

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Специальная астрофизическая обсерватория
Российской академии наук
(САО РАН)

УДК 524.7; 524.8; 520; 52

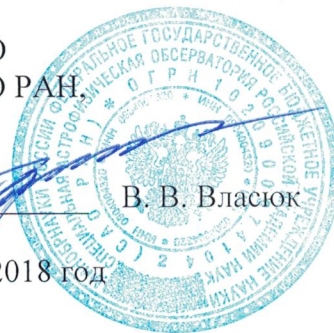
Рег. № НИОКТР АААА-А18-118051490155-6

Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ
Директор САО РАН,

В. В. Власюк

«29» декабря 2018 год



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

II.16 ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ГАЛАКТИЧЕСКИХ И ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ
ИСТОЧНИКОВ В РАЗНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНАХ И В РЕЖИМЕ БЫСТРОЙ
РАДИОМЕТРИИ НА ТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600
(промежуточный)

Программа Президиума РАН №28 "Космос: исследования фундаментальных процессов и их
взаимосвязей"

Подпрограмма II Астрофизические объекты как космические лаборатории

Руководитель НИР,
зав.лаб.,
д-р физ.-мат.наук

(подпись, дата)

/Трушкин С.А./

Нижний Архыз 2018

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

Зав.лаб РА, д.ф-м.н.



С.А. Трушкин (введение, раздел 1, заключение)

Исполнители темы

вед.н.с. д.ф-м.н.



О.В. Верходанов (раздел 1)

с.н.с. лаб. радиометров

континуума, к.ф-м.н.



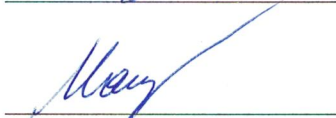
П.Г. Цыбулев (введение, раздел 1)

снс лаб. РА, к.ф-м.н



Н.Н. Бурсов (раздел 1)

с.н.с. CAO РАН, к.ф-м.н.



Е.Н. Майорова (раздел 1)

м.н.с СПб Филиал CAO



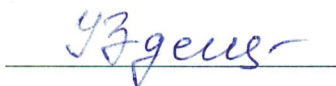
Д.И. Соловьев (раздел 1)

ст.исследователь лаб. РА



А.В. Шевченко (раздел 1)

Нормоконтролер



Ш.А. Узденова

РЕФЕРАТ

Отчет 10 с., 1 рис., 1 прил.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕЛЕСКОПЫ, СВЕТОПРИЁМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА КОСМОЛОГИЯ, ЗВЕЗДЫ, ГАЛАКТИКИ, БАЗЫ ДАННЫХ

Цель работы - осуществление научной и научно-технической деятельности, в том числе проведение фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, в области астрономии и смежных с ней науках.

Поиск быстрых радиовсплесков (БРВ или FRB) — ключевая задача в быстрой радиометрии. Она осуществляется в обзоре неба на созданном комплексе из трех радиометров с делением полосы частот для удаления межзвездной и космологической дисперсии. Мы осуществляем обзор на Западном секторе РАТАН-600 в режиме сканирования участка неба на одном склонении. Сначала мы выбрали склонение повторного БРВ 121102 ($\text{DEC}=33^\circ$) течение почти 200 дней, затем с 29 мая 2018 года мы перестроили антенну на склонение Крабовидной туманности (КТ, $\text{DEC}=22^\circ$). Такая смена сечения приводила к лучшим условиям обзора, меньшему уровню помех. Но главной целью был поиск и обнаружение гигантских импульсов от молодого 33-миллисекундного пульсара PSR0531+22, чтобы протестировать сам метод быстрой радиофотометрии.

Кроме того был проведен поиск внегалактических радиоисточников на картах миллиметрового и субмиллиметрового диапазона, построение континуальных спектров, классификация и статистический анализ радиоспектров ЯАГ в разные космологические эпохи. Была проведена селекция объектов с эффектом Сюняева-Зельдовича по данным обсерватории Planck в площадках неба в направлении на радиоисточники для обнаружения скоплений галактик в обзоре по эффекту Сюняева-Зельдовича. Продолжено развитие астрофизической базы данных CATS (<http://www.sao.ru/cats/>), созданной в САО РАН участниками проекта Трушкиным и Верходановым, для осуществления новых задач в данном проекте. Так кроме быстрой фотометрии мы можем использовать данные обзора для поиска и исследования обычных космических источников разной природы — от активных звезд до далеких радиогалактик.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.....	7
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	9
ПРИЛОЖЕНИЕ А	10
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	10

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

LOFAR - европейский радиоинтерферометр метрового диапазона, который разработан для

исследований широкого класса космических источников

РАТАН-600 - рефлекторный радиотелескоп Российской академии наук, входящий в состав крупных телескопов САО РАН

MAXI - рентгеновский монитор на борту МКС.

АЯГ - ядра активных галактик.

НЗ - нейтронная звезда.

ЧД - черная дыра.

