

УДК 524.74:520.27

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИГАНТСКИХ ГАЛАКТИК НА РАТАН-600

© 2011 М. Л. Хабибуллина<sup>1</sup>, О. В. Верходанов<sup>1</sup>,  
М. Сингх<sup>2</sup>, А. Пирия<sup>2</sup>, С. Нанди<sup>2</sup>, Н. В. Верходанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>2</sup>Aryabhata Research of Observational Sciences, Manora Peak, Nainital, India

Поступила в редакцию 28 июля 2010 г.; принята в печать 15 сентября 2010 г.

Приводятся результаты измерения плотностей потоков протяженных компонент тринадцати гигантских радиогалактик, выполненные на РАТАН-600 в сантиметровом диапазоне. Дополнив их данными обзоров WENSS, NVSS и GB6, мы построили спектры компонент изучаемых радиогалактик. Рассчитаны спектральные индексы в исследуемом частотном диапазоне и показана необходимость детального учета интегрального вклада таких объектов в фоновое излучение.

Ключевые слова: *Радиоисточники*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно общепринятому определению, гигантские радиогалактики (ГРГ) являются радиоисточниками с линейным размером больше 1 Мпк, т.е. самыми большими радиоисточниками во Вселенной. Они, в основном, принадлежат морфологическому типу FR II [1] и отождествляются с гигантскими эллиптическими галактиками и квазарами. По сравнению с обычными галактиками ГРГ достаточно редки. Это затрудняет их статистическое изучение и детальное исследование причин их образования как популяции. Они являются самыми большими объектами видимой Вселенной, и не исключено, что могут играть особую роль при формировании крупномасштабной структуры. Радионаблюдения ГРГ позволяют прояснить причины происхождения объектов таких гигантских размеров, которые до конца еще не ясны. Большие размеры ГРГ также предполагают, что эти источники должны находиться на последней стадии эволюции.

Изучение ГРГ началось с источника 3C 236 [2]. Модели радиоисточников [3, 4] предсказывают изменение радиосветимости и линейных размеров мощных радиоисточников со временем. Согласно этим моделям, ГРГ должны быть очень старыми объектами (с возрастом более  $10^8$  лет) и предположительно находиться в среде с пониженной плотностью по сравнению с источниками меньшего размера, но сравнимой радиосветимости [5]. Комберг и Пашенко [6], проанализировав радио и оптические данные (SDSS, APM) для радиогалактик и квазаров, заключают, что, кроме влияния окружения,

гигантский размер радиосточника может объясняться наличием популяции долгоживущих радиогромких активных ядер, которые, в свою очередь, могут проэволюционировать до ГРГ. Многочастотные наблюдения [7] показали, что спектральный возраст ГРГ больше, чем ожидаемый из эволюционных моделей. Как отмечалось в работе [8], такие радиогалактики могут влиять на процессы формирования галактик, так как давление истекающего газа радиосточника может сжать холодные газовые облака и инициировать развитие звезд, с одной стороны, а также остановить формирование галактики, с другой стороны. Несколько групп [9–18] продолжают изучение свойств ГРГ, стремясь объяснить их огромные размеры. Но к настоящему времени однозначного решения проблемы пока нет.

В своих работах [19, 20] по анализу радиоспектров гигантских радиогалактик мы пришли к заключению, что изменение спектрального индекса у гигантских радиогалактик в зависимости от выноса из центра галактики, отмечаемое и ранее в [10], связано с изменением энергии частиц в компонентах, вызванным изменением давления обтекающего газа, т.е. обусловлено изменением окружающей среды в зависимости от расстояния до родительской галактики. Однако обобщающие выводы будут более значимы при интегральном подходе к популяции ГРГ в целом. Существенным этапом исследования причин возникновения больших размеров гигантских радиогалактик является сравнительное изучение аналогичных свойств “обычных” радиогалактик [21–24]. Отметим, что ранее Соболевой [25] на РАТАН-600 уже наблюдались радиогалактики с минутными размерами в

