

ЯРКОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА И СПЕКТРАЛЬНЫЙ ИНДЕКС ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОГО ФОНА В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

На основании обзора Северного неба, выполненного с помощью крупнейшего радиотелескопа декаметровых волн УТР-2, построены карты распределенного низкочастотного радиоизлучения для обширных областей этой небесной полусферы, включая область вблизи минимума галактического излучения ($42^\circ < \delta_{2000} < 45^\circ$, $7^h 45^m < \alpha_{2000} < 8^h 35^m$). В диапазоне $12.6 \div 25$ МГц построены двухтемпературные зависимости яркостных температур фонового излучения для различных пар частот этого диапазона (метод $T-T$ диаграмм). Это позволило определить дифференциальный спектр излучения гало Галактики из указанной области неба, спектральный индекс которого равен $\beta_G = 2.81 \pm 0.03$. Кроме того, многочастотный метод $T-T$ диаграмм дал возможность определить яркостные температуры изотропного метагалактического фонового излучения в декаметровом диапазоне длин волн, значения которых составили (60 ± 10.0), (41.7 ± 6.0), (30.6 ± 4.2), (19.5 ± 3.6), (11.6 ± 10.0) кК на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20, 25 МГц соответственно, со спектральным индексом $\beta_M = 2.41 \pm 0.1$. Вклад Метагалактики составил около 70 % от всего излучения на всех частотах в исследуемой области.

Ключевые слова: метагалактический фон, метод $T-T$ диаграмм, спектральный индекс, декаметровый диапазон

1. Введение

Радионаблюдения в непрерывном (континуальном) спектре обеспечивают основную информацию о крупномасштабных свойствах радиоизлучения Галактики (см. обзорные работы [1, 2]). Полномасштабные обзоры позволяют изучать пространственные закономерности в распределении непрерывного радиоизлучения, его крупномасштабные неоднородности типа гало и диска Галактики, шпуров и петель в широком диапазоне частот, строить модели непрерывного радиоизлучения Галактики [3–5]. Знание истинной пространственной структуры Галактики и спектрального состава диффузного космического фона в широком диапазоне частот позволит, в частности, при корректном вычитании синхротронной составляющей Галактики и Метагалактики (радиояркость от сотен до десятков тысяч кельвин на частотах < 200 МГц) найти слабый (ожидаемый уровень – единицы милликельвин) сигнал 21-см линии водорода, возникший в начальные эпохи зарождения Вселенной ($1100 > z > 5$) и сдвинутый за счет красного смещения z в область низких частот.

Наблюдаемая температура неба T является суммой нескольких компонент:

$$T = T_G + T_M + T_0,$$

где T_G – неизотропная яркостная температура диффузного излучения Галактики, T_M – изотропная яркостная температура внегалактического фонового излучения, T_0 – ошибки уровня нуля (систематические ошибки, связанные с особенностями инструмента, методом наблюдений и обработки). Такие ошибки приводят к завышению или недооценке наблюдаемых температур неба и индивидуальны для разных инструментов и частот наблюдений. Таким образом, возникает задача разделения галактической и внегалактической компонент излучения с учетом ошибок уровня нуля радиообзоров.

Основным источником метагалактического радиодиапазона, особенно в длинноволновой части радиодиапазона, является синхротронное излучение неразрешаемых внегалактических радиоисточников, т. е. источников с потоками излучения ниже порога обнаружения радиобзоров. Определенный вклад вносит также диффузное излучение, связанное с крупномасштабными структурами Метагалактики, межгалактической средой и излучением кластеров, но оно считается незначительным [6, 7].

Первое непосредственное измерение температуры Метагалактики было выполнено Шайном [8] в 1959 г. на частоте 19.7 МГц по наблюдениям

в поглощении туманности 30 Золотой Рыбы в Большом Магеллановом Облаке. И хотя полученная оценка яркостной температуры ($7 \div 22$ К) имеет весьма низкую точность, эта работа имеет важное методологическое значение. Тартл и др. [9] определили яркостную температуру T_M и спектральный индекс внегалактического фона β_M графическим методом, представляющим экспериментальные данные измерения яркостных температур на двух частотах в виде диаграммы температура–температура ($T-T$), по осям которой для заданного склонения откладываются температуры на одной и другой частоте для каждой точки прямого восхождения исследуемого участка неба. Первый ряд исследований по определению T_M и β_M методом $T-T$ диаграмм был проведен более 40 лет назад [10, 11]. Здесь и далее частотная зависимость температуры считается степенной в виде $T(\nu) \sim \nu^{-\beta}$, где β – спектральный индекс. Следует отметить, что в этих работах температура метагалактического фона и ее спектральный индекс определялись независимым образом. Соответствующее значение температуры находилось путем подбора спектрального индекса, значение которого изменялось в интервале от 2.6 до 2.9. Наиболее часто используется значение яркостной температуры Метагалактики (30 ± 7) К на частоте 178 МГц, полученное в [11] для спектрального индекса $\beta_M = 2.75$, который соответствовал в то время общепринятому среднему спектральному индексу видимых внегалактических источников. Во всем имеющемся в литературе диапазоне значений β_M температура метагалактического фона на частоте 178 МГц меняется от 15 до 58 К. Стоит отметить, что метод $T-T$ диаграмм имеет уже долгую, заметную историю и развитие в радиоастрономии, позволяет получать надежную оценку спектрального индекса излучения по двум частотам, так как полностью независим от постоянных смещений температур на своих частотных картах (ошибок уровня нуля T_0). Кроме того, этот метод позволяет оценить вклад изотропной компоненты космического радиоизлучения и скорректировать нулевые уровни обзоров, имея их набор на разных частотах (см., например, [12–14]). Определению яркостной температуры внегалактического радифона посвящен и ряд недавних работ [15–18].

Оценка интенсивности метагалактического фона была получена также из наблюдений в поглоще-

нии далеких галактических областей III Sh209, Sh284 на радиотелескопе УТР-2 [19]. Так как эти области ионизованного водорода расположены в районе антицентра Галактики и, скорее всего, находятся на периферии нетеплового радиодиска Галактики, то в предположении, что излучение “заднего” по отношению к этим областям ионизованной материи фона является метагалактическим, была получена верхняя оценка $T_M \leq 31100$ К на частоте 14.7 МГц. С учетом опубликованных в то время данных этот результат свидетельствует о том, что $\beta_M \geq 2.75$ и соответствует диапазону яркостных температур внегалактического фона $15 \div 30$ К на частоте 178 МГц.

Суммарный поток от внегалактических дискретных источников на частоте ν можно определить также из подсчетов числа источников $N(S)$ (S – поток излучения источника). Так, на частоте 178 МГц совокупное излучение от входящих в подсчеты источников, включая радиоисточники с потоками вплоть до микроярнских, приводит к яркостной температуре ~ 20 К [6, 20]. А полный фон от всех радиоисточников, с учетом нормальных галактик и галактик со вспышечным звездообразованием, дает яркостную температуру в пределах $20 \div 24$ К, т. е. почти весь метагалактический фон можно объяснить излучением внегалактических точечных объектов.

