УДК 524.6

СПЕКТРЫ, ОПТИЧЕСКИЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ И СТАТИСТИКА ПОЛНОЙ ПО ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ВЫБОРКИ РАДИОИСТОЧНИКОВ В ОБЛАСТИ СКЛОНЕНИЙ $10^\circ - 12^\circ 30'$.

А.Г. Горшков[*], В.К. Конникова[*], М.Г. Мингалиев[**].

[*]*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия.*

[**]*Специальная астрофизическая обсерватория РАН, пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская Республика, Россия*

Аннотация.

Представлены результаты наблюдений на частотах 0.97, 2.3, 3.9, 7.6, 11.1 и 21.7 ГГц на радиотелескопе РАТАН-600 полной по плотности потока выборки радиоисточников. Выборка получена из обзора MGB 4.85 ГГц и содержит все источники в области склонений $10^\circ - 12^\circ 30'$ (J2000) с галактическими широтами $|b| > 15^\circ$, имеющие плотность потока $S_{4.85} > 200$ мЯн. С оптическими объектами отождествлено 86% радиоисточников с плоскими спектрами и 59% источников с нормальными. Проведено разделение источников с плоскими спектрами на протяженную и компактную компоненты.

SPECTRA, OPTICAL IDENTIFICATION AND STATISTICS FOR A COMPLETE SAMPLE OF RADIOSOURCES IN THE DECLINATION ZONE $10^\circ - 12^\circ 30'$.

A.G. Gorshkov, V.K. Konnikova and M.G. Mingaliev

This paper presents the observations of a complete sample of radio sources at the 0.97, 2.3, 3.9, 7.6, 11.1, and 21.7 GHz frequencies with the RATAN-600 radio telescope. The sample includes all sources stronger than 200 mJy from the MGB–survey at 4.85 GHz in the declination zone $10^\circ - 12^\circ 30'$ (J2000) and $|b| > 15^\circ$. Flux densities for all sources with flat spectra at 0.97–21.7 GHz frequency range were determined. Eighty six per cent of sources with flat spectra and 59% of sources with steep spectra were identified with optical objects. The flat spectrum sources were separated into extended and compact components.

1 Введение

Две полных по плотности потока выборки исследуются нами в настоящее время. Первая выборка, полученная из Зеленчукского обзора на частоте 3.9 ГГц [1], содержит все источники с плотностью потока $S_{3.9} > 200$ мЯн в области склонений $3^\circ 30' - 6^\circ$ (B1950), прямые восхождения 0–24 часа, $|b| > 10^\circ$. Выборка исследуется нами с 1984 г. и содержит 160 объектов.

Вторая выборка из каталога GB6 на 4.85 ГГц [2] содержит все источники с плотностью потока $S_{4.85} > 200$ мЯн в области склонений $10^\circ - 12^\circ 30'$ (J2000), прямые восхождения 0–24 часа, $|b| > 15^\circ$. В выборке 153 объекта, из них 83 имеют плоские спектры $\alpha_{(3.9-7.7\ )} > -0.5 (S \propto \nu^\alpha)$ и 70 — нормальные спектры $\alpha_{(3.9-7.7\ )} < -0.5$.

Основные цели изучения наших выборок:

- исследование переменности источников на масштабах времени от нескольких дней до нескольких лет. Наблюдения в широком частотном диапазоне (0.97–21.7 ГГц) дают возможность получить основные характеристики переменности: временну́ю шкалу, амплитуду переменности, спектр переменной составляющей и зависимость его амплитудно-частотных характеристик от времени;

- получение статистических параметров спектров радиоисточников;

- обнаружение интересных объектов, имеющих нестандартные характеристики как в радио, так и в оптическом диапазонах;
- обнаружение космологической эволюции квазаров. Для этого необходимо получить красные смещения большинства объектов, отождествленных с исследуемыми радиоисточниками.

Ежедневные многочастотные наблюдения в 1998-1999 гг. на радиотелескопе РАТАН-600 подтвердили существование обнаруженной ранее [3] переменности плотности потока на временны́х масштабах около 4 дней [4,5] (так называемая IDV - Intra Day Variability). Наши исследования показали, что подобная переменность присуща практически всем источникам с плоскими спектрами, имеет плоский частотный спектр со средним индексом модуляции около 2% в частотном диапазоне 2.3 - 21.7 ГГц. Примерно 20% объектов обладают значительной IDV, отчетливо видной на структурных функциях этих радиоисточников. У нескольких источников обнаружена циклическая переменность с характерными временами 4-25 дней. Получены статистические характеристики долговременной переменности источников полной выборки, индивидуальные характеристики отдельных вспышек для наиболее активных радиоисточников [1,6].

