

УДК 524.7-77

ПОИСК РАДИОТРАНЗИЕНТОВ И НОВЫЕ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОИСТОЧНИКОВ В ОБЗОРАХ РАТАН-600 1980–1994 ГОДОВ

© 2016 О. П. Желенкова^{1,2*}, Е. К. Майорова¹

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101 Россия

Поступила в редакцию 16 апреля 2015 года; принята в печать 31 июля 2015 года

В работе приведены результаты поиска транзиентных источников по данным обзоров, проводившихся на РАТАН-600 в период 1980–1994 гг. на волне 7.6 см. На уровне $3-5\sigma$ обнаружено три события. Проведен поиск совпадений с зарегистрированными транзиентными событиями. С привлечением информации радио- и оптических обзоров, а также баз данных Vizier, SIMBAD и NED сделаны предположения о возможной природе событий. Один транзиент, вероятно, связан с AGN-активностью, второй — с катаклизмическим событием типа GRB или вспышкой сверхновой, природа третьего не установлена. Сделан вывод о возможности поиска переменных источников и транзиентов по данным поисковых обзоров на РАТАН-600. При поиске транзиентов обнаружено 22 источника, которые отождествляются с NVSS-объектами, но не вошли в каталог RCR. Среди них три оказались предположительно переменными.

Ключевые слова: *галактики: активные — гамма-всплески — сверхновые — обзоры — радио-континуум*

1. ВВЕДЕНИЕ

С появлением цифровых широкоформатных оптических детекторов и высокопроизводительного компьютерного оборудования возникла возможность массового поиска переменных объектов и транзиентов, и интерес к таким методам исследования существенно возрос. Это относится также и к радиодиапазону. В конце XX века, начиная с работ [1] и [2], кроме традиционного мониторинга уже известных объектов, для поиска переменности у радиоисточников стали использоваться архивные данные. Так, работы [3–6] включали анализ архивных данных обзоров NVSS [7] и FIRST [8]. Упомянем также 22-летний обзор южного неба MOST (Molonglo Observatory Synthesis Telescope) [9], пилотный обзор на ATCA (Australia Telescope Compact Array) на частоте 20 ГГц ($S_{20\text{ГГц}} > 100$ мЯн) [10], обзор ATATS (Allen Telescope Array Twenty-Centimeter Survey), включивший 12 эпох наблюдений ($S_{1.4\text{ГГц}} > 20$ мЯн) [11, 12], PiGSS (Pi GHz Sky Survey, Allen Telescope Array) [13, 14] и многие другие. Отметим, что архивные данные чаще всего используются для поиска долгопериодической переменности на интервалах от месяцев до десятка лет.

Переменность излучения на масштабах от часов до десятков лет является одним из характерных свойств активных галактических ядер. Изменение потока излучения, который регистрируется телескопами, возникает по многим причинам. Это могут быть переменные процессы в ядре, изменения скорости или ориентации релятивистского джета относительно наблюдателя, изменения поглощения по лучу зрения, гравитационное микролинзирование, мерцания на межзвездной среде. Переменность ядра является важным диагностическим средством в исследовании физики центральной машины, ее окружения, свойств вещества на луче зрения и, в конечном счете, эволюции популяции активных галактик.

Архивные данные обзоров используются также для поиска и оценки частоты радиотранзиентов [11–17]. Их связывают с разными типами событий и объектов. Это могут быть сверхновые [18–20] или послесвечения гамма-всплесков [21–23]. Активность звезд и компактных объектов в Галактике может также регистрироваться как транзиентное событие в радиодиапазоне. Особый интерес для новой генерации радиообзоров неба представляют события TDE (Tidal Disruption Event) или TDF (Tidal Disruption Flare), связанные с внезапным увеличением темпа аккреции из-за приливного разрыва звезды, оказавшейся слишком близко от объекта с массой

*E-mail: zhe@sao.ru

Таблица 1. Характеристики обзоров, проведенных на РАТАН-600 в 1980–1994 гг.

Обзор	H	Даты	Δt , сут.	N	σ , мК	$F_{3.94}^{\text{lim}}$ ГГц, мЯн
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1980	51°07'9	15.03.1980–06.06.1980	84	25–50	0.7	8.0
1988	51°08'7	16.12.1987–12.01.1988	28	25	1.1	10.6
1993	51°09'6	17.09.1993–01.11.1993	46	46	1.6	10.4
1994	51°22'0	01.04.1994–25.05.1994	55	40	1.2	11.1

порядка 10^6 – $10^8 M_{\odot}$, что может привести к вспышке в мягком рентгеновском диапазоне или, возможно, к радиоизлучению [24–26]. Значительное количество радиосверхновых, изолированных послесвечений гамма-всплесков, вспышек из-за приливного взаимодействия предсказывается в обзорах с чувствительностью порядка 0.1 мЯн и с площадью покрытия около 10 кв. град. Все эти явления производят синхротронное излучение с самопоглощением и, следовательно, с большей вероятностью могут наблюдаться на высоких радиочастотах.

Для поиска радиоисточников со значительной переменностью потока был использован материал радиообзоров, проводившихся на северном секторе РАТАН-600 с 1980 по 1994 гг. [27, 28], который прошел первичную обработку с помощью штатного программного обеспечения РАТАН-600 [29], заключающуюся в отбраковке некачественных записей, удалении калибровок и помех, сшивки сканов [30].

Отметим, что использование обзоров при изучении переменности радиоисточников на радиотелескопе РАТАН-600 дает определенные преимущества из-за снижения инструментальных эффектов, вносимых изменениями конфигурации поверхности антенны радиотелескопа и положения облучателя, что важно при определении плотностей потоков слабых объектов. В дополнение к уже проведенным исследованиям по данным обзоров «Холод», а именно составлению каталога RCR (RATAN Cold Refined) [31] и поиску переменных радиоисточников в диапазоне прямых восхождений¹ $2^{\text{h}} \leq \text{RA} < 17^{\text{h}}$ [32–34], мы попытались обнаружить на записях обзоров транзистентные события. В процессе поиска транзистентных источников было выделено еще 22 источника на записях обзоров «Холод», которые отождествляются с NVSS-источниками, но не вошли в каталог RCR.

