

УДК 52-14/77(083.8)

ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ДАННЫМ ОБЗОРОВ “ХОЛОД”

© 2013 Е. К. Майорова^{1*}, О. П. Желенкова^{1,2**}

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Санкт-Петербургский Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, 197101 Россия

Поступила в редакцию 20 июня 2013 года; принята в печать 25 июня 2013 года

В работе осуществляется поиск переменных источников по данным обзоров, выполненных на радиотелескопе РАТАН-600 в 1980–1994 гг. на частоте 3.94 ГГц. Для проверки радиоисточников каталога RCR (RATAN Cold Refined) на переменность проводились количественные оценки индекса долговременной переменности V объектов, относительной амплитуды переменности V_χ , вероятности p по критерию χ^2 . Из порядка двухсот рассмотренных нами источников у 41 индекс долговременной переменности оказался положительной величиной, что указывает на их возможную переменность. Пятнадцать объектов можно считать достоверно переменными с вероятностью по критерию χ^2 $p > 0.98$, три из них имеют вероятность $p \geq 0.999$. У шести источников вероятность лежит в диапазоне $0.95 < p < 0.98$, у остальных двадцати объектов $0.73 \leq p < 0.95$. Двадцать четыре объекта из 41 переменны или возможно переменны в оптическом диапазоне, пять — известные переменные радиоисточники. Для источников с положительным индексом долговременной переменности построены кривые блеска и спектры.

Ключевые слова: каталоги—обзоры—радиоконтинуум: галактики

1. ВВЕДЕНИЕ

У многих радиоисточников наблюдается изменение плотности потока при регистрации в различные эпохи наблюдений. Эта переменность обусловлена как внешними причинами (мерцаниями), так и внутренними, которые связаны с процессами генерации излучения в самом источнике.

Переменные источники в радиодиапазоне связывают с различными классами объектов, а их переменность — с разными характерными временными масштабами. Переменное радиоизлучение наблюдается у галактик с активными ядрами (Active Galaxy Nuclear, AGN), микроквazarов, пульсаров, звезд. У некоторых AGN наблюдается внутрисуточная переменность (Intra-Day Variability, IDV) из-за мерцаний их очень компактных компонентов на неоднородностях среды, расположенной между наблюдателем и объектом. При этом изменения их плотностей потоков может колебаться от единиц до нескольких десятков процентов.

На масштабе от одного до нескольких месяцев изменение синхротронного излучения часто коррелирует с изменениями оптического и/или рентгеновского излучения из-за неравномерного темпа

аккреции и взаимодействия джета с окружающей средой в непосредственной близости от ядра. Переменность на масштабе нескольких лет может быть вызвана более существенными изменениями в темпе аккреции, разогреве вещества и переработке энергии в аккреционном диске. Долговременная переменность очень ярких AGN с потоками больше 1 Ян изучается систематически, но для более слабой популяции AGN таких исследований немного из-за недостатка наблюдательного материала. В то же время изучение радиопеременности источников с низкими плотностями потоков может оказаться уникальным инструментом в исследованиях эволюции AGN и природы этого феномена. Отметим, что почти все источники ярче нескольких мЯн, наблюдаемые в обзорах на частоте 1.4 ГГц, относятся к AGN.

Исследования переменности методом мониторинга списков ярких источников ведутся во многих обсерваториях мира, в том числе и в САО РАН на радиотелескопе РАТАН-600. Начиная с 1998 г., на Северном секторе РАТАН-600 проводятся продолжительные (от одного до трех месяцев) сетевые многочастотные наблюдения для исследования переменных объектов. В основном исследуются дискретные яркие радиоисточники с плоскими спектрами. Такие источники обладают переменностью с

*E-mail: len@sao.ru

**E-mail: zhe@sao.ru

характерными временными масштабами от десятков минут до десятков лет. Результаты этих многолетних исследований представлены, например, в работах [1–10].

В конце 20-го века появился подход, использующий данные радиообзоров для поиска переменных источников. В качестве примера можно привести работу Де Вриса и др. [11], где по данным FIRST (с 1995 по 2002 гг.) для области около южного галактического полюса получена выборка из 123 радиоисточников с плотностями потоков от 2 до 1000 мЯн, у которых обнаружены существенные вариации на частоте 1.4 ГГц на временном масштабе 7 лет, а также недавнюю работу [12]. В последней по данным обзора FIRST обнаружено 1627 переменных и транзиентных объектов с плотностями потоков до 1 мЯн с характерными временами переменности от нескольких минут до нескольких лет и изменениями потока от 20% до 25 раз.

В работе [11] было обнаружено, что выборка переменных источников содержит существенно большую долю квазаров, чем контрольная выборка с непременными источниками; переменные источники почти в два раза чаще отождествляются с SDSS, чем непременные; квазаров почти в пять раз больше, чем галактик; не обнаружено существенной цветовой разницы между двумя выборками.

В настоящей работе мы продолжим исследования, начатые в работе [13], а именно поиск переменных радиоисточников по данным обзоров “Холод” [14], проводившихся на РАТАН-600 на волне 7.6 см. Для проверки источников на наличие у них переменности будут использоваться критерии, описанные в работе [13], в том числе статистические.

В работе [13] с помощью отобранных по определенным критериям объектов каталога RCR (RATAN Cold Refined) [15] были получены калибровочные кривые и детально оценены ошибки определения плотностей потоков источников в каждом из рассматриваемых обзоров. Для оценки переменности рассчитывались индекс долговременной переменности, вероятность переменности по критерию χ^2 и ряд других параметров, характеризующих переменность. В настоящей работе поиск переменных объектов будет проводиться по более многочисленной, чем в работе [13], выборке источников.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЗОРОВ ДЛЯ ПОИСКА ПЕРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Периодичность, чувствительность и частота, на которой проводятся наблюдения, влияют на то,

какой тип переменных или транзиентных объектов можно регистрировать в проводимых обзорах.

В эксперименте “Холод”, проводившемся на РАТАН-600 в 1980 г. на частоте 3.94 ГГц [14, 16], предельный уровень обнаружения радиоисточников составил около 10 мЯн [17, 18]. Каталог RC (RATAN Cold), полученный по этому обзору, в дальнейшем уточнялся путем проведения серии обзоров 1987–1999 годов. Эти обзоры выполнялись на том же склонении¹ и частоте, что и обзор “Холод-80,” и имели предельную чувствительность порядка 10–15 мЯн. Результаты обработки наблюдений этих обзоров опубликованы в работах [15, 19–21]. В работе [15] приводится RCR-каталог объектов, которые наблюдались в обзорах 1987–1999 гг. в полосе $7^{\text{h}} \leq \text{RA} < 17^{\text{h}}$, а также результаты повторной обработки записей эксперимента “Холод-80.”²

После отождествления объектов RCR-каталога [22, 23] оказалось, что практически все RCR-радиоисточники обладают достаточной яркостью, чтобы провести поиск долговременной переменности галактик с активными ядрами с плотностями потоков $F > 10\text{--}15$ мЯн, а также предпринять поиск возможных транзиентов.

В настоящей работе для решения поставленной задачи мы будем использовать данные обзоров, проводившихся на волне 7.6 см в 1980, 1988, 1993 и 1994 гг.

Определенным преимуществом использования обзоров при изучении переменности радиоисточников является то, что антенна радиотелескопа РАТАН-600 в процессе проведения обзора сфокусирована на определенную высоту и ее конфигурация в процессе наблюдений практически не меняется. Это уменьшает ошибки, связанные с перестановкой антенны, что особенно важно при определении плотностей потоков достаточно слабых объектов.

Кроме того, из-за “веерообразной” конфигурации диаграммы направленности (ДН) РАТАН-600 в режиме наблюдения с одним сектором [24–28] в его поле зрения попадает одновременно большое количество источников. Так, на волне 7.6 см при одном суточном прохождении неба в пределах огибающей щита проходит более 30000 объектов обзора NVSS [29]. Увеличивая время накопления за счет многократного прохождения одной и той же полосы неба можно уверенно исследовать все более слабые радиоисточники.

¹Обзоры проводились на склонении источника SS 433 ($\text{Dec}_{1980} = 4^{\circ}57'$).

²Спектры источников RCR-каталога представлены на сайте <http://www.sao.ru/hq/len/RCR/>

Отметим, что по данным обзоров 1980–1994 гг. мы можем исследовать долговременную переменность радиисточников на масштабах нескольких лет, которая, как известно, является следствием нестационарных процессов в активных ядрах галактик.

3. ВЫБОРКА ИСТОЧНИКОВ RCR-КАТАЛОГА ДЛЯ ПОИСКА ПЕРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

В настоящей работе для поиска переменных источников мы будем использовать выборку радиисточников RCR-каталога, у которых имеются данные о плотностях потока на трёх и более частотах. Порядка 80 таких источников уже рассмотрены нами в работе [13]. Напомним, что из 550 объектов RCR-каталога 245 имеют данные о плотностях потоков только на двух частотах (1.4 ГГц [29] и 3.94 ГГц [15]). В основном это слабые радиисточники с плотностями потоков меньше 30 мЯн.

Если в работе [13] для построения калибровочных кривых мы выбирали яркие объекты с крутыми, имеющими минимальный разброс точек спектрами, чтобы свести к минимуму попадание в выборку переменных источников,³ то в настоящей работе критерии, накладывающие ограничения на спектральный индекс, компактность, морфологическую структуру и т.п., использоваться не будут.

В качестве исходного материала для анализа переменности источников RCR-каталога брались осредненные записи многосуточных наблюдений, которые прошли первичную обработку [19]. После вычитания фона выделение источников на осредненных сканах проводилось с помощью гаусс-анализа. При обработке использовалось штатное программное обеспечение обработки радиоастрономических наблюдений [32]. Подробно методика обработки обзоров описана в работах [13, 15], а методика поиска переменных источников по данным обзоров РАТАН-600 — в работе [13].

При исследовании источников на наличие среди них переменных рассматривались объекты с плотностями потоков $F \geq 15$ мЯн на частоте 3.94 ГГц, которые хорошо выделяются на записях и не блендируются другими источниками.

Из списка RCR-каталога нами было отобрано порядка 200 объектов, которые наблюдались в двух и более сетях обзоров “Холод” и удовлетворяли вышеперечисленным требованиям.

³Среди радиисточников с крутыми спектрами достаточно редко наблюдается переменность на частотах больше 1 ГГц, кроме тех объектов, где обнаруживается компактная компонента, которая и отвечает за вариации потока [30, 31].

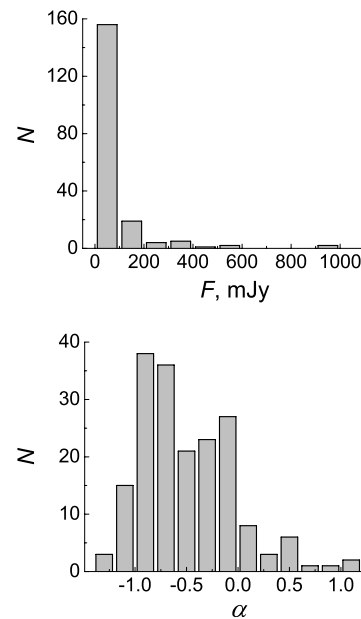


Рис. 1. Гистограммы распределения исследуемой выборки объектов RCR-каталога по плотностям потоков F — (вверху) и по спектральным индексам α на частоте 3.94 ГГц — (внизу).

На Рис. 1 представлены гистограммы распределения этой выборки источников по плотностям потоков F (вверху) и по спектральным индексам α (внизу).⁴ Около половины объектов этой выборки имеют плотности потоков меньше 50 мЯн, 51 источник — плотности потоков более 70 мЯн. Медиана спектрального индекса α рассматриваемых объектов равна -0.61 .

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ НА НАЛИЧИЕ СРЕДИ НИХ ПЕРЕМЕННЫХ

Для отбора источников с возможной переменностью мы будем использовать несколько критериев, в частности, оценим величины коэффициентов V_R [11], V_F [33] и индекса долговременной переменности V [10] для каждого из объектов нашей выборки.

Расчет коэффициентов проводился по формулам:

$$V_R = F_i / F_j, \tag{1}$$

$$V_F = \frac{F_i - F_j}{\sqrt{(\sigma_i^2 + \sigma_j^2)}}, \tag{2}$$

$$V = \frac{(F_i - \sigma_i) - (F_j + \sigma_j)}{(F_i - \sigma_i) + (F_j + \sigma_j)}, \tag{3}$$

⁴ α — спектральный индекс на частоте 3.94 ГГц.

