

УДК 524.7-77

ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

© 2017 Ю.Н. Парийский¹, О.П. Желенкова^{2,3*}, А.И. Копылов²,
А.В. Темирова¹, О.В. Верходанов², В.Н. Комарова²

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

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

³Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101 Россия

Поступила в редакцию 1 декабря 2016 года; принята в печать 20 марта 2017 года

В САО РАН ведется программа «Большое трио» для исследования выборки источников с крутыми и ультракрутыми спектрами из каталога RC, составленного на основе наблюдательного материала обзора «Холод». Популяция далеких радиогалактик класса FR II с крутыми спектрами представляет особый интерес, поскольку новые данные говорят об уже сформировавшихся в первый миллиард лет жизни Вселенной в этих гигантских звездных системах черных дырах с массой более $10^9 M_{\odot}$, а также об их связи с формирующимися скоплениями. В выборке обнаружены три источника с $z_{sp} > 3$. Около одной из самых мощных радиогалактик RC J0311+0507 (4C+04.11) с $z = 4.51$, второй по дальности из известных галактик FR II-типа, по наблюдениям на БТА, архивным данным Subaru и Spitzer обнаружены повышенная плотность объектов и несколько Ly α -эмиттеров. Другой объект — RC J1740+0502 с $z = 3.57$ — является возможным кандидатом в двойные AGN. Третий источник — RC J0105+0501 — галактика FR II-типа с $z = 3.138$, родительская галактика которого имеет сложную структуру, возможно, порожденную взаимодействием в близкой паре галактик. Эти радиоисточники имеют высокие радиосветимости ($L_{500 \text{ МГц}} \approx 10^{28} - 10^{29} \text{ Вт Гц}^{-1}$), что требует наличия гигантской черной дыры с достаточным темпом аккреции, а также с быстрым вращением, что может обеспечиваться большим мерджингом.

Ключевые слова: радиоконтинуум: галактики — галактики: большие красные смещения — галактики: формирование — галактики: скопления

1. ВВЕДЕНИЕ

К мощным радиогалактикам с большими z (High-redshift radio galaxy, HzRG) относят далекие галактики с красным смещением $z > 1$ и радиосветимостью $L_{500 \text{ МГц}}$, превосходящей $10^{27} \text{ Вт Гц}^{-1}$ [1]. Это очень редкие объекты с плотностью примерно 10^{-8} Мпс^{-3} для диапазона красных смещений $2 \leq z < 5$. Спектральное распределение энергии таких объектов включает излучение пылевой и звездной компонент, а также излучение активного ядра. Исследования первых двух компонент показывают, что HzRGs являются одними из самых массивных галактик ранней Вселенной [2–4]. У них наблюдаются все возможные признаки продолжающегося активного звездообразования и быстрой аккреции вещества на сверхмассивную черную дыру (СМЧД); это проявляется в наличии мощных радиоджетов, сильных эмиссионных линий высокоионизованного

газа в оптическом и ближнем ИК диапазонах, яркости континуума в среднем ИК-диапазоне [5–9]. У них также регистрируется мощное излучение в субмиллиметровом диапазоне, что напрямую связано с энергичным звездообразованием. Этим объектам свойственны многие признаки массивных галактик в стадии формирования [1]. Из-за ориентации ребром к наблюдателю пылевой тор радиогалактики затмевает свет от горячего аккреционного диска, что дает больше шансов для изучения звездного населения родительской галактики, чем в случае квазаров [10, 11]. Несмотря на трудности в понимании того, как реализуется связь между родительской галактикой и СМЧД, есть основания предполагать, что галактика и ядро формируются одновременно [12–14].

Так как на больших красных смещениях для определения свойств, характеризующих галактику, СМЧД и окружение, требуются большие затраты наблюдательного времени, а чаще всего это находится за пределами возможностей большинства существующих инструментов, приходится по-

*E-mail: zhe@sao.ru

лагаться на диагностику по спектральному распределению энергии и эмпирическим соотношениям $M_{\text{ВН}} - \sigma$ [15], $M_{\text{ВН}} - M_{\text{bulge}}$ [13], $M_{\text{ВН}} - M_K$ [16] ($M_{\text{ВН}}$ — масса черной дыры, σ — дисперсия скоростей балджа родительской галактики, M_{bulge} — масса балджа, M_K — абсолютная звездная величина в фильтре K), применяя их к большим выборкам.

Согласно иерархической модели [17], самые массивные звездные системы формируются в областях пиковой плотности темной материи путем слияния большого числа малых галактик. На $z \sim 2$, где возраст Вселенной порядка 3.3 млрд лет¹, скопления галактик, скорее всего, находятся в стадии формирования, поскольку прошло недостаточно времени для их вириализации. По этой причине их обычно называют протоскоплениями. Наблюдения действительно показывают, что HzRG преимущественно оказываются в достаточно плотном окружении [18–22], и протоскопления с большой вероятностью можно найти в непосредственной близости от этих объектов. Так как HzRG обнаруживаются на больших красных смещениях, то они как маркеры могут отмечать скопления галактик или тесные группы на космологических расстояниях.