Получены различные статистические характеристики спектров источников выборки [7,8]. Обнаружен и исследован уникальный радиоисточник 0527+0331 (все имена, приведенные в статье, составлены из первых четырех цифр прямого восхождения и склонения на эпоху J2000), обладающий самой большой долговременной переменностью [4,9,10]. Продолжаются оптические наблюдения для получения спектров и красных смещений объектов, отождествленных с источниками выборки до 21 зв. вел.

Исследование второй выборки начато для подтверждения полученных результатов на основе другого статистически независимого ансамбля радиоисточников. К 2002 г. проведены три серии многочастотных ежедневных наблюдений в течение 80 (2000 г.), 104 (2001 г.) и 98 (2002 г.) дней большей части источников выборки.

В данной работе мы приводим первые результаты исследования источников второй выборки.

2 Наблюдения

Наблюдения проводились в меридиане на Северном секторе РАТАН-600 на частотах 0.97, 2.3, 3.9, 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц в июне–ноябре 2001 года. Параметры используемых приемников приведены в работе [11]. Наблюдения проводились в режиме неподвижного фокуса [12]. Перестановка главного зеркала осуществлялась в диапазоне высот $\pm 1.25^\circ$ от центра зоны склонений. На всех высотах устанавливалось одинаковое количество щитов главного зеркала, чтобы уменьшить влияние изменения степени облучения крайних щитов при изменениях кривизны кругового отражателя телескопа. При этом эффективная площадь во всем диапазоне высот оставалась постоянной.

В наблюдениях в качестве калибратора использовался источник 1347+1217. Угловые размеры источника много меньше размеров горизонтального сечения диаграммы направленности вплоть до частоты 21.7 ГГц. Плотности потока источника 1347+1217 приняты 6.15, 4.12, 3.23, 2.36, 1.99 и 1.46 Ян на частотах 0.97, 2.3, 3.9, 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц соответственно.

Для обработки наблюдений использовался пакет программ, позволяющий получать как плотность потока индивидуального наблюдения источника, так и среднюю плотность потока за весь цикл наблюдений. В основу обработки положена оптимальная фильтрация исходных данных, подробно методика описана в [13]. Перед оптимальной фильтрацией исходные данные при помощи нелинейных фильтров очищались от импульсных помех, скачков и трендов с временны́ми масштабами большими, чем масштаб диаграммы направленности телескопа по прямому восхождению. При получении средней плотности потока за все дни наблюдения использовались только те записи, дисперсия шумов которых в месте локализации источника принадлежит одной генеральной совокупности, методика отбора таких записей описана в работе [14].

Средняя плотность потока определялась оптимальной фильтрацией средней записи, i-я точка которой есть медианное значение всех i-ых точек очищенных исходных записей. Для контроля определялась также средняя плотность потока

$$\bar{S} = (\sum_{i}^{n} S_i)/n, \tag{1}$$

где S_i — плотность потока в i–ом наблюдении,

n — число наблюдений.

Введение весовой функции в данном случае излишне, поскольку суммируются только записи, принадлежащие одной генеральной совокупности.

Ясно, что плотности потока, полученные двумя методами должны быть близки, их существенное различие свидетельствует о наличии плохой записи не устраненной предварительной фильтрацией. Как показал опыт работы такое различие само по себе достаточно редкое событие, что свидетельствует о правильности используемого алгоритма фильтрации. В основном, оказывались неисключенными записи с неправильной установкой антенны. Если различие наблюдалось, то все записи просматривались визуально, исключались вызывающие подозрение, и вся процедура обработки повторялась.

Ошибка измерений тоже определялась двумя способами:

$$\sigma_\Sigma = \left(\sigma^2 / \sum_i A_i^2\right)^{\frac{1}{2}},$$

где σ^2 — дисперсия остаточных шумов средней записи после исключения из нее обнаруженного источника,

A_i — табулированные значения диаграммы направленности, и

$$\sigma_s = \left(\left(\sum_i^n (S_i - \bar{S})^2\right) \Big/ n(n-1)\right)^{\frac{1}{2}},$$

где $\bar{S}$ — средняя плотность потока, согласно (1).

