

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

П Р Е П Р И Н Т 218

Желенкова О.П., Копылов А.И.

Изучение выборки каталога RC в области, совпадающей с обзорами FIRST и SDSS. II. Оптическое отождествление с обзором SDSS и каталогами USNO-B1 и 2MASS.

Нижний Архыз  
2007

# Изучение выборки каталога RC в области, совпадающей с обзорами FIRST и SDSS. II. Оптическое отождествление с обзором SDSS и каталогами USNO- B1 и 2MASS.

Желенкова О.П., Копылов А.И.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п.Нижний Архыз, 369167, Россия

**Аннотация.** Представляем результаты оптического отождествления выборки радиоисточников каталога RC в области, пересекающейся с обзорами FIRST и SDSS. Для 320 радиоисточников, идентифицированных с объектами каталогов NVSS и FIRST в первой статье, проведено оптическое отождествление с обзором SDSS (предельная величина  $r = 22.6^m$ ). Отождествление проводилось на основе радиокарт FIRST, чтобы при выборе оптических кандидатов максимально использовать информацию о структуре радиоисточника. Оптические кандидаты для родительских галактик обнаружены у  $\sim 70\%$  радиоисточников.

## 1. Введение

Мощные радиогалактики можно наблюдать практически на любом космологическом расстоянии, но часто - это слабые объекты в оптике. На оптическое отождествление и определение красного смещения радиоисточника затрачивается много наблюдательного времени. История отождествления каталога ярких радиоисточников 3CR ( $S_{187\text{ MHz}}^{\text{lim}} = 5 \text{ Ян}$ ) является тому иллюстрацией (Bennet, 1962; Laing et al., 1983). Предела Паломарского фотографического обзора (POSS) ( $\sim 20.5^m$  для Е-пластинок) оказалось достаточным для отождествления 65% радиоисточников каталога. Оставшиеся 35% отождествлялись почти три десятилетия, с 1974 (Kristian et al., 1974) и до конца 20 века (Pooley, G. G. et al., 1987; Hiltner, P. R. & Röser, H.-J., 1991; Rawlings, S. et al., 1996; Де Кофф и др., 1996; McCarthy, P. J. et al., 1997; Martel A.R. et al., 1998), для чего потребовались глубокие снимки до  $\gtrsim 24.5^m$  и спектры, получаемые на 4-м и 5-м телескопах.

Для более низких плотностей потока количество отождествленных в оптике радиоисточников быстро падает. Для В2 обзора ( $S_{408\text{ MHz}}^{\text{lim}} = 250 \text{ мЯн}$ ) число отождествленных источников до предела POSS составляет 38% (Grueff G. & Vigotti M., 1975). У первого ( $S_{610\text{ MHz}}^{\text{lim}} \sim 20 \text{ мЯн}$ ) и второго ( $S_{1415\text{ MHz}}^{\text{lim}} \sim 7 \text{ мЯн}$ ) Вестерборкских обзоров доля отождествлений по POSS составляет около 20% (Katgert, J.K. et al., 1977). Чтобы выполнить полностью отождествление списка радиоисточников с предельной плотностью потока  $S \sim 10\text{-}20 \text{ мЯн}$  необходимы глубокие до  $25^m - 26^m$  прямые снимки.

Отождествления радиоисточников проводятся по совпадению оптических и радио координат. Оптическое отождествление зависит от надежности астрометрической привязки снимков. На точность координатной привязки влияет количество опорных звезд, их пространственное распределение по снимку и звездные величины, поскольку измерения координат слабых и яр-

ких объектов отличаются большей погрешностью в сравнении со звездами промежуточной яркости. Неравномерное распределение опорных звезд искажает масштаб координатной сетки и приводит к сдвигу положения при совмещении радио и оптических кадров. Большие телескопы имеют обычно небольшое поле зрения  $\sim 10' - 20'$ , поэтому до появления каталогов APM (Irwin, M. & McMahon, R., 1992), USNO (Monet D.G. et al., 2003) и GSC (Morrison, J. E. et al., 2001) было проблематично обеспечить необходимое количество опорных звезд для координатной привязки.

Если источник двойной или более сложный по структуре, то знания одних только координат недостаточно для его идентификации с оптическим объектом. В таких случаях используются составные изображения из оптических снимков и радиокарт высокого углового разрешения (порядка нескольких секунд), а если имеются нескольких оптических кандидатов, то для выбора из них родительской галактики привлекается любая дополнительная информация.

Первая программа оптического отождествления источников каталога RC была проведена по фотографическому материалу, полученному на БТА в 1984-1986 гг (Vitkovskij et al., 1987). Затем в работе Соболевой и др. (1991) после уточнения координат 339 источников каталога RC по каталогу TXS (Douglas et al., 1996) проведено отождествление по увеличенным фотографическим отпечаткам POSS. Из 118 точечных источников оптические кандидаты обнаружены у 21 объекта и еще для 21 из 119 двойных источников (морфология по каталогу TXS), то есть доля отождествлений составила  $\sim 18\%$ . В публикации приведены звездные величины оптических объектов без указания координат. В следующей работе (Fletcher, A. et al., 1996), выполненной по аналогичной методике, из 69 радиоисточников были отождествлены 30 (приведены звездные величины и координаты). Общее число источников составило 266 (один источник повторился в списках первой и второй работы), и для 72 были обнаружены оптические кандидаты ( $\sim 27\%$ ).

Первые результаты оптического отождествления по глубоким ПЗС снимкам, полученным на БТА (в R фильтре до  $\sim 24^m$ ), для 40 источников каталога RC приводятся в статье Копылов и др. (1995). Координатная привязка малых областей ПЗС-кадров ( $\sim 3'$ ) выполнена по вторичным стандартам, определенным по POSS-I (Lasker et al., 1996), каталогам APM и GSC. Для 32 радиоисточников найдены оптические кандидаты. Итоговые результаты оптического отождествления 225 источников каталога RC по фотографиям POSS и ПЗС снимкам, полученным на БТА, опубликованы в работе (Parijskij et al., 1996). Результаты отождествления еще 50 источников SS выборки каталога RC по наблюдательному материалу, полученному на БТА и VLA для программы “Большое Трио”, приводятся в работе (Verkhodanov et al., 2001). В итоге из 329 источников каталога RC с уточненными координатами (в основном по каталогу TXS) для 234 обнаружены оптические кандидаты. На рисунке 1 и 2 представлены распределения звездных величин в фильтре R для родительских объектов радиоисточников каталога RC по результатам, опубликованным в перечисленных выше работах.

## 2. Оптическое отождествление

Каталог RC перекрывается с SDSS (Abazajian et al., 2005) по прямому восхождению с  $8^h 11^m$  до  $16^h 25^m$ . В эту область попадают 432 объекта или приблизительно треть источников каталога. Для предельной звездной величины SDSS  $r = 22.6^m$  в области обзора FIRST (Becker et al., 1997), пересекающейся с SDSS, отождествляется  $\sim 50\%$  радиоисточников, из чего следует, что для каталога RC возможно отождествление, как минимум, такой же доли объектов. Сопоставление обзора FIRST с NVSS (Condon et al., 1998), еще раз подтверждает, что оптическое отождествление возможно только по радиокартам с высоким угловым разрешением, особенно в тех случаях, когда объект NVSS не является точечным и распадается на изображениях FIRST на компоненты или независимые источники.

Основой для оптического отождествления, особенно в случаях многокомпонентных источников, группы независимых радиоисточников или наличия нескольких оптических кандидатов,

послужили контурные карты областей из обзора FIRST. Кроме прорисовки контуров с помощью Aladin (Oschenbein et al., 2005), для выявления детальной структуры радиоисточников использовался программный сервис, строящий радиокарты без потери углового разрешения ([http://www.mrao.cam.ac.uk/surveys/FIRST/postage\\_first\\_contour\\_newed.html](http://www.mrao.cam.ac.uk/surveys/FIRST/postage_first_contour_newed.html)). Для морфологической классификации радиоисточников использовалась схема из работы Lawrence et al. (1986). При оптическом отождествлении учитывался морфологический тип источника, поскольку с ним связывалось предполагаемое положение оптического кандидата и считалось, что:

- core (C). Для ядерных источников положение оптического кандидата совпадает с максимумом плотности потока;
- core-jet (CJ) - положение оптического кандидата в ярком компоненте;
- core-lobe (CL) - оптический кандидат совпадает с ядром;
- double (D) или double-double (DD) - положение оптического кандидата находится между компонентами, или совпадает с минимумом интенсивности между сливающимися компонентами;
- double-core (DC) - положение оптического кандидата совпадает со слабым ядром;
- triple (T) - оптический кандидат совпадает с центральным компонентом;
- multiple (M) - в этом случае сложно определить положение оптического кандидата, надо использовать дополнительную фотометрическую или спектральную информацию об оптических объектах.

В зависимости от типа радиоисточника координаты предполагаемого оптического отождествления (далее называем его центром радиоисточника) определялись следующим образом:

- F - координаты точечного источника или источника с четко выраженным ядром взяты из каталога FIRST (211 источников);
- N - источник имеет два компонента FIRST с разными плотностями потоков, при этом в NVSS - это один объект. В этом случае координаты NVSS как центр тяжести радиоисточника используются в качестве положения предполагаемого оптического отождествления (32 источника);
- Fm - координаты измерены по контурной карте изображения из обзора FIRST (обычно для двойных радиоисточников):
  - если на изображении имеется слабое ядро, координат которого нет в каталоге FIRST,
  - при отсутствии ядра по поведению контуров радиоизображения FIRST устанавливается его предположительное положение.

Измерения сделаны для 77 источников.

Оптический объект считался наиболее вероятным кандидатом для отождествления (“+”), если его положение (по каталогу SDSS) не дальше  $3\sigma$  от центра радиоисточника, где  $\sigma$  - ошибка координат. К сомнительным отождествлениям (“?”) отнесены следующие случаи:

- источник точечный или двойной с ядром, оптический объект расположен близко, но дальше  $3\sigma$  от центра радиоисточника;
- два оптических объекта рядом с предполагаемым положением отождествления;
- источник двойной, положение ядра определяется неуверенно, оптический объект лежит в стороне на ( $>20\%$ ) от линии, соединяющей компоненты;
- сложно сделать выводы о структуре радиоисточника по радиокarte FIRST, то есть, рассматривать его как многокомпонентный радиоисточник или считать несколькими независимыми радиоисточниками.