Таблица 1. Параметры RCR-объектов с положительным индексом долговременной переменности V

RCR RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀	V	V_R	V_F	\bar{F} , mJy	σ^{set} , mJy	RMS ^{set}	\overline{dH} , arcmin	α	Notes
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
J 072919.57+044948.7	0.189	2.09	2.61	51	22	0.428	5.5	-0.67	
J 073357.46+045614.1	0.199	1.90	3.99	265	73	0.276	0.6	0.11	*
J 075314.02+045129.4	0.025	1.35	1.64	183	25	0.138	4.2	-0.34	*
J 080757.60+043234.6	0.275	2.68	3.12	374	142	0.380	-23.0	-0.30	
J 081218.14+050755.5	0.097	1.92	1.91	118	32	0.266	11.5	-0.75	
J 081626.62+045852.8	0.106	1.67	2.42	53	14	0.272	3.5	-0.88	
J 083148.89+042938.5	0.130	1.89	2.32	949	247	0.261	-25.5	0.04	*
J 091636.22+044132.0	0.263	2.52	2.90	171	72	0.424	-13.0	-0.84	
J 092355.77+045645.8	0.087	1.85	1.88	20	6	0.305	3.4	0.16	
J 095218.73+050559.3	0.187	2.41	2.15	60	34	0.565	9.9	-0.43	
J 100534.80+045119.8	0.104	1.94	1.79	36	10	0.270	-1.3	-0.56	
J 101603.12+051303.6	0.147	1.81	2.74	574	177	0.309	17.7	0.04	*
J 103846.84+051229.6	0.050	1.55	1.81	455	79	0.175	20.2	0.24	*
J 104117.65+045306.4	0.157	2.08	2.61	42	13	0.307	-2.1	-0.82	
J 104527.19+045118.7	0.043	1.75	1.70	32	8	0.246	-1.9	-0.85	
J 105253.05+045735.3	0.039	1.41	1.82	102	16	0.160	3.9	-0.15	*
J 105719.26+045545.4	0.200	2.20	2.90	30	11	0.350	2.0	-0.02	
J 113156.47+045549.3	0.050	1.39	1.95	250	36	0.145	3.8	-0.84	*
J 114521.30+045526.7	0.018	1.26	1.62	501	51	0.102	3.5	-0.33	*
J 114631.64+045818.2	0.056	1.52	1.90	193	37	0.192	4.9	-0.21	*
J 115248.33+050057.2	0.171	2.22	2.24	49	16	0.332	7.5	-0.89	
J 115336.08+045505.2	0.175	2.15	2.60	35	10	0.300	1.6	0.78	
J 115851.23+045541.9	0.335	3.09	3.91	21	13	0.640	0.6	-0.11	
J 123507.25+045318.7	0.376	3.22	4.63	38	23	0.623	-0.1	-0.05	*
J 123725.63+045741.6	0.032	1.44	1.67	92	18	0.198	4.1	-1.15	*
J 123932.78+044305.3	0.027	1.47	1.58	291	55	0.191	-10.4	-0.13	
J 124145.15+045924.5	0.227	2.52	2.53	37	21	0.558	4.2	-0.57	
J 125755.32+045917.6	0.072	1.58	2.02	153	33	0.217	5.3	-1.01	*
J 130631.65+050231.3	0.056	1.67	1.67	61	16	0.257	8.8	-0.25	
J 133541.21+050124.9	0.216	2.77	2.11	34	14	0.406	4.1	-0.96	
J 133920.76+050159.3	0.116	2.09	1.79	47	16	0.348	4.6	-0.30	
J 134201.37+050157.5	0.108	1.77	2.08	68	21	0.309	6.1	0.85	

Таблица 1. (Продолжение)

RCR RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀	V	V_R	V_F	\bar{F} , mJy	σ^{set} , mJy	RMS ^{set}	\overline{dH} , arcmin	α	Notes
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
J 135050.06+045148.9	0.173	2.11	2.41	30	10	0.336	-2.0	0.44	
J 141920.56+051110.6	0.104	2.22	1.91	137	48	0.351	17.0	-0.27	
J 142409.47+043451.7	0.231	3.01	2.46	317	148	0.467	-20.0	-0.20	
J 145032.99+050824.6	0.082	1.76	1.90	121	46	0.377	11.9	-0.32	*
J 151141.19+051809.4	0.019	1.40	1.44	395	91	0.230	23.3	1.11	
J 161015.24+044923.5	0.080	1.80	1.90	33	13	0.403	-4.3	-0.20	
J 161637.49+045932.8	0.067	1.48	2.19	932	217	0.233	3.8	0.22	*
J 163106.83+050119.2	0.110	1.67	2.21	79	23	0.299	4.2	-0.90	*
J 165643.92+050014.0	0.096	1.63	2.33	53	15	0.288	3.8	-0.73	*

где F_i, F_j — плотности потоков данного источника, полученные в обзорах i -го и j -го циклов, σ_i, σ_j — абсолютные среднеквадратичные ошибки определения плотностей потоков ($i, j = 80, 88, 93, 94$).

Последние два критерия учитывают погрешности определения плотностей потоков, поэтому их можно считать более надежными для проверки источников на переменность. Одним из признаков переменности источника является положительная величина его индекса долговременной переменности хотя бы для двух обзоров.

При расчете плотностей потоков F_i радиоисточников использовались величины их антенных температур T_a^i , полученные из осредненных записей данного обзора, и калибровочные кривые. Подробно о построении калибровочных кривых и выборе калибровочных источников изложено в работе [13].

Абсолютная σ_i и относительная RMS _{i} среднеквадратичные ошибки определения плотности потока источника в i -ом обзоре рассчитывались по формулам:

$$\text{RMS}_i = \sqrt{(\text{RMS}_i^{Ta})^2 + (\text{RMS}^k)^2}, \quad (4)$$

$$\sigma_i = F_i \times \text{RMS}_i, \quad (5)$$

где RMS _{i} ^{Ta} — относительная среднеквадратичная ошибка определения антенной температуры источника, RMS^k — относительная среднеквадратичная ошибка построения калибровочной кривой.

$$\text{RMS}_i^{Ta} = \sigma_s / T_a^i,$$

где σ_s — дисперсия шума на записи прохождения полосы неба в данном обзоре.

Усредненные значения RMS^k, полученные по выборке калибровочных источников для обзоров 1980, 1988, 1993 и 1994 гг., приведены в Таблице 1 работы [13].⁵

Радиоисточники, у которых разность плотностей потоков, определенная в разных обзорах, превышала суммарное значение среднеквадратичных ошибок этих обзоров, считались возможно переменными. Величина индекса долговременной переменности у таких источников $V > 0$.

Из рассмотренной нами выборки (порядка 200 объектов RCR-каталога) индекс долговременной переменности V оказался положительным у 41 источника. Координаты этих объектов (RA₂₀₀₀, Dec₂₀₀₀) и значения коэффициентов V, V_R и V_F приведены в Таблице 1 (соответственно в колонках 1, 2, 3 и 4).

В Таблице 1 приводятся также вычисленные по всем обзорам средние значения плотностей потоков этих объектов \bar{F} (колонка 5), абсолютные σ^{set} и относительные RMS^{set} среднеквадратичные отклонения от средних значений \bar{F} (колонки 6 и 7 соответственно), а также усредненные по всем обзорам величины углов dH (колонка 8)⁶ и спектральные

⁵Усреднение RMS^k проводилось в диапазонах $-30' < dH < 30'$, $-15' < dH < 15'$, $-10' < dH < 10'$ и $-5' < dH < 5'$, а также по выборке калибровочных источников, у которых антенные температуры на записях превышают $10\sigma_s$.

⁶ $dH = \Delta\text{Dec} = \text{Dec}^{\text{ist}} - \text{Dec}^0$, где Dec^0 — склонение центрального сечения обзора, Dec^{ist} — склонение источника. Значения последнего из-за прецессии меняются от обзора к обзору.

индексы α на частоте 3.94 ГГц (колонка 9). В колонке 10 звездочкой (*) отмечены радиоисточники, выделяемые на записях с максимальной степенью надежности.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ

Для подтверждения факта переменности объектов с положительными значениями индекса долговременной переменности применим статистические подходы, аналогичные используемым в работах [3, 13, 34–36]. Рассчитаем абсолютную ΔF и относительную V_χ амплитуды переменности, а также средневзвешенный поток источника $\langle F \rangle$, средневзвешенную среднеквадратичную ошибку $\langle \sigma \rangle$ и критерий χ^2 для числа степеней свободы $df = n - 1$, где n — число обзоров. Расчеты проведем по формулам [34]:

$$\langle F \rangle = \frac{\sum_i^n (F_i/\sigma_i^2)}{\sum_i^n \sigma_i^{-2}}, \quad (6)$$

$$\langle \sigma \rangle = \left(\sum_i^n (1/\sigma_i^2) \right)^{-0.5}, \quad (7)$$

$$\chi^2 = \sum_i^n (F_i - \langle F \rangle)^2 / \sigma_i^2, \quad (8)$$

$$\Delta F = \left((n-1)[\chi^2 - (n-1)] / \sum_i^n (F_i/\sigma_i^2) \right)^{0.5},$$

$$V_\chi = \Delta F / \langle F \rangle. \quad (9)$$

Результаты расчетов этих параметров приведены в Таблице 2. Вероятности переменности по критерию χ^2 приведены в колонках 2, 3 и 4. Параметр p_{df} дает количественную оценку вероятности того, что источник, чьи плотности потоков распределены как χ^2 со степенями свободы $df = n - 1$, может считаться переменным ($p = 1 - \chi^2(n-1)$). Для источников, чьи плотности потоков в обзорах 1993 и 1994 гг. совпадают в пределах ошибок, были вычислены вероятности по критерию χ^2 со степенями свободы $df' = df - 1$. При расчетах усредненные значения плотностей потоков 1993 и 1994 гг. брались за одну точку, что уменьшало величину степеней свободы на единицу. Значения p_{df-1} приведены в колонке 3 Таблицы 2. В колонке 4 приводятся средние значения вероятности $\bar{p} = (p_{df} + p_{df-1})/2$.

В колонке 5 даны величины средневзвешенных потоков источников $\langle F \rangle$, в колонке 6 — их абсолютные амплитуды переменности ΔF , в 7 — параметр V_χ , в колонках 8 и 9 — абсолютные $\langle \sigma \rangle$ и относительные $\langle \sigma \rangle^{\text{otn}} = \langle \sigma \rangle / \langle F \rangle$ средневзвешенные среднеквадратичные ошибки, в колонке 10 — значения χ^2 , и в колонке 11 — величина степеней свободы $df = n - 1$.

Таблица 2. Статистические характеристики RCR-объектов с положительным индексом долговременной переменности V

RCR		p_{df}	p_{df-1}	\bar{p} ,	$\langle F \rangle$,	ΔF ,	V_χ	$\langle \sigma \rangle$,	$\langle \sigma \rangle^{\text{otn}}$	χ^2	df
RA ₂₀₀₀	Dec ₂₀₀₀				mJy	mJy		mJy			
(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
J 072919.57+044948.7		0.966		0.966	42	16	0.385	5	0.124	6.82	2
J 073357.46+045614.1		1	0.999	0.999	266	103	0.388	15	0.056	18.80	3
J 075314.02+045129.4		0.653	0.796	0.725	173	10	0.057	10	0.059	3.31	3
J 080757.60+043234.6		0.991	0.995	0.993	302	179	0.594	37	0.124	10.67	3
J 081218.14+050755.5		0.738	0.906	0.823	110	21	0.194	12	0.112	4.01	3
J 081626.62+045852.8		0.974	0.990	0.983	51	17	0.337	4	0.078	9.25	3
J 083148.89+042938.5		0.960	0.984	0.972	859	316	0.367	79	0.092	8.31	3
J 091636.22+044132.0		0.965		0.965	136	62	0.453	15	0.111	8.55	3
J 092355.77+045645.8		0.810	0.890	0.850	18	5	0.270	2	0.117	3.62	3
J 095218.73+050559.3		0.922	0.976	0.949	45	18	0.403	7	0.161	5.13	3

Таблица 2. (Продолжение)

