

УДК 524.74-77

РАДИО И ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ГИГАНТСКИХ РАДИОГАЛАКТИК ИЗ РАДИООБЗОРА NVSS

© 2014 Д. И. Соловьёв^{1*}, О. В. Верховданов^{2**}

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

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия
Поступила в редакцию 12 августа 2013 года; принята в печать 25 ноября 2013 года

В работе исследуются кандидаты в гигантские радиогалактики, отобранные по компонентам, представленным как отдельные источники в обзоре NVSS. Для пятидесяти радиогалактик проведено радио и оптическое отождествление с использованием баз данных CATS, NED и SkyView.

Ключевые слова: галактики: активные—радиоконтинуум: галактики—субмиллиметры: галактики

1. ВВЕДЕНИЕ

Гигантские радиогалактики (далее ГРГ) — одни из самых больших объектов во Вселенной, наблюдаемые в радиодиапазоне. Их размеры порядка или больше 1 Мпк и сравнимы с размером скоплений галактик. На сегодняшний день известно всего около 150 гигантских радиогалактик с плотностями потока выше 150 мЯн на частоте 1.4 ГГц. Как правило, ГРГ принадлежат к морфологическому типу FR II [1] и отождествляются в оптике с гигантскими эллиптическими галактиками и квазарами.

ГРГ значительно менее распространены, чем обычные радиогалактики, что осложняет их статистическое исследование. Несколько групп [2–11] занимаются их исследованием. Так, Ямрози и др. [9] отметили, что, поскольку размеры ГРГ сравнимы с размерами групп галактик или даже большие, они могут оказывать значительное влияние на окружающую среду. Поэтому их рассматривают как объекты, играющие важную роль в формировании крупномасштабной структуры Вселенной.

Единого мнения о механизме образования ГРГ нет. Существует теория, согласно которой столь большие размеры ГРГ могут быть объяснены эффектом ориентации галактик таким образом, что достигается максимальная величина проекции перпендикулярно лучу зрения наблюдателя. Впрочем, данные наблюдений ГРГ на телескопе в Эффельсберге не подтверждают эту гипотезу [3].

Группа [3] объясняет возникновение ГРГ результатом эволюции излучения в окружающей среде от наиболее старых источников в группе радиогалактик, имеющих сравнительно мощные ядра. В работе [12] было показано, что размер гигантского радиоисточника может также определяться наличием группы долгоживущих радиогромких ядер, которые со временем эволюционируют в ГРГ.

В нашей предыдущей работе [13] для первоначального поиска больших радиогалактик был использован каталог обзора NVSS (NRAO VLA Sky Surveys) [14]. Обзор покрывает 82% небесной сферы (все небо севернее 40° по склонению) и при этом имеет достаточно высокое угловое разрешение. Каталог обзора NVSS содержит около 1.81 миллиона дискретных объектов на частоте 1.4 ГГц. Предел плотности потока на разрешимый дискретный источник в NVSS составляет 2.5 мЯн. Для объектов с поверхностной яркостью менее 15 мЯн точность разрешения оценивается сверху в 1". Кандидаты в ГРГ, отобранные в наш список, имеют большую плотность потока. Мы отобрали из каталога 55 кандидатов в гигантские радиогалактики, из которых 30 имеют четко выраженный морфологический тип FR II, и 25 радиоисточников — типа FR I. Распределение объектов на небесной сфере показано на рис. 1.

Поиск этих кандидатов в ГРГ проводился с помощью специальной разработанной автоматической процедуры, задача которой заключалась в селекции источников сравнительно большого размера (больше 4') из каталога обзора NVSS, классифицированных в списках NVSS как несколько

*E-mail: drukhi@ya.ru

**E-mail: vo@sao.ru

(два или более) независимых источников. Алгоритм основан на анализе углового расстояния между центрами объектов, размерами больших осей кандидатов в компоненты радиисточника и углом между направлениями больших осей проверяемой пары объектов. Были отобраны сравнительно слабые по интегральной плотности потока компоненты искоемых объектов ($S_i \lesssim 100$ мЯн), которые не включены в каталоги ГРГ других авторов. Мы не задавали ограничение на линейный размер радиисточников, а использовали только угловой размер. Поэтому отобранные объекты будем в дальнейшем называть большими радиогалактиками (БРГ), подразумевая, что их угловой размер более $4'$. Отметим, что из исследуемого списка были исключены 5 из 55 радиисточников, являющихся Н II областями (2 отождествления с каталогами Н II) или кандидатами в эти объекты, имеющими клочковатую структуру и расположенными вблизи плоскости Галактики.

В предлагаемой работе мы продолжаем исследование найденных БРГ и ниже представляем радио и оптическое отождествление объектов из нашего списка, проведенное с помощью каталогов других диапазонов. Основная цель работы — построить и исследовать выборку объектов имеющих большие угловые размеры, но не вошедших в опубликованные списки ГРГ. С одной стороны, это позволит увеличить объем малочисленной выборки подобных радиогалактик, а с другой — выделить области на картах космического микроволнового фона, которые могут приводить к дополнительному искажению сигнала на масштабах $5\text{--}10'$ [15–18]. Кроме вклада в микроволновой фон, в области ГРГ может также наблюдаться эффект Сюняева–Зельдовича [19].

2. ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ

В качестве базы данных по инфракрасным объектам был использован обзор 2MASS [20, 21] (полоса K). В оптическом диапазоне в качестве основного каталога использовался DSS. При радиоотождествлении мы использовали базу данных CATS¹ [22, 23]. Для отдельных радиогалактик приведены также отождествления с объектами из первых радиоастрономических каталогов: Кембриджских 3С, 4С и Паркского (PKS), — если таковые были обнаружены. При расчете спектральных индексов использовались результаты кросс-идентификации в базе данных CATS с окном отождествления $180'' \times 180''$. Для удаления случайных радиообъектов поля в заданном боксе мы использовали методику анализа данных, подобную описанной в [24, 25]. Суть метода состоит

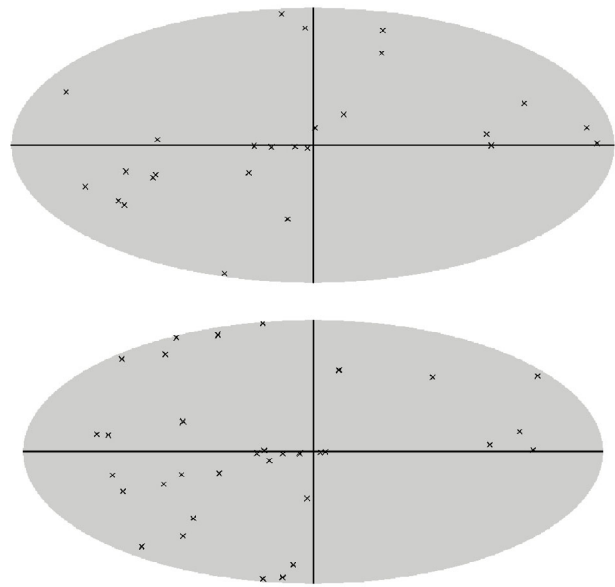


Рис. 1. Положение найденных галактик типа FR I (вверху) и FR II (внизу) на небесной сфере в галактических координатах. На рисунке показаны галактический экватор и нулевой меридиан.

в применении совместного анализа данных в координатном и спектральном пространствах для выделения вероятных отождествлений конкретных радиисточников на различных радиочастотах. Для этих целей используется программа `spg` [26] системы обработки континуальных данных на РАТАН-600. При описании спектров $S(\nu)$ для дальнейшего вычисления спектральных индексов мы применили параметризацию $S(\nu)$ формулой $\log S(\nu) = A + Bx + Cf(x)$, где S — плотность потока в Ян, x — логарифм частоты ν в МГц, и $f(x)$ — одна из следующих функций: $\exp(-x)$, $\exp x$ или x^2 . Результат отождествления и аппроксимации спектров для объектов типа FR I и FR II приведен в таблице. В столбцах таблицы приведены: (1) имя в стандарте MAC, включающее координаты источника и координаты компонент; (2) тип объекта по классификации Фонарева–Райли, случаи неопределенного и переходного типа обозначены как FR I/II; (3) плотность потока $S_{1.4}$ в мЯн на частоте 1.4 ГГц; для компонентов приведены интегральные значения плотностей потока, для всей радиогалактики — их сумма; (4) угловой размер в минутах дуги на уровне изофоты 2 мЯн и линейный размер в Мпк при наличии известного красного смещения; (5) наличие отождествления в ИК (I), оптическом (O) и рентгеновском (X) диапазонах; (6) спектроскопическое красное смещение по данным NED, (7) аппроксимационная зависимость непрерывного спектра для интегральной плотности потока. Среди основных радиокаталогов