2. ПОИСК ДАЛЕКИХ РАДИОГАЛАКТИК В ПРОГРАММЕ «БОЛЬШОЕ ТРИО»

«Слепой» поиск далеких объектов не является эффективным. Необходимо выработать критерии для отбора наиболее вероятных кандидатов и только после этого исследовать их с привлечением больших телескопов. Причем такие программы все равно остаются очень затратными по наблюдательному времени. В пионерской работе [23] было предложено использовать в качестве критериев при выборе кандидатов принадлежность к радиогалактикам FR II-типа и крутой спектр. В работах [24–27] была продемонстрирована эффективность такого подхода.

Обзор «Холод», на основе наблюдательного материала которого [28, 29] был составлен каталог RC (RATAN Cold), включивший 1145 радиоисточников, проведен на RATAN-600 в 1980 г. на частоте 3.94 ГГц с предельной плотностью потока около 10 мЯн. Он покрывает полосу неба шириной $40'$ на $\delta_{2000} \sim 5^\circ$ и площадью порядка $200 \square^\circ$. При составлении выборки кандидатов в далекие объекты так же, как и в других группах, занимающихся поиском далеких радиогалактик [24–27], в качестве основных критериев отбора мы использовали крутизну радиоспектра, морфологический тип (FR II), и еще были добавлены дополнительные критерии [30] —

Медианные характеристики выборки источников с крутыми спектрами ($\alpha > 0.9$) каталога RC

Тип	m_R	z	LAS, arcsec	$S_{3.9}$, мЯн	$\alpha_{3.9}$	R_r
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
RG	22.6	0.8	12	72	-1.0	4.7
RL QSO	19.9	1.2	10	90	-1.0	3.8
$z > 2$						
RG	22.9	2.7	5	57	-1.2	5.1
RL QSO	20.6	2.3	3	94	-1.1	3.9

малые угловые размеры и большое отношение радиосветимости к оптической светимости.

С привлечением каталога Texas UTRAO на 365 МГц [31], любезно предоставленного профессором Дугласом еще до публикации, из каталога RC были отобраны 105 объектов с крутыми и ультракрутыми спектрами ($\alpha > 0.9$, $S_\nu \propto \nu^{-\alpha}$). Эта выборка явилась основной при исследованиях по программе «Большое трио», где для наблюдений использовались три крупнейших инструмента — RATAN-600, 6-м оптический телескоп БТА и радиотелескоп VLA (Very Large Array, США). С целью уточнения координат, угловых размеров и морфологии источников для всей выборки на VLA были проведены наблюдения на частоте 1.4 ГГц с разрешением $1''5-4''5$. Часть неразрешенных объектов наблюдалась повторно на частоте 4.8 ГГц с более высоким разрешением ($0''4$). С помощью 6-м телескопа БТА было выполнено оптическое отождествление выборки по кадрам глубины $m_R < 25^m5$ [30, 32–36].

Наблюдательный материал для оптического отождествления радиоисточников выборки был получен с 1991 по 2003 гг. на разных ПЗС-системах, используемых в течение этого времени для прямых снимков и широкополосной фотометрии на 6-м телескопе БТА. Всего на отождествление радиоисточников выборки было выделено около 80 наблюдательных ночей (3–4 ночи на объект). 50% времени потрачено на наблюдения в фильтре R при среднем качестве изображения $2''1$. Кроме того, для половины объектов была проведена BVI -фотометрия. Также для 22 объектов были получены изображения [37] на 2.56-м телескопе NOT (Nordic Optical Telescope) на Ла Пальме (Испания) при секундном качестве изображения и лучше. Практически вся выборка источников этой программы была отождествлена (94%), для шести радиоисточников поля оказались

¹ $H_0 = 69.6 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$, $\Omega_\Lambda = 0.71$, $\Omega_m = 0.29$.

пустыми до глубины имеющегося наблюдательного материала.

Спектральные наблюдения для определения красного смещения проводились с 2001 по 2008 гг. на многорежимном фокальном редуторе SCORPIO [38] (было выделено 58 ночей). Получилось, что на накопление спектральных данных для одного объекта уходило около ночи (точнее, 0.8). Для 68% источников сняты спектры, спектральные красные смещения определены для 52% объектов [39] и еще для 20% оценено фотометрическое красное смещение.

