

УДК 524.7-77

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИГАНТСКИХ РАДИОГАЛАКТИК НА СФЕРЕ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

© 2017 Д. И. Соловьев^{1*}, О. В. Верходанов^{2**}

¹Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН, Санкт-Петербург, 196140 Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 10 мая 2017 года; принята в печать 3 июля 2017 года

Предложена методика и построена модель распределения радиогалактик на сфере с использованием данных каталогов WENSS и стандартных моделей подсчетов радиоисточников Кондона. Рассчитан угловой спектр мощности вклада протяженных радиогалактик в микроволновой фон и показано, что он может являться искажающим фактором для корректной оценки углового спектра от сигнала, обусловленного эффектом Сюняева–Зельдовича.

Ключевые слова: галактики: гигантские — радиоконтинуум: галактики — субмиллиметры: галактики

1. ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование и развитие методов моделирования эксперимента, сопровождающих получение новых данных в астрономических наблюдениях с высокой чувствительностью, неизбежно приводит к стандартизации подходов к такому моделированию. Среди используемых решений последнего времени — моделирование распределения космического микроволнового фона (Cosmic Microwave Background — СМВ) на полной сфере по угловому спектру мощности, который определяется физическими свойствами ранней Вселенной, описываемой космологическими параметрами. Такие подходы активно применяются в современных наблюдательных экспериментах [1, 2]. Процедура моделирования СМВ является одной из основных в современных пакетах анализа протяженного излучения [3, 4]. Кроме того, имеются стандартные шаблоны фоновых компонент протяженного излучения нашей Галактики в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах [5, 6], а также каталоги точечных объектов с микроволновым излучением [7]. Эти данные позволяют моделировать эксперимент на высоких радиочастотах и выделять другие компоненты излучения, например, от скоплений галактик по эффекту Сюняева–Зельдовича [8] или сигнал, связанный с распределением линзирующего потенциала, восстановленного по данным СМВ [9].

Существенным искажающим фактором при восстановлении распределения излучения на высоких гармониках ($\ell > 2000$) в процедуре разделения компонент является вклад протяженных радиоисточников. Он смешивается с наиболее запутанной фоновой компонентой на мелких масштабах — излучением от скоплений галактик, определяемым эффектом Сюняева–Зельдовича [8, 10]. Путаница происходит из-за наложения излучения радиогало скоплений галактик на область с СЗ-эффектом, а также дополнительного вклада собственного микроволнового излучения других галактик, содержащихся в скоплении. Наиболее деформирующим фактором при определении вклада СЗ-эффекта на данных масштабах в распределении фонового излучения может оказаться радиоизлучение гигантских радиогалактик (ГРГ) с линейными размерами > 1 Мпк и угловыми размерами $\theta > 4'$ [11–13], если они присутствуют в скоплении. Большинство известных объектов этой популяции является сравнительно близкими ($z < 0.7$) радиоисточниками. Отметим, что предварительные оценки числа объектов морфологического типа ГРГ показали, что их количество может быть больше 1000, и это сравнимо с зарегистрированным числом СЗ-объектов [11]. Кроме того, с учетом крутизны среднего радиоспектра ГРГ, дающего потоки микроволнового излучения на уровне чувствительности Planck, и факта, что угловой размер объектов сравним, с одной стороны, с диаграммой направленности обсерватории Planck, а с другой

*E-mail: drukhi@ya.ru

**E-mail: vo@sao.ru

стороны — с медианным угловым размером скоплений галактик, ожидавшимся при наблюдениях этой же миссии, появился интерес оценить их вклад в этот спектр. К тому же, ожидается [13], что энергичные электроны протяженных компонентов ГРГ при взаимодействии с СМВ дают добавочный вклад в СЗ-эффект, сравнимый по размерам с СЗ-эффектом на скоплениях и вносящий дополнительную путаницу при моделировании фоновых компонент в микроволновом диапазоне. Это все вызывает интерес к моделированию компонент и обобщению модели для всех возможных протяженных источников (за исключением диффузного излучения нашей Галактики).

Для анализа вклада протяженных источников была разработана и реализована процедура моделирования распределения протяженных источников на полной сфере с возможностью вывода ограниченных площадок неба в рамках пакета GLESP¹ [4, 14]. Входной набор данных для построения случайного распределения на небе задается в виде логарифмической дифференциальной кривой « $\lg N - \lg S$ » («логарифм числа источников — логарифм плотности потока»).

В работе использован пакет GLESP [4, 14, 36] для анализа протяженного излучения на сфере. При селекции радиоисточников применялась база данных радиоастрономических каталогов CATS [41, 42].