Вклад неразрешаемых слабых внегалактических радиоисточников в общую яркость неба оценивают, экстраполируя функцию $N(S)$ для источников с потоками ниже порога обнаружения обзора либо используя экспериментальное определение параметра $N(S)$ для таких источников на основании статистического анализа распределения амплитуд спутывания – так называемого $P(D)$ -анализа [21, 22]. В последние годы был проведен ряд подсчетов числа источников в диапазоне частот от 150 до 8000 МГц, и на основании результатов этих подсчетов методом экстраполяции определены температуры внегалактического фонового излучения [23, 24]. Несмотря на один и тот же анализируемый в этих работах диапазон частот, спектральный индекс радифона Метагалактики оказался существенно разным: $\beta_M = 2.7 \pm 0.03$ [23] и $\beta_M = 2.28 \pm 0.02$ [24], – что, вероятно, связано с различными модельными представлениями структуры радиоизлучения Галактики, применяемыми авторами.

Проведенные в декаметровом диапазоне длин волн подсчеты источников на основании каталогов дискретных источников, составленных на УТР-2 [25–28], указывают на более сильные проявления эволюционных эффектов у внегалактических источников радиоизлучения с понижением частоты. Из вышеизложенного следует, что определение метагалактической составляющей по столь сложной многопараметрической зависимости, как $N(S)$, является неоднозначной задачей.

Как известно, яркостная температура Метагалактики T_M степенным образом зависит от частоты ν

$$T_M(\nu) = T_{M_0} (\nu/\nu_0)^{-\beta_M}, \quad (1)$$

где T_{M_0} – яркостная температура Метагалактики на частоте ν_0 .

Как указывалось выше, из подсчетов источников [23, 24, 29], $T-T$ диаграмм [13, 15] и модельных расчетов [11, 30] были получены значения спектрального индекса β_M , лежащие в интервале от 2.28 до 2.9, что приводит к значительному разбросу значений T_{M_0} . Различие настолько велико, что при пересчете яркостной температуры метагалактического фона, например, к декаметровым длинам волн, можно получить значения, противоречащие наблюдательным данным. На проблему экстраполяции T_M к низким радиочастотам указывается и в [31]. Поэтому вопрос корректного определения спектрального индекса и температуры внегалактического фона, особенно для низких частот наблюдений, остается актуальным.

Цель работы – найти яркостную температуру T_M и спектральный индекс внегалактического фонового излучения β_M в декаметровом диапазоне длин волн, используя обзор части Северного неба, примыкающей к области минимальной радиояркости, выполненный на радиотелескопе УТР-2 [32] на пяти частотах: 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц. Для анализа данных, полученных на УТР-2, мы изменили стандартную процедуру применения метода $T-T$ диаграмм, при которой он используется только для одной пары частот. Воспользовавшись таким преимуществом УТР-2, как многочастотность, мы применили $T-T$ анализ одновременно ко всем возможным сочетаниям пар частот, что позволило определить как

температуры фонового излучения Метагалактики, так и его спектр без привлечения каких-либо модельных предположений, а также найти ошибки уровня нуля на каждой частоте наблюдения. Мы назвали такое применение $T-T$ анализа “многочастотным методом $T-T$ диаграмм”.

2. Многочастотный метод $T-T$ диаграмм

Стандартный метод $T-T$ диаграмм [9, 13] основывается на анализе графиков, на которых по осям откладываются яркостные температуры T_{ν_1} и T_{ν_2} для одних и тех же точек неба, наблюдаемые на двух частотах ν_1 и ν_2 на заданном склонении для каждой точки прямого восхождения исследуемого участка неба. Пример $T-T$ диаграммы для $\nu_1 > \nu_2$ показан на рис. 1. Вследствие степенной зависимости яркостных температур в областях неба, где спектральный индекс не меняется и есть градиент изменения радиояркости, точки на $T-T$ диаграмме ложатся на прямую линию, составляющую с осью абсцисс угол θ , для которого, как известно, [9, 13]

$$\operatorname{tg}\theta = (\nu_2/\nu_1)^{\beta_G}, \quad (2)$$

где β_G – дифференциальный спектральный индекс яркостных температур радиоизлучения Галактики. Спектральный индекс, полученный таким методом называют дифференциальным, имея в виду то обстоятельство, что $T-T$ диаграмму можно построить только для участка неба, в пределах которого имеется градиент температуры. Для областей неба, где спектральный индекс радиоизлучения начинает меняться, на $T-T$ графике про-

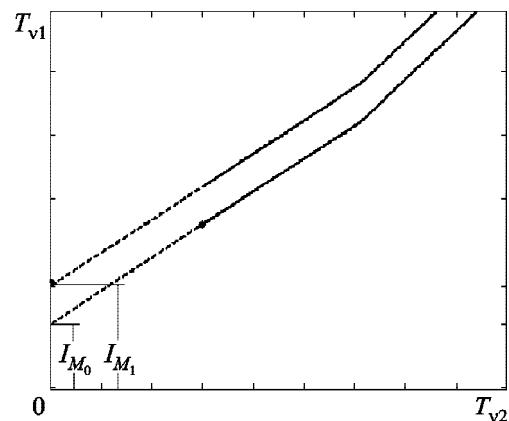


Рис. 1. Пример $T-T$ диаграммы

исходит изменение наклона линии, могут образовываться петли и ответвления [33–35]. Внегалактическому фону, вследствие изотропности его излучения, на $T-T$ диаграмме соответствует точка. Наличие изотропного внегалактического излучения приводит к тому, что продолжение линии (обозначена пунктиром на рисунке) будет пересекать ось $T-T$ графика не в начале координат, а в точке, отсекающей на оси ординат отрезок I_{M_0} , который мы в дальнейшем будем называть “сдвигом”. Величина этого сдвига зависит от температуры и спектрального индекса внегалактического фонового радиоизлучения [9, 36]:

$$I_{M_0} = T_{M_2} \left((v_2/v_1)^{\beta_M} - (v_2/v_1)^{\beta_G} \right). \quad (3)$$

Из $T-T$ диаграмм непосредственно определяется дифференциальный спектральный индекс фонового радиоизлучения Галактики (2). Имея по крайней мере две $T-T$ диаграммы для разных частотных пар, т. е. систему из двух уравнений (3) с двумя неизвестными β_M и T_M , можно определить и спектральный индекс, и температуру внегалактического фонового радиоизлучения при условии, что спектральные индексы галактического и внегалактического радиоизлучения отличаются [35]. Но в результатах наблюдений всегда присутствуют ошибки уровня нуля T_0 . Эти ошибки обусловлены в основном систематическими ошибками первого порядка на каждой частоте и не оказывают влияния на значение дифференциального спектрального индекса β_G , т. е. не влияют на наклон прямой, но смещают ее по оси ординат (см. рис. 1), например, в точку I_{M_1} ($I_{M_1} = I_{M_0} + T_{01}$). Смещение вверх по оси ординат происходит, если ошибка уровня нуля положительна и присутствует на частоте v_1 . Этого же знака ошибка уровня нуля T_{02} на частоте v_2 сместит прямую вниз по оси ординат на величину $-T_{02}(v_2/v_1)^{\beta_G}$. Таким образом, сдвиг по оси ординат, полученный по экспериментальным данным, представляет собой сумму сдвигов из-за инструментальных и вычислительных ошибок на каждой частоте и изотропного излучения Метагалактики. Сдвиги уровня нуля тоже определяют с помощью $T-T$ диаграмм. В этом случае вначале из наблюдаемых температур исключают вклад внегалактического фона, в предшествующих работах чаще всего для этого использовали

значение T_M , определенное в [11]. Если после этой процедуры $T-T$ график не проходит через начало координат, то соответствующий сдвиг принимается за ошибку уровня нуля T_0 [13, 37].

