

Соловьев Дмитрий Игоревич

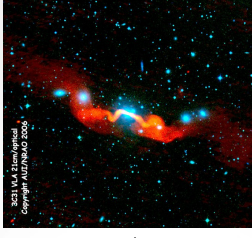
Протяженные структуры и взаимодействие реликтовых излучения с ними

Специальность 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Научный руководитель
Верходанов О.В.

САО РАН

Введение

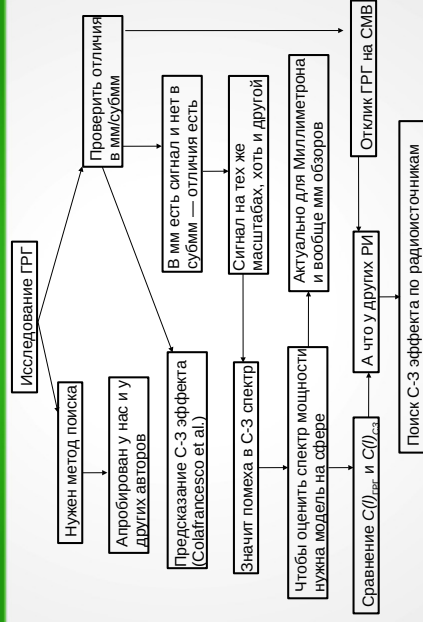


- Что такое гигантская радиогалактика (далее ГРГ)
 - линейные размеры от 1 Мпк (от 0.5 Мпк)
 - родительская галактика эллиптическая галактика
 - морфологический тип FR II
- Исследование ГРГ (M. Jamroz et al., A. P. Shoemaker et al., L. Lara et al., L. Saripalli et al., C. Konar et al., J. Machalsky et al., B. V. Komberg et al., J. J. Condon et al., S. Colafrancesco et al., V. R. Atlakshayan et al. и др.)
- Малое количество ГРГ (на момент работы над диссертацией 400 и постоянно увеличивается)
- Неясная природа ГРГ
 - долгоживущие радиомсточники (Комберг, Пащенко, 2009)
 - влияние внешней среды (Shoemaker et al. 2001)

NGC 383

<https://www.eso.org/obs/edu/abril/edu03/igs3.htm>

Введение



Актуальность

- Малое количество известных ГРГ
- Неясная природа размера ГРГ
- Размеры сопоставимы со скоплениями галактик, что может влиять на формирование крупномасштабной структуры Вселенной
- Исследование вклада излучения ГРГ в угловой спектр мощности, обусловленный эффектом Сюняева-Зельдовича

Цели и задачи

- Исследование ГРГ в миллиметровом диапазоне длин волн
 - как их найти
 - как они проявляют себя
 - как оценить вклад в фоновое излучение неба
- Оценка спектральных плотностей потоков ГРГ в данных Planck
- Проверка отличий от других галактик по данным Planck
- Разработка метода быстрой селекции кандидатов в скопления галактик с эффектом Сюняева-Зельдовича

Научная новизна

- **Новый метод поиска** ГРГ, основанный на автоматической процедуре и последующем дополнительном визуальном контроле. Метод позволяет находить кандидаты в радиогалактики с заданными параметрами (угловые размеры, радиопотоки и др.) на основании морфологической классификации Фонарофф-Райли.
- **Результаты исследования новых ГРГ.** Полученный описанным ранее методом список кандидатов в ГРГ был совмещен с уже известными ГРГ, а также проведено отождествление в оптике, инфракрасном и радио диапазонах.
- **Новые сведения о ГРГ в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне** по наиболее полным данным Planck.
- **Новая модель распределения ГРГ по сфере.** На основании дополненного списка ГРГ была составлена модель распределения протяженных радиомсточников по небесной сфере.
- **Новый метод селекции** кандидатов в объекты с эффектом Сюняева-Зельдовича в направлении на радиомсточники.

Содержание работы

Общий объем диссертации составляет 121 страницу, диссертация содержит 50 рисунков, 7 таблиц и библиографию из 259 наименований

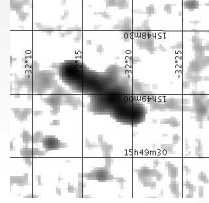
- **Введение**
Актуальность, цели и задачи, новизна, достоверность, практическая значимость, выносимые на защиту результаты, а также список публикаций по теме диссертации и цитирований на конференциях.
- **Глава 1**
Создание и применение метода поиска гигантских радиогалактик и их последующее отождествление.
- **Глава 2**
Галактики с признаками слияния из списка кандидатов в гигантские радиогалактики.
- **Глава 3**
Сравнение свойств радиогалактик разных популяций по микроволновым данным миссии Planck.
- **Глава 4**
Моделирование распределения гигантских радиогалактик на сфере.
- **Глава 5**
Поиск кандидатов в объекты с эффеком Сюэя-Зельдовича в направлении на радиоклонники.
- **Заключение**
- **Личный вклад**
- равный вклад при обсуждении и постановке задачи
- равный вклад при подготовке публикации
- обработка наблюдательных и смоделированных данных в пакетах GLESP и SExtastor
- разработка необходимого программного обеспечения
- основной вклад в моделирование обзора неба