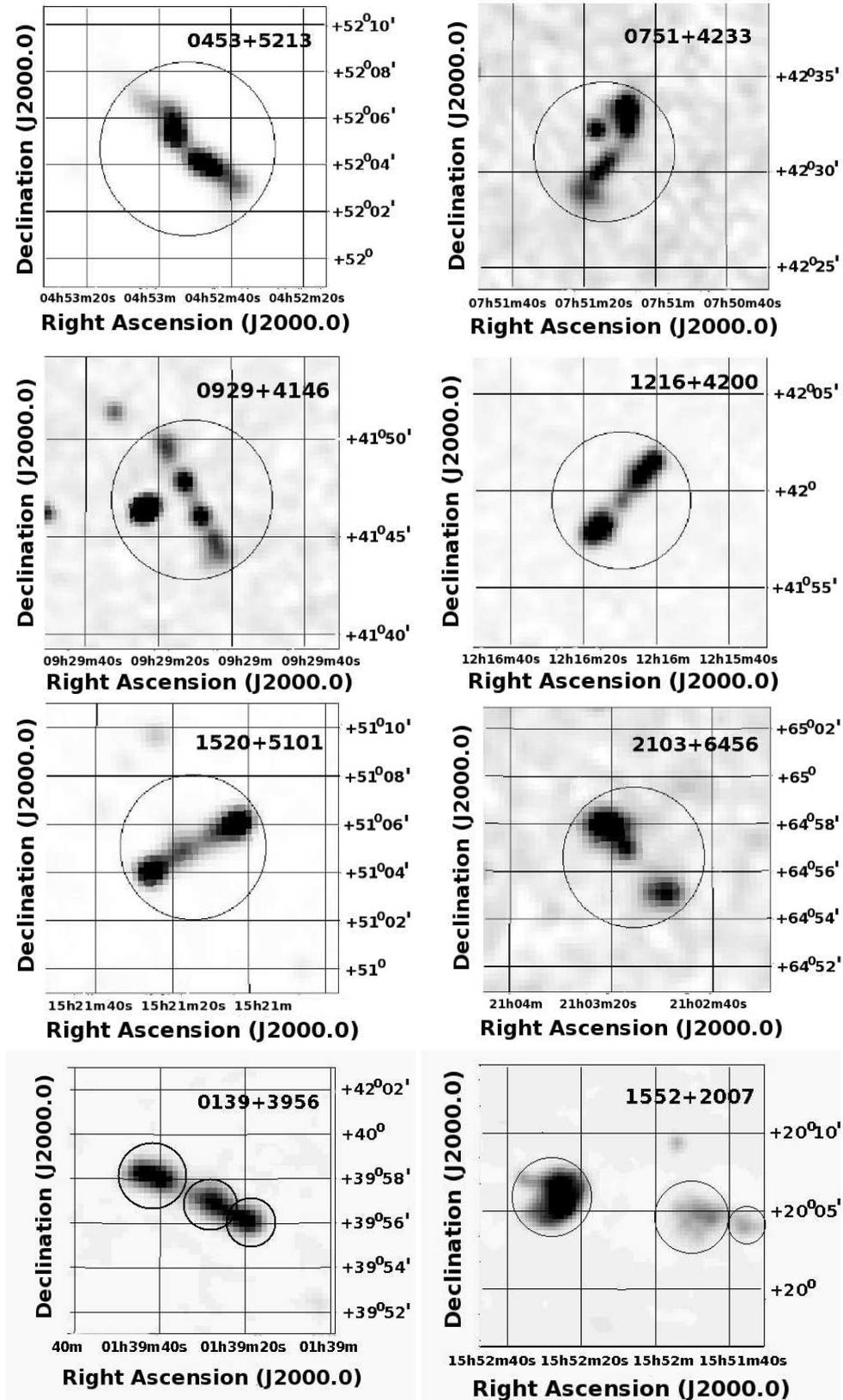


Рис. 1. Радиоизображения гигантских радиогалактик в обзоре NVSS. Окружности отмечают наблюдаемые на РАТАН-600 компоненты объектов.

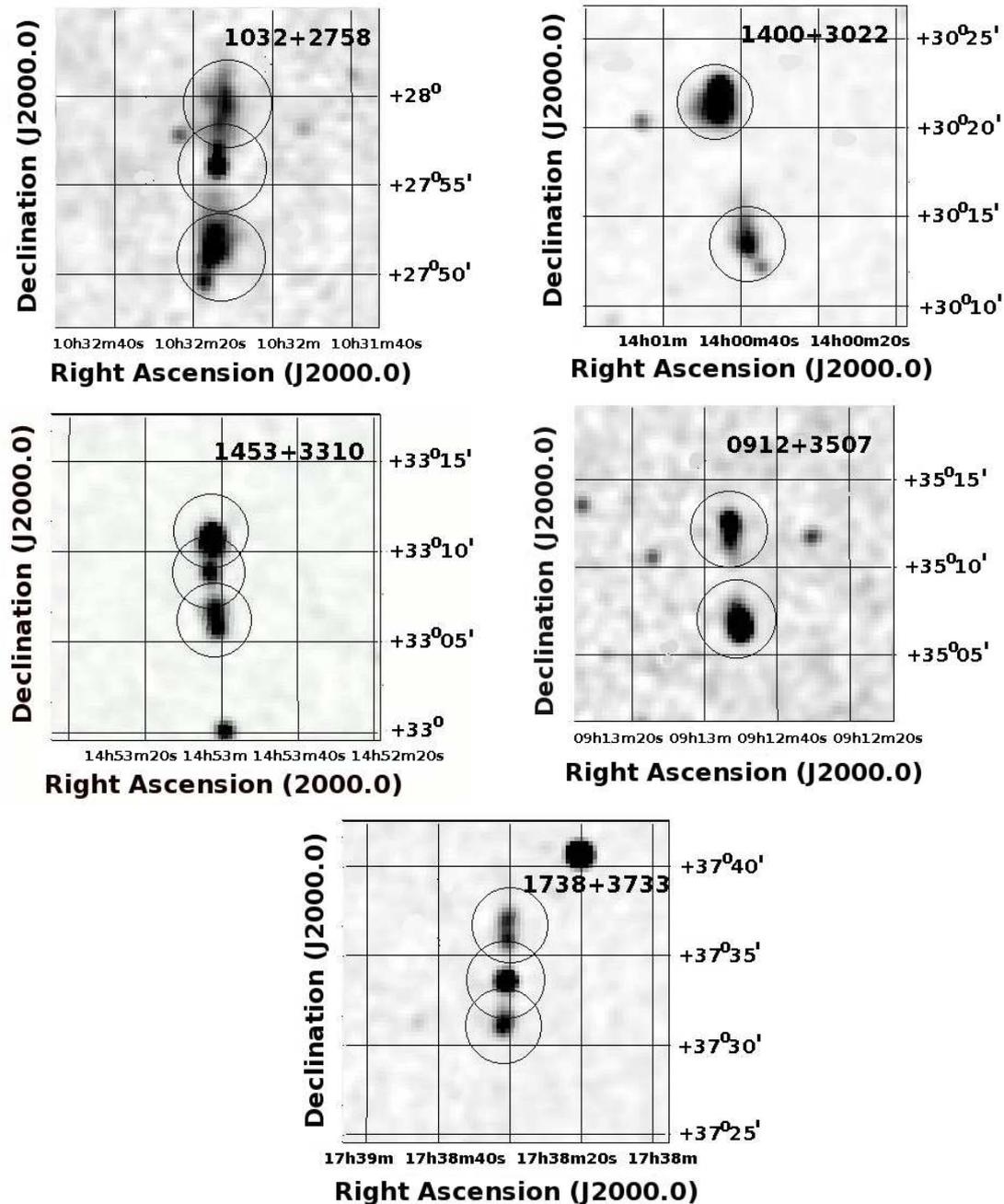


Рис. 1. (Продолжение)

сантиметровом диапазоне длин волн, и было обнаружено, что морфологические структуры имеют практически одинаковые спектральные индексы. Поэтому исследование объектов выборки ГРГ позволит пополнить информацию о радиоспектрах галактик данной популяции.