В таблице приведены медианные величины параметров, характеризующих выборку соответственно в колонках:

- (1) тип родительской галактики: RG (Radio Galaxy) — радиогалактика, RL QSO (Radio Loud QSO) — активный в радиодиапазоне квазар;
- (2) звездная величина в фильтре R ;
- (3) красное смещение (использованы фотометрические и спектральные z);
- (4) угловой размер радиисточника LAS (Largest Angular Size);
- (5) плотность потока на 3.94 ГГц;
- (6) спектральный индекс на 3.94 ГГц;
- (7) индекс активности в радиодиапазоне $R_r = 0.4(m_r - t_N)$, где m_r — величина в фильтре r , $t_N = -2.5 \lg(S_{NVSS}/3631)$ Ян — интегральная плотность потока в системе AB на частоте 1.4 ГГц по данным обзора NVSS.

Объекты с $R_r > 1$ считаются радиогромкими [40]. Отметим, что квазары ярче галактик более чем на 2^m в фильтре R . В выборке оказалось 18% квазаров. Обнаружено десять радиисточников с $z_{sp} > 2$, среди которых равное количество галактик и квазаров (в таблице приведены их характеристики).

3. САМЫЕ ДАЛЕКИЕ ИСТОЧНИКИ ПРОГРАММЫ «БОЛЬШОЕ ТРИО»

Мощные радиогалактики на $z \lesssim 1$ наблюдаются в массивных звездных системах, таких как гигантские эллиптические (gE) и cD-галактики (cluster Dominated), а на больших z рассматриваются как предшественники этих объектов. Возникновение последних в старых эволюционных схемах объясняется слиянием большого числа малых галактик. Мощное радиоизлучение требует наличия быстро вращающейся черной дыры с массой значительно более $10^9 M_\odot$ и достаточного темпа аккреции.

Существование таких радиогалактик в ранней Вселенной связывают со столкновениями галактик с достаточно массивными черными дырами и с большим мерджингом, что вызывает быстрое вращение их ядер.

Среди объектов выборки с крутыми спектрами каталога RC в результате проведенных исследований на 6-м оптическом телескопе БТА было обнаружено три источника с $z > 3$ [39].

Так, радиогалактика RC J0311+0507 (4C+04.11) оказалась самым далеким источником выборки, исследуемой по программе «Большое трио», второй по дальности из известных галактик FR II-типа [1]. В спектре у родительской галактики ($R = 22^m 8$) была обнаружена узкая эмиссия, отождествленная с $Ly\alpha$ на $z = 4.514$ [41]. Красное смещение было подтверждено наблюдениями на спектрографе SINFONI (VLT) по линиям [OII] и [NeIII] [42]. Второй источник, RC J1740+0502 с $z = 3.570$, отнесен к слабым квазарам. Третий источник — RC J0105+0501 — галактика FR II-типа с $z = 3.138$. Его родительская галактика имеет сложную структуру, которую можно было бы объяснить взаимодействием в близкой паре галактик.

Для двух самых далеких источников выборки получены новые данные на радиоинтерферометре MERLIN (Multi-Element-Radio-Linked-Interferometer-Network, Великобритания) и модернизированной системе e-MERLIN, EVN VLBI, в оптическом диапазоне — на 6-м телескопе БТА и на телескопе NORDIC (широкополосная и среднеполосная фотометрии). Наблюдения в ближнем ИК-диапазоне проведены на 3.8-м телескопе UKIRT (Великобритания). Мы также воспользовались архивными данными 8-м телескопа Subaru (архив SMOKA [43], Япония), космического телескопа Spitzer (NASA) и VLA. Далее более подробно об этих источниках.

3.1. Окружение радиогалактики с $z=4.51$

Карты RC J0311+0507 с высоким угловым разрешением, полученные на MERLIN и EVN (European VLBI Network), показывают сложную структуру источника [44, 45]. Видимая его протяженность ($LAS = 2'' 8$) почти такая же, как размеры оптической галактики. EVN-карта с разрешением $0''.025$ выявила восемь деталей малого размера (рис. 1). Деталь вблизи центра радиогалактики имеет самый плоский радиоспектр изо всех компонентов и ближе всего расположена к центру родительской галактики. Это — ядро радиисточника. Остальные детали — горячие точки с яркостной температурой более 10^{10} К, но менее предела SSA (Synchrotron Self-Absorption). Множественные горячие точки