Обе оценки также должны быть близки. Если они принадлежат разным генеральным совокупностям (по критерию Фишера), то также ведется поиск плохой или плохих записей. В любом случае бóльшая из двух величин принимается за ошибку измеренной плотности потока. Согласно принятой методике оценки ошибки, в нее входит также среднеквадратичная величина изменения плотности потока вследствие собственной переменности источника в течение серии наблюдений.

Для нескольких источников с нормальными спектрами со значительной степенью линейной поляризации, полученной из работы [15], приводятся восстановленные значения плотностей потоков по формуле [16]:

$$S = 0.5S_0[1 + p\cos 2(q - \chi - \psi)],$$

S_0 — полная излучаемая плотность потока источника,

p и q — степень линейной поляризации и параллактический угол,

χ — угол между плоскостью линейной поляризации приемника и вертикалом,

ψ — позиционный угол поляризации.

3 Оптические отождествления

Для оптического отождествления источников выборки использовались наиболее точные координаты, взятые, в основном, из каталогов: JVAS[1] на частоте 8.4 ГГц [17], среднеквадратичная ошибка координат составляет 0.014 угловых секунд, и обзора NVSS[2] [18] на 1.4 ГГц – в среднем около 0.11 и 0.56 угл. сек. для прямых восхождений и склонений соответственно. Оптические координаты и звездные величины в фильтре B получены из астрометрического обзора USNO [19] или APM [20]. Радиоисточник отождествлялся с оптическим объектом, если разность радио и оптических координат для всех источников была меньше 3σ ошибки радиокоординат.

Значительное число объектов, отождествленных с источниками выборки, было классифицировано ранее. Все приведенные в дальнейшем красные смещения и типы объ-

[1] JVAS – the Jodrell Bank-VLA Astrometric Survey

[2] NVSS – the NRAO VLA Sky Survey

ектов получены из каталога квазаров и активных ядер галактик 2001 г [21], из базы данных внегалактических источников NED [22] и из наших работ [23-25]. Тринадцать объектов, отождествленных с источниками выборки еще не классифицированы.

4 Результаты

4.1 Радиоисточники с нормальными спектрами и шкала плотностей потоков

В исследуемой выборке находится 70 источников с нормальными спектрами. Мы не включили в полную выборку двойные источники, для которых на 4.85 ГГц измерена суммарная плотность потока меньше 400 мЯн. 10 источников нами не наблюдались, так как их угловые размеры больше диаграммы направленности на большинстве частот, либо это двойные источники, которые мы не можем разрешить. В табл. 1 приведены их координаты (колонки 1,2), классификация объектов (Q - квазар, G - галактика,) красное смещение, ссылка на красное смещение и звездная величина в фильтре B (кол.3-6).

Калибровочный источник 1347+1217 в диапазоне 0.97 -21.7 ГГц аппроксимирован прямой $\log S = A + B \log \nu$. При этом спектры 68% источников также аппроксимируются прямой (S - спектры), спектры остальных источников аппроксимируются параболой

$\log S = A + B \log \nu + C \log^2 \nu$.

Спектры трех источников показывают уплощение на высоких частотах (C_+), вызываемое, по-видимому, компактной компонентой, спектры 15 источников уплощаются к низким частотам из-за синхротронного самопоглощения (C_-), в основном это уплощение сказывается на частотах ниже 2.3 ГГц, на более высоких частотах их спектры также близки к прямой.

У 36 источников с нормальными спектрами плотности потоков на частоте 21.7 ГГц оказались ниже предела обнаружения. У части источников измеренные плотности потоков занижены, в основном, на частотах выше 7.7 ГГц из-за соизмеримости угловых размеров источника с диаграммой направленности по прямому восхождению. Это занижение согласуется с угловыми размерами, приведенными в Техасском обзоре на 0.365 ГГц [26]. Для этих источников аппроксимация спектров проводилась только с использованием данных на тех частотах, где угловые размеры меньше диаграммы направленности антенны на данной частоте.