¹<http://cats.sao.ru>

БРГ, детектированные методом сопоставления осей компонентов

Имя	Тип	$S_{1.4}$, мЯн	Размер, arcmin/Мпк	ХЮ	z	Спектр
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
J 000041.4+121445	FR II	247.7	10.1/–	–		$0.422 - 0.000x - 0.039e^x$
J 000037.0+121226		136.1				
J 000045.8+121703		111.6				
J 001748.5–222256	FR II	354.2	9.8/0.85	IO	0.1081	$0.664 - 0.000x - 0.045e^x$
J 001741.7–222513		233.3				
J 001755.3–222039		120.9				
J 005108.0–202818	FR II	157.6	8.6/0.84	IO	0.0856	$-0.218 - 0.159x$
J 005100.7–203041		78.7				
J 005115.2–202555		78.9				
J 005331.6+403059	FR II	109.2	9.7/1.52	IOX	0.1488	$12.490 - 7.998x + 1.162x^2$
J 005331.6+402831		57.9				
J 005331.6+403327		51.3				
J 005744.4+302156	FR I	586.8	8.4/0.17	XIO	0.0165	$3.155 - 1.296x + 0.120x^2$
J 010725.4+322439	FR I	915.5	11.1/0.24	XIO	0.0170	$2.687 - 0.640x$
J 011203.6+493004	FR II	497.2	14.0/1.1	IO	0.0670	$2.890 - 0.826x$
J 011200.3+492737		159.8				
J 011206.9+493229		337.4				
J 011306.9–172028	FR I	183.4	6.9/–	IO		$1.709 - 0.753x$
J 011303.7–172141		92.0				
J 011313.9–171806		91.4				
J 015302.5+711559	FR II	442.7	7.3/–	IO		$0.913 - 0.045x - 0.067x^2$
J 015251.8+711630		149.3				
J 015313.1+711527		293.4				
J 015756.3+020950	FR II	350.3	8.7/–	IO		$3.845 - 1.326x$
J 015745.3+021004		163.5				
J 015807.4+020934		186.8				
J 022033.5+365943	FR I/II	251.2	12.0/0.52	IO	0.0368	$1.874 - 0.620x$
J 022023.0+365940		102.1				
J 022044.0+365945		149.1				
J 031821.9+682932	FR II	323.4	17.1/1.74	IO	0.0901	$3.581 - 1.222x$
J 031747.1+682508		171.2				
J 031802.4+682713		152.2				

БРГ, детектированные методом сопоставления осей компонентов. (Продолжение)

Имя	Тип	$S_{1.4}$, мЯн	Размер, arcmin/Мпк	ХЮ	z	Спектр
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
J 065122.5+193713	FR I/II	244.7	7.7/–	IO		$-2.581 + 2.612x - 0.562x^2$
J 065114.6+193615		71.3				
J 065130.5+193811		173.4				
J 071244.0–085019	FR II	426.2	7.1/–	IO		$1.791 - 0.688x$
J 071235.5–085042		218.3				
J 071252.4–084955		207.9				
J 073331.1+574133	FR I	224.5	6.4/0.32	IO	0.0417	$1.902 - 0.793x$
J 073321.6+574222		124.3				
J 073340.5+574043		100.2				
J 080244.1–095757	FR II	1036.8	12.2/–	–		$1.118 - 0.001x - 0.036e^x$
J 080232.5–095733		252.6				
J 080255.8–095820		784.2				
J 082128.4–301124	FR II	3216.2	8.9/0.87	IO	0.0860	$2.866 - 0.775x$
J 082120.2–301001		2027.6				
J 082136.6–301247		1188.6				
J 083533.9–015100	FR I	925.5	8.3/0.31	IO	0.0311	$0.967 - 0.001x - 0.041e^x$
J 083534.0–015101		307.4				
J 083525.3–015025		307.5				
J 083542.6–015135		310.6				
J 084507.2–334711	FR I	661.5	35.5/0.31	IO	0.0070	$0.919 + 0.001x - 0.024e^x$
J 084503.3–334434		101.3				
J 084511.2–334948		560.2				
J 091251.6+350929	FR II	157.6	8.2/1.58	O	0.188?	$-1.349 + 1.562x - 0.451x^2$
J 091250.2+350639		101.0				
J 091253.0+351218		56.6				
J 102054.5+483044	FR II	940.5	8.9/0.51	IOX	0.053?	$3.034 - 0.943x$
J 102051.8+483306		295.5				
J 102057.3+482821		645.0				
J 111141.9–132417	FR II	155.5	8.4/–	–		$1.781 - 0.755x$
J 111134.7–132545		56.6				
J 111149.1–132249		98.9				
J 113538.0+390154	FR II	106.4	6.7/–	–		$-3.882 + 2.770x - 0.579x^2$

БРГ, детектированные методом сопоставления осей компонентов. (Продолжение)

Имя	Тип	$S_{1.4}$, мЯн	Размер, arcmin/Мпк	ХЮ	z	Спектр
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
J 113530.3+390236		50.6				
J 113545.7+390112		55.8				
J 115909.1+582041	FR II	147.8	6.7/0.42	IO	0.0537	$0.491 - 0.001x - 0.038e^x$
J 115858.0+582022		69.0				
J 115920.2+582100		78.8				
J 122045.0+055204	FR I	432	8.1/—		—	
J 122033.9+055145		168.6				
J 122044.4+055206		171.9				
J 122055.3+055235		91.5				
J 123846.9+440949	FR II	228.6	6.7/—	O		$0.950 + 0.047x - 0.168x^2$
J 123838.4+441057		84.8				
J 123855.3+440840		143.8				
J 124159.1+323217	FR I	612.5	12.8/0.03	IOX	0.0020	$-0.535 + 1.143x - 0.296x^2$
J 124149.9+323203		163.9				
J 124149.9+323203		448.6				
J 125310.7-103115	FR I	240.4	8.9/0.16	XIO	$z=0.0159$	$0.855 - 0.036e^x$
J 132345.8+313402	FR I	358.2	11.8/0.23	IO	0.0162	$2.210 - 0.676x$
J 132336.9+313445		185.6				
J 132354.6+313303		172.6				
J 140955.9+173243	FR I	413.1	10.1/0.2	IOX	0.0162	$1.237 - 0.001x - 0.046e^x$
J 140946.8+173236		246.5				
J 141005.0+173250		166.6				
J 142554.6-080401	FR II	463.9	7.8/—	—		$1.179 - 0.478x$
J 142546.6-080245		155.2				
J 142602.6-080516		308.7				
J 154901.7-321747	FR I/II	836.6	9.2/1.11	—	0.1082	$1.302 - 0.046e^x$
J 154854.8-321557		389.3				
J 154908.6-321938		447.3				
J 170502.0-244602	FR I	1287.9	8.0/0.35	IO	0.0263	$1.305 - 0.001x - 0.032e^x$
J 172331.0-352542	FR II	278.6	11.5/—	—		
J 172330.9-352326		190.4				
J 172331.1-352756		88.2				

БРГ, детектированные методом сопоставления осей компонентов. (Продолжение)

Имя	Тип	$S_{1.4}$, мЯн	Размер, arcmin/Мпк	ХЮ	z	Спектр
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
J 175643.3–263829	FR I/II	100.7	17.4/–	–		$-0.149 - 0.220x$
J 175639.8–264023		50.4				
J 175646.7–263635		50.3				
J 182708.3–124020	FR II	935.8	9.6/–	IO		$-0.396 + 1.008x - 0.154x^2$
J 182704.8–123749		423.6				
J 182711.9–124252		512.2				
J 184133.3–015251	FR II	5871.6	8.0/–	–		$3.214 - 0.778x$
J 184124.4–015255		3053.1				
J 184142.2–015246		2818.5				
J 185528.6–071613	FR II	110.5	7.4/–	–		
J 185520.5–071533		55.2				
J 185536.8–071652		55.3				
J 185618.6+013120	FR I	1560.3	18.0/–		–	$6.572 - 1.986x$
J 185609.6+013309		811.4				
J 185627.6+012930		748.9				
J 191918.2+514208	FR II	179.4	7.8/–	–		$0.315 - 0.001x - 0.037e^x$
J 191912.3+514010		114.3				
J 191924.1+514405		65.1				
J 194348.3–354651	FR II	358.1	9.2/0.96	IO	0.0926	$2.499 - 0.954x$
J 194346.8–354903		69.2				
J 194349.8–354438		288.9				
J 195230.9–011711	FR I	1609.5	8.4/–	I		$2.169 - 0.187x - 0.139x^2$
J 195223.0–011557		728.3				
J 195238.4–011857		343.3				
J 195232.4–011734		537.9				
J 202339.8+170350	FR II	525.8	8.2/–	IOX		$-1.873 + 2.347x - 0.549x^2$
J 202336.7+170139		365.3				
J 202336.7+170138		160.5				
J 210138.4–280158	FR I/II	2672.1	6.7/0.31	IO	0.0397	$3.288 - 0.812x$
J 210139.5–280321		2054.6				
J 210141.2–275830		707.5				
J 213208.6+342057	FR II	119.5	9.6/–	IO		$0.777 - 0.501x$

БРГ, детектированные методом сопоставления осей компонентов. (Продолжение)

Имя	Тип	$S_{1.4}$, мЯн	Размер, arcmin/Мпк	ХЮ	z	Спектр
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
J 213201.9+342241		58.3				
J 213215.3+341913		61.2				
J 223115.9+392501	FR I/II	882.7	13.8/0.29	XIO	0.0171	$1.655 - 0.484x$
J 223536.0+373523	FR II	246.4	8.4/-	IO		$0.216 - 0.001x - 0.036e^x$
J 223534.4+373749		163.2				
J 223537.6+373256		83.2				
J 224548.5+394113	FR I	6151.8	5.8/0.54	IO	0.0811	$2.513 + 0.088x - 0.175x^2$
J 224539.7+394054		3215.8				
J 224557.3+394133		2936.0				
J 225321.7+162014	FR II	183.7	9.4/-	IO		$2.410 - 0.944x$
J 225319.7+162226		96.0				
J 225323.7+161801		87.7				
J 231600.3-282359	FR II	301.6	10.2/2.2	O	0.2293	$1.976 - 0.783x$
J 231555.2-282640		152.4				
J 231605.4-282118		149.2				
J 235721.0+475238	FR I	396.9	10.6/0.55	O	0.0436	$1.856 - 0.671x$

базы данных CATS, используемых при построении спектров БРГ, отметим списки из работ [14, 27–44].

2.1. Комментарии к отдельным источникам.

Типы FR I и FR I/II

В этом разделе приведены комментарии к источникам типа FR I и сложного типа FR I/II. На рис. 2 и 3 показаны изображения из обзора NVSS и их радиоспектры, построенные по результатам отождествления в базе данных CATS.

