

# Исследование радиисточников средствами виртуальной обсерватории\*

© О.П. Желенкова

Специальная астрофизическая обсерватория РАН  
zhe@sao.ru

## Аннотация

Феномен мощного радиоизлучения ядра галактики является кратковременной по космологическим масштабам (до  $\sim 10^8$  лет) эволюционной фазой самых массивных звездных систем, поэтому информация о статистических свойствах радиисточников в разных диапазонах электромагнитного спектра важна для понимания природы и эволюции галактик. Программные средства виртуальной обсерватории (ВО), разработанные за последние 10 лет, существенно повышают эффективность отождествления списков радиисточников с оптическими, инфракрасными и пр. обзорами. Однако пока нет удобных пользователю программных средств для дальнейшего анализа компилятивных данных и поиска уточняющих критериев для классификации объектов.

С целью исследования статистических свойств радиисточников каталогов, полученных на крупнейшем российском радиотелескопе РАТАН-600, мы провели их детальное отождествление, максимально используя имеющиеся в открытом доступе данные. Используя программные средства и ресурсы ВО, мы реализовали подход по автоматической подготовке данных и их визуализации, который использовали при массовом отождествлении радиисточников каталогов RC и RCR. Разработанная для результирующего компилятивного каталога информационно-поисковая система позволяет отображать разнородную информацию. Дальнейшее развитие этой системы предполагает создание удобного инструмента для работы с компилятивными данными, который можно использовать при составлении выборок (например, поиск кандидатов в далекие галактики и др.) и классификации объектов.

визуализации и анализа предоставляют астрономам новые возможности в изучении небесных объектов. С появлением больших обзоров неба в разных спектральных диапазонах развивается подход, который нацелен на изучение статистических свойств популяции радиисточников. Такие исследования предъявляют определенные требования, как к постановке задачи, так и к методам их решения, которые все больше опираются на информационные технологии и, в первую очередь, на веб-сервисы и системы управления базами данных.

Исследования радиогалактик важны для понимания механизмов излучения внегалактических объектов в радиодиапазоне и относятся к широкому кругу задач, связанному с изучением проявлений активности галактических ядер. От малых до умеренных красных смещений ( $Z < 1$ ) мощные радиисточники отождествляются с массивными эллиптическими галактиками gE. Значительная часть этих объектов находится в скоплениях галактик. Феномен мощного радиоизлучения ядра галактики является кратковременной по космологическим масштабам (до  $\sim 10^8$  лет) эволюционной фазой этих самых массивных звездных систем. Хотя мощные радиогалактики – редкие объекты (пространственная плотность оценивается в  $\sim 10^{-6}$  Мпс $^{-3}$ ), их наблюдение в радиодиапазоне возможно на больших космологических расстояниях, что используется при изучении крупномасштабной структуры Вселенной.

На настоящее время известно всего около 200 радиогалактик с красным смещением больше 2 [1], поэтому поиск радиогалактик с  $Z > 2$  – важная задача для изучения протоскоплений галактик в ранней Вселенной. Обычно кандидаты в далекие радиогалактики отбираются из радиисточников с крутым спектральным индексом (радиоизлучение источника падает от низких частот к высоким), а затем приступают к наблюдениям в оптическом и инфракрасном диапазонах. В качестве примера приведем результаты исследований выборки

## 1. Введение

Интернет-доступ к цифровым астрономическим ресурсам, а также программные средства для их

---

Труды 13<sup>й</sup> Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» - RCDL'2011, Воронеж, Россия, 2011.

источников из каталога RC [2,3] с крутыми спектрами (SS, Steep Spectra). При ее подготовке еще учитывались угловые размеры, морфология и ограничение по плотности потока для объектов. Так из ~1200 источников каталога RC в SS-выборку вошли ~100 объектов. В течение 15 лет проводились фотометрические и спектральные наблюдения на 6-м оптическом телескопе БТА, чтобы отождествить и получить спектры для всех объектов выборки [4]. Из этих объектов у четырех источников  $1 \leq Z < 2$ , у трех –  $2 \leq Z < 3$ , у одного радиоисточника  $3 \leq Z < 4$  и самый далекий объект выборки с  $Z = 4.51$ .

