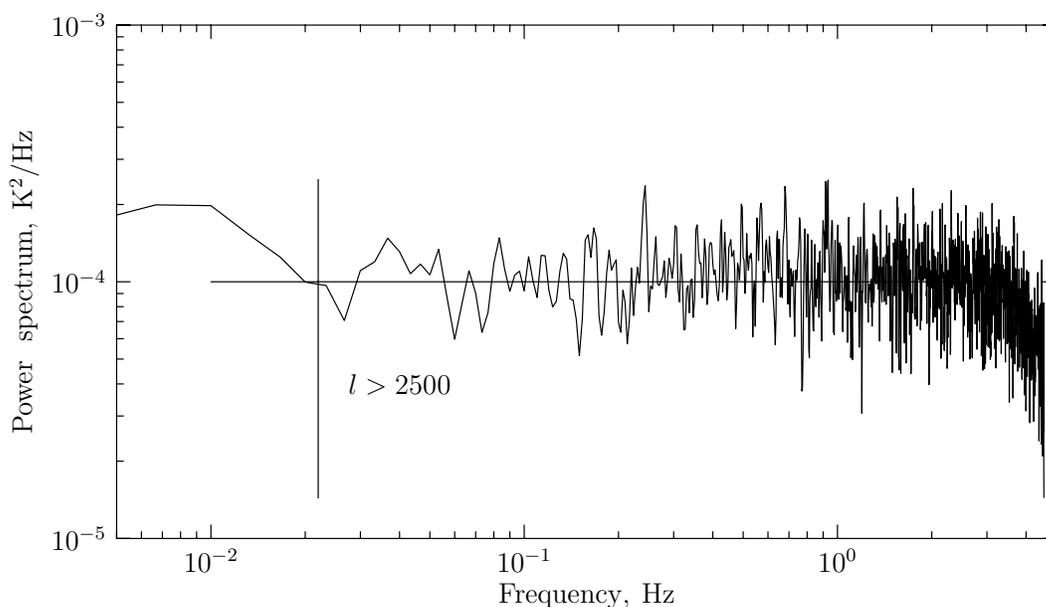
Достигнутое время накопления за один месяц на элемент углового разрешения ( $5''.5$ ) составляет 15 с времени на 1 канал, или 480 с на все каналы. Чувствительность в режиме полной мощности (когда раздельно регистрируются полупериоды модуляции модуляционного радиометра) для одного канала равна 5 мК при 1 с времени интегрирования идеальным интегратором. Для месячного цикла наблюдений получаем результирующее СКО (среднеквадратичное отклонение), равное  $5/\sqrt{480} \approx 0.23$  мК, что составляет около 2.3 мЮ для точечных радиосточников при площади радиотелескопа в период наблюдений около 300 м<sup>2</sup>.

Для масштабов SZ-шума (примерно 1') время накопления с матрицей за месяц составило 5232 с (примерно 1.5 часа).

Для масштабов, характерных для поляризации реликтового излучения ( $l = 1000, 10'8$ ) время накопления на такой элемент разрешения составило 56 553 с (примерно 15.7 часов).

Для масштабов, доступных WMAP на волне 1 см ( $l = 500$ ) накопленное время вдвое больше (113 105 с, или примерно 31.4 часов).

Для первого доплеровского пика оно еще больше, 282 764 с, или примерно 3.27 дня, на элемент разрешения.



Пример отсутствия аномального низкочастотного шума (параметр Стокса  $Q$ ).

Большое время накопления позволяет приблизить чувствительность эксперимента на РАТАН-600 к опубликованным данным по анизотропии реликтового фона, а высокое разрешение и большая собирающая площадь дает возможность уточнить роль дискретных радиоисточников и отделить их от образований, связанных с SZ-шумом и “струнами,” и провести поисковые наблюдения в неисследованной области  $l \gg 1000$ .

В соответствии с международной практикой, для статистических оценок шума неба используется не пиксельная чувствительность, а корреляционные свойства шума. Это позволяет выделять сигналы с отношением  $S/N$  существенно менее 1 при большом числе пикселей в поле зрения.

## 7. ШУМЫ НЕБА В ОБЛАСТИ МАСШТАБОВ, НЕДОСТУПНЫХ WMAP И ЭКСПЕРИМЕНТУ PLANCK

Анализ шумов в области  $3000 < l < 5000$  в цикле наблюдений 2009 г. пока проведен для центрального сечения RZF-обзора в режиме полной мощности. Полиномы Лежандра с указанными номерами гармоник соответствуют угловым масштабам в интервале  $2'2''-3'6''$ , которые проходят через диаграмму РАТАН-600 за 12–20 с. В этой области временных масштабов получено достаточно большое время накопления, около 17 500 с (примерно 5 часов) на пиксель, а аномальный шум радиометров полной мощности ( $1/f$ ) и шум атмосферы не слишком ухудшают чувствительность по сравнению с “белым шумом.”

