

УДК 52-13(083.8)

**А. Е. Вольвач**

Науково-дослідний інститут «Кримська астрофізична обсерваторія», Научний, Крим

## КАТАЛОГ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ПОЛЕТНОЙ ПРОГРАММЫ «РАДИОАСТРОН»

---

*Проведено спостереження вибірки джерел попереднього каталогу «РадіоАстрон» на частотах 22.2 ГГц і 36.8 ГГц за допомогою радіотелескопа РТ-22 НДІ «КрАО». Отриманий розподіл спектральних індексів джерел між зазначеними частотами характеризується більшим значенням дисперсії, ніж у каталозі WMAP для частот 23 і 33 ГГц, що обумовлено вихідними параметрами вибірки джерел каталогу «РадіоАстрон». На основі даних оглядів поблизу частоти 22 ГГц побудовано залежність  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  до рівнів потоків 0.1 Ян, де вже спостерігається космологічне зменшення щільності джерел відносно нееволюціонуючого евклідового Всесвіту. Розглянуто приклади змінності індивідуальних джерел у рамках прояву спалахової активності.*

---

### ВВЕДЕНИЕ

Поисковые обзоры радиоисточников являются первоисточниками информации, на основе которой осуществляются дальнейшие исследования астрофизических объектов, излучающих в радиодиапазоне.

Первые дециметровые поисковые обзоры принесли важную информацию о спектральных характеристиках радиоисточников, когда были обнаружены объекты, имеющие максимумы спектральной плотности излучения в дециметровом диапазоне длин волн. Стало ясно, что могут существовать радиоисточники, основная часть излучения которых может быть сосредоточена на сантиметровых длинах волн. Такие источники должны содержать компактные образования и обеспечивать высокое энерговыделение в сравнении с объектами, обнаруженными на метровых длинах волн [36].

В это же время было сделано открытие явления переменности потока излучения радиоисточников по наблюдениям на дециметровых длинах волн источника СТА 102 [30]. Открытие переменности в радиодиапазоне значительно повысило информативность астрофизических исследований и стимулировало проведение поисковых обзоров неба на сантиметровых длинах

волн. Активность объектов на сантиметровых длинах волн связана с физическими процессами, происходящими в их центральных областях. Там наблюдаются процессы выделения гигантского количества энергии, приводящие к тому, что эти объекты видны с космологических расстояний в тысячи мегапарсек. Изучение физических процессов энерговыделения астрофизических объектов представляет фундаментальную научную задачу.

К 1968 г. был подведен итог открытиям, приведшим к классификации разных типов источников: радиогалактик, нормальных галактик, квазаров (QSO), сейфертовских и компактных галактик, объектов нашей Галактики. Исследование спектральных характеристик радиоисточников базовых обзоров 4C, PKS, MSN в широком диапазоне частот от 38 до 2700 МГц было выполнено в работе [36]. Вывод состоял в том, что средние спектральные индексы  $\alpha_{cp}$  на фиксированных частотах не зависят от потока. Виден слабый систематический ход значения  $\alpha_{cp}$  от частоты (от 0.8 на низких частотах до 0.7 — на высоких). На основе оптических отождествлений радиоисточников 4C-списка было установлено относительное число квазаров и радиогалактик в общем ансамбле источников обзора: 10 и 25 % соответственно [18, 19].

Исследования этих популяций на частотах выше 1000 МГц выявили различия их спектраль-

ных характеристик [29]. Было найдено, что спектры радиогалактик становились круче на высоких частотах, тогда как спектральные характеристики квазаров не изменялись вплоть до 5 ПГц, либо имелся избыток излучения в этом диапазоне длин волн.

В процессе изучения структуры центральных областей радиоисточников было установлено, что большинство QSO на сантиметровых длинах волн действительно являются компактными объектами ( $<1''$ ). Причем QSO с «плоскими» спектрами имеют тенденцию быть более компактными по сравнению с теми, которые имеют нормальные спектральные индексы [15]. Для радиогалактик была получена другая зависимость: наиболее яркие представители имели в среднем большие угловые размеры [16].

Тем не менее, по ряду важных астрофизических характеристик не было обнаружено никакой зависимости. Не установлено связи между структурой и красным смещением ни у квазаров, ни у радиогалактик. Не выявлено связующих характеристик между параметрами пространственно-яркостного распределения и другими наблюдательными данными для категории неотожествленных радиоисточников, составляющих заметную часть исходных каталожных списков. Исследования структуры показывали сложное строение объектов, состоящих из многих компонентов различной компактности [15].

Статистические исследования радиоисточников поисковых обзоров являются важной составной частью наблюдательной астрофизики. Сантиметровый диапазон длин волн имеет преимущества перед другими длинами волн, избавляя от необходимости поправок за искажение излучения, проходящего через среду Галактики. Тем не менее, основные работы, связанные с космологическими приложениями, были сделаны на основе анализов данных низкочастотных радиообзоров [23, 27], по данным которых и был впервые сделан вывод о том, что они находятся в противоречии с предположением о неэволюционирующей Вселенной. Статистика радиоисточников метровых обзоров указывала на значительные эволюционные изменения, происходящие во Вселенной в процессе ее расширения.

Подсчеты радиоисточников интенсивно используются для исследования истории Вселенной. Есть различия во взглядах на интерпретацию зависимости  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$ , обусловленные использованием различных космологических моделей. В интерпретации статистической зависимости подсчетов источников необходимо одновременно учитывать все основные параметры Вселенной: ее геометрию, пространственное распределение радиоисточников различных классов, изменение функций светимости объектов с космологической эпохой, процесс расширения Вселенной. Для этого в первую очередь необходимо иметь информацию по статистическим подсчетам  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  на разных частотах, которые необходимо дополнить зависимостями спектральных индексов от потоков, распределением спектральных индексов. При анализе используется также информация о функции светимостей для различных типов объектов, зависимость угловых размеров радиоисточников от красного смещения, анализ фонового излучения, обусловленного дискретными источниками. Этот далеко не полный перечень необходимых экспериментальных исследований характеризует всю сложность проблемы изучения геометрических и эволюционных характеристик Вселенной, а также то, почему эти вопросы до настоящего времени далеки от полного решения. В ряду перечисленных задач получение зависимости  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  по важности занимает одно из первых мест.

Подсчеты сильных источников (только такие и были в первых коротковолновых обзорах) оказались фактически непригодными для космологических выводов. Дело в том, что на сантиметровых длинах волн для сильных объектов с плотностью потока до 80–100 мЯн есть две популяции радиоисточников: объекты с «плоскими» спектрами (квазары) и источники с нормальными спектральными характеристиками (радиогалактики). Вклад этих популяций до указанных потоков оказался таким, что  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  в этом диапазоне потоков «имитирует» модель неэволюционирующей евклидовой Вселенной. И лишь на более низких уровнях потоков наблюдается космологический загиб кривой под-

счетов источников. Распределение спектральных индексов обладает большим значением дисперсии, чем на более низких частотах [7].

В первом поисковом обзоре неба на длине волны 3.5 см (РТ-22 НИИ «КрАО») удалось обнаружить ряд новых источников, входящих в категорию активных ядер галактик (АЯГ), например S0528+134, являющийся одним из самых мощных излучателей во Вселенной [9]. Пионерский поисковый обзор, выполненный с помощью РТ-22 КрАО [10], дал старт серии обзоров, позднее выполненных на радиотелескопе РАТАН-600 [1, 2]. Они стали крупнейшими в мире сантиметровыми обзорами неба на момент их публикации. Лишь спустя 6 лет появились известные обзоры, выполненные в NRAO (США) и являющиеся базовыми обзорами сантиметрового диапазона длин волн в наше время [21].

В сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн ярко выражена популяция источников, потоки излучения которых показывают значительные вариации в широком интервале масштабов времени. В то же время, несмотря на переменность потоков излучения, средние спектральные характеристики полной выборки источников сантиметровых обзоров (РАТАН-600) сохраняются во времени. Это относится к среднему спектральному индексу источников  $\alpha_{\text{ср}}$ , доли объектов с различными спектральными индексами, зависимости спектрального индекса от потока [7, 11].

Выше частоты 5 ГГц поисковые обзоры неба, аналогичные обзору GB6, не проводились по причине значительных временных и аппаратных трудностей. Поэтому на высоких частотах выполняются частные обзоры небольших площадок неба [32, 35] либо значительных областей, но до больших значений по потоку (обзор WMAP) [17].

Важной астрофизической задачей, требующей знания спектральных характеристик радиоисточников, является наземно-космический проект «РадиоАстрон», реализация которого намечена на 2009–2015 гг. Основная составляющая полетной программы «РадиоАстрон» включает в себя исследование АЯГ, имеющих плоские и растущие в сторону более коротких миллимет-

ровых длин волн потоки излучения. Для полетной программы необходимо создать каталог источников до уровней потока 0.1–0.2 Ян.

Для получения необходимых данных о спектральном поведении источников на миллиметровых длинах волн мы воспользовались каталогами источников дециметровых и сантиметровых длин волн и получили экстраполированные на миллиметровые волны спектральные характеристики объектов. Другими словами, был составлен предварительный каталог источников для полетной программы, предположительно имеющих избытки в спектральной плотности потока в коротковолновой части сантиметрового диапазона длин волн и на миллиметровых волнах [4].

Программой ближайшего наземно-космического эксперимента «РадиоАстрон» предусматривается отведение значительного наблюдательного времени для исследования нестационарных внегалактических источников. Высокое разрешение наземно-космического интерферометра дает возможность исследовать предельно компактные области в АЯГ с высокой яркостной температурой.

Большинство АЯГ в своем излучении и структуре на миллисекундных масштабах обнаруживают переменность во всем электромагнитном спектре на масштабах времени от нескольких часов до нескольких лет, и на линейных шкалах от нескольких астрономических единиц до нескольких десятков парсек. В АЯГ с ярко выраженными релятивистскими джетами такая переменность может быть связана с наблюдаемой морфологией и кинематикой на внутренних масштабах порядка нескольких парсек [38]. Интерферометрические данные указывают на то, что компактные области излучения вкраплены в джет и двигаются со сверхсветовыми скоростями по винтовым траекториям. Излучение таких компонентов связывается с выбросами, наблюдаемыми в оптическом или гамма-диапазонах длин волн [37].

Все чаще стали связывать такие явления в АЯГ с наличием в центральных областях галактик систем из сверхмассивных черных дыр. Двойственная структура таких источников, на которую указывают данные наблюдений в опти-

ческом, гамма- и радиодиапазонах, может свидетельствовать о наличии в центре АЯГ двойных сверхмассивных черных дыр с массами до  $10^{10}$  масс Солнца [31]. Не исключено, что именно в двойственной структуре АЯГ заключается загадка механизмов первичной генерации излучения этих объектов.

Наблюдение переменности излучения потока АЯГ на одиночных антеннах в широком диапазоне длин волн поставляет независимую от интерферометрических наблюдений и чрезвычайно важную информацию о структуре источников и динамике процессов, происходящих в них. Вспышечные явления в АЯГ становятся доступными для глобальных интерферометров лишь тогда, когда возмущение, распространяющееся по «джету», пройдет расстояние от его истока в многие доли парсека. Это может занять время от года и более.