¹Координаты в статье приведены на стандартную эпоху 2000.0.

2. ТРАНЗИЕНТНЫЕ СОБЫТИЯ

Как предполагается, на временных интервалах от дней до месяцев в сантиметровом диапазоне длин волн среди транзистентных событий должны доминировать источники синхротронного излучения. Имеется ряд событий, лучше всего интерпретируемых на основе их последующих радионаблюдений на других частотах. Они представляют определенный астрофизический интерес и, кроме того, поддаются обнаружению в поисковых обзорах, особенно сантиметрового диапазона. Такими известными примерами являются сверхновые с коллапсом ядра² [18–20], послесвечения гамма-всплесков (GRB) [21–23], а также релятивистские джеты от приливных разрушающих событий³ (TDE) [24, 25]. Эти явления, в основном, генерируются ударным взаимодействием между быстрым выбросом от мощного взрыва и плотной газовой оболочкой.

Отметим, что медленные галактические радиотранзистенты порождаются, предположительно, разными популяциями звездного населения, такими как вспышки, регистрируемые от М-карликов, каталкизмических переменных, рентгеновских двойных.

В качестве критерия транзистентной природы источника, кроме отсутствия в NVSS и других каталогах, было принято условие выделения его на записях только одного из обзоров 1980, 1988, 1993 и 1994 гг. при том, что чувствительности хотя бы еще одного обзора было достаточно для его обнаружения. Характеристики обзоров, взятые из работ [30, 31], приведены в таблице 1, где в столбце 1 — обозначение обзора, в столбце 2 — высота места установки антенны H , (3) — даты начала и окончания обзора, (4) — продолжительность Δt

²Для известных радиосверхновых зарегистрированы плотности потока порядка 1–100 мЯн.

³Для хорошо изученного события Swift J164449.3+573451 наблюдаемые плотности потока составляют примерно 2–20 мЯн [26].

Таблица 2. Транзиенты в интервале $7^h \leq RA < 17^h$ в обзорах 1980–1984 гг.

Имя	RA, hh mm ss.s	Dec, dd mm ss	$F_{3.94\text{ГГц}}$, мЯн	T_a/σ в 1988–1994 гг.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
J111417+045530	11 14 16.7 ± 0.6	+04 55 30 ± 45	21.0 ± 2.0	5.2–7.5
J113344+045030	11 33 44.1 ± 0.6	+04 50 30 ± 45	24.3 ± 2.5	3.4–4.0
J165433+045457	16 54 33.1 ± 0.3	+04 54 57 ± 45	88.2 ± 8.5	11.1–16.6

обзоров в сутках, (5) — число сканов N , по которым получены осредненные записи, (6) — среднеквадратичная ошибка σ шумов на записях в мК, (7) — порог обнаружения F_{\min} на осредненной записи в мЯн. Отметим, что поиск транзиентных событий по данным обзоров «Холод» осложняется разной чувствительностью обзоров и прецессией, из-за чего область обзора немного смещается.

В результате просмотра записей обзоров в диапазоне прямых восхождений $2^h \leq RA < 17^h$ было обнаружено три транзиентных события. Все они найдены на записях обзора 1980 г., который отличается от последующих наибольшей чувствительностью, низким уровнем шума, а также большей продолжительностью (большим временем накопления). Антенные температуры T_a обнаруженных событий превышают $3\text{--}5\sigma$. Транзиентные радиоисточники полностью удовлетворяют перечисленным выше требованиям. Хотя чувствительность обзоров 1988, 1993 и 1994 гг. достаточна для их обнаружения, на записях они отсутствуют.

Координатная привязка источников осуществлялась по каталогу NVSS, причем ошибка определения прямого восхождения объекта на записях не превышает нескольких процентов от полуширины диаграммы направленности (ДН). Ошибка определения склонения неизвестного радиоисточника достаточно велика. Оценить величину склонения из одномерного скана прохождения полосы неба через ДН радиотелескопа мы можем, лишь опираясь на зависимость ее полуширины от выноса по склонению от центрального сечения обзора⁴ [31, 35, 36]. Однако эта зависимость не дает информации, по какую сторону от центрального сечения расположен источник, за исключением прохождения его вблизи центрального сечения.

Выделенный на записи источник с прямым восхождением $RA = 11^h 14^m 16^s.7$ может иметь как склонение $Dec = +04^\circ 45' 30''$, так и $Dec = +04^\circ 55' 30''$. В соответствии с полушириной

вписанной гауссианы на записи обзора его вынос от центрального сечения составляет $\pm 5'$. Если принять координаты транзиента следующими: $RA = 11^h 14^m 16^s.7$ и $Dec = +04^\circ 45' 30''$ — то оказывается, что он не удовлетворяет принятым критериям транзиентности. Вследствие прецессии источник в 1988–1994 гг. наблюдался дальше от центрального сечения, чем в 1980 г. Так что даже если событие имело место, то чувствительности обзоров 1988–1994 гг. оказывалось недостаточно для его обнаружения. Если координаты транзиента $RA = 11^h 14^m 16^s.7$, $Dec = +04^\circ 55' 30''$, то он вследствие прецессии был ближе к центральному сечению в 1988–1994 гг. по сравнению с обзором 1980 г., и чувствительность последних обзоров была достаточной для его обнаружения.

Источники J113344+045030 и J165433+045457 проходят практически по центральному сечению обзора 1980 г., что исключает неопределенность в определении склонения. В обзорах 1988–1994 гг. их антенная температура T_a на записях должна была бы превышать 5σ (см. таблицу 2), и они должны были присутствовать на записи. В таблице 2 приводятся имена заподозренных на транзиентность источников (столбец 1), их прямое восхождение (столбец 2), склонение (столбец 3) и плотность потока (столбец 4) с погрешностями определения. В столбце 5 даны оценки отношения T_a/σ , которые должны были бы иметь эти источники на записях обзоров 1988–1994 гг. с учетом чувствительности этих обзоров и плотностей потоков, полученных по обзору 1980 г.

