
Издаётся Международной общественной организацией “Астрономическое общество”
и Государственным астрономическим институтом имени П.К. Штернберга МГУ

№ 1636, 2017 июня 6

Обнаружение транзиентов на частоте 111 МГц

С.А. Тюльбашев, В.С. Тюльбашев

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория им.В.В.Виткевича, ПРАО АКЦ ФИАН,

Пушино, Россия

serg@prao.ru

vtyulb@vtyulb.ru

Поступила в редакцию 27 апреля 2017 г.

Резюме. В мониторинговых наблюдениях на радиотелескопе БСА ФИАН за период с 1 по 5 сентября 2015 года на склонениях $-9^\circ < \delta < 42^\circ$ обнаружено 26 радиотранзиентов. Координаты и меры дисперсии для 24 из них такие же, как у известных пульсаров. Два радиотранзиента являются новыми.

Введение

Поиск радиотранзиентов активно ведется с 2006 года, когда появилась публикация об обнаружении в архивных записях Парковского пульсарного обзора [1] 11 объектов с нерегулярными всплесками. У обнаруженных одиночных всплесков имелось явное смещение максимума в зависимости от наблюдаемой частоты, что внешне было похоже на импульсы, наблюдаемые от сильных пульсаров. Подавляющая часть найденных всплесков оказалась связана с пульсарами. Это удалось доказать, так как при обнаружении достаточного количества повторных всплесков из тех же направлений можно сделать тайминг, т.е. восстановить период пульсаров. Для таких объектов появилась устойчивая аббревиатура RRATs (Rotating Radio Transients – вращающийся радиотранзиент).

Помимо RRATs, также были обнаружены всплески от внегалактических объектов. Внешне эти всплески могут быть неотличимы от RRATs ни по длительности, ни по наблюдаемым мерам дисперсии. В работе 2007 года [2] был приведен пример сильной короткой всплески, обнаруженной все в тех же парковских архивных записях. Она была интерпретирована как внегалактическая с ожидаемым расстоянием до источника всплески порядка миллиарда световых лет.

Специально организованные поиски RRATs и поиски в старых архивных записях привели к обнаружению на настоящий момент около 100 объектов типа RRATs (см. ATNF каталог пульсаров <http://www.atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat/>). При этом, согласно работе [3], число доступных для обнаружения пульсаров, не имеющих явно выраженного периода, может в несколько раз превышать общее количество классических радиопульсаров.

Главные условия для поиска радиотранзиентов типа RRATs — это высокая флуктуационная (мгновенная) чувствительность радиотелескопа, возможность многочастотной

записи наблюдений, возможность использования постоянной времени, сравнимой по времени с длительностью импульса пульсара. Эти условия соблюдаются в мониторинговом обзоре, проходящем в Пушинской радиоастрономической обсерватории на частоте 111 МГц. С использованием небольшой части этих наблюдений нами была сделана попытка поиска RRATs объектов.

Наблюдения и обработка наблюдений

Регулярные мониторинговые наблюдения на радиотелескопе БСА ФИАН идут с 2013 года в режиме 6 частотных каналов, на центральной частоте 110.25 МГц, с общей полосой частот 2.5 МГц и постоянной времени 100 мс. С августа 2014 года наблюдения дополнительно ведутся в режиме 32 частотных канала при постоянной времени 12.5 мс. Антенна БСА ФИАН многолучевая, и на основе антенны работает несколько радиотелескопов. В частности, для мониторинга используется 128-лучевой радиотелескоп, лучи которого перекрывают склонения от -9° до $+55^\circ$. На настоящий момент времени есть два цифровых радиометра, которые подключены к 96 лучам этого радиотелескопа. Подключённые лучи соответствуют склонениям от -9° до $+42^\circ$. Перекрытие лучей произведено по уровню 0.4 (детали см. в работах [4, 5]).