На рисунке 3 приведен стек Aladin с конурами радиоизображений FIRST и NVSS для радиоисточника RC J0847+0454. По этому рисунку можно предположить, что источник двойной, и положение оптического отождествления - между компонентами. На рисунке 4 показан вариант более точной прорисовки контуров, из чего следует, что это два независимых источника, один из которых двойной, и для них нет отождествлений в SDSS.

На рисунке 5 приведен пример многокомпонентного радиоисточника. RC J1533+0450 включает в себя 7 объектов FIRST. Сложно разделить его на независимые радиоисточники. В качестве вероятного кандидата (“?”) выбран оптический объект, положение которого отмечено на радиокarte крестиком. Это вариант отождествления радиоисточника с двумя компонентами без обнаруживаемого в радио ядра. Неоднородная среда, окружающая источник, может быть причиной сложной асимметричной структуры.

### 3. Результаты оптического отождествления

Для 320 радиоисточников каталога RC, которые идентифицировались с объектами FIRST и NVSS, выполнено оптическое отождествление с каталогом SDSS, а также USBO-B1 и 2MASS. При визуальном просмотре совмещенных изображений радио-оптика из 320 источников уверенно отождествились “+” - 229 объектов или 72%, возможные отождествления “?” - 25 (8%), не обнаружено отождествлений “EF” - 66 (20%).

В этой области имеются еще отождествленные по прямым снимкам БТА радиоисточники из SS выборки каталога RC. Это 8 отождествленных источников и один не отождествившийся (EF). Для источника RC J1131+0455 имеется отождествление в работах (Hewitt, J. N. et al., 1988; Tonry, J. L. et al., 2000; Kochanek, C. S. et al., 2000). Этот объект - гравлинза MG J1131+0456. Для 320 объектов, с учетом отождествлений источников SS выборки, попавших в исследуемую область, и MG J1131+0456, доля источников, для которых обнаружены оптические кандидаты (“+” и “?”) составляет 84%. Заметим, что эти отождествления в общих подсчетах не учитываются.

При отождествлении определялось место предположительного нахождения оптического объекта по радиоизображениям FIRST. Разность этих радиокоординаты с положением оптического кандидата использовались при расчете нормализованного расстояния. Распределение разности радио и оптических координат для объектов “+” и “?” с оптическими кандидатами показано на рисунке 6.

Определение поверхностной плотности объектов производилось по каталогу SDSS. Общее число объектов в полосе по RA(2000)  $119.87^\circ - 245.38^\circ$  и Dec(2000)  $4.65^\circ - 5.32^\circ$  (площадь  $\sim 84$  кв.град.) составило 2200000. Средняя плотность объектов на кв. угловую секунду  $\sim 0.0020$  для  $r_{lim} = 22.6^m$ . Средняя координатная ошибка обзора FIRST составляет  $0.5''$ , для источников на уровне  $\sim 1$  мЯн -  $1''$ .

Из-за разных способов определения центра радиоисточника решено при расчете использовать ошибку для радиокоординат -  $1''$ . Точность координатной привязки SDSS -  $0.1''$ . Это значение использовалось для расчета отношения максимального правдоподобия по формуле, приведенной в работе (Best et al., 2003). Из 254 источников, которые отождествились по SDSS, для 214 нормализованное расстояние получается  $R < 3$ , тогда вероятность реальных отождествлений для выборки  $\phi$  составляет  $214/256 = 0.84$ . С этим значением  $\phi$  был сделан расчет отношения максимального правдоподобия для каждого источника. По принятому пороговому значению  $L = 0.94$  еще раз просмотрены отождествления.

Для источника RC J0851+0457 из двух кандидатов в качестве отождествления был выбран объект с большим значением отношения максимального правдоподобия. Для источника RC J1257+0458 из двух оптических кандидатов (по типу, определенному в SDSS, - один разрешаемый в оптике GALAXY, второй - STAR, и по поведению спектра в фильтрах u, g, r, i, z можно отнести к звезде) была выбрана галактика.

В экваториальной области обзора SDSS, которая использовалась для отождествлений каталога RC, имеются пропущенные области. В них поиск оптических кандидатов для радиоисточников проводился по каталогу USNO-B1. По нему отождествлен один источник RC J1623+0446. Для другого источника RC J1052+0458 имеется область в обзоре, но информации об оптическом объекте в базе данных SDSS нет, хотя он присутствует в каталоге USNO-B1 ( $R_2=19.45$ ) и 2MASS (Cutri et al., 2003) ( $K=14.99$ ).

В центральной части обзора “Холод” каталог RC имеет полноту близкую к единице для радиоисточников с плотностью потока  $S_{3.9GHz} > 15$  мЯн (Соболева, 1992). Одна полная выборка включает источники с отклонением по высоте от центра диаграммы  $\Delta H \leq |5'|$  и плотностью потока  $S_{3.9GHz} > 12$  мЯн. Площадь, занимаемая выборкой, составляет  $\sim 21$  кв.град. Во вторую выборку вошли источники с  $\Delta H \leq |10'|$  и  $S_{3.9GHz} > 29$  мЯн (площадь  $\sim 41$  кв.град.). В первую выборку попало 131 объект, во вторую — 112. Выборки частично перекрываются по объектам. Для краткости первую выборку дальше в тексте будем обозначать “1S”, вторую — “2S”. В выборке 1S получилось: “+” - 92 (70%), “?” - 16 (12%), “EF” - 33 (18%). В выборке 2S отождествилось: “+” - 80 (71%), “?” - 9 (8%), “EF” - 23 (11%).

В качестве примера на рисунке 7 приведена контурная карта FIRST, по которой было сделано отождествление радиоисточника RC J0815+0453 с эллиптической галактикой. По радиоизотопам видно, что у источника имеется выраженное ядро, которое точно совпадает с галактикой, поэтому она считается оптическим отождествлением, а не более слабый объект, расположенный точно на оси, соединяющей компоненты радиоисточника. Рядом располагается соседний радиоисточник, также отождествляющийся с эллиптической галактикой. Фотометрическое красное смещение родительской галактики, определенное в DR5 SDSS аппроксимацией шаблонными спектрами (Csabai et al., 2003), составляет  $Z_{phot1} = 0.0933 \pm 0.0049$ , а методом нейронных сетей (Collister & Lahav, 2004) —  $Z_{phot2} = 0.0697 \pm 0.0142$ . Для соседней галактики фотометрическое красное смещение равно  $Z_{phot1} = 0.1235 \pm 0.0052$  и  $Z_{phot2} = 0.0694 \pm 0.0149$  соответственно.

На рисунке 8 показан радиоисточник RC J0916+0441. По совмещенному радио-оптика изображению из стека Aladin мы видим два радиоисточника - северный, состоящий из 2 объектов каталога FIRST, и южный, содержащий 4 объекта. По контурам, построенным с сохранением углового разрешения, видно, что это один источник (см. рис.9), имеющий структуру *core-lobe*, и оптический объект отождествляется с ядром. На рисунке 10 положение RC J0952+0453 оказывается между двумя компонентами NVSS, ближе к более яркой. По радиоизображению FIRST два компонента по форме контуров не связаны между собой, ориентация больших осей не совпадает, кроме того, каждый компонент радиоисточника отождествляется с оптическим объектом. Поскольку радиоисточник RC является блендой двух источников FIRST, то сложно говорить здесь об оптическом отождествлении именно этого объекта. На рисунках 11 и 12 представлены радиоисточники RC J1038+0451 и RC J1218+0505. Здесь сложностей с оптическим отождествлением не было, это в обоих случаях - эллиптические галактики. Хотя в первом случае оптические и радио координаты совпали, а во втором - радиоисточник смещен относительно родительской галактики.

Результаты оптического отождествления 320 радиоисточников каталога RC с SDSS, USNO-B1 и 2MASS, представлены в электронном виде в таблице, которая доступна по адресу <http://www.sao.ru/hq/zhe/>. Там же имеется описание колонок таблицы.

#### 4. Свойства радиоисточников каталога RC

Сравним оптические отождествления в выборках 1S и 2S, используя разделение на “STAR” и “GALAXY”, как это определяется в SDSS. В первой выборке из 108 отождествленных объектов 73 (или 68%) относятся к “GALAXY”, “STAR” - 35 (32%), соответственно во второй из 89 источников получилось 59 (66%) и 30 (34%), то есть соотношение 2:1 сохраняется, несмотря на

Таблица 1: Тип спектра для оптических объектов отождествленных радиоисточников и пустых полей для выборок 1S и 2S

	STAR	GALAXY	EF
	Объектов: 35(27%)	Объектов:73(56%)	Объектов: 22(17%)
1S (объектов: 131)	I -6%	I -9%	I - 9%
	F - 31%	F - 18%	F -27%
	S - 60%	S - 58%	S - 45%
	U - 3%	U - 15%	U - 23%
	Объектов - 30(27%)	Объектов - 59(53%)	Объектов - 23(20%)
2S (объектов: 112)	I -10%	I - 5%	I - 4%
	F - 37%	F - 15%	F - 13%
	S - 46%	S - 60%	S - 48%
	U - 7%	U - 20%	U - 35%

Таблица 2: Процентное соотношение отождествленных и не отождествленных в оптике объектов для разных морфологических типов (по 318 радиоисточникам).

Тип	STAR	GALAXY	EF
C	33%	40%	27%
CJ	43.5%	43.5%	13%
CL	33%	56%	11%
D,DC,DD	17%	64%	19%
T	35%	55%	10%

разный предел выборок по плотности потока.

Доля не отождествившихся радиоисточников приблизительно совпадает в двух выборках. В таблице 1 приводится соотношение типов спектров радиоисточников в диапазоне 1.4 - 4.85 ГГц, разрешаемых (GALAXY) и неразрешаемых в оптике (STAR) отождествлений, а также пустых полей. У объектов типа "GALAXY" радиоисточников с крутыми и ультра крутыми спектрами больше, чем у "STAR". Радиоисточники, которые не отождествились в оптике, отличаются большей долей ультра крутых спектров.

По контурным картам FIRST мы классифицировали 320 источников по морфологическим типам, взяв за основу схему из работы (Lawrence et al., 1986), но с некоторыми модификациями, поскольку в оптическом отождествлении опирались, прежде всего, на структуру источника. В одних случаях морфологический тип определяет положение оптического отождествления. В других случаях, наоборот, положение оптического объекта относительно радиокарты позволяло уточнить тип. Например, если каждый компонент двойного источника точно совпадает с оптическим объектом и угловые размеры  $\sim 2''$ , то такой источник не является двойным, а двумя отдельными точечными источниками, поскольку вероятность случайного совпадения очень низка.