J005744.4+302156. Радиоисточник типа FR I с характерным падением яркости от центра к краям структуры и контрастным радиоджетом. Отождествляется в оптике с эллиптической галактикой NGC 315 с видимой звездной величиной 11^m2 . Радиоисточник присутствует на карте миссии Планк на частоте 100 ГГц.

J010725.4+322439. Радиоисточник типа FR I с характерным падением радиояркости от центра к

краям структуры; при этом наблюдается многократное изгибание радиоструктуры. Каталогизирован как 3C 31 и 4C +32.05. Родительская галактика — NGC 383 (12^m14). Детали структуры также видны на карте миссии Планк на частоте 100 ГГц и на карте микроволнового фона (рис. 4).

J011306.9-172028. Радиоисточник типа FR I, имеет структуру, напоминающую форму «S», в которой можно выделить три области повышенной радиояркости: одну в центре и две симметрично от центра, расположенные практически параллельно друг другу. Объект отождествляется с галактикой 2MASX J01130721-1720241.

J022033.5+365943. Радиоисточник типа FR I/II, имеющий сложную несимметричную структуру с выделяющимися областями ближе к центру. Родительская галактика — MCG +06-06-021 ($B = 15^m$).

J065122.5+193713. Радиогалактика необычной формы с вытянутыми в одном направлении протяженными радиокомпонентами, в начале которых имеются горячие пятна. Отождествляется с источником 2MASX J06513590+1935513 ($V = 15^m5$).

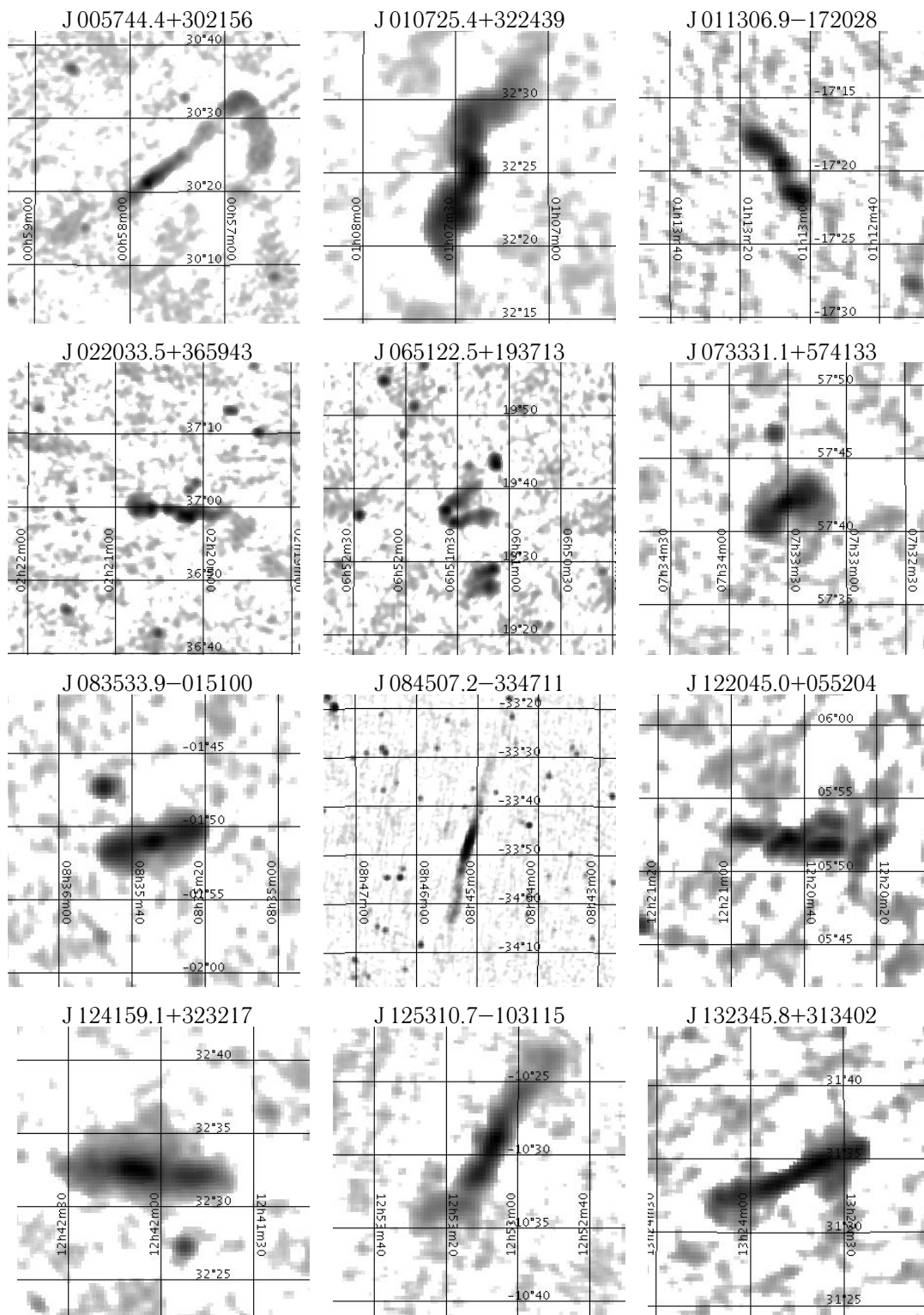


Рис. 2. Изображения больших радиогалактик типа FRI и FRI/II, детектированных методом соответствия осей, по данным обзора NVSS.

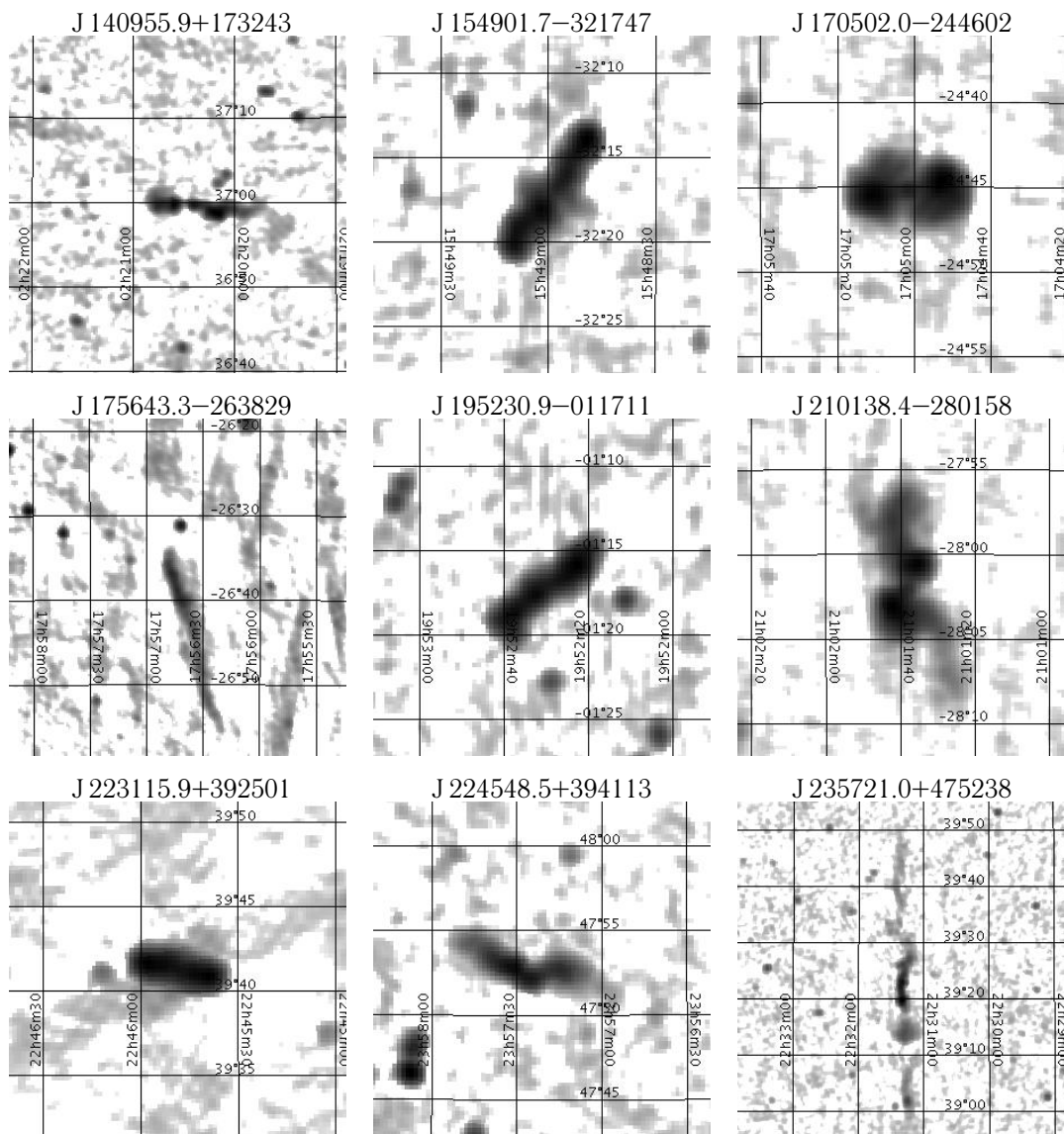


Рис. 2. (Продолжение)

J073331.1+574133. Радиогалактика с выделяющимся центром и широкими радиокомпонентами. Отождествляется с MCG +10-11-077 (порядка 16^m). На карте миссии Планк на частоте 100 ГГц в области источника наблюдается локальный минимум в распределении регистрируемого излучения, в то время как на карте микроволнового космического излучения в данной области обнаружен локальный положительный пик (рис. 5).