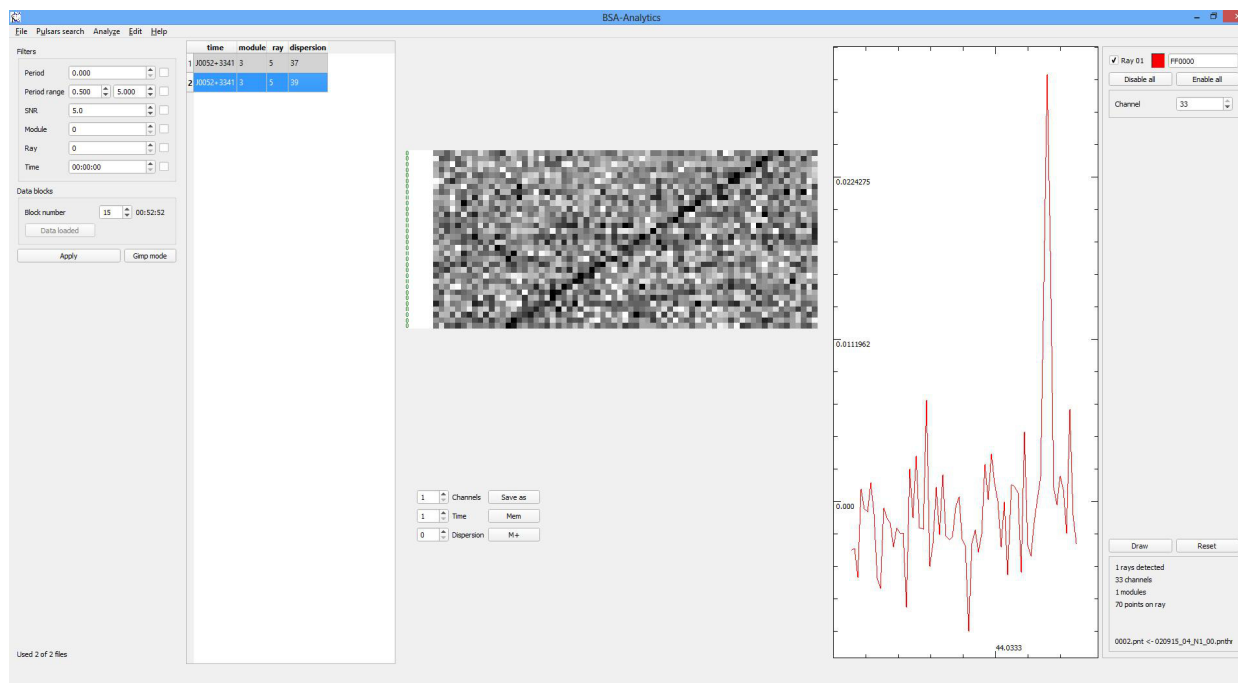


Рис. 1: Рабочее окно программы. Левые два окна позволяют выбрать обработанные результаты, правые два окна — динамический спектр и импульс, сложенный с учетом определенной программой меры дисперсии, и в соответствии динамическому спектру. На экране представлена обнаруженная вспышка пульсара J0048+3412. Программой найдена $DM = 39$ пк/см³. DM из ATNF каталога пульсаров 39.92 пк/см³.

Наблюдения в 32-частотном режиме удобны для поиска транзиентов, т.к., согласно работе [1], наблюдаемая длительность всплесков находится в промежутке от 2 до 30 мс. Для поиска транзиента в мониторинговых данных проводилось сложение всех 32

частотных каналов с перебором мер дисперсий от 3 до 100 пк/см³. На мерах дисперсии меньше 3 пк/см³ возникает большое количество ложных источников, и поэтому для обнаружения транзиентов с малыми мерами дисперсии нужно создавать другую методику поиска. В записи, сложенной с учётом предполагаемой меры дисперсии, искались пики с уровнем сигнала к шуму больше 10. Высокое значение порогового сигнала задано для отсека большого количества наблюдаемых помех. Программа поиска транзиентов является модификацией ранее написанной программы по поиску пульсаров [5]. *BSA-Analytics* написана на *Qt/C++* и распространяется под лицензией *GPLv3*. Исходники и документация доступны по адресу <https://github.com/vtyulb/BSA-Analytics>. На рис. 1 показано рабочее окно программы.

Главными признаками обнаружения радиотранзиента считались: обнаружение вспышки не более чем в двух соседних лучах; есть хотя бы одно повторное обнаружение сигнала в то же самое звёздное время и в тех же лучах по склонению; есть примерное совпадение наблюдаемой меры дисперсии от события к событию.

На настоящий момент времени нами тестируются разные методики поиска радиотранзиентов. Способ, описанный выше, был применен к данным за период 01.09.2015–05.09.2015. Время обработки данных по порядку величины было сравнимо с временем наблюдений при обработке на бытовом одноядерном компьютере.

