

УДК 524.7-77; 524.74

## НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ И ВНУТРЕННИЕ СВОЙСТВА ИСТОЧНИКОВ КАТАЛОГА RCR В КОНТЕКСТЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

© 2016 О. П. Желенкова<sup>1,2\*</sup>, Е. К. Майорова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101 Россия

Поступила в редакцию 30 июля 2015 года; принята в печать 02 марта 2016 года

Приведены сводные результаты по исследованию радиисточников, которые показывают значительные вариации интегральной плотности потока по данным обзоров, проводившихся на РАТАН-600 в период 1980–1994 гг. на волне 7.6 см. Большинство обнаруженных переменных источников имеет плоский радиоспектр, хотя все другие типы спектров также встречаются. Точечные и компактные источники преобладают, но в выборке обнаружены все известные морфологические структуры. Переменность отмечена как у квазаров, так и у галактик. По данным каталогов у половины родительских объектов радиисточников обнаружены вариации блеска в оптическом и/или инфракрасном диапазонах. Проанализированы свойства непостоянных и переменных источников каталога RCR. Проведено сравнение отношения абсолютной звездной величины к радиосветимости для источников с установленным по оптическим данным типом активного ядра. Обнаружено, что величина этого параметра остается приблизительно одинаковой у квазаров разной радиосветимости. У самых мощных радиогалактик он минимален, а при снижении радиосветимости растет до уровня, характерного для квазаров. Объяснить такое поведение, считая, что отношение зависит от экранирующих свойств пылевого тора, можно, предположив, что геометрия тора и его оптическая толщина зависят от мощности источника. Среди переменных источников этот параметр в среднем несколько выше, чем среди непостоянных, что говорит в пользу более открытого наблюдателю ядра.

Ключевые слова: *каталоги — обзоры — радиоконтинуум: галактики — галактики: активные*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Вариации потока излучения у активных ядер галактик (АЯГ) возникают по многим причинам. Это могут быть как внешние по отношению к источнику физические процессы, связанные с изменениями поглощения по лучу зрения, гравитационным микролинзированием, мерцаниями на межзвездной среде, так и внутренние события, которые порождаются в джете распространением ударных волн [1], спиральными траекториями его компонентов [2], включая реколлимацию [3] и прецессию [4], а также возмущениями в аккреционном диске, в частности, вызванными взаимодействием двух сверхмассивных черных дыр (СМЧД) в двойной системе [5].

Основное различие переменности, обусловленной изменениями геометрии источника, и переменности, индуцированной ударными волнами, проявляется в наблюдаемых временных масштабах. При

релятивистском усилении излучателя все внутренние временные масштабы переменности сжаты на доплеровский фактор. Это относится к процессам, связанным с формированием и распространением ударных волн в джете, что обеспечивает вариации излучения на масштабах в несколько дней. Такая переменность присуща излучающим областям субпарсековых размеров и наблюдается у квазаров с плоскими спектрами и объектов типа VL Lас, где она носит более выраженный характер. В противоположность этому временной масштаб при геометрических изменениях не подвергается доплеровскому эффекту, так как вращение направлено поперек распространения джета. Если эти два процесса действительно вносят вклад в переменность со сравнимой внутренней временной шкалой, то геометрическая переменность должна доминировать по амплитуде на больших временных масштабах.

В работе Чена и др. [6] по данным WMAP и Planck проведено исследование долговременной

\*E-mail: zhe@sao.ru

переменности ярких радиогалактик. У большей половины выборки переменность на больших временных масштабах показывает синусоидальную структуру с периодом порядка трех лет. Эти результаты лучше согласуются с моделью, где вариации излучения определяются простым вращением джета, а не вспышками, которые индуцируются ударной волной [6].

Есть случаи, когда у блазаров детектируется статистически значимая корреляция кривых блеска в оптическом и радио диапазонах [7–10], причем время запаздывания максимумов в одном диапазоне относительно другого составляет от нескольких месяцев до нескольких лет.

Для десятка источников обнаружено совпадение периодов переменности в оптическом и радиодиапазонах, как например, у АО 0235+164 [9], что, скорее всего, связано с наличием двойной СМЧД в центре родительской галактики [11]. Однако связь между переменностью в оптическом и в радиодиапазонах все же не полностью ясна, поскольку не у всех галактик с активными ядрами она обнаруживается.

У нескольких квазаров [12] отмечено совпадение положения радиоджета с оптическим джетом. Последнее может быть доказательством того, что оптическое и радиоизлучение имеет одинаковую синхротронную природу и генерируется в одной и той же области или областях, располагающихся недалеко друг от друга.

Также известно, что светимость родительской галактики в эмиссионных линиях коррелирует с радиосветимостью [13–16]. Вило и др. [17] продемонстрировали, что эта корреляция является доминирующей по сравнению с известной зависимостью этих величин от красного смещения. Это указывает на общий источник энергии как для оптических линий, так и для радиоизлучения.

Если следовать унифицированной модели для АЯГ 1 и 2 типа, предложенной Антонучи [18], а для радиогалактик и радиоквазаров — Бартелом [19], Урри и Падовани [20], то наблюдательные различия между галактиками и квазарами определяются углом, под которым активное ядро и пылевой тор расположены к наблюдателю. При этом в самой простой схеме предполагается, что тор однородный и одинаковый для всех активных ядер. В этом случае отношение числа галактик к числу квазаров должно сохраняться в достаточно больших, ограниченных по объему, выборках. Однако Лоренс [21] отметил, что при увеличении светимости радиоисточника затеняющий фактор тора уменьшается. Кролик и Бегельман [22] пришли к выводу, что тор не является однородным, а состоит из большого количества оптически толстых пылевых облаков. РСДБ-наблюдения активной галактики в

созвездии Циркуля [23] продемонстрировали наличие пылевых филаментов или клочковатой структуры у тора. Кроме неопределенности, внесенной клочковатой структурой тора, в классификацию АЯГ вовлечены еще два независимых параметра — ориентация и геометрия тора. Затеняющие свойства тора остаются неисследованными, делая статистические тесты унифицированной модели не вполне надежными [24].

Из вышеприведенного следует, что внутренние свойства радиогалактик прежде всего определяются свойствами «центральной машины», а наблюдательные проявления — еще и ориентацией пылевого тора относительно наблюдателя и его затеняющими характеристиками.

Для поиска радиоисточников со значительными вариациями интегральной плотности потока был использован архивный материал радиообзоров, проводившихся на северном секторе РАТАН-600 в 1980–1994 гг. [25, 26], который прошел первичную обработку [27]. Всего обнаружено 73 объекта [28–31], заподозренных в переменности. В этой работе мы приводим сводные результаты по всем источникам, у которых нам удалось обнаружить значительные вариации плотности потока, а также результаты поиска переменности для них в оптическом и инфракрасном диапазонах.

Проведено сравнение свойств обнаруженных переменных радиоисточников с теми объектами каталога RCR, у которых значительные вариации потока не наблюдаются. В контексте унифицированной модели [18–20] рассмотрены наблюдательные проявления и внутренние свойства источников каталога RCR, у которых по спектральным или фотометрическим данным определен тип активного ядра родительского объекта, и проведено сравнение переменных и непременных объектов.

Структура статьи следующая: в разделе 2 приведены сводные по работам [28–31] результаты отождествления обнаруженных переменных радиоисточников, в разделе 3 — результаты поиска значительных вариаций блеска в оптическом и/или инфракрасном диапазонах у переменных радиоисточников, в разделе 4 мы рассматриваем наблюдательные свойства выборки переменных радиоисточников, обнаруженных в диапазоне прямых восхождений  $2^{\text{h}} < \text{RA}_{2000} < 17^{\text{h}}$  по обзорам «Холод» 1980–1994 гг. В разделе 5 рассматриваются наблюдательные проявления и внутренние свойства радиоисточников каталога RCR в контексте унифицированной модели АЯГ, в разделе 6 проводится сравнение выборки RCR-источников, которые не показали значительных вариаций плотности потока, с источниками, у которых обнаружена переменность в радио, а также в оптическом диапазонах. В Заключение обсуждаются полученные результаты.

При вычислениях использовались следующие величины космологических параметров:  $H_0 = 68 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$  и  $\Omega_\Lambda = 0.69$ .

## 2. СВОДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

Параметры рассматриваемых источников приведены в таблице 1. Описание колонок таблицы: (1) — имя радиисточника (также см. сноски внизу таблицы); (2) — вероятность  $p$  переменности радиисточника по критерию  $\chi^2$  [28]; (3) — морфологический тип радиисточника. Строчные буквы обозначают морфологическую классификацию по картам NVSS [32], а прописные —

по картам более высокого углового разрешения (из обзора FIRST [33] или из архива VLA (<http://archive.nrao.edu>), а именно: «C» или «c» — точечный источник (Core), «D», «d» — двойной (Double), «DC» — двойной с ядром (Double-Core), «CL» — ядро с долями (Core-Lobe), «CJ» — ядро с выбросом (Core-Jet), «T» — тройной источник (Triple). Дополнительные характеристики: «w» — компоненты в виде крыльев (winged), «s» — закрученная в виде «S» форма источника (S-shaped), «?» — неуверенная классификация;

Таблица 1. Параметры переменных источников

Name	$p_{vr}$	Mph	Type	LAS, ''	$S_{3.9}$ , mJy	$\alpha_{3.9}$	$\alpha_{1.4}$	$\lg L_{1.4}$ , W Hz $^{-1}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
J023155.98+050234.6	0.998	c		19	17	-0.2	-	26.6
J033226.75+045718.8	0.883	c?		33	29	1.1	-	25.4
J050625.14+050819.8	0.657	D	FRII, CSS	19	75	-0.9	-0.8	27.9
J051343.45+045854.8	0.804	c	-	17	31	-0.6	-	27.7:
J060612.31+045743.2	0.826	c	-	18	21	-0.6	-	26.4:
J060659.72+050659.3	0.882	c	-	16	61	-0.7	-	27.2:
J061003.66+045354.3	0.984	c	-	18	19	-0.9	-	27.2:
J061900.21+050630.8	0.792	c	-	16	338	-0.6	-0.5	28.8:
J062128.52+045852.4	0.999	c	-	16	33	0.0	-	25.9:
J062207.41+045651.3	0.999	c	-	21	36	-0.6	-0.5	25.3:
J062310.60+050330.0	0.999	d	-	53	64	-0.5	-	25.3:
J062741.83+045804.0	0.693	c	-	17	25	-0.8	-	26.5:
J063929.62+045937.1	0.999	c	-	20	11	-0.2	-	25.4:
J065848.74+045522.0	0.999	c	-	41	24	1.0	-	26.3:
J065850.14+050206.8	0.999	c	-	18	41	0.1	-	27.0:
J065929.43+045603.9	0.956	c	-	30	13	0.5	-	26.5:
J072919.57+044948.7	0.966	c	-	16	50	-0.7	-	27.4:
J073357.46+045614.1 <sup>1)</sup>	0.999	C	FSRS	17	284	0.1	0.5	27.6
J074239.65+050704.3	0.855	d?	-	30	291	-0.9	-	26.7
J075314.02+045129.4	0.796	C	FSRS	18	184	-0.4	-0.3	26.8
J080757.60+043234.6	0.995	C	FSRS	18	244	-0.3	-0.5	29.5
J081218.14+050755.5 <sup>2)</sup>	0.906	C	-	18	85	-0.8	-0.6	28.5:

Таблица 1. (Продолжение)

Name	$p_{vr}$	Mph	Type	LAS,"	$S_{3.9}$ , mJy	$\alpha_{3.9}$	$\alpha_{1.4}$	$\lg L_{1.4}$ , W Hz <sup>-1</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
J081626.62+045852.8	0.990	CL	GPS	24	44	-1.2	1.3	25.0
J083148.89+042938.5 <sup>3)</sup>	0.984	CJ	FSRS	15	896	0.0	-	26.8
J091636.22+044132.0	0.965	T	MPS	77	125	-0.8	-0.3	26.2
J092355.73+045645.8 <sup>2)</sup>	0.810	C	-	24	18	0.2	-	26.7
J095218.73+050559.3	0.922	C	GPS	17	62	-0.5	1.2	25.9
J100355.00+050125.0 <sup>3)</sup>	0.999	C?	CSS	18	47	-1.1	-1.2	27.3:
J100534.80+045119.8	0.981	D?	-	19	38	-0.6	-	26.5:
J101515.33+045305.6	0.864	C	CSS	17	138	-1.0	-0.8	27.6
J101603.12+051303.6	0.987	C	HFP	17	418	0.0	-	28.2
J103846.84+051229.6 <sup>1)</sup>	0.839	T	FSRS	16	478	0.1	0.0	26.1
J103938.62+051031.1 <sup>3)</sup>	0.984	Dw	FRII	52	137	-0.9	-0.8	25.7
J104117.65+045306.4	0.994	T	-	87	46	-0.7	-	25.1
J104527.19+045118.7	0.808	C	CSS	16	33	-1.2	-1.0	27.2
J104551.72+045553.9 <sup>2)</sup>	0.691	C	CSS	18	176	-1.0	-0.8	27.1
J105253.05+045735.3	0.895	D?	GPS?	17	119	-0.2	0.7	26.1
J105719.26+045545.4 <sup>2)</sup>	0.986	C	GPS	35	41	-0.3	1.2	25.5
J110246.51+045916.7	0.925	Dw	FRII	35	105	-0.8	-	26.5:
J112437.45+045618.8	0.895	D	FRII	17	547	-0.9	-	27.5
J113156.47+045549.3 <sup>3)</sup>	0.842	C	-	18	279	-0.8	-	28.2
J114521.30+045526.7 <sup>1)</sup>	0.729	D	FSRS	19	573	-0.4	-	28.1
J114631.64+045818.2	0.924	C	GPS?	16	212	-0.2	0.4	27.3:
J115248.33+050057.2 <sup>2)</sup>	0.976	C?	CSS	20	41	-1.0	-	28.1:
J115336.08+045505.2 <sup>2)</sup>	0.999	C	GPS?	43	42	0.7	2.4	24.6
J115851.23+045541.9	1.000	C	-	36	23	-0.1	-	27.0:
J121328.89+050009.9	0.772	DC	FRII	67	79	-1.1	-	27.5
J121852.16+051449.4	0.681	D	-	20	173	-0.7	-	25.8
J123507.25+045318.7	1.000	C	GPS	21	38	-0.1	0.8	26.5:
J123727.34+045717.3	0.828	DC?	-	60	115	-1.1	-	28.2
J123932.78+044305.3 <sup>3)</sup>	0.835	C	FSRS	18	317	-0.1	-	28.6
J124145.15+045924.5	0.961	D?	-	19	35	-0.6	-	27.2
J125755.32+045917.6	0.939	Dw	FRII	64	241	-0.8	-	26.6
J130631.65+050231.3	0.764	C	GPS	16	41	-0.3	0.6	26.4
J132448.14+045758.8	0.762	Dw?	FRII	20	57	-1.0	-0.9	27.9:

Таблица 1. (Продолжение)

Name	$p_{vr}$	Mph	Type	LAS, ''	$S_{3.9}$ , mJy	$\alpha_{3.9}$	$\alpha_{1.4}$	$\lg L_{1.4}$ , W Hz $^{-1}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
J133541.21+050124.9	0.902	C	GPS?	20	28	-1.1	1.3	25.6
J133920.76+050159.3 <sup>2)</sup>	0.871	C	—	20	29	-0.3	—	27.6
J134201.37+050157.5 <sup>2)</sup>	0.857	C	—	28	51	0.9	—	26.9
J134243.57+050431.5 <sup>2)</sup>	0.601	CLs	FRI	20	970	-0.7	—	26.9
J135050.06+045148.9 <sup>2)</sup>	0.972	C	GPS?	29	28	0.4	1.1	25.7
J135137.56+043542.0	0.960	C	—	19	270	-0.9	-0.7	28.1
J140730.77+044934.9	0.675	D?	—	14	78	-0.8	—	28.6
J141920.56+051110.6 <sup>2)</sup>	0.943	C	GPS?	17	112	-0.2	0.4	26.9
J142104.21+050845.0	0.928	C	CSS	17	154	-0.8	-0.7	27.4
J142409.47+043451.7 <sup>3)</sup>	0.988	CJ	FSRS	18	303	-0.3	-0.2	28.3
J145032.99+050824.6	0.925	CJ	—	19	101	-0.3	—	28.1
J151141.19+051809.4 <sup>3)</sup>	0.725	C	GPS	17	362	1.1	2.0	24.9
J155148.09+045930.5	0.961	D	FRII, CSS	15	71	-1.2	-1.1	28.7
J160014.00+045231.0 <sup>3)</sup>	0.999	C	FSRS	22	38	0.0	—	25.9
J161015.24+044923.5	0.919	D?	GPS?	17	30	-0.7	0.2	27.2
J161637.49+045932.8 <sup>2)</sup>	0.984	C	HFP	19	984	0.3	1.4	28.8
J163106.83+050119.2	0.972	dw?	—	66	74	-0.9	—	27.4
J165643.94+050014.2	0.954	c	—	20	50	-0.8	—	26.7:

<sup>1)</sup> Источник входит в программу мониторинга переменности АЯГ на радиотелескопе OVRO (<http://www.astro.caltech.edu/orvoblazars/>).