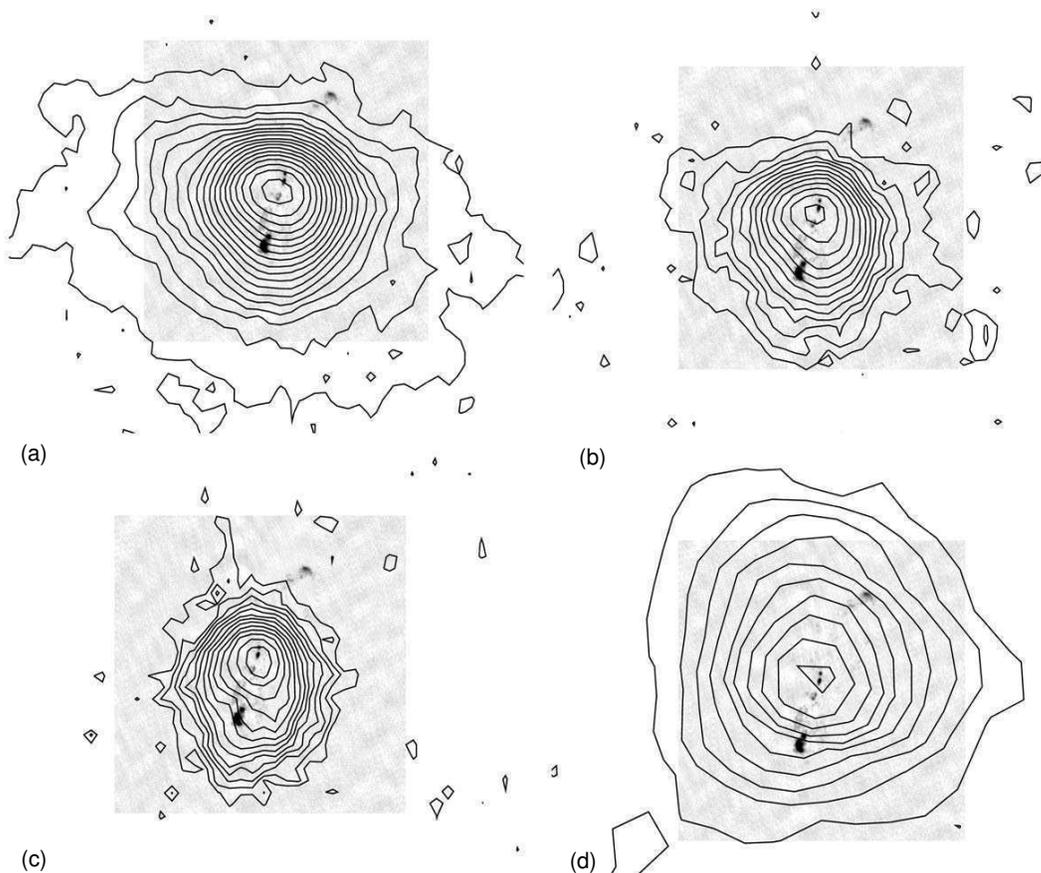


Рис. 1. RC J0311+0507. Приведена полутоновая радиокарта (EVN+MERLIN, 1.65 ГГц, разрешение $0''.035 \times 0''.035$) размером $5'' \times 5''$. На нее наложены изофоты изображения (Subaru, архив SMOKA) родительской галактики в узкополосном фильтре $NL\ 671$ (a), в фильтре R (b) и в фильтре I (c), а также в полосе $3.6\ \mu\text{m}$ (Spitzer, архив IRSA) (d). Ориентация кадров: N — сверху, E — слева. Расстояние между крайними компонентами радиисточника порядка $2''8$.

иногда наблюдаются в изображениях радиисточников в связи с многократными выбросами из ядра, но крутые спектральные индексы далеких от ядра деталей противоречат стандартным объяснениям. Укрупнение спектрального индекса на единицу для таких деталей обычно связывают с полным прекращением подпитки их ядром. Многокомпонентная структура радиисточника не является столь уж редким явлением, но в случае RC J0311+0507 каждая из деталей имеет светимость $L_{500\text{ МГц}} \approx 10^{28}$ Вт Гц $^{-1}$, что сравнимо со светимостью основных компонентов мощных FR II-радиогалактик. Оценка массы черной дыры этой активной галактики по интегральной радиосветимости $L_{500\text{ МГц}} \sim 3 \times 10^{29}$ Вт Гц $^{-1}$ и светимости ядра составила примерно $10^{10} M_{\odot}$.

В оптическом диапазоне вид и размер галактики меняется от фильтра к фильтру (рис. 1). На кадрах в R и особенно в $NL\ 671$ -фильтре наблюдается протяженная $\text{Ly}\alpha$ -оболочка размером около $9''$ (60 кпк), что сравнимо с результатами, пред-

ставленными в работе [46] для радиоспокойных квазаров RQ QSO (Radio Quiet QSO) на $z = 4.5$.

По глубоким кадрам R , I и $SED\ 665$ (БТА/SCORPIO) проведены оценки поверхностной плотности объектов в площадке $2.5\ \square'$ (на $z = 4.514$ этого соответствует примерно 1×1 Мпк), центрированной на RC J0311+0507, которые показали превышение на 2–3 RMS по сравнению с площадками такого же размера, но взятых в другом месте на этом же кадре [47]. Для K -фильтра (UKIRT) подсчеты дали превышение на 1.5 RMS (28.0 и $24.4 \pm 2.4/\square'$). Отметим, что в поисковой программе CARLA (Clusters Around Radio-Loud AGN) по исследованию окружения радиоизлучающих AGN по наблюдениям космического телескопа Spitzer на $3.6\ \mu\text{m}$ and $4.5\ \mu\text{m}$, проведенной до глубины $[3.6\ \mu\text{m}]_{\text{AB}} = 22^{\text{m}}6$, $[4.5\ \mu\text{m}]_{\text{AB}} = 22^{\text{m}}9$ [48], для окрестностей RC J0311+0507 получилось $13.1/\square'$, что на 3 RMS превышает плотность объектов в SpUDS (Spitzer UKIDSS Ultra Deep Survey, PI: J. Dunlop) $\sum_{\text{SpUDS}} = 8.3 \pm 1.6/\square'$.