При исследовании GRG также вызывает интерес отражение морфологических свойств (их размеры, форма и ориентация) или в гармоническом описании фазовых характеристик таких образований на картах микроволнового фона [26]. Хотя ка-

жущийся их вклад в карты фона в миллиметровом диапазоне невысок, угловой размер источников (до 10 минут дуги) создает проблемы при разделении компонент из-за изменения спектрального индекса в местах расположения протяженных радиокомпонент галактик. Поэтому одна из интересных задач состоит в оценке и учете возможного вклада GRG в анизотропию фона, как их излучения в миллиметровом диапазоне, так и эффектов, возникающих при разделении компонент на масштабах мультиполей  $\ell \geq 500$  в разных частотных диапазонах.

Таблица 1. Основные параметры наблюдаемых гигантских радиогалактик

Источник	Координаты	Красное смещение	Тип	Угловой размер, минут дуги	Плотность потока (1.4 ГГц), мЯн
	RA+Dec (J2000.0) ччммсс+ггммсс				
GRG 0139+3957	013930+395703	0.211	II	5.7	801.1
GRG 0452+5204	045253+520447	0.109	I	9.7	2869.1
GRG 0751+4231	075109+423124	0.203	II	6.0	162.3
GRG 0912+3510	091252+351016	0.249	II	6.2	157.4
GRG 0929+4146	092911+414646	0.365	II	6.6	165.5
GRG 1032+2759	103214+275600	0.085	II	11.0	284.1
GRG 1216+4159	121610+415927	0.243	II	5.2	415.5
GRG 1343+3758	134255+375819	0.227	II	11.3	131.0
GRG 1400+3017	140040+301700	0.206	II	10.8	451.9
GRG 1453+3308	145303+330841	0.249	II	5.7	455.5
GRG 1521+5105	152115+510501	(0.37)	II	4.3	1197.5
GRG 1552+2005	155209+200524	0.089	II	19.6	2385.6
GRG 1738+3733	173821+373333	0.156	II	6.5	236.0
GRG 1918+516	191923+514334	0.284	II	7.3	920
GRG 2103+6456	210314+645655	0.215	II	4.8	119.7

В данной работе мы приводим результаты измерений плотностей потоков гигантских радиогалактик в сантиметровом и дециметровом диапазонах по результатам двух сетов наблюдений на РАТАН-600.

## 2. ДАННЫЕ РАТАН-600

### 2.1. Наблюдения на РАТАН-600

Исходная выборка ГРГ построена по спискам из работ [9–11] в рамках возможностей РАТАН-600. Наблюдения ГРГ проводились на Северном секторе РАТАН-600 во второй декаде декабря 2008 г. и Южном секторе в первой декаде января 2010 г. При наблюдениях использовались радиометры сплошного спектра Первого облучателя [27] для длин волн 1.38, 2.7, 3.9, 6.25, 13 и 31 см. Отметим, что несмотря на большой диапазон длин волн, из-за высокой помеховой обстановки в период наблюдений данные, пригодные для анализа, были получены в четырех полосах: 2.7, 3.9, 6.25 и 13 см. Размеры диаграмм направленности в центральном сечении на высотах наблюдения были 25", 36", 43" и 57", 90"

и 119" соответственно. Для волн 6.25 и 13 см использовались подканалы спектроанализатора, позволяющие эффективно бороться с помехами. Список наблюдаемых источников приведен в Таблице 1, журнал наблюдений — в Таблице 2. Отметим, что для галактик GRG 1343+3758 и GRG 2103+64 в течение сетов наблюдений достичь достаточного уровня отношения сигнал/шум для обнаружения источников не удалось.

В зависимости от позиционного угла радиоструктуры были сделаны от одного до трех сечений источника (Таблица 2). Количество прохождений объектов через диаграмму направленности телескопа было ограничено наблюдательным временем, предоставленным Программным Комитетом.

### 2.2. Обработка

Для привязки плотностей потоков к международной шкале [28] были проведены наблюдения калибровочных источников из стандартного списка РАТАН-600 [29, 30]. Кривые прохождения источников анализировались в штатной системе обработки FADPS [31, 32]. На первом этапе из

**Таблица 2.** Наблюдаемые области ГРГ. Сечения: с — центральное, п — северное, s — южное.  $N_t$  — число проходов. Координаты (прямое восхождение+склонение) центров компонент приведены на эпоху J2000.0

Источник	Сечение	Координаты центра набл. области	$N_t$
GRG 0139+3957	с	013927.4+395653	1
GRG 0452+5204	с	045343.7+520556	11
GRG 0751+4231	с	075153.9+422945	10
GRG 0912+3510	п	091252.0+351231	5
GRG 0912+3510	s	091250.0+350631	1
GRG 0929+4146	с	092951.8+414353	10
GRG 1032+2756	п	103212.5+275925	3
GRG 1032+2756	с	103214.4+275555	3
GRG 1032+2756	s	103215.1+275115	1
GRG 1216+4159	с	21641.4+415545	11
GRG 1343+3758	с	134255.0+375819	2
GRG 1400+3017	п	140045.0+302214	3
GRG 1400+3017	s	140038.4+301325	3
GRG 1453+3308	п	145302.0+331046	4
GRG 1453+3308	с	145303.0+330856	2
GRG 1453+3308	s	145301.4+330556	1
GRG 1521+5105	с	152132.5+510232	7
GRG 1552+2005	с	155209.0+200524	8
GRG 1738+3733	п	173820.6+373658	2
GRG 1738+3733	с	173821.0+373333	2
GRG 1738+3733	s	173821.8+373108	1
GRG 2103+6456	с	210322.1+645929	9

записей прохождения источников вычитался низкочастотный тренд с окном сглаживания 8 минут дуги. Переход к плотностям потоков осуществлялся интегрированием протяженного сигнала, аппроксимируемого набором гауссиан, и переходом к шкале плотностей потоков путем калибровки. Уровень шума в записях одноразовых проходов на длинах волн 1.38, 2.7, 3.9, 6.25 и 13 см составил при наблюдениях на Северном секторе на высоте  $76^\circ$  8.1, 5, 36, 3.3 и 65 мК/сек<sup>1/2</sup> соответственно, на Южном секторе на высоте  $82^\circ$  — 17.2, 8.9, 18.1, 10.7 и 96.6 мК/сек<sup>1/2</sup> соответ-