В табл. 2 дана информация о 60 источниках с нормальными спектрами: колонки 1 и 2 - координаты объекта на эпоху J2000, кол. 3–6 — оптические отождествления (Q – квазар, G – галактика, + источник отождествлен, но спектр еще не получен), красные смещения, ссылки на красные смещения объектов и звездные величины в фильтре B, в кол. 7–9 коэффициенты аппроксимации A, B, C измеренных плотностей потоков. Звездочками в последней колонке отмечены источники, угловые размеры которых соизмеримы с диаграммой направленности по прямому восхождению на частотах выше 7.7 ГГц. Плотность потока источника 1140+1203 на частоте 3.9 ГГц находится значительно ниже аппроксимированной по остальным данным.

На рис. 1 показано распределение спектральных индексов для всех источников (а) и для источников, имеющих S–спектры (б). Средний спектральный индекс для источников с S–спектрами равен $\overline{\alpha} = -0.808$, стандарт распределения $\sigma = 0.15$, для всех источников на частоте 3.9 ГГц $\overline{\alpha} = -0.815$, $\sigma = 0.17$. В работе [7] для выборки источников в области склонений $3°30' - 6°$ (B1950) мы получили для источников со степенными спектрами среднее значение спектрального индекса $\overline{\alpha} = -0.857$, стандарт распределения $\sigma = 0.14$. После учета заведомо протяженных для используемых диаграмм источников это значение уменьшилось до $\overline{\alpha} = -0.81$, что практически совпадает со значением среднего спектрального индекса, полученного для исследуемой области склонений.

По всем источникам с нормальными спектрами с угловыми размерами много меньшими диаграммы направленности ниже частоты 11.1 ГГц, соотношение шкал плотностей потоков на частоте 1.4 ГГц из обзора NVSS [18] и аппроксимированных плотностей потоков в наших наблюдениях на этой частоте равно $S_{app1.4}/S_{NVSS} = 1.019 \pm 0.004$, среднее отношение аппроксимированных плотностях потоков из наших измерений и обзора GB6 на частоте 4.85 ГГц равно $S_{app4.85}/S_{GB6} = 1.09 \pm 0.01$. Аппроксимированные на частоту 0.365 ГГц плотности потоков в среднем совпадают с полученными в Техасском обзоре, хотя точность аппроксимации вне диапазона частот наших наблюдений ниже, чем внутри исследуемого интервала частот.

Из 70 радиоисточников с нормальными спектрами 21 объект отождествлен с галактиками (у 17 галактик измерены красные смещения), 14 объектов отождествлены с квазарами, 29 – пустые поля до 21 зв. вел. Спектры 6 объектов еще не получены. На рис. 2 показано распределение галактик и квазаров по красным смещениям. Среднее красное смещение галактик $\overline{z}(G) = 0.15$, $\sigma = 0.1$, квазаров $\overline{z}(Q) = 1.22$, $\sigma = 0.7$.

4.2 Радиоисточники с плоскими спектрами $\alpha > -0.5$

В колонках 1,2 табл. 3 приведены радиокоординаты источников с плоскими спектрами на эпоху J2000, в колонках 3–6 — тип объекта отождествленного с данным источником, красное смещение объекта, ссылка на измерение красного смещения и звездная величина в фильтре B, в колонках 7–18 — плотности потоков и среднеквадратичные ошибки измерения. Для всех источников получены плотности потоков на 6 частотах, кроме источника 2203+1007, у которого на частоте 0.97 ГГц плотность потока не превышает 70 мЯн, для источника 0448+1127 на частоте 7.7 ГГц мы не смогли получить истинную плотность потока из-за попадания соседнего сильного источника 0449+1121 во второй рупор. Источники 0449+1121 и 1728+1215 имеют быструю и значительную переменность плотности потока, в таблице приведены спектры, полученные соответственно 05.06.2001 и 30.08.2001 гг.

Из 83 объектов с плоскими спектрами, составляющих полную выборку, 72 (86%) отождествлены с оптическими объектами, 11 – пустые поля до 21 звездной величины. Спектр объекта, отождествленного с источником 1603+1105, — звездный, по-видимому, реальное оптическое отождествление блендируется звездой. 49 источников классифицированы как квазары, 8 – галактики (7 с измеренными красными смещениями). Семь объектов - типа BL Lac (3 с измеренными красными смещениями), из них объекты 0409+1217, 0757+0956 и 1309+1154 обладают высокой степенью поляризации радиоизлучения. Шесть объектов еще не классифицированы.