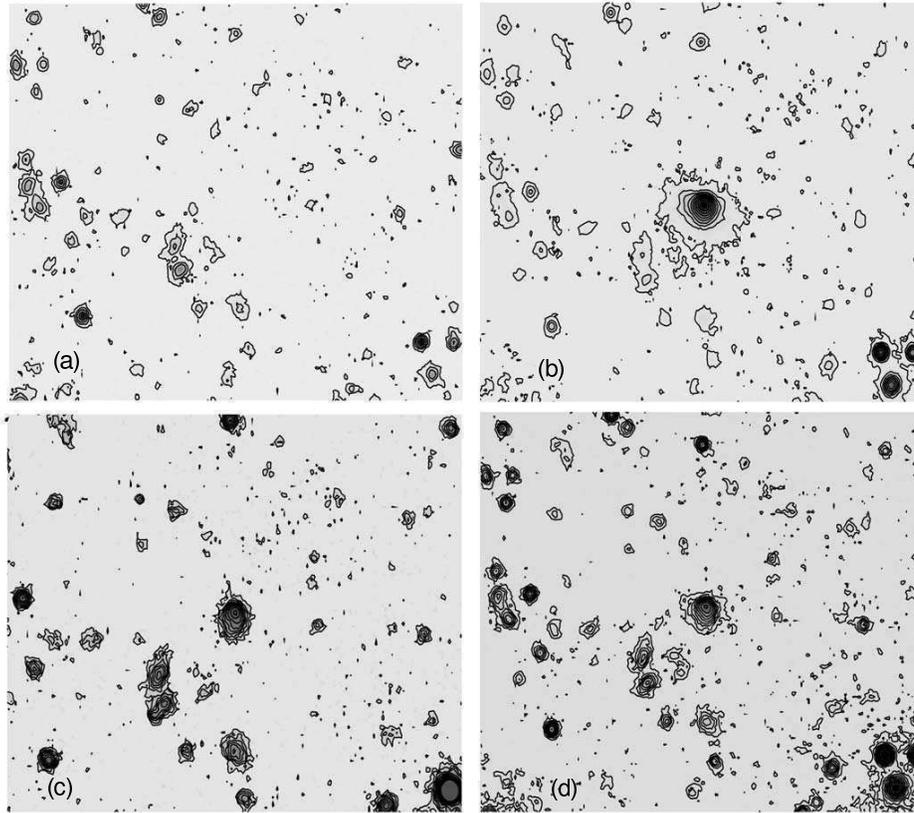


Рис. 2. RC J0311+0507. Площадка размером $48'' \times 41''$ с изофотами в фильтре B , узкополосном фильтре $NL\ 671$, I , R на рисунках (a), (b), (c) и (d) соответственно. Первый контур — уровень фона + RMS, последующие отстоят на 3RMS . Ориентация кадров: N — вверху, E — слева. Родительская галактика радиоисточника — в центре кадров, в фильтре B она отсутствует.

По архивным кадрам 8-м телескопа Subaru при визуальной инспекции обнаружены близкие к радиогалактике объекты, которые отсутствуют в полосе B , но есть в R - и/или I -фильтрах (B -dropout). В непосредственной близости от родительской галактики (около 1arcmin) обнаружено несколько таких объектов, причем часть из них есть в узком фильтре $NL\ 671$, центрированном на длину волны $\text{Ly}\alpha$ для $z = 4.51$, — возможные $\text{Ly}\alpha$ -эмиттеры (рис. 2).

3.2. RC J1740+0502 — парное AGN?

Морфологическая структура RC J1740+0502 по первым наблюдениям на VLA была классифицирована как ядро с джетом. По новым наблюдениям на радиоинтерферометре MERLIN (JBO, UK) она соответствует больше морфологии двойного радиоисточника. Объект также относится к мощным FR II-радиогалактикам с $L_{500\text{MHz}} \sim 3 \times 10^{28} \text{ Вт Гц}^{-1}$. Такое энерговыделение в AGN связывают с наличием сверхмассивной черной дыры массой более $10^9 M_{\odot}$. По имеющимся кадрам, полученным на БТА и NOT,