RCR RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀	p_{df}	p_{df-1}	\bar{p} ,	$\langle F \rangle$, mJy	ΔF , mJy	V_χ	$\langle \sigma \rangle$, mJy	$\langle \sigma \rangle^{\text{otn}}$	χ^2	df
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
J 100534.80+045119.8	0.955	0.981	0.968	29	11	0.377	3	0.096	8.12	3
J 101603.12+051303.6	0.966	0.987	0.976	536	179	0.334	43	0.081	8.67	3
J 103846.84+051229.6	0.703	0.839	0.771	442	54	0.121	37	0.084	3.70	3
J 104117.65+045306.4	0.982	0.994	0.989	35	14	0.414	3	0.087	10.56	3
J 104527.19+045118.7	0.673	0.808	0.741	28	6	0.202	3	0.105	4.37	3
J 105253.05+045735.3	0.808	0.895	0.852	101	15	0.149	7	0.065	4.74	3
J 105719.26+045545.4	0.978	0.990	0.984	28	12	0.427	3	0.108	10.42	3
J 113156.47+045549.3	0.738	0.842	0.790	239	26	0.110	15	0.064	4.01	3
J 114521.30+045526.7	0.548	0.729	0.639	487	30	0.061	27	0.055	2.63	3
J 114631.64+045818.2	0.854	0.924	0.889	190	31	0.165	12	0.062	5.36	3
J 115248.33+050057.2	0.974		0.974	39	20	0.513	5	0.119	9.23	3
J 115336.08+045505.2	0.974	0.989	0.981	33	13	0.393	3	0.083	9.59	3
J 115851.23+045541.9	0.999	1	0.999	19	17	0.882	2	0.128	18.87	3
J 123507.25+045318.7	1	1	1	33	25	0.753	3	0.093	25.06	3
J 123725.63+045741.6	0.680	0.828	0.754	88	8	0.089	6	0.072	3.51	3
J 123932.78+044305.3	0.844		0.840	281	40	0.135	19	0.069	3.70	3
J 124145.15+045924.5	0.961		0.961	29	14	0.491	5	0.163	6.54	2
J 125755.32+045917.6	0.868	0.939	0.904	148	27	0.184	10	0.066	5.59	3
J 130631.65+050231.3	0.764		0.764	54	9	0.159	6	0.119	2.89	2
J 133541.21+050124.9	0.902	0.933	0.764	25	13	0.519	4	0.165	6.30	3
J 133920.76+050159.3	0.871		0.917	36	11	0.307	5	0.149	4.13	2
J 134201.37+050157.5	0.857	0.931	0.871	60	17	0.279	6	0.103	5.45	3
J 135050.06+045148.9	0.972	0.989	0.894	23	11	0.481	3	0.113	9.03	3
J 141920.56+051110.6	0.845	0.943	0.980	131	27	0.203	22	0.167	3.72	2
J 142409.47+043451.7	0.988		0.988	296	143	0.484	39	0.131	8.82	2
J 145032.99+050824.6	0.925		0.925	111	25	0.235	18	0.164	3.61	1
J 151141.19+051809.4	0.725	0.876	0.801	366	49	0.133	44	0.122	2.59	2
J 161015.24+044923.5	0.919		0.919	31	7	0.223	5	0.159	3.07	1
J 161637.49+045932.8	0.948	0.984	0.967	920	198	0.214	71	0.077	5.92	2
J 163106.83+050119.2	0.920	0.972	0.947	72	17	0.241	7	0.097	5.09	2
J 165643.92+050014.0	0.954	0.988	0.971	51	14	0.269	5	0.093	6.18	2

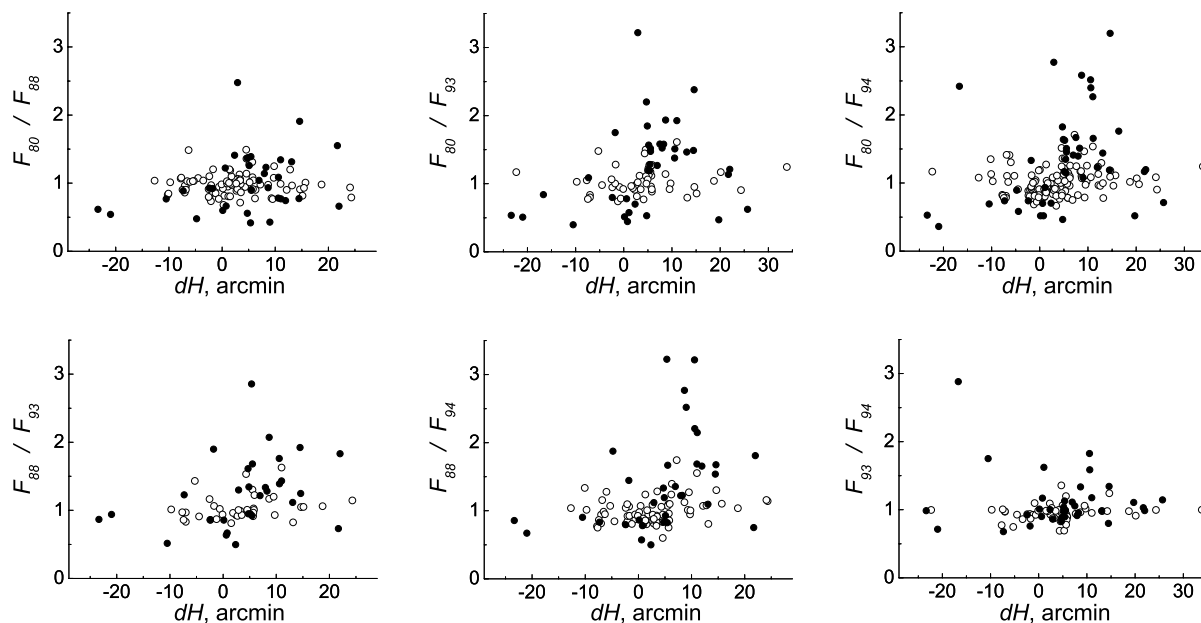


Рис. 2. Отношения плотностей потоков F_i/F_j исследуемой выборки RCR-источников, полученные в разных обзорах ($i, j = 80, 88, 93$ и 94 гг.). Заполненные кружки — отношения F_i/F_j для объектов из Таблицы 1 ($V > 0$), незаполненные — для объектов с $V \leq 0$.

На Рис. 2 показаны отношения плотностей потоков F_i/F_j рассматриваемой выборки RCR-источников, полученные в разных обзорах ($i, j = 80, 88, 93$ и 94 гг.). Заполненные кружки — отношения F_i/F_j для объектов из Таблицы 1 ($V > 0$), незаполненные — для объектов с $V \leq 0$.

Наименьший разброс точек наблюдается между обзорами 1993 и 1994 гг. Для выборки источников с $V \leq 0$ величина среднеквадратичного отклонения от среднего отношения F_{94}/F_{93} составила 0.11, для отношений $F_{80}/F_{88} = 0.15$, $F_{80}/F_{93} = 0.20$, $F_{80}/F_{94} = 0.19$, $F_{88}/F_{93} = 0.18$, и $F_{88}/F_{94} =$

0.19. Для выборки возможно переменных объектов ($V > 0$) величины среднеквадратичных отклонений равны: для $F_{94}/F_{93} = 0.40$, $F_{80}/F_{88} = 0.44$, $F_{80}/F_{93} = 0.63$, $F_{80}/F_{94} = 0.70$, $F_{88}/F_{93} = 0.53$, и $F_{88}/F_{94} = 0.72$.

У большинства возможно переменных объектов из Таблицы 1 разность плотностей потоков в обзорах 1993, 1994 гг. не превышает среднеквадратичной ошибки определения потоков или близка к ней, что позволяет говорить о переменности источников нашей выборки в основном на масштабах 6–8 лет. Исключение составляют объекты J091636+044132, J115248+050057, J123932+044305 и J142409+043451.

Сравнивая данные, приведенные в Таблицах 1 и 2, можно отметить, что величины средневзвешенных плотностей потоков источников $\langle F \rangle$, вычисленные по формуле (6), и величины \bar{F} практически совпадают в пределах ошибок. Близки также значения σ^{set} (Таблица 1) и ΔF (Таблица 2) отдельных источников и величины V_χ и $\text{RMS}^{\text{set}} = \sigma^{\text{set}}/\bar{F}$.

Для источников, приведенных в Таблицах 1 и 2, относительные амплитуды переменности V_χ и относительные среднеквадратичные отклонения от среднего RMS^{set} в основном значительно превышают их относительные среднеквадратичные отклонения от средних $\langle \sigma \rangle^{\text{otn}}$. Это видно из Рис. 3, на котором

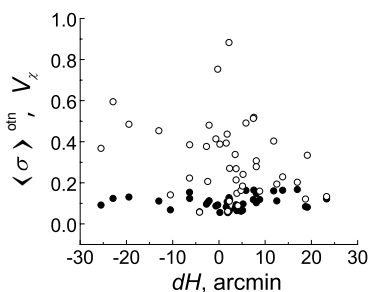


Рис. 3. Зависимости относительной амплитуды переменности V_χ и относительной средневзвешенной среднеквадратичной ошибки определения плотностей потоков $\langle \sigma \rangle^{\text{otn}}$ от угла dH для источников с $V > 0$. Незаполненные кружки — V_χ , заполненные кружки — $\langle \sigma \rangle^{\text{otn}}$.

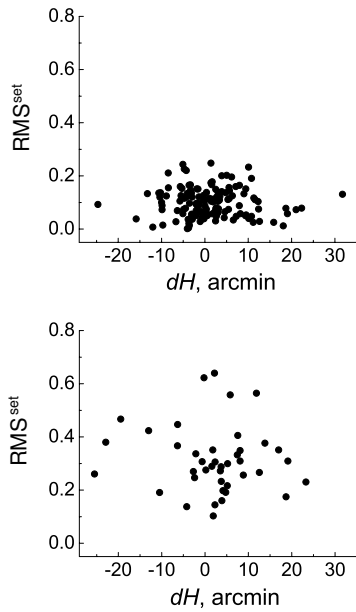


Рис. 4. Зависимости относительного среднеквадратичного отклонения от среднего по всем обзорам RMS^{set} от угла dH для источников с $V > 0$ (верхняя панель) и для источников с $V \leq 0$ (нижняя панель).

показаны зависимости вышеназванных величин от угла dH : заполненными кружками — $\langle \sigma \rangle^{otn}$, незаполненными треугольниками — V_χ . Усредненные по всем источникам с $V > 0$ относительные среднеквадратичные отклонения от среднего $\overline{RMS^{set}}$ и $\overline{V_\chi}$ составили 0.315 ± 0.125 и 0.317 ± 0.182 соответственно, $\langle \sigma \rangle^{otn} = 0.105 \pm 0.0332$.

Сравним значения RMS^{set} для источников с положительными и отрицательными индексами долговременной переменности. На Рис. 4 (верхняя панель) показаны зависимости величины RMS^{set} от dH для источников с $V > 0$, на нижней панели — для объектов с $V \leq 0$. Величины RMS^{set} возможно переменных объектов ($V > 0$) существенно превышают значения RMS^{set} объектов с $V \leq 0$. Аналогичные соотношения будут иметь место и для относительной амплитуды переменности V_χ переменных и непременных объектов. Среднее по всем непременным источникам ($V \leq 0$) значение $\overline{RMS^{set}}$ составило 0.101 ± 0.062 , что сопоставимо с усредненным значением $\langle \sigma \rangle^{otn}$.

Рассмотрим, как объекты с положительными индексами долговременной переменности распределены относительно центрального сечения обзора по склонению, по прямому восхождению, по плотности потока и по спектральному индексу.

На Рис. 5 вверху приведены значения параметра V в зависимости от угла dH , внизу —

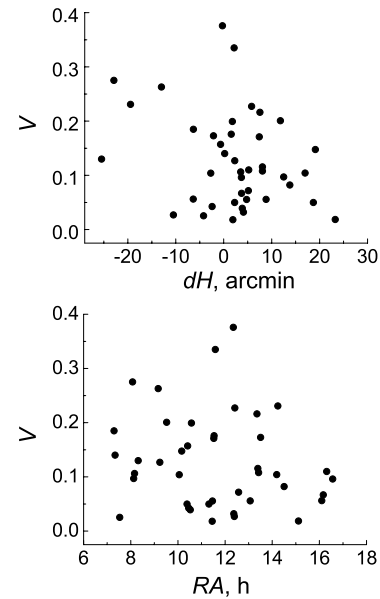


Рис. 5. Зависимости индекса долговременной переменности V объектов из Таблицы 1 от угла dH (вверху) и от RA (внизу).

от RA. Хотя источники распределены достаточно равномерно в рассматриваемом диапазоне углов, имеется тенденция к увеличению их числа по мере приближения к центральному сечению обзора, что объясняется возможностью регистрировать более слабые объекты вблизи центрального сечения. Равномерно распределены переменные источники и по прямому восхождению.