Решить проблему разделения всех компонент, входящих в суммарную яркостную температуру радиоизлучения неба, можно при помощи многочастотных обзоров. Для каждого многочастотного $T-T$ графика одна из частот наблюдений v_i выбирается в качестве опорной (обычно значения температур на этой частоте откладываются на оси ординат). Относительно этой частоты строятся $T-T$ графики для имеющегося набора v_j частот. Построенные прямые отсекают на оси ординат отрезки $I_{M_{ij}}$. Определив сдвиги из $T-T$ диаграммы для каждой пары частот (v_i, v_j) и используя уравнение (3), мы можем записать выражение для температуры Метагалактики $T_{M_{ij}}$ на частоте v_j :

$$T_{M_{ij}} = \frac{I_{M_{ij}}}{\left(v_j/v_i \right)^{\beta_M} - \left(v_j/v_i \right)^{\beta_G}}. \quad (4)$$

Таким образом, мы имеем систему нелинейных уравнений для всех возможных комбинаций пар частот, состоящую из $i \times j$ уравнений ($j = i - 1$). С математической точки зрения этой системы достаточно для определения всех искомых параметров. Когда же дело касается реальных радиоастрономических данных, то появляется еще ряд трудностей, не позволяющих однозначно решить эту систему. Так, при переборе “прямых” ($v_i > v_j$) и “обратных” ($v_i < v_j$) пар частот получаются два набора различающихся параметров спектральных индексов и сдвигов. В основном это связано с обычно применяемой стандартной процедурой линейной регрессии для данных, полученных со своими ошибками (подробнее см. работу [38] и приведенные в ней ссылки). Кроме того, в зависимые от спектрального индекса сдвиги $I_{M_{ij}} = I_{M_{0ij}} + T_{0i} - T_{0j} \left(v_j/v_i \right)^{\beta_G}$ входят еще и ошибки уровня нуля, определение которых также является нашей задачей. Поэтому используется половина уравнений (“прямых” или “обратных” пар), и количество неизвестных превышает количество уравнений в системе.

Для уменьшения количества неизвестных определим температуры Метагалактики T_{M_i} на

опорных частотах ν_i , преобразовав выражение (4) с использованием уравнения (1):

$$T_{M_i} = \frac{I_{M_{ij}}}{(\nu_i/\nu_j)^{\beta_M} \left((\nu_j/\nu_i)^{\beta_M} - (\nu_j/\nu_i)^{\beta_G} \right)}. \quad (5)$$

Теперь мы имеем две системы из j уравнений для $T_{M_{ij}}$ и T_{M_i} для каждой опорной частоты и будем работать с “прямыми” или “обратными” парами отдельно. Поскольку температуры Метагалактики T_M на одной частоте, полученные в этих двух системах уравнений, должны быть одинаковы, мы можем приравнять их, тем самым исключив неизвестное T_M из системы уравнений. Таким образом, в преобразованной системе уравнений неизвестными будут ошибки уровня нуля и спектральный индекс Метагалактики β_M , а определив их, можно затем получить T_{M_i} .

3. Результаты и обсуждение

Для решения поставленной здесь задачи описанным выше методом мы использовали многочастотный радиообзор части Северного неба [32], выполненный на низкочастотном радиотелескопе УТР-2 [39]. Поскольку УТР-2 является корреляционным инструментом, отсутствующие в его отклике низкочастотные пространственные гармоники восстанавливались по методике, описанной в [40]. В итоге были построены карты части Северного неба в интервалах склонений $29^\circ \div 55^\circ$ и прямых восхождений $1^h \div 19^h$ в эпохе 2000 г. на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц с угловым разрешением от $\approx 65'$ до $28'$ соответственно. Из обзора были выбраны соседние полосы неба, охватываемые 5-лучевой диаграммой направленности радиотелескопа УТР-2 со склонениями центрального луча $\delta_{2000} = 42.16^\circ, 43.69^\circ$ и 45.23° . Угловое расстояние между лучами $\approx 23'$. Из температурных сканов неба FIR-фильтром низких частот (фильтр с конечной импульсной характеристикой) были исключены точечные источники. Для построения $T-T$ диаграмм мы выбрали участок с прямыми восхождениями $7^h 45^m < \alpha_{2000} < 8^h 35^m$, показанный на рис. 2 в виде сканов третьего луча $\delta_{2000} = 43.69^\circ$ для всех частот, кроме 12.6 МГц (карта на этой частоте имеет заметно меньшее, чем на остальных частотах, отношение сигнал/шум). Флуктуационные чувствительности в выбранной области со-

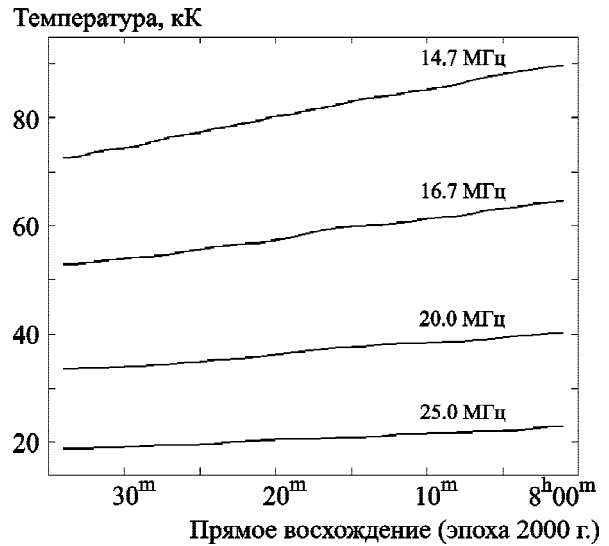


Рис. 2. Сканы яркостных температур третьего луча полосы неба вблизи области минимальной яркости со склонением 43.69° для четырех частот

ставили 3.46, 2.28, 1.58, 1.16 и 1.07 кК на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц соответственно.

Эта область неба избрана не случайно – здесь наблюдаемое излучение в основном исходит из периферийных областей гало Галактики, нет мешающих ярких точечных источников и фоновых особенностей, подобных шпурам и петлям. Кроме того, она расположена вблизи области минимального радиоизлучения Галактики и, исходя из анализа $T-T$ диаграмм, температурные зависимости для пар частот хорошо описываются прямой без петель и перегибов. Таким образом, выбранная площадка – высокоширотная область Галактики (галактическая широта $b \approx 30^\circ$) с постоянным дифференциальным спектральным индексом, где ожидаемый вклад изотропного метагалактического фона в общее излучение максимален, есть градиент изменения температур (температуры на 25 МГц меняются от 19 до 23 кК), достаточный для корректной работы $T-T$ метода, – оптимальна для решения поставленной задачи.