2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

Для моделирования распределения протяженных источников на небесной сфере было использовано несколько наборов входных данных:

- распределение радиоисточников по плотностям потоков: кривая « $\lg N - \lg S$ » [15];
- распределение протяженных источников по размерам, морфологическим признакам и позиционным углам на основе списка каталогизированных протяженных источников обзора WENSS [16];
- распределения по спектральным индексам для гигантских радиоагалактик по данным PATAH-600 и других радиотелескопов [17–19], применяемые для калибровки модели;
- данные о среднем отклике в микроволновом диапазоне длин волн для радиогалактик разных классов и калибровочные зависимости перехода от плотностей потока к термодинамическим температурам [20–24].

¹Пикселизация GLESP — Gauss Legendre Sky Pixelization, <http://www.glesp.nbi.dk>

2.1. Морфология радиоисточников

Для исследования распределения параметров протяженных источников мы использовали каталог обзора северного неба на Вестерборкском радиотелескопе (The Westerbork Northern Sky Survey — WENSS) в Нидерландах. Обзор WENSS [16] проведен на частоте 325 МГц и имеет предельный поток на уровне около 18 мЯн (примерно 5σ) с разрешением $54'' \times 54'' \operatorname{cosec}(\delta)$, где δ — склонение. Он покрывает северную часть неба выше 29° по склонению. Одной из важных для нас особенностей построения каталога WENSS является маркирование всех протяженных источников, которое позволило голландской группе подготовить новые списки гигантских радиогалактик (см., например, [25, 26]).

Для построения распределения по морфологическим признакам мы использовали упрощенную классификацию по Фонареву—Райли [27], представив двойные радиоисточники как тип FR II, а протяженные однокомпонентные источники как тип FR I. Такого типа объекты описывались как гауссиана с убывающей от центра радиояркостью. Общее число использованных протяженных источников из WENSS с определенными осями и позиционным углом составляет 24 828 одиночных и 10 586 двойных. В WENSS присутствует также некоторое количество многокомпонентных источников (с числом компонент больше двух), однако они не рассматривались ввиду их малого числа и существенного усложнения модели в этом случае. С применением параметров, моделирующих структуру реального распределения яркости радиоисточника каталога WENSS, были построены следующие распределения:

- величин больших и малых осей источников обоих типов (рис. 1 и 2);
- отношения большой и малой осей источника (рис. 3);
- зависимости между осями компонент двойного источника (рис. 4);
- расстояния между компонентами двойного источника (рис. 5);
- расстояния между компонентами и размера большой оси (рис. 6).

В простейшем случае применяется случайное равномерное распределение положения объектов на небе в сферической системе координат, хотя имеется возможность задавать положение согласно пуассоновскому распределению. Каждому объекту присваивается пара значений (долгота и широта), соответствующих экваториальным координатам. Строго говоря, в модели отсутствует зависимость других параметров от координат, поэтому

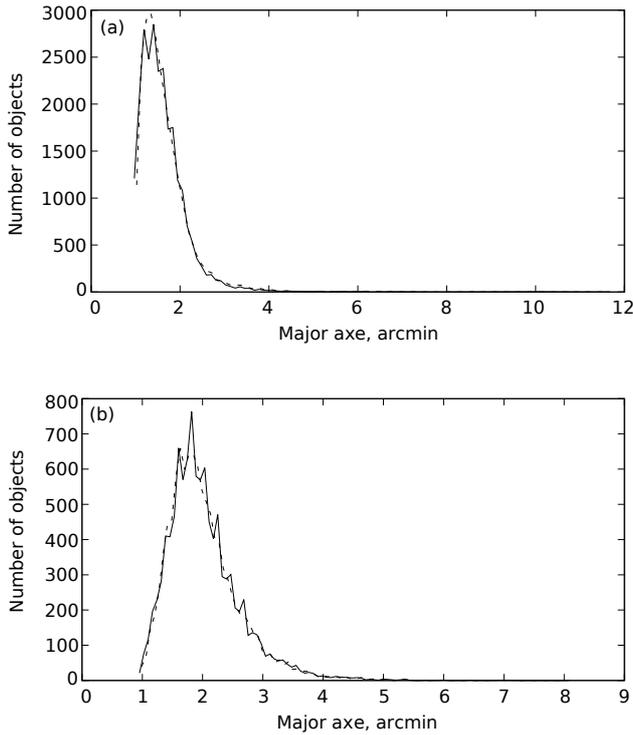


Рис. 1. Дифференциальные распределения размера большой оси для одиночных и двойных источников из каталога WENSS — (a) и (b) соответственно. Сплошной линией обозначены данные WENSS, штриховая соответствует модельным данным.