Больше деталей, касающихся наблюдений, методики обработки данных и результатов обработки приводятся в статье, планируемой для *Астрономического журнала*.

Результаты

При визуальном просмотре результатов обработки слепого поиска были обнаружены события, которые естественным образом интерпретируются как одиночные импульсы пульсаров. Для части объектов детектируется много импульсов с одинаковыми мерами дисперсии. Периоды пульсаров явным образом видны не всегда, так как часть импульсов не обнаруживается при выбранных значениях сигнала к шуму. Видимые меры дисперсии и направление прихода импульсов позволяют однозначно отождествить эти отдельные регулярные вспышки с известными пульсарами. На рис. 2 приведены примеры нескольких вспышек, ассоциированных с пульсарами. На динамическом спектре верхние углы соответствуют частоте 109.04 МГц, а нижние углы — частоте 111.46 МГц. По горизонтали отражена длительность вспышки на разных частотах с небольшим запасом по времени.

Для удобства просмотра рисунки в блоках выполнены в одном масштабе. Реальные длины записей на рисунках с индивидуальными импульсами и динамическими спектрами 400 мс для J1239+2453, 675 мс для J0323+3944, 825 мс для J2234+2114 и 1037.5 мс для J2305+3100. На динамических спектрах импульсов пульсаров J0323+3944 и J1239+2453 видно, что реальные импульсы, как минимум, двухкомпонентные. На динамическом спектре импульса пульсара J2234+2114 проведено усреднение скользящим средним по 3 точки для увеличения контрастности.

Нам удалось увидеть отдельные всплески (отдельные импульсы) у следующих пульсаров: J0034-0721; J0048+3412; J0304+1932; J0323+3944; J0754+3231; J0826+2637; J0837+0610; J0922+0638; J1136+1551; J1239+2453; J1503+2111; J1543-0620; J1543+0929; J1844+1454; J1907+4002; J1921+2153; J2018+2839; J2051-0827; J2113+2754; J2234+2114; J2305+3100; J2317+2149. Также нашлось два события, которые, по всей видимости, от-