Таким образом, построение реальной физической модели АЯГ представляет собой сложную задачу, требующую использования данных многочастотного мониторинга переменности потоков источников в сочетании с данными интерферометрических экспериментов. Но именно данные по многочастотному мониторингу на одиночных антеннах несут в себе важную информацию о внутренней структуре и динамике нестационарных источников.

Целью работы было получение данных по потокам радиоисточников из предварительного каталога «РадиоАстрон» на частотах миллиметрового диапазона длин волн 22 и 36 ГГц, исследование статистических характеристик наблюдавшегося списка радиоисточников и отбор кандидатов в полетную программу «РадиоАстрон». Результаты исследования первого и второго списков источников, выбранных из каталога «РадиоАстрон», были представлены нами ранее в работах [3, 5].

## НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Данные были получены с помощью 22-метрового радиотелескопа РТ-22 НИИ «КрАО» на частотах 22.2 и 36.8 ГГц с применением модуляционных радиометров с флуктуационной чувстви-

тельностью 0.04 К [12, 14]. Поглощение излучения в атмосфере Земли на каждой частоте учитывалось с использованием метода «разрезов атмосферы» — фиксацией антенных температур при определенных углах места антенны и дальнейшей обработкой этих данных с нахождением коэффициента пропускания атмосферы.

Для исключения ошибок наведения телескопа на источник его положение уточнялось сканированием диаграммой направленности радиотелескопа через источник последовательно по двум координатам — прямому восхождению и склонению. Антенная температура от объекта измерялась при последовательном наведении двух рупоров на источник (режим ON—ON) [6]. Затем определялись усредненные за интервалы времени 30 с значения антенных температур. Измеренные температуры, с учетом поглощения в атмосфере, пересчитывались в плотности потоков по данным потоков калибровочных источников 2037+421, 1228+126, 2105+420 [12].

Процедура предварительной обработки наблюдательных данных выполнялась в режиме реального времени, что позволяло оперативно вносить коррективы в наблюдательную программу, которая была подготовлена в пакетном режиме с возможностью внесения изменений в процессе выполнения наблюдений.

## КАТАЛОГ РАДИОИСТОЧНИКОВ ПОЛЕТНОЙ ПРОГРАММЫ «РАДИОАСТРОН»

Проведены наблюдения более 50 % радиоисточников предварительного каталога «РадиоАстрон» в зоне положительных склонений (северное небо). В табл. 1 приведены значения потоков  $S$  источников и их ошибки  $dS$  на частотах 22.2 и 36.8 ГГц. Данные получены с интервалом времени, как правило, не превышающем один месяц.

От момента формирования предварительного каталога «РадиоАстрон» до настоящего времени появился каталог WMAP, который был получен в рамках одноименной космической миссии. Следует отметить, что в каталоге WMAP первого года наблюдений есть источник B0215+015, которого нет в списке трех последующих лет наб-

Таблица 1. Значения потоков и спектральные индексы источников

| Номер п/п | Источник | 22.2 ГГц |        | 36.8 ГГц |        | $\alpha_{22.2-36.8}$ |
|-----------|----------|----------|--------|----------|--------|----------------------|
|           |          | S, Ян    | dS, Ян | S, Ян    | dS, Ян |                      |
| 1         | 0007+171 | 1.6      | 0.12   | 1.3      | 0.1    | 0.41                 |
| 2         | 0022+390 | 0.18     | 0.09   | 0.29     | 0.22   |                      |
| 3         | 0035+413 | 0.7      | 0.17   | 0.66     | 0.15   | 0.12                 |
| 4         | 0039+230 | 0.3      | 0.08   | 0.27     | 0.14   |                      |
| 5         | 0039+568 | 0.18     | 0.08   | 0.88     | 0.1    | -3.14                |
| 6         | 0057+678 | 0.63     | 0.11   | 0.49     | 0.07   | 0.50                 |
| 7         | 0059+581 | 0.75     | 0.12   | 1.5      | 0.17   | -1.37                |
| 8         | 0102+480 | 0.24     | 0.08   | 0.42     | 0.08   | -1.11                |
| 9         | 0106+013 | 0.92     | 0.11   | 2.02     | 0.23   | -1.56                |
| 10        | 0106+130 | 0.79     | 0.1    | 1.32     | 0.15   | -1.02                |
| 11        | 0108+388 | 0.13     | 0.09   | 0.1      | 0.07   |                      |
| 12        | 0111+021 | 0.73     | 0.09   | 0.89     | 0.13   | -0.39                |
| 13        | 0114+074 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 14        | 0119+041 | 0.31     | 0.08   | 0.32     | 0.09   | -0.06                |
| 15        | 0119+115 | 1.04     | 0.13   | 0.78     | 0.09   | 0.57                 |
| 16        | 0119+247 | 0.4      | 0.07   | 1.32     | 0.25   | -2.36                |
| 17        | 0119+615 | 0.41     | 0.08   | 0.24     | 0.08   |                      |
| 18        | 0123+257 | 0.6      | 0.1    | 0.3      | 0.11   |                      |
| 19        | 0133+476 | 3.04     | 0.31   | 3.11     | 0.32   | -0.05                |
| 20        | 0137+012 | 0.35     | 0.13   | 0.33     | 0.12   |                      |
| 21        | 0146+056 | 0.98     | 0.21   | 1.18     | 0.19   | -0.37                |
| 22        | 0148+274 | 0.58     | 0.14   | 0.22     | 0.21   |                      |
| 23        | 0149+218 | 0.94     | 0.13   | 0.97     | 0.2    | -0.06                |
| 24        | 0153+744 | 0.13     | 0.11   | 0.1      | 0.09   |                      |
| 25        | 0201+113 | 0.51     | 0.11   | 0.53     | 0.11   | -0.08                |
| 26        | 0201+645 | —        | —      | 2.06     | 0.07   |                      |
| 27        | 0202+149 | 0.51     | 0.12   | 0.58     | 0.11   | -0.25                |
| 28        | 0203+625 | 0.45     | 0.09   | 0.56     | 0.13   | -0.43                |
| 29        | 0212+735 | 1.04     | 0.14   | 1.05     | 0.12   | -0.02                |
| 30        | 0214+083 | 0.3      | 0.09   | 0.99     | 0.09   | -2.36                |
| 31        | 0215+015 | 1.32     | 0.21   | 1.03     | 0.16   | 0.49                 |
| 32        | 0216+608 | 0.21     | 0.09   | 0.35     | 0.13   |                      |
| 33        | 0218+357 | 0.91     | 0.11   | 1.02     | 0.1    | -0.23                |
| 34        | 0221+067 | 0.57     | 0.11   | 0.78     | 0.26   | -0.62                |
| 35        | 0223+341 | 0.24     | 0.09   | 0.26     | 0.13   | -0.16                |
| 36        | 0224+671 | 0.81     | 0.09   | 0.15     | 0.06   |                      |
| 37        | 0229+131 | 1.33     | 0.11   | 1.21     | 0.08   | 0.19                 |
| 38        | 0234+285 | 4.95     | 0.09   | 4.54     | 0.19   | 0.17                 |
| 39        | 0235+164 | 1.27     | 0.08   | 1.45     | 0.11   | -0.26                |
| 40        | 0237+040 | 0.58     | 0.1    | 0.6      | 0.12   | -0.07                |
| 41        | 0238-084 | 2.12     | 0.09   | 2.02     | 0.12   | 0.10                 |
| 42        | 0239+108 | 1.02     | 0.12   | 0.95     | 0.14   | 0.14                 |
| 43        | 0248+430 | 0.39     | 0.11   | 0.38     | 0.1    |                      |
| 44        | 0256+075 | 0.2      | 0.1    | 0.49     | 0.11   |                      |
| 45        | 0300+470 | 0.76     | 0.09   | 0.83     | 0.11   | -0.17                |
| 46        | 0305+039 | 1.23     | 0.09   | 1.03     | 0.07   | 0.35                 |
| 47        | 0306+102 | 0.87     | 0.08   | 0.97     | 0.11   | -0.22                |
| 48        | 0307+444 | 0.4      | 0.07   | 0.37     | 0.13   |                      |
| 49        | 0309+411 | 0.99     | 0.11   | 1.08     | 0.15   | -0.17                |

Продолжение табл. 1

| Номер п/п | Источник | 22.2 ГГц |        | 36.8 ГГц |        | $\alpha_{22.2-36.8}$ |
|-----------|----------|----------|--------|----------|--------|----------------------|
|           |          | S, Ян    | dS, Ян | S, Ян    | dS, Ян |                      |
| 50        | 0310+013 | 0.28     | 0.08   | 0.25     | 0.12   |                      |
| 51        | 0316+162 | 0.3      | 0.09   | 0.28     | 0.09   |                      |
| 52        | 0316+413 | 10.8     | 0.24   | 11.47    | 0.22   | -0.12                |
| 53        | 0319+121 | 0.59     | 0.14   | 0.54     | 0.12   | 0.18                 |
| 54        | 0336+019 | 1.66     | 0.12   | 1.55     | 0.15   | 0.14                 |
| 55        | 0345+460 | 0.49     | 0.09   | 0.51     | 0.15   | -0.08                |
| 56        | 0359+511 | 2.35     | 0.13   | —        | —      |                      |
| 57        | 0406+121 | 0.61     | 0.12   | 0.63     | 0.12   | -0.06                |
| 58        | 0407+510 | 2.55     | 0.08   | —        | —      |                      |
| 59        | 0409+229 | 0.34     | 0.09   | 0.3      | 0.11   |                      |
| 60        | 0418+532 | 0.79     | 0.1    | 0.87     | 0.14   | -0.19                |
| 61        | 0420-014 | 4.63     | 0.12   | 5.31     | 0.21   | -0.27                |
| 62        | 0420+022 | 0.64     | 0.09   | 0.39     | 0.19   | 0.98                 |
| 63        | 0420+417 | 1.92     | 0.1    | —        | —      |                      |
| 64        | 0421+019 | 0.19     | 0.1    | 0.21     | 0.19   | -0.20                |
| 65        | 0422+004 | 1.49     | 0.14   | 2.02     | 0.25   | -0.60                |
| 66        | 0428+205 | 0.75     | 0.11   | 0.63     | 0.06   | 0.34                 |
| 67        | 0430+052 | 2.42     | 0.1    | 6.89     | 0.36   | -2.07                |
| 68        | 0433+295 | 2.29     | 0.09   | 2.25     | 0.12   | 0.03                 |
| 69        | 0436+503 | 0.71     | 0.09   | 0.23     | 0.12   |                      |
| 70        | 0440+345 | 0.38     | 0.11   | 0.26     | 0.05   |                      |
| 71        | 0444+634 | 0.17     | 0.12   | 0.27     | 0.11   |                      |
| 72        | 0457+024 | 0.39     | 0.12   | 0.4      | 0.12   | -0.05                |
| 73        | 0459+060 | 0.41     | 0.11   | 0.43     | 0.1    | -0.09                |
| 74        | 0500+019 | 0.78     | 0.13   | 0.8      | 0.12   | -0.05                |
| 75        | 0502+049 | 0.53     | 0.13   | 0.55     | 0.11   | -0.07                |
| 76        | 0510+373 | 0.32     | 0.11   | 0.27     | 0.06   | 0.34                 |
| 77        | 0515+067 | 0.24     | 0.12   | 0.29     | 0.16   |                      |
| 78        | 0528+134 | 2.18     | 0.23   | 2.63     | 0.28   | -0.37                |
| 79        | 0528+342 | 0.38     | 0.12   | 0.41     | 0.14   |                      |
| 80        | 0529+075 | 0.80     | 0.14   | 0.82     | 0.11   | -0.05                |
| 81        | 0532+506 | 0.12     | 0.13   | 0.25     | 0.13   |                      |
| 82        | 0537+358 | 0.85     | 0.15   | 0.55     | 0.09   | 0.86                 |
| 83        | 0538+498 | 1.94     | 0.13   | 1.83     | 0.8    | 0.12                 |
| 84        | 0544+273 | 0.28     | 0.14   | 0.37     | 0.18   |                      |
| 85        | 0546+726 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 86        | 0548+270 | 0.3      | 0.16   | 0.36     | 0.15   |                      |
| 87        | 0550+032 | 1.22     | 0.13   | —        | —      |                      |
| 88        | 0552+398 | 2.38     | 0.11   | 2.27     | 0.12   | 0.09                 |
| 89        | 0554+242 | 0.24     | 0.14   | 0.28     | 0.16   |                      |
| 90        | 0556+238 | 0.15     | 0.15   | 0.22     | 0.12   |                      |
| 91        | 0602+405 | 0.54     | 0.13   | 0.6      | 0.11   | -0.21                |
| 92        | 0602+673 | 1.01     | 0.2    | 1.07     | 0.13   | -0.11                |
| 93        | 0604+728 | 0.12     | 0.16   | 0.16     | 0.11   |                      |
| 94        | 0605+216 | 0.1      | 0.16   | 0.19     | 0.12   |                      |
| 95        | 0609+607 | 0.24     | 0.12   | 0.23     | 0.1    |                      |
| 96        | 0611+138 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 97        | 0620+389 | 0.3      | 0.14   | 0.25     | 0.13   |                      |
| 98        | 0629+160 | —        | —      | —        | —      |                      |