ственно. Данные измерений плотностей потоков на длинах волн 2.7, 3.9, 6.25 и 13 см приведены в Таблице 3. Там же приведены величины интегральных плотностей потоков исследуемых источников, вычисленные по картам NVSS (NRAO VLA Sky Survey) [33] на длине волны 21 см, построенным на радиointерферометре VLA (США), WENSS [34] (Westerbork Northern Sky Survey) на голландском радиointерферометре в Вестерборке на длине волны 92 см, а также данные из каталога GB6 (Green Bank) [35]. Интегрирование распределения радиояркости на картах проводилось с помощью пакета

**Таблица 3.** Интегральные плотности потоков (мЯн) радиоисточников по данным наблюдений РАТАН–600 и обзоров WENSS, NVSS

Компонента источника	2.7 см РАТАН	3.9 см РАТАН	6.25 см РАТАН	13 см РАТАН	92 см WENSS	21 см NVSS	6.2 см GB6
0139+3957w	–	–	470	857	–	2120	656
c	–	–	139	252	–	744	317
e	–	–	82	212	–	133	–
0452+5204c	417	827	1141	1984	18760	3003	844
0751+4231c	103	227	274	476	1365	202	35
0912+3510n	–	–	21	<120	160	56	<20
s	–	–	70	144	512	101	20
0929+4146c	–	–	215	315	1560	200	91
1032+2759n	–	–	46	<120	–	92	<20
c	–	–	35	<120	–	75	59
s	–	–	86	108	–	138	56
1216+4159c	–	–	123	207	1604	264	77
1400+3017n	–	–	61	178	1258	333	73
s	–	–	40	155	1053	155	37
1453+3308n	–	–	19	<40	420	245	<20
c	–	–	109	138	593	149	131
s	–	–	76	<40	488	89	<20
1521+5105c	–	–	317	549	4903	747	377
1552+2005w	–	–	82	212	–	133	<20
e	–	–	139	252	–	744	317
ee	–	–	470	857	–	2120	656
1738+3733n	–	–	36	56	152	64	<20
c	–	–	46	113	720	117	93
s	–	–	29	<30	133	58	<20
2103+6456c	–	–	<54	<180	337	124	32

интерактивного анализа изображений SkyView<sup>1</sup> с предварительным вычитанием тренда. Для отождествления объектов и оценок их параметров также использовалась база данных CATS [36, 37]. Среди каталогов CATS отождествления найдены в обзорах GB6 [35], VLSS [38], 6C [39], 7C [40], 8C [41], Texas [42], B3 [43].

<sup>1</sup><http://www.ipac.caltech.edu/Skyview/>

Одной из проблем наблюдений ГРГ на РАТАН-600 является определение плотности потока многокомпонентного источника, в котором компоненты имеют близкие прямые восхождения, но различные склонения. При этом радиоисточник оказывается ориентирован соосно (вертикально в проекции на плоскость) с диаграммой направленности при наблюдениях в меридиане. Тогда в каждом из сечений появляется вклад от разных ра-

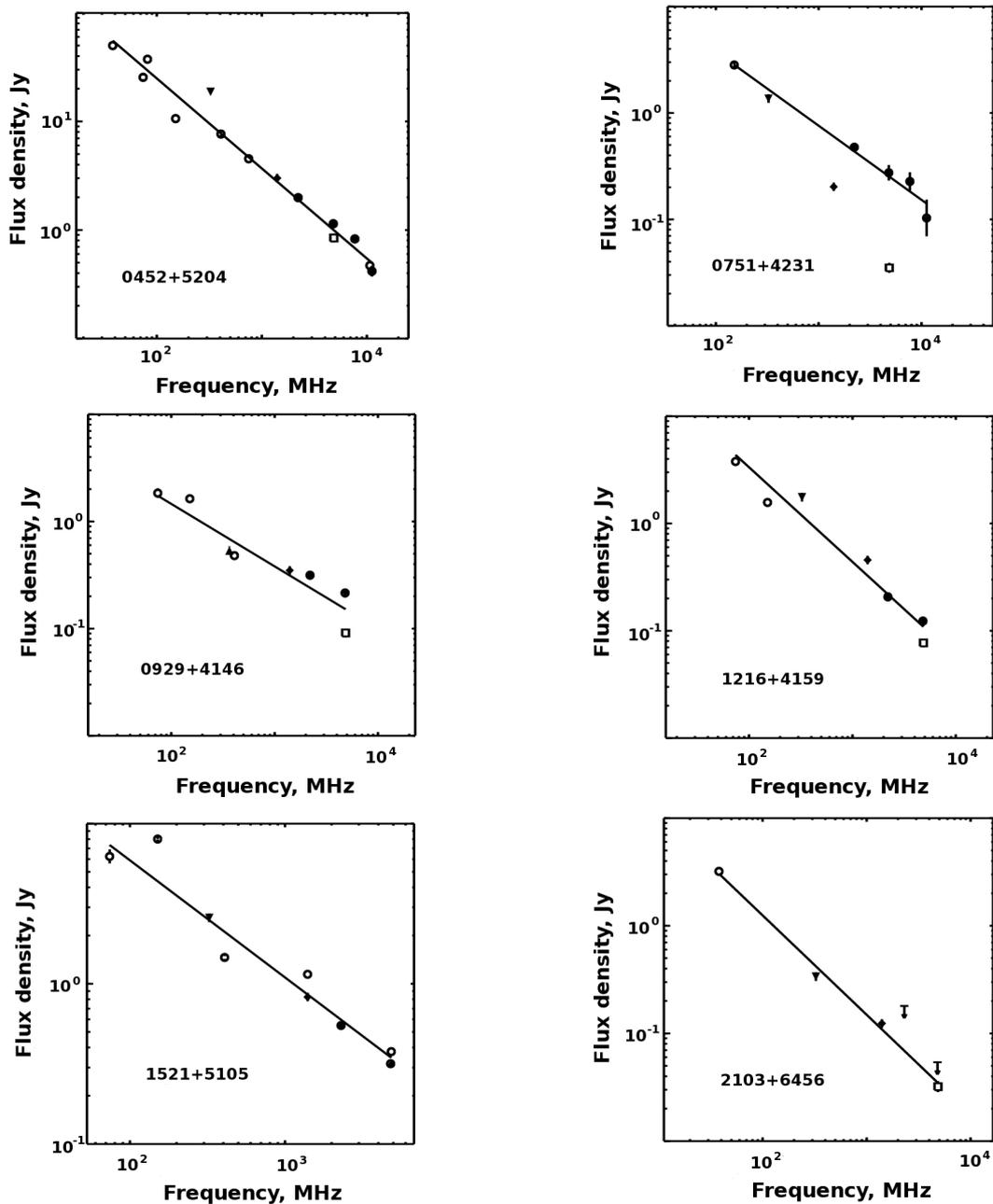


Рис. 2. Радиоспектры гигантских радиогалактик, построенные по данным наблюдений на ПАТАН-600 и обзоров NVSS, WENSS, GB6 (Таблица 3) и др. Данные ПАТАН-600 показаны черными овалами.