Точечные или ядерные источники составляют  $\sim 35\% - 40\%$ , их угловые размеры  $< 2''$ . Приблизительно половина из них имеет инверсные и плоские спектры, мало источников с ультра крутыми спектрами (разделение спектров на типы по  $\alpha_{1.4\text{GHz}-4.85\text{GHz}}$ ). CJ составляют  $\sim 7\%$ , две трети источников имеет крутые спектры, но ультра крутых спектров нет. CL -  $\sim 5\%$ , распределение по спектрам похоже на CJ. DC, D, DD -  $\sim 40\%$  (по процентному соотношению, как и точечных радиоисточников), спектры в основном крутые, значительная доля ультра крутых, мало плоских и инверсных. Тройных (T) радиоисточников -  $\sim 6\%$ .

Имеется небольшое количество радиоисточников ( $< 10\%$ ), которые можно отнести к “winged” или “X-shaped” источникам, являющимися небольшой интересной популяцией радиогалактик. При отождествлениях замечено, что достаточно часто рядом с радиоисточником обнаруживается соседний источник, возможно образующий с ним группу, что также может относиться к проявлению совместной активности, однако, не исключается случайная проекция. Таких случаев оказалось  $\sim 10\%$ .

По морфологическим типам процентное соотношение для не отождествившихся по SDSS радиоисточников “EF” и отождествленных с типами “STAR” и “GALAXY” для всей выборки из 318 объектов представлено в таблице 2. Хуже всех отождествляются точечные (C) источники. Двойные радиоисточники (D, DC, DD) отождествляются в основном с галактиками. Для CJ, CL, T доля отождествлений выше, чем для точечных и двойных радиоисточников.

Мы сравнили распределение двухчастотных спектральных индексов 94 радиоисточников RC, отождествленных в VLSS, TXS, NVSS, GB6 каталогах, и известных радиогалактик с  $Z > 3$ . В таблице 3 приведены красные смещения для радиогалактик с  $Z > 3$ , плотности потоков из каталогов VLSS, TXS, NVSS и GB6 и спектральные индексы. Данные взяты из работы Копылов и др. (2006) и из базы данных внегалактических радиоисточников NED. Из 28 радиогалактик с  $Z > 3$  были отобраны те, у которых в NED имелась информация о плотностях потока на частотах 74, 365, 1400 и 4850 МГц.

На рисунке 12 приведено распределение двухчастотных спектральных индексов  $\alpha_{365\text{ MHz}-1.4\text{ GHz}}$ ,  $\alpha_{1.4\text{ MHz}-4.85\text{ GHz}}$ , а на рисунке 13  $\alpha_{74\text{ MHz}-365\text{ MHz}}$ ,  $\alpha_{1.4\text{ MHz}-4.85\text{ GHz}}$  для радиоисточников каталога RC из области пересечения с обзорами FIRST и SDSS (пустые кружки) и радиогалактик из таблицы 3 (черные ромбики). Поведение спектральных индексов радиогалактик с большим красным смещением отличается от большинства источников выборки каталога RC. Для радиогалактик известна связь крутизны спектра и красного смещения. Дополнительную дифференциацию кандидатов в далекие радиогалактики можно провести по нескольким спектральным двухчастотным индексам. Так радиогалактики с  $Z > 3$  из таблицы 3, попадают в область со следующими ограничениями:

$$\alpha_{74\text{ MHz}-365\text{ MHz}} > 0.5; \alpha_{365\text{ MHz}-1.4\text{ GHz}} > 1.0; \alpha_{1.4\text{ GHz}-4.85\text{ GHz}} > 1.0 \quad (1)$$

Семь радиоисточников из 320 имеют спектральные индексы, удовлетворяющие соотношению (1): RC J0833+0458, RC J0836+0511, RC J1031+0443, RC J1148+0455, RC J1213+0500, RC J1439+0455, RC J1551+0458.

Для 47 радиоисточников каталога RC в базе данных SDSS имеются спектральные красные смещения. Это 23 квазара и 24 галактики. Медианное значение красного смещения для галактик составляет 0.23, для квазаров - 1.07. Из них объекты с  $Z > 1.7$  имеют плоские и инверсные спектры, по структуре это точечные радиоисточники (C), неразрешаемые в обзоре FIRST, с угловыми размерами  $< 2''$ . На рисунке 14 показано соотношение красное смещение - звездная величина (в фильтре r) для источников каталога RC с известными красными смещениями. В график включены данные по 119 радиоисточникам - 82 галактика и 37 квазаров. Сюда вошли фотометрические (20) и спектральные красные смещения (52) объектов SS выборки. На графике приведены также данные для 18 известных радиогалактик с  $Z > 3$  из таблицы 3. Квазары занимают на графике хорошо выделенную область. Радиогалактики с  $Z > 1$  образуют две ветви. Одна из ветвей расположена ближе к квазарам. Вероятно, эта группа галактик относится к N-галактикам, которые занимают промежуточное положение по светимости между квазарами и галактиками.

## 5. Заключение

Из-за недостаточной координатной точности каталога RC процедуру отождествления выборки в области, совпадающей с обзорами SDSS и FIRST, пришлось выполнять в два этапа. Сначала координаты радиоисточников каталога RC были уточнены отождествлением с радиокатало-



Таблица 3: Параметры радиогалактик с  $Z > 3$  и спектральные индексы  $\alpha_{74-365\text{ MHz}} = \text{VT}$ ,  $\alpha_{365\text{ MHz}-1.4\text{ GHz}} = \text{TN}$ ,  $\alpha_{1.4-4.85\text{ GHz}} = \text{NG}$ 

Источник	$Z_{\text{spec}}$	$S_{74\text{ MHz}}$ (мЯн)	$S_{365\text{ MHz}}$ (мЯн)	$S_{1.4\text{ GHz}}$ (мЯн)	$S_{4.85\text{ GHz}}$ (мЯн)	VT	TN	NG
TXS0924-2201	5.199	499	656	71	8.6	-0.17	1.6	1.70
J0311+0507	4.514	8544	2814	500	109.0	0.70	1.26	1.25
8C1435+635	4.261	9503	3131	497	66.0	0.70	1.34	1.66
TXS1335-194	4.110	1709	718	121	22.1	0.54	1.30	1.37
TXS1120-216	4.109	1062	407	49	8.5	0.60	1.54	1.41
TXS1814+670	4.050	3427	1002	236	60.0	0.77	1.05	1.13
4C +41.17	3.792	7651	1242	235	38.0	1.14	1.21	1.47
4C +60.07	3.788	8266	1242	156.8	19.0	1.19	1.51	1.70
NVSS J034642+303949	3.720	795	234	34.1	4.95	0.77	1.40	1.55
B30032+412	3.670	3096	485	102.1	26.0	1.16	1.14	1.10
4C +19.71	3.594	6832	1614	306.0	71.0	0.90	1.21	1.18
TXS 1911+639	3.590	701	199	21.8	3.37	0.79	1.61	1.50
4C +03.24	3.570	9952	2002	256.0	73.0	1.00	1.50	1.01
NVSS J012142+132058	3.516	1869	348	54.9	8.36	1.05	1.35	1.51
NVSS J020510+224250	3.506	1653	381	60.4	8.78	0.92	1.34	1.55
4C +39.37	3.220	7760	1472	255.3	37.0	1.04	1.28	1.55
TXS 1109-295	3.090	-	663	101.0	16.65	-	1.37	1.45
NVSS J023111+360027	3.079	1280	243	45.2	7.66	1.04	1.23	1.43

гами (в основном по каталогу NVSS, который был выбран в качестве опорного). При этом для разрешения сомнительных случаев использовались не только данные из каталогов, но и изображения из радиообзоров. Оптическое отождествление проводилось по уточненным радиокоординатам с использованием контурные радиокарт, построенных по изображениям обзора FIRST, и с учетом морфологического типа радиоисточников. Классификация была проведена по схеме, включающей 9 типов, поскольку классификация FRI–FR II–точечные источники показала нам не отражающей в полной мере разнообразие структур источников обзора FIRST.

Для 320 отождествленных в радио источников каталога RC измерены угловые размеры, а также подсчитано число компонент (объектов каталога FIRST). Соотношение для однокомпонентных, двухкомпонентных, трехкомпонентных, четыре и больше компонент радиоисточников получилось следующим  $\sim 10:5:2:1$ . Из этих подсчетов вытекает следующее следствие (для предела по плотности потока каталога RC), что простые алгоритмы кросс-идентификации (поиск ближайшего соседа) позволяют отождествить точечные источники ( $\sim$  половину списка). Для отождествления двойных источников, которые составляют около трети списка, необходимо модификация алгоритмов. И видимо, пятую часть списка можно отождествить только вручную.

Из-за особенностей диаграммы направленности РАТАН-600 полнота каталога близка к единице в центральной части шириной  $10'$  для источников  $S_{3.9\text{ GHz}} > 15$  мЯн [32], поэтому были составлены из отождествленных радиоисточников две полные выборки: одна, включающая 131 объект с  $S_{3.9\text{ GHz}} > 12$  мЯн из центральной  $10'$  полосы, вторая - 112 объектов с  $S_{3.9\text{ GHz}} > 29$  мЯн из центральной  $20'$  полосы. Проведено сравнение в этих выборках числа инверсных, плоских, крутых и ультра крутых радиоисточников по спектральному индексу  $\alpha_{1.4-4.85\text{ GHz}}$ . Для источников, у которых есть информация по плотности потока на 3-4 частотах (по данным из радиокаталогов), проведено сравнение поведения спектра от низких частот к высоким. Большая

часть источников имеет крутой или ультра крутой спектр, наклон которого к более высоким частотам может увеличиваться или уменьшаться. Достаточно много источников, у которых на низких частотах спектр - плоский, и к высоким частотам он становится крутым. Все другие варианты поведения спектра встречаются реже.

Проведено сравнение двухчастотных спектральных индексов радиоисточников выборки RC и 18 известных радиогалактик с  $Z > 3$ . Полученные ограничения на спектральные индексы можно использовать для составления поисковых списков радиоисточников. Выполнено сравнение оптических отождествлений для разных морфологически типов радиоисточников. Хуже отождествляются точечные источники. У не отождествившихся в оптике радиоисточников больше доля ультра крутых спектров по сравнению с отождествившимися.

Построена диаграмма красное смещение—звездная величина по измеренным Z SS выборки и данным для источников RC из базы данных SDSS.