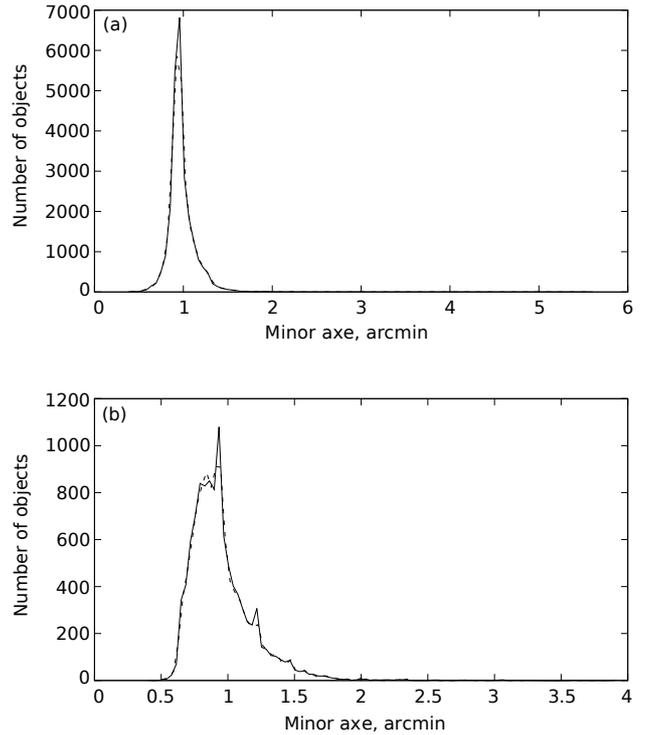


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для размера малой оси; обозначения те же.

отождествление модельных сферических координат с экваториальными носит условный характер. Далее при создании протяженной структуры источника эти координаты используются для задания положения его центра.

Рисунок 7 демонстрирует неравномерность распределения в каталогизированных данных WENSS параметра позиционного угла p , определяющего ориентацию источника на сфере. Такое распределение может быть связано с наблюдательными эффектами селекции (например, формой синтезированной диаграммы направленности радиointерферометра и процедурой чистки), поэтому в модели мы генерировали этот параметр в соответствии со случайным равномерным распределением.

Таким образом, для каждого компонента используется свой параметр позиционного угла. С наибольшей частотой встречаются сонаправленные компоненты двойного радиоиcточника. Эта зависимость для объектов из WENSS представлена на рис. 8 и использовалась в модели.

В конечном итоге в модели протяженных источников используется следующий набор параметров:

- координаты RA и Dec;

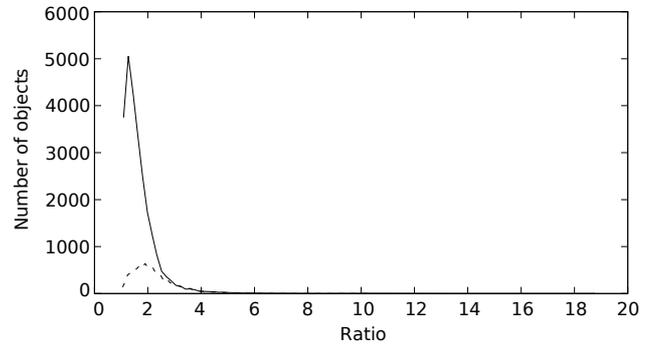


Рис. 3. Дифференциальные распределения отношения больших осей к малым для одиночных и двойных источников из каталога WENSS (сплошная и штриховая линии соответственно).

- интегральная плотность потока F ;
- размер большой оси a ;
- размер малой оси b ;
- позиционный угол ρ os;
- интегральная плотность потока S_i источника.

Последний параметр модели — плотности потока источника — будет описан ниже.

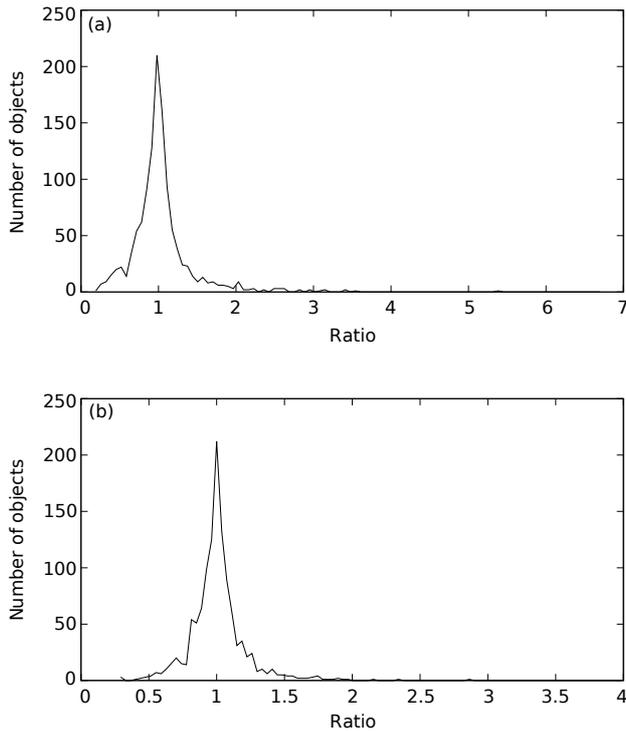


Рис. 4. Дифференциальное распределение отношения больших (а) и малых (б) осей компонентов для двойных источников WENSS.

