

УДК 524.3-77/56

ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ДАННЫМ ОБЗОРОВ «ХОЛОД» В ПОЛОСЕ ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ $2^{\text{h}} \leq \text{RA} \leq 6^{\text{h}}$

© 2015 Е. К. Майорова^{1*}, О. П. Желенкова^{1,2}, А. В. Темирова³¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101 Россия³Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН, Санкт-Петербург, 196140, Россия

Поступила в редакцию 10 сентября 2014 года; принята в печать 15 октября 2014 года

В настоящей работе поиск переменных объектов осуществлялся в обзорах 1988–1994 гг. в полосе прямых восхождений $2^{\text{h}} \leq \text{RA} \leq 6^{\text{h}}$ на частоте 3.94 ГГц. Работа является продолжением отработки методики по обнаружению переменных радиисточников в обзорах «Холод». На имеющихся записях прохождения неба в этой полосе было выделено 195 радиисточников, причем только у 145 объектов плотности потоков получены по двум и более обзорам. Для проверки этих радиисточников на переменность проводились количественные оценки индекса долговременной переменности V , относительной амплитуды переменности V_{χ} , вероятности p по критерию χ^2 . Из 145 объектов у пятнадцати индекс долговременной переменности оказался положительным ($V > 0$). Из них у пяти источников вероятность p по критерию χ^2 превысила 0.95. Достоверно переменными можно считать три объекта с вероятностью $p > 0.996$, и два — возможно переменными с вероятностью $0.95 < p < 0.996$. Если привлечь к оценке переменности этих пятнадцать источников данные других авторов о плотностях потоков в обзоре 1980 г., то достоверно переменными оказываются восемь объектов. Для источников с положительным индексом долговременной переменности построены кривые блеска и спектры, а также проведено их оптическое отождествление.

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

1. ВВЕДЕНИЕ

Переменное радиоизлучение наблюдается у галактик с активными ядрами, микроквazarов, пульсаров и некоторых звезд. Переменность может быть обусловлена как внешними причинами (мерцаниями), так и внутренними [1], которые связаны с процессами генерации излучения в самом источнике.

Большинство публикаций, связанных с исследованиями переменности радиисточников, посвящено компактным источникам с плоским спектром, родительские галактики которых относятся по проявлениям активности ядра в оптическом диапазоне к квазарам или к более экстремальным случаям — блазарам [2–5]. Переменность обнаружена на разных временных масштабах: как внутрисуточная, так и на интервалах от месяцев и до десятка лет. Данные для подобных исследований обычно получены по мониторинговым программам выборок компактных радиисточников, обычно достаточно

ярких. Такие наблюдения проводятся и на радиотелескопе РАТАН-600, причем не одно десятилетие [6–15].

Исследования позволили построить модели, которые уверенно описывают процессы, происходящие в джете и окружающей среде, через которую он, взаимодействуя, распространяется. Короткопериодическая составляющая переменности объясняется ударными волнами от вспышек в канале джета [16, 17]. К ней относится переменность внутрисуточная [18] и на временных масштабах от недели до нескольких месяцев [19]. Долгопериодическая составляющая [20] определяется прецессионными процессами, происходящими в системе «аккреционный диск—черная дыра» [21, 22].

Количество работ по поиску переменных источников по данным обзоров существенно меньше. Это объясняется тем, что в обзорных наблюдениях не так часто проводятся повторные циклы, так как в обзорах основной целью является обнаружение источников. Обнаружение переменности у источников является побочным продуктом, а ана-

*E-mail: len@sao.ru

лиз таких данных требует больших трудозатрат по сравнению с мониторинговыми наблюдениями.

Подход, использующий данные радиообзоров для поиска переменных источников, появился сравнительно недавно, в конце XX-го века, однако позволил достаточно эффективно обнаруживать и изучать переменные радиообъекты. В качестве примеров можно привести работы [23–29]. В последней по данным обзора FIRST обнаружено 1627 переменных и транзиентных объектов с плотностями потоков от 1 мЯн и выше с характерными временами переменности от нескольких минут до нескольких лет и изменениями потока от 20% до 2500%.

Следует отметить, что в подобных работах обычно не используется селекция по угловым размерам, спектральному индексу и ограничениям по плотности потока (до предельной чувствительности обзора). Тем самым имеется потенциальная возможность обнаружения новых популяций, связанных со слабыми источниками или транзиентными событиями. Именно по этой причине наблюдательные материалы обзоров, проводимые на радиотелескопе РАТАН-600 с 80-го года, содержат интересную для исследования информацию.

Использование обзоров РАТАН-600 для поиска переменных радиоисточников имеет еще и то преимущество, что в процессе обзора конфигурация антенны радиотелескопа и положение вторичного зеркала практически не меняется, а это существенно уменьшает ошибки измерений. В совокупности с увеличением времени накопления за счет многократного прохождения одной и той же полосы неба, такой тип наблюдений позволяет уверенно исследовать на порядок более слабые и многочисленные объекты, чем в мониторинговых программах.

В настоящей работе мы используем этот метод для поиска переменных радиоисточников по данным обзоров «Холод» [30], которые проводились на Северном секторе РАТАН-600 на волне 7.6 см в период с 1980 по 1994 г. на склонении источника SS 433. Отметим, что подобные исследования по обзорным данным РАТАН-600 ранее не проводились. В двух предыдущих работах [31, 32] и в этой завершающей работе основное внимание мы уделяем методическим аспектам обработки данных и использования разных критериев переменности при обнаружении переменных объектов по обзорным данным серии экспериментов «Холод».

2. ОБРАБОТКА ДАННЫХ И ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

В работе [31] с помощью отобранных по определенным критериям объектов RCR-каталога

(RATAN Cold Refined) [33] были получены калибровочные кривые и детально оценены ошибки определения плотностей потоков источников в каждом из рассматриваемых обзоров. Опираясь на полученные результаты, в работах [31, 32] был осуществлен поиск переменных объектов в полосе прямых восхождений $7^h \leq RA < 17^h$. Для оценок переменности рассчитывались индекс долговременной переменности V , вероятность переменности по критерию χ^2 и ряд других параметров, характеризующих переменность объектов.

В настоящей работе поиск переменных объектов осуществлялся в полосе прямых восхождений $2^h \leq RA \leq 6^h$ обзоров «Холод». При отборе источников с возможной переменностью были использованы те же критерии, что и в работах [31, 32].