Из-за большого объема используемого материала, включающего 8 каталогов и 4 обзора, было бы невозможно произвести подготовку и анализ данных без применения новых программных средств, которые разрабатываются по стандартам IVOA.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант N 06-07-08062).

## Список литературы

- Абазаян и др. (Abazajian, K. et al.), AJ, 129,1755 (2005)  
 Беккер и др. (Becker, R.H. et al.), ApJ, 475, 479 (1997)  
 Беннет (Bennet A.S.), Mem.RAS., 68, 163(1962)  
 Бест и др. (Best, P.N. et al.), MNRAS, 346, 627 (2003)  
 Верховданов и др. (Verkhodanov O.V. et al.), BSAO, 52, 3 (2001)  
 Витковский и др. (Vitkovskij V.V. et al.), Soobschenija SAO, 53, 86 (1987)  
 Груеф и Виготти (Grueff G. & Vigotti M.), A&AS, 20, 57 (1975)  
 Де Кофф и др. (de Koff, S. et al.), ApJS, 107, 621 (1996)  
 Дуглас и др. (Douglas J.N. et al.), AJ, 111, 1945 (1996)  
 Ирвин и Макмахон (Irwin, M. & McMahon, R.), The IAU Comm. 9 Newletters, 2, 31 (1992)  
 Катгерт и др. (Katgert, J.K. et al.), IAU Symp. N74, 165 (1977)  
 Коллистер и Лахав (Collister & Lahav), PASP, 116, 818, 345 (2004)  
 Кондон и др. (Condon, J.J. et al.), AJ, 115, 1693 (1998)  
 Копылов А.И. и др., АЖ, 72, N4, 437 (1995)  
 Копылов А.И. и др., ПАЖ, 32, 7, 433 (2006)  
 Кочанек и др. (Kochanek, C. S. et al.), ApJ, 535, 692 (2000)  
 Ксабай и др. (Csabai, I. et al.), AJ, 125, 580 (2003)  
 Кутри и др. (Cutri, R.M. et al.), The 2MASS all-Sky Catalog of Point Sources (2003)  
 Ласкер и др. (Lasker, B.M. et al.), ASP Conf. Ser., 101, 88 (1996)  
 Лейнг и др. (Laing et al.), MNRAS, 204, 151 (1983)  
 Лоуренс и др. (Lawrence, C.R. et al.), ApJS, 61, 105 (1986)  
 Маккартни и др. (McCarthy, P. J. et al.), ApJS, 112, 415 (1997)  
 Мартел и др. (Martel A.R. et al.), AJ, 115, 1348 (1998)  
 Моне и др. (Monet D.G. et al.), AJ, 125, 984 (2003)  
 Моррисон и др. (Morrison, J. E. et al.), AJ, 121, 3, 1752 (2001)  
 Оксенбайн и др. (Ochsenbein, F et al.), ASP Conf. Series, 347, 193 (2005)  
 Парийский и др. (Parijskij Yu. N. et al.), Bulletin SAO, 40, 5 (1996)  
 Пули и др., (Pooley, G. G. et al.), MNRAS, 224, 847 (1987)  
 Роулинг и др. (Rawlings, S. et al.), MNRAS, 279, L13 (1996)  
 Соболева Н.С., Парийский Ю.Н., Наугольная М.Н., АЖ, 71, 684 (1994)  
 Соболева Н.С. автореферат, УДК 523.164, СПб, 47с (1992)  
 Тонри и др. (Tonry, J. L. et al.), AJ, 119, 1078 (2000)  
 Флетчер и др. (Fletcher, A. et al.), Astronomy Reports, 40, 759 (1996)  
 Хилтнер и Резер (Hiltner, P. R. & Röser, H.-J.), A&A, 244, 37 (1991)  
 Хевитт и др. (Hewitt, J. N. et al.), Nature, 333, 537 (1988)

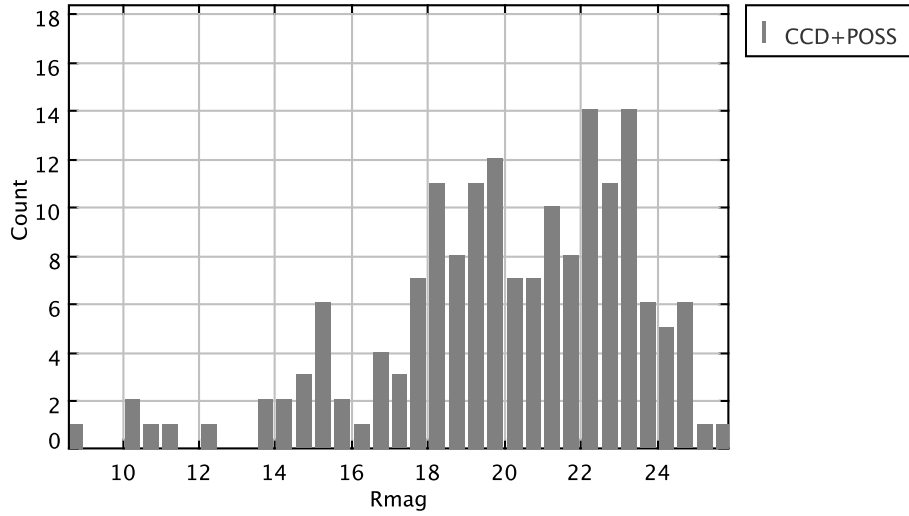


Рис. 1: Распределения звездных величин в R фильтре для родительских объектов радиоисточников каталога RC (для 168 источников из 234, отождествленных по POSS и ПЗС снимкам БТА).

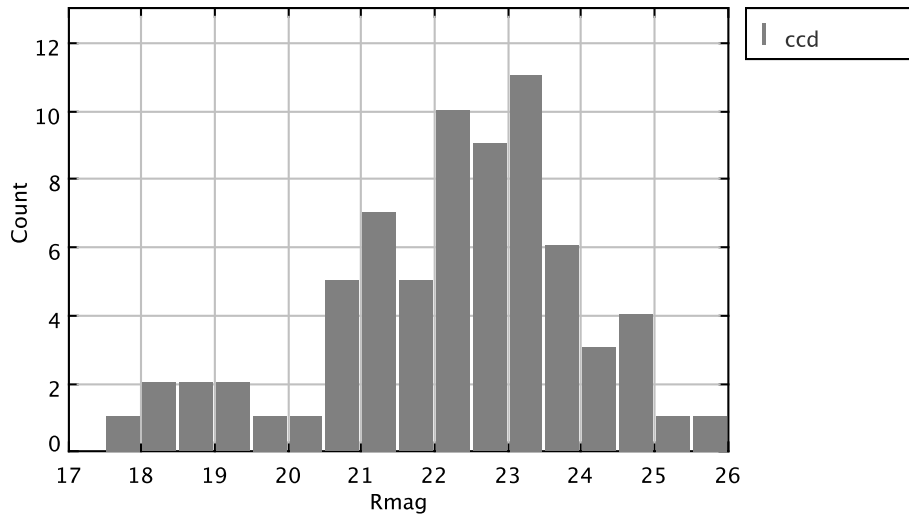


Рис. 2: Распределения звездных величин в R фильтре для родительских объектов радиоисточников каталога RC (для 71 источника, отождествленного по ПЗС снимкам БТА).

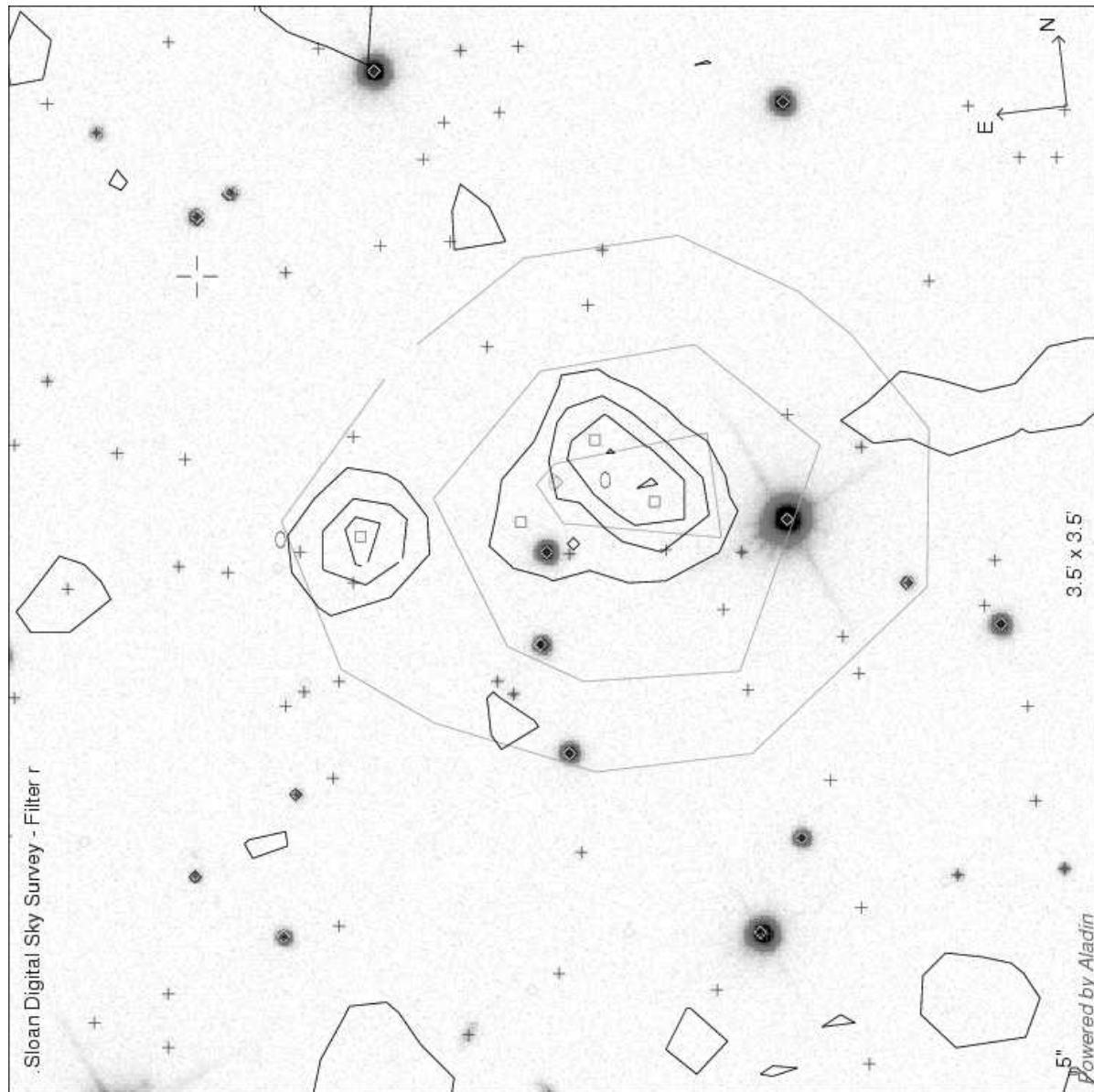


Рис. 3: RC J0847+0454. Стек Aladin с контурами FIRST и NVSS, наложенными на изображение SDSS (r фильтр)