J083533.9-015100. Радиогалактика типа FRI с выделяющимся центром и двумя симметрично расположенными широкими радиокомпонентами. Отождествляется с галактикой NGC 2616 (видимая величина 12^m7). Каталогизирована как PKS 0833-016.

J084507.2-334711. Вытянутая радиогалактика с плавным нарастанием радиояркости к центру.

Отождествляется с NGC 2663 (видимая величина 10^m9). Радиоисточник каталогизирован как PKS 0843-336. Виден на карте Планка 100 ГГц. Радиоисточник присутствует на карте миссии Планк на частоте 100 ГГц.

J122045.0+055204. Радиоисточник типа FRI имеет сложную структуру из множества ярких пятен. В оптическом диапазоне отождествляется со слабым диффузным объектом $r = 21^m3$ (SDSS). Отсутствует радиоотождествление в базе данных CATS с данными других каталогов.

J124159.1+323217. Радиогалактика типа FRI в виде сложной вытянутой структуры с выделяющейся центральной областью. Радиоизображение повторяет структуру галактики в оптике. Отождествляется с объектом NGC 4631 (видимая ве-

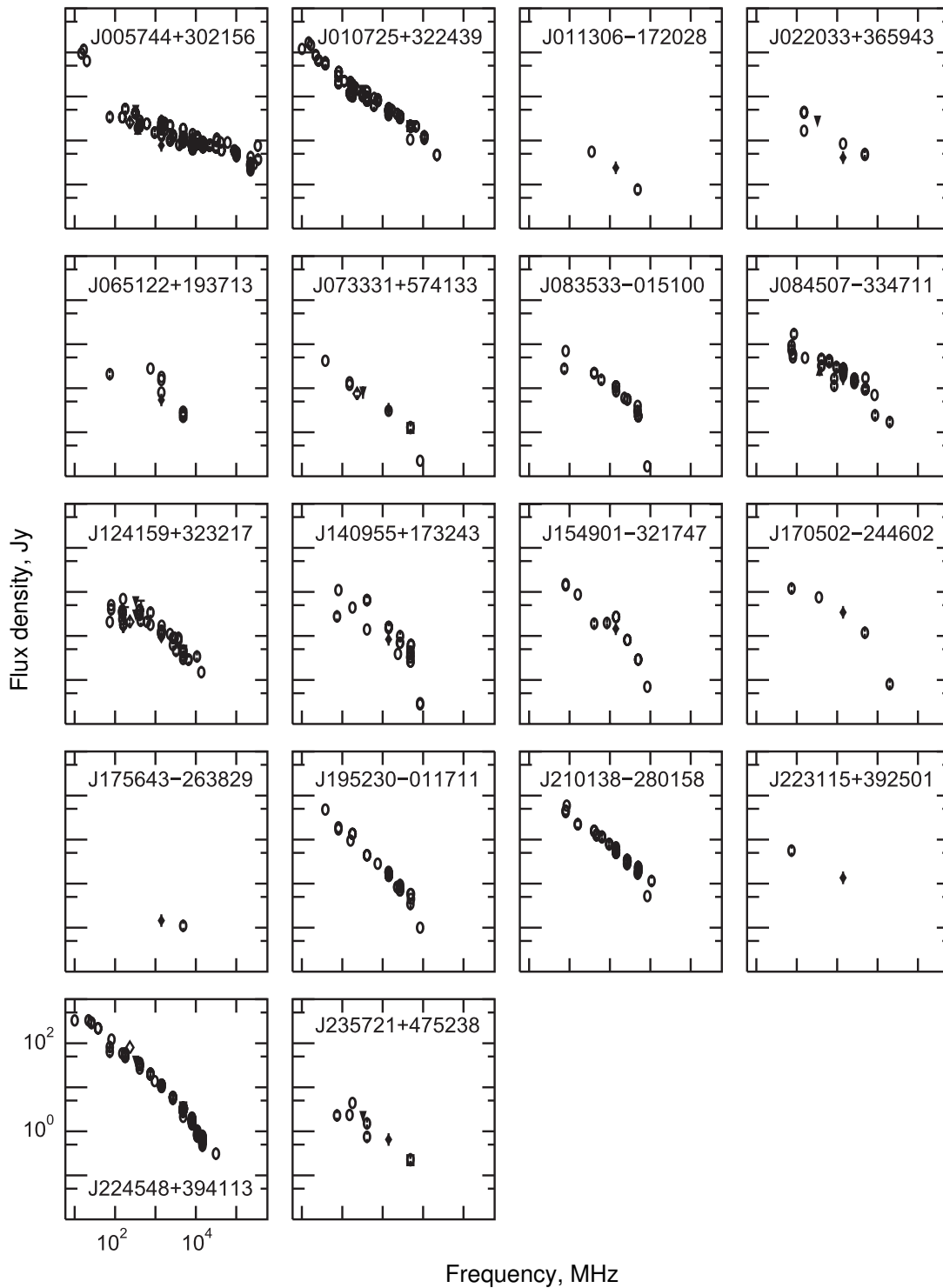


Рис. 3. Непрерывные радиоспектры БРГ типа FR I и FR I/II по результатам отождествления в CATS. Шкала по осям — в логарифмическом масштабе.

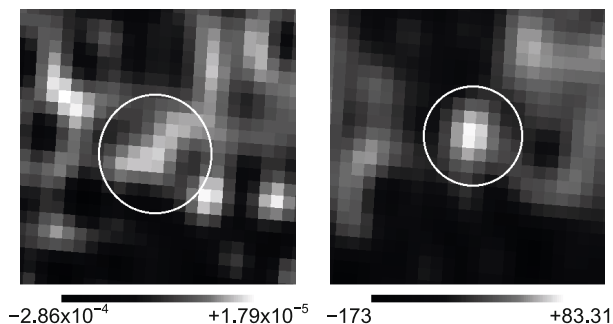


Рис. 4. Область, центрированная на радиогалактику J010725.4+322439, на картах космической миссии Планк. Слева: наблюдательные данные на частоте 100 ГГц. Справа: данные космического микроволнового фона. Размер площадки — $30' \times 30'$. По оси абсцисс — прямое восхождение, по оси ординат — склонение. Положение радиогалактики отмечено кружком.

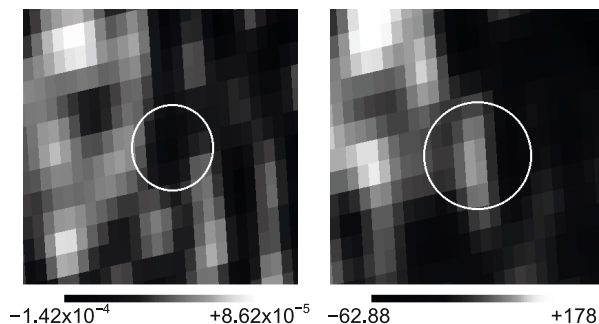


Рис. 5. Область, центрированная на радиогалактику J073331.1+574133, на картах космической миссии Планк. Слева: наблюдательные данные на частоте 100 ГГц. В окрестности радиоисточника находится локальный минимум. Справа: данные космического микроволнового фона. В окрестности объекта локальный максимум. Размер площадки — $30' \times 30'$. По оси абсцисс — прямое восхождение, по оси ординат — склонение. Положение радиогалактики отмечено кружком.

личина 9^m). В окрестности радиогалактики радиусом $6'$ находится порядка 400 галактик каталога SDSS.

J125310.7–103115. Радиои источник типа FRI с характерным для морфологического типа падением радиояркости к краям структуры. Каталогизирован как PKS 1250–102. Отождествляется с NGC 4760 (видимая величина 11^m6).

J132345.8+313402. Радиои источник типа FRI симметричной гантелевидной формы, имеющий тем не менее нарастание радиояркости к центру структуры. Отождествляется с NGC 5127 (видимая величина 12^m5). В окрестности радиогалактики радиусом $6'$ находится порядка 400 галактик каталога SDSS.

J140955.9+173243. Вытянутый вдоль одной линии радиои источник типа FRI, отождествляется с эллиптической галактикой NGC 5490 (известной также как NGC 5490A, UGC 9058, MCG +03-36-65, ZWG 103.95, PGC 50558). Видимая звездная величина 12^m0 . В окрестности радиогалактики радиусом $6'$ находится порядка 500 галактик каталога SDSS.

J154901.7–321747. Радиогалактика типа FR II, имеет типичную для своего класса гантелевидную форму за исключением наличия еще одной меньшей протяженной структуры, пересекающей под углом центр и с убывающим распределением радиояркости, как у FRI. Можно ее отнести к отдельному типу «X». Каталогизирована как PKS 1545–321.

J170502.0–244602. Радиогалактика сложной формы с выделяющимся центром и двумя протяженными источниками. Отождествляется с объектом 2MASX J17050125–2445099. Радиои источник присутствует на карте миссии Планк на частоте 100 ГГц.

J175643.3–263829. Протяженная радиогалактика с практически равномерным распределением радиояркости.

J195230.9–011711. Радиои источник типа FRI, имеет практически равномерное распределение радиояркости по всей структуре со слегка выделяющимся ядром и радиокомпонентами. Каталогизирован как 3CR 403.1, 4C –01.51 и PKS 1949–014. Отождествляется с галактикой 2MASS ($K_s = 12^m2$). Радиои источник присутствует на карте миссии Планк на частоте 100 ГГц.

J210138.4–280158. Радиои источник типа FRI с сильно изогнутой структурой в радиодиапазоне с двумя выделяющимися пятнами, расположенными от центра симметрично друг напротив друга. Каталогизирован как PKS 2058–282. Отождествляется с NGC 6998 (видимая величина 14^m2).

J223115.9+392501. Радиогалактика типа FRI, имеет несимметричную структуру с дроблением на отдельные области по мере удаления от центра. Отождествляется с источником UGC 12064 (14^m5).