Следуя сценарию, описанному в разделе 2, построены $T-T$ диаграммы. Значения температур на графики наносились с шагом одна временная минута по прямому восхождению для трех указанных выше склонений и пар частот. Следует отметить, что в построении и расчетах мы использовали данные только третьего луча, чтобы избежать неопределенностей в учете разделения

диаграммы направленности УТР-2 на пять лучей, что может приводить к 10 %-му уменьшению эффективной площади телескопа для лучей, не совпадающих с центральным лучом. Поскольку выбранная область неба не имеет резких температурных особенностей (по крайней мере, температурные градиенты в ней $< 10\%$ в пределах телесного угла пятилучевой диаграммы направленности), присвоение всей пятерке лучей значений температур, определенных по третьему лучу, не вносит значимых ошибок в анализ. В качестве примера на рис. 3, а, б приведены многочастотные $T-T$ диаграммы для центрального луча и опорных частот 25 и 20 МГц относи-

тельно остальных частот наблюдения. В каждый $T-T$ график прямая вписывалась методом наименьших квадратов.

В результате аппроксимации для каждого $T-T$ графика для всех комбинаций пар частот были найдены значения дифференциального галактического спектрального индекса $\beta_{G_{ij}}$ и сдвига $I_{M_{ij}}$. Средний дифференциальный спектральный индекс радиоизлучения Галактики в анализируемом участке неба получен равным $\beta_G = 2.81 \pm 0.03$. Определив β_G и соответствующие сдвиги, используя формулы (4) и (5), можно записать систему уравнений для следующих частот: 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц (т. е. $i = 4; j = 3$). Эта система нелинейных уравнений решалась численно стандартизованными методами. Приближенное решение системы нелинейных уравнений давало следующий набор значений: значение спектрального индекса Метагалактики β_M и четыре значения ошибки уровня нуля для соответствующих частот. Эти данные использовались для последующего вычисления температуры Метагалактики T_M на этих же частотах. Максимальное значение ошибки уровня нуля получилось ~ 3 кК для частоты 20 МГц.

Среднее по трем анализируемым полоскам неба значение спектрального индекса внегалактического фонового излучения получилось равным $\beta_M = 2.41 \pm 0.1$ в частотном диапазоне 14.7 ÷ 25 МГц. Найденные значения яркостных температур внегалактического фона приведены в табл. 1. В ней указаны также яркостные температуры области минимальной яркости Северного неба. Из наблюдаемых в обзоре [32] температур были вычтены полученные яркостные температуры метагалактического фона, и определена температура фона галактического излучения области минимальной яркости (последний столбец табл. 1).

Спектральный индекс области минимальной яркости практически не отличается в пределах ошибок от определенного по $T-T$ графикам спектрального индекса β_G для анализируемого здесь участка вблизи области минимальной яркости. Сравнение температур нетеплового фонового метагалактического и галактического излучений показывает превышение внегалактического фона над гало Галактики более чем в два раза на всех частотах. Относительно небольшая точность по-

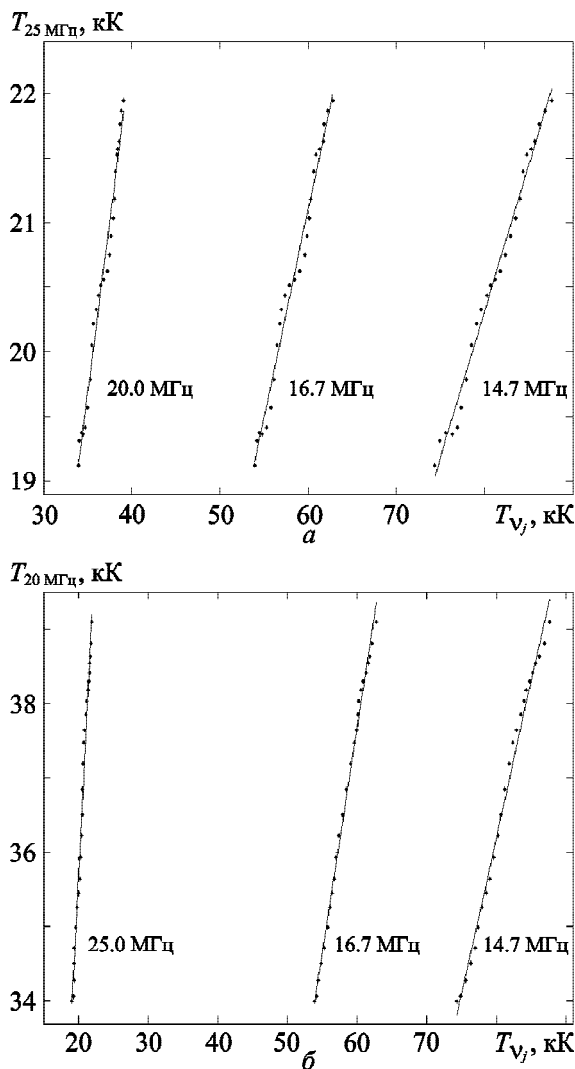


Рис. 3. Многочастотные $T-T$ диаграммы для $\delta_{2000} = 43.69^\circ$: а – для опорной частоты 25 МГц относительно 20, 16.7, 14.7 МГц, б – для опорной частоты 20 МГц относительно 25, 16.7, 14.7 МГц

Таблица 1. Яркостные температуры: суммарная, метагалактическая и галактическая, – в области минимальных яркостных температур Галактики

Частота, МГц	Полная температура области минимальной яркости, кК	Температура фона Метагалактики, кК	Температура фона Галактики, кК
12.6*	88.9±7.0	60.4±10.0	28.5±12.2
14.7	60.2±4.0	41.7±6.0	18.5±7.3
16.7	43.7±3.0	30.6±4.2	13.1±5.1
20	27.7±2.0	19.5±3.6	8.2±4.2
25	15.8±1.0	11.6±2.6	4.2±2.8

* значения для этой частоты получены экстраполяцией данных на остальных частотах.

лученных значений связана с нашей консервативной оценкой (трудно оценить ошибки, вносимые при численном решении нелинейных уравнений) и с вероятным наличием в исходных данных систематических ошибок второго порядка, вызывающих изменения наклона вписываемых прямых при применении линейной регрессии [14].

Найденное нами значение спектрального индекса внегалактического фона $\beta_M = 2.41 \pm 0.1$ находится в хорошем соответствии (с учетом ошибок) с оценкой 2.56 ± 0.004 , полученной участниками эксперимента ARCADE 2 по измерению на зондах абсолютной температуры неба на частотах ≥ 3 ГГц [30]. Но пересчет наших значений температур, например, к 3 ГГц дает на порядок меньший вклад внегалактического фона (0.12 К) по сравнению с их данными (2.79 К). Как было показано в недавних работах [41, 42], найденное в рамках ARCADE 2 превышение внегалактического фона не может быть объяснено вкладом внегалактических источников, как дискретных, так и протяженных (например, гало галактик, реликты скоплений), а, вероятно, имеет галактическую природу [17]. Пересчитанные с учетом наших данных температуры Метагалактики к частотам 310, 408 и 1420 МГц (26.9, 13.86, 0.69 К соответственно) хорошо согласуются с оценками (24.0 ± 2.1) К [43] и (11.8 ± 1.1), (0.58 ± 0.025) К [18] соответственно. Наши и приведенные выше данные, основанные на анализе реальных обзоров, показывают избыток внегалактического излучения по сравнению с излучением Метагалактики, определенным по недавним подсчетам источников, даже с учетом протяженных компонент низкой поверхностной яркости [41, 42]. Так, на частотах 1.42 и 3 ГГц подсчет дискретных источников по

$P(D)$ -анализу дает максимальные значения 120 и 14 мК соответственно [41], а верхняя оценка вклада протяженных внегалактических компонент недостаточна и составляет (73 ± 10) мК на 1.75 ГГц, что заставляет авторов искать дополнительные источники излучения, как например, аннигиляция темной материи [41]. Наш результат указывает на то, что метагалактический фон, вероятно, может состоять из нескольких компонент с различными спектральными индексами, соответствующими различной природе разрешаемых источников внегалактического населения. Тогда в направлениях, где спектральные индексы фонового излучения галактической и метагалактической компонент близки или совпадают, различить их будет невозможно, по крайней мере посредством $T-T$ анализа. Полученная нами оценка спектрального индекса диффузного излучения гало Галактики (2.81 ± 0.03) достаточно типична для такой структуры.