Отождествление радиоисточников с объектами в других диапазонах - обязательная процедура при многочастотных исследованиях. Кросс-идентификация каталогов по координатам при их разном угловом разрешении, предельной чувствительности и координатной точности радиокаталогов, а также морфологической структуре самих источников не во всех случаях приводит к отождествлению объектов. Отметим, что только по оптическим данным можно оценить расстояние до родительских галактик радиоисточников, которые, по большей части, весьма слабые оптические объекты, особенно на больших красных смещениях. Их оптические наблюдения требуют больших затрат наблюдательного времени на крупнейших оптических телескопах при наилучших погодных условиях.

Однако не только поиск далеких радиогалактик, но и информация о статистических свойствах радиоисточников в разных диапазонах электромагнитного спектра важна для понимания природы и эволюции галактик. Массовое исследование радиоисточников позволяет уточнять существующие и открывать новые селекционные критерии, которые можно использовать при классификации. И такие исследования проводятся с привлечением современных цифровых обзоров в разных диапазонах. Так доля точечных однокомпонентных радиоисточников для радиокаталога FIRST (угловое разрешение  $< 5''$ ), которые отождествляются программными средствами, составляет по оценкам от 60% [5] до 90% [6]. Отметим, что в базе данных SDSS доля отождествлений радиокаталога FIRST [7] с оптическим обзором SDSS [8], включая и радиоисточники с более сложной морфологией, составляет всего ~50%. Отождествление радиоисточников более сложной морфологии, например двойных, требует усовершенствования алгоритмов кросс-идентификации, а именно учета возможных соотношений между свойствами объектов, например, корреляция плотности потока радиокомпонент и расстояния между ними и родительской галактикой [9].

На крупнейшем российском радиотелескопе РАТАН-600 в 1980-1999 гг. была проведена серия глубоких обзоров полосы неба шириной около 40

угловых минут. По данным этих обзоров получены каталоги RC и RCR [10]. Исследование этих каталогов в оптическом диапазоне началось с исследования вышеупомянутой SS-выборки радиоисточников. С появлением в последние годы глубоких цифровых обзоров в оптическом и инфракрасном диапазоне, таких как SDSS и UKIDSS, появилась возможность продолжить эту работу. Мы поставили задачу максимально использовать все имеющиеся в открытом интернет-доступе данные и постараться отождествить все источники выборки, попавшие в область обзора SDSS, а также провести их многочастотные исследования. Были выбраны 5 радиообзоров VLSS, TXS, NVSS, FIRST, GB6 (частоты 74, 365, 1440 и 4850 МГц), двух оптических обзоров: DSS2 и SDSS (полосы u, g, r, i, z), включая каталоги GSC.2 и USNO-B1, инфракрасных обзоров 2MASS и UKIDSS (полосы J, H, K). Радиоисточники каталога RC [11,12], а затем RCR были отождествлены с данными этих обзоров. Источники каталога RCR для достижения более глубокого предела отождествлялись с суммарными изображениями обзора SDSS в трех фильтрах (g, r, i) и/или инфракрасного обзора LAS UKIDSS в фильтрах (J, H, K).

Для многочастотного исследования выборки источников каталога RC, а затем каталога RCR разработана методика детального отождествления радиоисточников, включающая подбор информационных ресурсов, автоматическую подготовку данных из выбранных ресурсов для каждого источника, морфологическую классификацию, визуализацию подготовленных данных и принятие решения об отождествлении. Отметим, что автоматическая кросс-идентификация наших списков средствами Vizier дает менее 50% отождествлений.

Средствами интерактивного атласа неба Aladin [13] (Perl API для командного интерфейса и макроконтроллер), а также с помощью Python API к SAOImage DS9 реализованы потоки работ по списку радиоисточников для подготовки данных и визуализации результатов.

Для полученного компилятивного каталога разработана информационно-поисковая система для дальнейшего анализа свойств радиоисточников.

## 2. Программные средства виртуальной обсерватории

Виртуальная обсерватория (ВО) является информационной инфраструктурой, предназначенной для эффективного использования астрономических веб-ресурсов. Она разработана на основе стандартов Международного альянса Виртуальная обсерватория (International Virtual Observatory Alliance, IVOA, <http://www.ivoa.net>). Стандарты IVOA применяются при создании средств для работы с астрономическими данными в распределенной среде. Примерами реализации

программных средств на базе стандартов IVOA являются следующие разработки: Astrogrid ([www.astrogrid.org](http://www.astrogrid.org)), Aladin и Vizier ([cdsweb.u-strasbg.fr](http://cdsweb.u-strasbg.fr)), TOPCAT [14], SDSS SkyServer ([cas.sdss.org/dr6/en/](http://cas.sdss.org/dr6/en/)), SkyView (<http://skyview.gsfc.nasa.gov/>) и др. Они имеют развитые программные интерфейсы, которые можно использовать для расширения функциональности систем посредством встраивания пользовательских разработок.