диокомпонент объекта из-за протяженной формы диаграммы направленности по вертикали. Одним из способов восстановления полученного сигнала является моделирование протяженного источника с использованием более точных данных из каталога NVSS, его свертка с расчетной диаграммой направленности ПАТАН-600 и вычисление поправки сигнала, вызванной путаницей вклада различных компонент. Данный подход, примененный в работе [19], дал несколько завышенные оценки потоков при восстановлении, что может быть связано

с неточным заданием формы источника, поэтому здесь мы применили другие оценки, основанные на аддитивности оператора свертки. В этом случае для двух компонент источника, разнесенных на угловое расстояние  $\Delta h$  при наблюдениях с одинаковой диаграммой направленности в наблюдаемую плотность потока  $S_1$  одной компоненты, кроме приходящего потока  $B_1$ , входит и часть потока от второй компоненты  $kS_2$ , где  $k$  — коэффициент (значение диаграммы), соответствующее выносу по вертикали из центра диаграммы на угловое

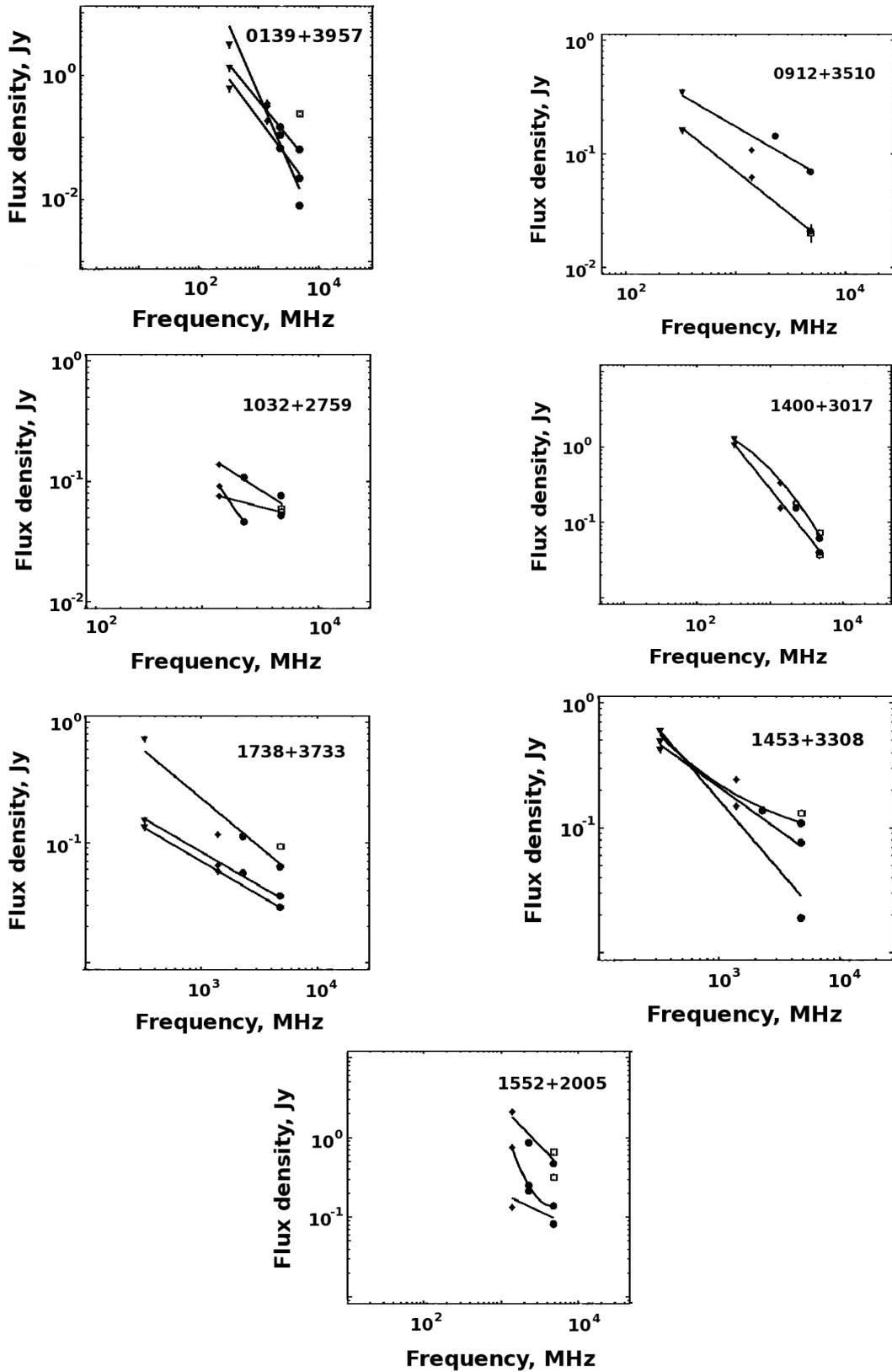


Рис. 2. (Продолжение)

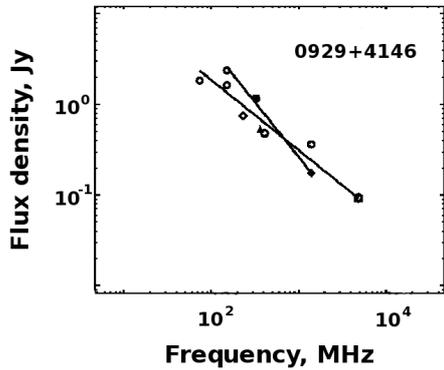


Рис. 3. Радиоспектры радиогалактик: гигантской GRG 0929+4146, имеющей более крутой спектр, и обычной двойной J092924+414618, у которых распределение радиояркости было проинтегрировано диаграммой направленности при наблюдениях на РАТАН-600. Здесь показаны отдельные спектры для каждого из источников, дающий общий вклад в наблюдаемое на РАТАН-600 распределение радиояркости.