J224548.5+394113. Гантелевидная радиогалактика со слабо выделяющимися радиокомпонентами. Каталогизирована как 3C 452 и 4C +39.71. Отождествляется с сейфертовской галактикой 16^m6 .

J235721.0+475238. Радиогалактика типа FRI со сходящимися под небольшим углом радиокомпонентами. Принадлежит к группе галактик CGPG 2354.9+4736.

2.2. Комментарии к отдельным источникам.
Тип FR II

Далее приводим комментарии к источникам списка, имеющим тип FR II. На рис. 6 и 7 показаны изображения из обзора NVSS и их радиоспектры, построенные по результатам отождествления в базе данных CATS.

J000041.4+121445. Радиогалактика типа FR II с небольшим углом между радиокомпонентами. В оптике, рентгене и инфракрасном диапазоне отождествлений найдено не было.

J001748.5–222256. Довольно симметричная радиогалактика типа FR II со слабым падением радиояркости к центру. Каталогизирована как PKS 0015–226. Возможный кандидат на отождествление в оптическом и ИК диапазонах (рис. 8): 2MASX J 00174780–2223195 ($B = 20^m41$).

J005108.0–202818. Радиогалактика типа FR II с несколько выделяющимся нижним радиокомпонентом. Отождествляется с объектом 2MASX J 00510710–2028248 ($B = 16^m6$).

J005331.6+403059. Радиогалактика типа FR II стандартной гантелевидной формы со слабо выделяющимся центром. Отождествляется с сейфертовской галактикой 2MASX J 00533165+4031255 ($V = 18^m8$). Рядом с галактикой находится рентгеновский источник RXS J005327.0+403101.

J011203.6+493004. Радиоисточник типа FR II стандартной гантелевидной формы с выделяющимися концами радиокомпонент и центром. Отождествляется с квазаром 3C 35 (4C +49.04). В оптическом диапазоне имеет видимую величину 15^m6 .

J015302.5+711559. Радиогалактика с сильно смещенным центром, отождествляется с объектом 8C 0149+710 (объект типа BL Lac). В оптике имеет видимую величину порядка 15^m5 .

J015756.3+020950. Радиогалактика гантелевидной формы с несколько раздробленной структурой ближе к центру. Кандидат на отождествление на снимке DSS: APMUKS B 015517.56+015518.5 ($B = 20^m08$).

J031821.9+682932. Радиогалактика типа FR II с четко разделенными радиокомпонентами, один из которых превосходит другой по яркости. У наиболее яркого компонента ближе к центру имеется перпендикулярно расположенная небольшая структура. Объект отождествляется с сейфертовской галактикой 2MASX J 03181899+6829322.

J071244.0–085019. Радиогалактика типа FR II с характерным падением радиояркости от периферии к центру структуры. На карте Планка 100 ГГц в области радиоисточника расположен минимум излучения (рис. 9). Отождествляется с галактикой 2MASX J 07124386–0850176.

J080244.1–095757. Радиоисточник со сложной структурой с двумя выделяющимися радиокомпонентами различной формы и ненаблюдаемым ядром. Кандидат на отождествление — галактика 2MASX J 08024016–0957504. Каталогизирован как PKS 0800–098.

J082128.4–301124. Гантелевидная радиогалактика типа FR II со слабым падением радиояркости к центру структуры. Отождествляется с объектом 2MASX J 08212682–3011030. Каталогизирована как PKS 0819–300.

J091251.6+350929. Радиогалактика типа FR II с выделяющимися радиокомпонентами и практически не светящим в радиодиапазоне центром. Отождествляется с одной из галактик компактной группы галактик SDSS CGB 23048. В окрестности радиогалактики радиусом $6'$ находится примерно 550 галактик каталога SDSS.

J102054.5+483044. Радиоисточник, по всей видимости представляющий собой взаимодействующие радиогалактики. Отождествляется с объектом KPAIR J 1020+4831 (пара галактик). Внешне выглядит как два протяженных радиообъекта, направленные друг к другу под небольшим углом, с затухающими шлейфами, направленными в противоположные стороны. Каталогизирован как 4C +48.29. Отождествляется с галактикой 2MASX J 10205188+4831096 (17^m). В области радиогалактики имеется рентгеновский источник. В $6'$ -окрестности объекта находится повышенное число (порядка 570) фоновых галактик SDSS $20^m–22^m$, для части из них измерено красное смещение $z \sim 0.06$.

J111141.9–132417. Радиогалактика типа FR II со слабым падением радиояркости к центру и практически постоянной шириной структуры.

J113538.0+390154. Радиогалактика, представленная двумя обособленными радиокомпонентами. В $2'$ -окрестности объекта находится повышенное число (порядка 80) фоновых галактик SDSS $20^m–22^m$, для части из них измерено красное смещение $z = 0.15–0.17$.

J115909.1+582041. Радиогалактика слабовыраженной гантелевидной формы. В противоположных направлениях от радиокомпонентов отходят слабые структуры, что может говорить о вращении радиогалактики. Вероятное отождествление — CGCG 292–05 ($B = 15^m7$).

J123846.9+440949. Радиогалактика типа FR II гантелевидной формы. Вероятное отождествление — галактика 19^m2 в g -фильтре.

J142554.6–080401. Радиогалактика типа FR II с резко выделенными радиокомпонентами и отсутствующим центром.

J172331.0–352542. Слабый радиоисточник типа FR II.

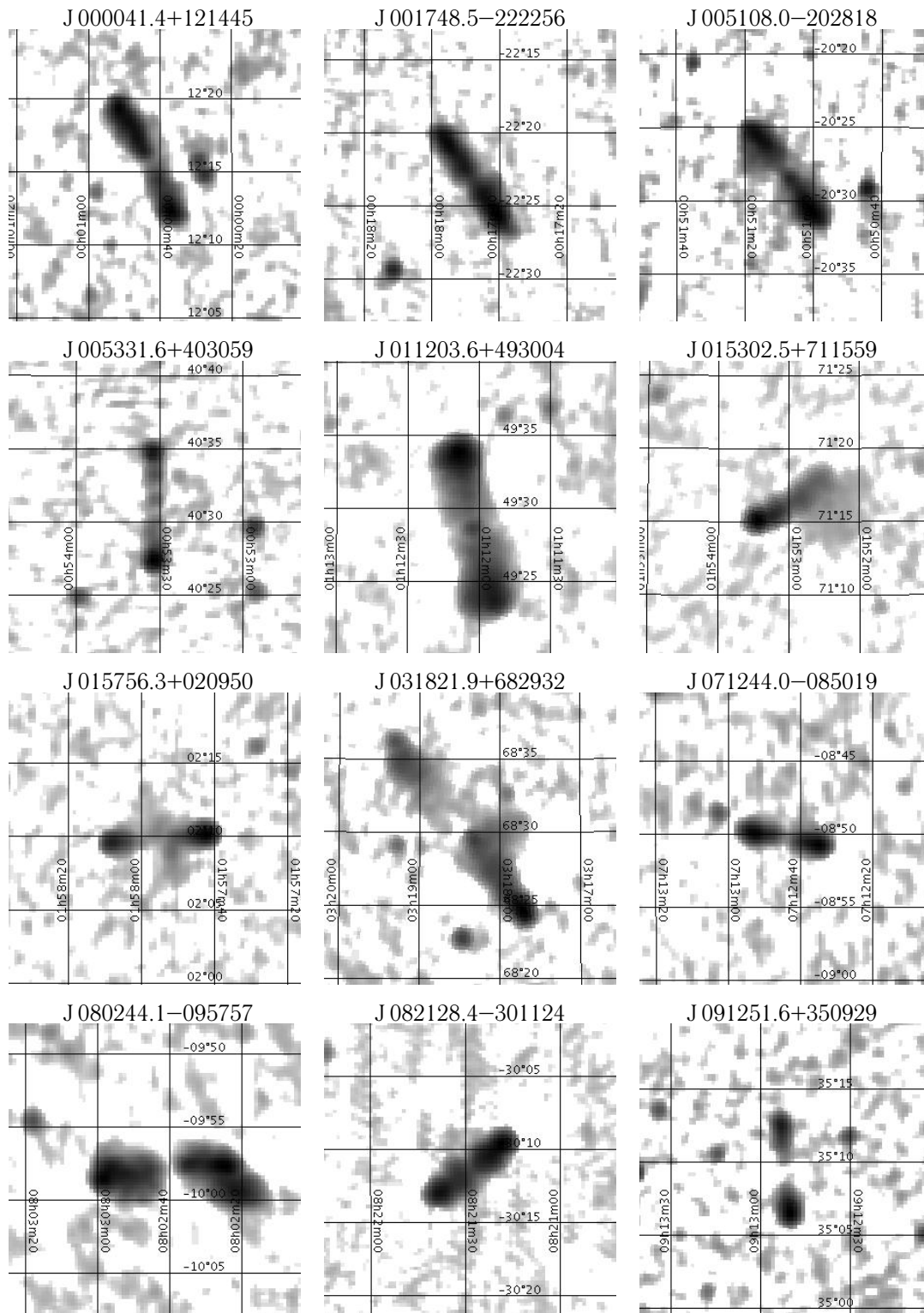


Рис. 6. Изображения больших радиогалактик типа FR II, детектированных методом соответствия осей, по данным обзора NVSS.