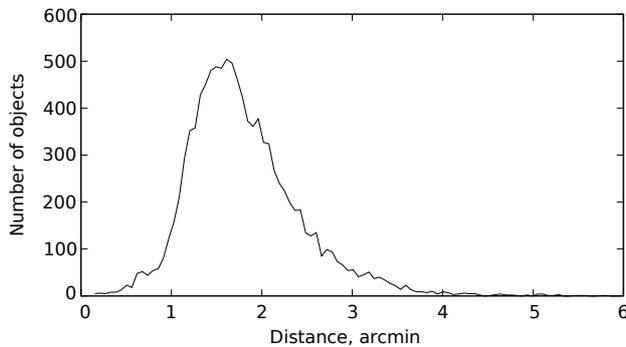


Рис. 5. Дифференциальное распределение расстояния между компонентами двойного источника WENSS.

В случае с одиночными объектами их собственные параметры соответствуют параметрам их единственного компонента. Для двойных источников используются дополнительные параметры расстояния между компонентами r и разности позиционных углов.

При генерации модельных параметров по соответствующим данным WENSS последние представлялись в виде функции плотности вероятности, заданной таблицей значений. Между узлами таблицы использовалась линейная интерполяция. В

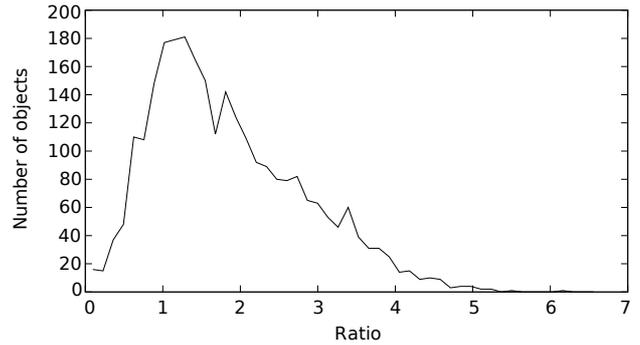


Рис. 6. Дифференциальное распределение отношения расстояния между центрами компонент к полусумме их больших осей. Это соотношение демонстрирует, насколько удалены друг от друга компоненты в масштабах собственного усредненного размера.

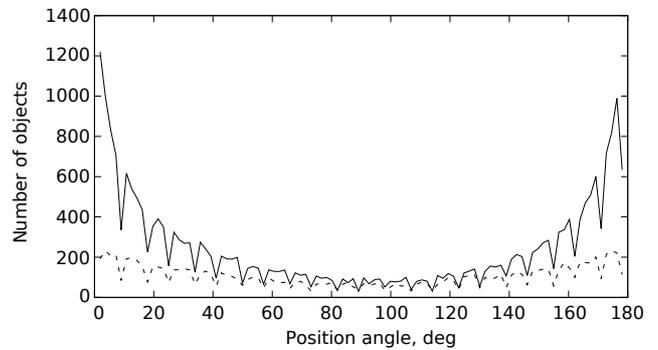


Рис. 7. Дифференциальные распределения позиционного угла (параметр Position Angle) для одиночных (сплошная линия) и двойных (штриховая линия) источников из каталога WENSS, для которых он определен. Налицо явная неоднородность.

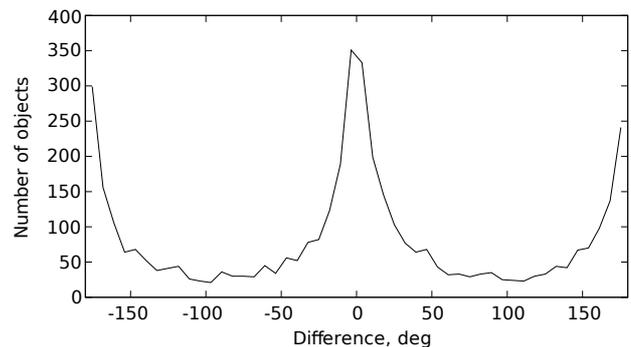


Рис. 8. Разность позиционных углов компонентов, составляющих двойной источник WENSS, выраженная в градусах. Явно выделены величины около 0° , -180° и $+180^\circ$, соответствующие небольшим отклонениям от общего направления.