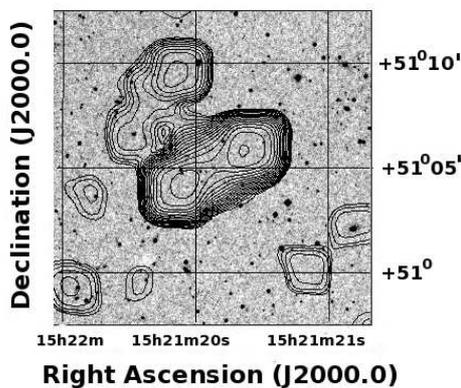
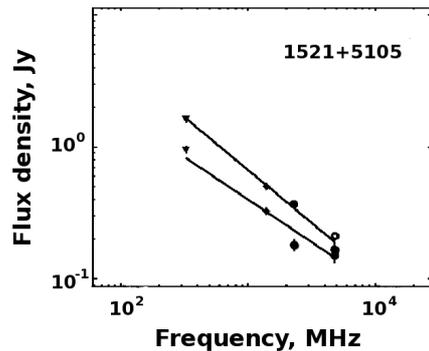


Рис. 4. Вверху: радиоспектры компонент GRG 1521+5105. Данные РАТАН-600 показаны черными овалами. Внизу: радиоизображение GRG 1521+5105 (в центре) по данным NVSS, наложенное на оптическое изображение обзора DSS.

Таблица 4. Аппроксимационные зависимости для непрерывных радиоспектров гигантских радиогалактик в диапазоне длин волн от 92 см до 2.7 см

Компонента источника	Радиоспектр
0139+3957w	$3.182 - 1.294x$
c	$6.409 - 2.237x$
e	$3.135 - 1.182x$
0452+5204c	$3.054 - 0.829x$
0751+4231c	$1.971 - 0.697x$
0912+3510n	$1.165 - 0.771x$
s	$0.922 - 0.560x$
0929+4146c	$1.330 - 0.583x$
1032+2759n	$3.366 - 1.400x$
c	$-0.349 - 0.246x$
s	$1.104 - 0.621x$
1216+4159c	$2.288 - 0.882x$
1400+3017n	$-0.914 + 1.406x - 0.400x^2$
s	$3.051 - 1.201x$
1453+3308n	$2.602 - 1.126x$
c	$-1.275 + 12.534e^{-x}$
s	$1.409 - 0.694x$
1552+2005w	$0.695 - 0.463x$
e	$34.372 - 19.175x + 2.609x^2$
ee	$3.394 - 0.997x$
1521+5105c	$2.233 - 0.731x$
1738+3733n	$0.544 - 0.566x$
c	$1.779 - 0.803x$
s	$0.607 - 0.561x$
2103+6456c	$1.942 - 0.923x$

расстояние  $\Delta h$ . Отсюда получаем, что реальный сигнал от одной компоненты можно оценить как  $B_1 = (S_1 - kS_2)/(1 - k^2)$ . Данный алгоритм был применен при анализа наблюдений ГРГ в нескольких сечениях. Результаты показаны в Таблице 3.

Ошибка определения плотностей потоков в проведенных наблюдениях на РАТАН-600 для источников с плотностью потока больше 50 мЯн соста-

**Таблица 5.** Спектральные индексы компонент гигантских радиогалактик на длинах волн 6.25 и 13 см

Компонента источника	Спек. индекс	Спек. индекс
	6.25 см	13 см
0139+3957w	-1.29	-1.29
c	-2.24	-2.24
e	-1.18	-1.18
0452+5204c	-0.83	-0.83
0751+4231c	-0.70	-0.70
0912+3510n	-0.77	-0.77
s	-0.56	-0.56
0929+4146c	-0.58	-0.58
1032+2759n	-1.40	-1.40
c	-0.24	-0.24
s	-0.62	-0.62
1216+4159c	-0.88	-0.88
1400+3017n	-1.54	-1.27
s	-1.20	-1.20
1453+3308n	-1.13	-1.13
c	-0.31	-0.43
s	-0.69	-0.69
1521+5105c	-0.73	-0.73
1552+2005w	-0.46	-0.46
e	0.03	-1.63
ee	-1.00	-1.00
1738+3733n	-0.57	-0.57
c	-0.80	-0.80
s	-0.56	-0.56
2103+6456c	-0.92	-0.92

вила порядка 10% от величины плотности потока, а для плотности потока меньше 50 мЯн — 13% на длине волны 6.25 см. Аналогично, на длине волны 13 см ошибка 10% — для величин больше 180 мЯн и 15% — для величин меньше 180 мЯн.

Для источников GRG 0452+5204 и GRG 0751+4231 на длинах волн 2.7 и 3.9 см наблюдения проводились в режиме “beam switching”.

Чтобы учесть возможное уменьшение плотности потока протяженного объекта при наблюдении в этом режиме, было проведено моделирование прохождения источников через два рупора, включающее расчет двумерной диаграммы направленности РАТАН-600 по методу Коржавина [44] в рамках системы FADPS [31] на наблюдаемой длине волны, свертку с компонентами наблюдаемого источника, и построение модели прохождения через диаграмму РАТАН-600. Кроме того, для анализа данных мы также использовали расчеты диаграммы направленности Майоровой [45]. Оценка коэффициента перерасчета интегральной плотности потока протяженного радиоисточника в модели режима “beam switching” вносилась в анализ реальных наблюдений.

### 2.3. Спектры

По данным измерений мы построили спектры для компонент радиоисточников. При описании спектров использовалась их параметризация формулой  $\lg S(\nu) = A + Bx + Cf(x)$ , где  $S$  — плотность потока в Ян,  $x$  — логарифм частоты  $\nu$  в МГц, и  $f(x)$  — одна из следующих функций  $\exp(-x)$ ,  $\exp(x)$  или  $x^2$ . Для анализа спектров использовалась система *spg* [46]. Спектры компонент показаны на Рис.2. Аналитическое описание кривых непрерывного спектра для компонент исследуемых ГРГ приведено в Таблице 4.