В каталоге RC (RATAN Cold) [37], который был составлен по данным обзора 1980 г., мы не нашли источников с координатами предполагаемых транзиентов, приведенных в таблице 2. В каталог RCR, составленный по данным обзоров 1980–1994 гг., эти источники не вошли, поскольку одним из условий вхождения источников в каталог было обнаружение их на записях двух или более обзоров. Отметим, что рассматриваемые данные являются осреднением от 20 до 35 обработанных записей прохождений полосы неба в зависимости от обзора

⁴Центральное сечение ДН радиотелескопа при проведении обзора проходит через центральное сечение обзора.

и часа наблюдений, что исключает присутствие случайной помехи, кроме того, в 1980–1994 гг. уровень техногенных помех в окрестностях радиотелескопа был низким. Осредненные по всем наблюдениям обзоров записи представляют временные интервалы от одного месяца до трех. Таким образом, транзиентные события, которые возможно обнаружить в имеющихся данных, будут относиться к медленным радиотранзиентам с продолжительностью события от недель до месяцев. К сожалению, ни в архиве наблюдений РАТАН-600, ни у авторов обзоров не сохранились посуточные записи или группы осредненных записей, которые могли бы помочь в более детальном анализе событий и их интерпретации. Поскольку цель работы — изучение возможности обнаружения транзиентных событий по наблюдательным данным, полученным в режиме поискового обзора РАТАН-600, а не их исследование, мы посчитали возможным использовать для поиска медленных транзиентов сохранившиеся осредненные по полному сету наблюдений записи.

На рис. 1 приведены участки осредненных записей обзоров 1980 г. (слева) и 1994 г. (справа), на которых зафиксированы предполагаемые транзиентные источники J111417+045530, J113344+045030 и J165433+045457 (сверху вниз). Все они помечены стрелками.

После проверки по списку сверхновых,⁵ а также по базам данных SIMBAD и NED, включая доступные в базе данных VizieR каталоги катаклизмических переменных, звезд Вольфа–Райе, рентгеновских двойных, М-карликов, для всех трех транзиентов координатные совпадения ($r = 2'$) не обнаружены. В тех же базах данных нет и информации о рентгеновских источниках в рассматриваемых областях. Сравнивая обнаруженные источники с картами радиообзоров VLSSr [38], NVSS, FIRST, GB6 [39], мы не нашли объекты, подходящие по координатам и по плотности потока с учетом спектрального индекса. В каталогах обзоров оптического или инфракрасного диапазонов SDSS [40], LAS UKIDSS [41], WISE найти объекты, совпадающие по координатам с транзиентами, также не удалось. На основе совокупности всех данных мы попытались интерпретировать зарегистрированные события.

J111417+045530. На верхней левой панели рис. 1 слева от источника J111417+045530, отмеченного стрелкой, прописался источник J111358+043759, который проходил достаточно далеко по склонению ($12^{\circ}5'$) от центрального сечения обзора 1980 г. и поэтому имеет протяженную

форму. Он хорошо виден и на записи обзора 1994 г. (правая верхняя панель).

На рис. 2 (слева) в бокс ошибок попадают три слабые галактики SDSS9 J111416.21+045503.7 ($z_{\text{ph}} = 0.52 \pm 0.15$), SDSS9 J111417.26+045552.1 ($z_{\text{ph}} = 0.35 \pm 0.10$), SDSS9 J111415.93+0455629.1 ($z_{\text{ph}} = 0.65 \pm 0.07$), а также квазар SDSS9 J111417.06+045459.6 ($z_{\text{sp}} = 1.9281 \pm 0.0001$) с несколькими системами абсорбционных линий. Рядом с квазаром видна диффузная туманность. Кроме того, в бокс попадает звезда.

При поиске в базе данных SIMBAD в этой области не обнаружены никакие пекулярные галактические объекты. Если исходить из определенной плотности потока, возможно, радиотранзиент связан с незарегистрированной вспышкой сверхновой в одной из трех галактик или с послесвечением гамма-всплеска. Отметим, что наблюдения относятся к 1980 г., когда только начинались исследования небесных объектов в рентгеновском и гамма-диапазонах. Еще одно объяснение может быть связано с попавшим в область квазаром, который относится к неактивным в радиодиапазоне. Его возможное радиоизлучение должно быть ниже 2 мЯн для обзора NVSS и 11 мЯн для обзора GB6. Имеются исследования радиоспокойных квазаров [42–45], у ядра которых в течение коротких временных промежутков наблюдаются релятивистские выбросы [46, 47]. Совпадение положения радиотранзиента и квазара является аргументом в пользу достаточно мощного релятивистского выброса или возможного TDE.

J113344+044530. По плотности потока этот транзиент (рис. 1, средняя панель) лишь немногим ярче первого (таблица 2). Рядом на записи нет близких радиоисточников. На оптическом кадре (рис. 2, в центре) в бокс ошибок попадает несколько галактик с фотометрическими красными смещениями $z = 0.3–0.5$, но положения транзиента (крестик) и галактики SDSS J113344.10+045026.4 ($z_{\text{ph}} = 0.32 \pm 0.08$) практически совпадают. Предположительно, радиотранзиент связан с послесвечением незарегистрированной сверхновой в этой галактике.

J165433+045457. На нижней левой панели рис. 1 стрелкой отмечен источник J165433+045457, который представляет собой довольно узкий выброс. Кроме узкого выброса имеется еще и протяженная структура с двумя «горбами». На записях этого участка неба в других обзорах наблюдается только шум (как, например, на правой нижней панели рис. 1). Напомним, что запись, которая представлена на рис. 1, является осреднением 25–50 сканов (в зависимости от часа), подвергшихся стандартной первичной обработке, причем были отобраны лучшие из 84 суточных

⁵Central Bureau for Astronomical Telegrams:
<http://www.cbat.eps.harvard.edu/lists/RecentSupernovae.html>