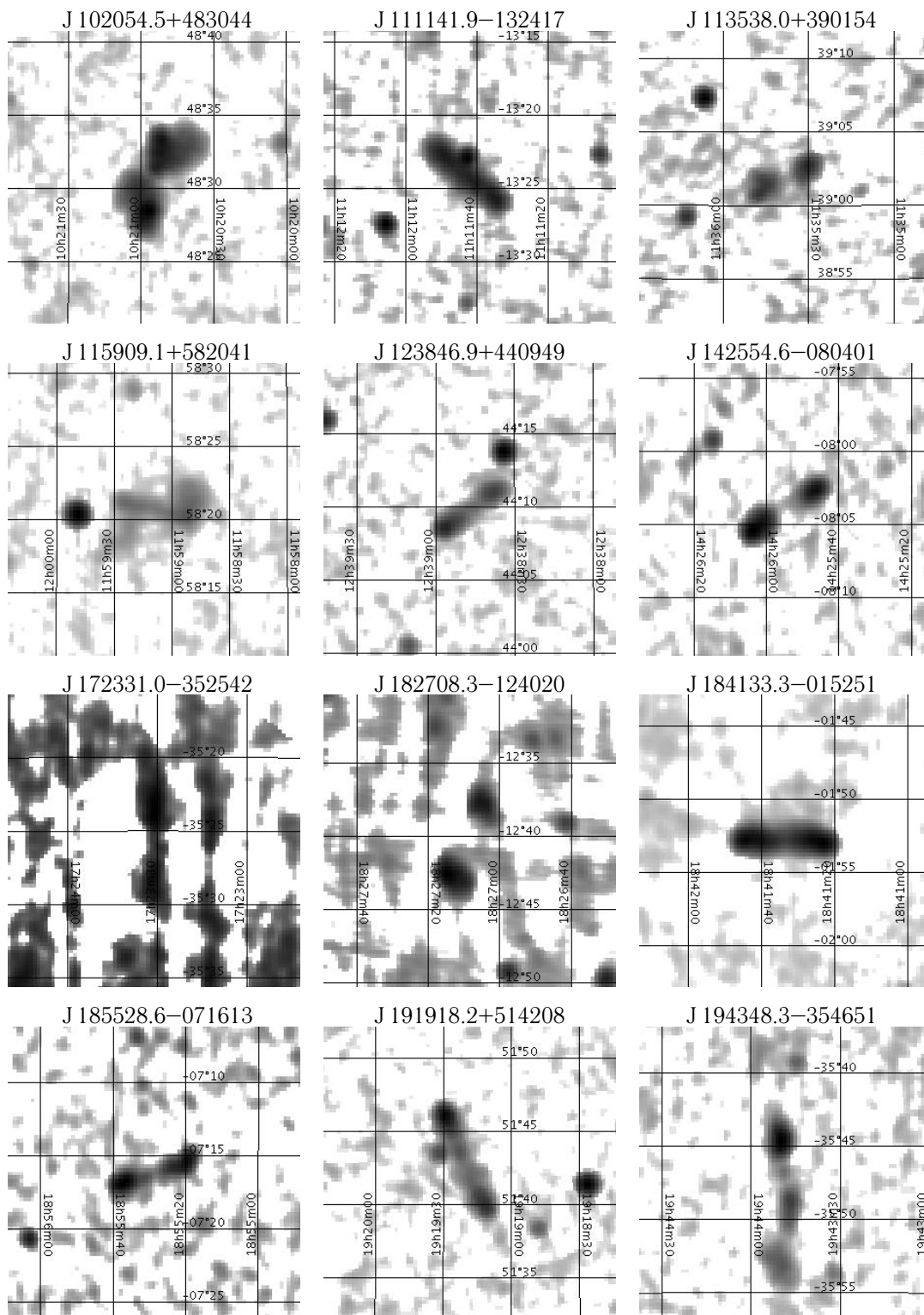


Рис. 6. (Продолжение)

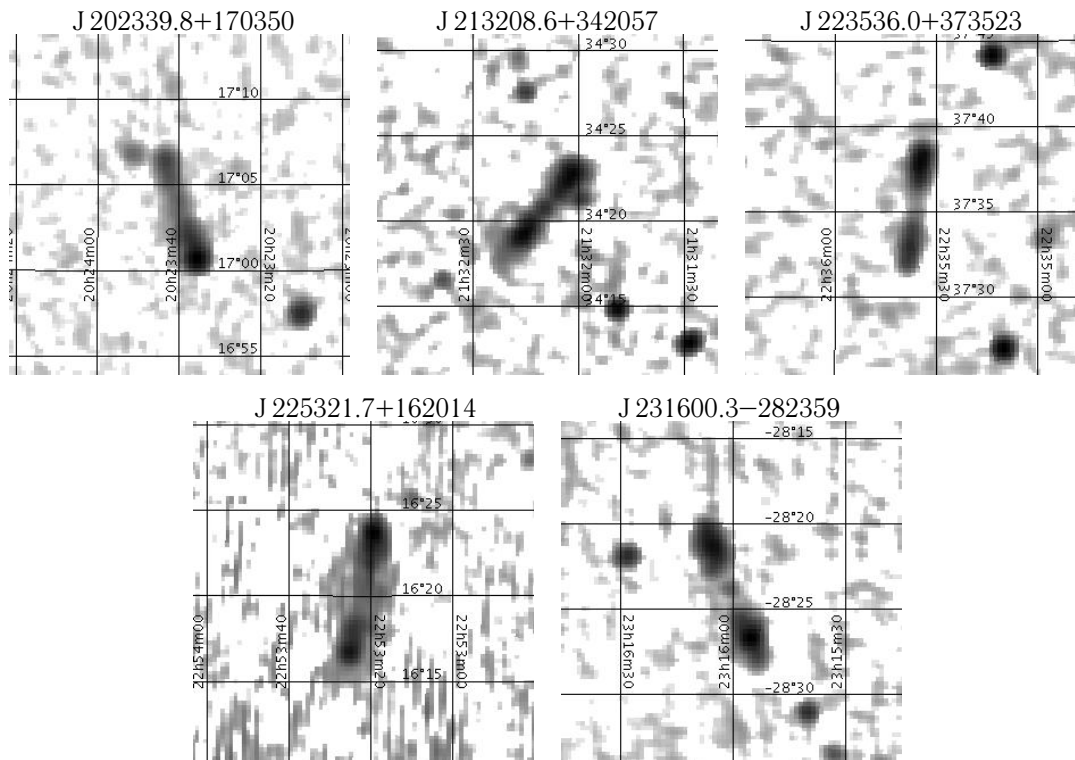


Рис. 6. (Продолжение)

J 182708.3–124020. Два радиоконцентра с практически не заметной связью между ними. В оптике и рентгене — пусто, в инфракрасном диапазоне по центру расположен объект, возможно связанный с радиогалактикой. В область радиосточника попадает пара галактик CGMW 3–2209. Источник был отобран в каталог кандидатов в НII-области как G 18.9–0.5. Радиосточник присутствует на карте миссии Планк на частоте 100 ГГц.

J 184133.3–015251. Типичная радиогалактика типа FR II с падением радиояркости от краев структуры в центре. Источник был отобран в каталог кандидатов в остатки сверхновых.

J 185528.6–071613. Радиогалактика типа FR II с типичной формой структуры. Один из радиоконцентров несколько ярче другого.

J 191918.2+514208. Радиогалактика типа FR II с яркостным центром, смещенным относительно центра радиоконцентров в сторону одной из них; недалеко от этого центра наблюдается небольшая структура, расположенная под углом к основной радиогалактике. Радиоконцентры имеют различную яркость. На карте Планка 100 ГГц в области радиосточника расположен минимум излучения (рис. 11).

J 194348.3–354651. Радиогалактика типа FR II со слабо выделяющимся центром и радиоконцентрами различной яркости. Отождествляется с га-

лактикой 2MASX J 19434935–3546460 ($B \sim 17^m$). Каталогизирована как PKS 1940–358.

J 202339.8+170350. Радиогалактика типа FR II с несимметричными по яркости радиоконцентрами. Радиосточник каталогизирован как 4C +16.68 и PKS 2021+16. Кандидат на отождествление — галактика 2MASX J 20233698+1702409. В области радиогалактики имеется рентгеновский источник.

J 213208.6+342057. Радиогалактика типа FR II стандартной гантелевидной формы со слабо выделяющимся центром. Отождествляется с галактикой 2MASX J 21320953+3420448.

J 223536.0+373523. Симметричная радиогалактика типа FR II. В области центра радиогалактики есть слабые диффузные объекты на карте DSS и 2MASS. Радиосточник присутствует на карте миссии Планк на частоте 100 ГГц (рис. 13).

J 225321.7+162014. Слабая радиогалактика типа FR II с расположенными под малым углом друг к другу радиоконцентрами. Отождествляется с галактикой 2MASX J 22532268+1620056.

J 231600.3–282359. Радиогалактика типа FR II с выделяющимися радиоконцентрами и точечным ярким центральным источником. Отождествляется с объектом 2dFGRS TGS266Z204 ($B \sim 18^m.6$).