## 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Построенные спектры (Рис.2) демонстрируют разнообразие свойств ГРГ. Очевидным является факт, что спектральные индексы в компонентах наблюдаемых радиогалактик существенно различаются, причем различается и форма спектров: от сильно крутых, как у источника GRG 0139+3957, так и до спектров с уплощением, как у компоненты источника GRG 1453+3308.

Величины плотностей потоков, измеренных на длинах волн 2.7, 3.9, 6.25 и 13 см, собраны в Таблице 3, а спектральные индексы равны соответственно коэффициентам при аргументе  $x$  из Таблицы 4 для источников, наблюдаемых только в центральном сечении. Для остальных результаты приведены в Таблице 5. Отметим, что на спектре источника GRG 0751+4231 данные РАТАН-600 лежат выше, чем GB6 и NVSS. Объект из каталога GB6 практически точечный, что объясняет низкий уровень каталогизированного значения потока. Скорее всего, уровень соответствующей величины из NVSS имеет ту же причину, когда интегрирование по пиковым значениям приводит к неполному учету слабого диффузного излучения. Среди наблюдаемых источников, выделяется

объект GRG 1738+3733, у которого в обеих протяженных компонентах радиоспектры подобны и спектральные индексы одинаковы.

Заметим, что изменение спектрального индекса у гигантских радиогалактик в зависимости от выноса из центра галактики отмечалось и ранее [10]. Оно связывается с изменением энергии частиц в компонентах, вызванным изменением давления обтекающего газа, т.е. обусловлено изменением окружающей среды в зависимости от расстояния до родительской галактики.

Наблюдаемый на РАТАН-600 радиисточник в области GRG 0929+4146 представляет собой две радиогалактики: собственно GRG 0929+4146 в виде многокомпонентного объекта, протянувшегося вдоль одной линии, и двойной радиисточник типа FR II с координатами ( $\alpha = 09^h 29^m 24^s$ ,  $\delta = +41^\circ 46' 18''$ ), сливающихся в один протяженный объект слева вблизи от GRG 0929+4146 на Рис. 1. На РАТАН-600 радиогалактики в меридианном прохождении не разрешаются, таким образом на Рис. 2 приведен суммарный спектр. По данным обзоров NVSS, WENSS и 7C мы построили отдельные спектры для каждой из радиогалактик (Рис. 3). Интегральный радиоспектр только для GRG 0929+4146 аппроксимирован зависимостью  $y = 3.046 - 1.208x$ , а спектр соседней радиогалактики — зависимостью  $y = 1.818 - 0.774x$ , имеющей меньший наклон и соответственно демонстрирующей, что на коротких волнах в наблюдениях на РАТАН-600 преобладает радиоизлучение от источника J092924+414618.

Радиогалактику GRG 1521+5105 удалось разрешить на две компоненты, спектры которых приведены на Рис. 4. Интегральные плотности потоков радиоизлучения составили для одной компоненты (J152103+510600) 368 мЯн на длине волны 13 см и 167 мЯн на 6.25 см, для другой компоненты (J152125+510401) 181 мЯн и 150 мЯн на 13 см и 6.25 см соответственно. Аппроксимационные зависимости для радиоспектров компонент описываются функциями:  $y = 2.226 - 0.800x$  и  $y = 1.537 - 0.645x$ . Радиогалактика GRG 1521+5105, отождествляемая с галактикой SDSS J152114.55+510500.9 и имеющая фотометрическое красное смещение  $z = 0.37$  (по данным базы данных NED<sup>2</sup>), находится на окраине проекции скопления NSCS J152018+505306 с красным смещением  $z = 0.52$  (NED) на угловом расстоянии 15 минут дуги от центра. Тем не менее, вокруг радиогалактики в радиусе 10 минут дуги находится свыше 1700 галактик (по данным NED) и большое число радиисточников (Рис. 4). Из-за

отсутствия данных о красном смещении подавляющего большинства из них сложно судить о физической принадлежности GRG 1521+5105 какой-либо группе галактик. Но богатое окружение данной радиогалактики вызывает дополнительный интерес к поиску причин ее гигантского размера.

Наблюдения на РАТАН-600 позволили уточнить спектры компонент ГРГ и при экстраполяции радиоспектра оценить их поток в миллиметровом диапазоне длин волн. Плотности потоков исследуемых компонент ГРГ лежат в этой части спектра на уровне выше 0.6 мЯн. При ожидаемом количестве объектов типа ГРГ в несколько сотен на полной сфере [26] их вклад в фоновое излучение, в принципе, может привести в байесу при расчете уровня флуктуаций фона, не говоря о проблемах разделения сигнала.

Предполагается дальнейшее накопление данных, включая составление списков новых ГРГ и их наблюдения на РАТАН-600.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Ю. Сотниковой за помощь в проведении наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 и С.А. Трушкину за ценные дискуссии. При исследовании использовалась база данных внегалактических объектов NED. Авторы также использовали базу данных радиоастрономических каталогов CATS [36, 37] (<http://cats.sao.ru>) и систему обработки радиоастрономических данных FADPS [31, 32] ([http://sed.sao.ru/~vo/fadps\\_e.html](http://sed.sao.ru/~vo/fadps_e.html)). Работа была поддержана грантами “Ведущие научные школы России” (школа С.М. Хайкина) и РФФИ (No 09-02-92659-ИНД, 09-02-00298). О.В.В. также благодарит за частичную поддержку Фонд “Династия”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. L. Fanaroff and J. M. Riley, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **167**, 31 (1974).
2. R. G. Strom and A. G. Willis, *Astronom. and Astrophys.* **85**, 36 (1980).
3. C.R. Kaiser, J. Dennett Thorpe, and P. Alexander, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **292**, 723 (1997).
4. K. Blundell, S. Rawlings, and C.J. Willott, *Astronom. J.* **117**, 677 (1999).
5. C.R. Kaiser and P. Alexander, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **302**, 515 (1999).
6. Б. Л. Комберг, И. Н. Пашенко, *Астрон. ж.* **86**, 1163 (2009), arXiv:0901.3721.
7. K.-H. Mack, U. Klein, C.P. O’Dea, et al. *Astronom. and Astrophys.* **329**, 431 (1998).
8. M. Jamrozy, J. Machalski, K.-H. Mack, and U. Klein, *Astronom. and Astrophys.* **433**, 467 (2005).