С помощью средств ВО выполняются разовые запросы или последовательности запросов, объединенные в поток задач, к информационным ресурсам. Отметим, что полученные результаты являются также информацией, которую после соответствующего анализа можно применять для уточнения запроса, осуществляя, таким образом, следующую итерацию в исследованиях. Удобных программных инструментов ВО для организации итеративной работы с результатами запросов пока не существует. Для реализации конкретной задачи можно воспользоваться существующими программными средствами IVOA и технологиями СУБД.

Для исследования радиоисточников каталогов RC и RCR мы использовали следующие программные средства ВО.

*VizieR* – база данных астрономических каталогов с веб-интерфейсами и ВО-сервисами для доступа к каталогам. База данных Vizier включает почти 9 тысяч каталогов, собранных Центром звездных данных в Страсбурге (Centre de Données de Strasbourg) и участвующими в этой работе институтами. В Vizier имеется несколько интерфейсов для запросов к данным: веб-интерфейс, доступ по ASU-протоколу и веб-сервисы. В последнем случае обменным форматом для данных является VOTable-формат. Имеется сервис ConeSearch для кросс-идентификации списка объектов с выбранным каталогом.

*Aladin* – интерактивный атлас неба, который обеспечивает пользователю большой выбор сервисов для работы с изображениями и каталогами. У него имеется встроенный механизм обмена сообщениями и файлами с другими приложениями ВО по протоколу SAMP. Пользователь может управлять Aladin-ом с помощью команд, которые можно вводить интерактивно или посылать из другой программы. Дополнительные возможности при выполнении повторяющихся операций предоставляются макроконтроллером, который также использует встроенные команды Aladin, позволяет включать в них переменные, а также выполнять набор команд по списку объектов. В этих командах можно использовать в качестве переменных входы или плоскости стека Aladin, создавать новые плоскости «*PlaneName = command...*» и ссылаться на них по «*PlaneName*» или по номеру в стеке @*nnn*, что особенно удобно при выполнении арифметических операций с изображениями.

Другим универсальным для визуализации данных приложением является *DS9 SAOImage* (<http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>), которое по своим функциональным возможностям при работе с изображениями, каталогами и информационными ресурсами сравнимо с Aladin. DS9 также можно управлять из графического интерфейса и встроенными командами. DS9, как и Aladin, может обмениваться сообщениями с другими приложениями, но способ при этом используется другой – X Public Access (XPA). Используя стандартные TCP-сокеты, как транспортный механизм, XPA поддерживает направленную и широковещательную передачу сообщений между серверами, а также поддерживает прямую коммуникацию между XPA-клиентами и серверами. Поскольку XPA работает как на программном, так и на уровне командной оболочки ОС, то это мощное средство для объединения программных средств в среду для анализа данных.

Для реализации программного управления DS9 мы использовали пакет *python-sao* (<http://code.google.com/p/python-sao/>), который является Python-интерфейсом для XPA, DS9 и Funtools. Основная цель пакета состоит в организации передачи сообщений между DS9 и оболочкой Python по XPA-протоколу.

*TOPCAT* (Tools for Operations on Catalogues and Tables) – программное java-приложение для работы с астрономическими табличными данными, которое предоставляет множество способов просмотра и анализа таблиц, в том числе просмотр информации о таблице и столбцах, операции с колонками, 1-, 2-, 3- и многомерная визуализация, расчет статистики и объединение таблиц, а также поддерживает несколько общепринятых форматов астрономических данных (FITS, VOTable, CSV и др.). Приложение использует ВО-стандарты, в том числе, SAMP-протокол обмена сообщениями, что позволяет обмениваться данными между ВО-приложениями. TOPCAT работает с регистрами ВО, тем самым обеспечивая веб-доступ к астрономическим каталогам.

### 3. Реализация потока работ для массового отождествления источников

При работе с большим количеством каталогов по списку объектов важной является автоматизация типичных задач, выполняемых для каждого объекта. Обычно это включает извлечение информации из используемых обзоров и каталогов, их сопоставление и визуализацию для дальнейшего анализа (в нашем случае – принятие решения об отождествлении радиоисточника в оптическом или радиодиапазоне).

Для исследования радиоисточников каталогов RC и RCR в радио, оптическом и инфракрасном диапазонах использовались радиообзоры на частотах 74МГц (VLSS), 365МГц (TXS), 1.4ГГц (NVSS и FIRST) и 4.85ГГц (GB6).