Продолжение табл. 1

| Номер<br>п/п | Источник | 22.2 ГГц |        | 36.8 ГГц |        | $\alpha_{22.2-36.8}$ |
|--------------|----------|----------|--------|----------|--------|----------------------|
|              |          | S, Ян    | dS, Ян | S, Ян    | dS, Ян |                      |
| 99           | 0629+052 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 100          | 0633+734 | 0.91     | 0.12   | 0.81     | 0.06   | 0.23                 |
| 101          | 0642+449 | 2.87     | 0.17   | 2.43     | 0.18   | 0.33                 |
| 102          | 0646+600 | 0.16     | 0.14   | 0.22     | 0.11   |                      |
| 103          | 0650+371 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 104          | 0657+172 | 0.80     | 0.18   | 0.82     | 0.2    | -0.05                |
| 105          | 0707+476 | 0.57     | 0.17   | 0.59     | 0.11   | -0.07                |
| 106          | 0710+439 | 0.43     | 0.16   | 0.4      | 0.09   | 0.14                 |
| 107          | 0714+457 | 0.42     | 0.17   | 0.46     | 0.14   | -0.18                |
| 108          | 0716+714 | 1.65     | 0.14   | 1.83     | 0.1    | -0.20                |
| 109          | 0722+145 | 0.8      | 0.13   | 0.78     | 0.12   | 0.05                 |
| 110          | 0730+504 | 0.89     | 0.3    | 1.04     | 0.12   | -0.31                |
| 111          | 0731+050 | 0.1      | 0.16   | 0.23     | 0.13   |                      |
| 112          | 0731+479 | 0.23     | 0.09   | 0.32     | 0.11   |                      |
| 113          | 0735+178 | 1.09     | 0.15   | 0.92     | 0.12   | 0.34                 |
| 114          | 0738+313 | 1.16     | 0.18   | 1.17     | 0.15   | -0.02                |
| 115          | 0742+103 | 1.13     | 0.14   | 1.07     | 0.15   | 0.11                 |
| 116          | 0743+744 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 117          | 0745+241 | 0.71     | 0.18   | 0.78     | 0.11   | -0.19                |
| 118          | 0746+483 | 0.18     | 0.15   | 0.28     | 0.12   |                      |
| 119          | 0748+126 | 1.86     | 0.29   | 1.24     | 0.18   | 0.80                 |
| 120          | 0749+540 | 0.67     | 0.11   | 0.71     | 0.08   | -0.11                |
| 121          | 0754+100 | 1.48     | 0.11   | 1.44     | 0.09   | 0.05                 |
| 122          | 0759+183 | 0.36     | 0.13   | 0.41     | 0.11   |                      |
| 123          | 0804+499 | 1.16     | 0.15   | 1.36     | 0.09   | -0.31                |
| 124          | 0808+019 | 0.36     | 0.18   | 0.56     | 0.11   |                      |
| 125          | 0812+367 | 0.87     | 0.13   | 0.88     | 0.12   | -0.02                |
| 126          | 0814+425 | 0.39     | 0.11   | 0.41     | 0.12   |                      |
| 127          | 0820+560 | 0.14     | 0.15   | 0.16     | 0.11   |                      |
| 128          | 0821+394 | 0.98     | 0.13   | 1.12     | 0.15   | -0.26                |
| 129          | 0823+033 | 1.89     | 0.16   | 1.93     | 0.09   | -0.04                |
| 130          | 0824+355 | 0.23     | 0.17   | 0.22     | 0.11   |                      |
| 131          | 0827+243 | 1.45     | 0.1    | 1.56     | 0.1    | -0.14                |
| 132          | 0829+046 | 0.63     | 0.13   | 0.76     | 0.14   | -0.37                |
| 133          | 0830+040 | 0.21     | 0.1    | 0.2      | 0.12   |                      |
| 134          | 0831+557 | 0.37     | 0.14   | 0.35     | 0.11   |                      |
| 135          | 0833+585 | 0.65     | 0.13   | 0.85     | 0.09   | -0.53                |
| 136          | 0838+133 | 1.28     | 0.16   | 1.9      | 0.09   | -0.78                |
| 137          | 0851+202 | 2.02     | 0.27   | 3.56     | 0.39   | -1.12                |
| 138          | 0859+681 | 0.26     | 0.16   | 0.3      | 0.13   |                      |
| 139          | 0906+015 | 2.38     | 0.27   | 2.26     | 0.3    | 0.10                 |
| 140          | 0906+430 | 0.56     | 0.1    | 0.96     | 0.07   | -1.07                |
| 141          | 0913+012 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 142          | 0917+449 | 1.83     | 0.17   | 1.87     | 0.1    | -0.04                |
| 143          | 0917+624 | 0.56     | 0.17   | 0.63     | 0.08   | -0.23                |
| 144          | 0922+005 | 0.45     | 0.11   | 0.45     | 0.08   | 0.00                 |
| 145          | 0923+392 | 7.04     | 0.86   | 5.8      | 0.61   | 0.38                 |
| 146          | 0945+408 | 1.03     | 0.18   | 1.23     | 0.15   | -0.35                |
| 147          | 0951+699 | 1.65     | 0.12   | 1.61     | 0.08   | 0.05                 |

Продолжение табл. 1

| Номер<br>п/п | Источник | 22.2 ГГц |        | 36.8 ГГц |        | $\alpha_{22.2-36.8}$ |
|--------------|----------|----------|--------|----------|--------|----------------------|
|              |          | S, Ян    | dS, Ян | S, Ян    | dS, Ян |                      |
| 148          | 0952+179 | 0.35     | 0.11   | 0.37     | 0.09   | -0.11                |
| 149          | 0953+254 | 0.2      | 0.14   | 0.25     | 0.12   |                      |
| 150          | 0954+556 | 0.88     | 0.16   | 0.78     | 0.09   | 0.24                 |
| 151          | 0954+658 | 1.00     | 0.17   | 1.01     | 0.15   | -0.02                |
| 152          | 0955+476 | 1.22     | 0.16   | 1.61     | 0.09   | -0.55                |
| 153          | 1004+141 | 0.42     | 0.14   | 0.4      | 0.1    | 0.10                 |
| 154          | 1005+066 | 0.38     | 0.12   | 0.4      | 0.11   | -0.10                |
| 155          | 1010+350 | 0.43     | 0.15   | 0.47     | 0.11   | -0.18                |
| 156          | 1012+134 | 0.3      | 0.11   | 0.32     | 0.12   |                      |
| 157          | 1012+232 | 1.34     | 0.14   | 1.9      | 0.08   | -0.69                |
| 158          | 1013+054 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 159          | 1013+208 | 0.21     | 0.17   | 0.25     | 0.11   |                      |
| 160          | 1022+194 | 0.61     | 0.16   | 0.55     | 0.12   | 0.20                 |
| 161          | 1030+415 | 1.46     | 0.13   | 1.67     | 0.11   | -0.27                |
| 162          | 1031+567 | 0.28     | 0.17   | 0.35     | 0.12   |                      |
| 163          | 1033+223 | 0.23     | 0.15   | 0.21     | 0.13   |                      |
| 164          | 1038+064 | 0.96     | 0.14   | 1.42     | 0.09   | -0.77                |
| 165          | 1038+528 | 0.46     | 0.15   | 0.39     | 0.17   |                      |
| 166          | 1044+719 | 1.87     | 0.16   | 1.91     | 0.09   | -0.04                |
| 167          | 1049+215 | 0.87     | 0.14   | 0.59     | 0.16   | 0.77                 |
| 168          | 1055+018 | 4.26     | 0.44   | 5.05     | 0.59   | -0.34                |
| 169          | 1055+201 | 0.73     | 0.17   | 0.23     | 0.13   |                      |
| 170          | 1058+726 | 0.42     | 0.16   | 0.43     | 0.14   | -0.05                |
| 171          | 1059+282 | 0.44     | 0.12   | 0.56     | 0.1    | -0.48                |
| 172          | 1101+384 | 0.23     | 0.16   | 0.35     | 0.12   | -0.83                |
| 173          | 1116+128 | 0.97     | 0.15   | 0.57     | 0.2    | 1.05                 |
| 174          | 1119+183 | 0.45     | 0.14   | 0.47     | 0.18   | -0.09                |
| 175          | 1121+238 | 0.09     | 0.13   | 0.37     | 0.09   |                      |
| 176          | 1123+264 | 0.46     | 0.17   | 0.69     | 0.15   | -0.80                |
| 177          | 1127+145 | 3.8      | 0.24   | 4.1      | 0.17   | -0.15                |
| 178          | 1128+385 | 0.76     | 0.16   | 1.22     | 0.13   | -0.94                |
| 179          | 1143+590 | 0.32     | 0.07   | 0.35     | 0.11   | -0.18                |
| 180          | 1146+596 | 0.34     | 0.14   | 0.3      | 0.1    |                      |
| 181          | 1147+245 | 0.42     | 0.18   | 0.38     | 0.14   | 0.20                 |
| 182          | 1155+169 | 0.47     | 0.17   | 0.43     | 0.1    | 0.18                 |
| 183          | 1155+251 | 0.3      | 0.19   | 0.45     | 0.12   | -0.80                |
| 184          | 1156+295 | 3.08     | 0.11   | 3.14     | 0.12   | -0.04                |
| 185          | 1157+732 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 186          | 1210+134 | 0.36     | 0.18   | 0.42     | 0.13   |                      |
| 187          | 1215+303 | 0.46     | 0.18   | 0.47     | 0.15   | -0.04                |
| 188          | 1219+044 | 0.33     | 0.09   | 0.36     | 0.19   |                      |
| 189          | 1222+037 | 0.32     | 0.17   | 0.34     | 0.16   |                      |
| 190          | 1222+216 | 0.56     | 0.12   | 0.72     | 0.17   | -0.50                |
| 191          | 1226+023 | 17.86    | 0.37   | 18.24    | 0.44   | -0.04                |
| 192          | 1226+373 | 0.33     | 0.17   | 0.38     | 0.14   |                      |
| 193          | 1236+077 | 0.61     | 0.16   | 1.03     | 0.22   | -1.04                |
| 194          | 1240+381 | 0.65     | 0.11   | 0.59     | 0.06   | 0.19                 |
| 195          | 1252+119 | 0.22     | 0.12   | 0.25     | 0.12   |                      |
| 196          | 1253+055 | 23.05    | 0.32   | 23.97    | 0.56   | -0.08                |