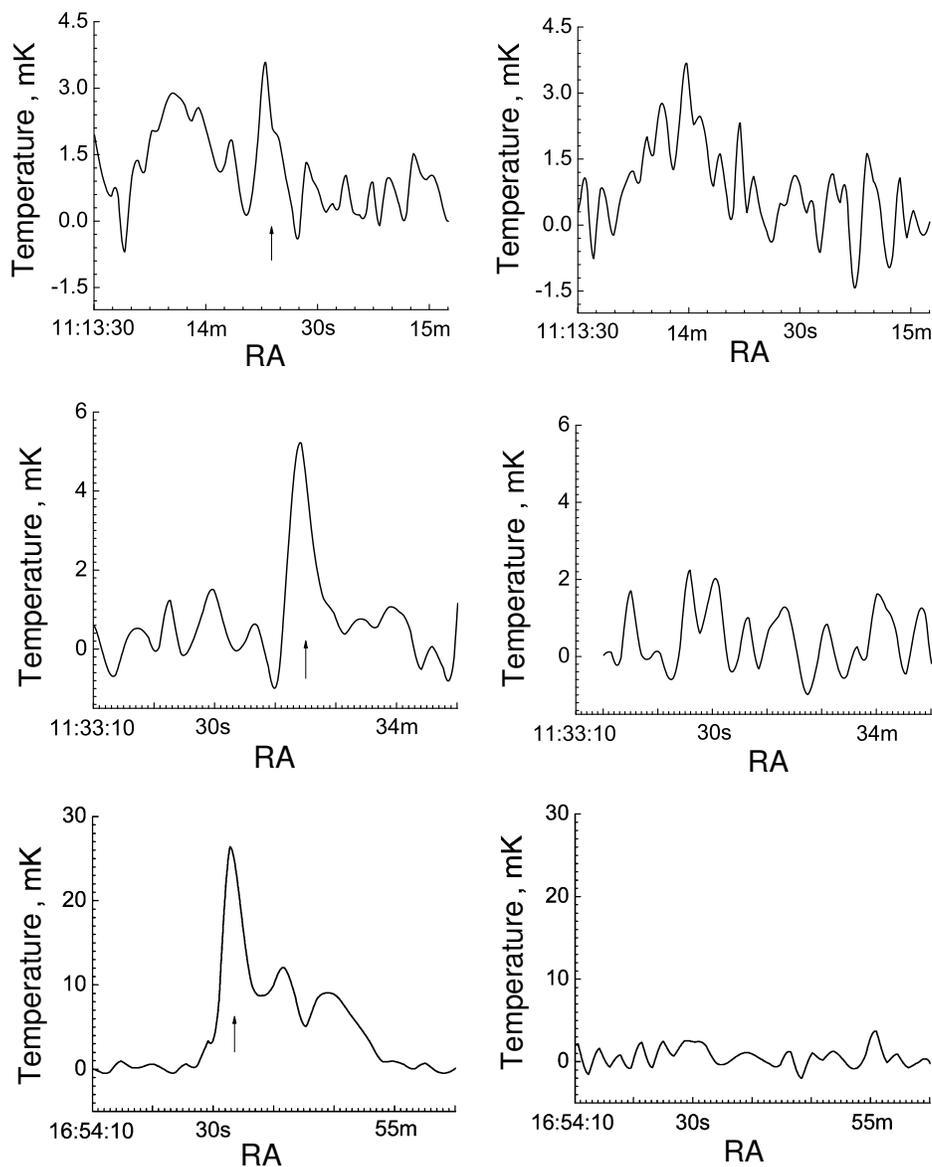


Рис. 1. Слева: участки осредненных записей обзора 1980 г., на которых зафиксированы предполагаемые транзитные источники J111417+045530, J113344+045030 и J165433+045457 (сверху вниз). На рисунках они отмечены стрелками. Справа: для сравнения записи обзора 1994 г., где приведены те же самые участки данных.

сканов обзора 1980 г. Наличие протяженного источника, который может быть суперпозицией трех источников со спадающей пиковой плотностью потока и увеличивающейся полушириной, можно интерпретировать как источник радиоизлучения, удаляющийся от центрального сечения обзора. Если взять временной промежуток между первым и третьим пиками и поделить его на продолжительность обзора, то получаем грубую оценку углового смещения, которое составляет порядка $3''$ в сутки. Воспользовавшись возможностями системы расчета эфемерид для небесных тел Солнечной системы HORIZONS,⁶ мы проверили положения

Юпитера, Сатурна, Плутона, Нептуна, а также миссий NASA Voyager1 и Pioneer11, но не нашли совпадений с координатами транзидента. Не исключена возможность, что источник связан с попавшей в бок ошибок звездой (GSC2.3 N3AV010380, $15^m 4^s$), которая не отмечена в каталогах как объект, излучающий в радиодиапазоне [48]. Таким образом, сложно сказать что-то определенное о природе этого транзидента.