4. Выводы

Мы использовали карты области вблизи минимума радиоизлучения Северного неба из многочастотного обзора в декаметровом диапазоне длин волн [32] для определения яркостной температуры фонового внегалактического излучения в диапазоне частот 12.6 ÷ 25 МГц методом многочастотных $T-T$ диаграмм. Только благодаря высокой чувствительности радиотелескопа УТР-2 (эффективная площадь инструмента составляет ~ 150000 м² на частоте 25 МГц) и хорошей для данного диапазона частот угловой разрешающей способности ($\approx 30'$ на 25 МГц) удалось разделить на компоненты диффузное излучение в области минимальных температур Северной полусферы неба.

Использование многочастотных $T-T$ диаграмм позволило одновременно определить и температуру, и спектральный индекс внегалактического радиофона, а не только температуру с подбором спектральных индексов, как делалось ранее [15]. Значение спектрального индекса фона Метагалактики в декаметровом диапазоне длин волн оказалось равным $\beta_M = 2.41 \pm 0.1$.

Учтя ошибки уровня нуля (сканы яркостных температур на всех частотах были скорректированы на найденные соответствующие сдвиги нуля – на рис. 2 приведены отредактированные сканы) и исключив вклад внегалактического фона из наблюдаемого радиоизлучения неба, мы определили значения галактической составляющей температур в области минимума радиояркости на частотах $12.6 \div 25$ МГц и их спектрального индекса ($\beta_G = 2.81 \pm 0.03$). Вклад Метагалактики составляет около 70 % от всего излучения на всех частотах в этом направлении.

Важное преимущество метода многочастотных $T-T$ диаграмм для определения вклада внегалактического радиофона в диффузное излучение неба заключается в том, что он не зависит от каких-либо модельных предположений о структуре Галактики. Не менее важно и то, что из многочастотных обзоров непрерывного излучения можно определить и температуру внегалактического фона, и его спектральный индекс. Этот результат будет использован для выделения внегалактической компоненты из общего излучения и построения с коррекцией карт радиоизлучения Галактики и карт спектрального индекса по результатам обзора Северного неба на УТР-2. Метод многочастотных $T-T$ диаграмм будет полезен для определения фонового внегалактического излучения и корректного учета сдвигов уровня нуля в уже имеющихся и ожидаемых многочастотных радиообзорах.

Авторы выражают благодарность А. А. Коноваленко за полезные замечания и дискуссию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wielebinski R.* The history of radio continuum surveys // *The Magnetized Interstellar Medium: Proc. Conf. B. Uyaniker, W. Reich, and R. Wielebinski, eds. – Katlenburg-Lindau: Copernicus GmbH. – 2004. – P. 241–244.*
2. *Reich P.* Large scale surveys of the Galaxy // *Acta Astronomica Sinica. – 2003. – Vol. 44. – P. 130–135.*
3. *Oliveira-Costa A., Tegmark M., Gaensler B. M., Jonas J., Landecker T. L., and Reich P.* A model of diffuse galactic radio emission from 10 MHz to 100 GHz // *Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2008. – Vol. 388, Is. 1. – P. 247–260. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2008.13376.x*
4. *Sun X. H., Reich W., Waelkens A., and Enßlin T. A.* Radio observational constraints on Galactic 3D-emission models // *Astron. Astrophys. – 2008. – Vol. 477, No. 2. – P. 573–592. DOI: 10.1051/0004-6361:20078671*
5. *Mertsch P. and Sarkar S.* Loops and spurs: The angular power spectrum of the Galactic synchrotron background // *J. Cosmol. Astropart. Phys. – 2013. – Is. 06. – id. 041. DOI: 10.1088/1475-7516/2013/06/041*
6. *Лонгейр М. С., Сюняев П. А.* Электромагнитное излучение во Вселенной // *Успехи физических наук. – 1971. – Т. 105. – С. 41–96.*
7. *Singal J., Stawarz L., Lawrence A., and Petrosian V.* Sources of the radio background considered // *Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2010. – Vol. 409, Is. 3. – P. 1172–1182. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2010.17382.x*
8. *Shain C. A.* Observation of extragalactic radio emission // *Paris Symposium on Radio Astronomy: Proc. Symp. R. N. Bracewell, ed. – Stanford: Stanford University Press. – 1959. – P. 328–335.*
9. *Turtle A. J., Pugh G. F., Kenderdine S., and Pauliny-Toth I. I. K.* The spectrum of the galactic radio emission // *Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1962. – Vol. 124, Is. 4. – P. 297–312. DOI: 0.1093/mnras/124.4.297*
10. *Yates K. W. and Wielebinski R.* Intensity-frequency dependence of the radio sky background // *Aust. J. Phys. – 1966. – Vol. 19. – P. 389–407.*
11. *Bridle R. G. and Baldwin J. E.* The spectrum of the radio background between 13 and 404 MHz // *Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1967. – Vol. 136, Is. 2. – P. 219–240. DOI: 10.1093/mnras/136.2.219*
12. *Davies R. D., Watson R. A., and Gutiérrez C. M.* Galactic synchrotron emission at high frequencies // *Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1996. – Vol. 278, Is. 4. – P. 925–939. DOI: 10.1093/mnras/278.4.925*
13. *Reich P., Reich W., and Testori J. C.* Spectral index variations of Galactic emission // *The Magnetized Interstellar Medium: Proc. Conf. B. Uyaniker, W. Reich, and R. Wielebinski, eds. – Katlenburg-Lindau: Copernicus GmbH. – 2004. – P. 63–68.*
14. *Wehus I. K., Fuskeland U., Eriksen H. K., Banday A. J., Dickinson C., Ghosh T., Gorski K. M., Lawrence C. R., Leahy J. P., Maino D., Reich P., and Reich W.* Monopole and dipole estimation for multi-frequency sky maps by linear regression // *ArXiv.org [Электронный ресурс]. – 2014. – id. arXiv:1411.7616v1 [astro-ph.CO].*
15. *De Zotti G., Massardi M., Negrello M., and Wall J.* Radio and millimeter continuum surveys and their astrophysical implications // *Astron. Astrophys. Rev. – 2009. – Vol. 18, Is. 1. – P. 1–65.*
16. *Guzmán A. E., May J., Alvarez H., and Maeda K.* All-sky Galactic radiation at 45 MHz and spectral index between 45 and 408 MHz // *Astron. Astrophys. – 2011. – Vol. 525. – id. A138. DOI: 10.1051/0004-6361/200913628*
17. *Subrahmanyam R. and Cowsik R.* Is there an Unaccounted for Excess in the Extragalactic Cosmic Radio Background? // *Astrophys. J. – 2013. – Vol. 776, Is. 1. – id. 42. DOI: 10.1088/0004-637X/776/1/42*