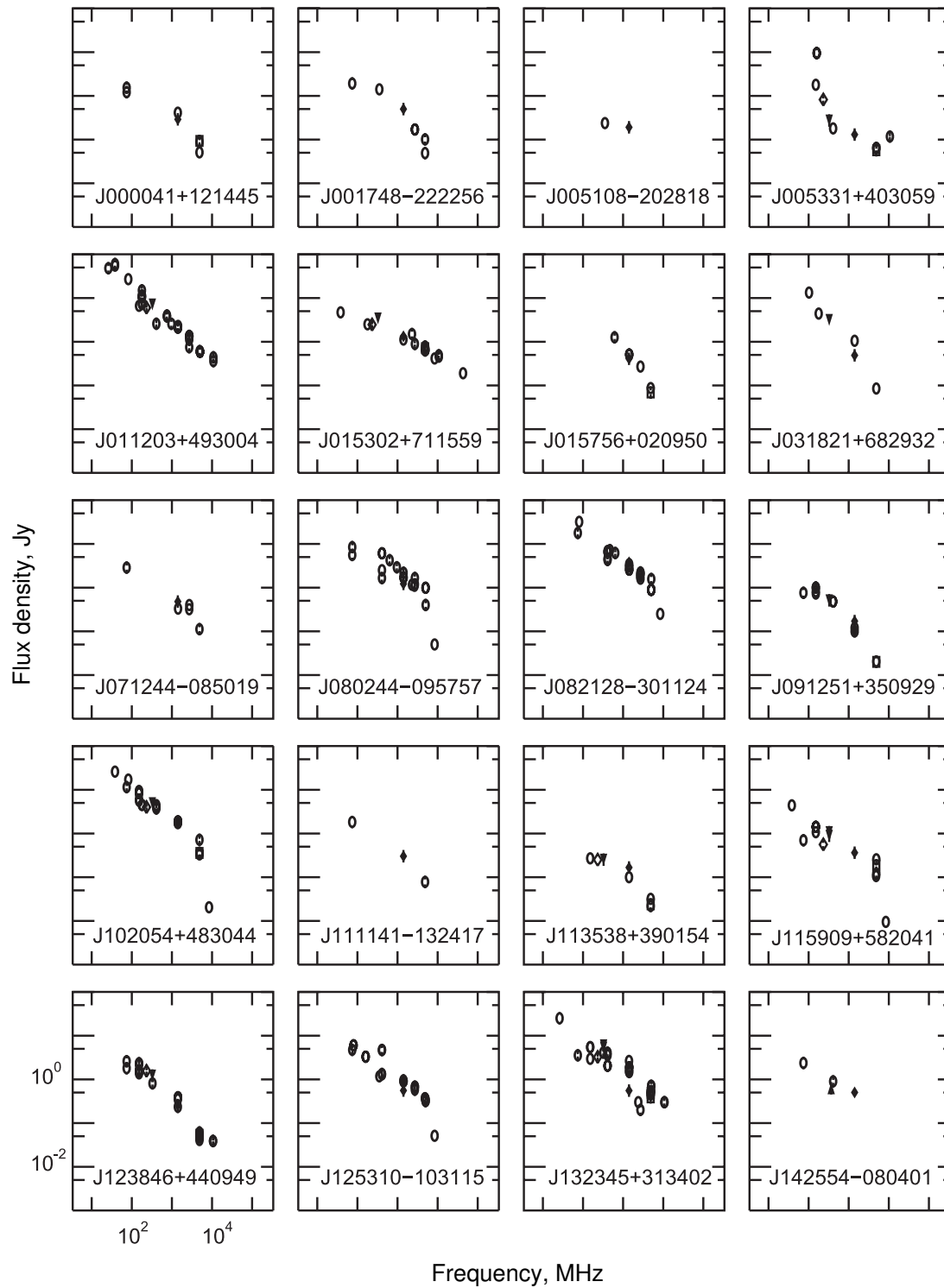


Рис. 7. Непрерывные радиоспектры БРГ типа FR II по результатам отождествления в CATS. Шкала по осям — в логарифмическом масштабе.

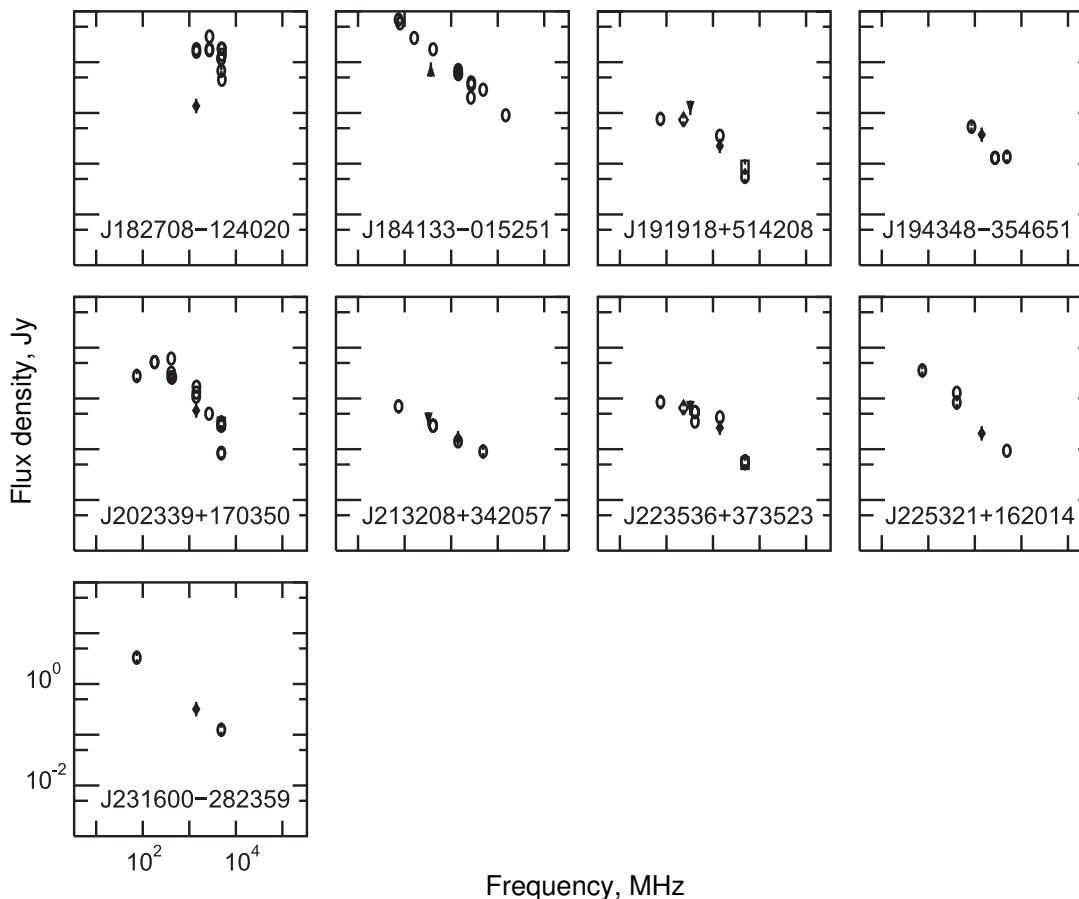


Рис. 7. (Продолжение)

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведено отождествление радиогалактик, выделенных методом сопоставления осей компонентов «несвязанных» радиоисточников каталога NVSS с разделением более $4'$. Полученный список был разбит на две подвыборки объектов типов FR I (21 источник) и FR II (29 источников). Отождествление радиогалактик проводилось с использованием инструментария баз данных CATS, NED² и Skyview.³ Объекты из списка FR I, как правило, находятся ближе и имеют отождествление в оптическом диапазоне на снимках обзора DSS чаще, чем источники из списка FR II. Если рассматривать отсутствие отождествления или слабость оптического кандидата, то БРГ типа FR II из нашего списка находятся в среднем дальше, чем БРГ типа FR I, и имеют больший линейный размер.

Для части радиогалактик с известным крас-

ным смещением подтверждены гигантские линейные размеры (см. таблицу), превышающие 1 Мпк:

J 005331.6+403059, J 011203.6+493004,
J 031821.9+682932, J 091251.6+350929,
J 154901.7-321747, J 231600.3-282359.

Еще семь объектов имеют $d > 0.5$ Мпк. Отметим также, что среди гигантских радиоисточников в нашем списке доминируют по числу объекты типа FR II.

Среди отобранных радиоисточников обнаружена радиогалактика J 154901.7-321747 (PKS 1545-321) смешанного типа, обозначаемого «X», являющаяся, по-видимому, результатом слияния двух активных галактических ядер. Практически у всех радиогалактик крутой непрерывный спектр, построенный по интегральным данным. Для объектов списка было проверено наличие соответствующего источника на карте космического эксперимента Планк на частоте

²<http://nedwww.ipac.caltech.edu>

³<http://skyview.gsfc.nasa.gov>

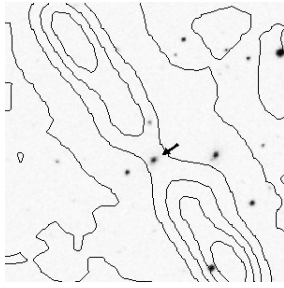


Рис. 8. Кандидат на отождествление радиогалактики J001748.5–222256 — галактика 2MASX J00174780–2223195. Изолинии построены по данным обзора NVSS на изображении DSS. Кандидат отмечен стрелкой. Размер изображения $6' \times 6'$.

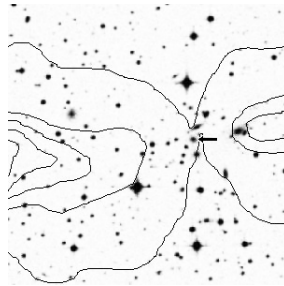


Рис. 10. Кандидат на отождествление радиогалактики J080244.1–095757 — галактика 2MASX J08024016–0957504. Изолинии построены по данным обзора NVSS на изображении DSS. Кандидат отмечен стрелкой. Размер изображения $6' \times 6'$.

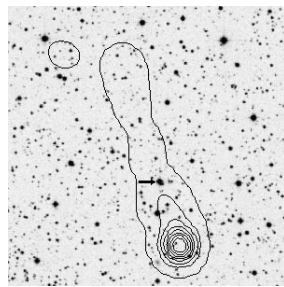


Рис. 12. Кандидат на отождествление радиогалактики J202339.8+170350 — галактика 2MASX J20233698+1702409. Изолинии построены по данным обзора NVSS на изображении DSS. Кандидат отмечен стрелкой. Размер изображения $9' \times 9'$.