пересмотрена интерпретация оптического отождествления этого радиоисточника и предложены следующие варианты отождествления: (1) ранее предложенный вариант — слабый квазар [39], $m_R = 22.2$, (2) радиогалактика с $\text{Ly}\alpha$ -оболочкой, (3) пара радиоквазар+галактика, (4) парное AGN. Последние две интерпретации основаны на данных, полученных в 1994 г. на телескопе NOT при качестве изображения $\theta = 0''.6$. На кадрах в фильтре V ([37], рис. 3) оптический объект состоит из E- и W-компонентов с разнесением $0''.4\text{--}0''.5$, однако в фильтре R это одиночный объект со слабой диффузной составляющей. Таким образом, RC J1740+0502 — возможный кандидат двойного AGN, причем с расстоянием между компаньонами около 4 кпк на $z > 3$. Отметим, что на текущий момент известны две-три сотни пар квазаров на $z > 1$, но с расстоянием между компонентами десятки-сотни кпк, и порядка десятка парных AGN с разнесением в несколько кпк, но на $z < 1$.

3.3. RC J0105+0501

Третий источник RC J0105+0501 — галактика FR II-типа с $z = 3.138$. В работе [49] он отожд-

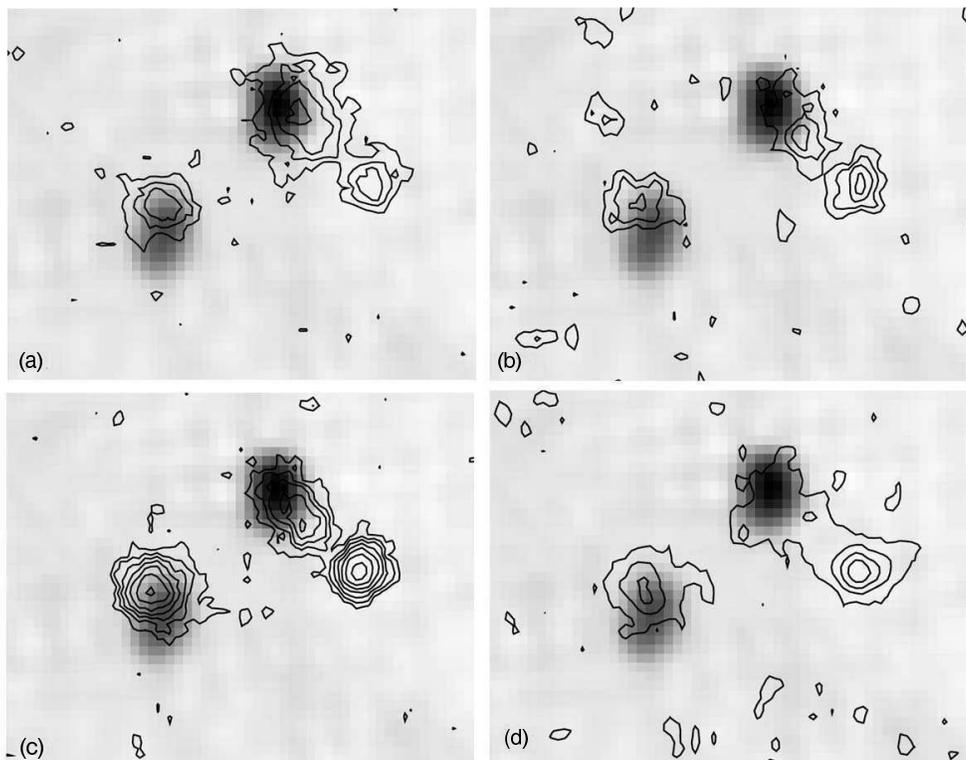


Рис. 3. RC J0105+0501. На полутоновое VLA-радиоизображение на частоте 1.4 ГГц с угловым разрешением $1''.5 \times 1''.4$ наложены изофоты кадров, полученных на БТА в фильтрах B, V, R и I — (a), (b), (c), (d) соответственно. Первый контур соответствует уровню фона + RMS, последующие отстоят на 3 RMS. Размер области $21'' \times 16''$, ориентация кадров: N — сверху, E — слева. Расстояние между компонентами радиоисточника порядка $7''.5$.

дествлен со слабой галактикой $R_c = 22^m8$, которая на 1^m5 ярче и более протяженная по размерам в V -фильтре, чем в B , что связано с $Ly\alpha$ -эмиссией. Родительская галактика имеет сложную структуру, вид которой меняется от фильтра к фильтру (рис. 3); она состоит из клочковатых NE- и SW-компонентов с расстоянием около $1''.3$ (примерно 10 кпк). Это можно было бы отнести к проявлению большого мерджинга или к близкой паре галактик, что возможно подтвердить только при глубоких спектральных исследованиях.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Популяция далеких мощных радиогалактик FR II-типа представляет особый интерес, поскольку наблюдения говорят о наличии в этих еще формирующихся гигантских звездных системах черных дыр с массой более $10^9 M_\odot$, а также об их связи с протоскоплениями.