18. Fornengo N., Lineros R. A., Regis M., and Taoso M. The isotropic radio background revisited // *J. Cosmol. Astropart. Phys.* – 2014. – Is. 04. – id. 008. DOI: 10.1088/1475-7516/2014/04/008
19. Абраменков Е. А. Исследование в декаметровом диапазоне длин волн областей ионизованного водорода // Диссертация, Харьков. РИАН УССР – 1987. – С. 114–121.
20. Longair M. S. The radio background emission – the long and short of it // *Extragalactic Background Radiation: Space Telescope Science Institute Symp. Series 7*. D. Calzetti, M. Livio and P. Madau, eds. – 1995. – P. 223–236.
21. Scheuer P. A. G. A statistical method for analyzing observations of faint radio stars // *Math. Proc. Cambridge Phil. Soc.* – 1957. – Vol. 53, Is. 3. – P. 764–773.
22. Hewish A. Extrapolation of the number-flux density relation of radio stars by Scheuer's statistical method // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1961. – Vol. 123, Is. 2. – P. 167–181. DOI: 10.1093/mnras/123.2.167
23. Gervasi M., Tartari A., Zannoni M., Boella G., and Sironi G. The Contribution of the Unresolved Extragalactic Radio Sources to the Brightness Temperature of the Sky // *Astrophys. J.* – 2008. – Vol. 682, No. 2. – P. 223–230. DOI: 10.1086/588628
24. Vernstrom T., Scott Douglas, and Wall J. V. Contribution to the diffuse radio background from extragalactic radio sources // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2011. – Vol. 415, Is. 4. – P. 3641–3648. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.18990.x
25. Соколов К. П. Определение параметров пространственного распределения внегалактических радиосточников, наблюдаемых в декаметровом диапазоне. Прямой счет радиосточников на частоте 25 МГц // *Астрономический журнал.* – 1986. – Т. 63, № 3. – С. 426–433.
26. Соколов К. П. Исследование эффектов космологической эволюции внегалактических радиосточников, наблюдаемых в декаметровом диапазоне // *Письма в Астрономический журнал.* – 1986. – Т. 12, № 4 – С. 259–265.
27. Соколов К. П. Определение параметров пространственного распределения внегалактических радиосточников, наблюдаемых в декаметровом диапазоне. P(D) анализ на частоте 25 МГц // *Астрономический журнал.* – 1988. – Т. 65, № 2. – С. 236–247.
28. Braude S. Ya., Sidorchuk K. M., Sidorchuk M. A., Rashkovsky S. L., Miroshnichenko A. P., and Zakharenko S. M. Decameter Discrete Sources Survey of the Northern Sky using the UTR-2 Radio Telescope // *Long Wavelength Astrophysics: 26th meeting of the IAU. Abstract book.* – Prague, Czech Republic. – 2006. – P. 370.
29. Zhang X., Reich W., Reich P., and Wielebinski R. New results on the spectral index–flux density relation from the WENSS/NVSS catalogs // *Astron. Astrophys.* – 2003. – Vol. 404, No. 1. – P. 57–63. DOI: 10.1051/0004-6361:20030476
30. Seiffert M., Fixsen D. J., Kogut A., Levin S. M., Limon M., Lubin P. M., Mirel P., Singal J., Villela T., Wollack E., and Wuensche C. A. Interpretation of the extragalactic radio background // *ArXiv.org* [Электронный ресурс]. – 2009. – id. arXiv:0901.0559 [astro-ph.CO].
31. Roger R. S., Costain C. H., Landecker T. L., and Swerdlyk C. M. The radio emission from the Galaxy at 22 MHz // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* – 1999. – Vol. 137, No. 1. – P. 7–19. DOI: 10.1051/aas:1999239
32. Vasilenko N. M., Sidorchuk M. A., Mukha D. V., and Zakharenko S. M. Very Low Frequency Continuum Survey of the Northern Sky // *Long Wavelength Astrophysics: 26th meeting of the IAU. Abstract book.* – Prague, Czech Republic. – 2006. – P. 370.
33. Sironi G. The spectrum of the galactic non-thermal background radiation. 1. Observations at 151.5 and 408 MHz // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1974. – Vol. 166, Is. 2. – P. 345–353. DOI: 10.1093/mnras/166.2.345
34. Webster A. The radio halo of the Galaxy // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1975. – Vol. 171, Is. 2. – P. 243–257. DOI: 10.1093/mnras/171.2.243
35. Астрофизика космических лучей / Березинский В. С., Буланов С. В., Гинзбург В. Л., Догель В. А., Птускин В. С. / под ред. В. Л. Гинзбурга. – М.: Наука, 1984.
36. Токарев Ю. В. О фоне радиоизлучения метагалактики // *Известия вузов. Радиофизика.* – 1970. – Т. 13. – С. 1571–1574.
37. Reich P. and Reich W. Measuring and calibrating Galactic synchrotron emission // *Proc. IAU.* – 2008. – Vol. 4, S259. – P. 603–612. DOI: 10.1017/S1743921309031433
38. Hogg D. W., Bovy J., and Lang D. Data analysis recipes: Fitting a model to data // *ArXiv.org* [Электронный ресурс]. – 2010. – id. arXiv1008.4686v1 [astro-ph.IM].
39. Braude S. Ya., Megn A. V., Ryabov B. P., Sharykin N. K., and Zhouck I. N. Decametric survey of discrete sources in the Northern sky. I. The UTR-2 radio telescope: Experimental techniques and data processing // *Astrophys. Space Sci.* – 1978. – Vol. 54, Is. 1. – P. 3–36.
40. Krymkin V. V. Observations of the Rosette nebula NGC2237 at decametric wavelength // *Astrophys. Space Sci.* – 1978. – Vol. 54, Is. 1. – P. 187–197.
41. Vernstrom T., Douglas Scott, Wall J. V., Condon J. J., Cotton W. D., Fomalont E. B., Kellermann K. I., Miller N., and Perley R. A. Deep 3 GHz number counts from a P(D) fluctuation analysis // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2014. – Vol. 440, Is. 3. – P. 2791–2809. DOI: 10.1093/mnras/stu470
42. Vernstrom T., Norris Ray P., Douglas Scott, and Wall J. V. The deep diffuse extragalactic radio sky at 1.75 GHz // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2015. – Vol. 447, Is. 3. – P. 2243–2260. DOI: 10.1093/mnras/stu2595
43. Fixsen D. J., Kogut A., Levin S., Limon M., Mirel P., Seiffert M., Singal J., Wollack E., Villela T., and Wuensche C. A. ARCADE 2 measurement of the absolute sky brightness at 3-90 GHz // *Astrophys. J.* – 2011. – Vol. 734, Is. 1. – P. 1–11. DOI: 10.1088/0004-637X/734/1/5