На Рис. 6 представлены гистограммы распределения выборки возможно переменных объектов по плотностям потоков F (слева) и по спектральным индексам α (на центральной панели). Справа представлена гистограмма распределения по спектральным индексам непременных источников (с $V < 0$). Практически половина источников с положительным индексом долговременной переменности — яркие объекты с плотностями потоков свыше 100 мЯн, около трети источников имеют плотности потоков $F \leq 40$ мЯн. Медиана спектрального индекса этой выборки равна -0.3 . В распределении видны два ярко выраженных максимума: на $\alpha = -0.75$ и $\alpha = -0.15$.

Медиана спектрального индекса непременных объектов равна -0.65 . Среди этих объектов преобладают объекты с отрицательными спектральными индексами.

На Рис. 7 вверху показана зависимость индекса долговременной переменности от отношения сигнал/шум T_a/σ_s , внизу — от плотностей потоков источников F . Поскольку при расчете коэффициента V использовались антенные температуры, полученные в двух обзорах, одному значению V

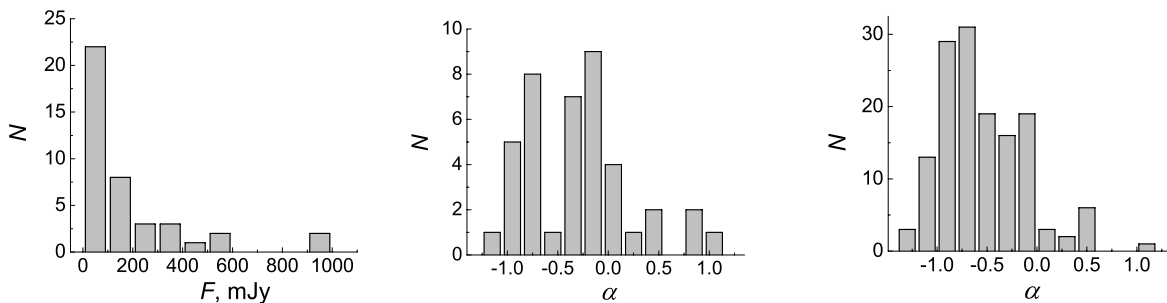


Рис. 6. Гистограммы распределения выборки возможно переменных объектов из Таблицы 1 (с $V > 0$) по плотностям потоков F (левая панель) и по спектральным индексам α (центральная панель). На панели справа — гистограмма распределения по спектральным индексам непременных источников (с $V < 0$).

соответствуют два значения T_a/σ_s , которые на Рис. 7 показаны заполненными и незаполненными кружками. Обращает на себя внимание тот факт, что источники с индексом долговременной переменности $0 < V < 0.18$ имеют величину отношения T_a/σ_s от 3 до 200, а у объектов с $V > 0.18$ отношения T_a/σ_s не превышают 20. При этом только у трех источников антенная температура в одном из обзоров составляла $3\sigma_s$, у остальных источников $T_a \geq 5\sigma_s$.

6. ПЕРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ RCR-КАТАЛОГА

Остановимся на критериях, по которым объекты с $V > 0$, приведенные в Таблицах 1 и 2, можно считать переменными. В работах [35, 36] источник считался возможно переменным, если его вероятность по критерию χ^2 удовлетворяла условию $0.1\% \leq 1 - p \leq 1\%$ ($0.99 \leq p < 0.999$), и достоверно переменным, если $1 - p \leq 0.1\%$ ($p \geq 0.999$).

В работах [3, 34] достоверно переменными считались объекты, у которых $p \geq 0.985$ и $p \geq 0.98$, и возможно переменными те, у которых $0.95 \leq p < 0.98$.

Из 41 источника, приведенного в Таблицах 1 и 2, условию $p \geq 0.999$ удовлетворяют три источника (J 073357+045614, J 115851+045541, J 123507+045318).⁷ У двенадцати источников вероятность по критерию χ^2 лежит в диапазоне $0.98 < p < 0.999$, у шести — $0.95 < p < 0.98$. Таким образом, пятнадцать источников можно считать достоверно переменными в соответствии с критериями работ [3, 34–36], и шесть — возможно переменными. Еще у шести источников $0.90 \leq p < 0.95$.

⁷Источник J 073357+045614 удовлетворяет этому условию, если учитывать плотность потока в цикле 1993 г. Без учета цикла 1993 г. его $p = 0.966$.

Эти результаты получены в основном по данным величин p_{df-1} , которые вычислялись с использованием усредненных плотностей потоков обзоров 1993 и 1994 гг. Для тех объектов, у которых разности плотностей потоков в обзорах 1993, 1994 гг. превышали ошибки определения F , использовались значения вероятности p_{df} . Таким образом, обнаруженная переменность источников имеет характерный временной масштаб 6–8 лет.

Если рассматривать средние значения вероятности \bar{p} , приведенные в Таблице 2, то те же три источника удовлетворяют условию $p \geq 0.999$, семь — условию $0.98 < p < 0.999$ и одиннадцать — условию $0.947 \leq p < 0.98$. То есть суммарное число достоверно переменных и возможно переменных объектов (21 источник) сохранилось. Изменилось лишь их соотношение. У всех этих радиосисточников, за исключением одного, индекс долговременной переменности $V \gtrsim 0.1$.

В работе [33] в качестве критерия использовался коэффициент V_F . Источник считался переменным, если параметр V_F для него был не меньше 3. У таких объектов разность плотностей потоков в обзорах превышает 3σ (формула (2)). Из 21 наиболее вероятного переменного источника ($0.95 < p \leq 0.999$) этому требованию удовлетворяют четыре источника, еще у двух $V_F \geq 2.9$, у остальных, кроме одного, $2.1 < V_F < 2.9$.

Рассмотрим в качестве критерия относительную амплитуду переменности источников V_χ . Анализ данных, приведенных в работе [34], показал, что величина этого параметра у большинства переменных источников с $p \geq 0.985$ составляет 0.2 и выше. Из 21 источника, претендующего на переменность с вероятностью $p > 0.95$, у восемнадцати $V_\chi > 0.3$ и у трех — $0.2 < V_\chi < 0.3$. Последние три проходят достаточно близко от центрального сечения обзора, и их индексы долговременной переменности равны 0.067, 0.096 и 0.11.

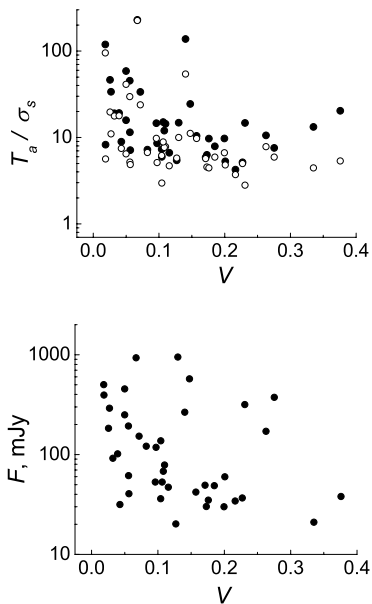


Рис. 7. Зависимости индекса долговременной переменности V источников из Таблицы 1 от отношения сигнал/шум (T_a/σ_s) (вверху) и от плотностей потоков F (внизу).

Несколько слов о параметре V_R , который характеризует отношение плотностей потоков источников в обзорах, где они имеют максимальное и минимальное значение. У всех наиболее вероятных переменных объектов параметр $V_R \gtrsim 1.5$.

Отметим, что рассматриваемые нами критерии переменности V , V_χ , V_F , V_R связаны между собой. На Рис. 8 в качестве примера показаны зависимости индекса долговременной переменности V источников из Таблицы 1 от амплитуды переменности V_χ (вверху) и параметра V_R (внизу).

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что все приведенные в Таблицах 1 и 2 источники (41 объект) можно считать заподозренными в переменности, поскольку их плотности потоков, определенные в разных циклах обзоров, превышают суммарные ошибки определения потоков. Однако достоверность этой переменности различна. Из 41 источника пятнадцать являются достоверно переменными с вероятностью $p > 0.98$, у трех из них вероятность $p \geq 0.999$. Шесть источников, у которых вероятность лежит в диапазоне $0.95 < p < 0.98$, являются возможно переменные по критериям работ [3, 34]. У остальных двадцати объектов из Таблицы 1 вероятность составляет $0.73 \leq p < 0.95$.

Из 21 источника, у которых $p > 0.95$, треть имеют плотности потоков свыше 150 мЯн, семь — $40 < \bar{F} < 100$ мЯн, и семь — $20 < \bar{F} < 40$ мЯн. Большинство этих источников — объекты с

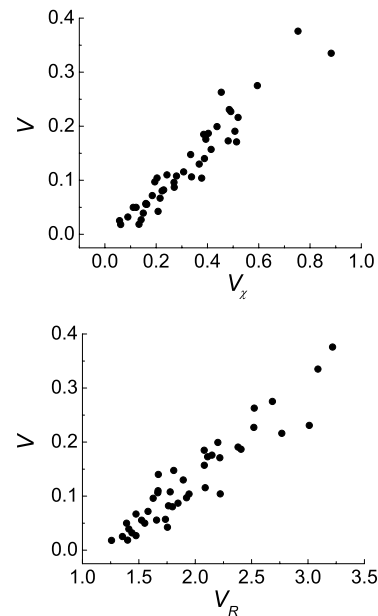


Рис. 8. Зависимости индекса долговременной переменности V источников из Таблицы 1 от амплитуды переменности V_χ (вверху) и параметра V_R (внизу).

близкими к плоскому спектрами, два имеют инверсионные спектры. Треть источников имеют спектральный индекс $\alpha < -0.67$.

На Рис. 9 представлены кривые блеска (слева) и спектры (справа) источников с $V > 0$. На Рис. 10 в качестве примера даны кривые блеска и спектры переменных радиоисточников с плоскими спектрами J 155035+052710 и J 165833+051516, у которых индекс долговременной переменности, по данным наших обзоров, $V < 0$. У источника J 165833+051516 параметр V становится положительной величиной, если величину относительной среднеквадратичной ошибки определения плотностей потоков принять равной усредненному значению $\overline{\text{RMS}}^{\text{set}} = 0.10$, полученному по выборке источников с $V \leq 0$.

В заключение приведем общие результаты по поиску переменных источников, полученные в настоящей работе и в работе [13]. Из общего числа источников (около 280), которые были исследованы в этих работах, у 55 объектов индекс долговременной переменности оказался положительной величиной хотя бы для одной пары обзоров. Список этих источников (с $V > 0$) приведен в Таблице 3. В него вошли объекты из Таблиц 1 и 2 настоящей работы и Таблиц 3 и 4 работы [13].

Из 55 радиоисточников, приведенных в Таблице 3, условию достоверной переменности ($p > 0.98$) удовлетворяют пятнадцать объектов, и условию возможной переменности ($0.95 < p < 0.98$) — девять объектов. Тридцать пять объектов из 55 имеют