В качестве исходного материала использовались осредненные записи многосуточных наблюдений, которые прошли первичную обработку (отбраковка некачественных записей, удаление калибровок и помех, сшивка сканов) [34]. После вычитания фона проводилось выделение источников на осредненных сканах с помощью гаусс-анализа. При обработке использовалось штатное программное обеспечение обработки радиоастрономических наблюдений [35]. Методика обработки обзоров описана в работах [31, 33, 36], а методика поиска переменных источников по данным обзоров «Холод» — в работе [31].

Всего на осредненных записях в диапазоне прямых восхождений $2^h \leq RA \leq 6^h$ было выделено и отождествлено с объектами NVSS каталога 195 радиоисточников, определены их плотности потоков. Однако только для 145 объектов были получены данные о плотностях потоков в двух и более обзорах. Частично это связано с тем, что исходные данные, оказавшиеся в нашем распоряжении, оказались неполными. Полностью отсутствовали записи обзора «Холод» 1980 г. в рассматриваемом диапазоне прямых восхождений, а также 3-й час в обзоре 1994 г. и 4-й — в обзоре 1988 г. Это существенно снизило информативность полученных результатов. Чтобы восполнить недостающую информацию, частично были использованы данные о плотностях потоков источников в обзоре 1980 г., приведенные в работе [37].

Как и в работах [31, 32], поиск источников с возможной переменностью осуществлялся путем оценки для каждого объекта ряда параметров, характеризующих переменность: коэффициентов V_R [38] и V_F [39] и индекса долговременной переменности V [15].

Расчет коэффициентов проводился по формулам:

$$V_R = F_i/F_j,$$

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

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

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 ($i, j = 80, 88, 93, 94$).

Одним из признаков переменности источника является положительная величина его индекса долговременной переменности хотя бы в двух обзорах.

При расчете плотностей потоков F_i радиисточников 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 [31].

Абсолютная σ_i и относительная RMS_i среднеквадратичные ошибки определения плотности потока источника в i -том обзоре рассчитывались по формулам:

$$RMS_i = \sqrt{(RMS_i^{Ta})^2 + (RMS^k)^2},$$

$$\sigma_i = F_i * RMS_i,$$

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

$$RMS_i^{Ta} = \sigma_s/T_a^i,$$

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

Усредненные значения RMS^k приведены в таблице 1 работы [31].

Радиисточники, 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 145 объектов индекс долговременной переменности V оказался положительным у пятнадцати радиисточников. Координаты этих объектов (RA_{2000}, Dec_{2000}) и значения коэффициентов V, V_F

и V_R приведены в таблице 1 (соответственно в колонках 1, 2, 3 и 4). Там же приводятся вычисленные по обзорам 1988, 1993 и 1994 гг. средние значения плотностей потоков этих объектов \bar{F} (колонка 5), абсолютные σ^{set} и относительные RMS^{set} среднеквадратичные отклонения от среднего \bar{F} (колонки 6 и 7), а также средние по обзорам величины углов выноса источника от центрального сечения обзора dH^1 (колонка 8). Спектральные индексы источников α на частоте 3.94 ГГц приведены в колонке 9.

Для расчета спектрального индекса на частоте 3.94 ГГц строились спектры каждого из объектов. При этом привлекались как усредненные плотности потоков \bar{F} , полученные нами по обзорам 1988–1994 гг. на частоте 3.94 ГГц, так и имеющиеся данные на других частотах, полученные другими авторами. Для этого использовались базы данных Vizier [40], NED и CATS [41]. Полученные спектры аппроксимировались прямыми и, реже, параболой. Менее надежные данные брались с меньшими весами при вписывании аппроксимирующих кривых. Тип аппроксимирующей кривой отмечен в колонке 10 (буква «l» — аппроксимация прямой, «p» — параболой).

Как видно из таблицы 1, только у пяти из пятнадцати источников индекс долговременной переменности $V \gtrsim 0.1$, еще у двух он составляет около 0.09. У семи источников $V < 0.04$. Практически все объекты лежат в диапазоне, меньшем $\pm 9.5'$ от центрального сечения обзоров. Их средняя плотность потоков \bar{F} , за исключением одного, не превышает 75 mJy.

Обращает на себя внимание тот факт, что большинство источников, заподозренных на переменность, лежит в диапазоне 6-го часа. Отчасти это связано с тем, что в диапазонах прямых восхождений $2^h \leq RA \leq 5^h$ мы располагали данными не по всем обзорам, а те, которыми располагали, прошли первичную обработку с окном сглаживания 20 с. Записи 6-го часа прошли обработку с окном сглаживания 80 с, как и в работах [31, 32].

Поскольку при проведении фона с окном сглаживания 20 с имеет место занижение антенной температуры источника на расстояниях $dH > \pm 9'$ от центрального сечения, и тем значительнее, чем дальше он проходит от центрального сечения обзора [33], исследовать такие источники на переменность некорректно.

Для пятнадцати источников, приведенных в таблице 1, были рассчитаны также вероятности переменности p_{df} по критерию χ^2 . Параметр p_{df} дает

¹ $dH = \Delta Dec = Dec^{src} - Dec^0$, где Dec^0 — склонение центрального сечения обзора, Dec^{src} — склонение источника.

Таблица 1. Объекты с положительным индексом долговременной переменности V

RCR RA ₂₀₀₀ , Dec ₂₀₀₀	V	V_F	V_R	\bar{F} , mJy	σ^{set} , mJy	RMS^{set}	dH_1 , arcmin	α	Approx.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
J023155.98+050234.6	0.085	1.78	2.20	17	4	0.220	2.2	-0.14	l
J033226.75+045718.8	0.028	1.57	1.55	29	6	0.215	-2.5	+1.60	l
J050625.14+050819.8	0.035	1.57	1.79	75	12	0.163	9.4	-0.92	p
J051343.45+045854.8	0.030	1.64	1.51	31	4	0.121	0.4	-0.57	l
J060612.31+045743.2	0.089	2.13	1.67	21	4	0.166	-0.3	-0.54	l
J060659.72+050659.3	0.063	1.73	1.72	61	17	0.265	9.0	-0.72	l
J061003.66+045354.3	0.038	1.62	1.82	19	5	0.230	-3.9	-0.90	l
J061900.21+050630.8	0.013	1.56	1.19	38	48	0.142	8.8	-0.72	p
J062128.52+045852.4	0.151	3.20	1.70	33	7	0.207	1.2	-0.26	l
J062207.41+045651.3	0.096	2.37	1.58	36	4	0.124	-0.9	-0.50	l
J062310.60+050330.0	0.120	2.38	1.64	64	13	0.208	5.7	-0.43	l
J062741.83+045804.0	0.030	1.72	1.39	25	2	0.095	0.5	-1.01	p
J063929.62+045937.1	0.027	1.51	1.86	11	3	0.301	1.4	-0.24	l
J065850.14+050206.8	0.240	3.13	3.00	41	18	0.436	4.9	+0.05	l
J065929.43+045603.9	0.176	2.39	2.27	13	4	0.295	-1.9	+0.48	l

количественную оценку вероятности того, что источник, чьи плотности потоков распределены как χ^2 со степенями свободы $df = n - 1$, может считаться переменным ($p = 1 - \chi^2(n - 1)$).

