

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Специальная астрофизическая обсерватория
Российской академии наук
(САО РАН)

УДК 520; 523.3; 523.9; 524
№ АААА-А18-118012390349-1



ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
по проекту «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАТАН-600 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАННЕЙ
ВСЕЛЕННОЙ» программы ОФН-17 «Межзвездная и межгалактическая среда:
активные и протяженные объекты»
(Заключительный)

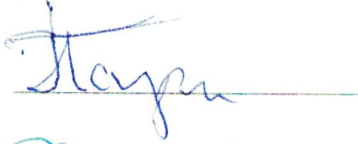
Отчет принят на заседании ученого совета САО РАН 26 декабря 2017 года
(протокол №359).

Нижний Архыз
2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

г.н.с., академик



Ю.Н. Парийский (введение,
раздел 1, заключение)

Исполнители темы

с.н.с., к.ф.-м.н.



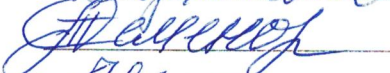
А.В. Темирова (введение,
раздел 1, заключение)

в.н.с., д.ф.-м.н.



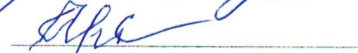
О.В. Верходанов (введение,
раздел 1, заключение)

с.н.с., к.ф.-м.н.



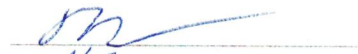
Т. А. Семенова (раздел 1)

с.н.с., к.т.н.



П. Г. Цыбулев (раздел 1)

с.н.с., к.ф.-м.н.



Н. Н. Бурсов (раздел 1)

Нормоконтролер



Ш.А. Узденова

РЕФЕРАТ

Отчет 11 с., 1 прил.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, КОСМОЛОГИЯ, ГАЛАКТИКИ

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

В рамках проведения программы «Использование РАТАН-600 для исследования Ранней Вселенной» глубокий околзенитный обзор на РАТАН-600 - RZF (RATAN ZENITH Field) в сантиметровом диапазоне ($\lambda=7.6$ см) выявил радиогалактики с ультра-крутыми и крутыми спектрами, которые являются возможными кандидатами в предельно далекие объекты. По объектам RZF-каталога построены спектры почти всех источников, попадающих в центральную полосу обзора. В этой полосе наблюдений ($41^{\circ}30'42''\pm 2'$) обнаружено 448 объектов, причем из них 74 объекта с USS спектрами ($\alpha \leq -1.1$), т.е. 16,5 %, 75 объектов с крутыми спектрами ($-1.1 \leq \alpha \leq -0.9$), т.е. 16,7%, 163 объекта с нормальными спектрами ($-0.9 < \alpha \leq -0.5$), т.е. 36,5 %, 120 объектов с плоскими спектрами ($-0.5 < \alpha < 0.5$), т.е. 26,7 % и 11 объектов с инвертированными спектрами ($\alpha \geq 0.5$), всего 2,5%, для 5 объектов тип объектов не определен из-за недостатка данных (1,1%). По результатам оптических отождествлений в этой области RZF и SDSS-обзоров получено, что 46,5% объектов отождествлены (т.е. из 448 RZF-объектов, 208 отождествлены). В нашей USS выборке 11 источников с $L_{1.4\text{GHz}} > 10^{25} \text{Вт/Гц}$ при $z_{\text{ph gal}} > 0.5$ можно рассматривать как возможных кандидатов в радио громкие активные ядра галактик (AGNs). В выборке 74 источников с USS спектрами обнаружены 3 GPS (Gigahertz Peaked Spectrum) объекта, и только для одного из них определена радио светимость $L_{1.4\text{ГГц}} > 10^{26}$. Такие радиоисточники с самопоглощением на низких частотах интересны тем, что представляют собой начало эволюционного пути галактик в крупномасштабные радиоисточники.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	7
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	10
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	11