Обзор FIRST имеет самое высокое угловое разрешение (5.4"). Обычно радиоисточники отождествляются с достаточно слабыми объектами в оптике. Чем слабее по потоку в радиодиапазоне

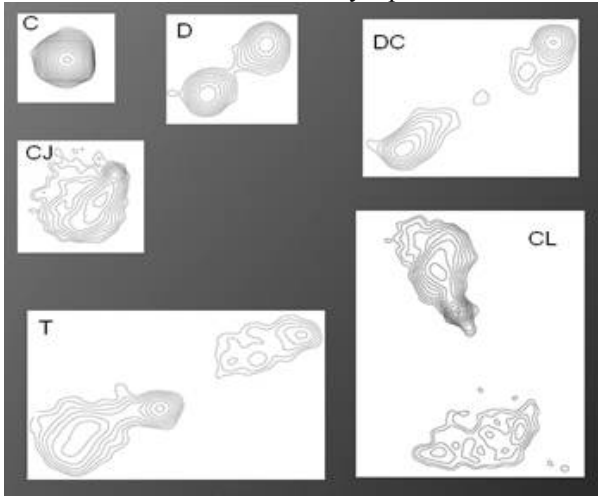


Рис. 1. Морфологические типы радиоисточников. C – точечный, D – двойной, DC – двойной с ядром, CJ – ядро с джетом, CL – ядро с компонентами, T – тройной.

источники, тем более глубокие снимки необходимы для обнаружения оптического объекта, ответственного за радиоизлучение. При предельной глубине обзора SDSS ~22 звездной величины по оценкам можно отождествить 50%-60% радиоисточников с плотностью потока ярче 1мЯн на 1.4 ГГц. Дополнительно к этому обзору для работы выбраны обзор неба DSS2 и каталоги USNO-B1, GSC 2.3.2, инфракрасные обзоры 2MASS и LAS UKIDSS.

Для каждого источника выборки произведен автоматический сбор данных по всем выбранным ресурсам с помощью потока работ, который состоит из простых задач – извлечение данных по заданным параметрам и обработка данных (построение контурных радиокарт и составных изображений радио-оптика, нормализация и суммирование изображений). Сценарий потока реализован с помощью Perl API Aladin. Вся собранная информация (изображения, данные из каталогов, контурные карты) запоминается в одном файле в формате Aladin.

Чтобы провести предельно глубокое оптическое отождествление по данным обзора SDSS, мы использовали сумму изображений в трех самых глубоких фильтрах обзора g, r и i. Возможности Aladin позволяют выполнять арифметические операции с изображениями.

Приведем пример скрипта для макроконтроллера по подготовке данных по заданному списку объектов:

```
reset
NVSS = get NVSS(0.2,5.0,"Stokes I",Tangent) $1 $2
get VizieR(nvss) $1 $2 10'
get VizieR(first) $1 $2 10'
```

```
get FIRST(10) $1 $2 5'
get VizieR(gb6) $1 $2 10'
get VizieR(vlss) $1 $2 10'
get VizieR(txs) $1 $2 10'
get VizieR(sdss) $1 $2 1'
get NED $1 $2 1'
sync
G = get Skyview(300,Default,"SDSS G",Tan,J2000,0,NN) $1 $2
R = get Skyview(300,Default,"SDSS R",Tan,J2000,0,NN) $1 $2
I = get Skyview(300,Default,"SDSS I",Tan,J2000,0,NN) $1 $2
Z = get Skyview(300,Default,"SDSS Z",Tan,J2000,0,NN) $1 $2
sync
R_n = norm -cut R
sync
I_n = norm -cut I
sync
G_n = norm -cut G
sync
RI = R_n + I_n
sync
GRI = RI + G_n
```