Рассчитаны две величины вероятности переменности: p_{df} и p_{df-1} . При расчете вероятности p_{df-1} использовались плотности потоков источников и их среднеквадратичные ошибки, полученные по данным обзоров 1988, 1993 и 1994 гг. в диапазоне прямых восхождений $2^{\text{h}} \leq \text{RA} \leq 6^{\text{h}}$. Эти величины получены по одной и той же методике [31, 33] и при близкой чувствительности обзоров.

Для оценок вероятности p_{df} привлекались значения плотностей потоков источников в обзоре 1980 г., опубликованные в работе [37]. Методы обработки данных в настоящей работе и в работе [37] несколько отличались,² и обработка проводилась разными авторами. Поэтому данные о плотностях потоков в обзоре 1980 г. были привлечены только для оценок вероятностей источников, заподозренных на переменность (пятнадцати источников из таблицы 1). Таким образом, хоть и незначительно

(степень свободы $df = n - 1$ увеличивалась лишь на единицу), увеличивалась статистическая значимость полученного ранее результата.

Величины p_{df} и p_{df-1} приведены в колонках 2 и 3 таблицы 2. Кроме того, для источников, у которых индекс долговременной переменности оказался положительной величиной, были рассчитаны: средневзвешенный поток источника $\langle F \rangle$ (колонка 4), абсолютная ΔF и относительная V_{χ} амплитуды переменности (колонки 5 и 6), абсолютная $\langle \sigma \rangle$ и относительная $\langle \sigma \rangle^{\text{otn}}$ средневзвешенные среднеквадратичные ошибки (колонки 7 и 8). В колонке 9 приведены величины числа степеней свободы $df = n - 1$, где n — число обзоров.

Расчеты проводились по формулам [42]:

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

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

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

²Подробно две разные методики обработки данных обзоров описаны в работе [33].

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

RCR RA ₂₀₀₀ , Dec ₂₀₀₀	p_{df}	p_{df-1}	$\langle F \rangle$, mJy	ΔF , mJy	V_χ	$\langle \sigma \rangle$, mJy	$\langle \sigma \rangle^{\text{отн}}$	df
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
J023155.98+050234.6	0.998	0.884	15	6	0.393	3	0.182	3
J033226.75+045718.8	—	0.883	26	4	0.163	4	0.134	2
J050625.14+050819.8	0.657	0.723	69	12	0.173	11	0.161	3
J051343.45+045854.8	0.804	0.829	31	5	0.162	3	0.092	3
J060612.31+045743.2	0.826	0.914	20	4	0.227	2	0.095	3
J060659.72+050659.3	0.882	0.906	53	11	0.212	8	0.157	3
J061003.66+045354.3	0.984	0.893	17	4	0.237	3	0.186	3
J061900.21+050630.8	0.792	0.922	29	39	0.118	26	0.081	3
J062128.52+045852.4	0.999	0.998	31	11	0.354	2	0.075	3
J062207.41+045651.3	0.999	0.967	34	8	0.228	2	0.073	3
J062310.60+050330.0	0.999	0.996	56	19	0.332	4	0.077	3
J062741.83+045804.0	0.693	0.770	24	3	0.114	2	0.083	3
J063929.62+045937.1	0.999	0.865	10	2	0.232	2	0.207	3
J065850.14+050206.8	0.999	0.998	40	17	0.421	6	0.142	3
J065929.43+045603.9	—	0.956	12	5	0.457	2	0.156	2

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

$$V_\chi = \Delta F / \langle F \rangle.$$

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА ПЕРЕМЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В результате обработки записей обзоров «Холод», которые проводились на РАТАН-600 в 1988, 1993 и 1994 гг., было выявлено 195 источников, причем все они отождествлены с источниками NVSS-каталога. Оценены их плотности потоков и ошибки измерения. Для 145 объектов данные о плотностях потоков были получены в двух и более обзорах, что позволило оценить параметры, характеризующие переменность этих радиоисточников.

Из 145 радиоисточников у пятнадцати индекс долговременной переменности оказался положительным, что указывает на их возможную переменность, у пяти — $V \gtrsim 0.1$. Примерно половина из пятнадцати объектов имеет индекс долговременной переменности $V < 0.04$. Средняя плотность потоков \bar{F} источников с $V > 0$ не превышает 75 мЯн, за исключением источника J061900.21+050630.8,

у которого $\bar{F} = 338$ мЯн. Минимальные потоки составляют 11–13 мЯн.

На рис. 1 представлены гистограммы распределения источников по плотностям потоков. Слева серым показана гистограмма распределения $N_{\text{all}} = f(F)$ всех объектов, выделенных хотя бы в двух обзорах, черным — $N_{\text{var}} = f(F)$ объектов с положительным индексом долговременной переменности ($V > 0$). Справа приведена гистограмма отношения $N_{\text{var}}/N_{\text{all}}$. Доля переменных источников по диапазонам плотности потока составляет 10–20%, за исключением диапазона $60 < F < 70$ мЯн (67%), где общее число объектов составляет всего 2%.

У большинства предположительно переменных объектов спектральный индекс α ($F_f \sim f^\alpha$) на частоте $f = 3.94$ ГГц $\alpha > -0.6$. Восемь источников имеют плоский и инверсионный спектры, три — крутой ($\alpha \leq -0.9$). Однако индекс долговременной переменности последних невелик ($V \leq 0.038$).