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

RZF - RATAN ZENITH Field – зенитное поле РАТАНа

USS - ultra steep spectra – ультра крутые спектры

H_zRGs - High z Radio Galaxies – радиогалактики на высоких красных смещениях

SDSS – Sloan Digital Sky Survey – Слоановский цифровой обзор неба

AGN – active galactic nuclei – активные галактические ядра

ВВЕДЕНИЕ

В предельно глубоких обзорах в сантиметровом диапазоне на РАТАН-600 были найдены мощные радиогалактики, возникшие в первые 10% жизни Вселенной. Они исследованы с привлечением лучших зарубежных интерферометрических систем типа MERLIN, больших оптических и ИК телескопов. Принято считать, что эти объекты связаны со сверхмассивными черными дырами первого поколения. Оказалось неожиданным, что в Ранней Вселенной были черные дыры с массой более $10^9 M_{\text{sun}}$. Соотношение “спектральный индекс – красное смещение” является одним из ключевых при поиске и исследовании далеких радиогалактик. Спектральные характеристики радиоисточников относятся к числу наиболее простых и легко определяемых. В первых классических работах по формированию сверхмассивных черных дыр, ответственных за радиоизлучение радиогалактик, предполагалось, что темпы их формирования сравнимы с возрастом Вселенной и на красных смещениях $z > 2$ мощных радиогалактик еще не должны быть. Наблюдения, однако, показали, что это не так, и есть популяция очень далеких и мощных радиогалактик с красными смещениями около $z \sim 5$. Обработка предельно глубоких обзоров на РАТАН-600 позволила существенно уточнить природу предельно далеких объектов во Вселенной типа радиогалактик FR II на $z \gg 1$. Совместные радио и оптические исследования (проект “Большое Трио” с использованием 3 больших телескопов: РАТАН-600, VLA и 6-метрового телескопа CAO) уже выявили радиогалактики с предельно высокой радио светимостью на $z=4.514$ (RCJ0311+0507), возникшими в первый миллиард лет жизни Вселенной. Опыт показал, что особенно интересны объекты с ультра-крутыми ($\alpha < -1.1$, $S_\nu \sim \nu^{-\alpha}$) и в некоторой степени объекты с крутыми спектрами ($-1.1 < \alpha < -1$). Глубокий околзенитный обзор на РАТАН-600 - RZF (RATAN ZENITH Field) в сантиметровом диапазоне ($\lambda=7.6$ см) выявил радиогалактики с ультра-крутыми и крутыми спектрами, которые являются возможными кандидатами в предельно далекие объекты. Тем не менее, USS (ultra steep spectra) спектры не могут быть гарантом обнаружения HzRGs (High z Radio Galaxies) далеких галактик и наоборот.

1 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

За время выполнения проекта было проведен и завершен ряд исследований по теме.

С поиска переменных радиоисточников проанализирован список объектов на частоте 3.94 ГГц по данным обзоров 1988-1994 гг. внутри интервала прямых восхождений $2^h \leq RA \leq 6^h$. Среди изученных 145 объектов для 15 было детектировано долговременное изменение плотности потока на основе индекса переменности ($V > 0$). Среди этих источников у пяти значение вероятности p по χ^2 больше, чем 0.95. Для трех источников $p > 0.996$, что может говорить о надежности гипотезы об их переменности. Для двух источников $0.95 < p < 0.996$, говорит о вероятной переменности этих источников.

Для объектов RZF-каталога построены спектры почти всех источников, попадающих в центральную полосу обзора. В этой полосе наблюдений ($41^\circ 30' 42'' \pm 2'$) обнаружено 448 объектов, причем из них 74 объекта с USS спектрами ($\alpha \leq -1.1$), т.е. 16,5%, 75 объектов с крутыми спектрами ($-1.1 \leq \alpha \leq -0.9$), т.е. 16,7%, 163 объекта с нормальными спектрами ($-0.9 < \alpha \leq -0.5$), т.е. 36,5%, 120 объектов с плоскими спектрами ($-0.5 < \alpha < 0.5$), т.е. 26,7% и 11 объектов с инвертированными спектрами ($\alpha \geq 0.5$), всего 2,5%, для 5 объектов тип объектов не определен из-за недостатка данных (1,1%). По результатам оптических отождествлений в этой области RZF и SDSS-обзоров получено, что 46,5% объектов отождествлены (т.е. из 448 RZF-объектов, 208 отождествлены). Из 208 объектов по типу 125 интерпретируются как "Galaxy" (галактики), а 74 - "Star" ("звезды", возможно структура данных объектов не определена) из них 9 - "QSO" (квazarы). Также для 57 объектов в SDSS обзоре определяется выбранное поле, но не выделяются сами объекты, которые обозначены, как "EF" - пустое поле. Для 5 объектов не определены спектральные характеристики, но 3 из них отождествлены в SDSS обзоре. Для части объектов RZF- каталога (31 объект) определены фотометрические красные смещения и светимости, для некоторых объектов фотометрическое красное смещение определено в данных SDSS обзора, причем 25 объектов оказались галактиками, 6 - звездообразными объектами. Большинство радио источников нашей выборки остаются неразрешенными в NVSS (разрешение $\sim 45''$) и FIRST (разрешение $5''$.4) изображениях, поэтому требуются наблюдения с высокой разрешающей способностью для определения морфологии, физических размеров, яркостной температуры радио излучающих областей для исследования природы AGN в затененной среде. В нашей USS выборке 11 источников с $L_{1.4\text{GHz}} > 10^{25} \text{Вт/Гц}$ при $z_{\text{ph gal}} > 0.5$ можно рассматривать как возможных кандидатов в радио громкие активные ядра галактик (AGNs). В выборке 74 источников с USS спектрами обнаружены 3 GPS (Gigahertz Peaked Spectrum) объекта, и только для одного из них определена радио светимость $L_{1.4\text{GHz}} > 10^{26}$. Такие радиоисточники с самопоглощением на низких частотах интересны тем, что представляют собой начало эволюционного пути галактик в