FDPS - гибкая система обработки наблюдения на РАТАН-600

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы проводить систематический поиск БРВ необходимы «слепые» радиообзоры в максимальной большой области неба. Кроме того, так как БРВ имеют импульсный характер, то время прихода на телескоп подвержено космической дисперсии — на более низких частотах всплески будут приходить позже, чем на более высоких частотах. Квадратичную зависимость от частоты и линейную от меры дисперсии (DM) этих запаздывание нетрудно померить. А само наличие запаздывания — эффективный способ отделить импульсы земного или околоземного происхождения (фактически - помехи) от действительно космических событий. Такая методика широко и давно используется в пульсарной радиоастрономии, где метод де-дисперсизации просто необходим для обнаружения импульсного излучения. Чтобы максимально использовать наблюдательное время на радиотелескопе РАТАН-600 для поиска БРВ необходима антенна постоянно сфокусирована на определенную область неба, а накопление осуществляется за счет вращения Земли. Таким образом на Западном секторе РАТАН-600 можно просматривать площадку около 200 кв. градусов ежедневно. Наш выбор пал на высокую частоту обзора — 4.7 ГГц из-за очень высокого уровня помех на более низких частотах, хотя при этом мы проигрываем в поле зрения. Кроме того мы увеличили число лучей, постоянно направленных на небо, до трех.

Наконец на высоких частотах нет большой проблемы с размытием импульса, так как оно падает с кубом частоты. Поэтому мы выбрали минимальное число спектральных каналов — четыре — чтобы получить по трем разностям времен прихода импульсов значение DM. Актуальность проведенных исследований определяется тем, что БРВ, которые открыты только 10 лет назад, являются самими интригующими радиоисточниками на небе, их число слишком мало, а природа не известна. В данном проекте создается методика и технические средства такого поиска. Космической дисперсия определяется электронной концентрацией и длиной пути в межгалактической среде. Мы создали три четырех-канальных приемника в диапазоне частот от 4.3 до 4.9 ГГц, разбив СВЧ-фильтрами полосу на четыре спектральных канала по 150 МГц. Тогда задержки между каналами составят от 3 до 20 мс для внегалактических расстояний от 0.1-5 Гпс. Это однозначно детектируется в режиме быстрой радиометрии с частотой опроса от 4 до 16 кГц.

1 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Первое применение и внедрение режима быстрой радиометрии на РАТАН-600 для исследований пульсарного излучения

В режиме радиометрии с шагом дискретизации до 60 мксек на частоте 4.7 ГГц были впервые обнаружены одиночные импульсы от двух пульсаров. На трехлучевом 4-канальном комплексе в полосе частот 4.2-4.8 ГГц были обнаружены одиночные гигантские импульсы (ГИ) от 33-миллисекундного пульсара PSR0531+22 в Крабовидной туманности. Поток одного ГИ (~1 мс) превышал 150 Ян. Другой ГИ состоял из двух суб-импульсов с потоком около 8 и 4 Ян и длительностью по 300 микросекунд. Из этого следует, что область импульсного излучения имеет размер 100 км, а ее яркостная температура превышает 10^{25} К. По времени прихода шести ГИ была измерена мера дисперсии PSR0531+22: $MD = 57 \pm 1$ пк/см³. 11 декабря был обнаружен действительно очень яркий (~100 Ян) ГИ от PSR531+22. Вероятно, оба импульсы принадлежат скорее к гигантским интер-импульсам, известным по большей длительности (~300 мкс) и переменной микроструктурой, чем к коротким (~20 мкс) гигантским главным импульсам. Яркий пульсар PSR0329+54 (P=0.71с) наблюдался в режиме быстрой радиометрии несколько раз на антенне Южный сектор на двух частотах 2.3 и 4.7 ГГц. На удалось зарегистрировать десятки ярких (1-10 Ян) импульсов на обеих частотах, что позволило построить средние профили импульса, которые полностью соответствуют многочисленным прежним измерениям. [по материалам пленарных докладов на трех конференциях и по опубликованному докладу на одной из них]

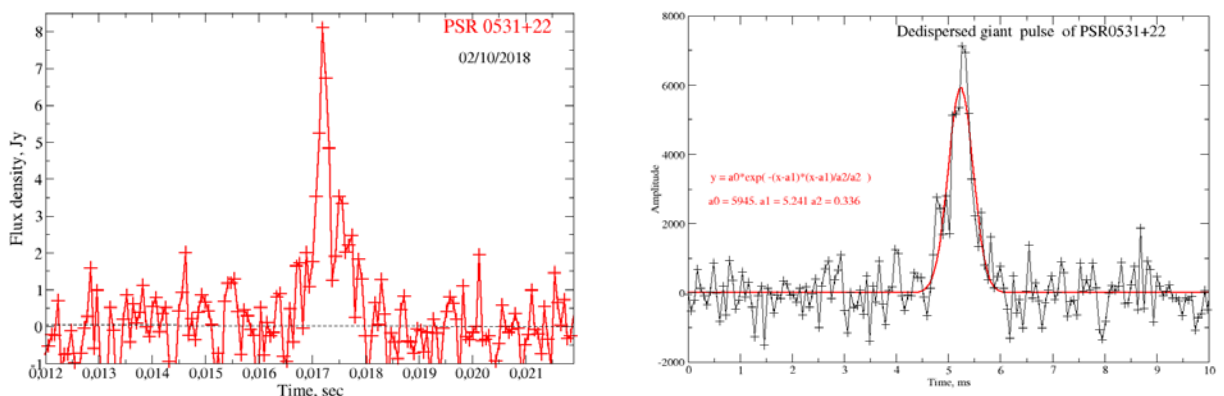


Рисунок 1 – Приведены два гигантских импульса пульсара в Крабовидной туманности (КТ), обнаруженные в ходе обзора БРВ на Западном секторе РАТАН-600 2 октября и 11 декабря 2018 года. Второй ГИ был на уровне 100 Ян, а яркостная температура области его излучения превышала 10^{26} К.