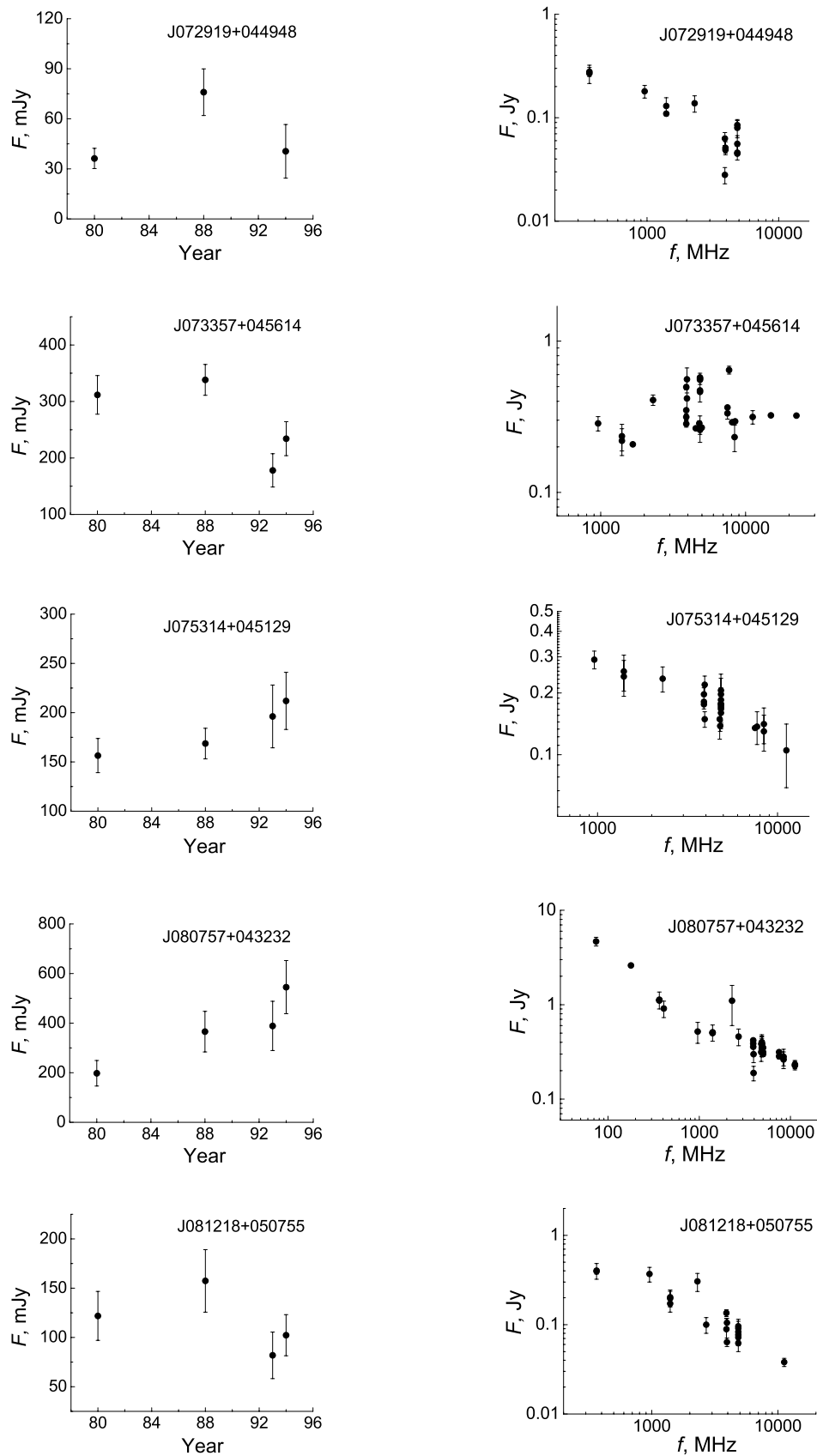


Рис. 9. Кривые блеска (слева) и спектры (справа) радиоисточников с $V > 0$.

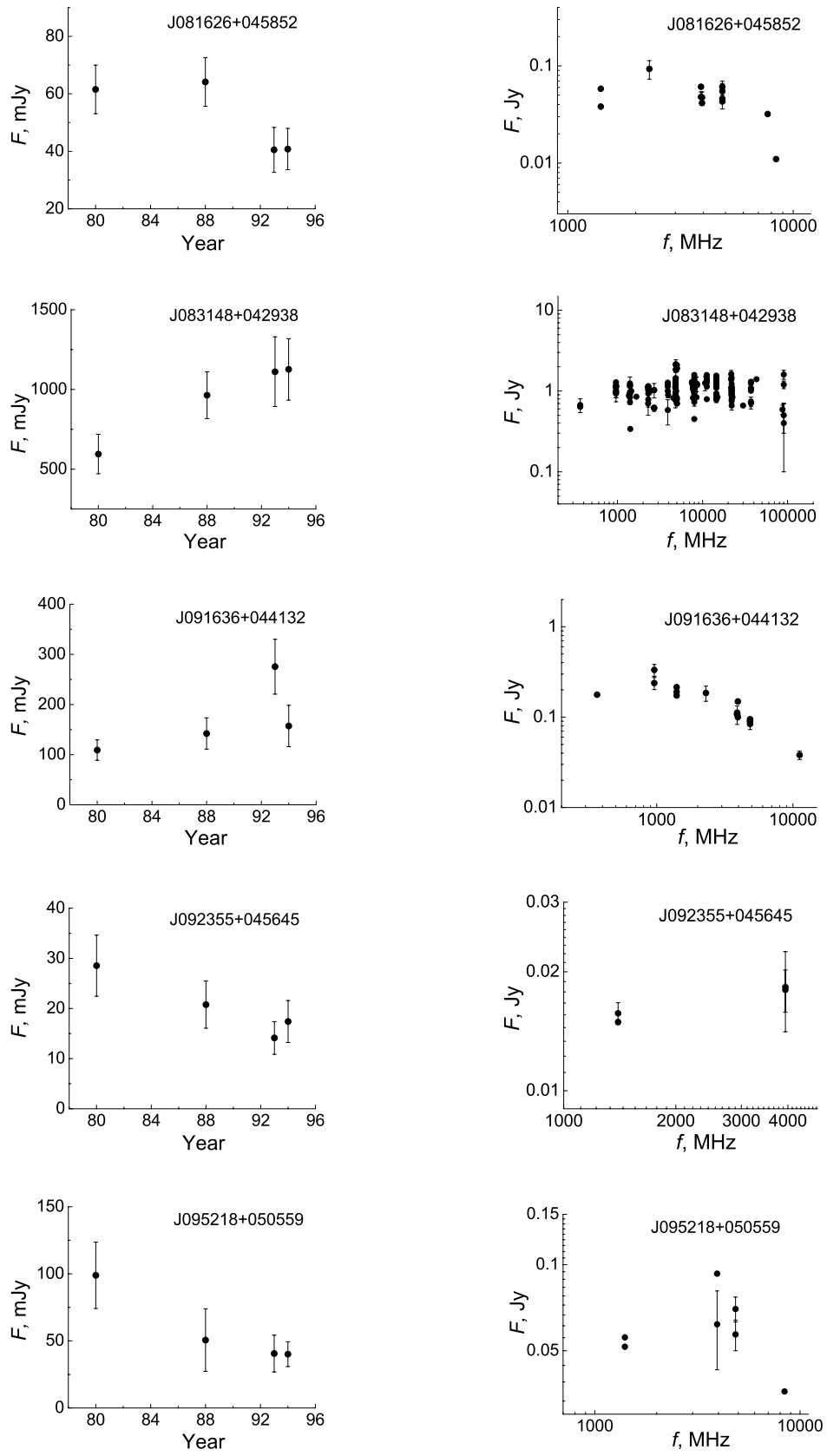


Рис. 9. (Продолжение)

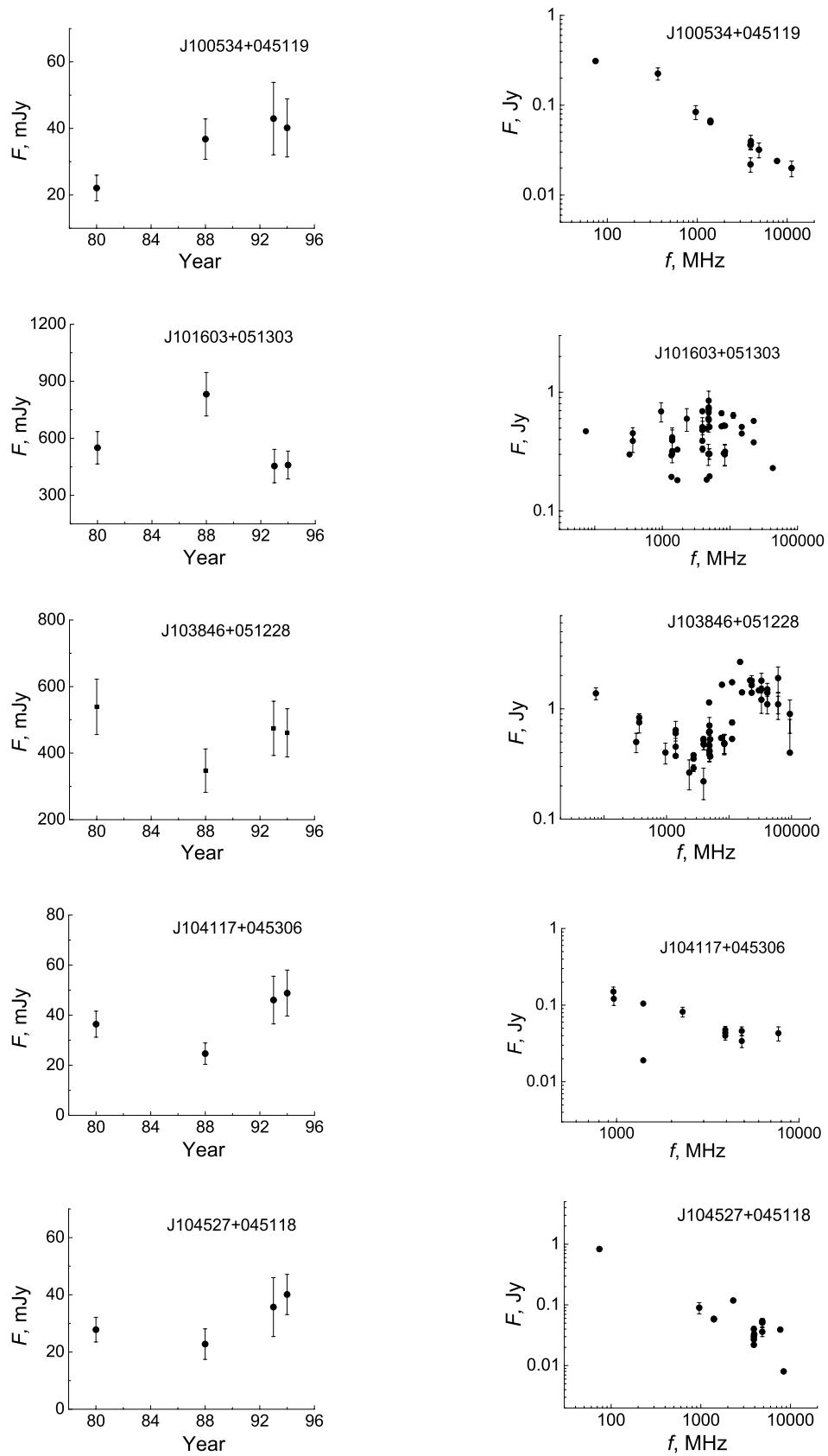


Рис. 9. (Продолжение)

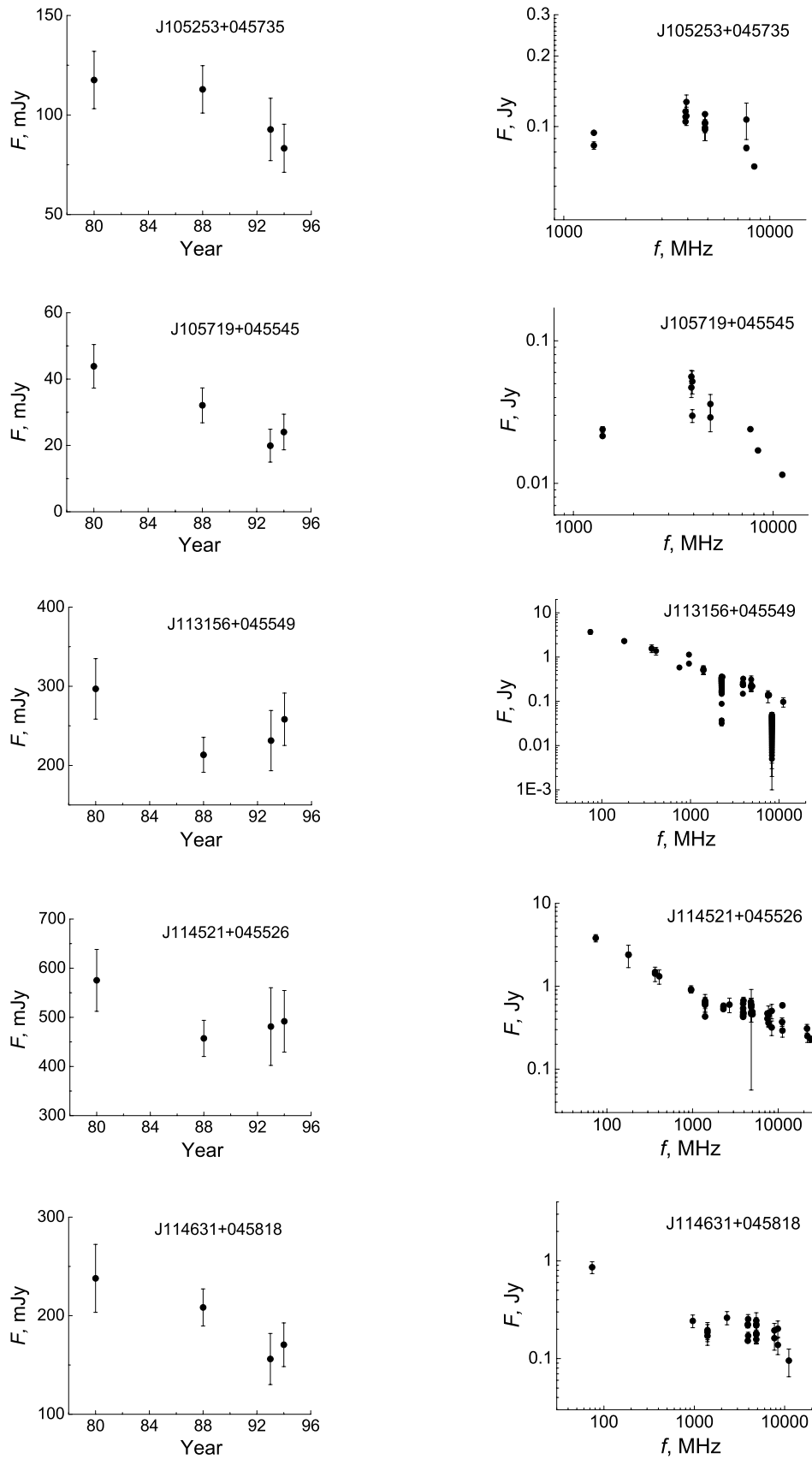


Рис. 9. (Продолжение)