Важным моментом при оптическом отождествлении радиоисточников является определение структуры радиоисточника. Мы использовали в процедуре отождествления 5 морфологических типов радиоисточников (см. рис. 1): точечные (core), двойные (double, double-core, double-double), тройные (triple), ядро с джетом (core-jet), ядро с компонентами (core-lobe). От правильного определения структуры радиоисточника зависит корректность оптического отождествления, поскольку есть связь между структурой и предполагаемым положением родительской галактики. Составные изображения радио-оптика использовались (см. рис. 2) для морфологической классификации радиоисточников. Структура радиоисточника лучше определяется по контурам интенсивности радиоизображения. В Aladin алгоритм проведения контуров не является удачным, происходит потеря углового разрешения, важного при принятии решения о морфологической классификации. Для этого мы использовали более удачный алгоритм приложения DS9. С помощью Python API DS9 мы реализовали программу построения контурных радиокарт и их наложение на RGB-изображения из SDSS-кадров в фильтрах g, r, i, а также подготовки postscript-файлов с рисунками для списка радиоисточников. Ниже приведен пример такого Python-скрипта.

```
#!/usr/bin/python
import pysao
import numpy
import pyfits
import string
import sys
#
f = open('RCR2F.txt','r')
ds9 = pysao.ds9()
ds9.set('view colorbar no')
ds9.set('contour method smooth')
ds9.set('contour nlevels 8')
ds9.set('contour smooth 3')
ds9.set('grid load RCroi.grd')
ds9.set('grid title def no')
ds9.set('print resolution 150')
ds9.set('print destination file')
#
```

```

while 1:
str = f.readline()
if str == "":
break
s = string.split(str)
ra = s[0]
dec = s[1]
print "ra=",ra," dec=", dec
first = "first coord "+ra+" "+dec
ds9.set('first size 5')
ds9.set(first)
ds9.set('scale sqrt')
ds9.set('cmap Grey')
ds9.set('contour levels ".0003 .0023 .0084 .0186 .0329 .0512 .0735
.1"')
ds9.set('contour apply')
ds9.set('contour save ds9.con wcs fk5')
p = input ("Waiting FIRST...")
ds9.set('rgb')
sdss = "skyview coord "+ra+" "+dec
ds9.set('skyview survey sdssi')
ds9.set(sdss)
ds9.set('scale log')
ds9.set('scale mode 99.5')
ds9.set('cmap invert')
p = input ("Waiting SDSSi...")
ds9.set('rgb view red no')
ds9.set('rgb channel green')
ds9.set('skyview survey sdssr')
ds9.set(sdss)
ds9.set('scale log')
ds9.set('scale mode 99.5')
ds9.set('cmap invert')
p = input ("Waiting SDSSr...")
ds9.set('rgb view green no')
ds9.set('rgb channel blue')
ds9.set('skyview survey sdssg')
ds9.set(sdss)
ds9.set('scale log')
ds9.set('scale mode 99.5')
ds9.set('cmap invert')
p = input ("Waiting SDSSg...")
ds9.set('rgb view red yes')
ds9.set('rgb view green yes')
ds9.set('contour load ds9.con wcs fk5 cyan 1')
title = "grid title text {"+"RCR J"+ra+dec+"}"
ds9.set(title)
ds9.set('grid')
ds9.set('zoom to fit')
p = input ("Waiting ...")
#
psfile = "print filename "+"/RCR/"+ra+dec+".ps"
ds9.set(psfile)
ds9.set('print')
ds9.set('frame clear all')
ds9.set('frame delete')
ds9.set('frame first')
ds9.set('quit')
f.close()

```

Отметим также, что цвет оптического объекта на rgb-изображениях позволяет выбрать родительскую галактику из двух расположенных близко к центру радиоисточника оптических кандидатов. Обычно родительские галактики радиоисточников достаточно слабые объекты в оптике.

#### 4. Информационно-поисковая система компилятивного каталога

По результатам исследований радиоисточников каталогов RC и RCR с использованием нескольких цифровых обзоров у нас накоплен материал,

который предполагается использовать для дальнейших исследований свойств родительских галактик радиоисточников, для классификации

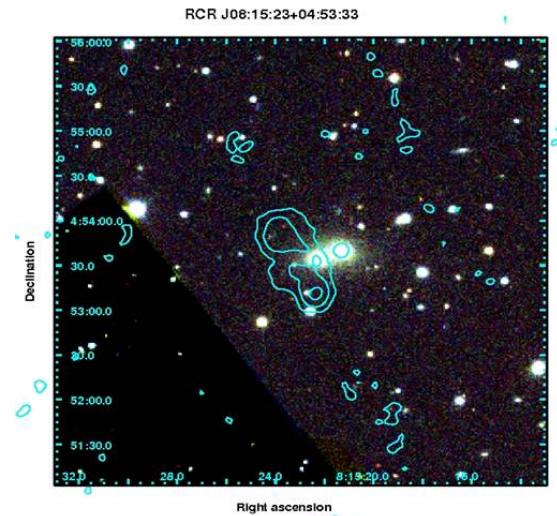


Рис. 2. Составное изображение радио (FIRST) – оптика (SDSS), полученное средствами DS9 для оптического отождествления радиоисточника каталога RCR.