<sup>2</sup><http://nedwww.ipac.caltech.edu>

9. A. P. Schoenmakers, K.-H. Mack, A. G. de Bruyn, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **146**, 293 (2000).
10. A. P. Schoenmakers, A. G. de Bruyn, H. J. A. Roettgering, and H. van der Laan, *Astronom. and Astrophys.* **374**, 861 (2001).
11. L. Lara, I. Marquez, W. D. Cotton, et al., *Astronom. and Astrophys.* **378**, 826 (2001).
12. L. Lara, G. Giovannini, W. D. Cotton, et al., *Astronom. and Astrophys.* **421**, 899 (2004).
13. L. Saripalli, R. W. Hunstead, R. Subrahmanyam, and E. Boyce, *Astronom. J.* **130**, 896 (2005).
14. C. Konar, D. J. Saikia, C. H. Ishwara-Chandra, and V. K. Kulkarni, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **355**, 845 (2004).
15. C. Konar, M. Jamrozy, D. J. Saikia, and J. Machalski, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **383**, 525 (2008).
16. M. Jamrozy, C. Konar, J. Machalski, and D. J. Saikia, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **383**, 525 (2008).
17. J. Machalski, M. Jamrozy, S. Zola, and D. Koziel, *Astronom. and Astrophys.* **454**, 85 (2006).
18. S. Nandi, A. Pirya, S. Pal, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **404**, 433 (2010), arXiv:1001.3998.
19. М. Л. Хабибуллина, О. В. Верходанов, М. Сингх и др., *Астрон. ж.* **87**, 627 (2010).
20. М. Л. Хабибуллина, О. В. Верходанов, М. Сингх и др., *Астрон. ж.* **88**, в печати (2011).
21. M. L. Khabibullina and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **64**, 123 (2009), arXiv:0911.3741.
22. M. L. Khabibullina and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **64**, 276 (2009), arXiv:0911.3747.
23. M. L. Khabibullina and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **64**, 340 (2009), arXiv:0911.3752.
24. О. В. Верходанов и М. Л. Хабибуллина, *Письма в АЖ* **36**, 9 (2010), arXiv:1003.0577.
25. Н. С. Соболева, *Астрофиз. Иссл. (Известия САО)* **14**, 50 (1981).
26. O. V. Verkhodanov, M. L. Khabibullina, M. Singh, et al., in *Proc. Intern. Conf. "Problems of Practical Cosmology"*, Ed. by Yu. V. Baryshev, I. N. Taganov, and P. Teerikorpi (Russian Geograph. Soc., St. Petersburg, 2008), p. 247.
27. Н. А. Нижельский, А. Б. Берлин, А. М. Пилипенко и др., в *Тез. докл. Всерос. астрон. конф. ВАК-2001* (С.-Петербург, Россия, 2001), с. 133.
28. J. W. M. Baars, R. Genzel, I. I. K. Pauliny-Toth, and A. Witzel, *Astronom. and Astrophys.* **61**, 99 (1977).
29. К. Д. Алиакберов и др., *Астрофиз. иссл. (Изв. САО РАН)* **19**, 60 (1985).
30. С. А. Трушкин, *Справочник наблюдателя в радиоконтинууме* [http://w0.sao.ru/hq/lran/manuals/ratan\\_manual.html](http://w0.sao.ru/hq/lran/manuals/ratan_manual.html).
31. O. V. Verkhodanov, B. L. Erukhimov, M. L. Monosov, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **36**, 132 (1993).
32. O. V. Verkhodanov, in *"Astronomical Data Analysis Software and Systems VI"*, Ed. by G. Hunt and H. E. Payne, *ASP Conf. Ser.*, **125**, 46 (1997).
33. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astronom. J.* **115**, 1693 (1998).
34. R. B. Rengelink, Y. Tang, A. G. de Bruyn, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **124**, 259 (1997).
35. P. C. Gregory, W. K. Scott, K. Douglas, and J. J. Condon, *Astrophys. J. Suppl.* **103**, 427 (1996).
36. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach and V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118 (2005), arXiv:0705.2959.
37. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Data Science Journal* **8**, 34 (2009), arXiv:0901.3118.
38. A. S. Cohen, W. M. Lane, W. D. Cotton, et al., *Astronom. J.* **134**, 1245 (2007).
39. S. E. G. Hales, C. R. Masson, P. Warner, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **262**, 1057 (1993).
40. J. M. W. Riley, E. M. Waldram, and J. M. Riley, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **306**, 31 (1999).
41. S. E. G. Hales, E. M. Waldram, N. Rees, and P. J. Warner, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **274**, 447 (1995).
42. J. N. Douglas, F. N. Bash, F. A. Bozayan, et al., *Astronom. J.* **111**, 1945 (1996).
43. A. Ficarra, G. Grueff, and G. Tomassetti, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **59**, 255 (1985).
44. А. Н. Коржавин, *Астрофиз. иссл. (Изв. САО)* **9**, 71 (1977).
45. Е. К. Мажорова, *Astrophysical Bulletin* **65**, 196 (2010).
46. О. В. Верходанов, в *Материалы XXVII радио-астрон. конф. "Проблемы современной радио-астрономии"* (ИПА РАН, С.-Петербург, 1997), с. 322.

## A STUDY OF GIANT RADIO GALAXIES AT RATAN-600

**M.L. Khabibullina, O.V. Verkhodanov, M. Singh, A. Pyria, S. Nandi, N.V. Verkhodanova**

We report the results of flux density measurements in the extended components of thirteen giant radio galaxies, made with the RATAN-600 in the centimeter range. Supplementing them with the WENSS, NVSS and GB6 survey data we constructed the spectra of the studied galaxy components. We computed the spectral indices in the studied frequency range and demonstrate the need for a detailed account of the integral contribution of such objects into the background radiation.

Key words: *radio lines: galaxies — radar astronomy*