Дисперсия полусуммы двух независимых групп наблюдений оказалась близкой к дисперсии их полуразности, что говорит о малости сигнала, общего для двух групп. Формально для шума, выраженного в единицах антенной температуры, мы получили:

$$\sigma_{(I+II)/2} = 55.76 \mu\text{K},$$

$$\sigma_{(I-II)/2} = 55.49 \mu\text{K}.$$

Отсюда можно оценить ограничения на общий в двух группах сигнал. Сигнал (среднеквадратичное отклонение, СКО) в интервале  $3000 < l < 5000$  формально равен:

$$\sigma = 5.4 \mu\text{K} (+4 \mu\text{K} / -5 \mu\text{K}). \quad (1)$$

Это меньше, чем сигнал в эксперименте СВІ для этих масштабов в несколько раз (приблизительно  $27 \mu\text{K}$ ), и меньше, чем в эксперименте ВІМА ( $22 \mu\text{K}$ ) [25] (рабочие частоты этих экспериментов близки к диапазону МАРС-3). СКО по антенной температуре меньше, чем СКО по яркостной по ряду причин, и различие на масштабах с  $l = 3000$  достигает 50%. С другой стороны, на этих масштабах наряду с обсуждаемым многими SZ-шумом [25, 26] появляется шум от дискретных радиоисточников и шум “гравитационного линзирования” [26]. Для разделения всех эффектов нужны специальные исследования.

## 8. ШУМЫ НА МАСШТАБАХ ДИАГРАММЫ РАТАН-600

Эти масштабы в  $l$ -пространстве соответствуют временным интервалам от 0.3 до 2 с. Обычно

**Таблица 2.** Статистика обнаруженных деталей. Здесь Expected — ожидаемое число радиисточников по исследованию NVSS-популяции на коротких волнах; Obs — наблюдаемое число объектов; Noise — ожидаемое число деталей для белого шума с реализованной чувствительностью;  $T_a$  — антенная температура обнаруженных деталей

$S/N$	Число объектов			$T_a$ , мК	Пиковая плотность потока, мJy
	Obs	Expected	Noise		
>3	120	5	128	1.5	15
>4	6	4	4	2	20
>5	2	3	0	2.5	25

предполагается, что на этих масштабах к шумам радиометров добавляется некоторый шум от фоновых радиисточников.

В полное поле зрения РАТАН-600 по склонению на волне 1 см входит вертикальная диаграмма одного элемента основной поверхности. Это составляет около  $6'$  по уровню “нулевой мощности.” В суточном разрезе неба в это поле попадают тысячи источников NVSS- и FIRST-каталогов. Однако можно надеяться, что объекты с инверсными спектрами будут видны в RZF-обзоре на длине волны 1 см.

Проведена оценка числа пикселей на среднемесячном разрезе неба, где сигнал на выходе радиотелескопа ощутимо превосходит дисперсию шума. В Таблице 2 приводятся результаты для 180 000 пикселей размером HPBW.

Мы приняли область обзора в центральном сечении примерно  $3^\circ$ . Это скорее нижний предел области неба, определяемый полушириной диаграммы по половинной мощности по склонению ( $0.5$ ). Реально чувствительность радиотелескопа не нулевая в диаграмме элемента отражающей поверхности ( $6'$ ). К сожалению, на столь коротких волнах не проводилось ни одного “слепого” обзора неба, кроме очень грубого обзора WMAP и глубоких обзоров очень малых областей неба на VLA. Малая область обзора неба на центральном сечении позволяет пока утверждать, что число радиисточников с инверсными спектрами, как в NVSS-каталоге, так и не попавших в него, не велико. Это не противоречит данным работы [27] (1% объектов с инверсными спектрами). По завершению всего RZF-обзора (16 сечений по склонению) можно увереннее оценить их число.

На уровне меньше  $4\sigma$  можно провести статистическую оценку шума от дискретных радиисточников, используя стандартные методы корреляционного анализа. Одновременно структура

функции корреляции между массивами (и автокорреляции) позволяет разделить разные источники шума (шумы в дальней зоне радиотелескопа, шумы атмосферы в апертуре РАТАН-600,  $\delta$  — коррелированные шумы радиометра). Эффективность корреляционного метода зависит от размера массива. Погрешности в коэффициенте корреляции, как известно, порядка  $1/N^{1/2}$ , где  $N$  — число независимых элементов в массиве. Для одного центрального сечения максимальное  $N$  близко к числу диаграмм в сечении ( $24 \times 3600/0.5 \approx 17\,300$ ) и около 2 765 000 для всего RZF-обзора, так что планируемый выигрыш в отношении сигнал/шум составит  $\sqrt{2\,765\,000} \approx 1663$ .