<sup>2)</sup> Источник имеет бóльшую интегральную плотность потока в обзоре FIRST, чем в NVSS.

<sup>3)</sup> Есть указания на радиопеременность в базе данных NED.

Символом «:» отмечена радиосветимость, оцененная по индексу активности в радиодиапазоне.

(4) — тип радиисточника: FSRS (Flat Spectrum Radio Source) — источник с плоским радиоспектром практически во всем диапазоне; FRII, FRI — двойной радиисточник Фанарев-Райли типа II/I [34]; MPS (Mega-Hertz Peak Source), GPS (Giga-Hertz Peak Source), HFP (High Frequency Peaker) — источники, у которых максимум радиоспектра приходится на диапазон от 0.5 ГГц до нескольких десятков гигагерц (у HFP пик наблюдается за 5 ГГц); CSS (Compact Steep Spectrum) — компактный источник с крутым спектром; (5) — угловой размер радиисточника по обзору NVSS, который определяется как параметр MajAxis из гауссианы, аппроксимирующей источник, или как расстояние по пикам интенсивности между двумя долями для двойных радиисточников на карте NVSS; (6) — интегральная плотность

потока на частоте 3.94 ГГц в мЯн; (7) и (8) — спектральный индекс  $\alpha$  ( $S_\nu \propto \nu^\alpha$ ) на частотах 3.94 и 1.4 ГГц соответственно. Если радиоспектр аппроксимировался параболой, то величины спектрального индекса имеются в обеих колонках; (9) — логарифм светимости на частоте 1.4 ГГц, Вт Гц $^{-1}$ . Радиосветимость с учетом  $k$ -поправки вычислялась по следующей формуле [35]:

$$L_\nu = 4\pi D_L^2 S_\nu (1+z)^{(-\alpha-1)}, \quad (1)$$

где  $D_L$  — фотометрическое расстояние,  $z$  — красное смещение,  $S_\nu$  — наблюдаемая плотность потока на частоте  $\nu$  в системе координат источника. Для тех источников, у которых нет информации о красном смещении, светимость оценивалась по индексу активности в радиодиапазоне  $R_r$  [36], что отмечено «:».

Отождествление этих переменных радиоисточников проводилось по оптическому обзору DPOSS-II [37, 38], последним релизам SDSS DR12 [39], обзорам инфракрасного диапазона 2MASS [40], LAS UKIDSS (DR10 [41]) и GPS UKIDSS [42], WISE [43] по методике, описанной в работах [36, 44, 45]. Использовались радиокарты обзоров NVSS, FIRST с привлечением в отдельных случаях карт более высокого углового разрешения из архива NRAO. Отметим, что для некоторых источников из работ [28–30] представлены обновленные данные. Появившиеся с момента этих публикаций новые релизы используемых оптических и инфракрасных обзоров неба позволили в некоторых случаях уточнить отождествление и тип родительского объекта.

Результаты отождествления приведены в таблице 2. Описание колонок таблицы: (1) — усеченное название источника (Jhhmmss), где «SS» — отмечены объекты из выборки источников с крутыми

спектрами каталога RC, которая исследовалась по программе «Большое трио» [46] с целью поиска далеких галактик; (2) — результаты отождествления, где уверенное отождествление обозначено «+», возможное отождествление — «?». Дополнительно: «l» — слабый объект, «s» — возможное отождествление из-за радиокарты низкого разрешения, «\*» — оптический объект смещен от радиокоординат; (3) — имя или координаты оптического объекта, с которым отождествлен радиоисточник. Названия объектов из каталогов SDSS, WISE, UGPS, ULAS обозначены прописными буквами. Строчные буквы с аббревиатурами обзоров и указанием фильтра обозначают объекты, которые отсутствуют в каталоге, но обнаружены на изображениях обзора в соответствующем фильтре. Если представлены координаты объекта без сопровождающей аббревиатуры, то они взяты из публикации, где проведено отождествление; (4) — морфологический тип родительского объекта.

**Таблица 2.** Сводная таблица отождествлений переменных радиоисточников

Name	Id	Host	Type	Neib	$m_r$ , mag	$z$	$R_r$	$M_r$ , mag
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
J023155	+	SDSS J023155.85+050235.2	g	ynnyn	20.5	0.7:	3.0	-23.2
J033226	+	SDSS J033226.75+045718.8	qso?	ynnnn	21.5	0.7:	2.9	-23.3
J050625 <sup>SS</sup>	+	J050625.10+050819.0	G	ynnnn	21.6	0.817 [47]	4.4	-22.1
J051343	?l	wiseW2 J051343.4+045855	u	nnnnn	22.8:	—	4.4	—
J060612	+	SDSS J060612.23+045741.6	g	ynnnn	21.6	—	3.8	—
J060659	+	WISE J060659.75+050659.3	g	ynnnn	22.6:	—	4.6	—
J061003	?l	sdssi J061003.7+045353	u	nnnnn	22.3:	—	3.9	—
J061900	?l	ugpsK J061900.2+050630	u	nnnnn	22.8:	—	5.4	—
J062128	+	UGPS J062128.46+045852.7	g	nnnnn	20.9:	—	3.3	—
J062207	+	UGPS J062207.30+045651.2	g	ynnnn	18.2	—	2.6	—
J062310	?s	UGPS J062312.57+050419.8	g	ynnnn	17.9	—	2.6	—
J062741	+*	UGPS J062741.88+045802.9	g	ynnnn	21.8:	—	3.9	—
J063929	+*	UGPS J063929.50+045935.6	g?	nnnyn	20.2:	—	2.8	—
J065848	+*	UGPS J065848.66+045523.3	qso	ynnnn	20.5:	—	2.5	—
J065850	+	UGPS J065850.14+050206.6	qso	ynnnn	20.9:	—	3.3	—
J065929	?l	sdssz J065929.5+045604	u	ynnyn	22.3:	—	3.3	—
J072919	+	WISE J072919.60+044946.9	qso	nnnnn	20.7:	—	3.8	—
J073357	+	WISE J073357.44+045614.6	QSO	nnnnn	19.1	3.010 [48]	3.4	-28.0

Таблица 2. (Продолжение)

Name	Id	Host	Type	Neib	$m_r$ , mag	$z$	$R_r$	$M_r$ , mag
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
J074239	+	WISE J074239.27+050705.4	G	nnnnn	16.5	0.160 [49]	2.9	-22.9
J075314	+	SDSS J075314.08+045128.9	g	уnпnn	20.8	0.3:	4.1	-21.3
J080757	+	SDSS J080757.54+043234.5	QSO	nnпyn	18.2	2.877 [50]	3.4	-28.8
J081218	?!	sdssi J081218.1+050755	u	ynnnn	22.6:	—	5.2	—
J081626	+	SDSS J081627.36+045847.5	g	nnnnn	15.2	0.1:	1.3	-23.2
J083148	+	SDSS J083148.87+042939.0	QSO	ynпyn	15.4	0.175 [51]	2.7	-24.4
J091636	+	SDSS J091635.75+044113.9	G	ynnnn	16.8	0.174 [39]	2.5	-23.0
J092355	+	SDSS J092355.63+045643.4	QSO	nnпyn	20.2	1.275 [39]	2.7	-24.8
J095218	+	SDSS J095218.73+050559.2	g	ynnnn	21.5	0.4:	3.8	-20.3
J100355	?!	sdssi 100355.4+05:01:24	u	nnnnn	22.5:	—	4.0	—
J100534	+	ULAS J100534.82+045120.1	g	ynnnn	21.5:	0.6:	3.9	-21.3
J101515	+	SDSS J101515.55+045305.0	g	nnnnn	21.4	0.5:	4.5	-20.7
J101603	+	SDSS J101603.13+051302.3	QSO	nnnnn	18.9	1.701 [51]	3.6	-26.8
J103846	+	SDSS J103846.78+051229.0	QSO	nnnnn	19.1	0.473 [48]	3.9	-23.0
J103938	+	SDSS J103938.72+051032.5	G	ynпyn	17.1	0.070 [52]	2.9	-20.5
J104117	+	SDSS J104115.61+045313.8	G	ynпyn	14.9	0.068 [53]	1.4	-22.6
J104527	+	SDSS J104527.17+045117.8	g	ynпyn	21.9	0.6:	4.0	-21.6
J104551	+	SDSS J104551.75+045551.1	g	ynпyn	21.6	0.3:	4.7	-19.1
J105253	+	SDSS J105253.09+045734.9	qso?	ynnnn	19.1	0.3:	3.0	-22.0
J105719	+	SDSS J105719.23+045548.2	QSO	nnnnn	18.5	1.334 [51]	1.8	-26.4
J110246	+	SDSS J110246.28+045914.2	qso	уnпnn	19.9	—	3.9	—
J112437 <sup>SS</sup>	+	SDSS J112437.40+045618.9	QSO	уnпny	17.5	0.284 [47]	3.4	-23.4
J113156	+	ULAS J113156.44+045549.4	G	nnпyn	23.2	0.844 [54]	5.5	-20.5
J114521	+	SDSS J114521.32+045526.7	QSO	ynnnn	19.0	1.344 [51]	3.9	-26.0
J114631	+	SDSS J114631.78+045819.4	qso	ynnnn	19.9	—	3.7	—
J115248	+	SDSS J115248.33+050057.8	g?	nnпyn	22.9	—	4.5	—
J115336	+	SDSS J115335.85+045505.4	G	nnпyn	18.7	0.313 [39]	1.7	-22.5
J115851	+	SDSS J115851.07+045544.7	qso	nnnnn	21.2	—	3.4	—
J121328 <sup>SS</sup>	+	SDSS J121329.09+050010.4	G	nnпyn	22.7	0.5:	4.8	-19.9
J121852	+	SDSS J121852.36+051444.4	G	ynпyn	14.2	0.075 [55]	1.8	-23.6
J123507	+	ULAS J123507.33+045320.4	g	уnпnn	22.0	—	3.9	—
J123727	+	SDSS J123726.33+045733.3	g	уnпnn	22.1	0.8:	4.7	-21.1

Таблица 2. (Продолжение)

Name	Id	Host	Type	Neib	$m_r$ , mag	$z$	$R_r$	$M_r$ , mag
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
J123932	+	SDSS J123932.75+044305.3	QSO	nnnnn	20.4	1.761 [39]	4.1	-25.4
J124145	+	SDSS J124145.08+045924.6	g	nnnnn	22.2	0.7:	4.1	-21.0
J125755	+	SDSS J125755.81+045852.3	g	уnпyn	18.6	0.3:	3.5	-22.4
J130631	+	SDSS J130631.62+050229.7	qso	ynnnn	20.4	1.8:	3.2	-25.3
J132448	+	SDSS J132448.16+045757.3	g	ynпyn	21.8	—	4.3	—
J133541	+	SDSS J133541.21+050124.9	G	ynпyn	20.9	0.770 [39]	3.3	-22.6
J133920	+	SDSS J133920.66+050158.9	QSO	ynnnn	18.9	1.358 [51]	2.7	-26.2
J134201	+	SDSS J134201.43+050156.0	QSO	nnпyn	20.3	3.166 [56]	3.0	-27.0
J134243	+	SDSS J134243.62+050432.2	G	уnпny	16.4	0.136 [51]	3.2	-22.7
J135050	+	SDSS J135050.08+045149.2	qso	nnnnn	20.3	1.8:	2.6	-25.5
J135137	+	SDSS J135137.58+043541.8	g	ynnnn	22.8	0.6:	5.5	-20.1
J140730	+	SDSS J140730.67+044934.9	QSO	ynпyn	20.2	1.756 [39]	3.8	-25.5
J141920	+	SDSS J141920.30+051109.2	QSO	nnnnn	17.3	0.788 [51]	2.4	-26.2
J142104	+	SDSS J142104.24+050844.8	G	ynnnn	18.6	0.455 [39]	3.3	-23.6
J142409	+	SDSS J142409.50+043452.0	QSO	nnnnn	17.7	1.366 [39]	2.9	-27.3
J145032	+	SDSS J145032.97+050822.4	QSO	ynnnn	19.3	1.635 [39]	3.2	-26.3
J151141	+	SDSS J151141.26+051809.2	QSO	nnпny	16.3	0.084 [57]	1.7	-21.7
J155148 <sup>SS</sup>	+	ULAS J155147.48+045935.0	G	nnпyn	23.5	1.320 [39]	5.2	-21.7
J160014	+	SDSS J160014.11+045231.3	G	nnпyn	18.6	0.307 [39]	2.3	-22.6
J161015	+	SDSS J161015.37+044924.5	qso	nnnnn	20.5	1.3:	3.3	-24.5
J161637	+	SDSS J161637.55+045932.7	QSO	nnnnn	19.3	3.217 [58]	3.7	-28.2
J163106	?s	SDSS J163105.94+050149.8	g	ynпyn	22.4	0.5:	4.6	-22.2
J165643	+	WISE J165643.86+050013.3	g?	nnnnn	21.7:	—	4.1	—

<sup>SS</sup>) Объект из выборки источников с крутыми спектрами (SS) каталога RC.

\*) Оптический объект смещен от радиокоординат.