Продолжение табл. 1

| Номер<br>п/п | Источник | 22.2 ГГц |        | 36.8 ГГц |        | $\alpha_{22.2-36.8}$ |
|--------------|----------|----------|--------|----------|--------|----------------------|
|              |          | S, Ян    | dS, Ян | S, Ян    | dS, Ян |                      |
| 197          | 1257+145 | 0.22     | 0.12   | 0.3      | 0.12   |                      |
| 198          | 1300+580 | 0.54     | 0.09   | 0.52     | 0.05   | 0.07                 |
| 199          | 1307+121 | 0.75     | 0.12   | 0.72     | 0.09   | 0.08                 |
| 200          | 1308+326 | 1.83     | 0.19   | 2.26     | 0.28   | -0.42                |
| 201          | 1308+327 | 0.34     | 0.13   | 0.34     | 0.09   |                      |
| 202          | 1308+554 | 0.2      | 0.16   | 0.27     | 0.09   |                      |
| 203          | 1317+019 | 0.38     | 0.12   | 0.42     | 0.06   | -0.20                |
| 204          | 1324+224 | 1.21     | 0.14   | 1.12     | 0.15   | 0.15                 |
| 205          | 1328+307 | 1.65     | 0.15   | 1.79     | 0.13   | -0.16                |
| 206          | 1333+459 | 0.21     | 0.16   | 0.17     | 0.12   |                      |
| 207          | 1333+589 | —        | —      | —        | —      |                      |
| 208          | 1334+127 | 9.18     | 0.2    | 11.05    | 0.32   | -0.37                |
| 209          | 1335+552 | 0.26     | 0.12   | 0.24     | 0.19   |                      |
| 210          | 1354+195 | 1.57     | 0.21   | 1.85     | 0.25   | -0.32                |
| 211          | 1400+162 | 0.2      | 0.13   | 0.23     | 0.11   |                      |
| 212          | 1402+044 | 0.24     | 0.14   | 0.32     | 0.09   |                      |
| 213          | 1404+286 | 0.34     | 0.13   | 0.12     | 0.04   |                      |
| 214          | 1413+135 | 0.5      | 0.12   | 0.56     | 0.12   | -0.22                |
| 215          | 1415+463 | 0.15     | 0.11   | 0.13     | 0.09   |                      |
| 216          | 1418+546 | 0.48     | 0.12   | 0.49     | 0.13   | -0.04                |
| 217          | 1417+385 | 0.63     | 0.16   | 1.19     | 0.13   | -1.26                |
| 218          | 1418+546 | 0.77     | 0.13   | 0.85     | 0.11   | -0.20                |
| 219          | 1423+146 | 0.46     | 0.13   | 0.17     | 0.07   |                      |
| 220          | 1427+109 | 0.39     | 0.15   | 0.36     | 0.1    |                      |
| 221          | 1432+200 | 0.2      | 0.07   | 0.3      | 0.08   |                      |
| 222          | 1434+235 | 0.18     | 0.06   | 0.16     | 0.08   |                      |
| 223          | 1438+385 | 0.41     | 0.12   | 0.51     | 0.07   | -0.43                |
| 224          | 1442+101 | 0.25     | 0.11   | 0.24     | 0.17   |                      |
| 225          | 1442+009 | 0.2      | 0.12   | 0.12     | 0.05   |                      |
| 226          | 1444+175 | 0.85     | 0.15   | 0.49     | 0.11   | 1.09                 |
| 227          | 1447+109 | 0.41     | 0.14   | 0.43     | 0.17   | -0.09                |
| 228          | 1456+044 | 0.39     | 0.1    | 0.6      | 0.09   | -0.85                |
| 229          | 1502+036 | 0.55     | 0.11   | 0.3      | 0.10   |                      |
| 230          | 1502+106 | 0.46     | 0.09   | 0.51     | 0.08   | -0.20                |
| 231          | 1504+377 | 0.61     | 0.09   | 0.64     | 0.11   | -0.09                |
| 232          | 1510+089 | 2.91     | 0.15   | 2.98     | 0.19   | -0.05                |
| 233          | 1514+004 | 1.3      | 0.11   | 1.34     | 0.01   | -0.06                |
| 234          | 1514+197 | 0.5      | 0.12   | 1.35     | 0.2    | -1.97                |
| 235          | 1523+033 | 0.1      | 0.1    | 0.2      | 0.13   |                      |
| 236          | 1532+016 | 1.04     | 0.13   | 0.34     | 0.12   |                      |
| 237          | 1535+004 | 0.24     | 0.11   | 0.26     | 0.13   |                      |
| 238          | 1536+449 | 0.16     | 0.09   | 0.19     | 0.18   |                      |
| 239          | 1538+149 | 0.61     | 0.14   | 0.79     | 0.15   | -0.51                |
| 240          | 1543+005 | 0.44     | 0.15   | 0.51     | 0.12   | -0.29                |
| 241          | 1546+027 | 4.31     | 0.45   | 2.25     | 0.23   | 1.29                 |
| 242          | 1547+507 | 1.06     | 0.18   | 0.92     | 0.11   | 0.28                 |
| 243          | 1548+056 | 2.66     | 0.32   | 2.04     | 0.22   | 0.53                 |
| 244          | 1551+130 | 0.78     | 0.14   | 0.55     | 0.14   | 0.69                 |
| 245          | 1555+001 | 0.9      | 0.13   | 0.22     | 0.09   |                      |

Продолжение табл. 1

| Номер<br>п/п | Источник | 22.2 ГГц |        | 36.8 ГГц |        | $\alpha_{22.2-36.8}$ |
|--------------|----------|----------|--------|----------|--------|----------------------|
|              |          | S, Ян    | dS, Ян | S, Ян    | dS, Ян |                      |
| 246          | 1600+335 | 0.66     | 0.17   | 0.74     | 0.15   | -0.23                |
| 247          | 1606+106 | 0.94     | 0.14   | 0.98     | 0.11   | -0.08                |
| 248          | 1611+343 | 6.02     | 0.62   | 3.97     | 0.4    | 0.82                 |
| 249          | 1614+051 | 0.36     | 0.11   | 0.3      | 0.11   |                      |
| 250          | 1615+029 | 0.16     | 0.11   | 0.18     | 0.07   |                      |
| 251          | 1616+063 | 0.16     | 0.1    | 0.19     | 0.11   |                      |
| 252          | 1624+416 | 0.6      | 0.12   | 0.66     | 0.12   | -0.19                |
| 253          | 1632+321 | 0.16     | 0.07   | 0.21     | 0.17   |                      |
| 254          | 1633+382 | 3.65     | 0.39   | 3.94     | 0.42   | -0.15                |
| 255          | 1635+035 | 0.27     | 0.12   | 0.28     | 0.13   |                      |
| 256          | 1636+473 | 1.13     | 0.14   | 1.52     | 0.3    | -0.59                |
| 257          | 1637+574 | 1.31     | 0.16   | 1.62     | 0.1    | -0.42                |
| 258          | 1638+124 | 0.12     | 0.1    | 0.18     | 0.15   |                      |
| 259          | 1638+398 | 0.74     | 0.08   | 0.71     | 0.12   | 0.08                 |
| 260          | 1641+399 | 8.41     | 0.13   | 8.57     | 0.18   | -0.04                |
| 261          | 1642+690 | 3.13     | 0.1    | 3.42     | 0.11   | -0.18                |
| 262          | 1648+015 | 0.28     | 0.15   | 0.75     | 0.15   | -1.95                |
| 263          | 1652+398 | 1.64     | 0.18   | 1.34     | 0.17   | 0.40                 |
| 264          | 1655+077 | 1.92     | 0.23   | 1.31     | 0.21   | 0.76                 |
| 265          | 1656+053 | 0.39     | 0.1    | 0.27     | 0.13   |                      |
| 266          | 1656+347 | 0.41     | 0.08   | 0.33     | 0.12   |                      |
| 267          | 1656+477 | 0.57     | 0.18   | 0.63     | 0.17   | -0.20                |
| 268          | 1656+482 | 1.04     | 0.18   | 0.85     | 0.18   | 0.40                 |
| 269          | 1656+571 | 0.61     | 0.16   | 0.86     | 0.09   | -0.68                |
| 270          | 1705+018 | 1.02     | 0.1    | 1.11     | 0.17   | -0.17                |
| 271          | 1714+219 | 0.34     | 0.08   | 0.38     | 0.06   | -0.22                |
| 272          | 1716+006 | 0.32     | 0.15   | 0.31     | 0.13   |                      |
| 273          | 1716+686 | 0.65     | 0.11   | 0.69     | 0.13   | -0.12                |
| 274          | 1717+178 | 0.82     | 0.08   | 0.88     | 0.06   | -0.14                |
| 275          | 1719+357 | 0.25     | 0.06   | 0.58     | 0.15   | -1.67                |
| 276          | 1722+401 | 0.84     | 0.08   | 0.39     | 0.14   |                      |
| 277          | 1725+044 | 0.85     | 0.08   | 0.64     | 0.18   | 0.56                 |
| 278          | 1725+123 | 0.31     | 0.13   | 0.27     | 0.15   |                      |
| 279          | 1726+455 | 0.98     | 0.14   | 1.58     | 0.19   | -0.95                |
| 280          | 1730+031 | 0.21     | 0.16   | 0.22     | 0.06   |                      |
| 281          | 1730+130 | 4.05     | 0.22   | 4.29     | 0.17   | -0.11                |
| 282          | 1732+094 | 0.25     | 0.11   | 0.28     | 0.08   |                      |
| 283          | 1732+389 | 1.37     | 0.2    | 1.55     | 0.31   | -0.24                |
| 284          | 1734+063 | 0.87     | 0.13   | 0.64     | 0.13   | 0.61                 |
| 285          | 1734+508 | 0.55     | 0.14   | 0.32     | 0.11   |                      |
| 286          | 1738+476 | 0.88     | 0.14   | 0.92     | 0.24   | -0.09                |
| 287          | 1738+499 | 0.65     | 0.1    | 0.27     | 0.14   |                      |
| 288          | 1741-038 | 7.24     | 0.15   | 6.85     | 0.16   | 0.11                 |
| 289          | 1743+173 | 0.14     | 0.1    | 0.22     | 0.04   |                      |
| 290          | 1749+096 | 2.91     | 0.3    | 3.37     | 0.34   | -0.29                |
| 291          | 1751+441 | 0.89     | 0.07   | 0.72     | 0.18   | 0.42                 |
| 292          | 1756+237 | 0.39     | 0.11   | 0.45     | 0.11   | -0.28                |
| 293          | 1758+388 | 0.96     | 0.11   | 1.03     | 0.24   | -0.14                |
| 294          | 1758+666 | 0.96     | 0.16   | 1.32     | 0.18   | -0.63                |