Глава 1. Новые ГРГ

Имя	Тип	$S_{1.4}$ мВт	Резол. "/Мик	X/D	z	Спектр
1	2	3	4	5	6	7
J001748.5-222256	FR II	354.2	9.8/0.85	Ю	0.1081	$0.664 - 0.000z - 0.045z^2$
J001741.7-222513	FR II	233.3				
J001755.3-222039	FR II	120.9				
J005108.0-202818	FR II	157.6	8.6/0.84	Ю	0.0856	$-0.218 - 0.159z$
J005100.7-203041	FR II	78.7				
J005115.2-202555	FR II	78.9				
J005331.6-403059	FR II	109.2	9.7/1.52	ЮХ	0.1488	$12.400 - 7.998z + 1.102z^2$
J005331.6-402831	FR II	57.9				
J005331.6-403227	FR II	51.3				
J011208.6-403004	FR II	497.2	14.0/1.14	Ю	0.0670	$2.890 - 0.826z$
J011206.3-402737	FR II	159.8				
J011206.9-402729	FR II	337.4				
J020331.5-365043	FR I/II	254.2	12.0/0.52	Ю	0.0368	$1.874 - 0.620z$
J020321.0-365040	FR II	102.1				
J020316.0-365045	FR II	149.1				
J031834.9-602932	FR II	325.4	17.1/1.74	Ю	0.0501	$3.581 - 1.222z$
J031747.1-602908	FR II	174.2				
J031802.1-602713	FR II	352.2				
J052128.1-530124	FR I/II	3216.2	8.9/0.87	Ю	0.0580	$2.866 - 0.775z$
J052120.2-530101	FR I/II	2027.6				
J052126.6-530127	FR I/II	1188.6				

Глава 2. Галактики с признаками слияния

- Прецессия джета вызывает S- и X-морфологию
- 8 галактик с признаками слияния
 - 4 S-форма
 - 3 X-форма
 - 1 парная активные ГРГ
- 2 подтвержденные ГРГ
- 3 на картах Planck

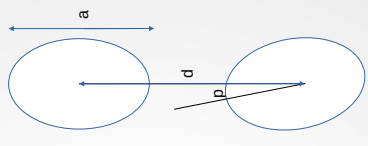


J154901-321747

Д.И. Соловьев, О.В. Верхожанов, Радиогалактики с признаками слияния из списка кандидатов в гигантские радиогалактики по данным обзора NVSS. Письма в АЖ, том 40, No.10, с. 671-680

Глава 1. Поиск кандидатов в ГРГ

- Автоматическая селекция в NVSS
- угловое расстояние между компонентами $4 < \alpha < 6'$
- угловой размер большей оси компонента $\alpha > 1'$
- угол между осями компонент $\rho < 10^\circ$
- плотность спектрального потока F
- СУММЫ КОМПОНЕНТ > 100 мЯн
- Дополнительный визуальный контроль
- Отождествление
- 2MASS, DSS2, CATS
- Найдено 50 кандидатов, из них 16 подтвержденных новых ГРГ



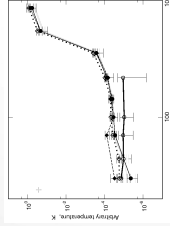
Д.И. Соловьев, О.В. Верхожанов, Поиск и исследование слабых радиогалактик большого углового размера по данным обзора NVSS. Астрон. Ж., т.91, No 8, с.592-602 (2014)