Все данные по центральному сечению (около 3400 однорупорных суточных массивов) были разбиты на две группы, дисперсии их полусуммы и полуразности приведены ниже в градусах антенной температуры вместе с погрешностями определения дисперсий.

Анализ полученного по центральному сечению массива показал наличие слабого, коррелированного в двух независимых группах сигнала, несколько большего, чем ожидаемый при моделировании шума фоновых источников со средним двухчастотным (1.4–30 ГГц) спектральным индексом  $0.8 (S_\nu \approx \nu^\alpha)$ . Попытка согласовать реально наблюдаемый шум с модельным потребовала уменьшить их спектральный индекс до 0.6–0.7.

Общее число NVSS-источников во всей области обзора ( $40^\circ 5' < \text{Dec} < 42^\circ 5'$ ) более 32 000, что с учетом площади обзоров примерно равной  $300^\circ$  дает порядка 100 источников на  $1^\circ$ , или 1 источник с инверсным спектром. Тогда ожидаемое число только NVSS-источников со стандартными спектрами (0.8) составляет около пяти для площадки размером около  $0^\circ 017 \times 300^\circ$  ( $5^\circ$ ).

## 9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы привели предварительные результаты наблюдений на матричном радиометрическом комплексе MAPS-3. Уже накопленные данные позволили получить чувствительность по белому шуму, вполне сопоставимую с достигнутой в эксперименте WMAP по деталям того же углового размера.

Как и ожидалось, шум радиометра все равно доминирует над шумом ожидаемых сигналов, и в таких случаях оказывается эффективной корреляционная методика оценки статистических свойств сигнала за счет большого числа элементов исследуемого размера. Мы считаем, что эта методика будет полезной и при завершении всех планируемых работ по проекту РАН “Генетический код Вселенной.”

Одновременно выявлены и основные источники шумов, препятствующие реализации чувствительности по белому шуму. Это, прежде всего, шум атмосферы, резко растущий с ростом размера исследуемых деталей, и аномальный шум радиометров, который виден и на меньших масштабах. Шум атмосферы одинаков на всех каналах матрицы, поэтому не осредняется при суммировании данных по всем каналам. Шум радиометров независим в каналах и осредняется как корень из числа каналов.

При исследовании очень мелких масштабов остается только белый шум радиометров. Это позволило сделать независимые оценки для полиномов Лежандра с  $l \gg 1000$ , и для оценки роли дискретных радиоисточников в режиме близкого сканирования. Показано, что шум неба на масштабах  $3000 < l < 5000$  меньше, чем получено в экспериментах прошлых лет (например, СВІ эксперимент [25]). Шум от дискретных радиоисточников близок к ожидаемому [27] и не предполагает существования обсуждаемой в литературе новой популяции радиоисточников, по крайней мере, на уровне примерно 1 мДж на длине волны 1 см.

Поляризационные наблюдения практически полностью устраняют шум атмосферы и аномальный шум радиометров. Дальнейшее накопление данных позволит получить астрофизически значимые результаты по поляризации на основных масштабах. Достигнутая чувствительность по поляризации близка к ожидаемой на  $l = 1000$  и выше чем шум от мелкомасштабной поляризации Галактики на высоких широтах.

Для продвижения по чувствительности при измерении интенсивности предполагается использовать данные по излучению атмосферы в линии водяного пара [21]. Для этого установлен трехчастотный комплекс радиометров на волны 1.38, 2.7 и 6.2 см рядом с матричным радиометрическим комплексом МАРС-3. Для исследования интенсивности на не слишком больших масштабах устанавливается радиометр на волне 1 см на предельно большом расстоянии от МАРС-3 на фокальной линии вторичного зеркала. Дальнейшая обработка покажет эффективность этих методов. Борьба с аномальным шумом радиометров требует кардинальных методов и пересмотра структуры радиометров (например, по типу эксперимента Planck [26]).