Продолжение табл. 1

| Номер п/п | Источник | 22.2 ГГц |        | 36.8 ГГц |        | $\alpha_{22.2-36.8}$ |
|-----------|----------|----------|--------|----------|--------|----------------------|
|           |          | S, Ян    | dS, Ян | S, Ян    | dS, Ян |                      |
| 295       | 1800+440 | 0.86     | 0.15   | 1.03     | 0.24   | -0.36                |
| 296       | 1801+010 | 0.48     | 0.14   | 0.25     | 0.09   |                      |
| 297       | 1807+698 | 1.91     | 0.26   | 1.37     | 0.25   | 0.66                 |
| 298       | 1809+068 | 0.14     | 0.11   | 0.26     | 0.02   |                      |
| 299       | 1821+107 | 0.47     | 0.11   | 0.54     | 0.11   | -0.27                |
| 300       | 1823+017 | 0.5      | 0.1    | 0.48     | 0.1    | 0.08                 |
| 301       | 1823+568 | 2.78     | 0.28   | 1.1      | 0.18   | 1.83                 |
| 302       | 1830+139 | 0.35     | 0.12   | 0.13     | 0.09   |                      |
| 303       | 1842+681 | 1.43     | 0.19   | 1.17     | 0.18   | 0.40                 |
| 304       | 1848+283 | 0.71     | 0.14   | 0.87     | 0.19   | -0.40                |
| 305       | 1849+005 | 0.92     | 0.13   | 0.52     | 0.12   | 1.13                 |
| 306       | 1849+012 | 0.4      | 0.09   | 0.14     | 0.15   |                      |
| 307       | 1849+670 | 0.78     | 0.16   | 1.08     | 0.12   | -0.64                |
| 308       | 1850+008 | 0.9      | 0.13   | 0.3      | 0.09   |                      |
| 309       | 1904+070 | 0.23     | 0.13   | 0.24     | 0.11   |                      |
| 310       | 1923+210 | 1.07     | 0.19   | 1.28     | 0.15   | -0.35                |
| 311       | 1926+157 | 0.24     | 0.07   | 0.24     | 0.04   |                      |
| 312       | 1928+738 | 3.02     | 0.12   | 3.45     | 0.11   | -0.26                |
| 313       | 1942+257 | 0.26     | 0.12   | 0.21     | 0.08   |                      |
| 314       | 1945+276 | 0.17     | 0.15   | 0.18     | 0.13   |                      |
| 315       | 1947+079 | 0.74     | 0.19   | 0.76     | 0.14   | -0.05                |
| 316       | 1947+267 | 1.74     | 0.25   | 1.16     | 0.2    | 0.80                 |
| 317       | 1954+513 | 0.38     | 0.12   | 0.41     | 0.13   | -0.15                |
| 318       | 1957+225 | 0.51     | 0.13   | 0.56     | 0.09   | -0.19                |
| 319       | 2000+472 | 0.21     | 0.1    | 0.37     | 0.24   | -1.12                |
| 320       | 2008+332 | 0.36     | 0.16   | 0.19     | 0.06   |                      |
| 321       | 2010+723 | 0.68     | 0.11   | 0.96     | 0.08   | -0.68                |
| 322       | 2021+317 | 0.55     | 0.16   | 0.35     | 0.13   |                      |
| 323       | 2021+614 | 1.52     | 0.11   | 1.19     | 0.05   | 0.48                 |
| 324       | 2022+542 | 0.27     | 0.14   | 0.22     | 0.07   |                      |
| 325       | 2021+317 | 0.45     | 0.11   | 0.52     | 0.12   | -0.29                |
| 326       | 2023+335 | 1.2      | 0.18   | 1.5      | 0.25   | -0.44                |
| 327       | 2029+121 | 0.45     | 0.14   | 0.36     | 0.13   |                      |
| 328       | 2030+547 | 0.63     | 0.11   | 0.69     | 0.14   | -0.18                |
| 329       | 2032+107 | 0.75     | 0.09   | 0.96     | 0.15   | -0.49                |
| 330       | 2032+454 | 0.29     | 0.17   | 0.3      | 0.14   |                      |
| 331       | 2047+098 | 0.28     | 0.11   | 0.35     | 0.09   |                      |
| 332       | 2050+364 | 0.59     | 0.1    | 0.32     | 0.12   |                      |
| 333       | 2059+034 | 0.85     | 0.19   | 0.78     | 0.23   | 0.17                 |
| 334       | 2107+353 | 0.78     | 0.11   | 1.11     | 0.19   | -0.70                |
| 335       | 2112+283 | 0.25     | 0.13   | 0.21     | 0.06   |                      |
| 336       | 2113+203 | 0.68     | 0.15   | 0.62     | 0.17   | 0.18                 |
| 337       | 2113+293 | 0.22     | 0.14   | 0.21     | 0.11   |                      |
| 338       | 2121+053 | 2.11     | 0.28   | 1.61     | 0.19   | 0.54                 |
| 339       | 2124+641 | 0.89     | 0.12   | 0.86     | 0.18   | 0.07                 |
| 340       | 2128+048 | 0.45     | 0.13   | 0.22     | 0.12   |                      |
| 341       | 2134+004 | 4.25     | 0.43   | 3.12     | 0.35   | 0.61                 |
| 342       | 2136+141 | 1.39     | 0.21   | 2.08     | 0.22   | -0.80                |
| 343       | 2141+175 | 0.99     | 0.1    | 1.39     | 0.07   | -0.67                |

Окончание табл. 1

| Номер п/п | Источник | 22.2 ГГц |        | 36.8 ГГц |        | $\alpha_{22.2-36.8}$ |
|-----------|----------|----------|--------|----------|--------|----------------------|
|           |          | S, Ян    | dS, Ян | S, Ян    | dS, Ян |                      |
| 344       | 2144+092 | 0.36     | 0.11   | 0.4      | 0.12   | -0.21                |
| 345       | 2145+067 | 9.87     | 0.61   | 8.9      | 0.9    | 0.20                 |
| 346       | 2149+056 | 0.27     | 0.11   | 0.4      | 0.06   | -0.78                |
| 347       | 2149+069 | 0.76     | 0.08   | 0.8      | 0.11   | -0.10                |
| 348       | 2149+385 | 0.34     | 0.12   | 0.31     | 0.05   | 0.18                 |
| 349       | 2150+173 | 0.74     | 0.13   | 0.78     | 0.05   | -0.10                |
| 350       | 2151+470 | 0.57     | 0.13   | 0.55     | 0.11   | 0.07                 |
| 351       | 2159+505 | 0.81     | 0.1    | 0.87     | 0.03   | -0.14                |
| 352       | 2200+420 | 5.54     | 0.57   | 6.62     | 0.69   | -0.35                |
| 353       | 2201+171 | 1.22     | 0.15   | 1.29     | 0.14   | -0.11                |
| 354       | 2201+315 | 2.45     | 0.26   | 2.56     | 0.39   | -0.09                |
| 355       | 2209+236 | 1.68     | 0.2    | 1.22     | 0.11   | 0.63                 |
| 356       | 2210+016 | 0.35     | 0.11   | 0.39     | 0.05   | -0.21                |
| 357       | 2214+350 | 0.39     | 0.12   | 0.2      | 0.19   |                      |
| 358       | 2214+598 | 0.21     | 0.14   | 0.28     | 0.16   |                      |
| 359       | 2223+052 | 4.91     | 0.15   | 5.72     | 0.14   | -0.30                |
| 360       | 2223+210 | 0.84     | 0.14   | 0.76     | 0.18   | 0.20                 |
| 361       | 2229+591 | 0.45     | 0.12   | 0.48     | 0.09   | -0.13                |
| 362       | 2229+693 | 0.62     | 0.1    | 0.69     | 0.11   | -0.21                |
| 363       | 2230+114 | 3.11     | 0.34   | 6.7      | 0.69   | -1.52                |
| 364       | 2234+282 | 0.79     | 0.16   | 1.47     | 0.16   | -1.23                |
| 365       | 2239+096 | 0.31     | 0.11   | 0.26     | 0.1    |                      |
| 366       | 2246+208 | 0.4      | 0.1    | 0.45     | 0.05   | -0.23                |
| 367       | 2247+140 | 0.3      | 0.15   | 0.21     | 0.05   |                      |
| 368       | 2247+596 | 1.06     | 0.17   | 0.73     | 0.15   | 0.74                 |
| 369       | 2251+134 | 0.6      | 0.14   | 0.84     | 0.14   | -0.67                |
| 370       | 2251+158 | 7.61     | 0.79   | 15.76    | 0.44   | -1.44                |
| 371       | 2253+417 | 0.43     | 0.13   | 0.52     | 0.14   | -0.38                |
| 372       | 2254+024 | 0.23     | 0.13   | 0.18     | 0.09   |                      |
| 373       | 2254+074 | 0.49     | 0.13   | 0.39     | 0.09   | 0.45                 |
| 374       | 2255+416 | 0.21     | 0.08   | 0.2      | 0.12   |                      |
| 375       | 2256+017 | 0.3      | 0.12   | 0.31     | 0.15   |                      |
| 376       | 2301+060 | 0.42     | 0.12   | 0.42     | 0.06   | 0.00                 |
| 377       | 2303+599 | 1.47     | 0.21   | 1.27     | 0.18   | 0.29                 |
| 378       | 2308+341 | 0.52     | 0.14   | 0.48     | 0.17   | 0.16                 |
| 379       | 2313+608 | 0.74     | 0.14   | 0.81     | 0.19   | -0.18                |
| 380       | 2318+049 | 0.89     | 0.14   | 0.84     | 0.08   | 0.11                 |
| 381       | 2319+272 | 0.92     | 0.19   | 0.89     | 0.19   | 0.07                 |
| 382       | 2320+079 | 0.19     | 0.13   | 0.29     | 0.11   |                      |
| 383       | 2320+506 | 0.64     | 0.11   | 0.91     | 0.14   | -0.70                |
| 384       | 2325+093 | 1.43     | 0.23   | 1.05     | 0.13   | 0.61                 |
| 385       | 2328+107 | 0.95     | 0.13   | 1.23     | 0.16   | -0.51                |
| 386       | 2330+083 | 0.26     | 0.12   | 0.29     | 0.08   |                      |
| 387       | 2331+072 | 1.23     | 0.15   | 1.1      | 0.14   | 0.22                 |
| 388       | 2335+031 | 0.23     | 0.09   | 0.33     | 0.07   | -0.71                |
| 389       | 2337+264 | 0.14     | 0.11   | 0.38     | 0.19   |                      |
| 390       | 2344+092 | 1.05     | 0.15   | 0.93     | 0.29   | 0.24                 |
| 391       | 2350+602 | 0.46     | 0.09   | 0.36     | 0.12   | 0.49                 |
| 392       | 2359+643 | 0.19     | 0.11   | 0.22     | 0.01   |                      |

людений. В первый год наблюдений он имел потоки 1.6 и 3.4 Ян на частотах 23 и 33 ГГц соответственно. Спектральный индекс между указанными частотами  $\alpha = -2.1$ . Это указывает на то, что объект во время его регистрации мог находиться в стадии вспышки. В это время его поток мог возрасти в несколько раз по отношению к спокойному состоянию, когда уровень потока находился ощутимо ниже порога обнаружения обзора.