«G», «g» — галактика (прописными буквами — тип объекта определен по спектральным данным, строчными — по фотометрическим данным в базе данных SDSS или с привлечением фотометрии UKIDSS и WISE). Аналогично — «QSO», «qso» — квазар, «u» — слабый объект, тип которого сложно определить из-за слабости блеска; (5) — окружение родительского объекта после визуальной инспекции кадров обзоров SDSS и UKIDSS: пять символов, первый из которых

указывает на наличие («у») или отсутствие («п») соседнего объекта в радиусе 7" от родительского объекта, что соответствует расстоянию примерно 10 кпк для минимального  $z = 0.07$  выборки, второй — наличие компаньона по фотометрическому  $z$ , третий — наличие компаньона по спектральному  $z$ , четвертый — асимметричная форма и/или клочковатая структура, пятый — двойные линии в спектре SDSS; (6) — звездная величина в  $r$ -фильтре, символом «:» отмечены оценочные величины для

слабых радиисточников; (7) — красное смещение  $z$ : для спектральных красных смещений приведены ссылки на публикации, фотометрические красные смещения, отмеченные «:», взяты из обзора SDSS; (8) — индекс активности в радиодиапазоне [59]:

$$R_r = 0.4(m_r - t_{\text{NVSS}}), \quad (2)$$

где  $m_r$  — звездная величина в SDSS фильтре  $r$  (с учетом галактического поглощения),  $t_{\text{NVSS}}$  — плотность потока, выраженная в AB-величинах:

$$t_{\text{NVSS}} = -2.5 \lg(S_{\text{NVSS}}/3631), \quad (3)$$

где  $S_{\text{NVSS}}$  — плотность потока из обзора NVSS, при  $R_r > 1$  объект относят к активным в радиодиапазоне; (9) — абсолютная звездная величина в фильтре  $r$ .

Комментарии к некоторым источникам.

*RC J0506+0505*. Источник исследовался по программе «Большое Трио» [46], оптическое отождествление и спектр получены по наблюдениям на 6-м телескопе САО РАН.

*RC J0623+0505* или *J062310.60+050330.0*. Диаграммой направленности ПАТАН-600 блендируются три источника из обзора NVSS: двойной — *J062314+050422* и *J062310+050410* и точечный *J062310+050249*. Рассматривается отождествление и спектр для двойного радиисточника.

*RCR J075314.02+045129.4*. У родительской галактики (SDSS *J075314.08+045128.9*) радиисточника на расстоянии  $1''4$  есть компаньон — галактика SDSS *J075314.06+045130.3*. Их фотометрические красные смещения  $z$  из базы данных SDSS составляют  $0.38 \pm 0.12$  и  $0.38 \pm 0.11$  соответственно, то есть расстояние между объектами порядка 7 кпк. Эта пара является кандидатом двойного ядра (dual AGN [60]) в галактике.

*RCR J083148.89+042938.5*. Родительская галактика, излучающая в рентгеновском [61] и  $\gamma$ -диапазонах [62], демонстрирует сильную внутрисуточную переменность поляризации и потока в оптическом и ИК-диапазонах. Редкий объект типа BL Lac, в котором наблюдаются изогнутые джеты по обеим сторонам от ядра. Отметим, что рядом на расстоянии  $4''7$ , или 14 кпк, находится еще галактика SDSS *J083149.04+042934.9* с таким же  $z = 0.175$ .

*RCR J091636.22+044132.0*. Источник включает шесть объектов каталога FIRST. Родительская галактика входит в каталог скоплений галактик GMBCG [63].

*RCR J101603.12+051303.6*. Зарегистрирована  $\gamma$ -вспышка [64].

*RCR J103938.62+051031.1*. Отождествлен с взаимодействующей галактикой ( $z = 0.070$ ), входящей в скопление Abell 1066. Рядом две галактики SDSS *J103938.96+051031.3* с  $z = 0.068$  [39] и SDSS *J103939.61+051025.8* с  $z = 0.071$ .

*RCR J104117.65+045306.4*. Входит в триплет галактик [53].

*RCR J104551.72+045553.9*. Оптический объект классифицирован как скрытый пылью квазар [65].

*RCR J110246.51+045916.7*. В обзоре SDSS объект SDSS *J110246.28+045914.2* по *ugriz*-фотометрии отнесен к звездам, хотя его показатели цвета в LAS UKIDSS и WISE соответствуют квазару. Рядом ( $5''7$ , или 29 кпк при  $z_{\text{ph}} = 0.36$ ) есть еще галактика, которая могла составить пару в предположении такого же красного смещения у родительской галактики.

*RCR J112437.45+045618.8*. Галактика имеет двойные узкие эмиссионные линии [66], что может быть свидетельством того, что ее ядро — двойное.

*RCR J113156.47+045549.3*. Гравитационная линза MG1131+0456 [54], рентгеновский источник.

*RCR J114521.30+045526.7*. Рентгеновский источник.

*RCR J114631.64+045818.2*. Родительский объект, SDSS *J114631.78+045819.4*, классифицируется по спектру SDSS DR10 как звезда F6V-класса, хотя его показатели цвета в LAS UKIDSS и WISE соответствуют квазару.

*RCR J121852.16+051449.4*. Ярчайшая галактика в скоплении ABELL 1516.

*RCR J123727.34+045717.3* и *RCR J123723.63+045741.6*. Им соответствуют два NVSS-источника, которые совпадают с пятью FIRST-объектами, составляющими два радиисточника — двойной, включающий FIRST *J123727.7+045712* (52.29 мЯн), FIRST *J123727.4+045715* (66.85 мЯн), FIRST *J123724.9+045743* (92.15 мЯн) и FIRST *J123724.4+045746* (29.24 мЯн) и точечный — FIRST *J123722.2+045736* (101.01 мЯн). В измерениях ПАТАН-600, каталогах GB6 и VLSS источники блендируются.

*RCR J123932.78+044305.3.* Блазар переменный в оптическом, радио и  $\gamma$ -диапазоне [64].

*RCR J125755.32+045917.6.* Отождествленные с ним два NVSS-источника в обзоре FIRST соответствуют девяти объектам.

*RCR J130631.65+050231.3.* Родительская галактика SDSS J130631.62+050229.7 имеет компаньона SDSS J130631.46+050228.7 на расстоянии  $2''3$ .

*RCR J133541.21+050124.9.* Рядом в  $3''3$ , что при  $z = 0.770$  соответствует 25 кпк, есть еще объект SDSS J133541.18+050128.0.

*RCR J134243.57+050431.5.* Родительская галактика имеет тип Sy1 [67].

*RCR J135137.56+043542.0.* В  $4''3$  (или 29 кпк при  $z \sim 0.6$ ) от отождествления SDSS J135137.58+043541.8 есть ULAS J135137.75 +043538.4.

*RCR J142104.21+050845.0.* Отождествлен с SDSS J142104.24+050844.8; рядом,  $3''1$  или 18 кпк ( $z = 0.455$ ), есть сосед — ULAS J142104.13+050847.6.

*RCR J142409.47+043451.7.* Тип BL Lac [61].

*RCR J151141.19+051809.4.* Компактный радиоисточник отождествлен с галактикой SDSS J151141.26+051809.2 типа Sy1 [57].

*RCR J155148.09+045930.5.* Объект исследовался по программе «Большое Трио» [46]. По наблюдениям на 6-м телескопе САО РАН имеет звездную величину  $R = 23.6$  [44].

*RCR J161637.49+045932.8.* Рентгеновский источник. С этим квазаром ( $z = 3.217$ ) связано несколько систем линий поглощения. В работе [58] на глубоких снимках отмечено несколько компаньонов, причем у одного из них, находящегося на расстоянии  $6''6$ , определено  $z = 3.215$ .

### 3. ПОИСК ПЕРЕМЕННОСТИ В ОПТИЧЕСКОМ И ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНАХ

Для поиска переменности родительских галактик в оптическом диапазоне были использованы каталоги USNO-B1 [68], GSC 2.3 [69], SSS [70], SDSS, а в инфракрасном диапазоне — 2MASS, LAS UKIDSS и GPS UKIDSS.

Каталоги USNO-B1, SSS и GSC-2.3 основаны на материале серии фотографических обзоров

неба [71]. В соответствии с эпохой наблюдений фотопластинок их можно использовать для исследования переменности объектов ярче  $R = 20^m$  на шкале до 50 лет. Для каждого объекта приводится средняя эпоха наблюдений используемых пластинок.

В каталоге USNO-B1 приведены измерения в пяти полосах ( $O, E, J, F, N$ ), причем для фильтров  $B$  ( $B1$ , или  $O$ ;  $B2$ , или  $J$ ) и  $R$  ( $R1$ , или  $E$ ;  $R2$ , или  $F$ ) имеются две эпохи, а для  $I$ , или  $N$ , — одна эпоха наблюдений. Ошибки фотометрии оцениваются в  $0^m3$ , но для слабых объектов они могут быть больше. Комбинация пропускания фильтра и отклика эмульсии в измерениях первой и второй эпох каталога отличаются, однако этим можно пренебречь, поскольку ошибки фотометрии существенно выше.

В каталоге обзора SSS представлены измерения в фильтре  $R$  для двух эпох наблюдений, в фильтрах  $B$  и  $I$  — для одной. Точность фотометрических данных каталога составляет  $0^m3$ .

Для объектов в каталоге GSC 2.3 приводятся звездные величины в шести полосах  $F, J, V, N, U$  и  $B$ . Поскольку сравнение звездных величин из разных каталогов для одного объекта проводилось в фильтре  $R$ , мы использовали данные GSC 2.3 в фильтре  $F$ .

В работе Пурсимо и др. [72] при калибровке по SDSS более двух сотен объектов полученная разница между звездными величинами в полосах  $R2$  для USNO-B1 и  $F$  для GSC 2.3 составила  $0^m07$ , что на фоне фотометрических ошибок от  $0^m25$  до  $0^m6$  позволяет сравнивать эти величины, не приводя их к одной фотометрической системе.

В область обзора SDSS попали 53 из 73 исследуемых нами источников. Из базы данных SDSS<sup>1</sup> для них была извлечена информация по  $ri$ -величинам, причем количество измерений разных объектов варьировалось от двух до восьми. SDSS глубже на звездную величину, чем фотографические обзоры, что позволяет исследовать переменность у более слабых объектов.

Звездная величина в полосе  $r$  была преобразована к величине в фильтре  $R$  по следующей формуле [73]:

$$R_{\text{SDSS}} = r - 0.272(r - i) - 0.159. \quad (4)$$

Диапазон эпох для источников нашего списка в USNO-B1 охватывает интервал с 1949 по 1958 гг. для данных в полосе  $R1$  и с 1989 по 2000 гг. для  $R2$ . В каталогах SSS — с 1977 по 1992 гг., GSC 2.3 — с 1986 по 1998 гг. и SDSS — с 2000 по 2009 гг.

<sup>1</sup><http://skyserver.sdss.org/dr12/en/home.aspx>.

Мы оценили величину параметра  $V_R$ , характеризующего амплитуду вариаций блеска, по следующей формуле:

$$V_R = \frac{|m_{\min} - m_{\max}|}{\sqrt{(\sigma_{\min}^2 + \sigma_{\max}^2)}}, \quad (5)$$

где  $m_{\min}$ ,  $m_{\max}$  — звездные величины объекта из серии величин по каталогам USNO-B1, SSS, GSC 2.3 и SDSS,  $\sigma_{\min}$ ,  $\sigma_{\max}$  — среднеквадратичные ошибки их определения. Для каталогов USNO-B1 и SSS мы брали  $\sigma = 0^m3$ . Ошибки  $\sigma_{\text{GSC}}$  в каталоге GSC 2.3 оказались в диапазоне  $0^m25$ – $0^m60$  (медиана —  $0^m43$ ). Величина  $\sigma_{\text{SDSS}}$  составила  $0^m01$ – $0^m85$  (медиана —  $0^m01$ ).

Для поиска переменности в ближнем инфракрасном диапазоне мы использовали информацию о звездных величинах в полосе  $K$  из каталогов 2MASS, LAS UKIDSS и GPS UKIDSS.

В обзоре 2MASS наблюдения в трех полосах  $J$ ,  $H$ ,  $K_s$  проведены с 1997 по 2001 гг. Предельная величина в фильтре  $K$  составляет  $14^m3$  при уровне обнаружения  $10\sigma$ . Фотометрические ошибки для объектов нашего списка составляют  $0^m02$ – $0^m21$  (медиана примерно  $0^m11$ ).

Обзор UKIDSS проводится на 3.8-м телескопе UKIRT с 2005 г. по настоящее время. Он включает в себя четыре обзора, отличающихся площадью покрытия и глубиной. В самом большом по площади обзоре, LAS UKIDSS, используются фильтры  $Y$ ,  $J$ ,  $H$ ,  $K$ . Предел обнаружения в полосе  $K$  составляет  $18^m4$ . Обзор в плоскости Галактики UKIDSS GPS базируется на наблюдениях в полосах  $J$ ,  $H$ ,  $K$  с пределом  $K = 19^m0$ . В этом фильтре производится три прохода для определения переменности объектов и измерения собственных движений. Фотометрические ошибки обзоров UKIDSS для рассматриваемых объектов —  $0^m01$ – $0^m27$  (медиана приблизительно  $0^m07$ ).

Поскольку фотометрические системы обзоров 2MASS и UKIDSS различаются, для приведения их к одной системе использовалась следующая формула [74]:

$$K_{\text{UK}} = K_{2\text{M}} - 0.081 \times (H_{2\text{M}} - K_{2\text{M}}), \quad (6)$$

где  $K_{2\text{M}}$  и  $H_{2\text{M}}$  — звездные величины в полосах  $H$  и  $K$  из каталога 2MASS,  $K_{\text{UK}}$  — переведенная в систему UKIDSS звездная величина в фильтре  $K$ .