родительских галактик, выделения выборок со схожими свойствами, поиска далеких объектов, поиска переменности. Спектральная информация по каждому источнику не является полной и необходимы добавления из вновь публикуемых обзоров. Для эффективной работы с компилятивным каталогом нами разработана информационная система, включающая базу данных по радиоисточникам и их родительским галактикам и веб-интерфейс для отображения разнообразной информации об объектах.

Схема таблиц ИПС включает таблицы оригинальных каталогов (в нашем случае это 12 каталогов), компилятивные таблицы с материалом по результатам отождествления радиоисточников. Таблицы, содержащие выборки из обзоров VLSS, TXS, FIRST, NVSS, GB6, SDSS, USNO-B1, GSC 2.3.2, 2MASS, LAS UKIDSS, включают все атрибуты оригинальных каталогов. В схему включены представления: `v_gflux` – блеск объекта в радио, инфракрасном и оптическом диапазоне; `v_gstramg` – параметры радиоисточника; `v_gstramgto` – оптические параметры родительской галактики.

Веб-интерфейс позволяет отображать по имени радиоисточника весь материал, относящийся к объекту – изображения, данные каталогов и вычисленные параметры. Адрес ресурса <http://www.sao.ru/fetch/cgi-bin/SkyObj/rcm.cgi>.

Интерфейс реализован в трехзвенной архитектуре – «клиент»-«сервер приложений»-«сервер СУБД». В качестве клиента используется браузер, сервер приложений – Apache, сервер базы данные – PostgreSQL. При написании скриптов использовался Python со стандартными пакетами

для поддержки CGI-интерфейса, графическая библиотека PIL и модуль pygresql для связи с СУБД по DBD/DBI-интерфейсам.

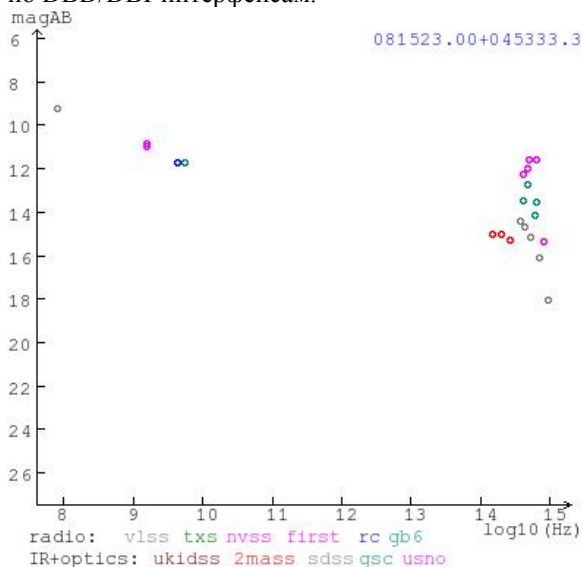


Рис. 3. Спектральное распределение энергии радиоисточника в радио, оптическом и инфракрасном диапазоне. Разброс точек в оптическом и инфракрасном диапазоне указывает на переменность рассматриваемого источника.

Информация, которая представлена в веб-интерфейсе, разделяется на следующие части: графическая статическая (подготовленные предварительно рисунки), графическая динамическая (веб-сервисы извлекают на лету изображение из обзора и помещают рисунок на страничку) и параметры радиоисточника, хранящиеся в информационно-поисковой системе. Для извлечения областей из цифрового радиообзоров FIRST и NVSS cutoff-сервисами, предоставляемыми архивом обсерватории NRAO. Составные рисунки радио-оптика извлекаются из коллекции jpeg-файлов, предварительно подготовленных с помощью Aladin. Для каждого источника была извлечена область неба из оптического обзора неба SDSS или из инфракрасного обзора неба UKIDSS, затем на эту область наложена контурная радиокарта из обзора FIRST.