Подобный объект есть и в нашем в списке, это B0430+052, измеренные потоки которого на частотах 22.2 и 36.8 ГГц равны соответственно 2.4 и 6.9 Ян, а спектральный индекс тоже равен  $\alpha = -2.07$ . Мы зафиксировали вспышку в этом источнике, которая появилась сначала на частоте 36.8 ГГц. Очевидно, подобную вспышку обнаружил WMAP для источника B0212+015.

Отличие спектрального индекса от величины 2.5 (для оптически толстого источника) может объясняться тем, что в спокойной фазе у источников, связанными с активными ядрами галактик, есть некоторый уровень потока («подложка»). Величину этого потока необходимо учитывать при вычислении спектральных индексов вспышек. Для рассмотренного случая, чтобы объяснить отсутствие источника в списке WMAP трех лет наблюдений, необходимо предположить, что уровень «подложки» достаточно низок, и усредненное за три года значение потока при вспышке оказалось ниже порога выделения каталога WMAP. Предполагая значение потока «подложки» 0.4 Ян на частоте 33 ГГц, получим (даже с учетом ошибки определения потока), что уверенный уровень выделения источников каталога WMAP находится в диапазоне потоков порядка 1.5 Ян.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ИСТОЧНИКОВ

Каталог дискретных источников WMAP содержит информацию об объектах в пяти частотных каналах от 23 до 94 ГГц. В зависимости от частотного канала и времени интегрирования в каждом пикселе точность определения потоков составляет 0.04–0.5 Ян для источников с пото-

ком 1 Ян. Тем не менее, статистическая ошибка определения среднего спектрального индекса мала и составляет около 0.01–0.02. Основные погрешности связаны с систематическими ошибками при определении потоков источников в разных спектральных каналах. Относительная погрешность в 3–4 % привязки шкал в двух соседних каналах (например 23 и 33 ГГц) приводит к искажению среднего спектрального индекса на величину 0.15. Кроме того, нужно учитывать, что обзор WMAP ограничен конфигурией, связанной с угловыми флуктуациями реликтового фона. Поэтому увеличение времени накопления сигнала не приводит к снижению порога выделения источников.

Наши частотные каналы наблюдений источников каталога «РадиоАстрон» 22.2 и 36.8 ГГц близки к первым двум частотным каналам WMAP (23 и 33 ГГц). В дальнейшем мы будем проводить сравнение спектральных характеристик источников относительно спектральных данных, полученных между указанными частотами.

Распределение спектральных индексов каталога WMAP (являющегося составной частью каталога «РадиоАстрон») приведены на рис. 1, а. Спектральные индексы источников каталога WMAP получены между частотами 23 и 33 ГГц. На рис. 1, б приведено распределение спектральных индексов источников, выделенных при просмотре объектов каталога «РадиоАстрон». Спектральные индексы источников каталога WMAP получены между частотами 22.2 и 36.8 ГГц. Для источников WMAP спектральные индексы получены для 147 объектов. Для остальных отсутствовали данные на одной из частот — 23 или 33 ГГц. Нами были получены спектральные индексы для 252 источников, которые были уверенно выделены на двух частотах.

Было определено значение среднего спектрального индекса  $\alpha$  источников северного неба в каталоге WMAP трех лет наблюдений. Источники, которые не имели данных в одном из двух указанных каналов в каталоге WMAP, не учитывались. Доля таких объектов была незначительной (менее 10 %). Среднее значение спектрального индекса  $\alpha_{\text{cp}}^{\text{WMAP}} = 0.05$ , если считать, что потоки источников  $S \propto \nu^{-\alpha}$  ( $\nu$  — час-

тота наблюдений,  $\alpha = [\lg(S_{33}/S_{23})] / [\lg(33/23)]$  — спектральный индекс).

Спектральные индексы источников  $\alpha$ , полученные нами по данным наблюдений на частотах 22.2 и 36.8 ГГц с помощью РТ-22, приведены в седьмой графе табл. 1. Среднее значение спектрального индекса между частотами 22.2 и 36.8 ГГц:  $\alpha_{\text{ср}}^{\text{РА}} = -0.16$ . Отличие средних значений спектральных индексов выборки каталога «РадиоАстрон» и каталога WMAP составляет величину 0.21, т. е. выборка источников предварительного каталога «РадиоАстрон» содержит источники, имеющие избытки плотности излучения на коротких длинах волн.

Полуширина распределений спектрального индекса источников равна  $\Delta\alpha^{\text{WMAP}} = 0.8$ . Аналогичное значение  $\Delta\alpha$  для объектов каталога «РадиоАстрон» составляет  $\Delta\alpha^{\text{РА}} = 1.2$ , что в полтора раза больше. Смещение распределения спектральных индексов источников каталога «РадиоАстрон» в положительную сторону и увеличение ширины распределения указывает на то, что статистические свойства спектральных характеристик источников «РадиоАстрон» отличаются от свойств полной выборки обзора источников WMAP. На этапе составления предварительного каталога «РадиоАстрон» мы не включали источники, предположительно имеющие нормальные спектры вплоть до миллиметрового диапазона длин волн. Небольшая асимметрия в распределениях спектральных индексов источников может свидетельствовать о большой доле источников со спектральными индексами вблизи нулевых значений. Наличие объектов, имеющих почти нулевые значения спектральных индексов, является характерной чертой активных ядер галактик.

Интересно отметить, что относительная доля источников с инвертированными спектрами (отрицательные значения спектральных индексов) несколько меньше половины в каталоге WMAP, и наоборот, больше половины в выборке каталога «РадиоАстрон». Характер распределения спектральных индексов указывает на то, что доля квазаров и вообще АЯГ значительно возрастает по сравнению с их долей в сантиметровых обзорах неба [13].

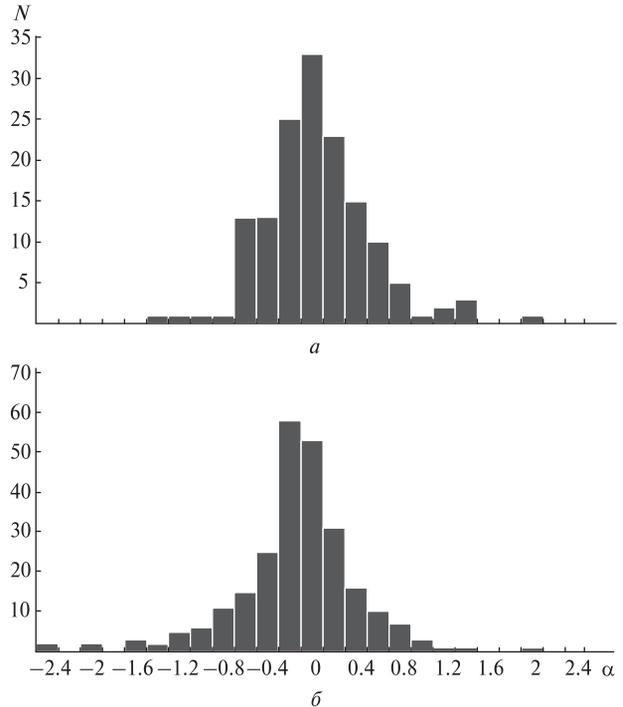


Рис 1. Распределение количества  $N$  источников по значениям спектрального индекса  $\alpha$  для каталога WMAP (а) и каталога «РадиоАстрон» (б)

Наблюдениями выборки источников каталога «РадиоАстрон» и сравнением источников каталога «WMAP», входящих в каталог «РадиоАстрон», установлено, что значительная часть объектов — переменные источники. В то же время доля объектов, показывающих очень сильную переменность потока излучения, не превышает 5%. На основании программы патрулирования переменных источников, которая проводится на РТ-22 в течение нескольких последних десятилетий, нами был обнаружен ряд источников, потоки которых значительно изменились со времени предыдущих измерений. Были обнаружены источники, у которых потоки значительно уменьшились, и несколько объектов, находящихся в стадии вспышек, когда поток возрос в несколько раз. Примером может служить объект 2251+158, вспышка излучения которого наблюдается на частотах 36.8 и 22.2 ГГц [22]. Начало вспышки было зарегистрировано на частоте 36.8 ГГц. На частоте 22.2 ГГц вспышка еще не

распространилась на эпоху наблюдений, что связано с механизмами излучения на разных частотах.

Детальные исследования поведения вспышечных явлений в зависимости от частоты дают очень ценный материал для изучения физической природы как самого источника, так и среды, через которую распространяется излучение. В составляющей переменности потока наблюдаются квазипериодические составляющие переменности потока, определяемые как кинематическими особенностями двойной черной дыры, находящейся в центральной области, так и физическими условиями в её газовом окружении.

В долговременной переменности источника есть составляющая изменения потока с характерным временным масштабом несколько лет на фоне значительного изменения уровня потока в течение более короткого периода времени. Не исключено, что квазипериодические изменения с указанными периодами могут инициироваться прецессионным и нутационным движениями в ядерной области объекта, приводящими к значительному выбросу излучающего вещества в магнитном поле источника. Возможно, что есть определенные фазы нутационного и прецессионного периодов, в которые происходит выброс вещества, накапливающегося в районах магнитных полюсов системы. Похоже, что прецессионные и нутационные явления в тесной двойной системе могут управлять уровнем активности в ядре.

Наряду с ситуацией, когда спектральные индексы по данным WMAP и РТ-22 для одних и тех же источников согласуются между собой, есть случаи значительных различий индексов для одних и тех же источников. Так, например, источник В0430+052 находится в состоянии вспышки во время наблюдений на РТ-22, в то время как в каталоге WMAP — это объект с практически неизменным потоком на частотах 23 и 33 ГГц. Такая же ситуация наблюдается и для источника В1116+128, который значительно увеличил свой поток в высокочастотном канале при наблюдениях на РТ-22. Есть и противоположные примеры. Источник В2325+093 находился в активном состоянии во время наб-

людений с WMAP. Возможным объяснением может быть то, что усреднение данных во время космической миссии производилось в течение значительного времени и вспышечные явления усреднялись в большей степени, чем при измерениях потоков источников на РТ-22.