Глава 1. Новые ГРГ

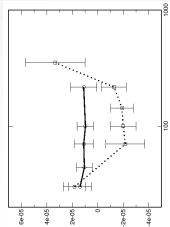
Имя	Тип	$S_{1.4}$ мВт	Резол. "/Мик	X/D	z	Спектр
1	2	3	4	5	6	7
J091251.6-350929	FR II	157.6	8.2/1.38	Ю	0.1887	$-1.349 + 1.562z - 0.451z^2$
J091250.2-350639	FR II	101.0				
J091253.0-351218	FR II	56.6				
J102054.5-483044	FR II	940.5	8.9/0.51	ЮХ	0.0537	$3.034 - 0.943z$
J102051.8-483306	FR II	295.5				
J102057.3-482921	FR II	645.0				
J154901.7-321747	FR I/II	386.6	9.2/1.11		0.1082	$1.302 - 0.006z^2$
J154854.8-321537	FR II	389.3				
J154908.6-321558	FR II	447.3				
J194348.3-541651	FR II	358.1	9.2/0.96	Ю	0.0596	$2.499 - 0.954z$
J194346.8-541083	FR II	60.2				
J194349.8-541438	FR II	288.9				
J221548.5-304113	FR I	6151.8	5.8/0.54	Ю	0.0381	$2.515 + 0.088z - 0.175z^2$
J221539.7-304054	FR II	3215.8				
J221557.3-304133	FR II	2636.0				
J231000.3-282259	FR II	301.0	10.2/2.2	О	0.2280	$1.975 - 0.783z$
J231552.2-282040	FR II	152.4				
J231605.4-282118	FR I	149.2				
J235721.0-475238	FR I	396.9	10.0/0.55	О	0.0436	$1.859 - 0.671z$

Глава 3. Сравнение радиогалактик разных популяций

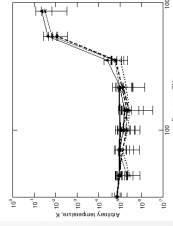
WENSS



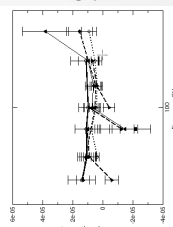
gE и gD



Distant galaxies >500 GHz



Distant galaxies <500 GHz



О.В.Верхожанов, Д.И.Соловьев, О.С.Шафиров, М.Л.Кхабуллина, Е.К.Мажорова, Radio galaxies of different populations on the Planck mission maps. Astron. Rep. 61, 297-298 (2017)

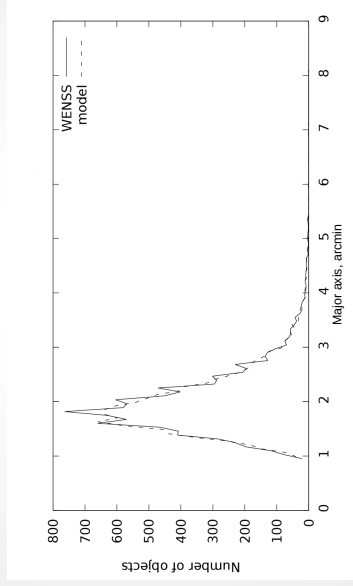
Глава 3. Сравнение радиогалактик разных популяций

- Есть положительный сигнал в мм диапазоне
- Плоский спектр в мм диапазоне
- Сигнал в субмм диапазоне отсутствует
- Значимый С-3 эффект не наблюдается

O.V.Verkhodonov, D.I.Solovoy, O.S.Ulakhovich, M.L.Khabibullina, E.K.Majurova, Radio galaxies of different populations on the Planck mission maps. Astron. Rep. 61, 297-298 (2017)

Глава 4. Модель ГРГ на сфере

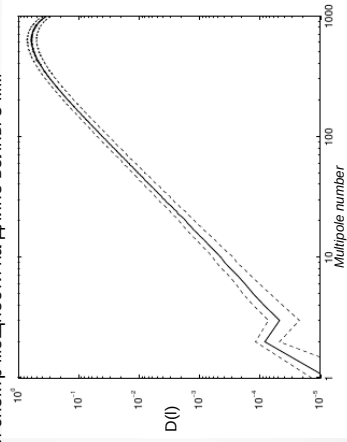
Пример распределения из модели (большая ось a1 двойных источников)



D. I. Solovoy, O. V. Verkhodonov, Modeling of giant radio galaxy distribution over the sphere in the millimeter-wavelength range. Astrophys.Bull. 72, Iss.3, p.217-223 (2017).

Глава 4. Модель ГРГ на сфере

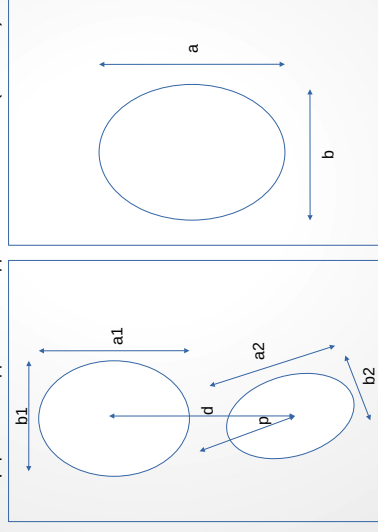
- Угловой спектр мощности на длине волны 3 мм



D. I. Solovoy, O. V. Verkhodonov, Modeling of giant radio galaxy distribution over the sphere in the millimeter-wavelength range. Astrophys.Bull. 72, Iss.3, p.217-223 (2017).