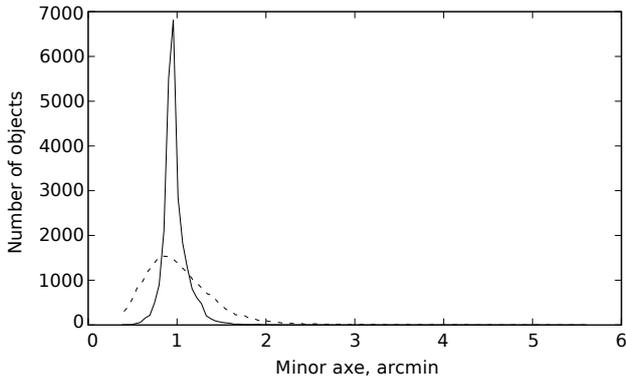


Рис. 9. Дифференциальное распределение параметра малой оси одиночного источника из WENSS (сплошная линия) и модельного (штриховая), если генерировать последний без учета его собственного распределения, а лишь восстанавливать из отношения к большой оси.

заданном промежутке случайным образом генерировалось значение параметра, которое проходило проверку на вероятность своего появления в модели с помощью его подстановки в функцию плотности вероятности. При успешной проверке значение записывалось в модель, в противном случае процедура повторялась. При этом для параметра могли проводиться несколько проверок в соответствии с существующими в модели зависимостями. Например, параметр малой оси компонента b генерировался в соответствии с распределением источников из WENSS по размеру малой оси (рис. 2а) и зависимости от большой оси источника (рис. 3). При генерации параметра малой оси независимо от большой оси, очевидно, нарушалась бы морфология объектов. В случае же восстановления размера малой оси с применением ее взаимозависимости с большой происходит «расползание» значений параметра (рис. 9).

2.2. Плотность потока

Для моделирования распределения по плотности потоков использовалась дифференциальная кривая подсчетов радиоисточников «lg N–lg S» на частоте 1.4 ГГц из работы Кондона [15] с минимальными значениями плотностей потоков на уровне $50 \mu\text{Ян}$. Дифференциальная кривая «lg N–lg S,» определяемая как $n(S)$, где $n(S)dS$ — число радиоисточников в диапазоне плотностей потоков от S до $S + dS$ на заданной длине волны, показывает число источников в соответствующем интервале плотностей потоков в стерадиане. Ее обычно нормируют на коэффициент $S^{5/2}$, пропорциональный дифференциальному числу источников в Евклидо-

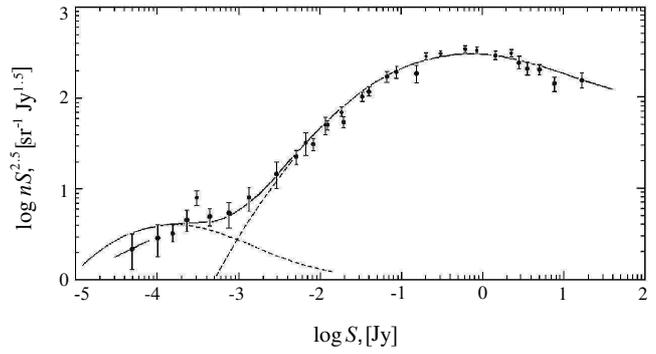


Рис. 10. Нормированная кривая подсчетов радиоисточников на частоте 1.4 ГГц (рис. 1 из работы Кондона [15]). Сплошная кривая представляет наилучшую модельную зависимость с $\Omega_0 = 1$ (плоская Вселенная). Штриховые линии показывают вклад радиоисточников, имеющих функцию светимости спиральных и эллиптических галактик. По абсциссе дана плотность потока, по ординате — логарифм дифференциального подсчета источников, умноженного на $S^{2.5}$. Подсчеты источников S проводились в пределах $30 \mu\text{Ян} \leq S < 60 \text{Ян}$ на частоте 1.4 ГГц.

вой модели [15]:

$$S^{5/2}n(S)dS = \frac{1}{4\pi} \int_0^\infty S^{5/2}\eta(S, z) dz dS,$$

где $\eta(S, z) dS dz$ — полное число источников с плотностями потоков от S до $S + dS$ в диапазоне красных смещений от z до $z + dz$:

$$\eta(S, z) = \frac{cA^2(1+z)^\alpha \rho(L, z)}{H_0(1 + \Omega_0 z)^{1/2}},$$

где $\rho(L, z)$ — функция светимости радиоисточников, $A = 4\pi D^2$ — площадь сферы вокруг источника, содержащей наблюдателя, Ω_0 — параметр относительной плотности Вселенной. Вид кривой показан на рис. 10.