## ПОДСЧЕТЫ ИСТОЧНИКОВ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ

В работе по данным наблюдений WMAP приведена статистическая зависимость подсчетов источников в зависимости от потока  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  [22]. Для каталога WMAP эта зависимость приведена для частоты 40.7 ГГц (частотная полоса  $Q$ ). Статистика  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  дополнена данными из других обзоров небольших участков неба, выполненных на коротких длинах волн в диапазонах от 15 до 33 ГГц [20, 25, 26, 35].

Данные обзоров, выполненных на различных частотах и приведенные на одном графике трудны для понимания. Поэтому для построения статистической зависимости  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  вблизи частоты 22 ГГц (высокочастотный канал будущей космической миссии «РадиоАстрон») мы использовали данные двух обзоров, а именно WMAP в канале  $K$  (23 ГГц) и пилот-обзора АТ20 (20 ГГц). Последний обзор покрывал зону в диапазоне склонений от  $-60^\circ$  до  $-70^\circ$  и заведомо полон в отмеченной зоне до уровня потока 150 мЯн [4]. Каталог WMAP имеет полноту вблизи границы потоков около 1 Ян. Поэтому статистика  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  до уровня потоков 1 Ян строилась на основе данных WMAP, а ниже, до потоков в 0.15 Ян, — с использованием пилот-обзора АТ20. Площадь обзора WMAP в каталоге дискретных источников составляет около 9 ср. Для обзора АТ20 она составляет 0.46 ср. В табл. 2 приведена дифференциальная статистика  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$ , где указаны величины интервалов потоков, число источников в каждом интервале во всей зоне обзора и число источников для случая евклидовой Вселенной.

На рис. 2 приведена дифференциальная статистическая зависимость  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$ , построенная относительно евклидового распределения объектов в пространстве (закон распределения 3/2).

В интервале потоков  $S > 1$  Ян зависимость  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0)$  от  $\lg S$  мало отличается от эвклидового распределения ( $N/N_0 \sim 1$ ). Космологическое падение плотности источников начинается с потоков менее 1 Ян. На уровне 0.2 Ян плотность источников уменьшается вдвое по сравнению с эвклидовым распределением. Это совпадает с нашими данными, полученными в работе [5], где приведена зависимость  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  для частоты 22 ГГц, но заметно отличается от данных, полученных на частоте 4 ГГц, где космологический «загиб» распределения находится ниже уровня потока 0.1 Ян [7].

Полученные результаты можно объяснить в рамках двух основных популяций источников — квазаров и радиогалактик. Поведения статистических зависимостей этих популяций объектов заметно отличаются друг от друга. В среднем от квазаров наблюдаются большие потоки. К тому же, их спектральные характеристики значительно отличаются от спектрального распределения излучения радиогалактик. Среди квазаров много объектов с плоскими и инвертированными спектрами. Популяция радиогалактик в основном включает в себя объекты с нормальными спектрами. Поэтому на высоких частотах относительная плотность радиогалактик существенно ниже плотности квазаров. Это особенно заметно для сильных источников. Действие указанных эффектов приводит к тому, что часть эвклидового участка  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$ , определяемого радиогалактиками, исчезает, и космологических «завал» кривой подсчетов источников начинается с больших потоков. Обзоры небольших участков неба на более высоких частотах — 31 ГГц [25] и 33 ГГц [20] подтверждают наши выводы, но отягощены большими статистическими ошибками.

По данным пилот-обзора АТ20 около 2/3 источников вблизи частоты 20 ГГц имеют инвертированные и нелинейные спектры, что исключает возможность корректно пересчитать статистические зависимости  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  с низких частот, где выполнены поисковые обзоры неба, на высокие частоты, где они отсутствуют.

Подобная проблема возникает и при учете вклада дискретных источников при проведении

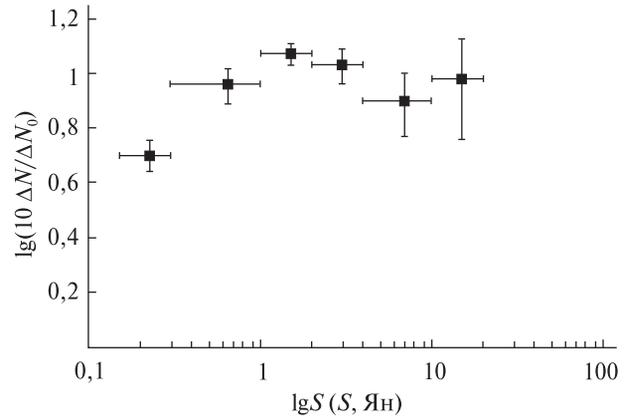


Рис. 2. Дифференциальная статистическая зависимость  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0)$  от  $\lg S$

Таблица 2. Дифференциальная статистика  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$

| $\Delta S$ , Ян | $N$          | $N_0$ | Площадь зоны обзора, ср |
|-----------------|--------------|-------|-------------------------|
| >10             | $6 \pm 2.4$  | 6.3   | 9                       |
| 4–10            | $15 \pm 3.9$ | 18.7  | 9                       |
| 2–4             | $49 \pm 7$   | 45.7  | 9                       |
| 1–2             | $122 \pm 11$ | 104.3 | 9                       |
| 0.3–1           | $47 \pm 6.8$ | 51    | 0.46                    |
| 0.15–0.3        | $56 \pm 7.5$ | 111   | 0.46                    |

фоновых исследований. Реальные ошибки таких экстраполяций ощутимо выше, чем было принято считать ранее. Все это указывает на то, что если мы хотим посчитать вклад дискретных источников в антенную температуру в каждом участке небесной сферы с заданными размерами, нам необходимо иметь данные поисковых обзоров на высоких частотах, где выполняются фоновые измерения. Уровни потоков, до которых необходимо проводить поисковые обзоры неба, определяются на основе статистической зависимости  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  и уровнем отклонения в распределении источников по небесной сфере от случайного распределения. Учитывая, что крупномасштабная структура источников видна уже на красных смещениях  $z = 5$ , на некотором угловом масштабе (порядка  $1^\circ$ ) должны быть отклонения от пуассоновского распределения радиоисточников по небесной сфере. Подобные отклонения (4–5 %) были обнаруже-

ны нами из анализа сантиметровых обзоров неба. Это приводит к тому, что уровни поисковых обзоров неба на частотах исследований реликтового фона необходимо снизить до 3–5 мЯн.

Источники WMAP являются объектами с большими потоками по сравнению с источниками поисковых обзоров на сантиметровых длинах волн. На уровне видимой звёздной величины  $m = 22$  с оптическими объектами отождествлено около 98 % объектов WMAP [8]. Основной состав отождествленных источников — квазары, АЯГ и объекты типа BL Lac (~ 88 %). Остальная часть представлена галактиками (~ 12 %). Последнему значению можно поставить в соответствие источники со спектральными индексами ( $\alpha > 0.3$ ), что следует из анализа гистограмм распределений спектральных индексов (рис. 1). Незначительная доля источников (~ 5 %) с нормальными и крутыми спектрами ( $\alpha > 0.7$ ) указывает на то, что среди сильных источников высокочастотных обзоров неба практически нет объектов с протяженными областями, в которых релятивистские электроны уже успели выветиться. Такие объекты уже прошли активную фазу, возможно закончившуюся слиянием сверхмассивных черных дыр в ядерной области галактики.

Существенную часть активных внегалактических источников каталога WMAP составляют объекты на космологических расстояниях, где эффекты, связанные с красным смещением, уже становятся существенными. Тем не менее, мы не наблюдаем космологического уменьшения плотности источников по сравнению с евклидовой моделью для объектов списка WMAP. Это можно объяснить тем, что космологический «завал» статистики  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  скомпенсирован эволюционными изменениями плотности.

Интересно сравнить количественный состав различных объектов, их оптические и радиохарактеристики, которые получены в обзоре AT20 (частота 20 ГГц) до уровня потоков 100 мЯн [28]. В работе [5] найдена зависимость среднего спектрального индекса полных выборок источников (WMAP и AT20) от потока. Показано, что при изменении потока в 10 раз (с 1 до 0.1 Ян) доля источников с инвертированными спектрами

уменьшается примерно в 1.4 раза. Это должно привести и к изменению процентного состава радиогалактик и объектов с активными ядрами. Анализ, проведенный в работе [28], указывает на то, что уровень отождествлений с оптическими объектами снизился до 85 %. Среди отождествленных источников 76 % составляют квазары, активные ядра и объекты типа BL Lac. Доля радиогалактик равна 20 %. Среди 15 % неотожествленных источников могут преобладать радиогалактики.

По спектральным радиохарактеристикам обзора AT20 можно отметить следующее. Доля радиоисточников с инвертированными спектрами составляет около 40 %, что хорошо согласуется с нашими расчетами (35 %), выполненными на основе экстраполяции спектральных характеристик с частот ниже 15 ГГц [5].

Несмотря на уменьшение уровня потока в 10 раз в обзоре AT20 по сравнению с WMAP, доля отождествленных источников (85 %) существенно выше, чем на сантиметровых длинах волн, где отождествляется не более 40 % источников полной выборки [34]. Среди отождествленных источников половина радиогалактик и половина АЯГ.

В заключение можно отметить, что статистические исследования изменений состава популяций и их спектральных характеристик с частотой указывают на то, что начиная с частот 15 ГГц и выше в обзорах преобладают квазары и связанные с ними объекты с активными галактическими ядрами. Имеется плавная зависимость среднего спектрального индекса от потока [5]. Процент отождествлений радиоисточников с оптическими объектами очень высок (более 85 %). Преобладает популяция удаленных источников с ярко выраженными космологическими эффектами, связанными с влиянием красного смещения и космологической эволюции.

## ПЕРЕМЕННОСТЬ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ

Феномен переменности потока излучения является типичным для источников обзоров, выполненных на высоких частотах. По-видимому, все объекты, кроме небольшой части радиогалак-

тик, являются в той или иной степени переменными источниками. Оценка доли переменных источников связана с чувствительностью наблюдений. Для выделения переменности на уровне 3–5 % требуются постановка прецизионных наблюдений. Последнее исключает проведение массовых измерений источников [24, 28].

Переменность потока излучения источников не очень сильно зависит от частоты [28]. Это явилось в некотором смысле неожиданностью, так как предполагалось, что индекс переменности компактных радиоисточников должен увеличиваться с частотой. По данным пилот-обзора на частоте 20 ГГц доля источников с переменностью потока до 10 % на временном масштабе один год составляет около 60 %. Источников с переменностью потока от 10 до 20 % вдвое меньше. Доля сильно переменных источников (изменения потоков более чем 30 %) составляет 5 %. Это не противоречит сказанному в предыдущем абзаце, что на низких уровнях переменными могут быть все компактные объекты. В противном случае это трудно увязать с физической природой переменности потока излучения в этих объектах.