Если при оценке вероятности переменности по критерию χ^2 опираться только на данные обзоров 1988, 1993 и 1994 гг., то из пятнадцати объектов с $V > 0$ достоверно переменными являются три объекта с вероятностью $p > 0.996$ [8, 42] и

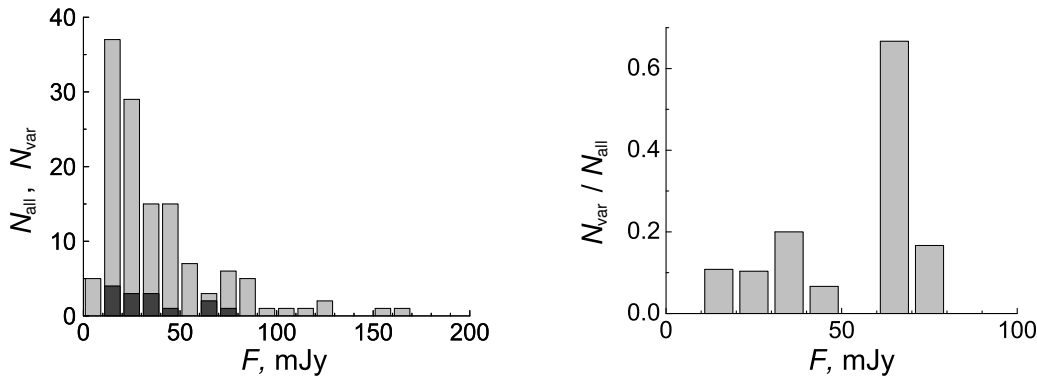


Рис. 1. Гистограммы распределения источников по плотностям потоков. Слева серым показана гистограмма $N_{\text{all}} = f(F)$ всех объектов, выделенных хотя бы в двух обзорах, черным — $N_{\text{var}} = f(F)$ объектов с положительным индексом долговременной переменности $V > 0$. Справа приведена гистограмма отношения $N_{\text{var}}/N_{\text{all}}$.

два — возможно переменные ($p \geq 0.95$). Четыре из них имеют плотности потоков $31 \leq \bar{F} \leq 41$ мЯн, один — слабый, с $\bar{F} = 13$ мЯн. Это источники с плоскими спектрами ($-0.5 \leq \alpha_{3.94} \leq +0.48$).

Дополнительно было проанализировано, как изменится вероятность переменности пятнадцати объектов с $V > 0$, если привлечь для оценки p результаты обработки обзора «Холод-80» [37]. Учет плотностей потоков источников в обзоре 1980 г. по данным работы [37] дает следующие результаты. У четырех обнаруженных по данным обзоров 1988–1994 гг. достоверно переменных источников вероятность p по критерию χ^2 только возрастает с учетом данных 1980 г., у одного (J065929+045603) остается неизменной в силу того, что данных за 1980 г. по нему нет. Кроме того, добавляется еще три переменных источника (J023155.98+050234.6, J061003.66+045354.3 и J063929.62+045937.1), у которых вероятность по критерию χ^2 возрастает с $0.865 \leq p \leq 0.893$ до $p \geq 0.98$. Это довольно слабые объекты ($10 \leq \bar{F} \leq 17$ мЯн), два из них имеют плоский спектр, один — крутой. Данные об их плотностях потоков имеются только по измерениям на частоте 1.4 ГГц на VLA (NVSS-каталог [43]) и из наблюдений PATAH-600 [33, 36, 37, 44–46].

Таким образом, с учетом данных обзора 1980 г., из пятнадцати объектов с положительной величиной индекса долговременной переменности восемь оказываются переменными с вероятностью $p > 0.95$, шесть из них — достоверно переменными с вероятностью $p > 0.998$.

По сравнению с выборкой достоверно переменных радиоисточников ($p > 0.95$), обнаруженных в работе [32] (21 из 200), доля достоверно переменных объектов, найденных в настоящей работе, в два раза ниже (8 из 145). Скорее всего это объясняется отсутствием записей прохождения для некоторых часов обзоров 1988–1994 гг., а также тем, что

для оценки переменности источников мы не использовали данные обзора 1980 г., за исключением пятнадцати источников уже заподозренных на переменность.

На рис. 2 мы приводим кривые блеска (слева) и спектры (справа) источников с положительным индексом долговременной переменности.

4. ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Отождествление кандидатов в переменные радиоисточники проводилось по оптическим обзорам DSS [47], SDSS DR10 [48] и обзорам инфракрасного диапазона 2MASS [49], UKIDSS DR9 [50] и WISE [51] по методике, описанной в работах [52, 53], с использованием радиокарт обзоров NVSS [43], FIRST [54, 55] и с привлечением в отдельных случаях карт более высокого углового разрешения из архива NRAO.³

Результаты отождествления приведены в таблице 3. В первой колонке таблицы даны имена объектов. Во второй колонке приводятся величины индекса долговременной переменности, в третьей и четвертой — величины вероятности p по критерию χ^2 . В пятой колонке приводятся результаты отождествления: «+» — отождествление; «?!» — возможно есть, но слабый на изображении из обзора; «?s» — неуверенное отождествление из-за радиокарты низкого разрешения; «*» — оптический объект смещен от радиокоординат. В шестой колонке приводится тип родительской галактики радиоисточника в оптике (Type_{opt}): «G», «g» — галактика (прописными буквами — тип объекта определен по спектральным данным, а строчными буквами — определен по фотометрическим данным); аналогично «qso» — квазар. В седьмой