**Таблица 3.** Звездные величины родительских галактик переменных радиоисточников в полосах  $R$  и  $K$

Name	SDSS1, mag	SDSS2, mag	N	UR1, mag	UR2, mag	SR1, mag	SR2, mag	GSC, mag	2K, mag	LK, mag	GK, mag	$V_{1R}$	$V_{2R}$	$V_R$	$V_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
J023155 <sup>V</sup>	20.36	20.09	4	—	19.85	—	20.88	20.67	—	16.64	—	3.4	0.4	1.7	—
J033226	21.04	20.89	6	—	—	—	—	—	—	15.97	—	0.8	—	0.8	—
J060612 <sup>V</sup>	20.08	—	1	—	—	21.14	20.77	—	—	—	—	—	0.9	3.5	—
J062207	—	—	0	18.60	18.33	18.69	18.71	18.26	—	—	16.02	—	0.9	0.9	—
J062310 <sup>V</sup>	—	—	0	18.85	17.83	19.49	18.87	18.05	14.70	—	15.03	—	3.2	3.2	3.6
J073357	—	—	0	18.67	19.15	18.70	19.10	19.44	—	—	—	—	1.3	1.3	—
J074239 <sup>V</sup>	—	—	0	17.01	16.07	17.20	17.54	16.52	14.72	—	—	—	3.1	3.1	—
J075314 <sup>V</sup>	20.48	20.48	2	—	18.54	20.01	19.62	19.26	—	—	—	0.01	0.9	3.9	—
J080757 <sup>N</sup>	18.03	18.03	3	17.78	17.78	18.06	17.99	18.00	15.81	—	—	0.2	0.7	0.9	—
J081218	18.63	18.6	2	18.52	18.51	—	—	18.69	—	—	—	1.7	0.3	0.4	—
J081626 <sup>NV</sup>	14.89	14.79	3	12.41	11.99	15.49	15.39	12.56	13.19	—	—	29.4	6.7	8.1	—
J083148 <sup>NVW</sup>	15.39	15.11	4	13.99	14.55	14.33	—	13.85	11.37	13.71	—	63.1	1.5	4.3	98.6
J091636 <sup>NV</sup>	16.63	16.50	5	15.19	14.50	17.31	16.86	15.54	14.25	14.60	—	17.3	5.4	6.5	4.0
J092355	19.91	19.84	5	19.84	19.59	19.89	19.74	19.46	—	16.63	—	1.5	0.7	0.9	—
J095218 <sup>NV</sup>	21.21	21.15	5	—	19.73	—	—	19.56	—	18.23	—	0.6	—	3.6	—

Таблица 3. (Продолжение)

Name	SDSS1, mag	SDSS2, mag	N	UR1, mag	UR2, mag	SR1, mag	SR2, mag	GSC, mag	2K, mag	LK, mag	GK, mag	$V_{1R}$	$V_{2R}$	$V_R$	$V_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
J101515	21.04	21.02	5	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—	0.2	—
J101603 <sup>VW</sup>	19.22	18.63	6	20.03	19.97	19.23	19.11	19.53	—	13.93	—	32.9	1.6	2.8	—
J103846 <sup>V</sup>	18.83	18.77	5	18.96	19.53	18.43	19.04	19.20	15.18	16.10	—	3.6	1.9	2.2	5.3
J103938 <sup>NV</sup>	16.79	14.85	5	12.05	10.39	15.75	14.90	11.05	13.14	13.86	—	355.6	10.7	16.0	6.8
J104117 <sup>NV</sup>	14.68	14.36	5	13.02	10.96	16.00	15.17	12.01	13.37	13.73	—	97.0	10.3	12.9	4.7
J104527	21.59	21.48	5	—	—	—	—	—	—	17.70	—	0.7	—	0.7	—
J104551	21.39	21.34	5	—	—	—	—	—	—	18.28	—	0.5	—	0.5	—
J105253 <sup>V</sup>	26.96	19.19	3	19.74	19.45	19.27	19.68	19.19	14.99	15.64	—	9.1	0.9	9.1	4.7
J105719	18.32	18.30	5	19.39	19.11	18.65	18.24	18.87	—	16.32	—	1.2	2.0	2.3	—
J110246 <sup>V</sup>	19.51	19.26	5	19.84	19.54	19.62	19.68	19.12	—	16.15	—	8.9	0.7	2.4	—
J112437 <sup>V</sup>	17.28	17.13	5	17.88	17.26	17.86	17.83	16.96	15.14	15.24	—	9.3	2.4	3.1	0.7
J114521 <sup>NV</sup>	18.78	18.77	5	19.32	18.67	18.62	18.41	18.46	—	—	—	1.1	2.2	3.0	—
J114631	19.75	19.71	5	19.59	19.67	19.41	19.22	19.43	—	17.46	—	0.9	0.8	1.1	—
J115248	22.52	22.52	2	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	0.01	—
J115336 <sup>V</sup>	18.37	18.18	7	19.21	18.90	18.66	18.41	18.68	15.18	15.51	—	10.7	1.5	2.4	2.0
J115851 <sup>V</sup>	21.55	20.98	7	19.07	—	—	—	—	—	17.88	—	6.3	—	8.2	—
J121328	22.19	22.15	4	—	—	—	—	—	—	17.73	—	0.1	—	0.1	—
J121852 <sup>NV</sup>	14.06	13.90	7	—	—	15.00	14.40	10.23	13.06	13.51	—	59.3	9.1	11.1	6.0
J123507	18.24	18.24	1	18.51	18.01	18.01	18.35	17.94	15.09	—	—	—	0.8	1.4	—
J123727	21.66	21.58	5	—	—	—	—	—	—	17.08	—	0.3	—	0.3	—
J123932 <sup>NVW</sup>	20.09	20.07	5	—	18.11	18.62	17.81	18.23	—	15.89	—	0.5	1.6	5.4	—
J124145	21.94	21.90	5	—	—	—	—	—	—	17.94	—	0.2	—	0.2	—
J125755 <sup>V</sup>	18.76	18.28	5	19.53	18.13	—	18.98	18.67	—	16.02	—	19.2	0.5	2.8	—
J130631	20.27	20.20	5	—	19.17	19.63	19.51	19.31	—	18.43	—	2.1	0.8	2.2	—
J132448	21.79	21.59	5	—	—	—	—	—	—	17.58	—	1.3	—	1.3	—
J133541 <sup>V</sup>	20.64	20.15	8	—	—	—	—	—	—	16.76	—	4.5	—	4.5	—
J133920 <sup>NV</sup>	18.92	18.75	6	19.01	19.07	18.62	18.45	18.89	—	16.95	—	10.4	0.9	1.0	—
J134201 <sup>NV</sup>	20.14	19.99	7	19.15	19.65	18.83	19.87	19.85	—	17.84	—	3.6	1.8	2.6	—
J134243 <sup>NV</sup>	16.17	16.13	5	14.85	14.63	17.15	16.57	15.20	13.57	—	—	7.7	5.3	6.8	—
J135050 <sup>N</sup>	20.05	20.03	5	19.70	19.65	19.81	—	—	—	17.10	—	0.6	0.4	1.3	—
J135137	22.37	22.34	4	—	—	—	—	—	—	17.92	—	0.1	—	0.1	—
J140730	19.98	19.94	5	—	20.35	20.23	—	20.37	—	17.48	—	1.1	0.3	0.7	—

Таблица 3. (Продолжение)

Name	SDSS1, mag	SDSS2, mag	N	UR1, mag	UR2, mag	SR1, mag	SR2, mag	GSC, mag	2K, mag	LK, mag	GK, mag	$V_{1R}$	$V_{2R}$	$V_R$	$V_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
J141920 <sup>V</sup>	17.27	17.25	5	16.32	17.28	16.21	17.09	17.40	15.30	14.96	—	2.3	2.3	2.8	1.6
J142104 <sup>V</sup>	18.24	18.15	5	18.85	18.44	18.89	19.02	18.22	—	15.91	—	3.0	1.5	2.0	—
J142409 <sup>NVW</sup>	17.47	17.46	5	18.52	17.06	18.30	16.90	17.12	14.68	13.55	—	0.9	3.1	3.9	10.7
J145032 <sup>V</sup>	19.22	19.05	5	—	—	—	—	—	—	—	—	6.4	—	6.4	—
J151141 <sup>NV</sup>	16.05	16.01	5	15.41	13.95	16.43	16.62	14.52	12.16	12.16	—	7.7	5.2	6.4	4.6
J155148	22.73	21.86	5	—	—	—	—	—	—	17.36	—	1.3	—	1.3	—
J160014 <sup>V</sup>	18.26	18.08	5	—	16.90	—	—	—	15.13	—	—	8.4	—	4.5	—
J161015	20.33	20.30	5	19.90	19.70	—	19.69	19.69	—	—	—	0.7	0.4	1.3	—
J161637	19.09	19.07	5	19.25	19.49	19.12	19.14	19.17	—	—	—	1.0	0.6	0.8	—
J163106	22.03	22.03	2	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	0.01	—

<sup>N)</sup> В NED имеются сведения об оптической переменности.

<sup>V)</sup> Величина хотя бы одного из параметров, характеризующих переменность, больше 2.5.

<sup>W)</sup> В каталоге WISE объект отмечен как переменный.

В таблице 3 приведены звездные величины в фильтрах  $R$  и  $K$  для 57 переменных радиоисточников из используемых каталогов оптического и инфракрасного диапазонов.

В колонке (1) приводится краткое имя источника (Jhhmmss). Символом «N» отмечены объекты, для которых в NED имеются сведения об оптической переменности, «V» — отмечены родительские объекты исследуемых радиоисточников, у которых хотя бы один из параметров  $V_{1R}$ ,  $V_{2R}$ ,  $V_R$  и  $V_K$ , вычисленных по формуле (5), превышает 2.5, «W» — в каталоге WISE объект отмечен как переменный с большой вероятностью; (2), (3) — звездная величина в полосе  $r$  из базы данных SDSS, переведенная в величину в полосе  $R$ , или, если у объекта больше одной эпохи наблюдения, максимальная и минимальная величины; (4) — количество эпох наблюдений в SDSS; (5), (6) —  $R_1$ - и  $R_2$ -величины из USNO-B1; (7), (8) —  $R$ -величины для двух эпох из каталога SSS; (9) —  $R$ -величина из каталога GSC 2.3; (10), (11), (12) — звездная величина в полосе  $K$  из каталогов 2MASS, LAS UKIDSS и GPS UKIDSS соответственно; (13), (14), (15), (16) — коэффициенты переменности:  $V_{1R}$  — по данным обзора SDSS;  $V_{2R}$  — USNO-B1, SSS и GSC 2.3;  $V_R$  — по всем оптическим данным;  $V_K$  — по каталогам инфракрасного диапазона 2MASS, LAS UKIDSS и GPS UKIDSS.

Родительские объекты исследуемых радиоисточников, у которых хотя бы один из коэффици-

ентов переменности  $V_{1R}$ ,  $V_{2R}$ ,  $V_R$  и  $V_K$ , вычисленных по формуле (5), превышает 2.5, мы включили в подвыборку источников, заподозренных в переменности в оптическом и/или инфракрасном диапазонах.

Пятнадцать объектов из списка переменных радиоисточников отмечены в базе данных NED как переменные в оптическом диапазоне, причем из них только у J080757.60+043234.6 и J135050.06+045148.9 вычисленные нами коэффициенты переменности меньше 2.5. Эти объекты также были отнесены к подвыборке источников, у которых есть вариации блеска еще и в оптическом диапазоне.

Таким образом, из 73 радиопеременных источников у 35 наблюдается переменность и в оптическом, и/или в инфракрасном диапазонах. С учетом присущих каталогам ошибок фотометрии медианная величина амплитуды изменения блеска рассматриваемых объектов составляет  $1^m0$  для USNO-B1, SSS и GSC 2.3,  $0^m15$  для SDSS и  $0^m36$  для 2MASS и обзоров UKIDSS.

Из нашего анализа следует, что все родительские галактики переменных радиоисточников с блеском в интервале звездных величин  $R = 13^m - 18^m$  оказались переменными в оптическом диапазоне. Для объектов слабее  $18^m$ , но ярче  $21^m$  доля оптически переменных объектов снижается до 50%–70%. Среди еще более слабых

объектов ( $R \gtrsim 21^m$ ) переменность по данным каталогов не обнаружена. Уменьшение доли оптически переменных объектов при снижении блеска связано с наблюдательной селекцией из-за недостаточной глубины обзоров и отсутствия систематических наблюдений слабых объектов.

#### 4. СВОЙСТВА ПЕРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ, ОБНАРУЖЕННЫХ В ОБЗОРАХ «ХОЛОД»

В выборке радиоисточников, которую мы исследовали на предмет переменности, не накладывались ограничения ни на угловые размеры источников, ни на спектральные индексы. Она ограничена глубиной обзоров, которая составляет 10–15 мЯн на 3.94 ГГц. Всего в интервале прямых восхождений  $2^h \leq RA_{2000} < 17^h$  было обнаружено 73 источника со значительными вариациями потока. 55 из них входят в каталог RCR, три обнаружены дополнительно в диапазоне  $7^h \leq RA_{2000} < 17^h$  и пятнадцать — в диапазоне  $2^h \leq RA_{2000} \leq 7^h$ . Следует отметить, что у половины этих источников переменность подтверждается (см. таблицу 1) дополнительной информацией из базы данных NED, из программы мониторинга активных АЯГ на телескопе OVRO, а также большей, чем в NVSS, интегральной плотностью потока в FIRST и, косвенно, типом радиоспектра, поскольку у FSR-, GPS- и HFP-объектов чаще наблюдаются вариации потока излучения, чем у источников с другим типом спектра.

По оценкам радиосветимости все источники каталога относятся к «радиогромким» ( $L_{1.4} \gtrsim 10^{21} \text{ Вт Гц}^{-1}$ ), 3% RCR-источников имеют характерную для галактик FR I-типа светимость  $L \lesssim 10^{24} \text{ Вт Гц}^{-1}$ , 37% — FR I/FR II-типа, а более 60% можно отнести к мощным радиогалактикам FR II-типа ( $L \gtrsim 10^{26.5} \text{ Вт Гц}^{-1}$ ). 52% переменных радиоисточников связано с галактиками, 40% — с квазарами и 8% — с АЯГ, тип которых не определяется из-за слабости блеска родительского объекта.

Как известно, чаще всего переменность в радиодиапазоне наблюдается у точечных радиоисточников с плоским спектром. Это подтверждается и для нашей выборки переменных объектов, обнаруженных в интервале  $2^h < RA < 17^h$ , где 62% из них можно отнести к точечным, 13% имеют морфологию CJ, CL, T, DC, т.е. имеют ядро, и 25% — двойные.

Для всего каталога RCR ( $7^h \leq RA < 17^h$ ) 44% источников классифицируются как точечные, 18% относятся к морфологическим типам с ядром и 36% — к двойным. Если сравнивать соотношение

морфологических типов только для тех источников каталога RCR, которые исследовались на предмет переменности<sup>2</sup>, то среди непостоянных объектов 39% — точечные, 18% — с ядром и 43% — двойных, а для 58 переменных источников из этого же интервала прямых восхождений  $7^h \leq RA < 17^h$  — соответственно 56%, 18% и 26%. Таким образом, среди переменных источников встречаются разные морфологические типы, хотя точечных и источников с ядром на 10–17% больше, чем среди непостоянных.

Если рассматривать угловые размеры переменных радиоисточников нашей выборки, то в основном это компактные объекты. Так, у 73% радиоисточников  $LAS < 22''5$ , т.е. они не разрешаются в обзоре NVSS и, по большей части, в обзоре FIRST или на других картах более высокого разрешения.

23% из них (см. таблицу 1) имеют «выпуклые» спектры с максимумом на частотах от 0.5 МГц (GPS, MPS) до десятков ГГц, что, согласно исследованиям кинематики джетов [75] и радиационных потерь [76], свидетельствует о «молодости» радиоисточника и соответствует возрасту порядка  $10^3$ – $10^5$  лет. Учитывая отрицательную корреляцию между линейным размером и частотой пика спектра [77], источники HFP-типа считаются еще более молодыми объектами с возрастом всего приблизительно  $10^2$ – $10^3$  лет [78]. Отметим, что среди источников каталога RCR такие особенности радиоспектра встречаются у 2–3% объектов.