На рис. 3 — распределение квазаров и галактик по красным смещениям. Среднее значение красного смещения квазаров равно $\overline{z}(Q) = 1.40$, стандарт распределения $\sigma(Q) = 0.74$, объектов типа BL Lac $\overline{z}(L) = 0.55$, $\sigma(L) = 0.40$, галактик $\overline{z}(G) = 0.26$, $\sigma(G) = 0.19$.

На рис. 4 показана зависимость абсолютной спектральной светимости на частоте 11.1 ГГц от красного смещения для источников выборки с плоскими спектрами, рассчитанная для однородной изотропной космологической модели с равной нулю космологической постоянной, с параметром замедления $q = 0.5$ и $H = 50$ (км/сек)/Мпс. Пунктирная кривая — значение минимальной светимости, которая может быть обнаружена для данной ограниченной по плотности потока выборки.

Большинство источников с плоскими спектрами состоят, по крайней мере, из двух компонент — протяженной и компактной.

Для изучения характеристик спектров компактных компонент нужно получить их спектры в чистом виде, то есть исключить излучение от протяженной компоненты. Под компактной компонентой мы подразумеваем суммарное излучение джета, который состоит из облаков релятивистских электронов, сформировавшихся в результате распространения ударных волн, и находящихся на различных стадиях эволюции. Именно формированием и эволюцией этих облаков под воздействием ударных волн в релятивистской плазме возможно объяснение существования переменности источников внегалактического радиоизлучения [27-29]. В [30] рассмотрена на полуколичественном уровне "обобщенная модель", дающая возможность проследить эволюцию спектральных и временны́х характеристик вспышки на разных стадиях взаимодействия фронта ударной волны с облаком релятивистских электронов.

В [31] на основе почти одновременных наблюдений, проведенных по кооперативной программе от 20 см. до 1400 Å, построены спектры, охватывающие более 6 декад по частоте. Авторы отмечают, что спектры активных источников гладкие и хорошо описываются параболой в логарифмическом масштабе. В тоже время спектры источников с малой активностью не столь гладкие и плохо описываются параболой. В работе [32] на основе анализа данных исследования переменных источников проведенных в 1965-1973 гг. на частотах 6.6 и 10.7 ГГц [33], в 1965-1984 гг. на частотах 4.8, 8.0 и 14.5 ГГц [34] и с 1978 г. по настоящее время в миллиметровом диапазоне [35] получены средние спектры переменных источников на различных стадиях развития переменности. Показано, что эти спектры также хорошо аппроксимируются логарифмической параболой.

При дальнейшем анализе предполагается, что спектры радиоисточников состоят из двух компонент: степенной, вида

$$\log S = S_o + \alpha \log \nu$$

и компактной, которую можно представить квадратичной функцией вида

$$\log S = C + 0.5(\log \nu - B)^2/A$$

где C — логарифм плотности потока в максимуме спектра,

B — логарифм частоты, на которой этот максимум достигается,

A — логарифмический интервал от частоты максимума до частоты, где $d(\log S)/d(\log \nu) = 1$ (параметр кривизны спектра)[31].

Процедура разделения компонент была следующей: выбиралось решение с минимальными невязками

$$\sum [S_{\nu i} - (S_{\nu i}^s + S_{\nu i}^c)]^2,$$

$S_{\nu i}$ — измеренная на данной частоте плотность потока,

$S_{\nu i}^s$ — плотность потока, относящаяся к степенному спектру и

$S_{\nu i}^c$ — плотность потока, относящаяся к компактной компоненте.

Практически для всех источников задача решалась с привлечением данных на частоте 0.365 ГГц [26].

Мы считаем, что спектральные характеристики протяженных компонент источников с плоскими спектрами и источников с нормальными спектрами близки, поэтому разделение считалось успешным, если спектральные индексы лежали в диапазоне $\alpha = -0.5 \div -1.1$. Спектр протяженной компоненты считается постоянным для всех эпох наблюдений.

Ниже приведены характеристики спектров на эпоху наблюдений 06 – 11.2001 г. Изменения спектральных характеристик рассмотрены только в узком временно́м интервале 1 год от рассматриваемой эпохи наблюдений.