Зависимость «lg N–lg S» демонстрирует эволюционные особенности радиоисточников различных популяций (см., например, описание двойной популяционной объединенной модели радиоисточника [28, 29]). Отметим также, что область плотностей потоков радиоисточников со сравнительно большими красными смещениями лежит в диапазоне от 10 до 100 мЯн для 1400 МГц [30]. Более мощные радиоисточники в основном являются квазарами и радиогалактиками на умеренных и не очень больших красных смещениях ($z < 0.5$). Более слабые радиоисточники (с плотностью потока менее 1 мЯн) связаны с близкими спиральными галактиками со звездообразованием.

Результаты моделирования разброса источников по плотности потока, построенного по данным [15], и вторичных подсчетов показаны на

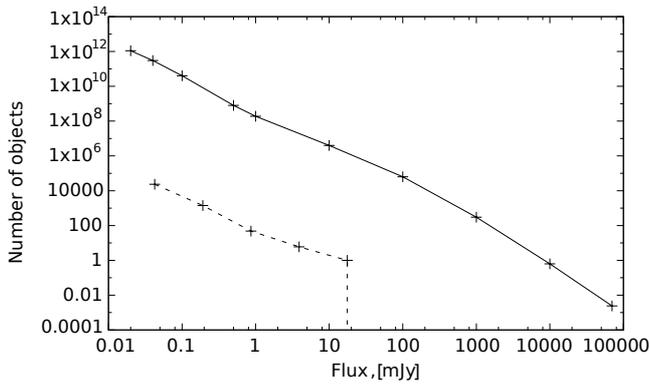


Рис. 11. Дифференциальное распределение потока (в логарифмическом масштабе). Сплошной линией обозначены данные из [15] на частоте 1.4 ГГц, штриховой — модельные. Ввиду ограниченно малого числа источников в модели полностью отсутствует часть распределения, соответствующая наиболее редким.

рис. 11. Алгоритм моделирования распределения подобен описанному выше, используемому для генерирования других параметров модели. Оценки числа объектов при моделировании проводились в логарифмических бинах.

Для пересчета плотности потока с низких частот в микроволновой диапазон использовалась линейная аппроксимация непрерывных радиоспектров галактик со спектральным индексом $\alpha = -0.77$ ($S \sim \nu^\alpha$), полученных по данным радионаблюдений и отождествлений [19, 31, 32]. Надо отметить, что излучение активного ядра галактики может давать дополнительный вклад в микроволновой сигнал. Специальным образом он не учитывался, но верхняя граница потока интегрального излучения ранее была получена по данным осреднения объектов, принадлежащих одной популяции [23]. Интегральный спектр в микроволновом диапазоне оказывается плоским с величиной термодинамической температуры около 10^{-5} К. С учетом размера диаграммы направленности антенны (примерно $5'$) приходится работать с интегральными спектрами, которые и оказываются полезными в данном подходе. Результаты оценки разных методов согласуются. Причем, если даже ядро у каких-либо ГРГ и дает больший, чем оцениваемый, вклад, то этот факт только свидетельствует в пользу вывода о значимости учета ГРГ при изучении спектра мощности в микроволновом диапазоне при сравнении с со спектром мощности, связанным с СЗ-эффектом (см. ниже обсуждение результатов).

3. СПЕКТР МОЩНОСТИ

Используя описанную модель, мы сгенерировали 200 случайных реализаций положений радиосточников с угловым размером $\theta > 4'$. Таких

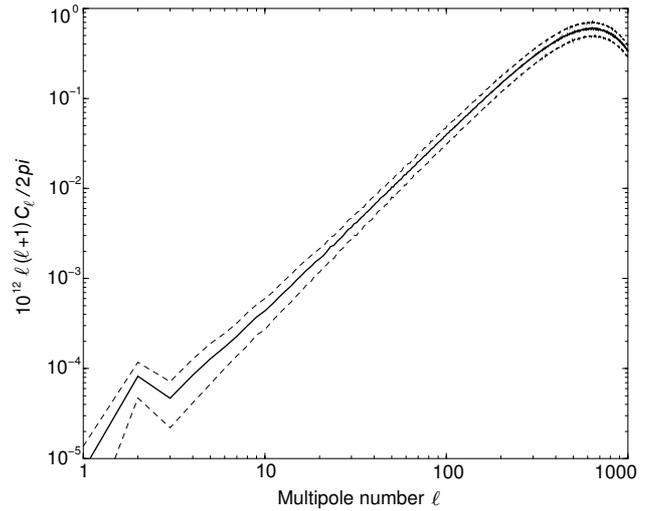


Рис. 12. Угловой спектр мощности $D_\ell = \ell(\ell + 1)C_\ell/2\pi$, сглаженной до $10'$ карты моделированного микроволнового излучения на длине волны 3 мм от протяженных радиосточников с угловым размером $\theta > 4'$. Сплошной линией показан средний спектр, рассчитанный по 200 случайным реализациям положений и форм протяженных радиосточников. Штриховыми линиями отмечены границы разброса на уровне $\pm 1\sigma$ от среднего.