REFERENCES

1. WIELEBINSKI, R., 2004. The history of radio continuum surveys. In: B. Uyaniker, W. Reich, and R. Wielebinski, eds. *The Magnetized Interstellar Medium*. Katlenburg-Lindau: Copernicus GmbH, pp. 241–244.
2. REICH, P., 2003. Large scale surveys of the Galaxy. *Acta Astronomica Sinica*. vol. 44, pp. 130–135.
3. OLIVEIRA-COSTA, A., TEGMARK, M., GAENSLER, B. M., JONAS, J., LANDECKER, T. L. and REICH, P., 2008. A model of diffuse galactic radio emission from 10 MHz to 100 GHz. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 388, is. 1, pp. 247–260. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2008.13376.x
4. SUN, X. H., REICH, W., WAELEKENS, A. and ENBLIN T. A., 2008. Radio observational constraints on Galactic 3D-emission models. *Astron. Astrophys.* vol. 477, no. 2, pp. 573–592. DOI: 10.1051/0004-6361:20078671

5. MERTSCH, P. and SARKAR, S., 2013. Loops and spurs: The angular power spectrum of the Galactic synchrotron background. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* is. 06, id. 041. DOI: 10.1088/1475-7516/2013/06/041
6. LONGAIR, M. S. and SYUNYAEV, R. A., 1971. Electromagnetic radiation in the universe. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk.* vol. 105, pp. 41–96 (in Russian).
7. SINGAL, J., STAWARZ, L., LAWRENCE, A. and PETROSIAN, V., 2010. Sources of the radio background considered. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 409, is. 3, pp. 1172–1182. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2010.17382.x
8. SHAIN, C. A., 1959. Observation of extragalactic radio emission. In: R. N. Bracewell, ed. *Paris symposium on radio astronomy*. Stanford, CA: Stanford University Press, pp. 328–335.
9. TURTLE, A. J., PUGH, G. F., KENDERDINE, S. and PAULINY-TOTH, I. I. K., 1962. The spectrum of the galactic radio emission, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 124, is. 4, pp. 297–312. DOI: 10.1093/mnras/124.4.297
10. YATES, K. W. and WIELEBINSKI, R., 1966. Intensity-frequency dependence of the radio sky background. *Aust. J. Phys.* vol. 19, pp. 389–407.
11. BRIDLE, R. G., 1967. The spectrum of the radio background between 13 and 404 MHz. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 136, is. 2, pp. 219–240. DOI: 10.1093/mnras/136.2.219
12. DAVIES, R. D., WATSON, R. A. and GUTIÉRREZ, C. M., 1996. Galactic synchrotron emission at high frequencies. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 278, is. 4, pp. 925–939. DOI: 10.1093/mnras/278.4.925
13. REICH, P., REICH, W. and TESTORI, J. C., 2004. Spectral index variations of Galactic emission. In: B. Uyaniker, W. Reich, and R. Wielebinski, eds. *The Magnetized Interstellar Medium*. Katlenburg-Lindau: Copernicus GmbH, pp. 63–68.
14. WEHUS, I. K., FUSKELAND, U., ERIKSEN, H. K., BANDAY, A. J., DICKINSON, C., GHOSH T., GORSKI, K. M., LAWRENCE, C. R., LEAHY, J. P., MAINO, D., REICH, P. and REICH, W., 2014. Monopole and dipole estimation for multi-frequency sky maps by linear regression. *ArXiv.org* [online]. id. arXiv:1411.7616v1 [astro-ph.CO].
15. DE ZOTTI, G., MASSARDI, M., NEGRELLO, M. and WAL, J., 2009. Radio and millimeter continuum surveys and their astrophysical implications. *Astron. Astrophys. Rev.* vol. 18, is. 1, pp. 1–65.
16. GUZMÁN, A. E., MAY, J., ALVAREZ, H. and MAEDA, K., 2011. All-sky Galactic radiation at 45 MHz and spectral index between 45 and 408 MHz. *Astron. Astrophys.* vol. 525, id. A138. DOI: 10.1051/0004-6361/200913628
17. SUBRAHMANYAN, R. and COWSIK, R., 2013. Is there an Unaccounted for Excess in the Extragalactic Cosmic Radio Background? *Astrophys. J.* vol. 776, is. 1, id. 42. DOI: 10.1088/0004-637X/776/1/42
18. FORNENGO, N., LINEROS, R. A., REGIS, M. and TAOSO, M., 2014. The isotropic radio background revisited. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* is. 04, id. 008. DOI: 10.1088/1475-7516/2014/04/0084
19. ABRAMENKOV, E. A., 1987. *Investigation of regions of ionized hydrogen at decameter wavelengths*. PhD. thesis ed. Institute of Radio Astronomy, Academy of Sciences of USSR (in Russian).
20. LONGAIR, M. S., 1995. The radio background emission – the long and short of it. In: D. Calzetti, M. Livio, P. Madau, eds. *Extragalactic Background Radiation*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, pp. 223–236.
21. SCHEUER, P. A. G., 1957. A statistical method for analyzing observations of faint radio stars. *Math. Proc. Cambridge Phil. Soc.* vol. 53, is. 3, pp. 764–773.
22. HEWISH, A., 1961. Extrapolation of the number-flux density relation of radio stars by Scheuer’s statistical method. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 123, is. 2, pp. 167–181. Doi: 10.1093/mnras/123.2.167123
23. GERVASI, M., TARTARI, A., ZANNONI, M., BOELLA, G. and SIRONI, G., 2008. The Contribution of the Unresolved Extragalactic Radio Sources to the Brightness Temperature of the Sky, *Astrophys. J.* vol. 682, no. 2, pp. 223–230. DOI: 10.1086/588628
24. VERNSTROM, T., SCOTT DOUGLAS and WALL, J. V., 2011. Contribution to the diffuse radio background from extragalactic radio sources. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 415, is. 4, pp. 3641–3648. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.18990.x
25. SOKOLOV, K. P., 1986. Space Distribution Parameters of Extragalactic Decameter Sources Counted at 25-MHz. *Astronomicheskii Zhurnal.* vol. 63, no. 3, pp. 426–433 (in Russian).
26. SOKOLOV, K. P., 1986. Cosmological evolution effects in extragalactic decameter sources. *Pisma v Astronomicheskii Zhurnal.* vol. 12, no. 4, pp. 259–265 (in Russian).
27. SOKOLOV, K. P., 1988. Determination of the parameters of the spatial distribution of extragalactic radio sources observed in the decameter range. P(D) analysis at 25 MHz. *Astronomicheskii Zhurnal.* vol. 65, no. 2, pp. 236–247 (in Russian).
28. BRAUDE, S. Ya., SIDORCHUK, K. M., SIDORCHUK, M. A., RASHKOVSKY, S. L., MIROSHNICHENKO, A. P. and ZAKHARENKO, S. M., 2006. Decameter Discrete Sources Survey of the Northern Sky using the UTR-2 Radio Telescope. In: *Long Wavelength Astrophysics: 26th meeting of the IAU. Abstract book*. Prague, Czech Republic, p. 370.
29. ZHANG, X., REICH, W., REICH, P. and WIELEBINSKI, R., 2003. New results on the spectral index–flux density relation from the WENSS/NVSS catalogs, *Astron. Astrophys.* vol. 404, no. 1, pp. 57–63. DOI: 10.1051/0004-6361:20030476
30. SEIFFERT, M., FIXSEN, D. J., KOGUT, A., LEVIN, S. M., LIMON, M., LUBIN, P. M., MIREL, P., SINGAL, J., VILLELA, T., WOLLACK, E. and WUENSCH, C. A., 2009. Interpretation of the extragalactic radio background. *ArXiv.org* [online]. id. arXiv:0901.0559 [astro-ph.CO].
31. ROGER, R. S., COSTAIN, C. H., LANDECKER, T. L. and SWERDLYK, C. M., 1999. The radio emission from the Galaxy at 22 MHz. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* Vol. 137, No. 1. – P. 7–19. DOI: 10.1051/aas:1999239
32. VASILENKO, N. M., SIDORCHUK, M. A., MUKHA, D. V., and ZAKHARENKO, S. M., 2006. Very Low Frequency Continuum Survey of the Northern Sky. In: *Long Wavelength Astrophysics: 26th meeting of the IAU. Abstract book*. Prague, Czech Republic, p. 370.
33. SIRONI, G., 1974. The spectrum of the galactic non-thermal background radiation. 1. Observations at 151.5 and 408 MHz *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 166, is. 2, pp. 345–353. DOI: 10.1093/mnras/166.2.345