Сам по себе поиск БРВ — это пилотный проект, который не может дать мгновенный результат, но сам метод был протестирован на обнаружении коротких импульсов от пульсаров PSR0531+22 и PSR0329+54. Метод «чувствует» межзвездную дисперсию и достаточно чувствителен, чтобы обнаруживать отдельные пульсарные импульсы. После введения в действие еще пяти лучей с увеличенным числом каналов (6) мы сможем зарегистрировать БРВ в течение года. С другой стороны, используя так называемый метод накопления «скольжением» до 150 секунд, мы сможем исследовать средние импульсы многих пульсаров.

В рамках исследований активных ядер галактик на радиотелескопе РАТАН-600 реализованы в виде программного кода статистические методы анализа переменности по данным спектров радиоисточников и включены в систему анализа данных FADPS на РАТАН-600. Модифицировано программное обеспечение для работы временными рядами в системе обработки FADPS. Расширены возможности работы с динамическим временными файлами большого объема внутри графических процедур. [Верходанов О.В. и др.]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе первого года систематического поиска БРВ в слепом обзоре на Западном секторе РАТАН-600 была полностью отлажена методика наблюдений и обработки больших массивов данных. В целом на каждой точке полосы обзора телескоп находился около 1.5 часов, но тем не менее яркие - выше 5 Ян — БРВ не были зарегистрированы. Возможно в ходе пост-обработки архивного материала нам удастся понизить порог обнаружения до 3 Ян, и даже обнаружить БРВ с меньшими потоками. Четырех-полосная радиометрическая система с частотой опроса 16 кГц хорошо себя проявила в наблюдениях гигантских импульсов от пульсара PSR0531+22 в КТ. Расширение методики на другие радиометрические комплексы позволит измерять и отдельные импульсы пульсаров и их средние профили. Очень важно расширение и улучшение системы обработки данных обзора в реальном времени для оперативного оповещения и телескопов САО и других обсерваторий об зарегистрированном событии. Очевидно вся методика быстрой радиометрии применима к транзиентным и быстропеременным объектам в нашей Галактике. Возможно она найдет применение и в новых задачах по поиску проявлений детектируемых гравитационных событий (слияний релятивистских объектов) в радиодиапазоне.

В ходе проекта стало ясно, что необходимо существенное расширение комплекса до восьми лучей и до шести спектральных каналов в каждом луче. Кроме того для новых задач потребуется еще более скоростная система регистрации данных с телескопа до 200-300 кГц на каждый канал. Это потребует более совершенной системы архивизации данных обзора и новых скоростных систем связи для передачи данных. Но в целом, ясно что задача поиска БРВ остается актуальной и выполнимой в рамках данного проекта.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

В ИНОСТРАННЫХ РЕФЕРИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛАХ

1. Koljonen K.I.I. The Hypersoft State of Cygnus X-3. A Key to Jet Quenching in X-ray Binaries? / Koljonen K.I.I., Maccarone T., McCollough M.L., Gurwell M., Trushkin S.A., Pooley G.G. Piano G., Tavani M. // *Astron. Astrophys.* — 2018. — Vol. 612. — id. A 27 (pp. 15)
2. Verkhodanov O. V., Kozlova D.D., Sotnikova Yu.V. Cosmological evolution of average continuum spectra of radio sources at $z > 2$ redshifts. *Astrophys. Bull.* 2018, V.73, No 4, p.393-400, DOI:10.1134/S1990341318040016

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

1. Trushkin S.A. Future Fast Radio Bursts (FRB) Search with the RATAN-600 Radio Telescope at 4.7 GHz / Trushkin S.A., Fabrika S.N., Tsybulev P.G., Nizhelskij N.A. // *SN 1987A, Quark Phase Transition in Compact Objects and Multimessenger Astronomy : Proc. of the Intern. Conf., Russia, KBR, Terskol (BNO), KChR, Nizhnij Arkhyz (SAO), July 2-8, 2017 / Sokolov V.V. (ed.) et al. — M., 2018. — P. 211-216*

ТЕЗИСЫ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ

1. Trushkin S.A. The First Experience of the FRB Search with RATAN-600 at 4.7 GHz / Trushkin S.A., Fabrika S.N., Tsybulev P.G., Nizhelskij N.A., Bursov N.N. // *The XIV Finnish-Russian Radio Astronomy Symposium, 5-7 Sept. 2018, Tuorla Observatory, Finland: Abstracts. — Tuorla, 2018. — P. 35.*