объектов, согласно рассматриваемой модели, 294 (оценка получена по данным распределения; отметим что ошибка ± 5 объектов не внесет существенного искажения в распределение спектра мощности при использовании осреднения по выборке и применении случайного разброса по плотности потока). По данным случайного распределения объектов на сфере мы рассчитали угловой спектр мощности, предварительно сгладив карту гауссианой размером $10'$, соответствующей удвоенному разрешению карт обсерватории Planck. Спектр мощности $D_\ell = \ell(\ell + 1)C_\ell/2\pi$ показан на рис. 12.

Важной особенностью анализа излучения протяженных радиосточников является учет их вклада в распределение вторичной анизотропии микроволнового фона. Излучение радиогалактик, принадлежащих скоплениям галактик, приводит к смешению эффектов излучения в микроволновом диапазоне. Если сравнить угловой спектр мощности от сигнала, обусловленного тепловым эффектом Сюняева–Зельдовича (см. рис. 4 в работе [33]), то оказывается, что сигнал, собранный в спектре мощности от протяженных радиосточников и оцененный в нашей модели, сравним по величине с СЗ-сигналом. В нашем случае мы пренебрегали очень слабыми протяженными источниками, которые также обнаружимы на уровне около $4-5\sigma$ в обзоре NVSS [34]. Оценки, проведенные в работе [35], предполагают существование свыше десяти тысяч кандидатов в гигантские радиогалактики и

просто протяженные радиоисточники с уровнем плотности потока $S \gtrsim 1.4$ мЯн.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен и реализован метод генерирования распределений протяженных радиоисточников на полной сфере. Он включает учет распределений источников по плотности потока, по размерам, морфологическим признакам и позиционным углам, а также спектральным индексам. В качестве базовых каталогов использовались распределение по плотности потока (« $\lg N - \lg S$ ») из работы [15] и распределения по параметрам протяженных источников из обзора WENSS [16]. Структурно организованный подход, а именно, задание распределений параметров с помощью ключей и символьных таблиц, позволяет применить и другие, заданные пользователем, данные. Метод реализован в рамках пакета GLESP (процедура «maprat») [36].

В результате построения конкретной модели было продемонстрировано, что вклад протяженных радиоисточников в миллиметровом диапазоне должен искажать угловой спектр мощности, обусловленный эффектом Сюняева–Зельдовича. Это факт может также частично объяснить и небольшое число (примерно 1.6 тысячи) объектов в каталоге СЗ, опубликованном по данным анализа карт Planck [8]. А с учетом потенциального сигнала, вызванного обратным эффектом Комптона при взаимодействии энергичных электронов протяженных компонентов и струй с фотонами СМВ [13], общая картина становится еще сложнее.