⁶<http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>

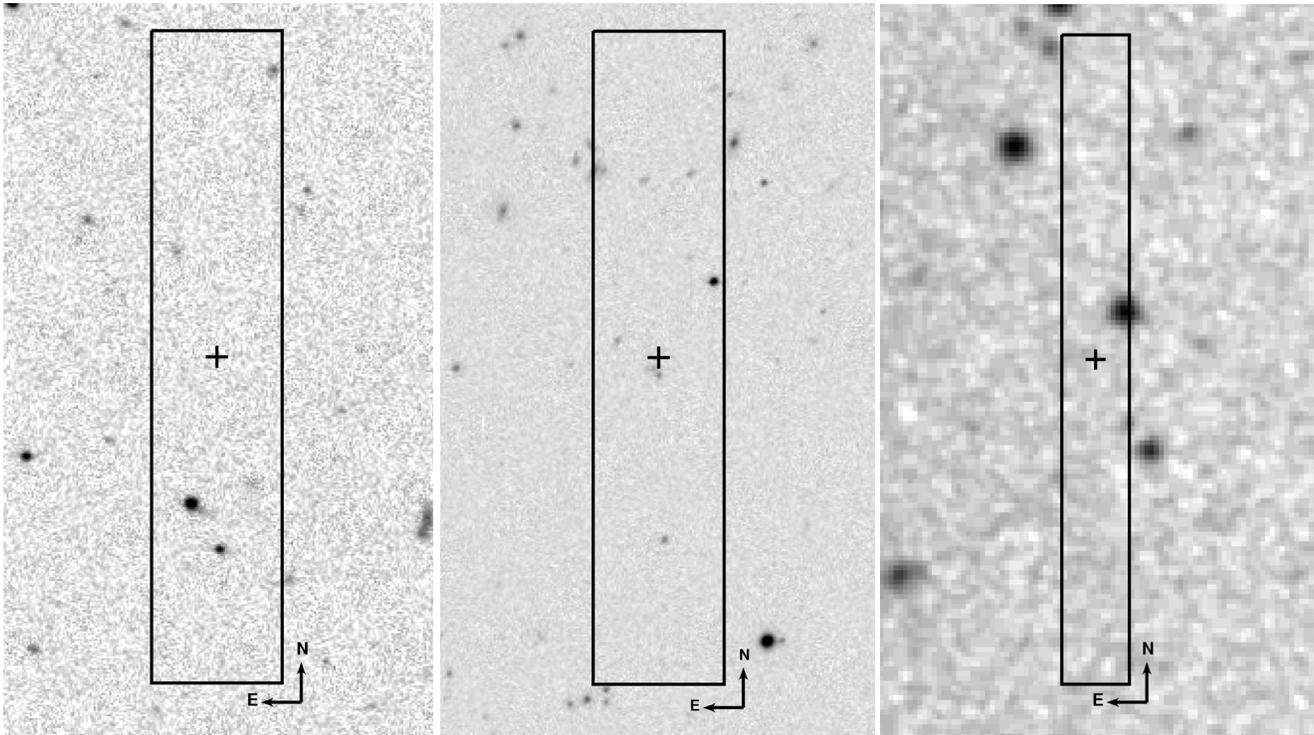


Рис. 2. Области цифровых обзоров неба около положения радиотранзиентов, прямоугольниками показаны боксы ошибок по координатам (3σ), крестиками — координаты радиотранзиентов. Слева: J111417+045530 на SDSS-кадре в фильтре i , размер бокса $27'' \times 135''$. В центре: J113344+045030, кадр из SDSS в фильтре i , бокс $27'' \times 135''$. Справа: J165433+045457, кадр из обзора 2MASS (k -фильтр), бокс $13''.5 \times 135''$.

3. ДОПОЛНЕНИЕ К КАТАЛОГУ RCR

При идентификации каталога RC с NVSS было обнаружено, что около четверти RC-источников не отождествляются с NVSS-источниками [49]. Обработка обзоров 1980–1999 гг. и привязка по обзору NVSS позволили улучшить координаты и оценки потоков и получить уточненный каталог RCR [31]. Мы провели сравнение RC- и RCR-источников, разбив их на группы по часам прямого восхождения. В исследуемую область попало 540 (из 1204) источников каталога RC, включая *twi*n-источники,⁷ и 568 источников каталога RCR, включая 16 бленд и пять двойных источников, компоненты которых разделяются диаграммой направленности ПАТАН-600.⁸

Мы подсчитали процентную долю не подтвердившихся в каталоге RCR RC-источников от ко-

личества RC-источников и сравнили с долей новых RCR-источников от количества последних в часе прямого восхождения. Полученные значения приведены в таблице 3, где столбцы (2), (3) — количество RC- и RCR-источников в группе за вычетом бленд; (4) — не подтвердившиеся RC-источники и их процентное отношение к количеству RC-источников в часе; (5) — подтвердившиеся RC-источники; (6) — новые источники и их процентное отношение к количеству RCR-источников в часе.

Средняя по всем группам доля не подтвердившихся RC-источников составляет 28%. Из-за увеличения полосы обзора и накопления новых данных было обнаружено около 31% новых по сравнению с каталогом RC источников.

При средней величине спектрального индекса $\alpha_{3.94 \text{ GHz}} = 0.52$ RCR-источников только для тех, у которых $S_{3.94 \text{ GHz}} \sim 45$ мЯн, величина потока на частоте 365 МГц достигает предела обнаружения обзора TXS [50] 150 мЯн. Количество объектов слабее 45 мЯн в каталоге RCR составляет порядка 60%, то есть уверенно по обзору TXS можно было идентифицировать достаточно яркие источники. Таким образом, привязка к более чувствительному обзору NVSS, который появился позже публикации каталогов RC и TXS, позволила уточнить

⁷У источников, обозначенных «*twi*n» [37], есть неоднозначность в определении склонения (см. раздел 2).

⁸Некоторые разночтения с данными по количеству и составу радиоисточников, представленными в работе Соболевой и др. [31], связаны с тем, что один источник, J111716.52+045041.9, был пропущен в публикации. После анализа карт NVSS и FIRST в группе из трех источников J151052.33+045206.7, J151058.7+045342.5 и J151054.66+045410.6, отмеченных как бленды, два последних оказались компонентами двойного источника.

Таблица 3. Сравнение количества источников каталогов RC и RCR

RA, h	RC, obj	RCR, obj	RC ₋ , obj, (%)	RC ₊ , obj	RCR _n , obj, (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
07	64	60	23 (36)	51	19 (32)
08	72	64	27 (38)	45	19 (30)
09	47	61	9 (19)	38	24 (39)
10	54	69	9 (17)	45	26 (38)
11	52	63	9 (17)	43	21 (33)
12	41	38	14 (34)	27	12 (32)
13	57	48	21 (37)	36	13 (27)
14	53	57	14 (26)	39	20 (35)
15	51	54	14 (27)	37	18 (33)
16	46	40	12 (26)	34	6 (15)

склонения источников, зарегистрированных в глубоких обзорах PATAH-600 1980–1999 гг., и тем самым разобраться с разночтениями по источникам в каталоге RC.

Отметим, что в каталог RCR включались источники, которые обнаруживались по крайней мере в двух обзорах. Часть источников, зафиксированных только в одном обзоре, не вошли в каталог RCR. Причина в том, что из-за прецессии в разные годы они оказывались на разном расстоянии по склонению от центрального сечения обзора.⁹ При удалении источника от центрального сечения чувствительности обзора оказывалось недостаточно для регистрации. Кроме того, чувствительность обзоров несколько менялась от цикла к циклу. При еще одном повторном анализе записей обзоров, который выполнялся с целью обнаружения транзиентных сигналов, было выделено 22 источника, которые отождествляются с NVSS-объектами. Это около 4% от количества источников каталога RCR.¹⁰

В столбце 1 таблицы 4 приведены координаты этих источников по NVSS-каталогу; 2 — разность ΔRA прямых восхождений объектов с погрешностями, $\Delta RA = RA_{NVSS} - RA$, где RA_{NVSS} — прямые восхождения источников по NVSS-каталогу,

⁹Центральное сечение всех обзоров совпадает с видимым склонением источника SS 433.