Спектры источников выборки можно разделить на 4 группы:

1. Спектры 28-х источников представляются двумя компонентами, протяженной со степенны́м спектром и компактной, которая хорошо аппроксимируется логарифмической параболой с максимумом, находящимся в диапазоне частот не превышающем 25 ГГц. При этом спектр протяженной компоненты определяется наиболее точно. Средний спектральный индекс протяженных компонент $\overline{\alpha} = -0.79$, что близко к среднему индексу, полученному для степенных спектров данной выборки и подтверждает правильность проведенного разделения.

На рис. 5 – пример разделения компонент источника 1327+1223, на рис. 6 разделение компонент источника 2035+1056 на эпоху 06.2002 г (а) и 06.2001 г (б), исходные спектры показаны крестиками, спектры компактных компонент - пунктирной, протяженных - штрих-пунктироной линией, Для источника 2035+1056 приведен спектр компактной компоненты на эпохи 06.2001 и 06.2002. .

У 23 объектов протяженная компонента на частоте 0.97 ГГц составляет от 18% (1706+1208) до 100% (1042+1203). У 5 объектов протяженная компонента мала, например, у 0121+1127 и 2203+1007.

Среднее красное смещение квазаров этой группы $\overline{z} = 1.58$, стандарт распределения

$\sigma = 0.61$. На рис. 7 показано распределение частот максимумов компактных компонент в системе наблюдателя и источника. Для квазаров существует зависимость частоты максимума от красного смещения: $\overline{\nu}_{max} = 8.5$ ГГц для квазаров с красными смещениями $z > 1.3$ и $\overline{\nu}_{max} = 14$ ГГц для квазаров с $z < 1.3$. В системе покоя источника зависимость исчезает, средние частоты максимума соответственно 25 и 26 ГГц. Не найдено статистически значимых корреляций между коэффициентами аппроксимации C, B, A компактных компонент в системе покоя источника и зависимостей коэффициентов аппроксимации от абсолютной спектральной радиосветимости источников. Такой же результат получен для спектров компактных компонент источников области склонений $3°30' - 6°$ [8].

Плотности потоков большинства источников этой группы меняются медленно, индекс переменности $V = (S_{max} - S_{min})/(S_{max} + S_{min})$ на всех частотах не превышает 0.05. Исключение в этой группе составляет источник 1722+1013, обладающий значительной переменностью плотности потока, индекс переменности на частоте 21.7 ГГц $V = 0.32$ за 6 месяцев. На эпоху 11.2001 наблюдаемый спектр этого источника растущий с частотой, максимум плотности потока в спектре находится за пределами исследуемого диапазона. Изменение спектра большинства источников со временем характеризуется перемещением максимума в сторону низких частот, наблюдается развитие одной вспышки.

2. Спектры 22 источников разделяются на степенную компоненту и параболу, максимум которой находится заметно выше исследуемого диапазона. Средний спектральный индекс и стандарт распределения протяженных компонент для этой группы не отличаются от предыдущей. Среднее красное смещение квазаров и объектов типа BL Lac для этой группы источников $\overline{z} = 0.99$, стандарт распределения $\sigma = 0.57$. Точность аппроксимации недостаточна для количественных оценок. В этой группе находятся более активные источники, у большей части которых максимум в спектре находится на частотах выше 30 ГГц во всех наблюдениях, изменение спектров с течением времени для таких источников характеризуется изменением спектрального индекса растущей с

частотой части параболы. Например, у компактной компоненты источника 1015+1227 спектральный индекс между частотами 7.7 и 11.1 ГГц за 3 года менялся от +0.38 до +0.55. Частота максимума в спектрах компактных компонент 3-х источников с самыми большими красными смещениями этой группы, 1118+1234 ($z = 2.118$), 1504+1029 ($z = 1.883$) и 1608+1029 ($z = 1.226$) в другие эпохи наблюдений находятся на частотах меньше 25 ГГц. Спектр компактной компоненты галактики 0010+1058 на эпоху 09.2000 г также аппроксимируется параболой с максимумом в исследуемом диапазоне (10 ГГц). Семь источников этой группы имеют в исследуемом диапазоне большую протяженную компоненту, мы видим компактную компоненту только на высокочастотном конце диапазона.

Принципиального различия между первой и второй группами нет, при наблюдениях в более широком диапазоне частоты максимумов распределятся достаточно равномерно. Большая активность источников второй группы объясняется более высокой частотой максимума [30].