крупномасштабные радиоисточники.

Проведено исследование физических свойств радиоисточников с использованием новых данных по низкочастотным обзорам, включая данные GMRT. Первый альтернативный релиз данных TGSS ADR1 (Tata institute for fundamental research GMRT Sky Survey Alternative Release), полученный в результате наблюдений обзора неба на GMRT (Giant Metrewave Radio Telescope) на частоте 150 МГц в 2010-2012 гг. был опубликован в работе (H.N. Intema, P.Jagannathan координат составляет, K.P. Mooley, D.A. Frail, Astron. And Astrophys. 598, A78, (2017)). Обзор покрывает 90% неба от -53° до $+90^\circ$ по склонению, при этом точность определения $2''$, плотности потоков -10% . Показано, что при угловом разрешении $25'' \times 25''$, что почти в 2 раза лучше, чем у NVSS обзора, порог обнаружения составляет 7σ . Используя данные нового каталога на частоте 150 МГц, мы получили, что, из отобранных ранее из RZF каталога (RATAN Zenith Field, $0^h < RA < 24^h$, $40.5^0 < DEC < 42.5^0$) 74 объектов с ультра крутыми спектрами $\alpha < -1.1$ в центральной полосе $\pm 2'$, остались только 69 источников. 11 источников отсутствуют в TGSS каталоге среди них 5 объектов, построенных по 2 точка (3940 МГц и 1400 МГц). При этом оказалось, что 20 источников имеют степенные спектры из них 5 объектов, построенных по 2 точкам, 9 источников имеют MPS (Megahertz-peaked Spectra) спектры, 2 источника (RZF J070010+412930, RZF J224408+412926) - это источники с GPS (Gigahertz- Peaked Spectra) спектрами.

В 2017 г. опубликована работа Rocco Corpejans, S. van Velzen, H.T. Intema, et al., (MNRAS, v.467, №2, 2039, (2017)), где предложен новый метод поиска объектов с большими красными смещения, основанный на поиске источников с MPS спектрами, которые, как показано рядом авторов (C.P O'Dea. PASP, 110, 493, (1998); M.Murgia, C. Fanti, R.Fanti et al., New A Rev., 46, 307, (2002); J.E. Conway, New a Rev., 46, 263, (2002)), являются молодыми активными ядрами галактик (AGN, active galactic nuclei). Для 27 источников (19 галактик и 8 звездообразных объектов) для которых определены звездные величины в разных фильтрах с помощью SDDS обзора, определены фотометрические красные смещения и их радиосветимости на частотах 500 и 1400 МГц. Большинство объектов ($N=69$) на длине волны 7.6 см имеют плотности потоков меньше 10 мЯн ($N=55$, 80%), 8 источников (12%) - с плотностью потока $10 \text{ мЯн} \leq S_{\{3940\}} \leq 20 \text{ мЯн}$ и только 6 объектов (8%) - с плотностью потока больше 20 мЯн. Таким образом, получена выборка слабых по плотности потоков источников с ультра крутыми спектрами с медианной плотностью потока $S_{3940 \text{ median}} \sim 5.05 \text{ мЯн}$ в сантиметровом диапазоне длин волн. Большинство объектов на длине волны 21 см имеют плотности потоков от 6 до 20 мЯн ($N=34$, 49%), для 24 источников (35%) плотности потоков располагаются в интервале $20 \leq S_{1400 \text{ МГц}} \leq 40 \text{ мЯн}$, для 5 объектов (7%) в интервале $- 40 \leq S_{1400 \text{ МГц}} \leq 70 \text{ мЯн}$, а также для 6 источников (9%) с плотностью потоков $S_{1400 \text{ МГц}} > 100 \text{ мЯн}$. Показано, что наша выборка USS (Ultra Steep Spectra) объектов относится к категории близких галактик с $Z_{\text{ph gal median}} = 0.401$, обнаруженных в сантиметровом диапазоне длин волн ($\lambda = 7.6 \text{ см}$), с