Динамически выполняется построение спектрального распределения энергии радиоисточника (см. рис. 3), который строится по данным радио, оптического и инфракрасного диапазонов. Поскольку в радиодиапазоне блеск объекта измеряется в Янских на заданной частоте, а блеск в оптическом и ИК-диапазонах измеряется в звездных величинах в полосе длин волн (ангстремы или нанометры), то все величины пересчитываются в звездные величины в фотометрической системе AB. На графике со спектральным распределением энергии объекта по оси абсцисс отложена величина десятичного логарифма частоты в герцах, а по оси ординат - звездная величина. Точки графика

обозначены разными цветами. Каждому цвету соответствует данные определенного каталога. В легенде графика название каталога обозначено соответствующим цветом. Так в радиодиапазоне использовались следующие каталоги: VLSS (74 МГц), TXS (365 МГц), NVSS (1.4 ГГц), FIRST (1.4 ГГц), RC (3.9 ГГц), GB6 (4.85 ГГц); в инфракрасном диапазоне – 2MASS (полосы J, H, K) и UKIDSS (полосы Y, J, H, K); в оптическом диапазоне – SDSS (полосы u, g, r, i, z). Поскольку ширина полос в оптическом и ИК-диапазонах обычно несколько сотен ангстрем, то звездная величина приписывалась эффективной длине волны фильтра.

В радиопараметрах приводятся координаты центра источника, морфологический тип, угловые размеры (LAS) источника в угловых секундах, число компонент в обзоре FIRST и спектральные индексы для радиодиапазона. В оптических параметрах приведены координаты оптического кандидата, разница оптических и радиокоординат, тип оптического объекта и др.

## 5. Заключение

Проведена работа по детальному отождествлению радиоисточников RC (~400 объектов) и RCR (550 объектов) каталогов, полученных на PATAH-600. В работе использовались данные 12 каталогов и 8 цифровых обзоров. В области каталога RCR, общей с инфракрасным обзором неба LAS UKIDSS, процент отождествлений радиоисточников составил ~85%, что выше, чем при алгоритмической кросс-идентификации оптического и радиокаталога. Такие исследования сложно было бы провести без программных средств и информационной инфраструктуры виртуальной обсерватории.

Сложность работы с разнородными компилятивными данными для сравнительно небольшого количества объектов (~1000) потребовала создания базы данных, включающей выборки из используемых каталогов, веб-интерфейса для отображения изображений из обзоров и рисунков. С помощью информационной системы (см. рис. 3) при сравнении данных оптического диапазона из разных каталогов, а также инфракрасных данных удалось обнаружить, что радиоисточники существенно чаще оказываются переменными в оптическом диапазоне, чем это считалось ранее. Данные компилятивного каталога используются для классификации, как радиоисточников, так и родительских галактик.

Отметим, что доступ к данным панхроматических обзорам и информации центров данных, их публикация и поиск, включая и программные интерфейсы пользователя, за десять лет существования IVOA в основном обеспечены и существенно повышают эффективность исследований с использованием распределенных данных. Для интеллектуального анализа данных, включая интегрированный on-line анализ выбранных пользователем данных, интерактивный



анализ и исследования баз данных, еще нет удобных инструментов и нужна разработка таких программных инструментов. Разработанная нами информационно-поисковая система удобна для просмотра разнородных данных по радиосточникам и принятия решения об отождествлении. Мы рассматриваем ее как прототип более универсального программного средства для интегрированного on-line анализа выбранных пользователем данных, который предполагаем развивать. Схема базы данных должна учитывать добавление новых каталогов, интегрировать разнородные данные в информационной системе и обновлять информацию об астрофизических объектах. Динамический веб-интерфейс ИПС в полной реализации будет включать три группы сервисов. В первую группу включены визуализация изображений и каталожной информации по имени/координатам источника, редактирование информации для каждого объекта, во вторую - выбор списка для просмотра, просмотр списка, загрузка нового списка источников, автоматическая подготовка материала по списку объектов для набора каталогов/обзоров, в третью - добавление нового каталога в используемый набор ресурсов, добавление новых расчетных параметров, реализация выборок по набору параметров.