3. Спектры 17 источников не удается разделить в рамках рассматриваемой двухкомпонентной модели. Мы считаем, что в их спектрах присутствует одновременно несколько компактных компонент. Имеющихся точек в спектрах недостаточно для однозначного разделения компонент. Только для 2-х источников, протяженная компонента в которых мала и есть измерения на частоте 0.365 ГГц удалось разделить спектр на 2 компоненты, каждая из которых описывается параболой, например, у источника 1453+1025 спектр является суперпозицией двух парабол с максимумом на частоте 1.3 и 20 ГГц. Большинство источников этой группы остаются комплексными во все наблюдаемые эпохи. Среднее красное смещение квазаров $\overline{z} = 1.76$, $\sigma = 0.87$. Многие источники имеют значительную переменность плотности потока на высоких частотах, $V_{21.7} > 0.13$ за год, у нескольких источников значительная переменность, сравнимая по амплитуде с переменностью на высоких частотах, наблюдается и на низких частотах, например, индекс переменности источника 0409+1217 на 2.3 ГГц $V = 0.33$, на 21.7 $V = 0.29$. В этой

группе находятся больше половины объектов типа BL Lac.

4. Спектры 11 источников в диапазоне 0.365 - 21.7 ГГц аппроксимируются либо логарифмической прямой с индексами от $\alpha = -0.04$ (0037+1109) до $\alpha = -0.5$ (1455+1151, 1507+1018), либо спектры имеют уплощение на частотах выше 3.9 ГГц. Уплощение вероятнее всего вызывается компактной компонентой, активной на более высоких частотах, но в рамках рассматриваемой модели не удается разделить компоненты для этих источников. 60% отождествленных источников этой группы составляют галактики, источники, которые наблюдались больше 1 раза не показывают значимой переменности плотности потока.

Не удалось интерпретировать спектры источников 0833+1123 и 2310+1055. У первого источника отсутствуют данные измерения плотности потока на частотах ниже 0.97 ГГц, в то время как в наших наблюдениях измеренная плотность потока на 0.97 ГГц равна 724 мЯн, у у второго на нескольких частотах в диаграмму попадает близкий источник.

5 Заключение

Для всех источников выборки с нормальными спектрами получены плотности потоков в диапазоне частот 0.97–11.1 ГГц, для трети источников — до 21.7 ГГц. Спектры 68% источников аппроксимируются прямой во всем диапазоне частот, спектры 28% источников имеют самопоглощение к низким частотам, 3 источника имеют спектры, уплощающиеся к высоким частотам, что, по-видимому, вызывается излучением компактных компонент с частотами максимумов выше исследуемого диапазона.

Для всех источников выборки с плоскими спектрами получены плотности потоков в диапазоне частот 0.97–21.7 ГГц. Проведено разделение этих спектров на протяженную и компактную компоненту. Протяженная компонента аппроксимировалась логарифмической прямой со спектральным индексом $\alpha = -0.5 \div -1.1$, компактная — логарифмической параболой. Для 50 источников удалось найти решение этой задачи, согласующееся с имеющимися низкочастотными данными измерения плотностей потоков. Вклад протяженной компоненты на частоте 0.97 ГГц для разных источников меняется от 0 до 100%. Спектры 17 источников не удается разделить в рамках двухкомпонентной модели, по-видимому, в источниках присутствует одновременно несколько компактных компонент.

Для компактных компонент с максимумом до 25 ГГц в системе покоя источников не найдено статистически значимой корреляции между параметрами их спектров и абсолютными спектральными радиосветимостями.

Проведено оптическое отождествление всех источников выборки. Значительное количество оптических объектов, отождествленных с источниками выборки, было классифицировано ранее, для остальных отождествлений продолжается работа по получению оптических спектров.

59% источников с нормальными спектрами отождествлены до 21 зв. величины: из них 52% галактики со средним красным смещением $\overline{z} = 0.15$, 34% квазары, $\overline{z} = 1.22$, спектры 6 объектов еще не получены.

86% источников с плоскими спектрами отождествляются с оптическими объектами: из них 68% составляют квазары со средним красным смещением $\overline{z} = 1.40$, 10% — объекты типа BL Lac ($\overline{z} = 0.55$) и 11% — галактики ($\overline{z} = 0.26$), остальные объекты еще не классифицированы.