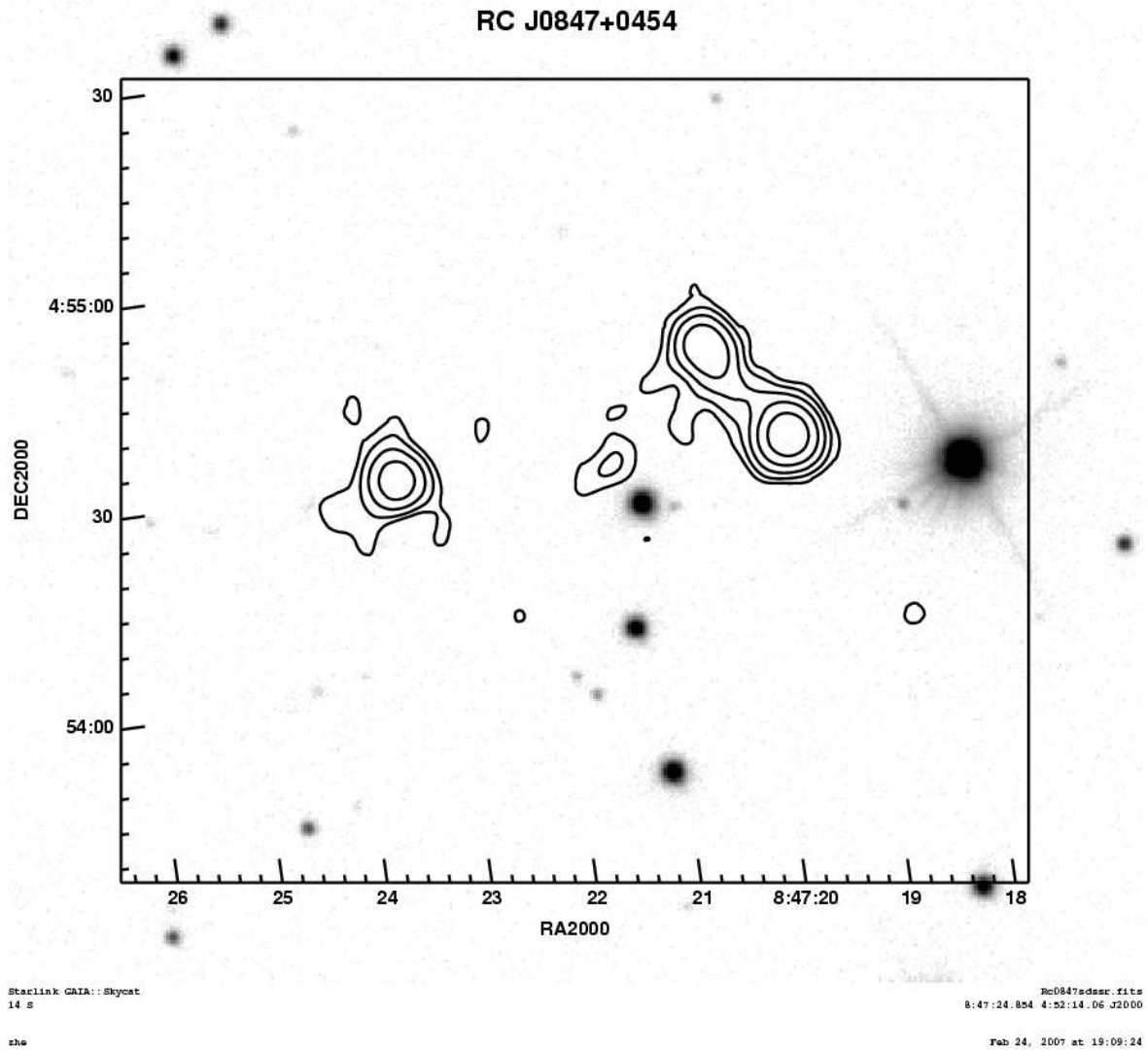


Рис. 4: RC J0847+0454. Прорисовка контуров для изображения FIRST с сохранением углового разрешения.

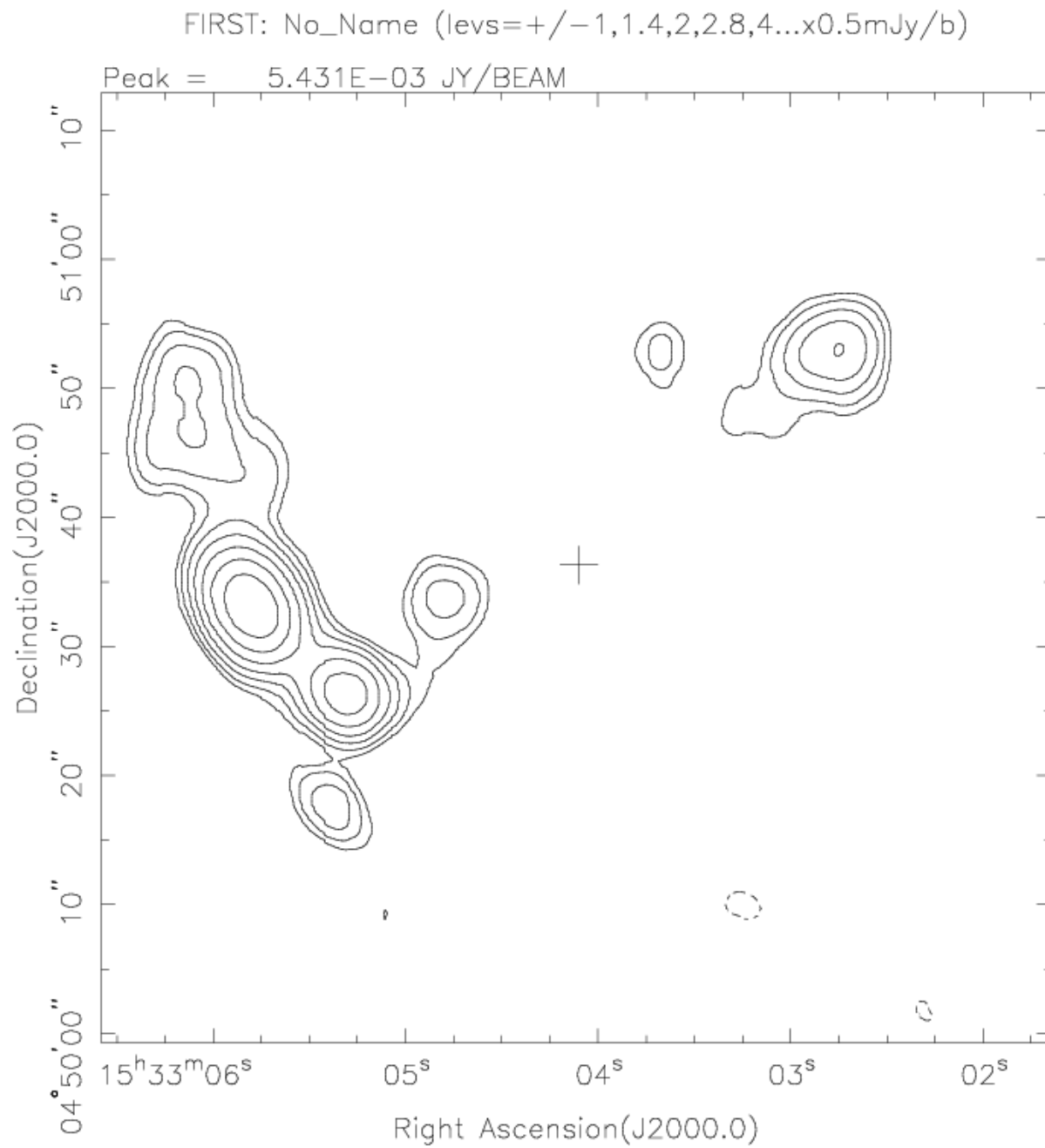


Рис. 5: RC J1533+0450. Многокомпонентный источник (контуры изображения из обзора FIRST).

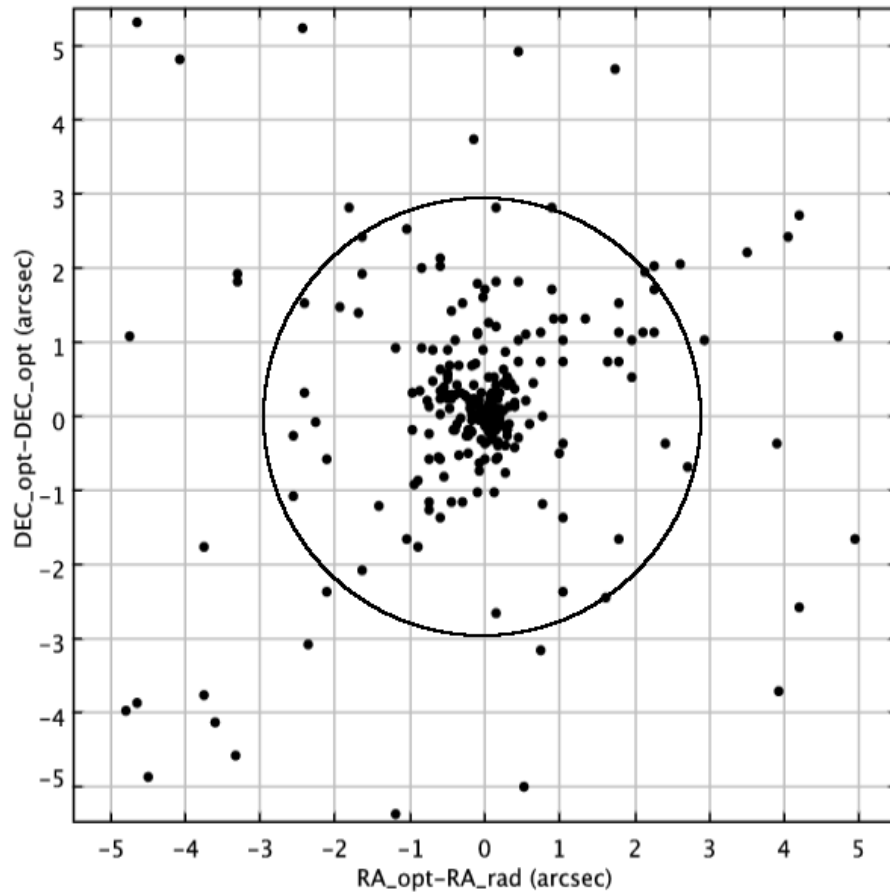


Рис. 6: Распределение разности радио (координаты предполагаемого оптического отождествления, определенных по радиокarte FIRST) и оптических координат для объектов с обнаруженными оптическими кандидатами (“+” и “?”) Показана область с нормализованным расстоянием  $R < 3$ .