В нашей выборке имеются и протяженные объекты (11%). Это восемь источников с  $LAS > 50''$  и линейными размерами от 100 до 500 кпк, причем их родительские объекты по спектральным или фотометрическим данным классифицируются как галактики. Половина из протяженных источников имеет ядро, два двойных с ядром и два тройных. Один источник — двойной, но для него есть только карты NVSS, которые не позволяют уточнить классификацию. Еще три источника имеют искаженные доли («winged»). Радиоисточники, чей морфологический тип определяется как тройной и двойной с ядром, включая источники, имеющие S-, X-образную форму или крылья («winged»), выделяются тем, что такая структура может порождаться повторной фазой активности ядра галактики в

<sup>2</sup>Всего на переменность было исследовано 262 источника RCR каталога, у которых имелись данные о плотностях потоков в двух и более обзорах. Источники, которые плохо разделялись на записях, так называемые «бленды», а также объекты, имевшие с точностью до погрешностей измерений одинаковые плотности потоков, нами не рассматривались. У 204 объектов переменность не была обнаружена.

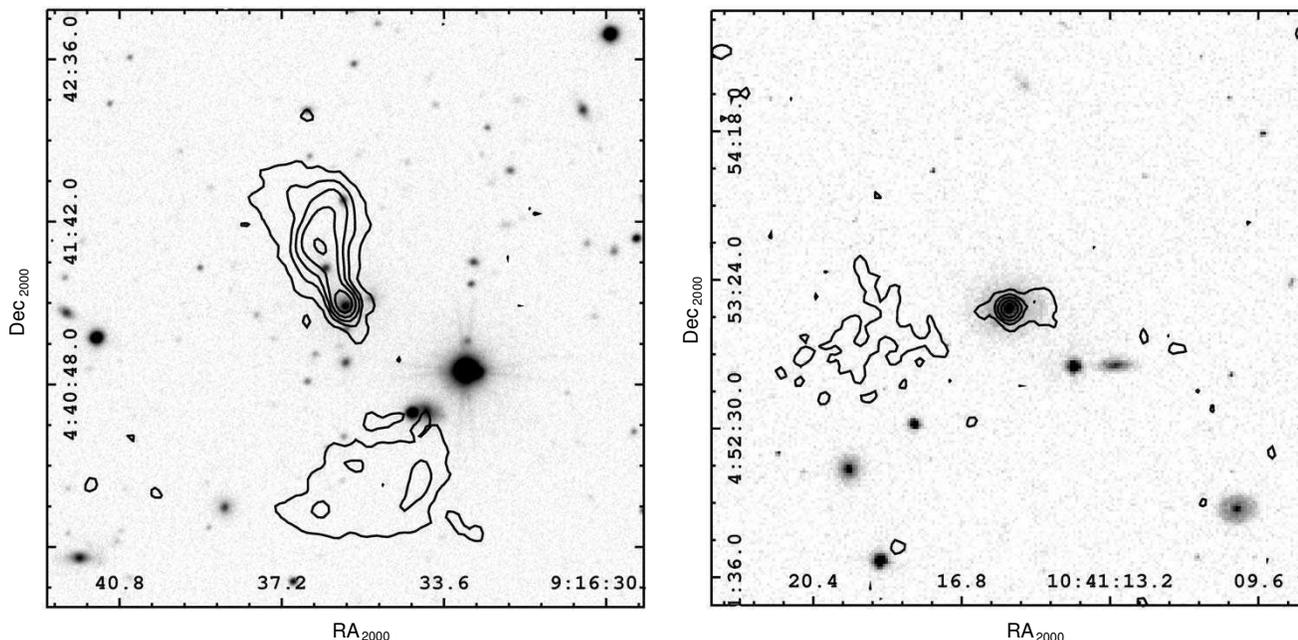


Рис. 1. Пример протяженных переменных источников. Слева — RCR J091636.22+044132.0, справа — RCR J104117.65+045306.4.

радиодиапазоне [79, 80], причем это может быть связано с переориентацией джетов [6].

На рис. 1 приведены изображения двух тройных источников RCR J091636.22+044132.0 (слева) и RCR J104117.65+045306.4 (справа), где на область в  $r$ -фильтре из SDSS наложены контуры карт обзора FIRST. У них присутствуют явно остаточные от завершившейся фазы активности в радиодиапазоне доли, а также яркое ядро, указывающее на возможно новую фазу.

У всех восьми протяженных переменных источников в окружении присутствуют соседи, близость которых в ряде случаев подтверждается по спектральным или фотометрическим красным смещениям из обзора SDSS, или их родительские галактики включены в каталоги групп или скоплений галактик (см. таблицу 2 и комментарии к источникам). Одно из возможных объяснений их переменности по аналогии с работой [6] — изменение ориентации внутреннего джета, который не совпадает со сформированными джетами радиогалактики. Вероятно, что такие изменения в ряде случаев могли быть вызваны гравитационным взаимодействием с близким массивным соседом.

Повышенная плотность окружения встречается не только у протяженных источников. Как следует из таблицы 2 (колонка (5)), у 70% переменных источников наблюдаются близкие к родительским объектам соседи или асимметричная, клочковатая структура самих родительских объектов, возможно, из-за близкого неразрешающегося компаньона.

Таблица 4. Характеристики переменных источников, обнаруженных в обзорах «Холод», в зависимости от типа радиоспектра

Type	$N_{\text{obj}}$ , %	$\lg(L)$ , W Hz $^{-1}$	$z$	$M$ , mag	$m$ , mag	$\text{Var}_{\text{opt}}$ %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
USS	12	27.6	0.6	-20.7	22.1	—
SS	37	27.2	0.5	-22.4	21.5	41
FS	21	27.0	1.3	-25.4	19.3	80
IS	7	26.5	1.3	-24.8	20.5	20
PS	23	26.2	0.8	-24.5	19.1	65

Эти особенности отмечены при визуальной инспекции кадров SDSS и UKIDSS. Причем у 16% выявлены соседи, близость которых подтверждается спектральным или фотометрическим красным смещением из обзора SDSS или данными NED. Не исключено, что присутствие такого компаньона может влиять на амплитуду вариаций излучения.

Мы провели сравнение процентного отношения переменных источников в зависимости от типа спектра, а также медианных величин радиосветимости,  $z$ , звездных величин и доли переменных в оптическом диапазоне объектов для каждой группы. Результаты представлены в таблице 4, где в колонке (1) указан тип спектра: USS (Ultra

Steep Spectrum) — источники со спектральным индексом на  $3.94 \text{ ГГц} \leq -1$  ( $S_\nu \propto \nu^\alpha$ ), SS (Steep Spectrum) — спектральный индекс попадает в интервал  $-1 < \alpha \leq -0.5$ , FS (Flat Spectrum) —  $-0.5 < \alpha \leq 0.1$  и IS (Inverted Spectrum) —  $\alpha > 0.1$ , PS (Peak Spectrum) — радиоспектр с пиком в дециметровом или сантиметровом диапазонах, т.е. MPS, GPS и HFP; (2) — доля от общего числа переменных источников; (3) — логарифм радиосветимости на частоте  $1.4 \text{ ГГц}$  в  $\text{Вт Гц}^{-1}$ ; (4) — красное смещение; (5) — абсолютная звездная величина в фильтре  $r$ ; (6) — звездная величина в фильтре  $r$ ; (7) — доля источников с переменностью в оптическом и/или ИК-диапазоне.

Большинство объектов с ультракрутыми спектрами являются компактными радиоисточниками, и в нашей выборке они связаны только со слабыми галактиками ( $R \gtrsim 21^m$ ). В противоположность этому источники с инверсными спектрами отождествляются с квазарами (ярче  $R = 21^m$ ). Среди источников с плоскими спектрами большинство родительских объектов — квазары (62%), а среди источников с крутыми спектрами — галактики (70%). Отмечено достаточно большое количество объектов с завалом в радиоспектре, причем галактик и квазаров среди них поровну.

У переменных радиоисточников с ультракрутыми спектрами переменность в оптическом и/или ИК-диапазоне не обнаружена, скорее всего, из-за слабости блеска родительских объектов. Однако она отмечена у большинства объектов с плоскими спектрами, где источники отождествляются в основном с квазарами, у которых ядро больше открыто наблюдателю, а также у источников с завалом спектра (PS). Родительские объекты переменных источников с FS- и PS-спектрами в нашей выборке имеют по сравнению со всеми остальными более яркий блеск, и тем самым возможность обнаружения переменности в оптическом диапазоне по данным каталогов у них существенно выше.

## 5. НАБЛЮДАЕМЫЕ И ВНУТРЕННИЕ СВОЙСТВА ИСТОЧНИКОВ КАТАЛОГА RCR И УНИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ АЯГ

Прежде чем провести сравнение переменных и непостоянных RCR-источников, мы рассмотрели свойства радиоисточников и их родительских галактик для всего каталога.

Наша выборка близка по плотности потока и интервалам переменности к выборке из работы де Вриса и др. [81], где исследовались свойства переменных радиоисточников, обнаруженных по архивным данным обзора FIRST, но отличается более высокой частотой, на которой проводились

наблюдения, и существенно меньшей площадью обзора (примерно  $165^\circ$ ).

Мы разбили источники на шесть групп так, чтобы медианная плотность потока в каждой группе приблизительно удваивалась, и определили медианные величины, характеризующие группу.

Для большинства источников каталога RCR (около 80%) мы определили, опираясь в основном на данные обзора SDSS, а также обзоров WISE, LAS UKIDSS и баз данных NED и SIMBAD, тип родительского объекта — квазар или галактика. У половины RCR-источников известны спектроскопические или фотометрические красные смещения, что позволяет провести оценку радиосветимости и абсолютной звездной величины объектов.

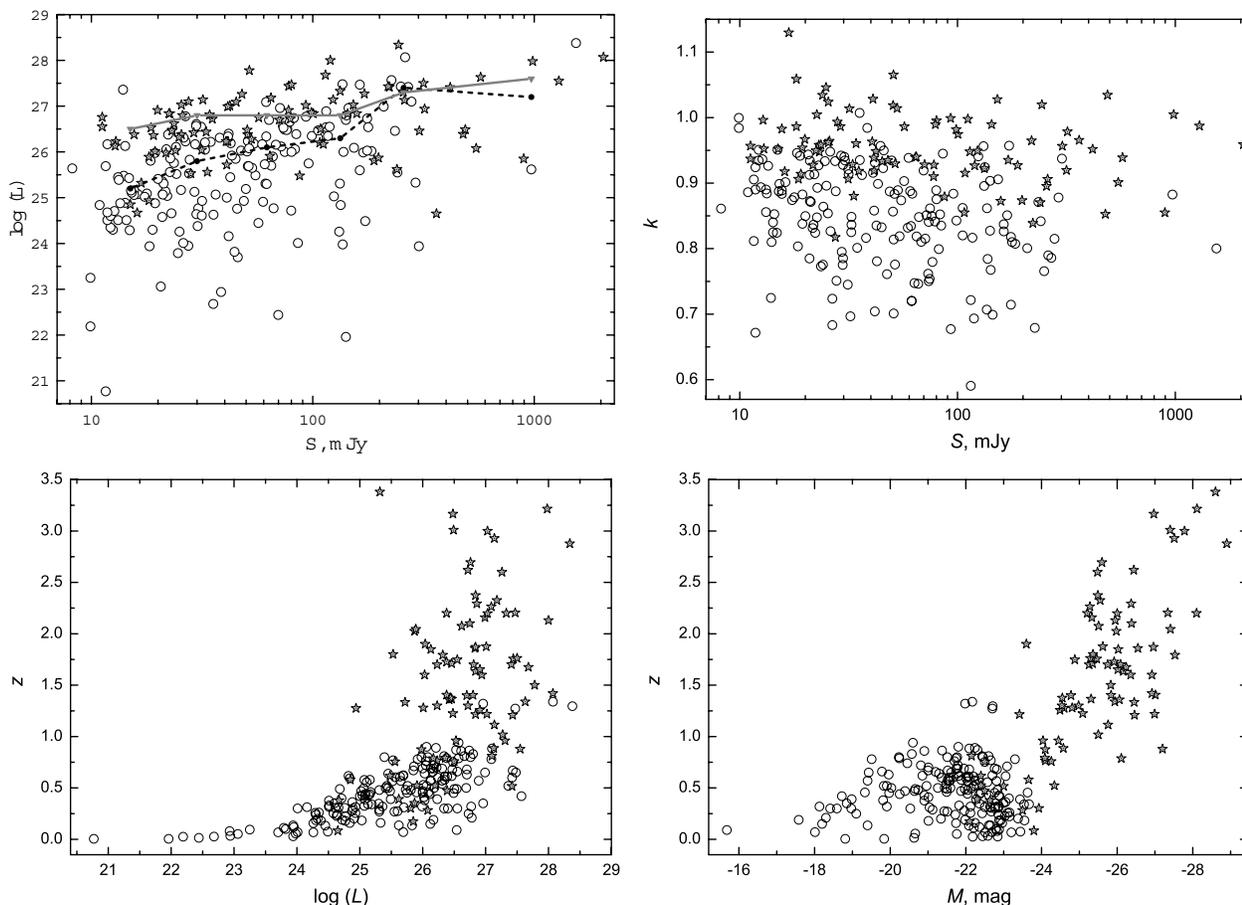
Результаты представлены в таблице 5, где в колонке (1) указаны диапазоны плотностей потока на частоте  $3.94 \text{ ГГц}$ ; (2), (3), (4) — общее число источников, число галактик и квазаров в группе соответственно. Если сумма галактик и квазаров не совпадает с общим числом источников в выборке, то эта разница соответствует числу АЯГ неопределенного типа; (5), (6), (7), (8) — медианная величина плотности потока, звездной величины в фильтре  $r$ , логарифма радиосветимости на частоте  $3.94 \text{ ГГц}$  ( $\text{Вт Гц}^{-1}$ ) и абсолютной звездной величины в фильтре  $r^3$  для всех источников группы; (9), (10) — логарифм радиосветимости на частоте  $3.94 \text{ ГГц}$  ( $\text{Вт Гц}^{-1}$ ) и абсолютная звездная величина в фильтре  $r$  для галактик группы; (11), (12) — то же самое для квазаров.

Каталог RCR на частоте  $3.94 \text{ ГГц}$  представляет собой полную по плотности потока выборку с пределом чувствительности  $S \sim 10\text{--}15 \text{ мЯн}$ . В нее попадают как достаточно близкие радиогалактики, так и далекие и яркие в радио и оптическом диапазонах квазары (рис. 2, внизу).

В среднем при уменьшении плотности потока снижается радиосветимость источников, однако этот спад у галактик круче (рис. 2, верхний ряд, слева), чем у квазаров. Число детектируемых галактик растет, а число квазаров по отношению к галактикам снижается. Абсолютная звездная величина галактик систематически ниже приблизительно на  $2^{m5}$  по сравнению с квазарами.