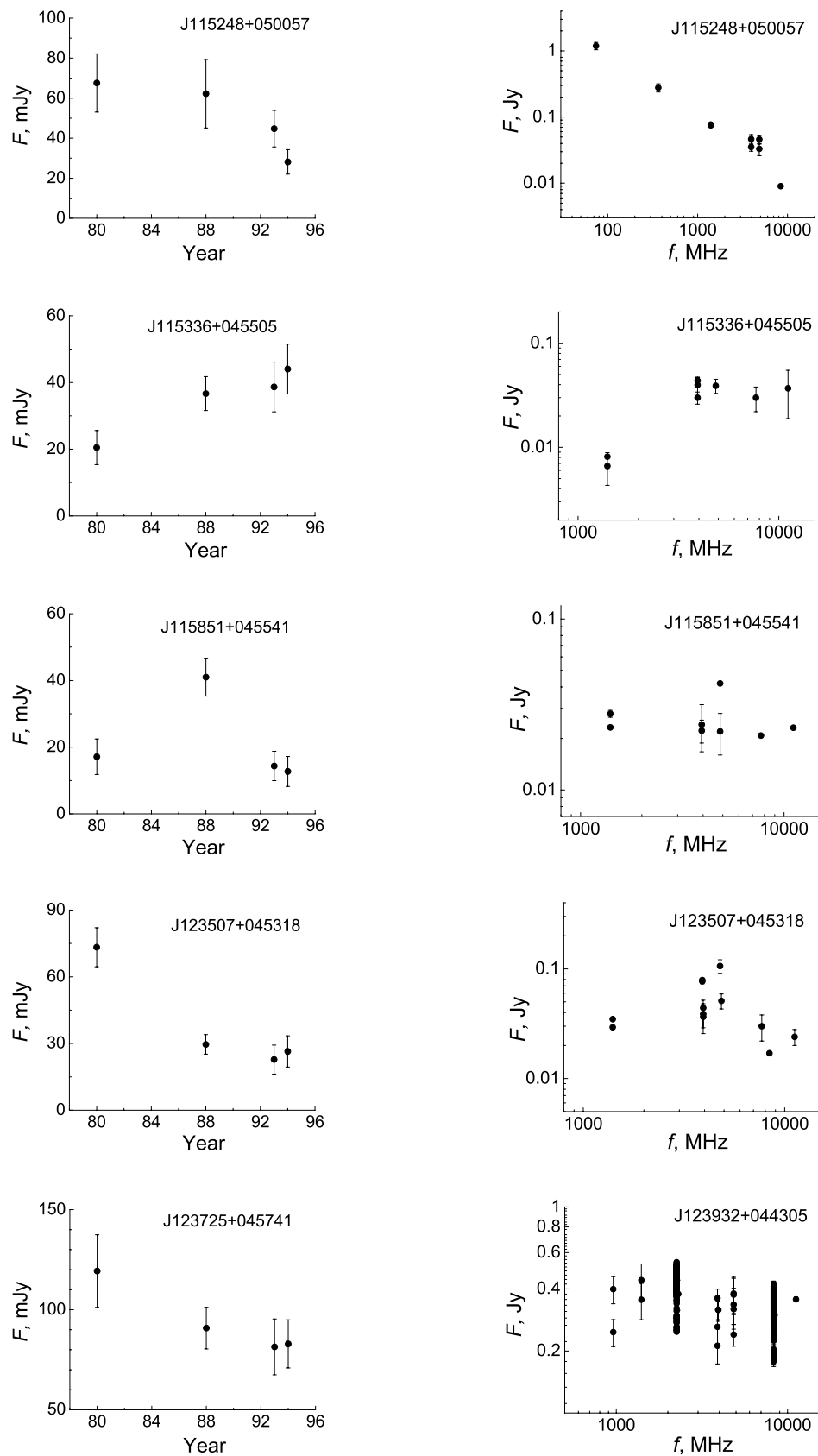


Рис. 9. (Продолжение)

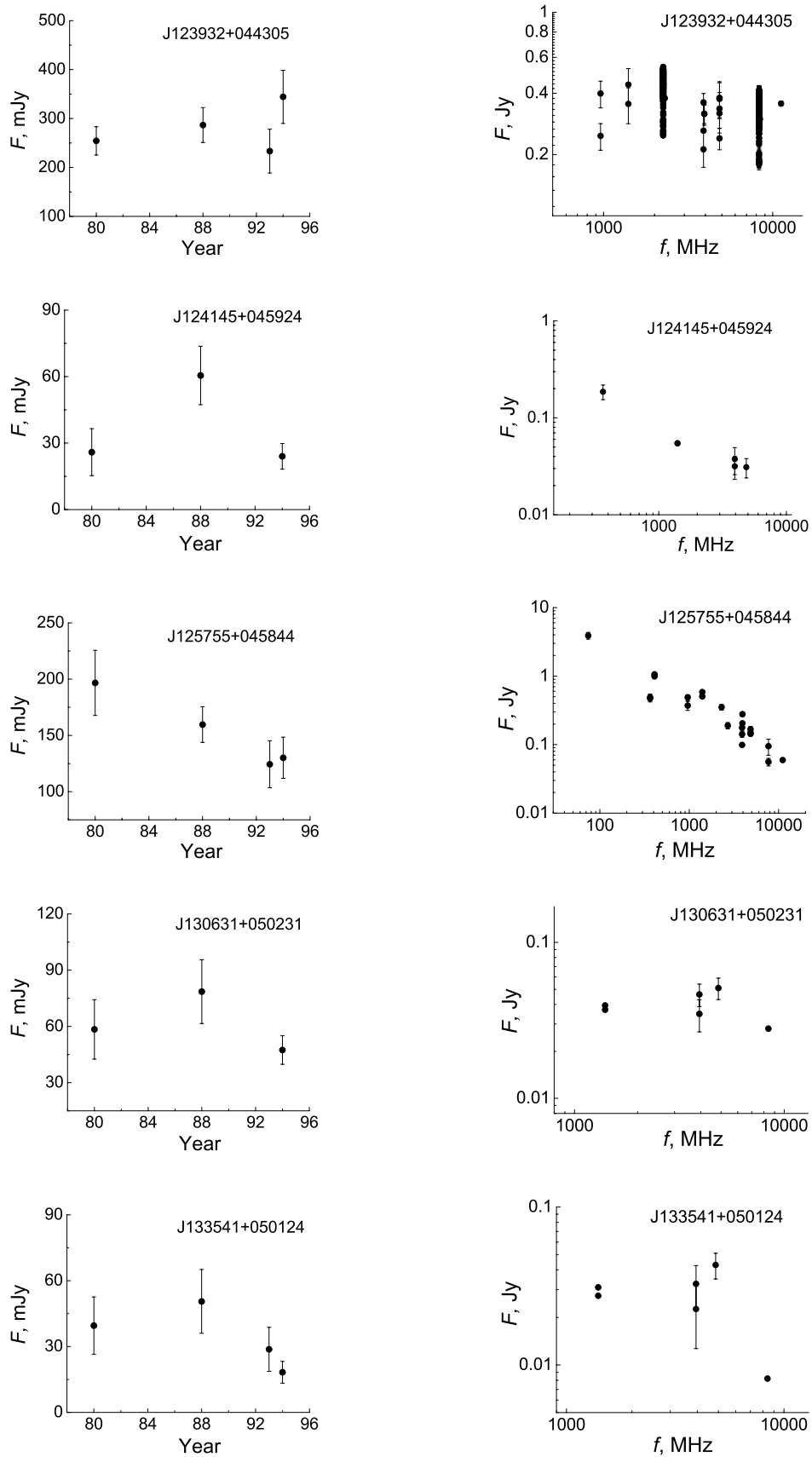


Рис. 9. (Продолжение)

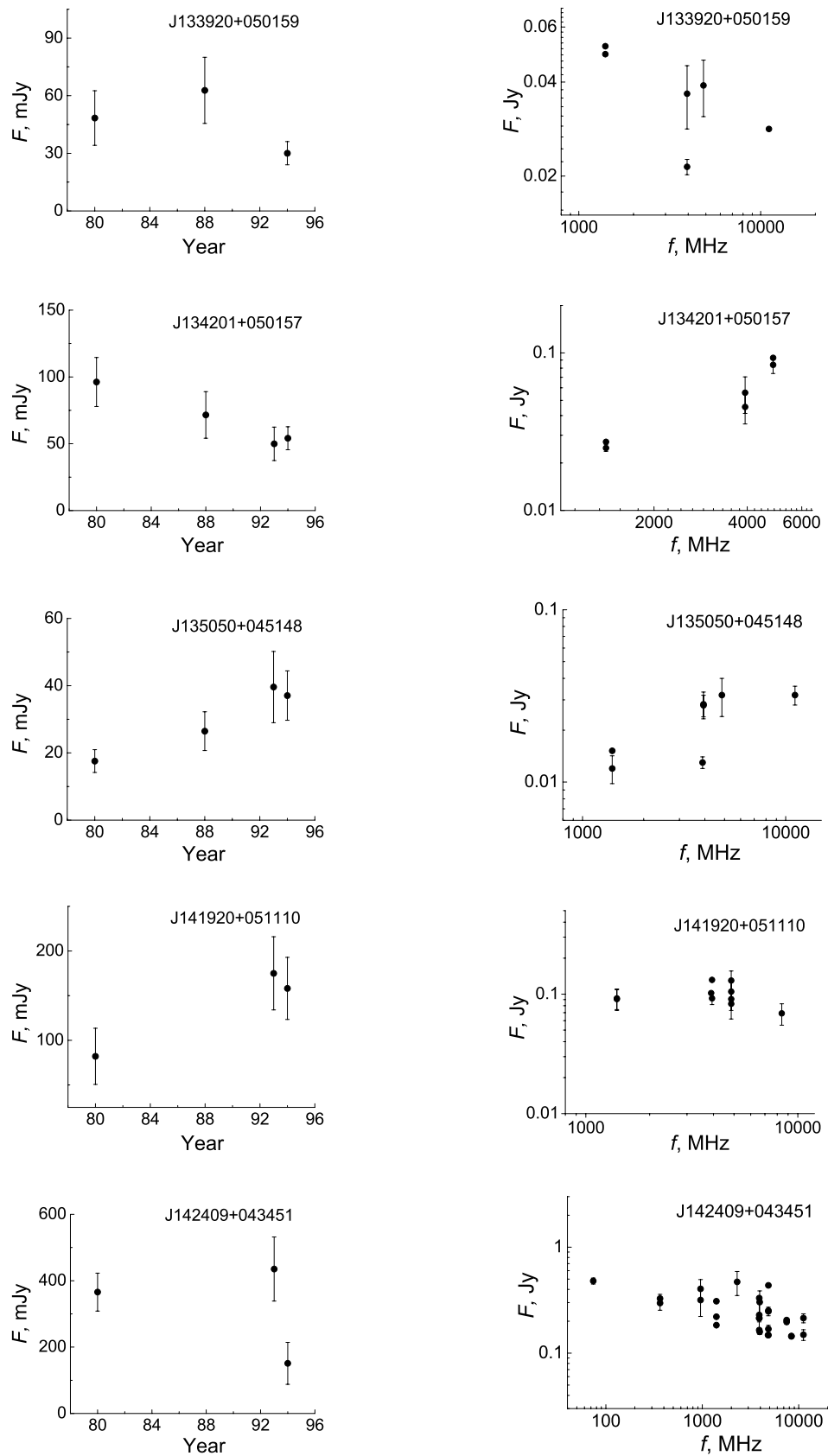


Рис. 9. (Продолжение)