¹⁰Обработка данных осуществлялась первым методом, описанным в работе [31].

RA — прямые восхождения, полученные из обработки записей обзоров. Плотности потоков источников F с погрешностями приводятся в столбце 3. В столбцах 4 и 5 приведены величины спектральных индексов на частотах 3.94 ГГц ($\alpha_{3.94}$) и 0.5 ГГц ($\alpha_{0.5}$) ($F_\nu \sim \nu^\alpha$). Частота 0.5 ГГц была выбрана по аналогии с [51].

В столбцах 6–8 даны примечания, где буквой «d» помечены двойные источники, «b» — объекты, которые не разделяются на записях (так называемые бленды). Значком «*» помечены объекты, чьи антенные температуры на записях лежат в диапазоне $3\sigma \leq T_a < 5\sigma$. Антенные температуры остальных объектов больше 5σ . Значком «#» помечены объекты, у которых данные о плотностях потоков имеются только в двух каталогах, NVSS и RCR (RC). Часть из них имеет оценочные значения плотностей потоков из карт обзоров VLSSg и GB6.

Почти половина источников, приведенных в таблице 4, имеет плоские спектры, два — инверсионные. Четыре объекта достаточно слабые, с плотностями потоков $11 \text{ мЯн} < F < 15 \text{ мЯн}$, и только у трех $F > 100 \text{ мЯн}$. Большинство источников имеют антенные температуры на записях обзоров в диапазоне $3\sigma \leq T_a < 5\sigma$. Практически у половины объектов сведения о плотностях потоков имеются только на двух частотах: 3.94 ГГц (RCR) и 1.4 ГГц (NVSS).

Среди этого списка оказались объекты, которые можно заподозрить в переменности. Это J065848+045522, J100355+050125 и J160014+045231.

Источник J065848+045522 наблюдался в обзорах 1980, 1993 и 1994 гг. и не был зафиксирован на записи обзора 1988 г., несмотря на то, что чувствительность этого обзора была достаточной для его обнаружения. Источник J100355+050125 наблюдался только в обзоре 1980 г., хотя из сравнения его плотности потока и чувствительности обзоров 1993 и 1994 гг. его антенная температура на записях должна превышать 9σ . Вероятность по критерию χ^2 у этих трех объектов превысила 0.999.

На рис. 3 показаны кривые блеска этих источников (слева) и их спектры (справа). Заполненными кружками со стрелками показан порог обнаружения в обзорах, где источник не зафиксирован.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переменные и транзиентные события в радиодиапазоне связаны с широким спектром событий, которые присущи активным галактическим ядрам и галактическим объектам. Часть событий, связанных с переменностью, активно изучается, и результаты используются в исследовании эволюции и природы активности галактик и пекулярных

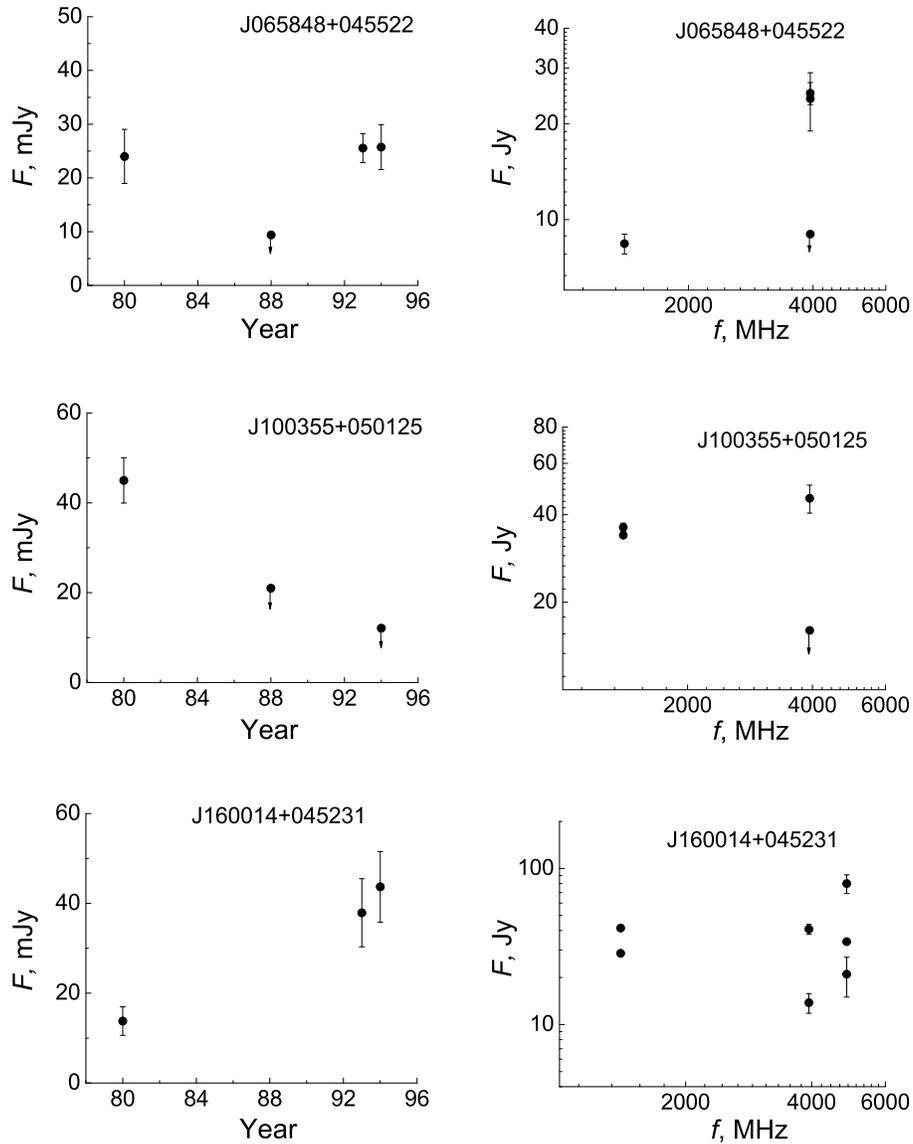


Рис. 3. Кривые блеска (слева) и спектры (справа) заподозренных на переменность источников.