³<http://archive.nrao.edu/archive/archiveimage.html>

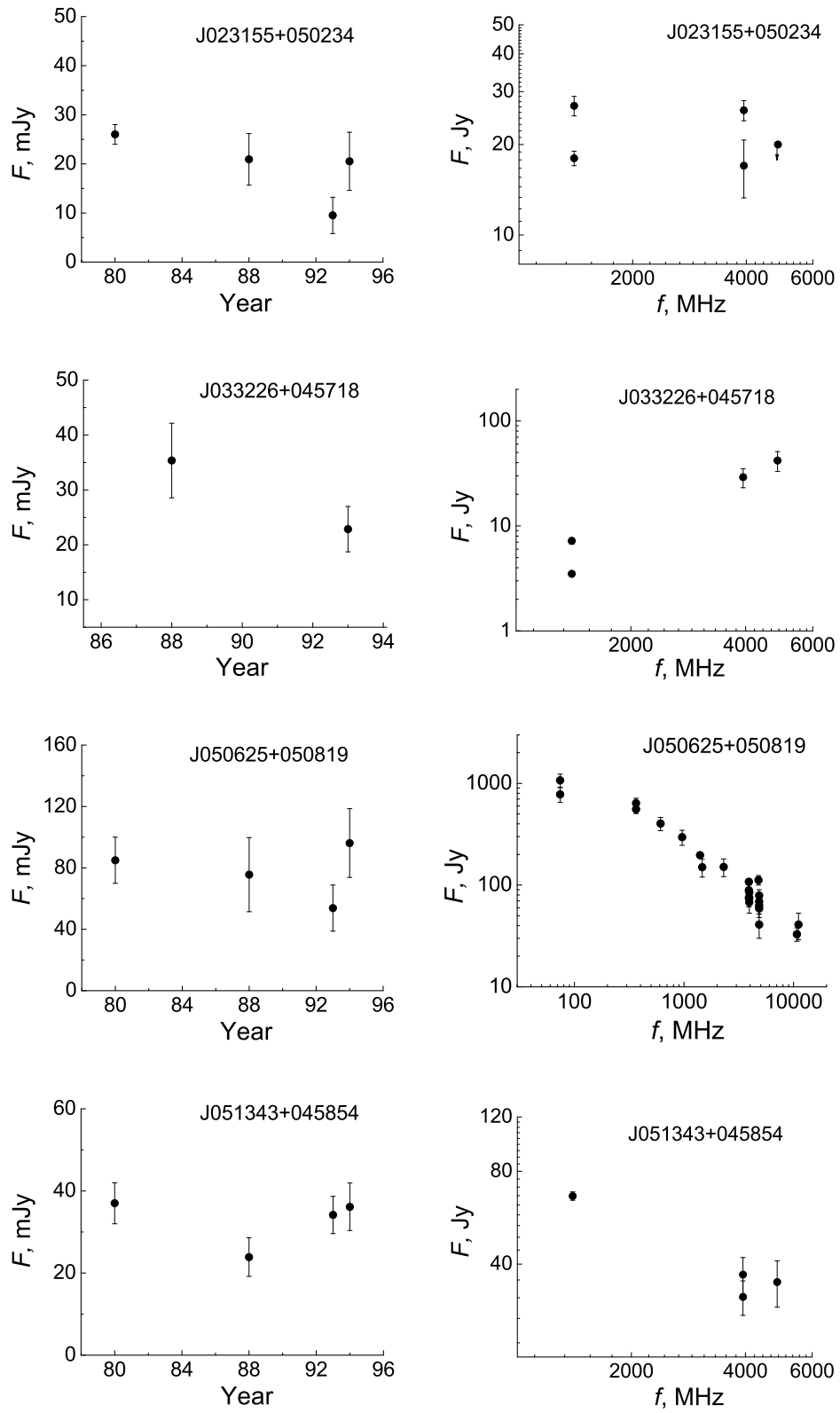


Рис. 2. Кривые блеска (слева) и спектры (справа) источников с $V > 0$.

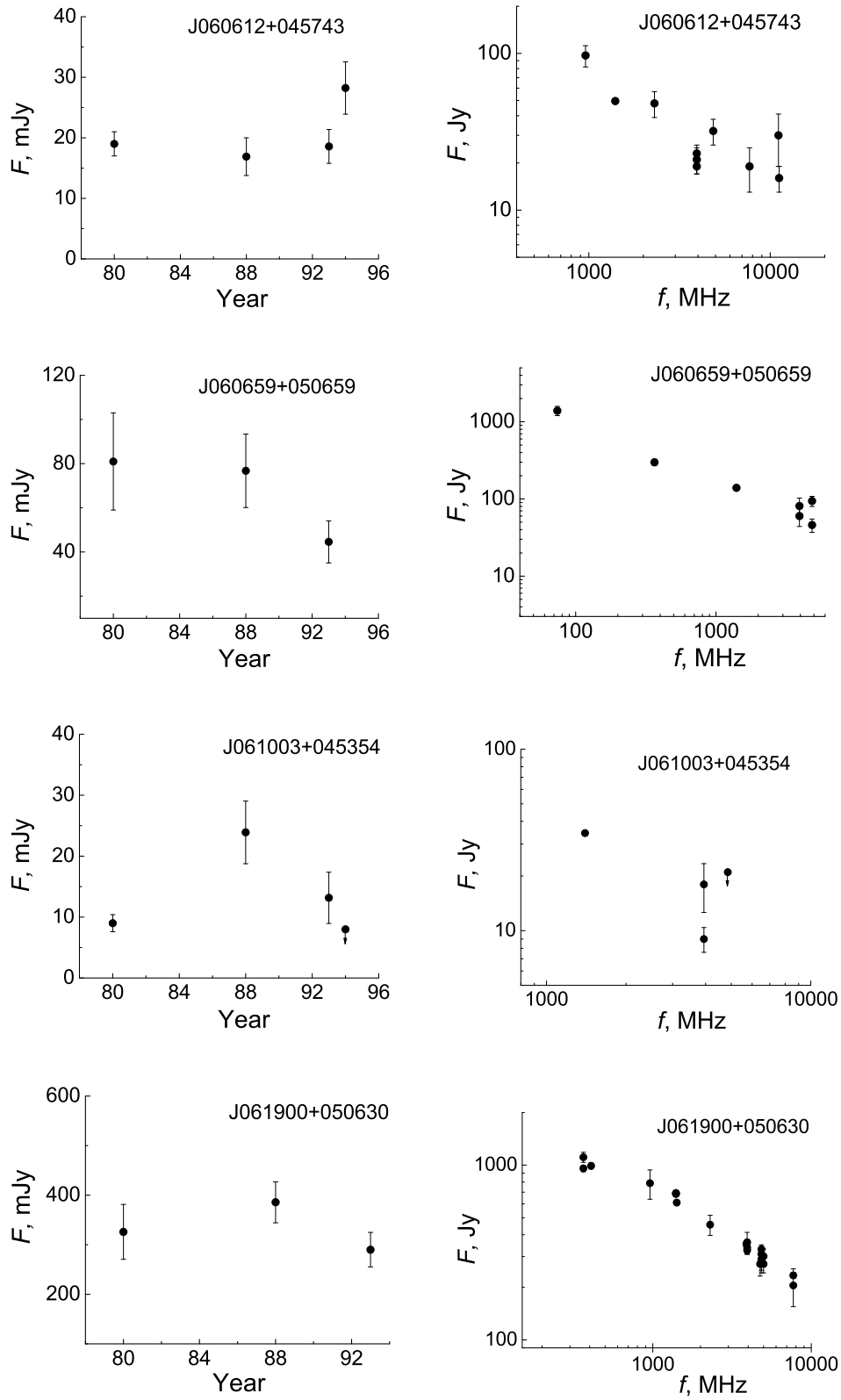


Рис. 2. (Продолжение)