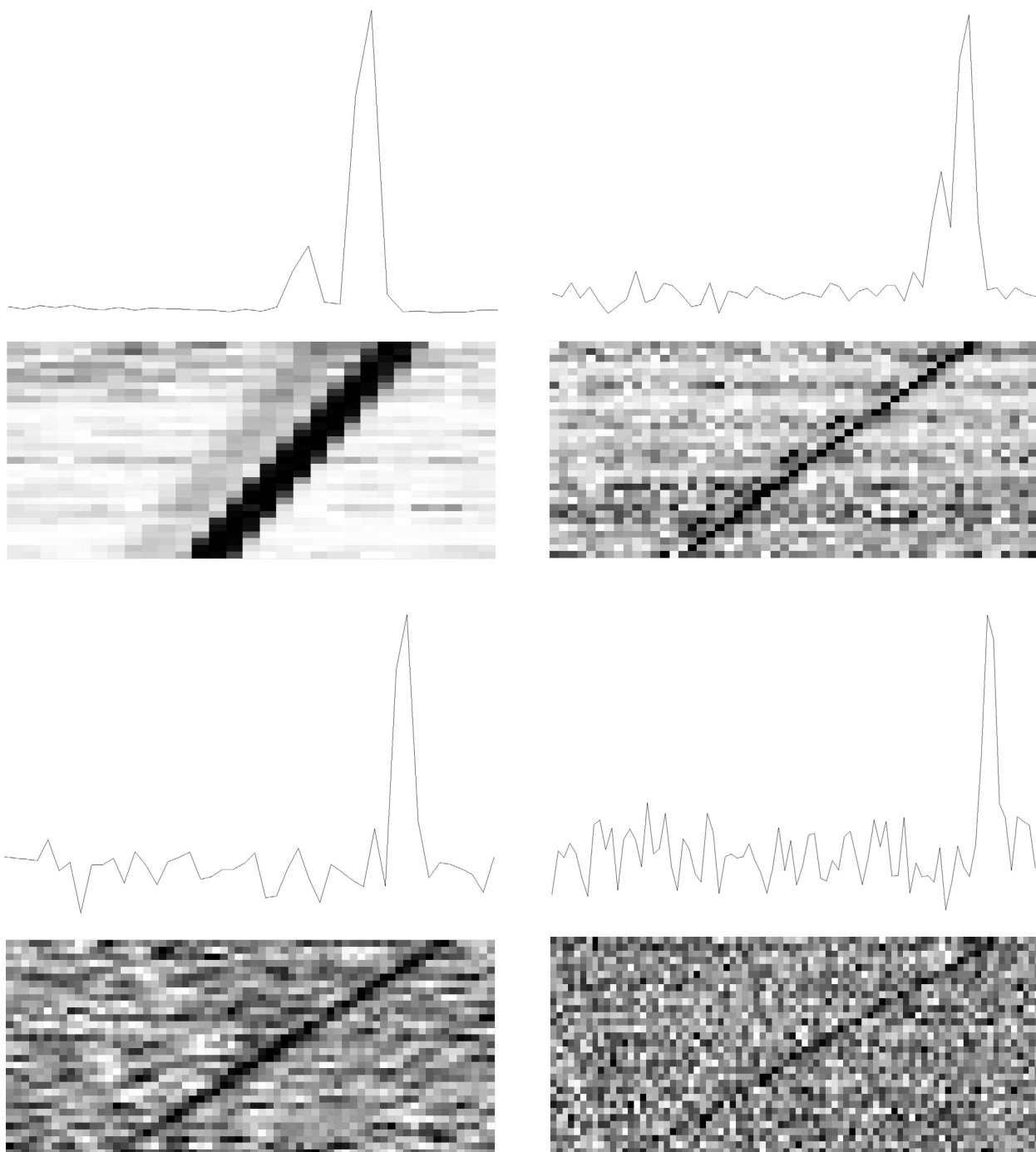


Рис. 2: Первый (верхний) блок представляет профили отдельных импульсов и динамические спектры для сильных пульсаров B1237+25/J1239+2453 (слева) и B0320+39/J0323+3944 (справа). Второй (нижний) блок профили отдельных импульсов и динамические спектры относительно слабых пульсаров J2234+2114 (слева) и B2303+30/J2305+3100 (справа).