звездных объектов. Транзиентные события в радиодиапазоне исследовать сложнее, но высокочувствительные обзоры с большим покрытием неба в близком будущем кардинально изменят ситуацию. В работах, на которые мы ссылаемся в данной статье, чаще всего рассматриваются транзиенты, случайно обнаруженные в архивных данных, но и эти обнаружения позволяют сделать оценки частоты встречаемости событий и интерпретировать природу события.

Используя обработанные данные обзоров «Холод», проведенных на РАТАН-600 в 1980–1999 гг., мы попытались в нескольких наших работах обнаружить переменные объекты и транзиентные события. Стратегия проведения глубоких поисковых

обзоров «Холод» была нацелена, прежде всего, на получение данных для поиска флуктуаций микроволнового фона, а не на исследование радиоисточников. Тем не менее мы обнаружили 73 заподозренных в переменности источника, три транзиентных события, а также еще 22 радиоисточника, которые не вошли в каталог RCR из-за примененного критерия отбора — наличие источника по крайней мере в двух обзорах. При попытке интерпретировать природу зарегистрированных транзиентных сигналов мы обнаружили, что они, скорее всего, относятся к трем разным явлениям. Одно из событий можно отнести к транзиентным событиям, связанным с активными галактическими ядрами, второе — к послесвечениям в радиодиапазоне ка-

Таблица 4. Дополнение к каталогу RCR

RA Dec. NVSS	$\Delta RA \pm \text{err}$, s.ss	$F \pm \text{err}$, мЯн	$\alpha_{3.94 \text{ ГГц}}$	$\alpha_{0.5 \text{ ГГц}}$	pr1	pr2	pr3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
065848.74+045522.0	0.71 ± 0.55	25.1 ± 1.0	1.02				#
084022.28+050826.7	1.01 ± 0.51	72.2 ± 10.0	0.72			*	#
091924.80+051132.5	3.73 ± 1.40	65.5 ± 20.0	-0.35		b	*	
091933.30+050954.1	2.20 ± 1.02	65.5 ± 20.0	-0.39	-0.05	b	*	
092445.92+050344.9	0.53 ± 0.05	25.5 ± 1.4	-0.27				#
095130.87+045101.8					d	*	#
095133.51+045141.3	0.65 ± 0.05	12.0 ± 1.5	-0.18		d	*	#
100355.31+050125.1	0.23 ± 0.04	47.2 ± 4.2	0.28			*	#
104959.61+051953.4	2.30 ± 0.93	94.1 ± 9.5	-0.85			*	
105010.06+043251.3	0.87 ± 0.20	100.1 ± 10.0	0.11			*	
115206.57+044807.1	0.26 ± 0.05	13.0 ± 1.5	-0.12			*	#
120522.33+050940.9	1.60 ± 0.35	61.6 ± 11.0	-0.71			*	
120944.97+044118.2	0.70 ± 0.15	31.2 ± 2.1	-0.44			*	#
120954.99+045509.7	0.30 ± 1.30	11.2 ± 2.0	-0.36			*	#
121148.67+051125.5	3.50 ± 2.07	09.8 ± 10.0	-0.21			*	
133849.65+050316.0	0.91 ± 1.21	33.6 ± 11.0	0.66		?	*	#
151452.61+045635.2	0.26 ± 1.95	19.6 ± 9.0	-0.10		?	*	#
154906.14+050331.8	0.20 ± 0.90	25.1 ± 3.0	0.47				#
155342.56+044245.7	0.13 ± 0.04	57.1 ± 2.0	-0.69		d	*	
155345.75+044225.6					d	*	#
155811.18+045154.1	0.30 ± 0.05	14.5 ± 2.0	-0.20			*	#
155811.64+050538.8	0.30 ± 0.05	28.1 ± 4.0	-0.54			*	#
155851.59+050646.6	0.15 ± 0.24	59.2 ± 7.0	-0.75				
160014.09+045231.0	0.40 ± 0.05	37.9 ± 6.0	0.12				
160024.97+044625.5	0.94 ± 0.04	133.4 ± 13.0	-0.91				

таклизмических событий GRB или вспышек сверхновых, а о природе третьего транзиента сложно сказать что-либо определенное.

Таким образом, учитывая характеристики имеющегося комплекса радиометров [52], а также стратегию наблюдений, радиотелескоп РАТАН-600 можно использовать не только для мониторинга известных переменных радиоисточников, но и

в качестве обзорного инструмента для поиска переменных и транзиентных событий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 14-07-00361. Наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600 проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской федерации (госконтракт 14.518.11.7054). Авторы