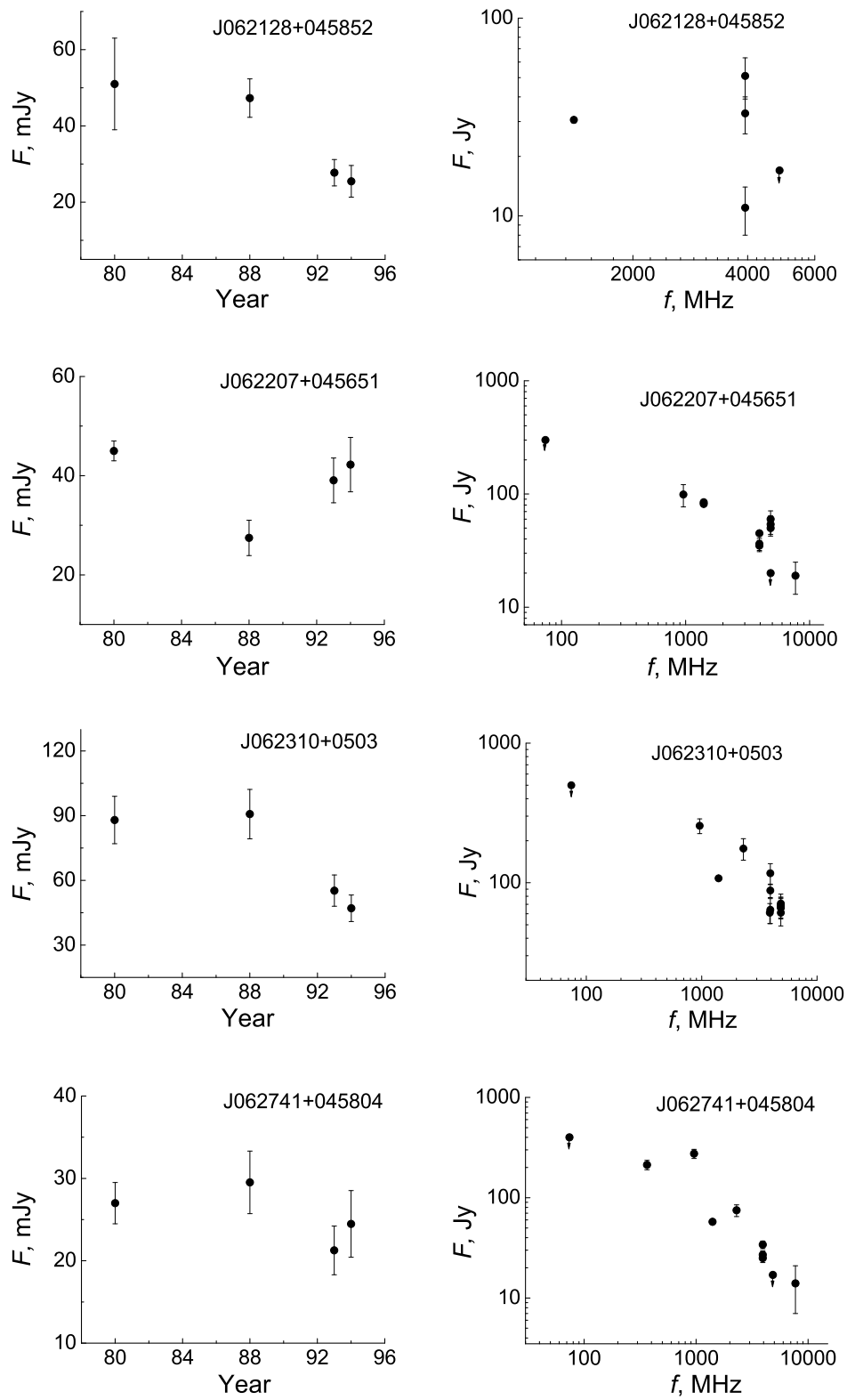


Рис. 2. (Продолжение)

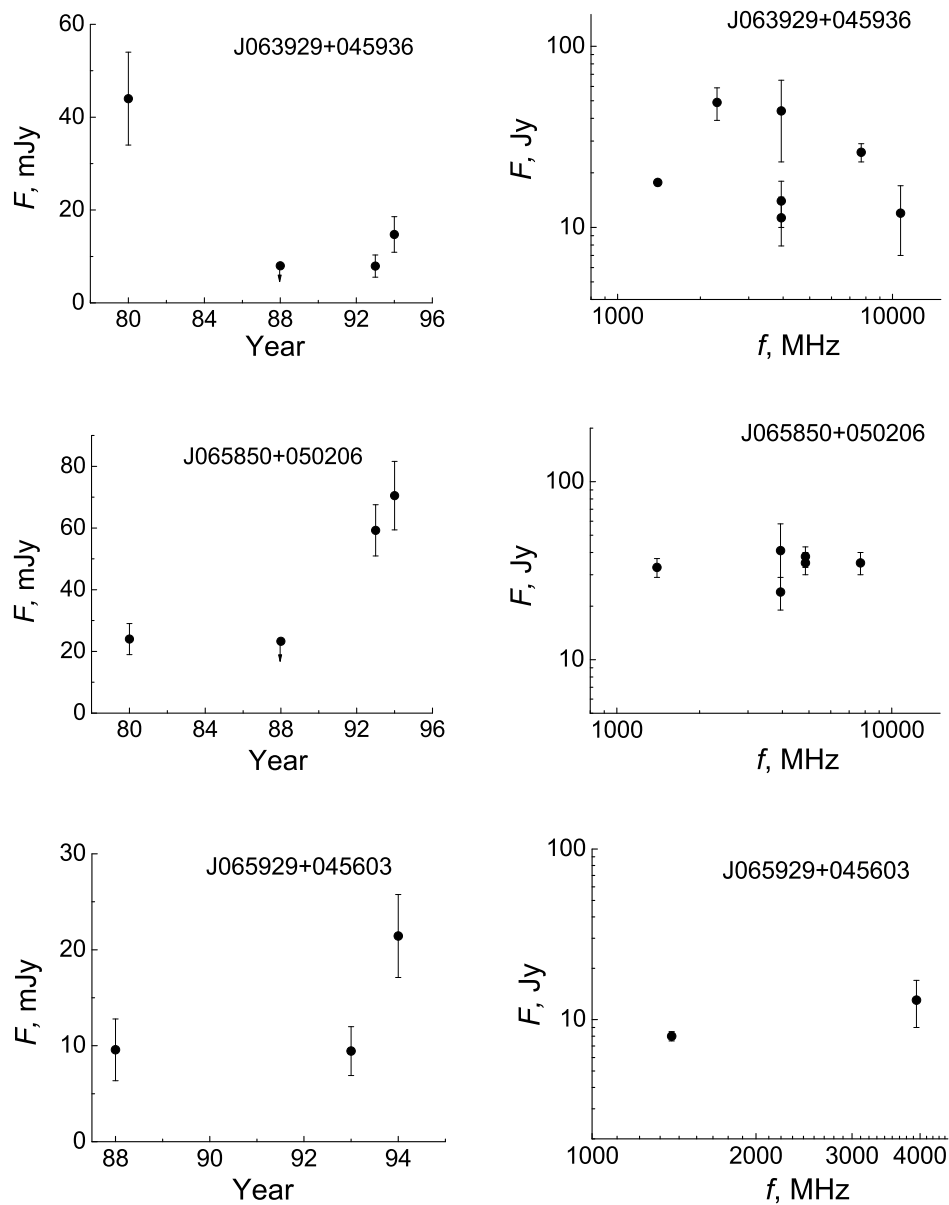


Рис. 2. (Продолжение)