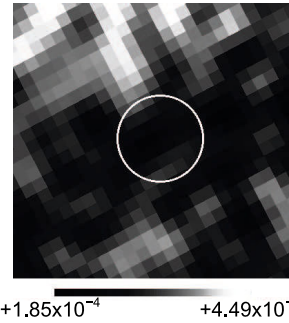


Рис. 9. Область, центрированная на радиогалактику J071244.0–085019, на картах космической миссии Планк. В окрестности радиоисточника находится локальный минимум. Данные на частоте 100 ГГц. Размер площадки — $30' \times 30'$. По оси абсцисс — прямое восхождение, по оси ординат — склонение. Положение радиогалактики отмечено кружком.

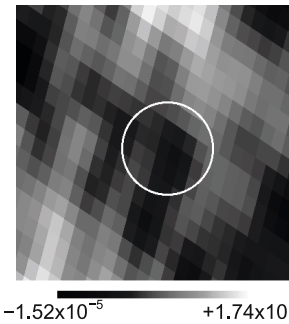


Рис. 11. Область, центрированная на радиогалактику J191918.2+514208, на картах космической миссии Планк. В окрестности радиоисточника находится локальный минимум. Данные на частоте 100 ГГц. Размер площадки — $30' \times 30'$. По оси абсцисс — прямое восхождение, по оси ординат — склонение. Положение радиогалактики отмечено кружком.

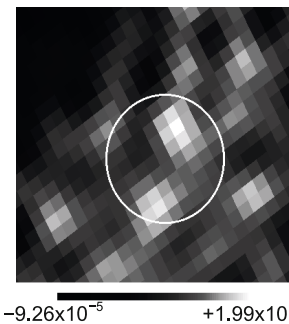


Рис. 13. Область, центрированная на радиогалактику J223536.0+373523, на картах космической миссии Планк. Данные на частоте 100 ГГц. Размер площадки — $30' \times 30'$. По оси абсцисс — прямое восхождение, по оси ординат — склонение. Положение радиогалактики отмечено кружком.

100 ГГц, где ожидается наиболее контрастный эффект Сюняева–Зельдовича в виде минимума в распределении микроволнового фона [45]. При детальном исследовании эффекта для БРГ необходимо провести разделение компонент и изучить распределение сигнала по частоте. Для десяти объектов нашего списка при визуальном просмотре мы обнаружили два эффекта: (1) наличие максимума на карте на частоте 100 ГГц в области радиогалактик J 005744.4+302156, J 084507.2–334711, J 170502.0–244602, J 195230.9–011711 (тип FR I), а также J 182708.3–124020 и J 223536.0+373523 (тип FR II); (2) попадание координат источника в область локального минимума микроволновой карты радиогалактик J 073331.1+574133 (FR I) и J 071244.0–085019, J 082128.4–301124, J 191918.2+514208 (FR II). Хотя статистика и мала, отметим, что максимум на микроволновых картах в области источника обнаруживается чаще, чем зона минимума, для первого типа радиогалактик, в то время как минимум, наоборот, обнаруживается чаще, чем максимум, для второго типа радиогалактик.

В следующей работе мы исследуем распределение микроволнового фона на разных частотах Планка для все объектов списка, а также известных каталогизированных ГРГ.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны рецензенту за полезные замечания, позволившие улучшить текст. При исследовании использовалась база данных внегалактических объектов NED (NASA/IPAC Extragalactic Database, находящаяся под управлением Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института по контракту с NASA) и виртуальная обсерватория SkyView. Авторы также применяли базу данных радиоастрономических каталогов CATS [23, 46] и систему обработки радиоастрономических данных FADPS (http://sed.sao.ru/~vo/fadps_e.html) [47, 48]. В работе использовались данные открытого архива эксперимента Planck Европейского космического агентства (Planck Legacy Archive на <http://www.sciops.esa.int>). Для анализа карт миссии Планк применялся пакет GLESP (<http://www.glesp.nbi.dk>) [49, 50]. Работа была поддержана грантом РФФИ № 13-02-00027-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. L. Fanaroff and J. M. Riley, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **167**, 31P (1974).
2. A. P. Schoenmakers, K. H. Mack, A. G. de Bruyn, et al. *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **146**, 293 (2000).
3. A. P. Schoenmakers, A. G. de Bruyn, H. J. A. Roettgering, and H. van der Laan, *Astrophys. J.* **374**, 861 (2001).
4. L. Lara, I. Marquez, W. D. Cotton, et al. *Astrophys. J.* **378**, 826 (2001).
5. L. Lara, G. Giovannini, W. D. Cotton, et al., *Astrophys. J.* **421**, 899 (2004).
6. L. Saripalli, R. W. Hunstead, R. Subrahmanyam, and E. Boyce, *Astronom. J.* **130**, 896 (2005).
7. C. Konar, D. J. Saikia, C. H. Ishwara-Chandra, and V. K. Kulkarni, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **355**, 845 (2004).
8. C. Konar, M. Jamrozy, D. J. Saikia, and J. Machalski, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **383**, 525 (2008).
9. M. Jamrozy, J. Machalski, K. H. Mack, and U. Klein, *Astrophys. J.* **433**, 467 (2005).
10. M. Jamrozy, C. Konar, J. Machalski, and D. J. Saikia, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **383**, 525 (2008).
11. J. Machalski, M. Jamrozy, S. Zola, and D. Koziel, *Astrophys. J.* **454** 85 (2006).
12. B. V. Komberg and I. N. Pashchenko, *Astronomy Reports* **53**, 1086 (2009).
13. D. I. Solov'yov and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **66**, 416 (2011).
14. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astronom. J.* **115**, 1693 (1998).
15. O. V. Verkhodanov, M. L. Khabibullina, M. Singh, et al., in *Proc. Int. Conf. on Problems of Practical Cosmology*, Ed. by Yu. V. Baryshev, I. N. Taganov, and P. Teerikorpi (Russian Geograph. Soc., St. Petersburg, 2008), Vol. 2, p. 247.
16. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, M. Singh, et al. *Astronomy Reports* **54**, 571 (2010).
17. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, M. Singh, et al., *Astronomy Reports* **55**, 392 (2011).
18. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, M. Singh, et al., *Astrophysical Bulletin* **66**, 171 (2011).
19. S. Colafrancesco and P. Marchegiani, *Astronom. and Astrophys.* **535**, A108 (2011).
20. R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. Van Dyk, et al., *Explanatory Supplement to the 2MASS Second Incremental Data Release* (2002); <http://www.ipac.caltech.edu/2mass>.
21. 2MASS team, *2MASS Second Incremental Data Release Catalogs and Tables*, (2002).
22. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118 (2005).
23. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Data Science Journal* **8**, 34 (2009).
24. O. Verkhodanov, H. Andernach, and N. Verkhodanova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **49**, 53 (2000).
25. O. Verkhodanov, N. Verkhodanova, and H. Andernach, *Astrophysical Bulletin* **64**, 72 (2009).

26. O. V. Verkhodanov, in *Proc. of the 27th Radio Astron. Conf. on Problems of Modern Radio Astronomy* (Inst. Appl. Astronomy RAS, St. Petersburg, 1997), Vol. 1, p. 322.
27. A. Bennett, *Mem. R. Astron. Soc.* **68**, 163 (1962).
28. J. D. H. Pilkington and P. F. Scott, *Mem. R. Astron. Soc.* **69**, 183 (1965).
29. J. Bolton, F. Gardner, and M. Mackey, *Australian J. Phys.* **17**, 340 (1964).
30. O. B. Slee, *Austral. J. Phys.* **48**, 143 (1995).
31. J. N. Douglas, F. N. Bash, F. A. Bozayan, et al., *Astronom. J.* **111**, 1945 (1996).
32. R. H. Becker, R. L. White, and D. J. Helfand, *Astrophys. J.* **450**, 559 (1995).
33. C. De Breuck, Y. Tang, A. G. de Bruyn, H. Rottgering, and W. van Breugel, *Astronom. and Astrophys.* **394**, 59 (2002).
34. R. B. Rengelink, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **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, N. V. Verkhodanova, and H. Andernach, *Astronomy Reports* **47**, 110 (2003).
37. J. E. Baldwin, R. C. Boysen, S. E. G. Hales, et al., *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **217**, 717 (1985).
38. M. M. McGilchrist, J. E. Baldwin, J. M. Riley, et al., *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **246**, 110 (1990).
39. S. E. G. Hales, E. M. Waldrum, N. Rees, et al., *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **274**, 447 (1995).
40. W. M. Lane, W. D. Cotton, J. F. Helmboldt, and N. E. Kassim, *Radio Science* **47**, IDRS0K04 (2012).
41. M. R. Griffith, A. E. Wright, B. F. Burke, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **90**, 179 (1994).
42. T. Mauch, T. Murphy, H. J. Buttery, et al., *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **342**, 1117 (2003).
43. G. Colla, C. Fanti, R. Fanti, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **1**, 281–317 (1970).
44. M. I. Large, L. E. Cram, and A. M. Burgess, *The Observatory* **111**, 72 (1991).
45. P. A. R. Ade et al. (Planck Collaboration), submitted to *Astronom. and Astrophys.*; arXiv:1303.5089.
46. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *ASP Conf. Ser.*, No. 322, 46 (1997).
47. O. V. Verkhodanov, *ASP Conf. Ser.*, No. 125, 46 (1997).
48. O. V. Verkhodanov, B. L. Erukhimov, M. L. Monosov, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **36**, 132 (1993).
49. O. V. Verkhodanov, A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 40 (2005).
50. A. G. Doroshkevich, O. B. Verkhodanov, P. D. Naselsky, et al., *Int. J. Modern Phys. D* **20**, 1053 (2011).

Radio and Optical Identification of Giant Radio Galaxies from NVSS Radio Survey

D. I. Solovyov and O. V. Verkhodanov

We investigate giant radio galaxy candidates that were selected based on the components cataloged as separate sources in the NVSS survey. The radio and optical identification is done for fifty radio galaxies using the CATS, NED, and SkyView databases.

Keywords: *galaxies: active—radio continuum: galaxies—submillimeter: galaxies*