Работа поддержана грантом РФФИ No 01-02-16331, грантом Университеты России код проекта УР.02.03.005 и грантом ФЦНТП "Астрономия".

Список литературы:

1. Горшков А.Г., Конникова В.К.// Астрон. журн. 1995. Т.72. С.291.
2. Gregory P.C., Scott W.K., Douglas K. Condon J.J.//Astrophys.J.Suppl.Ser., 1996, V.103, P. 427
3. Heeschen D.S. //Astron.J., 1984, V.89, P.1111
4. Gorshkov A.G., Konnikova V.K., Mingaliev M.G.// Astrophysics and Space Science, 2001, V.278, P.93.
5. Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г., Смирнова Т.В., Шишов В.И.// Астрон. журн., готовится к публикации
6. Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г.// Астрон. журн., готовится к публикации
7. Боташев А.М., Горшков А.Г., Конникова В.К.,Мингалиев М.Г.// Астрон. журн. 1999. Т. 76. С.723.
8. Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г.// Астрон. журн. 2000. Т.77. С.407.
9. Горшков А.Г., Конникова В.К.// Астрон. журн. 1997. Т.74. С.374.
10. Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г.// Астрон. журн. 2000. Т.77. С.188.
11. Берлин А.Б., Максяшева А.А., Нижельский Н.А. и др.// Тезисы докл. XXYII радиоастрон. конф. С-Петербург, 1997. Т. 3. С. 115.
12. Соболева Н.С., Темирова А.В., Пятунина Т.В.// Препринт Специальной астрофиз. обсерв. 1986. 32л.
13. Горшков А.Г., Хромов О.И.//Астрофиз. Исслед. (Изв.САО). 1981.Т.14.С.15.
14. Горшков А.Г., Конникова В.К.// Астрон. журн. 1996. Т.73. С.351.

15. Tabara H., Inoue M.// Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1980. V.39, P.379

16. Кузьмин А.Д., Саломонович А.Е.// Радиоастрономические методы измерения параметров антенн. М., 1964. Сов. Радио.

17. Browne I.W.A.// Monthly Notices Roy.Astron.Soc. 1998. V.293. P.257.

18. Condon J.J., Cotton W.D., Greisen E.W. et al.// Astron.J. 1998. V.115. P. 1693.

19. Monet D., Bird A., Canzian B. et al.// 1996. USNO-SA1.0, (U.S.Naval observatory, Washington DC.

20. Pennington R.L., Humphreys R.M., Odewahn S.C. et al.// Publs.Astron.Soc.Pacif. 1993. V.105. P.103.

21. Veron-Cetty M.P., Veron P.// Astron. and Astrophysics. 2001. V.374. P.92.

22. http:// nedwww.ipac.caltech.edu.

23. Чавушян В., Мухика Р., Валдес Х.Р., Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г.// Астрон. журн. 2002, Т.79. С.771

24. Афанасьев В.Л., Додонов С.Н., Моисеев А.В. и др.,//Письма в Астрон. журн., 2003, N. 6.

25. Афанасьев В.Л., Додонов С.Н., Моисеев А.В., Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г.//Астрон. журн., готовится к публикации.

26. Douglas J.N.//Bull.Amer.Astron. Soc. 1987. V.19. P.1048.

27. Blandford R.D., Kongil A.// 1979. Astrophys. J. V. 232. P. 34.

28. Marscher A. H., Gear W. K.// 1985. Astrophys. J. V. 298. P. 114.

29. Hughes P. A., Aller H. D., Aller M. F.// 1991. Astrophys. J. V. 374. P. 57.

30. Valtaoya E., Terasranta H., Urpo S. et al.// Astron. and Astrophys. 1992. V. 254. P. 71.

31. Landau R., Golisch B., Jones T. J. et al.// 1986. Astrophys. J. V. 308. P. 78.

32. Горшков А.Г.//Тезисы докл. XXYII радиоастрон. конф. С-Петербург, 1997. Т.1. С.176.

33. Andrew B. H., MacLeod J. M., Harvey G. A., Medd W. J.// Astron. J. 1978. V 83. P. 863.

34. Aller H. D., Aller M. F., Latimer G., E., Hodge P. E. Astrophys. J. Suppl. Ser. 1985. V. 59. P. 513.

35. Terasranta H., Tornikoski M., Valtaoja E. et al.// Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. 1992. V. 94. P. 121.