колонке даны величины красного смещения Z , в восьмой колонке — морфология (Mrph) радиосточников. Прописными буквами обозначена классификация по картам более высокого углового разрешения, чем у карт обзора NVSS, строчными — по картам NVSS, а именно: «С» или «с» — точечный источник (Core); «D», «d» — двойной (Double). В девятой колонке даны спектральные индексы (α) на частоте 3.94 ГГц.

Поскольку исследуемый интервал прямых восхождений попадает в область, которая не перекрывается полностью обзорами SDSS, UKIDSS, а также радиообзором FIRST [54] с изображениями,

имеющими существенно лучшее угловое разрешение, чем обзор NVSS, то количество отождествлений ниже, чем приводится в работах [31, 32]. Кроме того, для объектов, приведенных в таблицах 1–3, нет публикаций с информацией о переменности в оптическом и радиодиапазоне.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отличие от мониторинговых программ по поиску и исследованию переменных радиосточников, в настоящей работе для поиска переменных объектов были использованы данные глубоких обзоров «Холод». Этот метод дает более надежные

Таблица 3. Результаты оптического отождествления кандидатов в переменные источники

RCR	V	p_{df}	p_{df-1}	oiV	Type _{opt}	Z	Mrph	α
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
J023155.98+050234.6	0.085	0.998	0.884	+	G	0.6	c	-0.14
J033226.75+045718.8	0.028	—	0.883	+	G	0.4	c?	+1.60
J050625.14+050819.8	0.035	0.657	0.723	+	G	1.52	C	-0.92
J051343.45+045854.8	0.030	0.804	0.829	?l	—	—	c	-0.57
J060612.31+045743.2	0.089	0.826	0.914	+	qso	—	c	-0.54
J060659.72+050659.3	0.063	0.882	0.906	+	g	—	c	-0.72
J061003.66+045354.3	0.038	0.984	0.893	?l	—	—	c	-0.90
J061900.21+050630.8	0.013	0.792	0.922	+*	g	—	c	-0.72
J062128.52+045852.4	0.151	0.999	0.998	?l	—	—	c	-0.26
J062207.41+045651.3	0.096	0.999	0.967	+	g	—	c	-0.50
J062310.60+050330.0	0.120	0.999	0.996	?s	g	—	d?	-0.43
J062741.83+045804.0	0.030	0.693	0.770	?l	—	—	c	-1.01
J063929.62+045937.1	0.027	0.999	0.865	?l	—	—	c	-0.24
J065850.14+050206.8	0.240	0.999	0.998	+	—	—	c	+0.05
J065929.43+045603.9	0.176	—	0.956	+*	—	—	c	+0.48

данные по отношению сигнал/шум и позволяет выделять большее число слабых объектов.

Из 195 радиоисточников, выделенных нами на записях обзоров 1988–1994 гг. в диапазоне $2^h \leq RA \leq 6^h$, у 145 плотности потоков определены в двух и более обзорах. Из них пятнадцать объектов заподозрены в переменности, поскольку их индексы долговременной переменности оказались положительными ($V > 0$). Однако только у пяти вероятность p по критерию χ^2 превысила 0.95. Достоверно переменными можно считать три объекта с вероятностью $p > 0.996$ и два — возможно переменными ($0.95 < p < 0.996$) [8, 42]. Все эти объекты являются объектами с плоским спектрами, а их плотности потоков, усредненные по обзорам 1988–1994 гг., лежат в диапазоне $11 \text{ мЯн} \leq \bar{F} < 65 \text{ мЯн}$.

Если привлечь к оценке переменности этих пятнадцати объектов данные об их плотностях потоков в обзоре 1980 г., приведенные в работе [37], то достоверно переменными с $p > 0.95$ оказываются восемь объектов, причем у шести из них вероятность по критерию χ^2 $p > 0.998$.

Проведено оптическое отождествление всех пятнадцати объектов с $V > 0$, построены их кривые блеска и спектры.