Важно отметить также, что предложенный подход не является окончательным, и модель развивается. В частности, возможен учет новых расчетов, связанных с построением функции светимости протяженных радиогалактик вплоть до больших красных смещений ($z \sim 6$) [37] и расширение ее с помощью новых моделей распределения источников [38, 39], разрабатываемых для космического эксперимента «Миллиметрон» [40].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность рецензенту за замечания, позволившие улучшить рукопись.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. L. Bennett, D. Larson, J. L. Weiland, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **208**, 20 (2013).
2. R. Adam et al. (Planck Collab.), *Astron. and Astrophys.* **594**, A1 (2016).
3. K. M. Górski, E. Hivon, A. J. Banday, et al., *Astrophys. J.* **622**, 759 (2005).
4. A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, et al., *Intern. J. Modern Phys. D* **14**, 275 (2005).
5. C. L. Bennett, R. S. Hill, G. Hinshaw, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 97 (2003).
6. P. A. R. Ade et al. (Planck Collab.), *Astron. and Astrophys.* **594**, A25 (2016).
7. P. A. R. Ade et al. (Planck Collab.), *Astron. and Astrophys.* **594**, A26 (2016).
8. P. A. R. Ade et al. (Planck Collab.), *Astron. and Astrophys.* **594**, A24 (2016).
9. P. A. R. Ade et al. (Planck Collab.), *Astron. and Astrophys.* **594**, A15 (2016).
10. Y. B. Zeldovich and R. A. Sunyaev, *Astrophys. and Space Sci.* **4**, 301 (1969).
11. O. V. Verkhodanov, M. L. Khabibullina, M. Singh, et al., in *Proc. Intern. Conf. on Problems of Practical Cosmology, St. Petersburg, Russia, 2008*, Ed. Y. V. Baryshev, I. N. Taganov, and P. Teerikorpi (TIN, St.-Petersburg, 2008), Vol. 1, pp. 247–450.
12. D. I. Solovyov and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **66**, 416 (2011).
13. S. Colafrancesco and P. Marchegiani, *Astron. and Astrophys.* **535**, A108 (2011).
14. A. G. Doroshkevich, O. V. Verkhodanov, P. D. Naselsky, et al., *Intern. J. Modern Phys. D* **20**, 1053 (2011).
15. J. J. Condon, *Astrophys. J.* **284**, 44 (1984).
16. R. B. Rengelink, Y. Tang, A. G. de Bruyn, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **124** (1997).
17. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, M. Singh, et al., *Astronomy Reports* **54**, 571 (2010).
18. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, M. Singh, et al., *Astronomy Reports* **55**, 392 (2011).
19. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, M. Singh, et al., *Astrophysical Bulletin* **66**, 171 (2011).
20. O. V. Verkhodanov, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, et al., *Astrophysical Bulletin* **70**, 156 (2015).
21. O. V. Verkhodanov, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, et al., *Astronomy Letters* **41**, 457 (2015).
22. O. V. Verkhodanov, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, et al., *Astronomy Reports* **60**, 630 (2016).
23. O. V. Verkhodanov, D. I. Solovyov, O. S. Ulakhovich, and M. L. Khabibullina, *Astrophysical Bulletin* **71**, 139 (2016).
24. O. V. Verkhodanov, D. I. Solovyov, O. S. Ulakhovich, et al., *Astronomy Reports* **61**, 297 (2017).
25. A. P. Schoenmakers, K.-H. Mack, A. G. de Bruyn, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **146**, 293 (2000).
26. A. P. Schoenmakers, A. G. de Bruyn, H. J. A. Röttgering, and H. van der Laan, *Astron. and Astrophys.* **374**, 861 (2001).
27. B. L. Fanaroff and J. M. Riley, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **167**, 31P (1974).
28. J. S. Dunlop and J. A. Peacock, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **247**, 19 (1990).
29. C. A. Jackson and J. V. Wall, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **304**, 160 (1999).
30. V. K. Kapahi and V. K. Kulkarni, *Astron. J.* **99**, 1397 (1990).

31. D. I. Solovyov and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **69**, 141 (2014).
32. D. I. Solovyov and O. V. Verkhodanov, *Astronomy Reports* **58**, 506 (2014).
33. I. G. McCarthy, A. M. C. Le Brun, J. Schaye, and G. P. Holder, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **440**, 3645 (2014).
34. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astron. J.* **115**, 1693 (1998).
35. D. D. Proctor, *Astrophys. J. Suppl.* **224**, 18 (2016).
36. O. V. Verkhodanov, A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 40 (2005).
37. A. Saxena, H. J. A. Röttgering, and E. E. Rigby, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **469**, 4083 (2017).
38. S. V. Pilipenko, M. V. Tkachev, A. A. Ermash, et al., in *Abstracts 34 Vseross. Konf. on Modern Problems for Extragalactic Astronomy, Pushchino, Russia, 2017*, p. 10, http://www.prao.ru/conf/34_conf/registration/abstracts.php.
39. A. A. Ermash and S. V. Pilipenko, in *Abstracts 34 Vseross. Konf. on Modern Problems for Extragalactic Astronomy, Pushchino, Russia, 2017*, p. 10, http://www.prao.ru/conf/34_conf/registration/abstracts.php.
40. N. S. Kardashev, I. D. Novikov, V. N. Lukash, et al., *Physics Uspekhi* **57**, 1199 (2014).
41. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118 (2005).
42. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Data Science J.* **8**, 34 (2009).

Modeling of Giant Galaxy Distribution over the Sphere in the Submillimeter-Wavelength Range

D. I. Solovyev and O. V. Verkhodanov

We suggest a method and build a model of radio galaxy distribution over the sphere using data from the WENSS catalogs and standard radio count models by Condon. We calculate the angular power spectrum of the contribution of extended radio galaxies into the microwave background and show that it can be a distorting factor for correct estimation of the angular spectrum from the signal determined by the Sunyaev–Zeldovich effect.

Keywords: *galaxies: giant—radio continuum: galaxies—submillimeters: galaxies*