благодарят рецензента за ценные замечания, улучшившие качество работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L. Gregorini, A. Ficarra, and L. Padrielli, *Astron. and Astrophys.* **168**, 25 (1986).
2. S. Rys and J. Machalski, *Astron. and Astrophys.* **236**, 15 (1990).
3. W. H. de Vries, R. H. Becker, R. L. White, and D. J. Helfand, *Astron. J.* **127**, 2565 (2004).
4. E. O. Ofek and D. A. Frail, *Astrophys. J.* **737**, 45 (2011).
5. N. Thyagarajan, D.J. Helfand, R.L. White, and R. H. Becker, *Astrophys. J.* **742**, 49 (2011).
6. E. O. Ofek, D. A. Frail, B. Breslauder, et al., *Astrophys. J.* **740**, 65 (2011).
7. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astron. J.* **115**, 1693 (1998).
8. R. H. Becker, R. L. White, and D. J. Helfand, *Astrophys. J.* **450**, 559 (1995).
9. K. W. Bannister, T. Murphy, B. M. Gaensler, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **412**, 634 (2011).
10. E. M. Sadler, R. Ricci, R. D. Ekers, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **371**, 898 (2006).
11. S. Croft, G. C. Bower, R. Ackermann, et al., *Astrophys. J.* **719**, 45 (2010).
12. S. Croft, G. C. Bower, G. Keating, et al., *Astrophys. J.* **731**, 34 (2011).
13. S. Croft, G. C. Bower, and D. Whysong, *Astrophys. J.* **762**, 93 (2013).
14. G. C. Bower, D. Saul, J. S. Bloom, et al., *Astrophys. J.* **666**, 346 (2007).
15. G. C. Bower, D. Whysong, S. Blair, et al., *Astrophys. J.* **739**, 76 (2011).
16. T. Murphy, S. Chatterjee, D. L. Kaplan, et al., *Publ. Astron. Soc. Australia* **30**, 6 (2013).
17. P. K. G. Williams, G. C. Bower, S. Croft, et al., *Astrophys. J.* **762**, 85 (2013).
18. S. R. Kulkarni, D. A. Frail, M. H. Wieringa, et al., *Nature* **395**, 663 (1998).
19. K. W. Weiler, R. A. Sramek, N. Panagia, et al., *Astrophys. J.* **301**, 790 (1986).
20. A. M. Soderberg, A. Brunthaler, E. Nakar, et al., *Astrophys. J.* **725**, 922 (2010).
21. D. A. Frail, S. R. Kulkarni, L. Nicastro, et al., *Nature* **389**, 261 (1997).
22. T. Totani and A. Panaitescu, *Astrophys. J.* **576**, 120 (2002).
23. P. Chandrasekhar and D.A. Frail, *Astrophys. J.* **746**, 156 (2012).
24. S. Gezari, D. C. Martin, B. Milliard, et al., *Astrophys. J.* **653**, L25 (2006).
25. B. A. Zauderer, E. Berger, A. M. Soderberg, et al., *Nature* **476**, 425 (2011).
26. B. A. Zauderer, E. Berger, R. Margutti, et al., *Astrophys. J.* **767**, 152 (2013).
27. Ю. Н. Парийский, Д. В. Корольков, в *Астрофизика и космическая физика. Итоги Науки и Техники. Сер. Астрономия*, Ред. Р. А. Сюняев (ВИНИТИ, Москва, 1986), Т. 31, с. 73.
28. Yu. N. Parijskij and D. V. Korol'kov, *Sov. Sci. Rev. E Astrophys. Space Phys.* **5**, 39 (1986).
29. O. V. Verkhodanov, B. L. Erukhimov, M. L. Monosov, et al. Preprint No. 78 (Special Astrophysical Observatory, Nizhnii Arkhyz, 1992).
30. N. N. Bursov, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (SAO RAS, Nizhnii Arkhyz, 2003).
31. N. S. Soboleva, E. K. Majorova, O. P. Zhelenkova, et al., *Astrophysical Bulletin* **65**, 42 (2010).
32. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova, *Astrophysical Bulletin* **67**, 318 (2012).
33. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova, *Astrophysical Bulletin* **68**, 418 (2013).
34. E. K. Majorova and O. P. Zhelenkova, *Astrophysical Bulletin*, **70**, 2015 (in press).
35. E. K. Majorova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 78 (2002).
36. E. K. Majorova, *Astrophysical Bulletin* **65**, 196 (2010).
37. Yu. N. Parijskij, N. N. Bursov, N. M. Lipovka, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **87**, 1 (1991).
38. W. M. Lane, W. D. Cotton, S. van Velzen, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **440**, 327 (2014).
39. P. C. Gregory, W. K. Scott, K. Douglas, and J. J. Condon, *Astrophys. J. Suppl.* **103**, 427 (1996).
40. C. P. Ahn, R. Alexandroff, C. Allende Prieto, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **211**, 17 (2014).
41. A. Lawrence, S. J. Warren, O. Almaini, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **379**, 1599 (2007).
42. C. M. Harrison, A. P. Thomson, D. M. Alexander, et al., *Astrophys. J.* **800**, 45 (2015).
43. C. Reynolds, B. Punsly, C. P. O'Dea, et al., *Astrophys. J.* **776**, L21 (2013).
44. J. J. Condon, K. I. Kellermann, A. E. Kimball, et al., *Astrophys. J.* **768**, 37 (2013).
45. S. V. White, M. J. Jarvis, B. Häußler, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **448**, 2665 (2015).
46. A. Brunthaler, H. Falcke, G. C. Bower, et al., *Astron. and Astrophys.* **357**, 45L (2000).
47. K. M. Blundell, A. J. Beasley, and G. V. Bicknell, *Astrophys. J.* **591**, L103 (2003).
48. M. Pietka, R. P. Fender, and E. F. Keane, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **446**, 3687 (2015).
49. O. P. Zhelenkova and A. I. Kopylov, *Astrophysical Bulletin* **64**, 109 (2009).
50. J. N. Douglas, F. N. Bash, F. A. Bozayan, et al., *Astron. J.* **111**, 1945 (1996).
51. G. Miley and C. De Breuck, *Astron. Astrophys. Rev.* **15**, 67 (2008).
52. M. G. Mingaliev, Yu. V. Sotnikova, R. Yu. Udovitskiy, et al., *Astron. and Astrophys.* **572**, A59 (2014).

Search for Radio Transients and Recent Detection of Radio Sources in the RATAN-600 Surveys of 1980–1994

O.P. Zhelenkova and E.K. Majorova

In the paper we present the results of search for transient sources using the data from the surveys conducted on RATAN-600 at 7.6 cm in the time period of 1980–1994. We detected three events at a level of $3-5\sigma$. A search for coincidences with detected transient events was carried out. Using the data from radio and optical surveys and the VizieR, SIMBAD, and NED databases, we made assumptions on the possible nature of these events. The first transient is probably associated with AGN activity, the second—with a cataclysmic GRB event or with a supernova, the origin of the third is not determined. The inference on the possibility of search for variable sources and transients using the data from the RATAN-600 blind surveys was drawn. Searching for transients, we have found twenty-two radio sources which are associated with the NVSS objects but are not included in the RCR catalog. Three of them turned out to be presumably variable.

Keywords: *galaxies: active—gamma-ray burst: general—supernovae: general—surveys—radio continuum: general*