Как уже отмечалось выше, единственным критерием нашей выборки кандидатов в переменные источники является меняющаяся от обзора к обзору интегральная плотность потока. В выборке, включающей все 70 объектов с $V > 0$, по результатам двух предыдущих работ [31, 32] и настоящей оказались источники с разными типами спектров: крутыми, нормальными, плоскими и инверсными, как слабые, так и достаточно яркие, разных угловых размеров. Мы планируем исследовать их свойства более подробно.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 12-07-00503а, 13-02-00027 и 14-07-00361а. Работа выполнялась при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.619.21.0004, идентификатор проекта RFMEFI61914X0004). В исследованиях использовались базы данных Vizier, CATS, NED (NASA/IPAC Extragalactic Database), поддерживаемая лабораторией JPL Калифорнийского технологического университета по контракту с NASA.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. N. Bregman, *Astron. Astrophys. Rev.* **2**, 125, (1990).
2. E. Valaaja, S. Haaraala, H. Lehto, et al., *Astron. and Astrophys.* **203**, 1 (1988).
3. H. D. Aller, M. F. Aller, and P. A. Hughes, *ASP Conf. Ser.*, № 110, 208 (1996).
4. M. Tornikoski, E. Valtaoja, H. Teraesranta, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **116**, 157 (1996).
5. J. L. Richards, W. Max-Moerbeck, V. Pavlidou, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **194**, id. 29 (2011).
6. V. R. Amirkhanyan, A. G. Gorshkov, and V. K. Konnikova, *Sov. Astron. Lett.* **15**, 387 (1989).
7. V. R. Amirkhanyan, A. G. Gorshkov, and V. K. Konnikova, *Sov. Astron.* **36**, 115 (1992).
8. A. G. Gorshkov and V. K. Konnikova, *Astronomy Reports* **39**, 257 (1995).
9. Ю. А. Ковалев, *Сообщения САО* **68**, 60 (1991).
10. Yu. A. Kovalev, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **44**, 50 (1997).
11. A. G. Gorshkov, V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev, *Astronomy Reports* **44**, 161 (2000).
12. A. G. Gorshkov, V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev, *Astronomy Reports* **47**, 903 (2000).
13. A. G. Gorshkov, V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev, *Astronomy Reports* **52**, 278 (2008).
14. Yu. V. Sotnikova, M. G. Larionov, and M. G. Mingaliev, *Astrophysical Bulletin* **64**, 185 (2009).
15. A. G. Gorshkov, V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev, *Astronomy Reports* **54**, 908 (2010).
16. M. C. Begelman, R. D. Blandford, M. J. Rees, and M. J. Rees, *Rev. Modern Phys.* **56**, 255 (1984).
17. A. P. Marscher and W. K. Gear, *Astrophys. J.* **298**, 114 (1985).
18. S. J. Wagner, M. Camenzind, O. Dreissigacker, et al., *Astron. and Astrophys.* **298**, 688 (1995).
19. E. Angelakis, L. Fuhrmann, I. Nestoras, et al., *J. Phys. Conf. Ser.*, **372**, id. 012007 (2012).
20. T. Hovatta, E. Valtaoja, M. Tornikoski, et al., *Astron. and Astrophys.* **494**, 527 (2009).
21. K. I. Kellermann, M. L. Lister, D. C. Homan, et al., *Astrophys. J.* **609**, 539 (2004).
22. U. Bach, M. Villata, C. M. Raiteri, et al., *Astron. and Astrophys.* **456**, 105 (2006).
23. S. Rys and J. Machalski, *Astron. and Astrophys.* **236**, 15 (1990).
24. D. J. Helfand, R. P. S. Stone, B. Willman, et al., *Astron. J.* **121**, 1872 (2001).
25. W. H. de Vries, R. H. Becker, R. L. White, et al., *Astron. J.* **127**, 2565 (2004).
26. E. M. Sadler, R. Ricci, R. D. Ekers, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **371**, 898 (2006).
27. R. H. Becker, D. J. Helfand, R. L. White, et al., *Astron. J.* **140** 157 (2010).
28. N. Thyagarajan, D. J. Helfand, R. L. White, et al., *Astron. J.* **742**, 49 (2011).
29. X. Chen, J. P. Rachen, M. Lopez-Caniego, et al., *Astron. and Astrophys.* **553**, id. A107 (2013).
30. Ю. Н. Парийский, Д. В. Корольков, в *Итоги Науки и Техники. Астрофизика и космическая физика. Серия Астрономия*, ред. Р. А. Сюняев (ВИНИТИ, Москва, 1986), № 31, р. 73.
31. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova *Astrophysical Bulletin* **67**, 318 (2012).
32. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova *Astrophysical Bulletin* **68**, 418 (2013).
33. N. S. Soboleva, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, et al., *Astrophysical Bulletin* **65**, 42 (2010).
34. N. N. Bursov, *Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics* (SAO RAN, Nizhnii Arkhyz, 2003).
35. О. В. Верхованов, Б. Л. Ерухимов, М. Л. Моносов и др., Препринт № 78 (Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 1992).
36. N. S. Soboleva, N. N. Bursov, and A. V. Temirova, *Astronomy Reports* **50**, 341 (2006).
37. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **87**, 1 (1991).
38. W. H. de Vries and R. H. Becker, *Astron. J.* **127**, 2565 (2004).
39. Wang Tinggui, Zhou Hongyan, Wang Jungxian, et al., *Astron. J.* **645**, 856 (2006).
40. F. Ochsenbein, P. Bauer, and J. Marcout, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **143**, 23 (2000).
41. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, and V. N. Chernenkov, *Baltic Astronomy* **6**, 275 (1997).
42. G. A. Seielstad, T. J. Pearson, and A. C. S. Readhead, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **95**, 842 (1983).
43. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astron. J.* **115**, 1693 (1998).
44. Yu. N. Parijskij and D. V. Korolkov, *Sov. Sci. Rev. Astrophys. Space Phys.* **5**, 39 (1986).
45. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **96**, 583 (1992).
46. N. N. Bursov, *Astronomy Reports* **41**, 35 (1997).
47. I. N. Reid, C. Brewer, R. J. Brucato, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **103**, 661 (1991).
48. C. P. Ahn, R. Alexandroff, P. Allende, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **211** 17 (2014).
49. R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. Van Dyk, et al., *The 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources* (2003).
50. A. Lawrence, S. J. Warren, O. Almaini, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **379**, 1599 (2007).
51. R. M. Cutri et al., *AllWISE Data Release, VizieR Online Data Catalog*, 2013yCat.2328....0C (2013).
52. O. P. Zhelenkova and A. I. Kopylov, *Astrophysical Bulletin* **64**, 111 (2009).
53. O. P. Zhelenkova, N. S. Soboleva, E. K. Majorova, et al., *Astrophysical Bulletin* **68**, 26 (2013).
54. R. H. Becker, R. L. White, D. J. Helfand, et al., *Astron. J.* **450**, 559 (1995).
55. R. L. White, R. H. Becker, D. J. Helfand, and M. D. Gregg, *Astrophys. J.* **475**, 479 (1997).

Search for Variable Sources Using the Data of *Cold* Surveys in the Right-Ascension Interval $2^{\text{h}} \leq \text{RA} \leq 6^{\text{h}}$

E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, and A. V. Temirova

We search for variable objects at 3.94 GHz in the 1988–1994 surveys within the right-ascension interval $2^{\text{h}} \leq \text{RA} \leq 6^{\text{h}}$. In this study we continue to develop our technique for identifying variable radio sources in the *Cold* surveys. We identified a total of 195 radio sources in the available sky transit scans, and only 145 objects have their flux measured in two or more surveys. To check these radio sources for variability, we estimated the indices V of long-term variability, the relative variability amplitude V_{χ} , and the χ^2 probability p . Among the 145 objects considered, 15 have positive long-term variability indices ($V > 0$). Of these, five sources have χ^2 probability p greater than 0.95. Three objects with $p > 0.996$ can be considered reliably variable sources, and two objects with probabilities $0.95 < p < 0.996$ can be considered possibly variable sources. Eight objects prove to be reliably variable according to an analysis of our data combined with the flux measurements by other authors, performed within the framework of the 1980 survey. We draw the light curves for sources with positive long-term variability indices and perform optical identification of these objects.

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