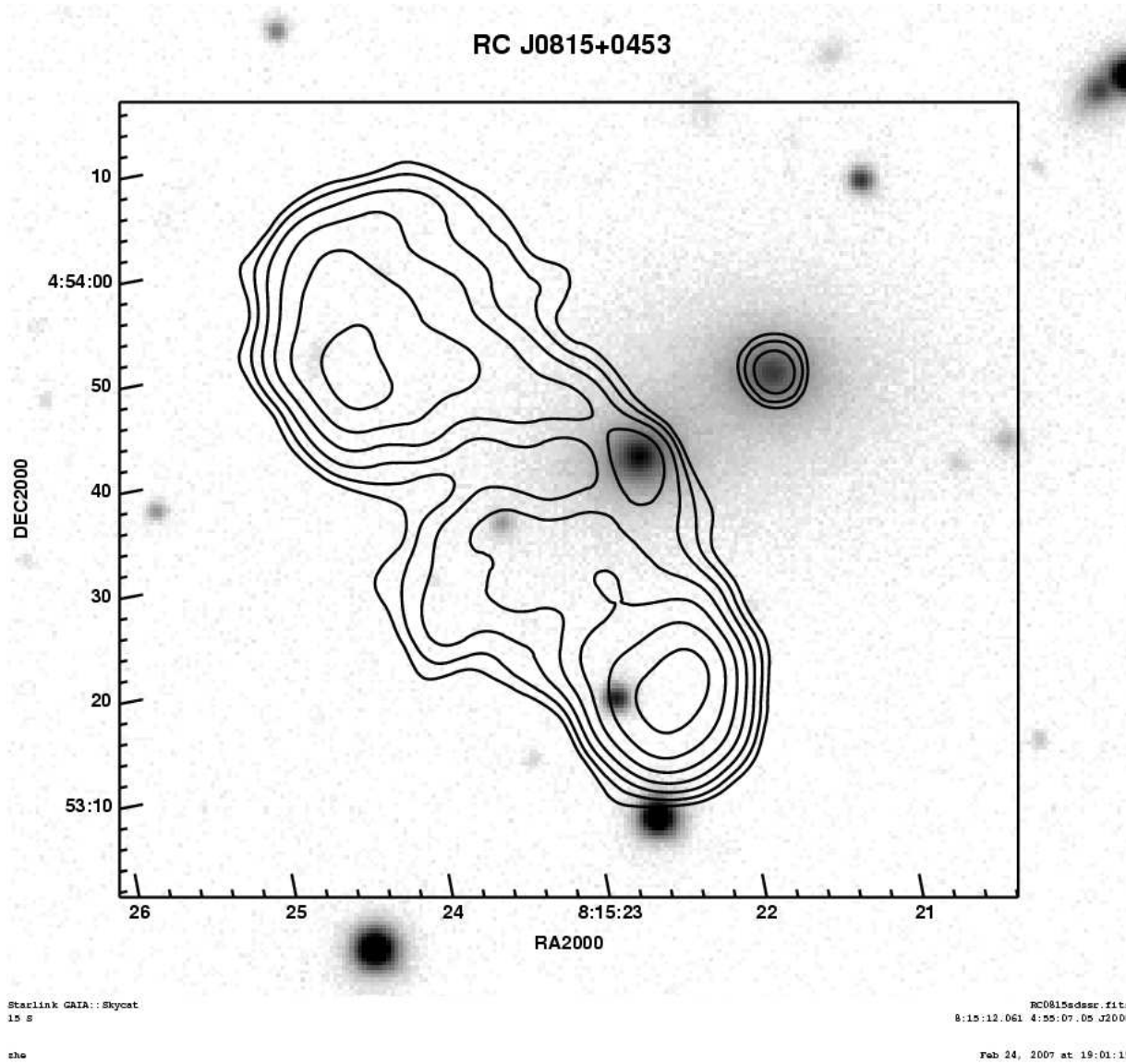


Рис. 7: RC J0815+0453. Два соседних радиоисточника, отождествляющихся с эллиптическими галактиками. Составное изображение радио-оптика: контурами нарисовано изображение из обзора FIRST на области из обзора SDSS (г фильтр).



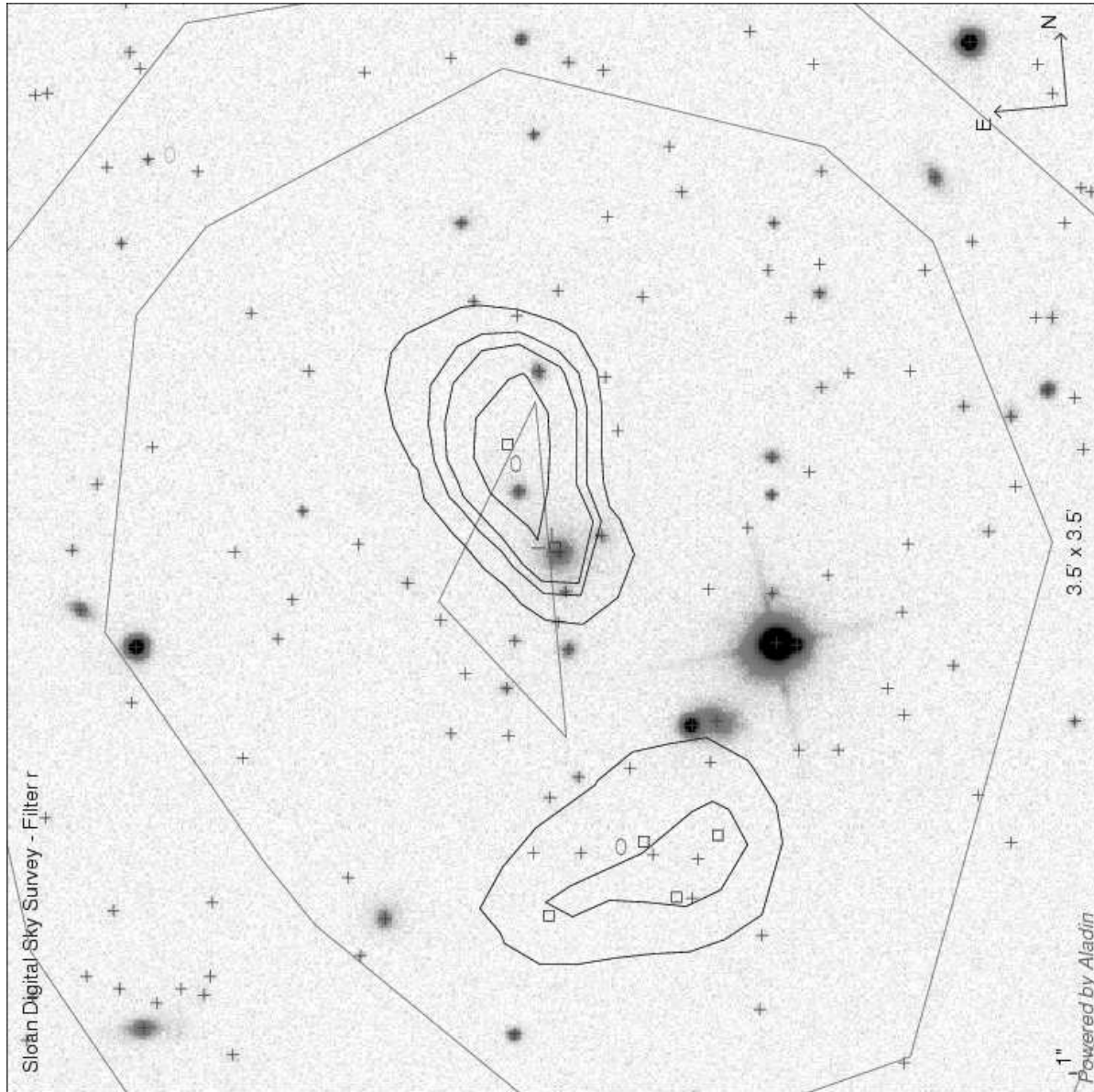


Рис. 8: RC J0916+0441. Стек Aladin с наложенными на изображение SDSS (фильтр r) контурами NVSS и FIRST.