Похожие распределения спектральных индексов источников WMAP, полученные в разные эпохи (рис. 1), косвенным образом подтверждают сказанное ранее о переменности компактных источников на высоких частотах. Неизменность формы распределения и дисперсии подтверждает также тот факт, что спектральные характеристики, полученные на основе мгновенных спектров и спектров, полученных с разнесением по времени, практически одинаковы.

Тот факт, что уровень переменности потока слабо зависит от частоты, указывает на значительную долю кинематических эффектов в структуре переменности потока, когда переменность потока напрямую связана со структурой и динамикой двойных черных дыр в АЯГ. Так, в долговременной переменности потока излучения объекта АО 0235+164 на пяти частотах от 5 до 36 ГГц, несмотря на наличие очевидных задержек явлений переменности на разных частотах (см., например, развитие последней вспышки на частоте 36.8 ГГц в 2007 г.) [33], уровень пе-

ременности на разных частотах сильно не отличается друг от друга. Такой характер переменности потока излучения может указывать на то, что мы видим вспышки на фазе оптически тонкого источника, когда расширяющееся облако изменяет свои угловые размеры при наблюдениях на разных частотах.

В другом примере (источник 3С 454.3), кроме составляющей переменности, слабо зависящей от частоты, регистрируются вспышки, потоки от которых значительно разнятся от частоты к частоте [5]. В этих случаях мы можем наблюдать развитие вспышки на фазе оптически толстого источника (вблизи истоков джета), затем на этапе просветления — на большем расстоянии от черной дыры.

## ВЫВОДЫ

С использованием радиотелескопа РТ-22 НИИ «КрАО» на частотах 22.2 и 36.8 ГГц получены наблюдательные данные выборки источников из предварительного каталога «РадиоАстрон».

Полученный на РТ-22 каталог радиоисточников содержит данные по потокам источников на указанных частотах и спектральные индексы между двумя частотами для 252 объектов северного неба. В нескольких источниках были зафиксированы вспышки, которые привели к резкому изменению потоков и спектральных индексов.

Распределения спектральных индексов источников в каталоге WMAP и в каталоге РТ-22 характеризуются различием средних спектральных индексов и ширин распределений, что свидетельствует о наличии в каталоге «РадиоАстрон» большего количества объектов с плоскими и растущими спектрами.

Как и при наблюдениях с космического аппарата WMAP, полученный средний спектральный индекс полной выборки источников близок к нулевому значению, но сдвинут в сторону плоских и растущих спектров. Характер распределения спектральных индексов указывает на то, что основная часть объектов имеет плоские и инвертированные спектры.

Сравнение полученных данных с экстраполированными значениями с низких частот пока-

зывает совпадение усредненных характеристик выборки на фоне значительного отличия индивидуальных параметров для каждого источника. Это связано с тем, что около половины объектов на высоких частотах имеют искривленные спектры.

Поведение статистической зависимости  $\lg(10\Delta N/\Delta N_0) - \lg S$  подтверждает вывод о том, что основную долю объектов высокочастотных обзоров на уровнях потоков 1 Ян и больше представляют квазары и связанные с ними АЯГ. Статистика оптических отождествлений полностью согласуется с указанным выводом.

1. *Амирханян В. Р., Горшков А. Г., Ларионов М. Г. и др.* Зеленчукский многочастотный радиообзор // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории. — 1985. — Вып. 46. — С. 59.
2. *Амирханян В. Р., Горшков А. Г., Ларионов М. Г. и др.* Каталог радиоисточников Зеленчукского обзора неба в диапазоне склонений  $0^\circ \pm 14''$ . — М.: МГУ, 1989.
3. *Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Кардашев Н. С., Ларионов М. Г.* Исследование источников каталога WMAP // Астрон. журн. — 2008. — **85**, № 6. — С. 483–497.
4. *Вольвач А. Е., Кардашев Н. С., Ларионов М. Г.* Об исследовании компактных радиоисточников для программы «Радиоастрон» // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга. — 2004. — **75**. — С. 184–185.
5. *Вольвач А. Е., Кардашев Н. С., Ларионов М. Г. и др.* Исследование статистических и спектральных характеристик радиоисточников каталога «Радиоастрон» в мм-диапазоне длин волн // Кинематика и физика небес. тел. — 2007. — **23**, № 3. — С. 174–185.
6. *Ефанов В. А., Мусеев И. Г., Нестеров Н. С.* Обзор внегалактических радиоисточников на длине волны 1.35 см // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. — 1979. — **60**. — С. 3–13.
7. *Ларионов М. Г.* Статистика радиоисточников Зеленчукского обзора. Новая популяция источников? // Письма в Астрон. журн. — 1996. — **22**, № 6. — С. 434–438.
8. *Ларионов М. Г.* Распределение радиоисточников в эпоху формирования крупномасштабной структуры // Письма в Астрон. журн. — 1998. — **24**, № 1. — С. 3–9.
9. *Ларионов М. Г., Горшков А. Г., Попов М. В.* Новый радиоисточник с пекулярным спектром // Астрон. циркуляр. — 1970. — № 590. — С. 3–11.
10. *Ларионов М. Г., Горшков А. Г., Попов М. В., Мусеев И. Г.* Быстрый обзор неба на частоте 8550 МГц // Астрон. циркуляр. — 1971. — № 665. — С. 1–9.
11. *Ларионов М. Г., Нестеров Н. С.* Спектры и координаты трех источников из Зеленчукского обзора // Письма в Астрон. журн. — 1991. — **17**. — С. 794–796.
12. *Мусеев И. Г., Нестеров Н. С.* Калибровочные радиоисточники в миллиметровом диапазоне волн // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. — 1985. — **73**. — С. 189–197.
13. *Семенова Т. А., Бурсов Ю. Н., Парийский Ю. Н.* Радиоспектры объектов RZF-каталога РАТАН-600 и популяционный анализ слабых радиоисточников // Астрон. журн. — 2007. — **84**, № 4. — С. 291–297.
14. *Струков И. А., Скулачев Д. П.* Исследование анизотропии фонового излучения с борта ИСЗ. Эксперимент «Реликт» // Итоги науки и техники / ВИНТИ. Астрономия. — 1986. — **31**. — С. 37–72.
15. *Bash F. N.* Brightness distributions of radio sources at 2695 MHz // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 1968. — **16**. — P. 373–404.
16. *Bash F. N.* Brightness distributions of radio sources at 2695 MHz. — 1968. — PhD.
17. *Bennett C., Hill R. S., Hinshaw G., et al.* First year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Foreground emission // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2003. — **148**. — P. 97–117.
18. *Bolton J., Ekers J.* Identifications of strong extragalactic radio sources in the declination zone  $0^\circ$  to  $-20^\circ$  // *Austral. J. Phys.* — 1966. — **19**. — P. 713–727.
19. *Clark D.H., Crawford D.F.* A catalogue of small-diameter radio sources close to the galactic plane // *Austral. J. Phys.* — 1974. — **27**. — P. 713–727.
20. *Cleary K.A., Taylor A.C., Waldram E. et al.* Source subtraction for the extended Very Small Array and 33-GHz source count estimates // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* — 2005. — **360**, N 1. — P. 340–353.
21. *Gregory P. C., Scott W. K., Douglas K., Condon J. J. //* *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 1996. — **103**. — P. 427–432.
22. *Hinshaw G., Nolte M. R., Bennett C. L., et al.* Three-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Temperature analysis // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2007. — **170**, N 2. — P. 288–334.
23. *Kenderdine S., Ryle M., Pooley G.G.* Some observations of weak radio sources with the Cambridge one-mile telescope // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* — 1966. — **134**. — P. 189–210.
24. *Lawrence C. R., Bennett C. L., Hewitt J. N., et al.* 5 GHz radio structure and optical identifications of sources from the MG survey. II. Maps and finding charts // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 1986. — **61**. — P. 105–157.
25. *Mason B. S., Pearson T. J., Readhead A. C., et al.* The Anisotropy of the microwave background to  $l = 3500$ : Deep field observations with the cosmic background imager // *Astrophys. J.* — 2003. — **591**. — P. 540–555.
26. *Ricci R., Sadler E. M., Ekers R. D., et al.* First results from the Australia Telescope Compact Array 18-GHz pilot sur-

- vey // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2004. — **354**. — P. 305–320.
27. Ryle M., Neville A. C. A radio survey of the North polar region with a 4.5 minute of arc pencil-beam system // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 1962. — **125**. — P. 39–56.
28. Sadler E. M., Ricci R., Ekers R. D., et al. The properties of extragalactic radio sources selected at 20 GHz // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2006. — **371**, N 2. — P. 898–914.
29. Shimmins A., Day G. A. The Parkes catalogue of radio sources. Declination zone +20° to +27° // Austral. J. Phys. — 1968. — **21**. — P. 377–403.
30. Sholomitskii G. B. Variability of the radio source CTA 102 // Inform. Bull. Variable Stars. — 1965. — **83**. — P. 1–2.
31. Sillanpaa A., Takalo L. O., Pursimo T., et al. Confirmation of the 12-year optical outburst cycle in blazar OJ 287 // Astron. and Astrophys. — 1996. — **305**. — P. L17–L20.
32. Taylor A. C., Grainge K., Jones K., et al. The radio source counts at 15 GHz and their implications for cm-wave CMB imaging // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2001. — **327**, N 1. — P. L1–L4.
33. Tingay S. J., Launcey D. L., King E. A., et al. ATCA Monitoring observations of 202 compact radio sources in support of the VSOP AGN survey // Publ. Astron. Soc. Jap. — 2003. — **55**. — P. 351–384.
34. Trushkin S. A. Radio spectra of the WMAP catalog sources // Bull. Special Astrophys. Observatory. — 2003. — **55**. — P. 90–132.
35. Waldram E. M., Pooley G. G., Keith J. B., et al. 9C: A survey of radio sources at 15 GHz with the Ryle telescope // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 2003. — **342**. — P. 915–925.
36. Williams P., Collins R., Caswell I., Holden D. The radio spectra of sources in the fourth Cambridge catalogue // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 1968. — **139**. — P. 289–311.
37. Zensus J. A., Krichbaum T. P., Lobanov A. P. Morphology of high-luminosity compact radio sources // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1995. — **92**, N 25. — P. 11348–11355.
38. Zensus J. A., Ros E., Kellermann K. I., et al. Sub-milliarc-second imaging of quasars and active galactic nuclei. II. Additional sources // Astron. J. — 2002. — **124**, N 2. — P. 662–674.

Надійшла до редакції 13.04.09

A. E. Volvach

THE CATALOGUE OF SOURCES  
FOR THE FLIGHT PROGRAM «RADIOASTRON»

Observations of a sample of sources from the preliminary «Radioastron» catalogue were performed at 22.2 and 36.8 GHz with the RT-22 radio telescope of the Crimean Astrophysical Observatory. We determined the distribution of the source spectral indices between these frequencies. The distribution has a greater dispersion than in the WMAP catalogue for frequencies 23 and 33 GHz due to input parameters of the sample of the sources of the «Radioastron» catalogue. We plotted the  $\log(10\Delta N/N_0) - \log S$  dependence down to flux levels of about 0.1 Jy using the survey data for near 22 GHz where some reduction in the density of cosmological sources in relation to not evolving Euclidean universe is observed. The variability of individual sources in connection with flare activity is considered.