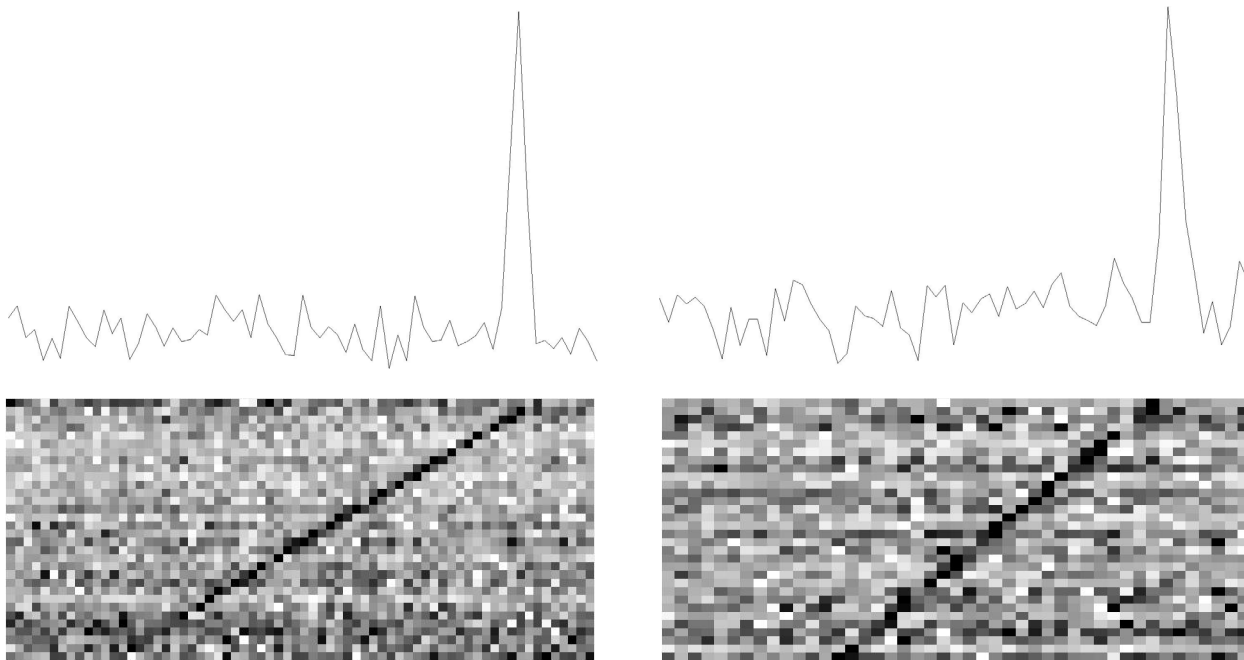


Рис. 3: В левой части рисунка импульс и динамический спектр от кандидата в RRATs J1556+0102, в правой части рисунка то же для RRATs J2228+3031

носятся к известным пульсарам, но их отождествление не столь однозначно. В этих событиях либо вспышка наблюдается не в ожидаемом луче диаграммы направленности БСА ФИАН, а в луче выше или ниже (т.е. на склонениях больше или меньше ожидаемых), либо координата вспышки по прямому восхождению может расходиться с координатой пульсара больше чем на 1.5–2 минуты. При этом вспышка все ещё находится в пределах диаграммы направленности антенны БСА ФИАН по отношению к известному пульсару, а меры дисперсии у этих вспышек близки к каталожным значениям мер дисперсии пульсаров. Если обнаруженные вспышки принадлежат известным пульсарам, то наблюдаемая плотность потока в этих вспышках неожиданно велика. Мы же полагаем, что наблюдавшиеся события относятся к известным пульсарам J0303+22; J1532+2745.

Помимо импульсов от известных пульсаров, были обнаружены вспышки, которые не удалось ассоциировать с пульсарами каталога ATNF. Для одного из направлений на небе вспышки повторялись несколько дней, а для другого зарегистрирована лишь одна вспышка за 5 дней. На рис. 3 приведены профили и динамические спектры для двух вспышек.

Длина записи, отражённой на рис. 3, для J1556+0102 (кандидата в RRATs) составляет 562.5 мс, $DM = 19$ пк/см³. Транзиент обнаружен один раз. Для J2228+3031 (RRATs объекта) длина записи 575 мс, а $DM = 20 \pm 2$ пк/см³. Вспышки видны 4 дня из 5, в некоторые дни обнаружено по несколько вспышек. Точность координат составляет $\pm 3.5^m$ по прямому восхождению и $\pm 20'$ по склонению. При обнаружении хотя бы нескольких десятков вспышек от каждого объекта точность координат вырастет в 1.5–2 раза.

Заключение

Обработка пяти дней мониторинговых наблюдений позволила обнаружить два источника вспышек с мерами дисперсии около 20 пк/см^3 , которые, как мы ожидаем, связаны с объектами типа RRATs.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-02-00954, а также программы Президиума РАН «Переходные и взрывные процессы в астрофизике».

Список литературы

- [1] McLaughlin M.A., Lyne A.G., Lorimer D.R. et al., *Nature* **439**, 817 (2006).
- [2] Lorimer D.R., Bailes M., McLaughlin M.A., Narkevic D.J., Crawford F., *Science* **318**, 777 (2007).
- [3] Keane E.F., PhD thesis, 2010 (DOI: 10.1007/978-3-642-19627-0).
- [4] Шишов В.И., Чашей И.В., Орешко В.В., Логвиненко С.В., Тюльбашев С.А., Субаев И.А., Свидский П.М., Лапшин В.Б., Дагкесаманский Р.Д., *Астрон. журн.*, **93** 1045 (2016).
- [5] Тюльбашев С.А., Тюльбашев В.С., Орешко В.В., Логвиненко С.В., *Астрон. журн.* **93**, 177 (2016).

The Discovery of Radio Transients at 111 MHz

S.A. Tyul'bashev, V.S. Tyul'bashev

Lebedev Physical Institute,

Pushchino Radio Astronomy Observatory of Astro Space Center (PRAO ASC LPI)

Pushchino, Russia)

E-mail: serg@prao.ru

E-mail: vtyulb@vtyulb.ru

Received April 27, 2017

Abstract. In the monitoring observations at the Large Phased Array of Lebedev Physical Institute in the period from 1 to 5 September 2015 at declinations $-9^\circ < \delta < 42^\circ$ 26 radio transients were discovered. Coordinates and dispersion measures for 24 of them are the same as for the known pulsars. Two radio transients are new.