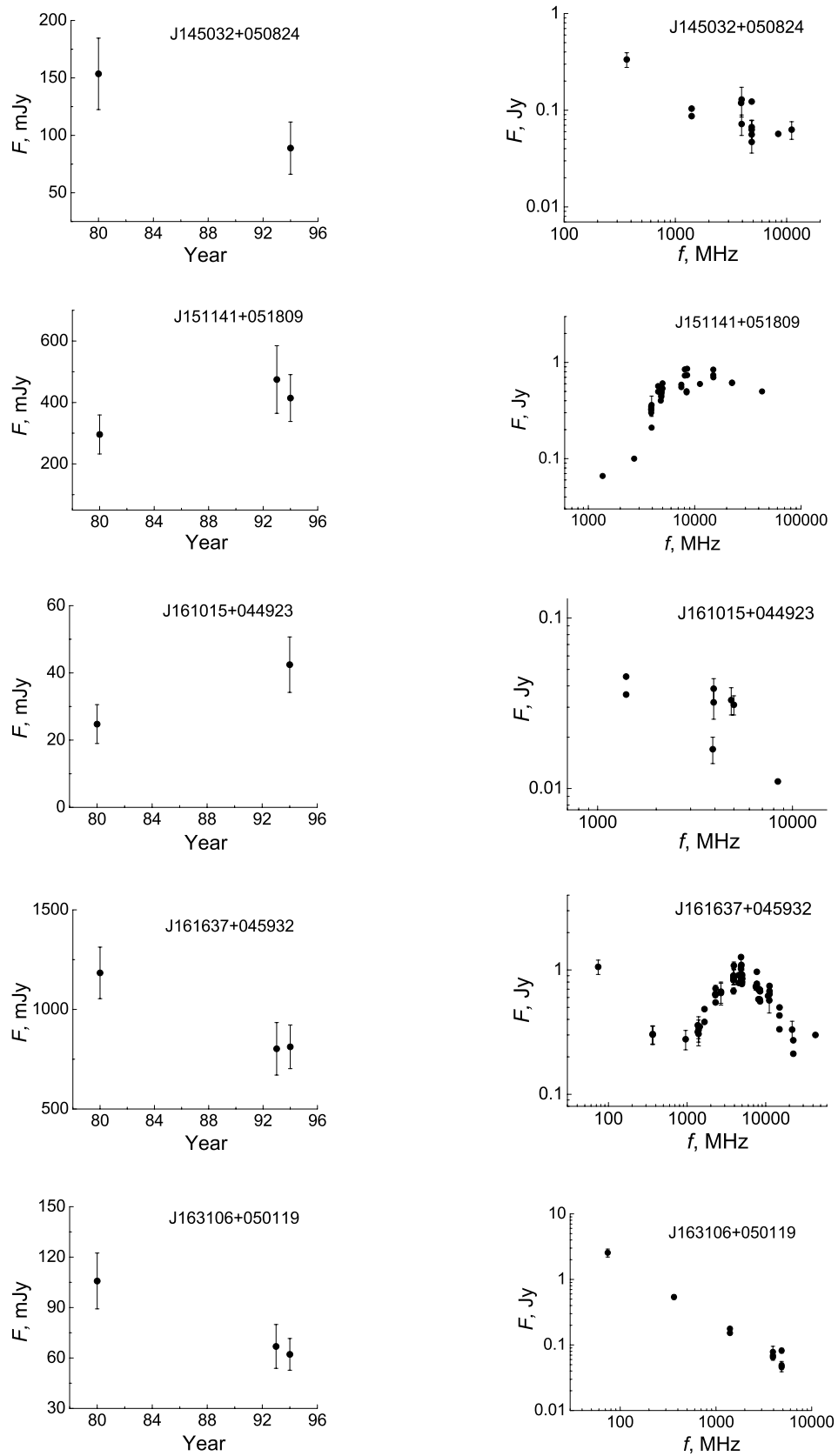


Рис. 9. (Продолжение)

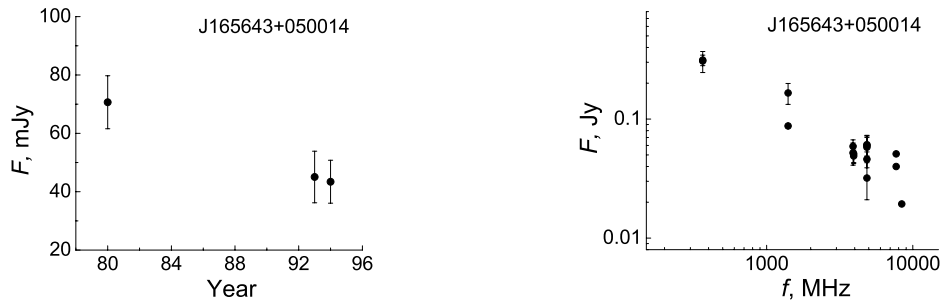
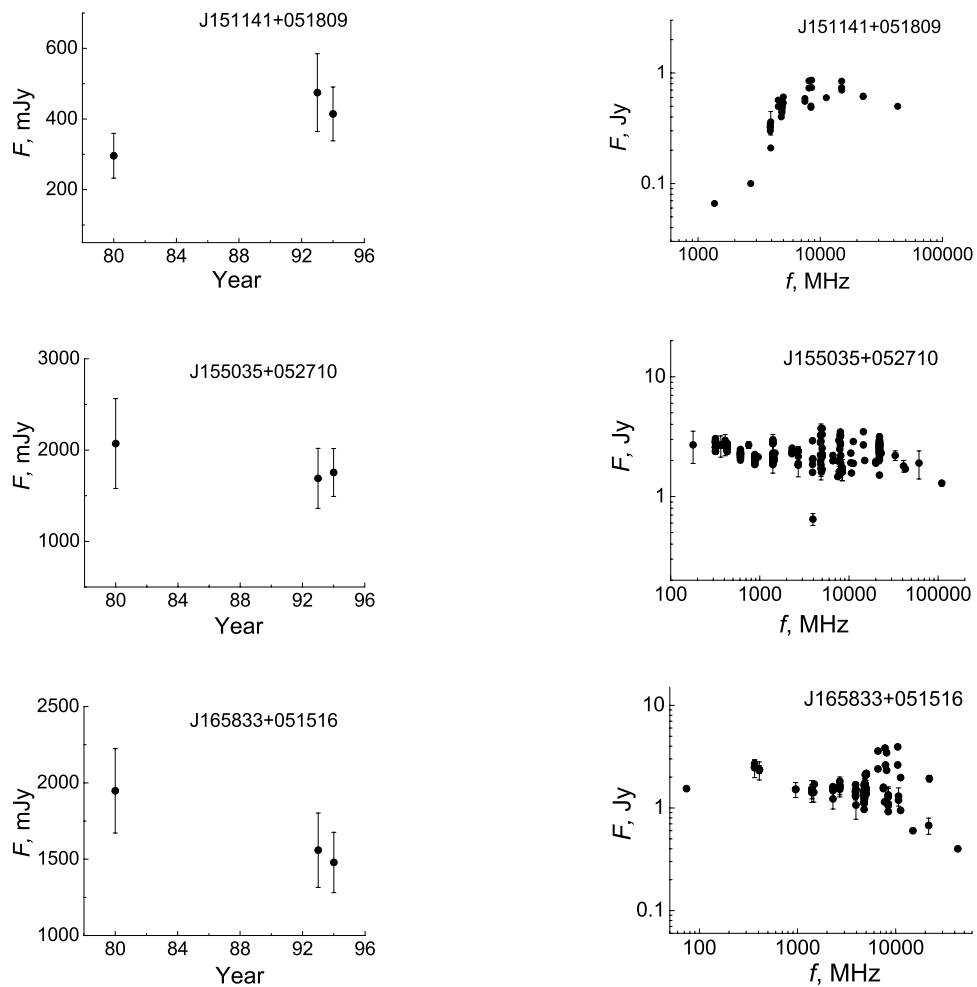


Рис. 9. (Продолжение)

Рис. 10. Кривые блеска (слева) и спектры (справа) переменных радиосточников с плоскими спектрами, у которых индекс долговременной переменности по данным наших обзоров $V < 0$.

относительную амплитуду переменности $V_\chi > 0.2$, и только у шести $V_\chi < 0.1$.

В первой колонке таблицы даны координаты объектов (RA₂₀₀₀, Dec₂₀₀₀), в колонках 2 и 3 — индекс долговременной переменности V и максимальное значение вероятности p по критерию χ^2 , в колонке 4 — относительная амплитуда переменности V_χ . В колонке 5 приводится тип родительской галактики данного объекта в оптике (Type_{opt}): QSO, qso — квазар (строчными буквами — когда тип объекта определен по фотометрическим данным); BL Lac — лацерида; G, g — галактика; Sy — сейфертовская галактика. В колонке 6 даны величины красного смещения Z , в колонке 7 значком “+” отмечено спектральное красное смещение. В колонке 8 даны спектральные индексы (α), в колонке 9 — морфология (Mrph) радиоисточников. Прописными буквами обозначена классификация по картам FIRST, строчными — по картам NVSS, а именно: C или c — точечный источник (Core); D или d — двойной (Double)⁸; CL — ядро с компонентами (Core-Lobe)⁹; CJ — ядро с выбросом (Core-Jet); T — тройной источник (Triple). В колонке 10 приводится тип радиоисточника (Type_r): FSRQ — радиоквазар с плоским спектром; FSRs — источники с плоскими спектрами; GPS, MPS — с пиком на ГГц или МГц; FR I, FR II — источники, относящиеся к типу Фанарев–Райли I или II [37]. В колонке 11 буквами “o” и “r” обозначены переменные и возможно переменные (“?”) в оптическом и радиодиапазоне объекты. Значком “#” в колонке 12 отмечены возможно переменные объекты, обнаруженные в работе [13].

Таким образом, получена выборка RCR-объектов, которые с высокой долей вероятности можно считать переменными на временных масштабах 6–7 лет. Численность ее составляет порядка 10% от общего числа рассмотренных нами объектов RCR-каталога.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обнаружения переменных источников по данным обзоров “Холод” использовалась методика, разработанная в работе [13], где были получены калибровочные кривые и проведен подробный анализ и оценка относительных среднеквадратичных ошибок для каждого из обзоров. Поиск переменных объектов осуществлялся по выборке радиоисточников RCR-каталога [15], включающей

порядка двухсот источников, для которых имеются данные о плотностях потоков на трех и более частотах.

Для проверки RCR-объектов рассматриваемой выборки на наличие среди них переменных проводились количественные оценки индекса долговременной переменности V , относительной амплитуды переменности V_χ и вероятности p по критерию χ^2 , а также параметров V_R и V_F .

Из порядка двухсот рассмотренных в настоящей работе объектов RCR-каталога у 41 индекс долговременной переменности оказался положительной величиной, что указывает на их возможную переменность. Почти половина этих источников — яркие объекты с плотностями потоков свыше 100 мЯн, около трети — слабые радиоисточники с $F \leq 40$ мЯн. В распределении спектрального индекса этой выборки имеются два максимума: на $\alpha = -0.75$ и $\alpha = -0.15$. Однако большинство объектов с $V > 0$ имеют спектральный индекс $\alpha > -0.5$.

Исходя из критериев работ [3, 34–36], из 41 объекта с положительным индексом долговременной переменности пятнадцать можно считать достоверно переменными радиоисточниками. Для них вероятность по критерию χ^2 $p > 0.98$, три из них имеют вероятность $p \geq 0.999$, шесть источников — возможно переменные с вероятностью $0.95 < p < 0.98$, у двадцати $0.73 \leq p < 0.95$.

Из 21 наиболее вероятного источника с $p > 0.95$ треть имеют плотности потоков свыше 150 мЯн, семь — $40 < F < 100$ мЯн, и семь — $20 < F < 40$ мЯн. Большинство этих источников — объекты с близкими к плоскому спектрами, у двух объектов спектры инверсионные. Треть источников имеют спектральный индекс $\alpha < -0.67$ (крутые спектры).

Двадцать четыре объекта из 41 переменны или возможно переменны в оптическом диапазоне, пять — известные переменные радиоисточники. Построены кривые блеска и спектры радиоисточников с положительным индексом долговременной переменности и ряда “непеременных” объектов.

Итак, нами были исследованы около 280 радиоисточников RCR-каталога. Суммируя результаты поиска переменных источников, которые были предприняты в настоящей работе и работе [13], можно отметить, что 55 радиоисточников имеют положительный индекс долговременной переменности. Пятнадцать из них удовлетворяют критерию χ^2 $p > 0.98$ и девять — критерию возможной переменности ($0.95 < p < 0.98$). У остальных вероятность лежит в диапазоне $0.6 < p < 0.95$.