Источники с имеющейся оценкой радиосветимости были разделены на группы. Диапазоны радиосветимости выбирались так, чтобы численность в группах была примерно равной. При попадании на границу диапазона мы относили объект к выборке с большей радиосветимостью. Отметим, что в

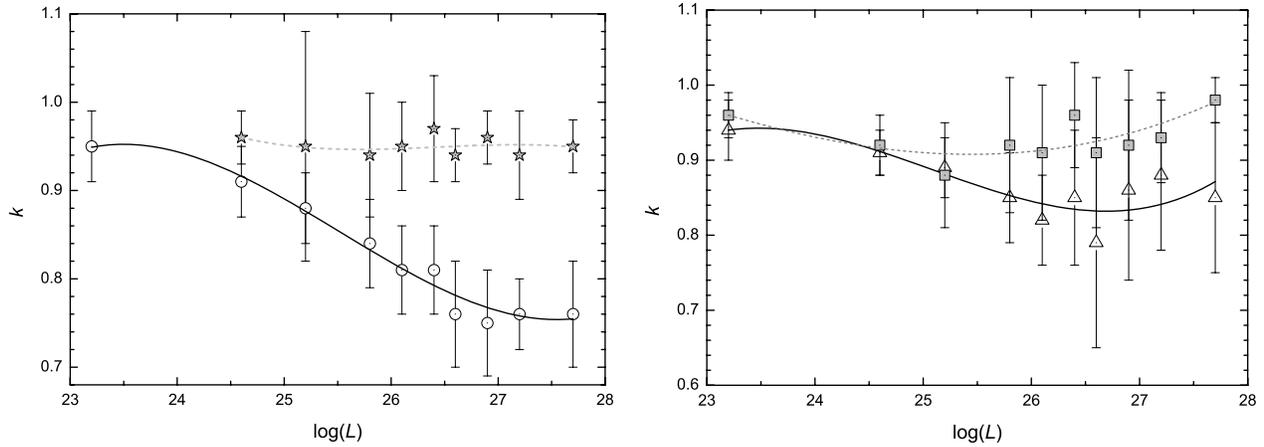
<sup>3</sup>Абсолютная звездная величина в фильтре  $r$  определена с помощью функции `fCosmoAbsMag`, имеющейся в базе данных SDSS.



**Рис. 2.** Вверху слева — логарифмическое распределение радиосветимости для 181 галактики (полые кружки) и 90 квазаров (заштрихованные звездочки) из каталога RCR с известными спектральными или фотометрическими оценками красных смещений по плотности потока на частоте 3.94 ГГц. Серой ломаной линией показана зависимость медианных величин плотности потока и светимости по шести выборкам (см. таблицу 5) для квазаров, черной пунктирной — для галактик. Вверху справа — распределение отношения  $k = -M_r / \lg(L_{3.94})$  абсолютной звездной величины в фильтре  $r$  к логарифму радиосветимости на частоте 3.94 ГГц в зависимости от плотности потока на той же частоте. Ось абсцисс для верхних рисунков — в логарифмической шкале. Внизу слева — распределение галактик и квазаров по радиосветимости и красному смещению. Внизу справа — по абсолютной звездной величине и красному смещению.

**Таблица 5.** Характеристики источников каталога RCR в группах по плотности потока на частоте 3.94 ГГц

Range $S$ , mJy	$N$ , obj	$N^G$ , obj	$N^Q$ , obj	$S$ , mJy	$m$ , mag	$\lg(L)$ , W Hz $^{-1}$	$M$ , mag	$\lg(L^G)$ , W Hz $^{-1}$	$M^G$ , mag	$\lg(L^Q)$ , W Hz $^{-1}$	$M^Q$ , mag
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
2100 – 8	545	262	141	30	21.5	26.4	–22.6	25.7	–22.0	26.8	–25.5
2100 – 477	10	2	8	970	18.9	27.6	–23.5	27.2	–22.7	27.6	–25.9
477 – 210	24	10	14	257	19.4	27.3	–23.0	27.4	–22.1	27.3	–25.3
210 – 95	61	33	18	133	20.9	26.6	–22.7	26.3	–21.5	26.8	–25.5
95 – 46	96	57	24	62	21.4	26.5	–22.2	26.1	–21.8	26.8	–25.6
46 – 22	159	71	40	30	21.7	26.4	–22.8	25.8	–22.2	26.8	–25.5
22 – 8	194	78	34	15	22.1	26.3	–22.3	25.2	–22.0	26.5	–24.9



**Рис. 3.** Слева — зависимость отношения  $k = -M_r / \lg(L_{3.94})$  от логарифма радиосветимости на частоте 3.94 ГГц для галактик и квазаров из каталога RCR. Пустыми кружочками показана медианная величина параметра  $k$  для каждого бина (см. таблицу 6) логарифма радиосветимости для галактик, серыми звездочками — для квазаров. Барами с ограничителями показан  $1\sigma$ -разброс величин. Справа — то же для источников с крутыми (пустые треугольники) и плоскими спектрами (серые квадратики). Линиями приведена аппроксимация полиномом 3 степени.

**Таблица 6.** Характеристики источников каталога RCR, разбитых на группы по радиосветимости на частоте 3.94 ГГц

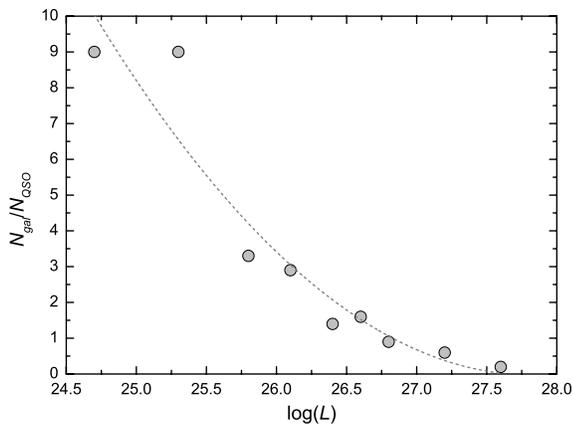
Range $\lg(L_{3.94})$ , W Hz <sup>-1</sup>	$N$ , obj	$N^G$ , obj	$N^Q$ , obj	$N_G/N_Q$	$\lg(L)$ , W Hz <sup>-1</sup>	$M$ , mag	$k^G$	$k^Q$	$k^{SS}$	$k^{FS}$	$z$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
28.5 – 27.5	32	4	20	0.2	27.6	-26.0	0.79	0.95	0.93	0.99	1.4
27.5 – 27.0	83	17	29	0.6	27.2	-25.3	0.77	0.94	0.92	0.94	1.2
27.0 – 26.75	79	20	24	0.9	26.8	-25.3	0.77	0.97	0.91	0.96	1.4
26.75 – 26.5	65	29	18	1.6	26.6	-21.5	0.78	0.93	0.79	0.96	0.9
26.5 – 26.25	55	23	17	1.4	26.4	-23.0	0.83	0.98	0.85	0.98	0.8
26.25 – 26.0	57	40	14	2.9	26.1	-21.8	0.82	0.95	0.84	0.95	0.7
26.0 – 25.5	56	40	12	3.3	25.8	-22.3	0.85	0.93	0.86	0.90	0.6
25.5 – 25.0	52	45	5	9.0	25.3	-22.3	0.88	0.88	0.89	0.88	0.4
25.0 – 24.4	60	54	6	9.0	24.7	-22.8	0.92	0.97	0.93	0.93	0.3
24.0 – 21.0	20	20	—	—	23.7	-22.4	0.95	—	0.95	0.94	0.06

двух крайних группах объектов оказалось меньше, чем в остальных.

Результаты подсчетов представлены в таблице 6, где в колонке (1) указан диапазон логарифма радиосветимости (Вт Гц<sup>-1</sup>) на частоте 3.94 ГГц; (2), (3) и (4) — общее число объектов, галактик и квазаров в группе соответственно, причем, если суммарное количество галактик и квазаров не совпадает с общим в группе, то разницу составляют АЯГ, чей тип не определяется из-за слабости оптического объекта; (5) — отноше-

ние числа галактик к числу квазаров в группе; (6), (7) — медианные величины логарифма радиосветимости на частоте 3.94 ГГц и абсолютной звездной величины в фильтре  $r$  в каждой группе; (8), (9) — медианные величины отношения  $k = -M_r / \lg(L_{3.94})$  для галактик и квазаров, соответственно; (10), (11) — то же отношение  $k$  для источников с крутыми ( $\alpha \leq -0.5$ ) и плоскими ( $\alpha > -0.5$ ) спектрами; (12) — медиана красного смещения  $z$  в группе.

Исходя из того, что оптическое и радиоизлуче-



**Рис. 4.** Отношение числа галактик к числу квазаров в каждой группе по радиосветимости на частоте 3.94 ГГц (штриховая линия — аппроксимация параболой).

ние активной галактики обусловлены процессами, генерируемыми «центральной машиной», и что ядро окружено затеняющим пылевым тором, можем предположить, что величина наблюдаемого оптического излучения определяется степенью этого затенения, в то время как радиоизлучение, генерируемое АЯГ, регистрируется полностью. Предположим, что отношение оптической светимости к радиосветимости можно принять за характеристику, определяющую степень затенения тором.

Подсчеты отношения абсолютной звездной величины к логарифму радиосветимости  $k = -M_r / \lg(L_{3.94})$  представлены в таблице 6 и отображены на рис. 3. Квазары демонстрируют достаточно постоянную величину  $k$ , близкую к единице и независимую от мощности радиоисточника (рис. 3, слева), у галактик же этот параметр меняется. У самых мощных источников он имеет минимальную величину, затем, начиная с некоторого значения, растет и достигает величины, которая наблюдается у квазаров.

На рис. 3 справа приведено сравнение параметра  $k$  для групп источников с крутыми и плоскими спектрами, где спектральный индекс можно было бы рассматривать в качестве еще одного индикатора ориентации. Здесь различие поведения параметра  $k$  «замыто» большим разбросом величин в каждой группе.

Как и в случае групп источников, разбитых по плотности потока, здесь при снижении радиосветимости меняется соотношение объектов в группе, число квазаров падает, а число галактик растет. Зависимость отношения числа галактик к числу квазаров от радиосветимости показана на рис. 4.

Разное для галактик и квазаров поведение параметра  $k$  согласуется с унифицированной моделью, т.е. ориентация тора влияет на наблюдаемые

проявления АЯГ. Однако получается, что у источников разной мощности радиоизлучения затеняющие свойства пылевого тора разные. Можно предположить, что они определяются геометрией тора и его способностью экранировать оптическое излучение от активного ядра. У мощных источников (до  $L \sim 10^{26.8}$  Вт Гц<sup>-1</sup>) тор, скорее всего, узкий и менее прозрачный для оптического излучения, что подтверждается (см. таблицу 6, рис. 4) низким отношением числа галактик к числу квазаров. Со снижением мощности радиоисточников растет число галактик, то есть геометрия тора и/или распределение пылевых облаков, образующих тор, меняется, сильнее экранируя активное ядро. Интересно, что при  $L \lesssim 10^{25}$  Вт Гц<sup>-1</sup> величины  $k$  у галактик и квазаров сближаются, исходя из чего можно предположить, что затеняющие свойства пылевого тора снижаются — меньше облаков и/или больше просветов.

Предположив, что спектральный индекс, определенный по интегральным величинам плотности потока источника, может служить характеристикой ориентации пылевого тора и центрального источника относительно наблюдателя, мы проанализировали поведение параметра  $k$  для источников с плоскими и крутыми спектрами. Как видно из рис. 3 (справа), некоторое различие для источников с плоскими и крутыми спектрами прослеживается, но оно «замыто» большим разбросом величин.

С помощью затеняющих свойств тора, меняющихся в зависимости от мощности радиоисточника, можно объяснить наблюдаемую картину в распределении квазаров и галактик для нашей полной по плотности потока выборке радиоисточников — каталогу RCR, а именно: среди далеких объектов, а это в основном мощные радиоисточники, много квазаров, среди более близких источников преобладают галактики. Но здесь также присутствует и эффект наблюдательной селекции — более яркие объекты видны на более далеких от наблюдателя расстояниях.

## 6. СРАВНЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ И НЕПЕРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ КАТАЛОГА RCR

В работе де Вриса и др. [81] при исследовании выборки 123 радиоисточников, которые демонстрируют значительные вариации потока на 1.4 ГГц по архивным данным FIRST 1995–2002 гг., и сравнении ее с контрольной выборкой непременных источников, отождествленных с SDSS, обнаружено, что доля квазаров как в выборке переменных, так и в выборке непременных объектов снижается при уменьшении плотности потока. Выборка переменных источников содержит существенно больше квазаров, чем выборка непременных объектов. По

**Таблица 7.** Параметры выборки непременных источников (NoVar) каталога RCR, переменных в радиодиапазоне (RVar) и переменных как в радио, так и в оптическом диапазоне (ROVar)

Sample	$N$ , obj	SS, %	FS, %	$p$	$p^{SS}$	$p^{FS}$	$k$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
NoVar	204	72	28	2.2	2.8	1.1	0.90
RVar	57	54	46	1.1	5.0	0.1	0.92
ROVar	35	43	57	0.9	5.0	0.3	0.96

сравнению с галактиками квазары почти в пять раз чаще оказываются переменными радиоисточниками.

Мы сравнили параметры 204 источников каталога RCR, у которых вариации плотностей потока не найдены, с параметрами обнаруженных переменных радиоисточников, которые попали в область покрытия каталога. На рис. 5 представлены распределения их плотностей потоков  $S_{3.94}$  и спектральных индексов  $\alpha_{3.94}$  на частоте 3.94 ГГц, абсолютной звездной величины  $M_r$  в фильтре  $r$  и логарифма радиосветимости на частоте 1.4 ГГц, а также распределение индекса активности в радиодиапазоне  $R_r$  и распределение по спектральным и фотометрическим красным смещениям. Как видно из диаграмм, переменные и непременные источники каталога RCR мало отличаются по своим параметрам, за исключением того, что выборка переменных источников ярче по плотности потока и радиосветимости.

Параметры непременных источников (NoVar) каталога RCR, переменных в радиодиапазоне (RVar), а также переменных как в радио, так и в оптическом диапазоне (ROVar), приведены в таблице 7. В колонке (1) NoVar обозначает выборку источников каталога RCR, у которых значительные вариации потока не обнаружены; RVar — источников, у которых обнаружена переменность; ROVar — переменных радиоисточников, у которых также обнаружены вариации блеска в оптическом диапазоне; (2) — число объектов в каждой выборке; (3), (4) — процентная доля источников с крутыми ( $\alpha \leq -0.5$ ) и плоскими ( $\alpha > -0.5$ ) спектрами соответственно; (5), (6), (7) — отношение числа галактик к числу квазаров во всей выборке и среди источников с крутыми и плоскими спектрами соответственно; (8) — медианная величина отношения  $k = -M_r / \log(L_{3.94})$ .