относительно высокими радиосветимостями. Радиосветимости рассматриваемых источников на частоте 1400 МГц изменяются в диапазоне $1,51 \times 10^{24} \leq L_{1400} \leq 5,17 \times 10^{27}$ Вт/Гц, $L_{1400 \text{ median}} \sim 4,25 \times 10^{26}$ Вт/Гц.

Такие радио источники скрыты внутри плотной межгалактической среды (IGM), богатой скоплениями, или заключены внутри родительской галактики (R.Ekers, I.Feain MWA GLEAM Workshop, Perth, 20 Oct 2014; I. Klamer et al, MNRAS, 371, 852, 2006) Рассматриваемая выборка USS источников оказалась достаточно слабой по плотности потоков с $S_{\text{median}3940\text{МГц}}=5,05$ мЯн и $S_{\text{median}1400\text{МГц}}=19,45$ мЯн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По объектам RZF-каталога построены спектры почти всех источников, попадающих в центральную полосу обзора. В этой полосе наблюдений ($41^{\circ}30'42''\pm 2'$) обнаружено 448 объектов, причем из них 74 объекта с USS спектрами. По результатам оптических отождествлений в этой области RZF и SDSS-обзоров получено, что 46,5% объектов отождествлены (т.е. из 448 RZF-объектов, 208 отождествлены). Из 208 объектов по типу 125 интерпретируются как “Galaxy” (галактики), а 74-“Star” (“звезды”, возможно структура данных объектов не определена) из них 9 – “QSO” (квазары). Также для 57 объектов в SDSS обзоре определяется выбранное поле, но не выделяются сами объекты, которые обозначены, как “EF” - пустое поле. Для 5 объектов не определены спектральные характеристики, но 3 из них отождествлены в SDSS обзоре. Для 27 источников (19 галактик и 8 звездообразных объектов) для которых определены звездные величины в разных фильтрах с помощью SDDS обзора, определены фотометрические красные смещения и их радиосветимости на частотах 500 и 1400 МГц.

Показано, что наша выборка USS (Ultra Steep Spectra) объектов относится к категории близких галактик с $z_{\text{ph gal median}}=0.401$, обнаруженных в сантиметровом диапазоне длин волн ($\lambda=7.6$ см), с относительно высокими радиосветимостями. Радиосветимости рассматриваемых источников на частоте 1400 МГц изменяются в диапазоне $1,51 \times 10^{24} \leq L_{1400} \leq 5,17 \times 10^{27}$ Вт/Гц, $L_{1400\text{median}} \sim 4,25 \times 10^{26}$ Вт/Гц.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

В РОССИЙСКИХ РЕФЕРИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛАХ

1. Парийский Ю.Н., Желенкова О.П., Копылов А.И., Темирова А.В., Верходанов О.В., Комарова В.Н. Поиск и исследование объектов ранней Вселенной // *Астрофиз. бюл.* — 2017. — Т. 72, № 2. — С. 103-110.

ТЕЗИСЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

1. Темирова А.В., Парийский Ю.Н., Семенова Т.А., Бурсов Н.Н. Исследования радиоисточников в центральном сечении RZF каталога // *Астрономия: познание без границ: Сб. тезисов ВАК-2017, 17-22 сентября 2017 г., г. Ялта, Крым, Россия*, с. 113;
2. Темирова А.В., Желенкова О.П., Соболева Н.С., Бурсов Н.Н. Глубокие обзоры неба РАТАН-600 на склонении источника SS 433 на волне 7.6 см в период 1980-1999 гг. Каталог радиоисточников в интервале прямых восхождений $2h \leq RA < 7h$ // *Астрономия: познание без границ: Сб. тезисов ВАК-2017, 17-22 сентября 2017 г., г. Ялта, Крым, Россия*;