⁸DC — двойной с ядром (Double-Core), DD — удвоенная двойная структура (Double-Double). Символ “w” относится к “winged” или “X-shaped” морфологии.

⁹Дополнительным символом “S” обозначены “S-shaped”-источники.

Таблица 3. Полный список RCR-объектов с $V > 0$, полученных в данной работе и в работе [13], и их характеристики

RCR RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀	V	p	V_{χ}	Type _{opt}	Z	l_Z	α	Mrph	Type _r	Var	Notes
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
J 072919.57+044948.7	0.189	0.966	0.385	g			-0.67	c			
J 073357.46+045614.1	0.199	0.999	0.388	QSO	3.010	+	0.12	C	FSRQ	o?	
J 074239.65+050704.3	0.077	0.855	0.180	Sy2	0.160	+	-0.85	d?	FRII?	o	#
J 075314.02+045129.4	0.025	0.796	0.057	G	0.450		-0.35	C	FSRS		
J 080757.60+043234.6	0.275	0.995	0.594	QSO	2.877	+	-0.30	C	FSRQ	o	
J 081218.14+050755.5	0.097	0.906	0.194	qso			-0.75	C			
J 081626.62+045852.8	0.106	0.990	0.337	G	0.080		-0.61	CL, S	GPS?	o	
J 083148.89+042938.5	0.130	0.984	0.367	BL Lac	0.174	+	0.04	CJ	FSRS	o, r	
J 091636.22+044132.0	0.263	0.965	0.453	G	0.184	+	-0.84	T	MPS?	o	
J 095218.73+050559.3	0.201	0.976	0.403	QSO	0.400		0.27	C		o	
J 100534.80+045119.8	0.104	0.981	0.377	g			-0.56	D?	FRII?		
J 101515.33+045305.6	0.061	0.864	0.168	g			-1.04	C			#
J 101603.12+051303.6	0.147	0.987	0.334	QSO	1.702	+	0.04	C	FSRQ	r	
J 103846.84+051229.6	0.050	0.839	0.121	QSO	0.473	+	0.24	T	FSRQ	o?	
J 103938.62+051031.1	0.264	0.984	0.480	G	0.068	+	-0.74	D, w	FRII	o	#
J 104117.65+045306.4	0.157	0.994	0.414	G	0.068	+	-0.82	T?		o	
J 104527.19+045118.7	0.043	0.808	0.202	g			-0.85	C			
J 104551.72+045553.9	0.035	0.691	0.083	g			-0.99	D?			#
J 105253.05+045735.3	0.039	0.895	0.149	g			-0.28	D?	GPS?		
J 105719.26+045545.4	0.200	0.990	0.427	QSO	1.334	+	-0.20	C	GPS?	o?	
J 110246.51+045916.7	0.082	0.925	0.228	G	0.630		-0.81	D, w	FRII		#
J 112437.45+045618.8	0.057	0.895	0.164	Sy2	0.283	+	-0.87	D	FRII	o?	#
J 113156.47+045549.3	0.050	0.842	0.110	G	0.844	+	-0.77	C		r	
J 114521.30+045526.7	0.018	0.729	0.061	QSO	1.339	+	-0.33	D	FSRQ	o?	
J 114631.64+045818.2	0.056	0.924	0.165	QSO			-0.21	C?	GPS?		
J 115248.33+050057.2	0.171	0.974	0.513	qso			-0.89	D?			
J 115336.08+045505.2	0.175	0.989	0.393	G	0.313	+	0.78	C	GPS?		
J 115851.23+045541.9	0.335	1.0	0.882	QSO			-0.11	C	FSRQ?	o?	
J 121328.89+050009.9	0.076	0.772	0.176	G	0.700		-1.08	DC	FRII		#
J 121852.16+051449.4	0.007	0.681	0.175	G	0.075	+	-0.67	D		o	#
J 123507.25+045318.7	0.376	1.0	0.753	g?			-0.06	C	GPS?		

Таблица 3. (Продолжение)

RCR RA ₂₀₀₀ Dec ₂₀₀₀	V	p	V _χ	Type _{opt}	Z	l _Z	α	Mrph	Type _r	Var	Notes
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
J 123723.63+045741.6	0.032	0.828	0.089	g			-1.16	C			
J 123932.78+044305.3	0.027	0.844	0.135	QSO	1.762	+	-0.13	C	FSRQ	o, r	
J 124145.15+045924.5	0.224	0.961	0.491	G			-0.56	D			
J 125755.32+045917.6	0.072	0.939	0.184	G	0.240		-1.01	DD	FRII	o?	
J 130631.65+050231.3	0.056	0.764	0.159	qso			-0.25	C			
J 132448.14+045758.8	0.088	0.762	0.165	qso			-1.03	D	FRII		#
J 133541.21+050124.9	0.216	0.933	0.519	G	0.770	+	-0.04	C			
J 133920.76+050159.3	0.116	0.871	0.307	QSO	1.358	+	-0.27	C		o	
J 134201.37+050157.5	0.108	0.931	0.279	QSO	3.166	+	0.85	C		o	
J 134243.57+050431.5	0.008	0.601	0.026	Sy1	0.136	+	-0.65	CL, S	FRI	o	#
J 135050.06+045148.9	0.173	0.989	0.481	QSO	1.800		0.44	C	GPS?	o	
J 135137.56+043542.0	0.084	0.960	0.294	g			-0.89	C			#
J 140730.77+044934.9	0.007	0.675	0.071	QSO	1.756	+	-0.75	D?		o?	#
J 141920.56+051110.6	0.104	0.943	0.203	QSO	0.787	+	-0.27	C	GPS?	o?	
J 142104.21+050845.0	0.092	0.928	0.280	G	0.455	+	-0.69	C		o?	#
J 142409.47+043451.7	0.231	0.988	0.484	BL Lac	0.665	+	-0.20	CJ	FSRS	o, r	
J 145032.99+050824.6	0.082	0.925	0.235	QSO	1.635	+	-0.32	D	FRII		
J 151141.19+051809.4	0.019	0.725	0.133	Sy1	0.084	+	1.11	C	FRSQ	o	
J 155148.09+045930.5	0.125	0.961	0.275	G			-1.17	D	FRII		#
J 161015.24+044923.5	0.080	0.919	0.223	qso			-0.20	CJ		o, r	
J 161637.49+045932.8	0.067	0.984	0.214	QSO	3.217	+	0.22	C	GPS		
J 163106.83+050119.2	0.110	0.972	0.241	g			-0.90	d			
J 165643.94+050014.2	0.096	0.988	0.269	g?			-0.72	d?			

Тридцать пять объектов из 55 имеют относительную амплитуду переменности $V_{\chi} > 0.2$. Таким образом, около 10% источников от общего числа рассмотренных нами RCR-объектов оказались переменными.

Среди 24 наиболее вероятных переменных источников две лацертиды, остальные — квазары (9 объектов) и галактики (10 объектов).

Обращает на себя внимание тот факт, что у четырнадцати источников из 55 плотности потоков в FIRST-обзоре превышают плотности потоков NVSS-обзора, что также указывает на их возможную переменность. Почти половина объектов —

источники с плоскими спектрами, порядка десяти — GPS и MPS с пиком на ГГц или МГц. Двадцать шесть объектов из 55 переменны или возможно переменны в оптическом диапазоне, пять — известные переменные радиисточники.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты 11-02-12036, 11-02-00489, 12-07-00503) и Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракты 16.552.11.7028, 14.518.11.7054). В исследованиях

использовались средства доступа к каталогам VizieR и 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. R. Amirkhanyan, A. G. Gorshkov, and V. K. Konnikova, *Sov. Astron. Lett.* **15**, 387 (1989).
2. V. R. Amirkhanyan, A. G. Gorshkov, and V. K. Konnikova, *Sov. Astron.* **36**, 115 (1992).
3. A. G. Gorshkov and V. K. Konnikova, *Astronomy Reports* **39**, 257 (1995).
4. Ю. А. Ковалев, *Сообщения САО* **68**, 60 (1991).
5. Yu. A. Kovalev, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **44**, 50 (1997).
6. A. G. Gorshkov, V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev, *Astronomy Reports* **44**, 454 (2000).
7. A. G. Gorshkov, V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev, *Astronomy Reports* **47**, 903 (2003).
8. A. G. Gorshkov, V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev, *Astronomy Reports* **52**, 278 (2008).
9. Yu. V. Sotnikova, M. G. Larionov, and M. G. Mingaliev, *Astrophysical Bulletin* **64**, 185 (2009).
10. A. G. Gorshkov, V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev, *Astronomy Reports* **54**, 908 (2010).
11. W. H. de Vries, R. H. Becker, R. L. White, and D. J. Helfand, *Astronom. J.* **127**, 2565 (2004).
12. N. Thyagarajan, D. J. Helfand, R. L. White, et al., *Astronom. J.* **742**, 49 (2011).
13. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova, *Astrophysical Bulletin* **67**, 318 (2012).
14. Ю. Н. Парийский, Д. В. Корольков, в *Итоги науки и техники, Сер. астрономия*, Ред. Р. А. Сюняев (ВИНИТИ, Москва, 1986), Т. 31, с. 73.
15. N. S. Soboleva, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, et al., *Astrophysical Bulletin* **65**, 42 (2010).
16. Yu. N. Parijskij and D. V. Korolkov, *Sov. Sci. Rev. Astrophys. Space Phys.* **5**, 39 (1986).
17. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **87**, 1 (1991).
18. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **96**, 583 (1992).
19. N. N. Bursov, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (SAO RAN, Nizhnii Arkhyz, 2003).
20. N. N. Bursov, *Astronomy Reports* **41**, 35 (1997).
21. N. S. Soboleva, N. N. Bursov, and A. V. Temirova, *Astronomy Reports* **50**, 341 (2006).
22. O. P. Zhelenkova, N. S. Soboleva, E. K. Majorova, and A. V. Temirova, *Baltic Astronomy* **21**, 371 (2012).
23. O. P. Zhelenkova, N. S. Soboleva, E. K. Majorova, and A. V. Temirova, *Astrophysical Bulletin* **68**, 26 (2013).
24. Н. А. Есепкина, Н. Л. Кайдановский, Б. В. Кузнецов и др., *Радиотехника и электроника* **6**, 1947 (1961).
25. Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др., *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **11**, 182 (1979).
26. Н. А. Есепкина, Б. А. Васильев, И. А. Водоватов, М. Г. Высоцкий, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **11**, 197 (1979).
27. E. K. Majorova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 78 (2002).
28. E. K. Majorova and S. A. Trushkin, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 89 (2002).
29. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astronom. J.* **115**, 1693 (1998).
30. S.P. Spangler and D.B. Cook, *Astronom. J.* **85**, 659 (1980).
31. M.F. Aller, H.D. Aller, and P.H. Hughes, *Astronom. J.* **586**, 33 (2003).
32. O. V. Verkhodanov, B. L. Erukhimov, M. L. Monosov, et al., Preprint SAO, No. 78 (Special Astrophysical Observatory, Nizhnii Arkhyz, 1992).
33. Ting-Gui Wang, Hong-Yan Zhou, Jung-Xian Wang, et al., *Astronom. J.* **645**, 856 (2006).
34. G. A. Seielstad, T. J. Pearson, and A. C. S. Readhead, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **95**, 842 (1983).
35. M. J. L. Kesteven, A. H. Bridle, and G. W. Brandie, *Astronom. J.* **81**, 919 (1976).
36. R. Fanti, A. Ficara, F. Mantovani, and L. Padrielli, *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **36**, 359 (1979).
37. B.L. Fanaroff and J.M. Riley, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **167**, 31 (1974).

Search for Variable Sources Using Data of “Cold” Surveys**E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova**

We search for variable sources, using the data of the surveys conducted on the RATAN-600 radio telescope in 1980–1994 at 3.94 GHz. To test the radio sources of the RCR (RATAN Cold Refined) catalog for variability, we estimated the long-term variability indices V of the studied objects, their relative variability amplitudes V_χ , and the χ^2 probabilities p . Out of about two hundred considered sources, 41 proved to have positive long-term variability indices, suggesting that these sources may be variable. Fifteen objects can be considered to be reliably variable according to the χ^2 criterion $p > 0.98$, three of these sources have χ^2 probabilities $p \geq 0.999$. The corresponding probabilities for six sources lie in the $0.95 < p < 0.98$ interval, and those of the remaining 20 objects in the $0.73 \leq p < 0.95$ interval. Twenty-four of 41 objects are variable or possibly variable in the optical range, and five objects are known variable radio sources. We construct the light curves and spectra for the sources with positive long-term variability indices.

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