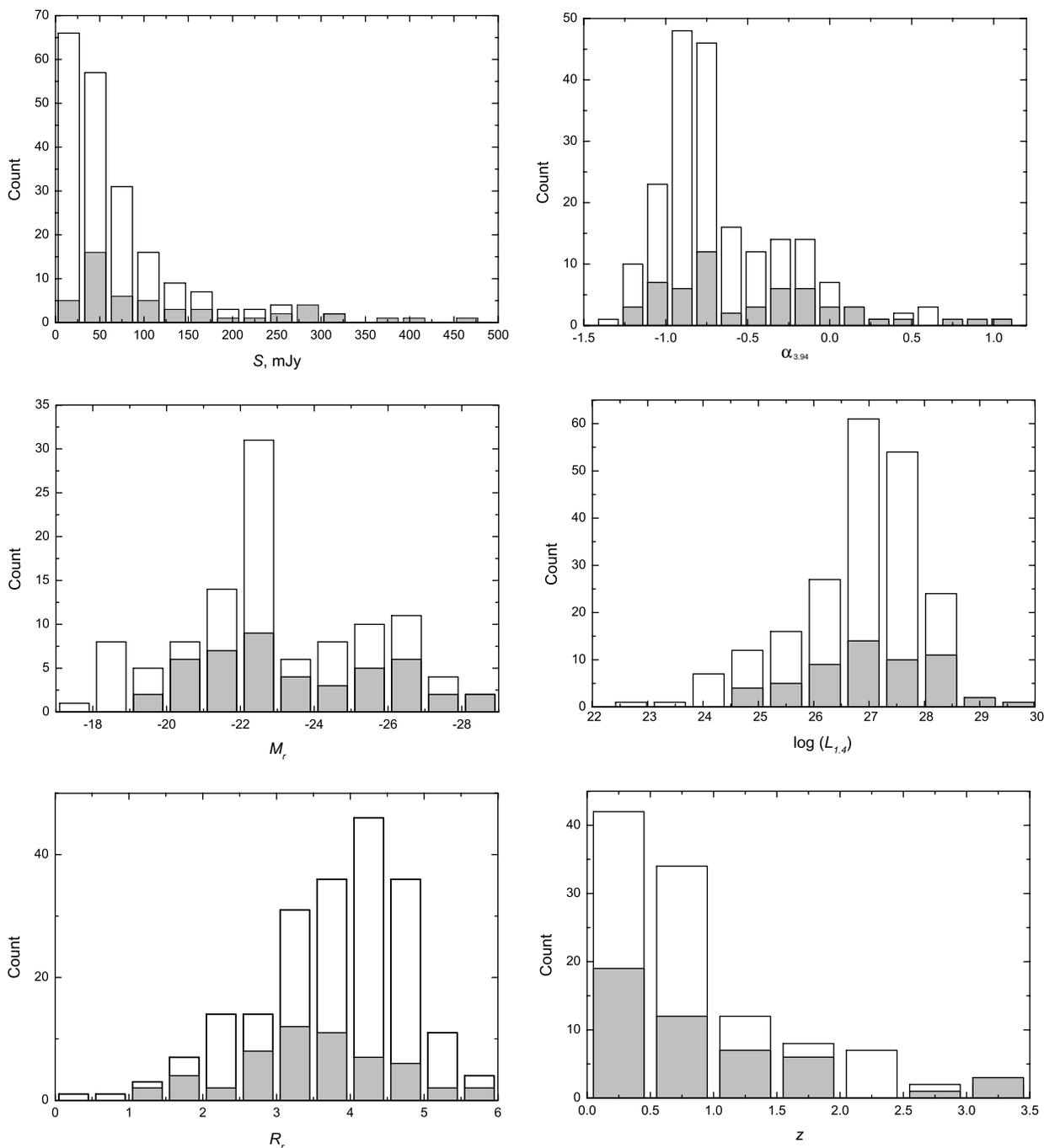
Из таблицы видно, что доля источников с крутыми спектрами выше всего в выборке непременных источников, а доля источников с плос-

кими спектрами — у источников, переменных в радио и оптическом диапазонах. Параметр  $k$ , или отношение абсолютной звездной величины к радиосветимости, принимает самое низкое значение у выборки непременных источников по сравнению с двумя остальными. В какой-то мере спектральный индекс является характеристикой ориентации тора и ядра относительно наблюдателя, а параметр  $k$  относится к характеристике затеняющих свойств тора. Снижение числа галактик по отношению к числу квазаров наблюдается от выборки непременных источников к выборке переменных источников. Оно еще меньше у источников переменных и в радио, и оптическом диапазонах. Получается, что в среднем у переменных источников ядро больше открыто наблюдателю.

На рис. 6 показано, как меняется доля переменных источников в зависимости от плотности потока. Для построения графика мы разбили выборку на бины (см. таблицу 5) и определили медианную плотность потока и число объектов для каждого бина. Кроме процентной доли переменных источников от числа RCR-объектов, среди которых производился поиск переменности (черная сплошная линия), на графике показана доля объектов, у которых наблюдаются вариации блеска в оптическом диапазоне (серая сплошная). Крайняя точка для плотностей потока ниже 20 мЯн не является надежной, поскольку в бин попал только один источник. Следует отметить, что переменность в оптическом диапазоне достаточно часто сопутствует переменности в радиодиапазоне.

Как мы полагаем, снижение количества обнаружений переменных источников с уменьшением плотностей потоков (рис. 6), скорее всего, связано с недостаточностью чувствительности и скважностью наблюдений. Не исключена и возможность уменьшения амплитуды вариаций из-за популяции не столь мощных в радиодиапазоне активных ядер галактик (см. рис. 2, верхний слева). Это снижает вероятность обнаружения переменности по имеющимся данным. Таким образом, для каталога RCR мы можем получить только нижнюю границу оценки доли переменных объектов как в радио, так и в оптическом диапазонах.

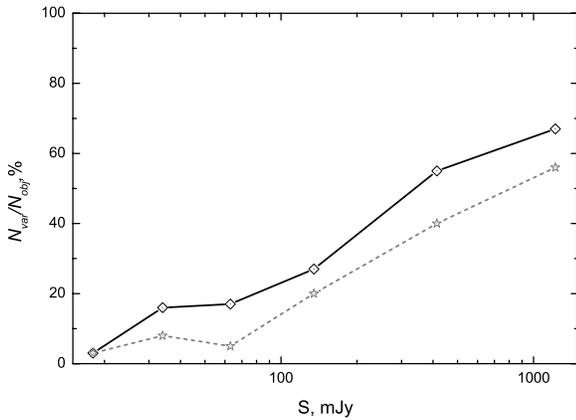
На рис. 7 (слева) приведено распределение источников исследуемой выборки по радиосветимости на частоте 1.4 ГГц и красному смещению. Переменные источники обозначены серыми звездочками, непременные — пустыми кружками. Справа на рисунке показана процентная доля в каталоге RCR переменных в радиодиапазоне источников (черная сплошная линия) и переменных в оптическом и радиодиапазоне (серая пунктирная линия) в зависимости от радиосветимости на частоте 1.4 ГГц.



**Рис. 5.** Сравнение параметров непременных и переменных (серый цвет) источников каталога RCR. Сверху вниз и слева направо: распределение источников по плотности потока на частоте 3.94 ГГц и распределение спектральных индексов на частоте 3.94 ГГц; абсолютные звездные величины в фильтре  $r$  и логарифм светимости на частоте 1.4 ГГц; индекс активности в радиодиапазоне и распределение по спектральным и фотометрическим красным смещениям (для 187 источников, из которых 48 переменны).

Из 262 объектов спектральное или фотометрическое красное смещение известно примерно у 60% источников (у 48 переменных и 108 непременных). Галактики и квазары достаточно равномерно распределяются на плоскости, за исключением

объектов низкой и высокой радиосветимости, где в первом случае из-за небольшой площади покрытия в каталог RCR попадает мало квазаров, а во втором случае — радиогалактик. Если в диапазоне радиосветимостей  $10^{25}$ – $10^{28}$  Вт Гц $^{-1}$  рассматривать до-



**Рис. 6.** Процентное отношение переменных в радиодиапазоне источников (черная сплошная линия) и переменных в радио и оптическом диапазонах объектов (серая штриховая линия) к общему числу RCR-источников, среди которых проводился поиск переменности, в зависимости от плотности потока на частоте 3.94 ГГц.

лю радиопеременных объектов, то она оказывается порядка 20%. Доля переменных объектов в оптическом и радио диапазонах почти совпадает внутри всего интервала светимостей, но при больших светимостях она снижается, скорее всего, из-за недостатка данных по слабым объектам.

### 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен поиск переменных радиоисточников по сохранившимся осредненным записям поисковых обзоров «Холод», проводившихся на РАТАН-600 в 1980–1994 гг. Исследовались те источники в интервале прямых восхождений  $2^h \leq RA_{2000} < 17^h$ , у которых имелись измерения плотности потока на частоте 3.94 ГГц в двух и более обзорах. На переменность не исследовались объекты, у которых оценки плотности потоков в разных обзорах совпадали с точностью до ошибок измерения, или они были зафиксированы только в одном обзоре, а также блендированные источники.

В интервале  $2^h \leq RA_{2000} < 7^h$  из 195 источников 145 объектов исследовались на переменность. Было обнаружено 15 переменных радиоисточников.

В области покрытия каталога RCR<sup>4</sup> ( $7^h \leq RA < 17^h$ ) [82] из 284 объектов<sup>5</sup>, исследованных на переменность, у 58 были обнаружены значительные вариации плотности потока с вероятностью  $p > 0.6$  по критерию  $\chi^2$ .

<sup>4</sup>Каталог RCR содержит 562 объекта. Если исключить бленды, то — 545.

<sup>5</sup>262 объекта входят в RCR-каталог и 22 найдены в этой полосе при повторной обработке записей [31].

У пяти источников<sup>6</sup>, входящих в программу мониторинга OVRO и/или отмеченных в NED как переменные, по нашим измерениям значительных вариаций плотности потока не обнаружено. С учетом этих пяти источников в исследуемой области зафиксировано 78 переменных объектов, что составляет около 10% от общего числа источников, зарегистрированных в интервале  $2^h \leq RA_{2000} < 17^h$ , или 18% от количества объектов (429), которые исследовались на переменность. Это совпадает с оценками приблизительно 10–30% при поиске радиопеременности по архивным данным [81, 83].

Первые оценки переменности источников на РАТАН-600 были получены в работе Горшкова и др. [83] по наблюдениям в обзорах, проводившихся лабораторией ГАИШ в течение семи лет на частотах 4 и 7 ГГц, где из 180 объектов с интегральной плотностью потока более 200 мЯн доля переменных составила 30%. Если рассматривать яркие переменные источники из нашего списка с  $S_{3.94 \text{ ГГц}} \gtrsim 200 \text{ мЯн}$ , а это 17 из 36 ярких объектов каталога RCR ( $7^h < RA_{2000} < 17^h$ ) или 17 из 31, исследовавшихся на переменность в этом диапазоне прямых восхождений, то доля переменных составит соответственно 47% и 55%. Однако, если учесть источники в интервале прямых восхождений  $2^h \leq RA_{2000} \leq 7^h$  (16 объектов с  $S_{3.94 \text{ ГГц}} \gtrsim 200 \text{ мЯн}$ ), то получим порядка 30%, что совпадает с оценками Горшкова и др. [83].

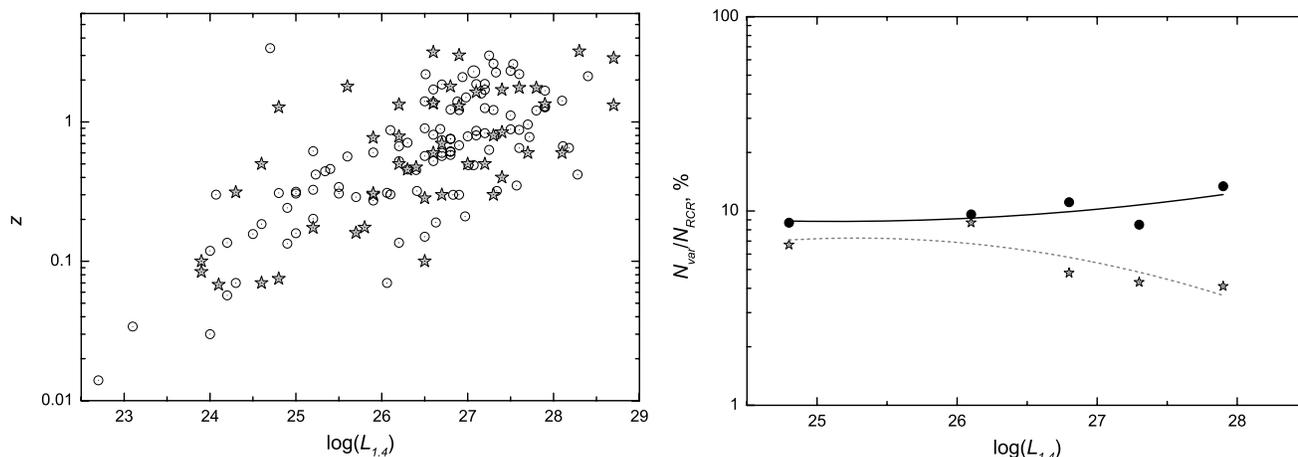
Радиосветимости исследуемой выборки переменных источников на 1.4 ГГц попадают в диапазон  $10^{24.5} - 10^{29.5} \text{ Вт Гц}^{-1}$ , т.е. все эти объекты являются мощным радиоисточниками. Среди них галактик (52%) немного больше, чем квазаров (40%). Объектов с крутыми спектрами ( $\alpha_{3.94 \text{ ГГц}} \leq -0.5$ ) несколько больше (56%), чем с плоскими<sup>7</sup>. У переменных источников встречаются самые разные морфологические типы, хотя точечных и источников с ядром на 10–17% больше, чем у неперемных объектов.

Эволюционные стадии мощных внегалактических источников связаны с их линейными размерами, причем возраст источников, имеющих пик в спектре в дециметровом и сантиметровом диапазонах, оценивается примерно в  $10^5 - 10^2$  лет, а таких в нашей выборке переменных источников — 23%.

Десятая часть переменных объектов не являются компактными и имеют значительные угловые и линейные размеры (от 100 до 500 кпк), причем

<sup>6</sup>RCR J090111.84+044858.9, RCR J155035.26+052710.6, RCR J165833.47+051515.6, RC J0433+0520, RC J0505+0459.

<sup>7</sup>На частоте 1.4 ГГц доля источников с крутыми спектрами немного ниже — 52%.



**Рис. 7.** Слева — распределение источников исследуемой выборки по логарифму светимости  $L$  на частоте 1.4 ГГц и красному смещению  $z$ . Переменные источники обозначены заштрихованными звездочками, непременные — пустыми кружками. Справа — процентная доля в каталоге RCR переменных в радиодиапазоне источников (черная сплошная линия, черные кружки) и переменных в радио и оптическом диапазонах (серая штриховая линия, звездочки).

в морфологической структуре есть особенности, которые, скорее всего, порождаются повторной активной фазой радиисточника. Все протяженные источники отождествляются с галактиками, у которых есть соседи. Одно из возможных объяснений их переменности по аналогии с работой [6] — изменение ориентации внутреннего джета, не совпадающего со сформированными джетами радиогалактики. Вероятно, что такие изменения в ряде случаев могли быть вызваны гравитационным взаимодействием с близким массивным соседом.

У половины переменных радиисточников обнаружена переменность в оптическом и/или инфракрасном диапазонах, причем все родительские объекты ярче  $R = 18^m$  оказались переменными в оптическом диапазоне. Доля переменных родительских объектов снижается у более слабых в оптическом диапазоне источников, что, скорее всего, связано с недостаточной глубиной обзоров.