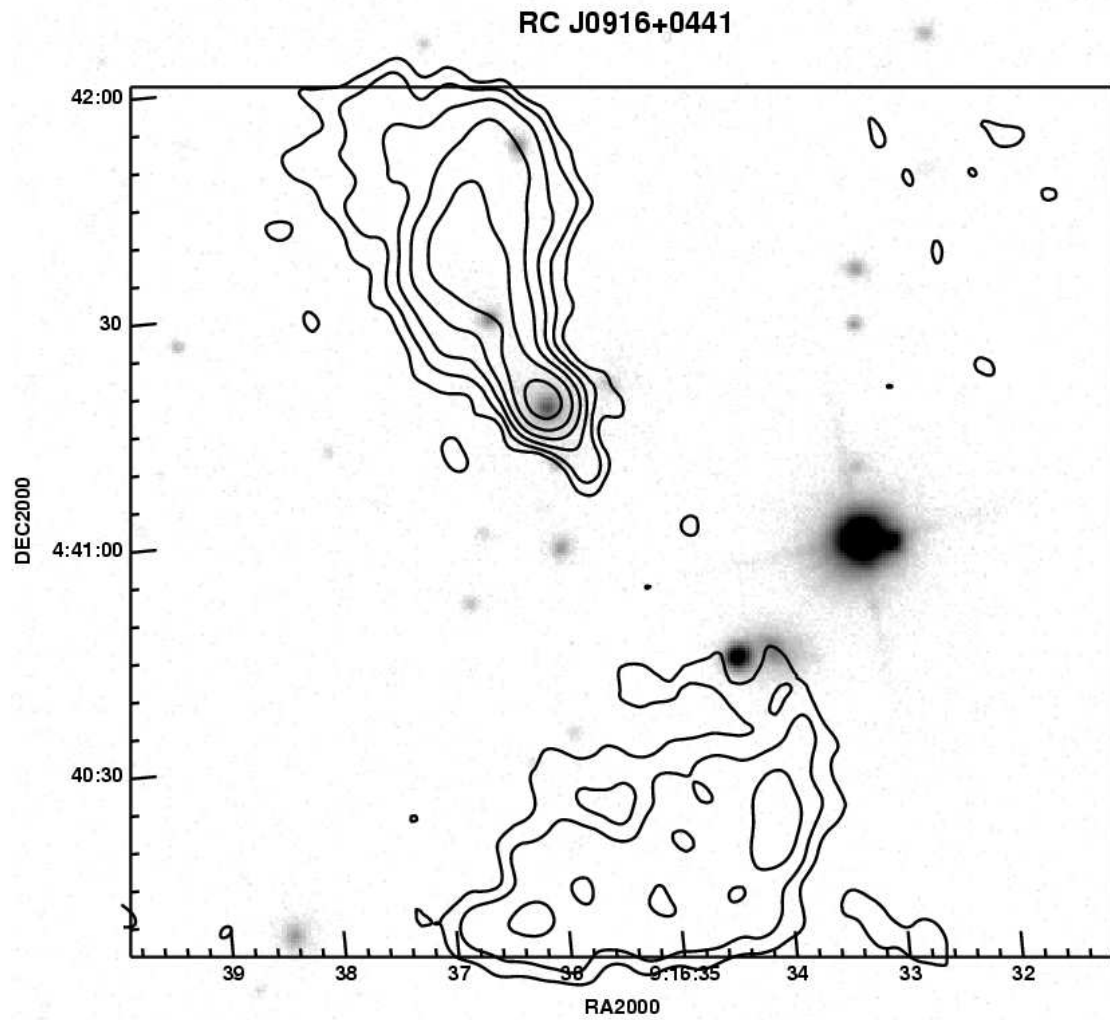


Рис. 9: RC J0916+0441. Прорисовка контуров источника сохранением углового разрешения радиоизображения.

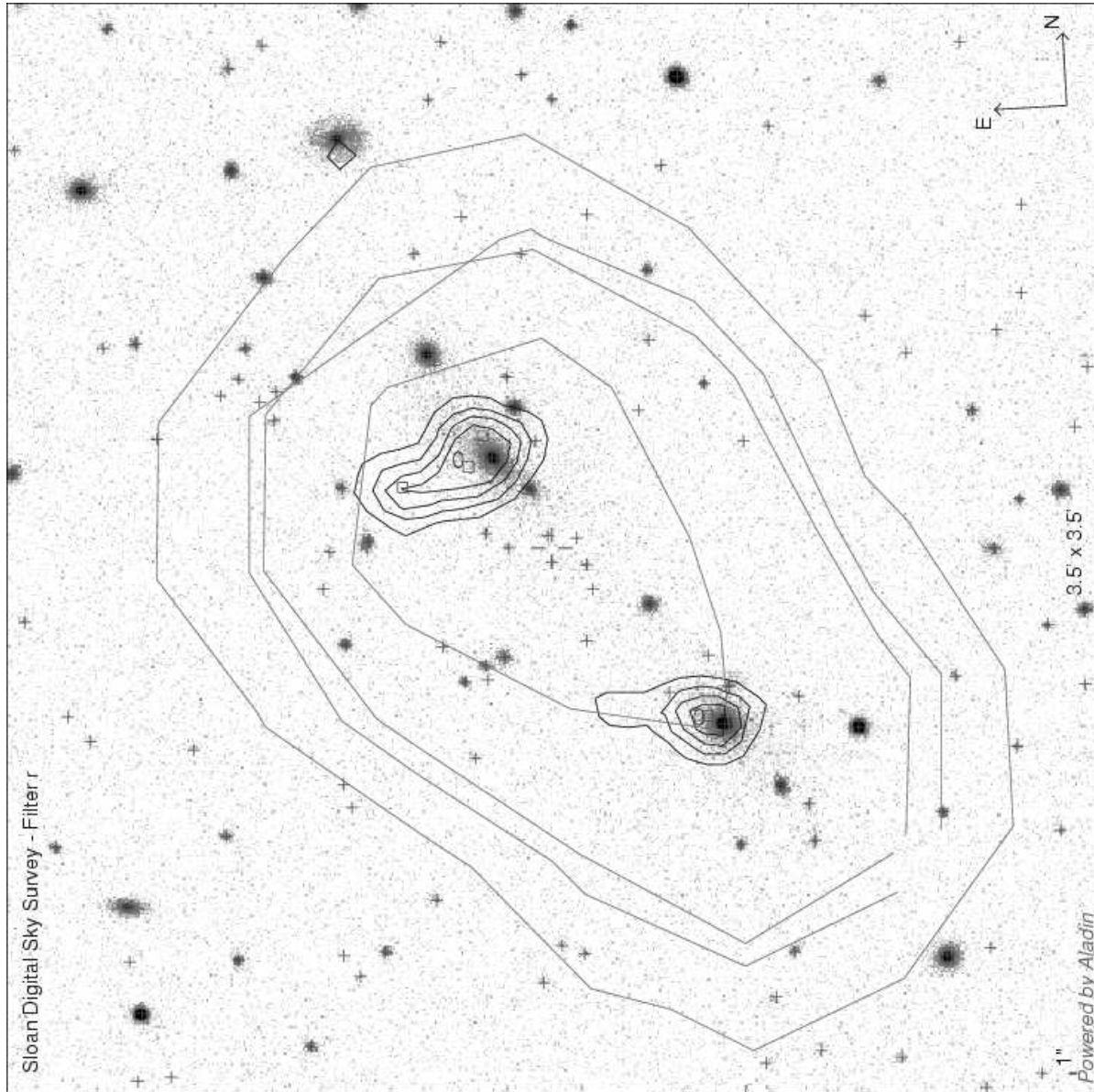


Рис. 10: RC J0952+0453. Два разных достаточно близких объекта, объединяются из-за недостаточного углового разрешения обзора NVSS в один радиоисточник