## Литература

- [1] Miley, G.; De Breuck, C. Distant radio galaxies and their environments. *Astronomy and Astrophysics Review*, v.15, N 2, pp.67-144, 2008.
- [2] Verkhodanov, O.V.; Parijskij, Yu.N.; Soboleva, N.S.; Kopylov, A. I.; Temirova, A.V.; Zhelenkova, O.P.; Goss, W.V. Results of investigation of radio galaxies of the survey «Cold»: photometry colour redshifts and the age of the stellar population. *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory*, v. 52, pp. 3-133, 2001.
- [3] Parijskij, Yu.N.; Bursov, N.N.; Lipovka, N.M.; Soboleva, N.S.; Temirova, A.V. The RATAN-600 7.6 CM catalog of radio sources from «Experiment Cold-80». *Astronomy and Astrophysics Supp. Ser.*, v. 87, N 1, pp. 1-32, 1991.
- [4] Parijskij, Yu.N.; Kopylov, A.I.; Temirova, A.V.; Soboleva, N.S.; Zhelenkova, O.P.; Verkhodanov, O.V.; Goss, W. M.; Fatkhullin, T.A. Spectroscopy of «Big Trio» objects using the SCORPIO spectrograph of the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory. *Astronomy Reports*, v. 54, N 8, pp.675-695, 2010.
- [5] Cress, C.M.; Helfand, D.J.; Becker, R.H.; Gregg, M.D.; White, R.L. The Angular Two-Point Correlation Function for the FIRST Radio Survey. *Astrophysical Journal* v.473, pp.7-14, 1996.
- [6] Ivezik, Th.; Menou, K.; Knapp, G.R.; Strauss, M.A.; et al. Optical and Radio Properties of Extragalactic Sources Observed by the FIRST Survey and the Sloan Digital Sky Survey. *Astronomical Journal*, v.124, N 5, pp. 2364-2400, 2002.
- [7] White, R.L.; Becker, R.H.; Helfand, D.J.; Gregg, M.D. A Catalog of 1.4 GHz Radio Sources from the FIRST Survey. *Astrophysical Journal* v.475, p.479, 1997.
- [8] Adelman-McCarthy, J.K.; Agüeros, M.A.; Allam, S.S. et al. The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, v.172, N 2, pp. 634-644, 2007.
- [9] Gubanov, A. G.; Kopylov, A.I.; Potapov, A.S. Search for Groups of Extragalactic Radio Sources. *Astronomy Letters*, v. 29, pp. 224-235, 2003.
- [10] Zhelenkova, O.P.; Kopylov, A.I. Analysis of the RC catalog sample in the region overlapping with the regions of the FIRST and SDSS surveys: I. Identification of sources with the VLSS, TXS, NVSS, FIRST, and GB6 catalogs. *Astrophysical Bulletin*, v.63, pp. 346-356, 2008.
- [11] Zhelenkova, O.P.; Kopylov, A.I. Analysis of a sample of RC catalog objects in the region overlapping with the areas covered by FIRST and SDSS surveys. II: Optical identification with the SDSS survey and USNO-B1 and 2MASS catalogs. *Astrophysical Bulletin*, v.64, pp. 111-122, 2009.
- [12] N.S. Soboleva, E.K. Majorova, O.P. Zhelenkova, A.V. Temirova, N.N. Bursov, RATAN-600 7.6-cm Deep Sky Strip Surveys at the Declination of the SS433 Source During the 1980-1999 Period. Data Reduction and the Catalog of Radio Sources in the Right-Ascension Interval  $7h < R.A. < 17h$ , *Astrophysical Bulletin*, v. 65, pp. 42-59, 2010.
- [13] Bonnarel F.; Fernique P.; Bienayme O.; Egret D.; Genova F.; Louys M.; Ochsenbein F.; Wenger M.; Bartlett J.G. The ALADIN interactive sky atlas. A reference tool for identification of astronomical sources. *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.*, v. 143, pp. 33-40, 2000.
- [14] Taylor M.B. TOPCAT & STIL: Starlink Table/VOTable Processing Software. *ASP Conference Series*, v. 347, pp. 29-33, 2005.

## Study of Radiosources with the Virtual Observatory Tools

© O.P. Zhelenkova

The phenomenon of powerful radio emission of the galaxy nucleus is a short evolutionary phase on the cosmological scale (up to 108 years) of the most massive stellar systems, so information about the statistical properties of radio sources in different bands of the electromagnetic spectrum is important for understanding the nature and evolution of galaxies. Software tools of the Virtual Observatory (VO), developed over the past 10 years, greatly enhance the efficiency of radio sources identification with optical, infrared and other surveys. However, there are no convenient software tools for further analysis of compilation data and discover search criteria for the classification of objects.

In order to study the statistical properties of radio sources of the catalogues obtained with the largest Russian radio telescope RATAN-600, we conducted their detailed identification with the maximum use of existing publicly available data. Using the software tools and resources of the Virtual Observatory, we implemented an approach for automated data preparation and visualization, which is used for mass identification of the radio sources of the catalogues RC and RCR. The information system designed for the resulting compiled catalogue allows displaying diverse information. Further development of the system involves creation of a convenient tool for working with the compilation data and can be used in the preparation of samples (for example, candidates for distant galaxies, etc.) and classification of objects.

---

\* Работа поддержана грантом РФФИ № 10-07-00412.