По результатам работ, которые ведутся в САО РАН по программе «Большое трио», обнаружены три мощных источника на $z_{sp} > 3$ с радиосветимостями $L_{500\text{МГц}} \sim 10^{28} - 10^{29}$ Вт Гц $^{-1}$. Сложная структура радиоисточников, морфологические особенности родительских объектов,

наличие $Ly\alpha$ -оболочки указывают на плотное окружение.

В глубоких обзорах «Холод» в сантиметровом диапазоне на РАТАН-600 обнаружены мощные радиогалактики на космологическом расстоянии, соответствующем возрасту Вселенной 1–2 млрд лет, т.е. время начала их формирования может соответствовать $z > 10$. Метод селекции кандидатов в далекие гигантские эллиптические галактики с СМЧД по особенностям их радиоизлучения — крутые и ультракрутые спектры в сантиметровом диапазоне, большое отношение радиосветимости к оптической светимости, малый угловой размер (LAS) — один из простых и надежных. Суммарно на оптическое отождествление, фотометрию и спектральные исследования 105 источников с крутыми и ультракрутыми спектрами каталога RC было затрачено 136 ночей в период с 1991 по 2003 гг.

В другом обзоре RZF (RATAN-600 Zenith-Field) [50], проведенном на РАТАН-600, обнаружены тысячи радиоисточников с ультракрутыми спектрами, многие из которых имеют структуру FR II. Их можно наблюдать на любых z на РАТАН-600 с имеющимся комплексом аппаратуры, а те из них, которые связаны с гигантскими эл-

липтическими галактиками или их прототипами (на $z > 3$), доступны для наблюдений на 6-м телескопе как в фотометрической моде, так и спектроскопически.

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе были использованы данные из архива СМОКА, который поддерживается Национальной астрономической обсерваторией Японии, и научного архива NASA/IPAC, который поддерживается лабораторией JPL Калифорнийского технологического института по контракту с NASA. Наблюдения на 6-м телескопе БТА проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.619.21.0004, идентификатор проекта RFMEFI61914X0004). Наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600 проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракт 14.518.11.7054). Работа частично поддержана грантом РФФИ № 14-07-00361. Мы выражаем признательность анонимному рецензенту за ценные замечания, позволившие улучшить статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- G. Miley and C. De Breuck, *Astron. Astrophys. Rev.* **15**, 67 (2008).
- N. Seymour, D. Stern, C. De Breuck, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **171**, 353 (2007).
- J. J. Bryant, H. M. Johnston, J. W. Broderick, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **395**, 1099 (2009).
- C. De Breuck, N. Seymour, D. Stern, et al., *Astrophys. J.* **725**, 36 (2010).
- J. Vernet, R. A. E. Fosbury, M. Villar-Martín, et al., *Astron. and Astrophys.* **366**, 7 (2001).
- N. P. H. Nesvadba, M. D. Lehnert, C. De Breuck, et al., *Astron. and Astrophys.* **491**, 407 (2008).
- G. Drouart, C. De Breuck, J. Vernet, et al., *Astron. and Astrophys.* **548**, A45 (2012).
- J. I. Rawlings, N. Seymour, M. J. Page, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **429**, 744 (2013).
- C. L. Carilli, H. J. A. Röttgering, R. van Ojik, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **109**, 1 (1997).
- A. M. Hopkins and J. F. Beacom, *Astrophys. J.* **651**, 142 (2006).
- J. Aird, K. Nandra, E. S. Laird, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **401**, 2531 (2010).
- J. Magorrian, S. Tremaine, D. Richstone, et al., *Astron. J.* **115**, 2285 (1998).
- N. Häring and H.-W. Rix, *Astrophys. J.* **604**, L89 (2004).
- P. F. Hopkins, L. Hernquist, T. J. Cox, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **163**, 1 (2006).
- L. Ferrarese and D. Merritt, *Astrophys. J.* **539**, L9 (2000).
- A. Merloni, A. Bongiorno, M. Bolzonella, et al., *Astrophys. J.* **708**, 137 (2010).
- S. D. M. White and M. J. Rees, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **183**, 341 (1978).
- J. T. Falder, J. A. Stevens, M. J. Jarvis, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **405**, 347 (2010).
- J. A. Stevens, M. J. Jarvis, K. E. K. Coppin, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **405**, 2623 (2010).
- A. Galametz, D. Stern, C. De Breuck, et al., *Astrophys. J.* **749**, 169 (2012).
- J. H. Mayo, J. Vernet, C. De Breuck, et al., *Astron. and Astrophys.* **539**, A33 (2012).
- J. A. Stevens, R. J. Ivison, J. S. Dunlop, et al., *Nature* **425**, 264 (2003).
- V. K. Kapahi and V. K. Kulkarni, *Astron. J.* **99**, 1397 (1990).
- H. J. A. Roettgering, M. Lacy, G. K. Miley, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **108** (1994).
- H. J. A. Roettgering, R. van Ojik, G. K. Miley, et al., *Astron. and Astrophys.* **326**, 505 (1997).
- C. De Breuck, W. van Breugel, H. J. A. Röttgering, and G. Miley, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **143**, 303 (2000).
- C. De Breuck, I. Klamer, H. Johnston, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **366**, 58 (2006).
- Yu. N. Pariiski, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **87**, 1 (1991).
- Yu. N. Pariiskii, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **96**, 583 (1992).
- A. I. Kopylov, V. M. Goss, Yu. N. Pariiskii, et al., *Astronomy Reports* **39**, 383 (1995).
- J. N. Douglas, F. N. Bash, F. A. Bozyan, et al., *Astron. J.* **111**, 1945 (1996).
- W. M. Goss, Yu. N. Pariiskij, N. S. Soboleva, et al., *Astron. Zh.* **69**, 673 (1992).
- A. I. Kopylov, V. M. Goss, Yu. N. Pariiskii, et al., *Astronomy Reports* **39**, 543 (1995).
- Yu. N. Pariiskij, N. S. Soboleva, W. M. Goss, et al., *IAU Symp.* **175**, 591 (1996).
- Yu. N. Pariiskij, W. M. Goss, A. I. Kopylov, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **40**, 5 (1996).
- Yu. N. Pariiskii, V. M. Goss, A. I. Kopylov, et al., *Astronomy Reports* **42**, 425 (1998).
- T. Pursimo, K. Nilsson, P. Teerikorpi, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **134**, 505 (1999).
- V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31**, 194 (2005).
- Yu. N. Pariiskij, A. I. Kopylov, A. V. Temirova, et al., *Astronomy Reports* **54**, 675 (2010).
- A. E. Kimball and Ž. Ivezić, *Astron. J.* **136**, 684 (2008).
- A. I. Kopylov, W. M. Goss, Yu. N. Pariiskii, et al., *Astronomy Letters* **32**, 433 (2006).
- N. Nesvadba, G. Drouart, C. De Breuck, et al., *ArXiv e-prints* (2016).
- H. Baba, N. Yasuda, S.-I. Ichikawa, et al., *Rep. Nat. Astron. Obs. Japan* **6**, 23 (2002).