Статистические подсчеты, выполненные для всего каталога RCR, разбитого на группы по плотности потока, показали, что с уменьшением плотности потока в целом снижается радиосветимость источников, однако этот спад у галактик круче, чем у квазаров. При более низких плотностях потока источников и снижении блеска их родительских объектов число квазаров по отношению к галактикам снижается. По абсолютной звездной величине квазары систематически ярче галактик приблизительно на  $2^m$ . Наблюдательная селекция такова, что в полную по плотности потока выборку, которой является каталог RCR на частоте 3.94 ГГц при пределе чувствительности  $S \sim 15$  мЯн, попадают как достаточно близкие радиогалактики, так и далекие и яркие в радио и оптическом диапазонах квазары.

Полагая, что излучение активной галактики определяется процессами, генерируемыми центральной машиной, а ядро окружено пылевым тором, можем предположить, что наблюдаемое количество оптического излучения зависит от того, в какой мере тор затеняет центральный источник, а радиоизлучение, генерируемое активным ядром, регистрируется полностью. Отношение оптической светимости к радиосветимости можно отнести к характеристике затеняющего фактора тора. Для проверки были использованы источники каталога RCR с известным типом родительского объекта и красным смещением (примерно половина объектов каталога), что позволило произвести оценку их радиосветимости и абсолютной звездной величины.

Было проанализировано, в какой мере отношение абсолютной звездной величины к логарифму радиосветимости,  $k = -M_r / \lg(L_{3.94})$ , взятое с обратным знаком, различается у галактик и квазаров. Обнаружено, что квазары демонстрируют достаточно постоянную величину этого отношения  $k \approx 0.94$ , не зависящую от мощности радиисточника, а у галактик оно меняется от 0.77 до 0.92. У самых мощных радиогалактик параметр  $k$  имеет минимальную величину, затем, по мере снижения радиосветимости, начиная с некоторого значения, растет и достигает величин, наблюдаемых у квазаров.

Разное поведение отношения  $k$  у галактик и квазаров показывает, что имеется связь с затеняющими характеристиками тора. Зависимость этого параметра от радиосветимости у радиогалактик указывает на то, что у источников разной мощности радиоизлучения затеняющие свойства пылевого тора разные. Полагаем, что они определяются как геометрией тора, так и его способно-

стью экранировать оптическое излучение активно-го ядра. Хотя для учета наблюдательной селекции это предположение требует проверки на более репрезентативной выборке. У мощных источников ( $L > 10^{26.8}$  Вт Гц<sup>-1</sup>) тор экранирует большую часть ядра и имеет угол раскрыва больше 45°. В нашей выборке на это дополнительно указывает низкая доля галактик в сравнении с квазарами среди мощных радиисточников. Со снижением мощности эта доля растёт, то есть угол раскрыва тора уменьшается, и он экранирует центральный источник в большей степени. Интересно, что при  $L \lesssim 10^{25}$  Вт Гц<sup>-1</sup> величины  $k$  у галактик и квазаров сближаются, из чего можно предположить, что оптическая толщина тора падает — меньше облаков и больше просветов. При сравнении параметра  $k$  для групп источников с крутыми и плоскими спектрами также прослеживается его разное поведение, хотя оно «замыто» большим разбросом величин в каждой группе.

Сравнение источников каталога RCR, у которых не обнаружены значительные вариации плотности потока, с переменными радиисточниками, а также с теми из них, у которых, по данным каталогов, есть вариации блеска в оптическом и/или инфракрасном диапазонах, показало, что медианная величина  $k$ , а также доля источников с плоскими спектрами растёт от первой группы к последней. Если рассматривать это как проявление ориентации пылевого тора и его затеняющих характеристик, то можно заключить, что ядро переменных источников больше открыто наблюдателю.

Доля переменных источников среди объектов каталога RCR с известными красными смещениями сохраняется на уровне примерно 10% в диапазоне радиосветимости на частоте 1.4 ГГц от  $10^{25}$  до  $10^{28}$  Вт Гц<sup>-1</sup>, а если рассматривать выборку, которая исследовалась на радиопеременность, то она составляет 20%. Почти на том же уровне находится доля объектов, переменных как в радио, так и в оптическом диапазонах. Она снижается лишь на больших светимостях (больше  $10^{28}$  Вт Гц<sup>-1</sup>), скорее всего, из-за эффектов селекции в видимом диапазоне. Переменность в радиодиапазоне сопровождается в большинстве случаев переменностью в оптическом диапазоне для достаточно ярких в оптике ( $R < 18^m$ ) родительских объектов.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 14-07-00361. Работа выполнялась при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракт 14.518.11.7054). В исследованиях использовались средства доступа к каталогам Vizier, база данных

SIMBAD (CDS, Страсбург, Франция), а также база данных внегалактических объектов NED (NASA/IPAC Extragalactic Database), поддерживаемая лабораторией JPL Калифорнийского технологического университета по контракту с NASA. Авторы выражают благодарность рецензенту за ценные замечания, которые существенно улучшили качество изложения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. P. Marscher and W. K. Gear, *Astrophys. J.* **298**, 114 (1985).
2. M. Camenzind and M. Krockenberger, *Astron. and Astrophys.* **255**, 59 (1992).
3. J.-L. Gomez, *Lecture Notes Phys.* **589**, 169 (2002).
4. M. Villata and C. M. Raiteri, *Astron. and Astrophys.* **347**, 30 (1999).
5. M. Villata, C. M. Raiteri, A. Sillanpaa, and L. O. Takalo, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **293**, L13 (1998).
6. X. Chen, J.P. Rachen, M. López-Caniego, et al., *Astron. and Astrophys.* **553**, A107 (2013).
7. M. Tornikoski, E. Valtaoja, H. Terasranta, et al., *Astron. and Astrophys.* **289**, 673 (1994).
8. V. N. Belov, V. A. Hagen-Thorn, S. G. Marchenko, *Astrophysics* **30**, 7 (1989).
9. C. M. Raiteri, M. Villata, H. D. Aller, et al., *Astron. and Astrophys.* **377**, 396 (2001).
10. M. T. Hanski, L. O. Talalo, and E. Valtaoja, *Astron. and Astrophys.* **394**, 17 (2002).
11. F. M. Rieger, *Astrophys. Space Sci.* **309**, 271 (2007).
12. J. B. Hutchings, S. C. Morris, A. C. Gower, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 642 (1994).
13. S. A. Baum and T. Heckman, *Astrophys. J.* **336**, 681 (1989).
14. S. A. Baum and T. Heckman, *Astrophys. J.* **336**, 702 (1989).
15. S. Rawlings, R. Saunders, S. A. Eales, and C. D. Mackay, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **240**, 701 (1989).
16. S. Rawlings and R. Saunders, *Nature* **349**, 138 (1991).
17. C. J. Willott, S. Rawlings, K. M. Blundell, and M. Lacy, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **309**, 1017 (1999).
18. R. Antonucci, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **31**, 473 (1993).
19. P. D. Barthel, *Astrophys. J.* **336**, 606 (1989).
20. C. M. Urry and P. Padovani, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **107**, 803 (1995).
21. A. Lawrence, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **252**, 586 (1991).
22. J. H. Krolik and M. C. Begelman, *Astrophys. J.* **329**, 702 (1988).
23. K. R. W. Tristram, K. Meisenheimer, W. Jaffe, et al., *Astron. and Astrophys.* **474**, 837 (2007).
24. M. Elitzur, *Astrophys. J.* **747**, L33 (2012).
25. Yu. N. Parijskij and D. V. Korolkov, *Itogi Nauki i Tekhniki, Seriya Astronomiia* **31**, 73 (1986).

26. Yu. N. Parijskij and D. V. Korolkov, *Sov. Sci. Rev. Astrophys. Space Rhys.* **5**, 39 (1986).
27. N. N. Bursov, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (SAO RAN, Nizhniy Arkhyz, 2003).
28. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova, *Astrophysical Bulletin* **67**, 318 (2012).
29. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova, *Astrophysical Bulletin* **68**, 418 (2013).
30. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova, *Astrophysical Bulletin* **70**, 34 (2015).
31. O. P. Zhelenkova and E. K. Majorova, *Astrophysical Bulletin* **71**, 14 (2016).
32. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astron. J.* **115**, 1693 (1998).
33. R. H. Becker, R. L. White, and D. J. Helfand, *Astrophys. J.* **450**, 559 (1995).
34. B. L. Fanaroff and J. M. Riley, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **167**, 31 (1974).
35. G. Miley and C. De Breuck, *Astron. Astrophys. Rev.* **15**, 67 (2008).
36. O. P. Zhelenkova, N. S. Soboleva, E. K. Majorova, and A. V. Temirova, *Astrophysical Bulletin* **68**, 26 (2013).
37. I. N. Reid, C. Brewer, R. J. Brucato, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **103**, 661 (1991).
38. S. G. Djorgovski, R. R. Gal, S. C. Odewahn, et al., in *Proc. 14th IAP Colloq. on Wide Field Surveys in Cosmology*, Ed. by S. Colombi and Y. Mellier (Editions Frontieres, Gif-sur-Yvette, 1998), p. 89.
39. C. P. Ahn, R. Alexandroff, C. Allende Prieto, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **211**, 17 (2014).
40. M. F. Skrutskie, R. M. Cutri, R. Steining, et al., *Astron. J.* **131**, 1163 (2006).
41. A. Lawrence, S. J. Warren, D. Almani, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **379**, 1599 (2007).
42. P. W. Lucas, M. G. Hoare, A. Longmore, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **391**, 136L (2008).
43. E. L. Wright, P. M. R. Eisenhardt, and A. K. Mainzer, *Astron. J.* **140**, 1868 (2010).
44. O. P. Zhelenkova, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (SAO RAN, Nizhniy Arkhyz, 2007).
45. O. P. Zhelenkova and A. I. Kopylov, *Astrophysical Bulletin* **63**, 346 (2008).
46. Yu. N. Parijskij, W. M. Goss, A. I. Kopylov, et al., *Astron. Astrophys. Transactions* **19**, 297 (2000).
47. Yu. N. Parijskij, A. I. Kopylov, A. V. Temirova, et al., *Astronomy Reports* **54**, 675 (2010).
48. S. E. Healey, R. W. Romani, G. Cotter, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **175**, 97 (2008).
49. V. L. Afanasiev, S. N. Dodonov, A. V. Moiseev, et al., *Astronomy Reports* **53**, 287 (2009).
50. A. Hewitt and G. Burbidge, *Astrophys. J. Suppl.* **69**, 1 (1989).
51. P. C. Hewett and V. Wild, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **405**, 2302 (2010).
52. F. N. Owen, M. J. Ledlow, and W. C. Keel, *Astron. J.* **109**, 14 (1995).
53. A. A. Berlind, J. Frieman, D. H. Weinberg, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **167**, 1 (2006).
54. J. L. Tonry and C. S. Kochanek, *Astron. J.* **119**, 1078 (2000).
55. K. Slinglend, D. Batuski, C. Miller, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **115**, 1 (1998).
56. R. Carballo, J. I. González-Serrano, C. R. Benn, and F. Jiménez-Luján, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **391**, 369 (2008).
57. V. Chavushyan, R. Mujica, A. G. Gorshkov, et al., *Astronomy Reports* **45**, 79 (2001).
58. S. Djorgovski, M. A. Strauss, H. Spinrad, et al., *Astron. J.* **93**, 1318 (1987).
59. A. E. Kimball and Ž. Ivezić, *Astron. J.* **136**, 684 (2008).
60. J. M. Comerford, K. Schluns, J. E. Greene, et al., *Astrophys. J.* **777**, 64 (2013).
61. E. Massaro, P. Giommi, C. Leto, et al., *Astron. and Astrophys.* **495**, 691 (2009).
62. P. L. Nolan, A. A. Abdo, M. Ackermann et al., *Astrophys. J. Suppl.* **199**, id. 31 (2012).
63. J. Hao, T. A. McKay, B. P. Koester, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **191**, 254 (2010).
64. M. Ackermann, M. Ajello, A. Albert et al., *Astrophys. J.* **771**, 57 (2013).
65. T. Yan, J. T. Stocke, J. Darling, et al., *Astron. J.* **144**, 124 (2012).
66. J. Q. Ge, C. Hu, J. M. Wang, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **201**, 31 (2012).
67. M.-P. Veron-Cetty and P. Veron, *Astron. and Astrophys.* **455**, 773 (2006).
68. D. G. Monet, S. E. Levine, B. Casian, et al., *Astron. J.* **125**, 984 (2003).
69. B. Lasker, M. G. Lattanzi, B. J. McLean, et al., *Astron. J.* **136**, 735 (2008).
70. N. C. Hambly, H. T. MacGillivray, M. A. Read, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **326**, 1279 (2001).
71. D. H. Morgan, *ASP Conf. Ser.* **84**, 137 (1995).
72. T. Pursimo, R. Ojha, D. L. Jauncey, et al., *Astrophys. J.* **767**, 14 (2013).
73. T. S. Chonis, S. Taylor, and C. M. Gaskell, *Astron. J.* **135**, 264 (2008).
74. P. C. Hewett, S. J. Warren, S. K. Leggett, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **367**, 454 (2006).
75. A. G. Polatidis and J. E. Conway, *Publ. Astron. Soc. Australia* **20**, 69 (2003).
76. M. Murgia, *Publ. Astron. Soc. Australia* **20**, 19 (2003).
77. C. P. O'Dea, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **110**, 493 (1998).
78. M. Orienti and D. Dallacasa, *ASP Conf. Ser.* **386**, 196 (2008).
79. C. C. Cheung, *Astron. J.* **133**, 2097 (2007).
80. F. K. Liu, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **347**, 1537 (2004).
81. W. H. de Vries, R. H. Becker, R. L. White, et al., *Astron. J.* **127**, 2565 (2004).
82. N. S. Soboleva, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, et al., *Astrophysical Bulletin* **65**, 42 (2010).

83. A. G. Gorshkov and V. K. Konnikova, *Astron. Zh.* **72**, 291 (1995).

## Observational Manifestations and Intrinsic Properties of the RCR Sources in Terms of a Unified Model

O.P. Zhelenkova and E.K. Majorova

We present a summary results of the study of radio sources showing significant variations of integral flux density using the data from the RATAN-600 surveys of 1980–1994 at a frequency of 7.6 cm. The majority of the detected variable sources have flat radio spectra, although there are also all other spectrum types found. Point and compact sources predominate, although all known morphological structures are found in the sample. Variability is detected both in quasars and galaxies. Using the catalog data, we found brightness variations in the optical and/or infrared ranges for a half of host objects of radio sources. We analyzed the properties of nonvariable and variable RCR sources. We compared the ratio of absolute magnitude to radio luminosity for sources with the active nucleus types determined from the optical data. It is found that this parameter is approximately the same for quasars with different radio luminosity. It is minimum for the strongest radio galaxies and grows up to the level characteristic of quasars with the decrease of radio luminosity. Considering that the ratio depends on obscuring properties of a dust torus, such behavior can be explained if we assume that the torus geometry and its optical depth depend on the source long. This parameter is slightly higher among variable sources than among nonvariable ones which counts in favor of the nucleus more open to an observer.

Keywords: *catalogues—surveys—radio continuum: galaxies*