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи выражают благодарность службе эксплуатации и группе АСУ радиотелескопа РАТАН-600 за обеспечение длительных наблюдений на РАТАН-600 с высокой чувствительностью. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных

исследований (гранты 11-02-12036-офи-м-2011, 11-02-00489-а) и Министерства образования и науки Российской Федерации (государственные контракты 14.518.11.7054, 16.518.11.7062 и 16.552.11.7028).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.spbf.sao.ru/CG/>.
2. Yu. N. Parijskij, *Astronom. and Astrophys. Trans.* **19**, 265 (2000).
3. N. N. Bursov, Yu. N. Pariiskii, E. K. Maiorova, et al., *Astron. Rep.* **51**, 197 (2007).
4. N. N. Bursov, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (SAO RAS, Nizhnii Arkhyz, 2003).
5. T. A. Semenova, N. N. Bursov, and Yu. N. Pariiskii, *Astron. Rep.* **51**, 257 (2007).
6. T. A. Semenova, Yu. N. Pariiskii, and N. N. Bursov, *Astron. Rep.* **53**, 1 (2009).
7. T. A. Semenova, Yu. N. Parijskij, and P. G. Tsybulev, *Astrophysical Bulletin* **64**, 191 (2009).
8. T. A. Semenova, N. N. Bursov, and Yu. N. Parijskij, *Astrophysical Bulletin* **64**, 270 (2009).
9. T. A. Semenova, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (SAO RAS, Nizhnii Arkhyz, 2009).
10. P. G. Tsybulev, A. B. Berlin, N. A. Nizhel'skij, et al., *Astrophysical Bulletin* **62**, 193 (2007).
11. V. A. Stolyarov, Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, et al., *Astrophysical Bulletin* **67**, 29 (2012).
12. D. Baumann, M. G. Jackson, P. Adshead, et al., *arXiv:astro-ph/0811.3919v1* (2008).
13. A. H. Guth, *Phys. Rev. D* **23**, 347 (1981).
14. A. D. Linde, *Phys. Lett. B* **108**, 389 (1982).
15. A. Albrecht and P. J. Steinhardt, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1220 (1982).
16. A. D. Linde, *Phys. Lett. B* **129**, 177 (1983).
17. A. A. Starobinsky, *Phys. Lett. B* **91**, 99 (1980).
18. A. A. Starobinsky, *JETP Lett.* **30**, 682 (1979).
19. A. B. Berlin, G. M. Timofeyeva, N. A. Nizhelsky, et al., *Astronom. and Astrophys. Trans.* **19**, 559 (2000).
20. A. B. Berlin, Yu. N. Parijskij, N. A. Nizhelskij, et al., *Astrophysical Bulletin* **67**, 340 (2012).
21. Н. А. Есепкина, Д. В. Корольков, Ю. Н. Парийский, *Радиотелескопы и радиометры* (Наука, Москва, 1973).
22. P. G. Tsybulev, *Astrophysical Bulletin* **66**, 109 (2011).
23. В. Б. Хайкин, Н. Н. Бурсов, Д. М. Караваяев и др., в *"Тезисы докладов ВАК-2010"* (Нижний Архыз, 2010), с. 35.
24. J. L. Pawsey and R. N. Bracewell, *Radio Astronomy* (Clarendon Press, Oxford, 1955; Изд. иностр. лит., Moscow, 1958).
25. A. Cooray, A. Melchiorri, *Physical Review D* **66** 083001, (2002).
26. [http://www.rssd.esa.int/SA/PLANCK/docs/Bluebook-ESA-SCI\(2005\)1\\_V2.pdf](http://www.rssd.esa.int/SA/PLANCK/docs/Bluebook-ESA-SCI(2005)1_V2.pdf).
27. B. S. Mason, T. J. Pearson, A. C. S. Readhead, et al., *Astrophys. J.* **591**, 540 (2003).

## Circumzenithal Sky Region Survey at the Frequency of 30 GHz with the 32-Element Radiometer Matrix of the RATAN-600

Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, A. B. Berlin, M. G. Mingaliev, N. A. Nizhel'skii, V. A. Stolyarov, P. G. Tsybulev, T. A. Semenova, V. B. Khaikin, A. A. Grechkin

We report the preliminary results of a deep sky survey in the field of  $00^{\text{h}} < \text{RA} < 24^{\text{h}}$ ,  $40^{\circ}5 < \text{Dec} < 42^{\circ}5$  with the RATAN-600 and its new focal 32-feed receiver matrix at the limiting radio frequency of 30 GHz, with the resolution up to  $5''$  in right ascension and  $30''$  in declination. The first results, including new estimates of the anisotropy of background radiation at the scales of ( $l > 3000$ ) and noise from discrete radio sources in the wavelength range between the NVSS and IRAS catalogs are listed.

Keywords: *cosmology: cosmic background radiation*