34. WEBSTER, A. 1975. The radio halo of the Galaxy. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 171, is. 2, pp. 243–257. DOI: 10.1093/mnras/171.2.243
35. BEREZINSKII, V. S., BULANOV, S. V., GINZBURG, V. L. (ed.), DOGIEL, V. A. and PTUSKIN, V. S., 1984. *Astrophysics of cosmic rays*. Moscow: Nauka (in Russian).
36. TOKAREV, Yu. V., 1970. Metagalactic background of radio emission. *Izvesniya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Radiofizika*. vol. 13, pp. 1571–1574 (in Russian).
37. REICH, P. and REICH, W., 2008. Measuring and calibrating Galactic synchrotron emission. *Proc. IAU*. vol. 4, S259, pp. 603–612. DOI: 10.1017/S1743921309031433
38. HOGG, D. W., BOVY, J. and LANG, D., 2010. Data analysis recipes: Fitting a model to data. *ArXiv.org* [online]. id. arXiv:1008.4686v1 [astro-ph.IM].
39. BRAUDE, S. Ya., MEGN, A. V., RYABOV, B. P., SHARYKIN N. K. and ZHOUCK, I. N., 1978. Decametric survey of discrete sources in the Northern sky. I. The UTR-2 radio telescope: Experimental techniques and data processing. *Astrophys. Space Sci.* vol. 54, is. 1, pp. 3–36.
40. KRYMKIN, V. V., 1978. Observations of the Rosette nebula NGC2237 at decametric wavelength. *Astrophys. Space Sci.* vol. 54, is. 1, pp. 187–197.
41. VERNSTROM, T., DOUGLAS SCOTT, WALL, J. V., CONDON, J. J., COTTON, W. D., FOMALONT, E. B., KELLERMANN, K. I., MILLER, N. and PERLEY, R. A., 2014. Deep 3 GHz number counts from a P(D) fluctuation analysis. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 440, is. 3, pp. 2791–2809. DOI: 10.1093/mnras/stu470
42. VERNSTROM, T., NORRIS RAY, P., DOUGLAS SCOTT and WALL, J. V., 2015. The deep diffuse extragalactic radio sky at 1.75 GHz. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 447, is. 3, pp. 2243–2260. DOI: 10.1093/mnras/stu2595
43. FIXSEN, D. J., KOGUT, A., LEVIN, S., LIMON, M., MIREI, P., SEIFFERT, M., SINGAI, J., WOLLACK, E., VILLELA, T. and WUENSCHEN, C. A., 2011. ARCADE 2 measurement of the absolute sky brightness at 3–90 GHz. *Astrophys. J.* vol. 734, is.1, pp. 1–11. DOI: 10.1088/0004-637X/734/1/5

N. M. Vasilenko and M. A. Sidorchuk

Institute of Radio Astronomy,
National Academy of Sciences of Ukraine,
4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

BRIGHTNESS TEMPERATURE AND SPECTRAL INDEX OF EXTRAGALACTIC BACKGROUND AT DECAMETER WAVELENGTHS

The radio maps of distributed low-frequency radio emission for vast areas of Northern Celestial Hemisphere, including the area near the minimum of galactic radiation ($42^\circ < \delta_{2000} < 45^\circ$, $7^h 45^m < \alpha_{2000} < 8^h 35^m$), were constructed based on the Nor-

thern sky survey with the UTR-2 world-largest decameter wave radio telescope. The two-temperature dependence of the background radiation brightness temperature within 12.6 to 25 MHz is built for different frequency pairs of this range for the same coordinates ($T-T$ plots). This allows to identify the differential emission spectrum of the Galaxy halo of said area of the sky, whose spectral index is $\beta_G = 2.81 \pm 0.03$. In addition, the $T-T$ plots multi-frequency technique provided an opportunity to determine the brightness temperatures of the isotropic extragalactic background radiation at decameter wavelength range, whose values were (60 ± 10.0) , (41.7 ± 6.0) , (30.6 ± 4.2) , (19.5 ± 3.6) , and (11.6 ± 10.0) kK at 12.6, 14.7, 16.7, 20, and 25 MHz, respectively, with the spectral index $\beta_M = 2.41 \pm 0.1$. Metagalaxy contributed to about 70 % of the total emission at all frequencies in the investigated region.

Key words: metagalactic background, $T-T$ plots, spectral index, decameter wavelengths

N. M. Vasilenko, M. A. Sidorchuk

Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Червонопрапорна, 4, м Харків, 61002, Україна

ЯСКРАВИСНА ТЕМПЕРАТУРА ТА СПЕКТРАЛЬНИЙ ІНДЕКС ПОЗАГАЛАКТИЧНОГО ФОНУ У ДЕКАМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ

На підставі огляду Північного неба, виконаного за допомогою найбільшого радіотелескопа декаметрових хвиль УТР-2, побудовані карти розподіленого низькочастотного радіовипромінювання для великих областей цієї небесної півсфери, включаючи ділянку поблизу мінімуму галактичного випромінювання ($42^\circ < \delta_{2000} < 45^\circ$, $7^h 45^m < \alpha_{2000} < 8^h 35^m$). У діапазоні $12.6 \div 25$ МГц побудовано двотемпературні залежності яскравісних температур фонового випромінювання для різних пар частот цього діапазону (метод $T-T$ діаграм). Це дозволило визначити диференційний спектр випромінювання гало Галактики з вказаної ділянки неба, спектральний індекс якого дорівнює $\beta_G = 2.81 \pm 0.03$. Крім того, багаточастотний метод $T-T$ діаграм дав можливість визначити яскравісні температури ізотропного метагалактичного фонового випромінювання в декаметровому діапазоні довжин хвиль, значення яких склали (60 ± 10.0) , (41.7 ± 6.0) , (30.6 ± 4.2) , (19.5 ± 3.6) , (11.6 ± 10.0) кК на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20, 25 МГц відповідно зі спектральним індексом $\beta_M = 2.41 \pm 0.1$. Внесок Метагалактики склав близько 70 % від усього випромінювання на всіх частотах в досліджуваній області.

Ключові слова: метагалактичний фон, метод $T-T$ діаграм, спектральний індекс, декаметровий діапазон

Статья поступила в редакцию 13.05.2015