44. Yu. N. Parijskij, O. P. Zhelenkova, A. I. Kopylov, et al., in *Proc. 10th Europ. VLBI Network Symp. and EVN Users Meet. on VLBI and the New Generation of Radio Arrays, Manchester, UK, 2010*, <http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=125>, id.31.
45. Yu. N. Parijskij, P. Thomasson, A. I. Kopylov, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **439**, 2314 (2014).
46. F. Courbin, P. North, A. Eigenbrod, and D. Chelouche, *Astron. and Astrophys.* **488**, 91 (2008).
47. Yu. N. Parijskij, O. P. Zhelenkova, P. Thomasson, et al., *EAS Publ. Ser.* **61**, pp. 439–442 (2013).
48. D. Wylezalek, A. Galametz, D. Stern, et al., *Astrophys. J.* **769**, 79 (2013).
49. N. S. Soboleva, W. M. Goss, O. V. Verkhodanov, et al., *Astronomy Letters* **26**, 623 (2000).
50. N. N. Bursov, Yu. N. Pariiskii, E. K. Maiorova, et al., *Astronomy Reports* **51**, 197 (2007).

Search and Study of Objects of the Early Universe

Yu.N. Parijskij, O.P. Zhelenkova, A.I. Kopylov, A.V. Temirova, O.V. Verhodanov, and V.N. Komarova

The “Big Trio” program is conducted at the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences (SAO RAS) aiming to investigate a sample of sources with steep and ultra-steep spectra from the RC catalog obtained on the basis of observational data of the “Cold” survey. The population of distant FR II type radio galaxies with steep spectra is of particular interest, since new data indicate the presence of black holes with masses of more than $10^9 M_{\odot}$ which already formed in these giant stellar systems in the first billion years of life of the Universe, as well as their connection with emerging clusters. There are three sources with $z_{\text{sp}} > 3$ in the sample. According to the observations of the 6-m SAO RAS telescope, the archival data of Subaru and Spitzer, an increased density of objects and several Ly α -emitters have been detected near one of the most powerful radio galaxies, RC J0311+0507 (4C+04.11) with $z = 4.51$, which is the second most distant of the known FR II-type galaxies. Another object—RC J1740+0502 with $z = 3.57$, is a possible dual AGN candidate. The third source, RC J0105+0501, is an FR II-type galaxy ($z = 3.138$) with a host galaxy of a complex structure, possibly generated by interaction in a close pair of galaxies. These radio sources have high radio luminosity ($L_{500 \text{ MHz}} \approx 10^{28} - 10^{29} \text{ W Hz}^{-1}$), which requires the presence of a giant black hole with a sufficient accretion rate, and also with a rapid rotation, which in turn can be provided by major merging.

Keywords: *radio continuum: galaxies — galaxies: high-redshifts — galaxies: formation*