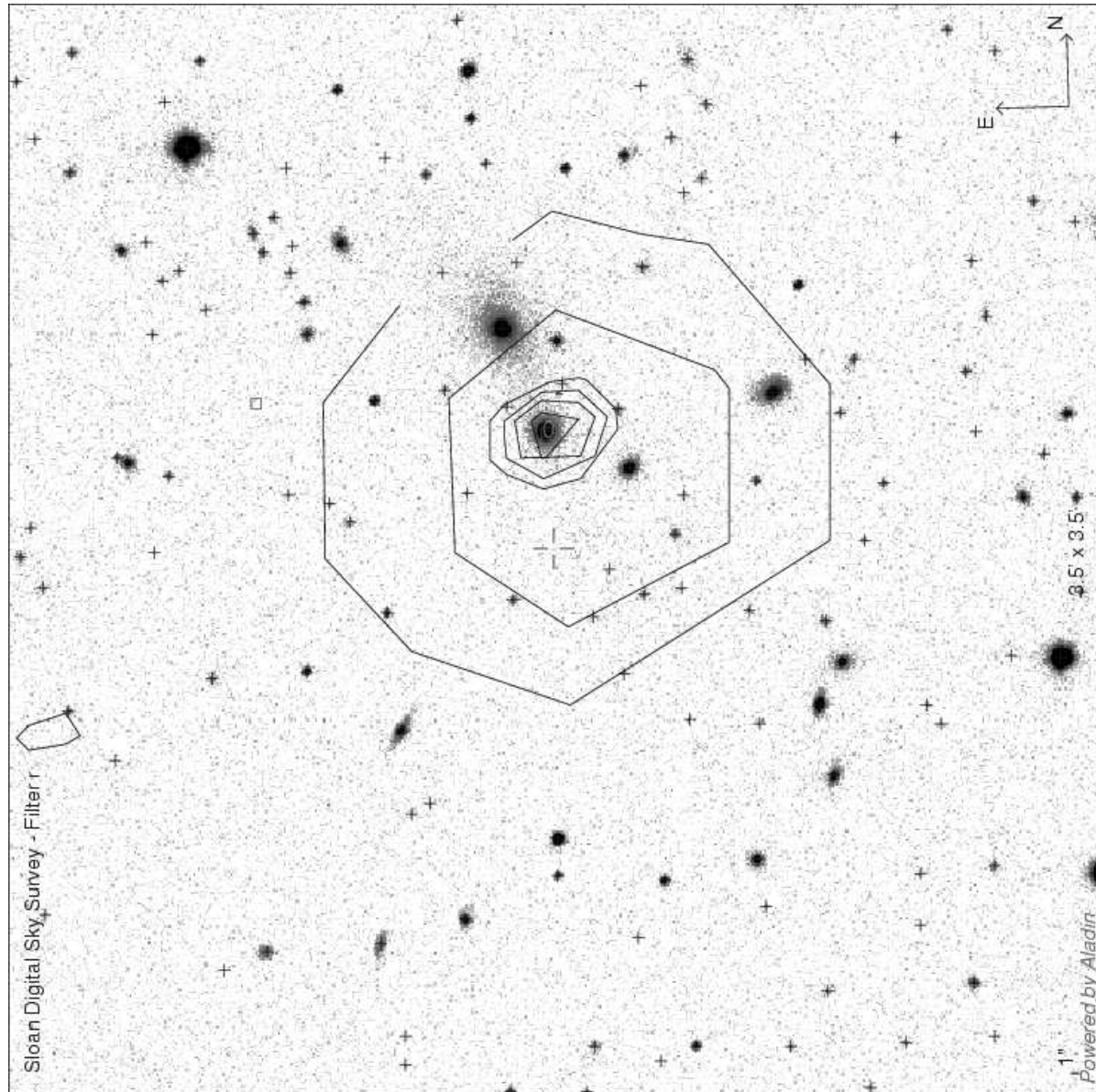


Рис. 11: RC J1038+0451

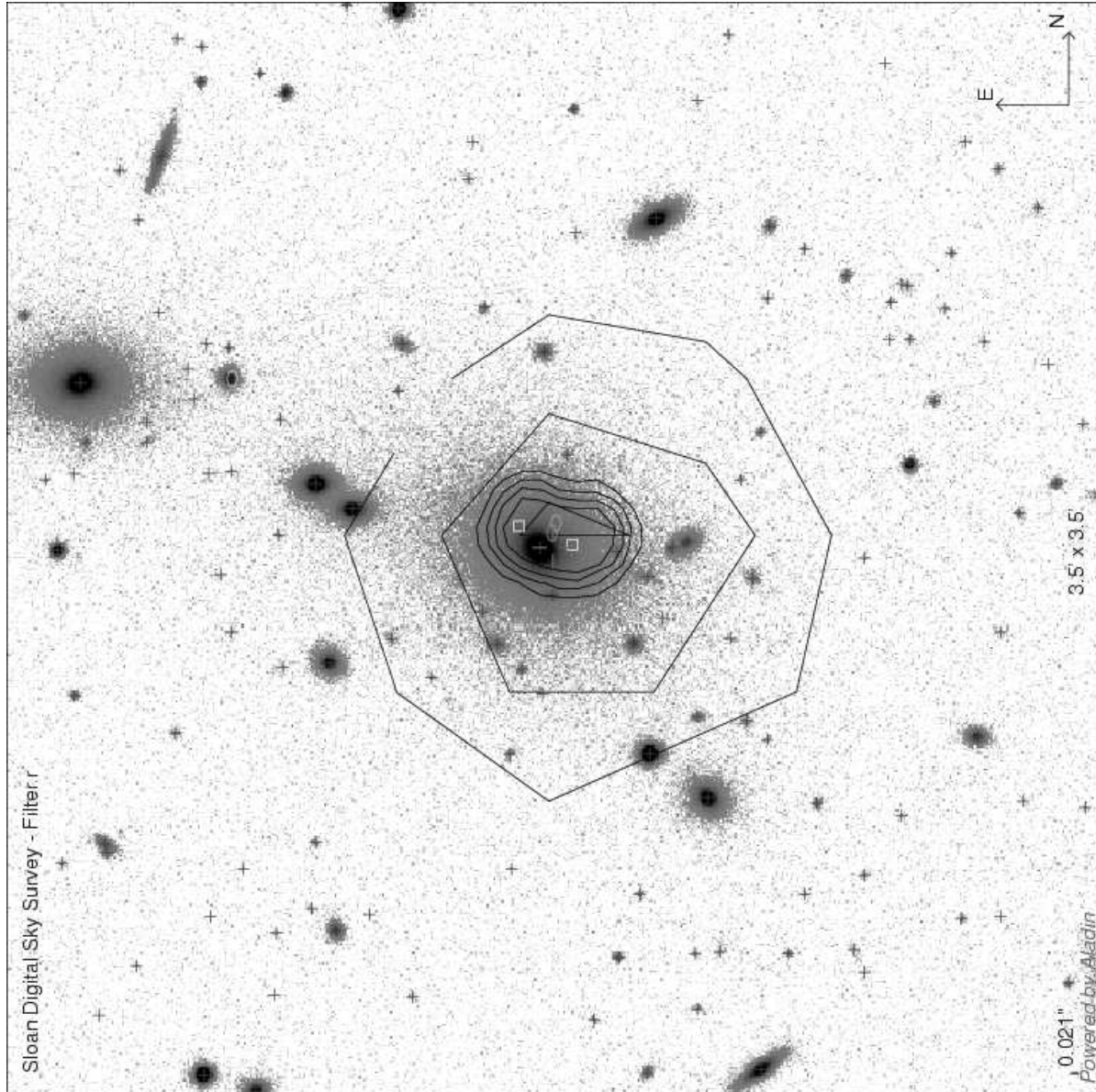


Рис. 12: RC J1218+0505.

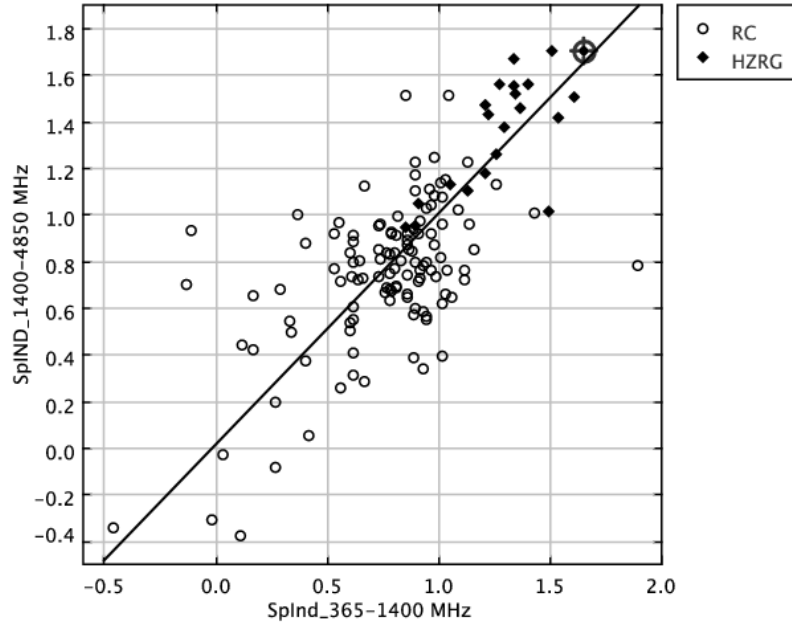


Рис. 13: Распределение двухчастотных спектральных индексов, для источников выборки каталога RC (пустые кружки) и радиогалактик с  $Z > 3$  (черный цвет). Кружочком отмечена радиогалактика с рекордным красным смещением 5.199.

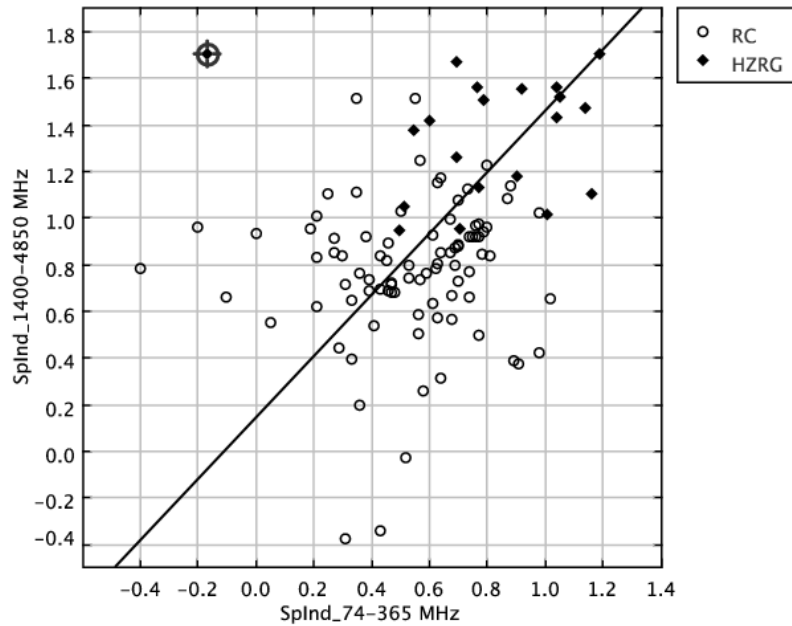


Рис. 14: Распределение двухчастотных спектральных индексов, для источников выборки каталога RC (пустые кружки - радиогалактики, черные треугольники - квазары) и радиогалактик с  $Z > 3$  (черные кружки).

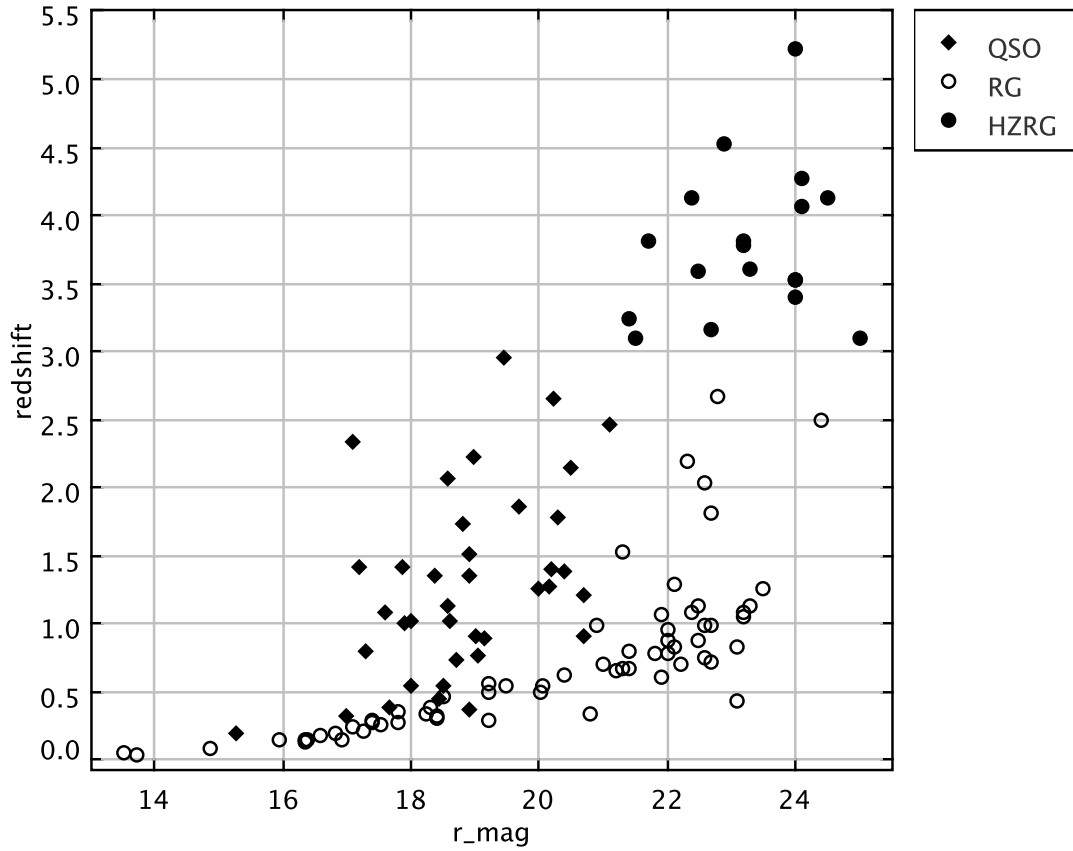


Рис. 15: Соотношение Z-г для радиогалактик (пустые кружки), квазаров (черные ромбики) выборки каталога RC и радиогалактики с  $Z > 3$  (черные кружки).