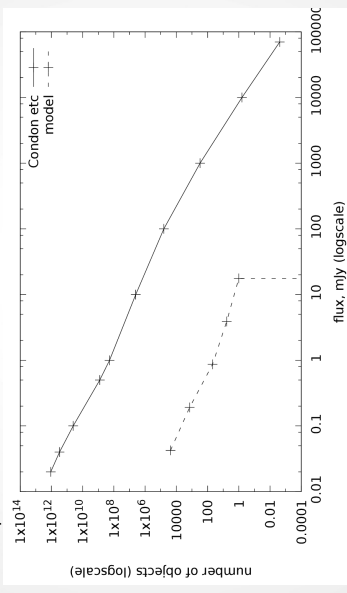
Глава 4. Модель ГРГ на сфере

- Морфология одиночных и двойных объектов (WENSS)



Глава 4. Модель ГРГ на сфере

- Спектральная плотность потока



D. I. Solovoy, O. V. Verkhodonov, Modeling of giant radio galaxy distribution over the sphere in the millimeter-wavelength range. Astrophys.Bull. 72, Iss.3, p.217-223 (2017).

Глава 5. Поиск кандидатов в объекты с эффектом С-3

Эффект Сюняева-Зельдовича (Zeldovich, Sunyaev, 1969)

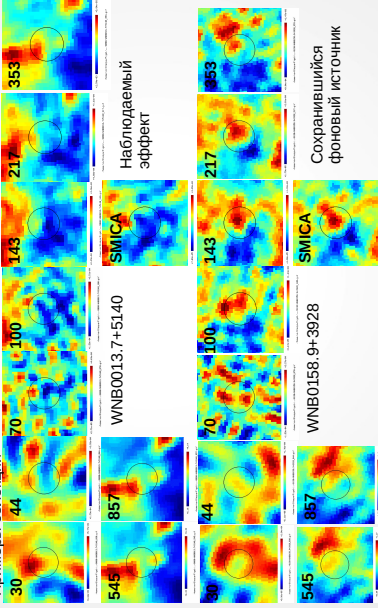
Изменение интенсивности радиоизлучения космического микроволнового фона из-за обратного эффекта Комптона на горячих электронах межзвездного и межгалактического газа

- Источники из низкочастотного обзора WENSS
- Площадки 30'x30' на 9 каналах Planck в окрестности источников обзора WENSS
- Поиск минимумов на 70, 100, 143 ГГц и максимумов на 353 и 545 ГГц
- Визуальный контроль отобранных кандидатов

O.V. Verkhodonov, N.V. Verkhodonova, O.S. Ulakhovich, D.I. Solovoy, M.L. Khabibullina. Search for Candidate Objects with the Sunyaev-Zeldovich Effect in the Radio Source Vicinities. Astrophys. Bull. 73, Iss.1, p.1-21 (2018).

Глава 5. Поиск кандидатов в объекты с эффектом С-3

Примеры селекции



O.V. Verkhodanov, N.V. Verkhodanova, O.S. Ulakovich, D.I. Solov'ov, M.L. Khabibullina. Search for Candidate Objects with Sunyaev-Zeldovich Effect in the Radio Source Vicinities. *Astrophys. Bull.* 73, Iss.1, p.1-21 (2018).

Публикации

- D.I. Solov'ov, O.V. Verkhodanov. A Search for Faint Giant Radio Galaxies in the NVSS Survey. *Astrophys. Bull.*, V.66, No.4, p.416-423 (2011).
- D. I. Solov'ov, O. V. Verkhodanov. Radio and Optical Identification of Giant Radio Galaxies from NVSS Radio Survey. *Astrophys. Bull.* 69, No. 2, p.141-159 (2014).
- Д. И. Соловьев, О. В. Верходанова. Поиск и исследование слабых радиогалактик большого углового размера по данным обзора NVSS. *Астрон. Ж.*, 191, №6, с.592-602 (2014).
- D. I. Solov'ov, O. V. Verkhodanov. Радиогалактики с релятивистскими сплюснутыми спиралями из списка кандидатов в гигантские радиогалактики по данным обзора NVSS. *Письма в ЖФТ*, 2014, том 40, № 10, с. 674-686.
- D. I. Solov'ov, O. V. Verkhodanov, M. P. Malyukov, O. P. Zhelneko, A. P. Majorova. Астрономический РСР-каталог с круглыми спектрами в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах по данным миссии Planck. *Письма в ЖФТ*, v.11, No. 9, pp. 499-515 (2015).
- O.V. Verkhodanov, E.K. Majorova, O.P. Zhelneko, D.I. Solov'ov, M.L. Khabibullina. Источники РСР-каталога с нормальными и плоскими спектрами по данным микроволнового обзора Planck. *АЖ* 83, 616-641 (2016).
- O.V. Verkhodanov, D.I. Solov'ov, O.S. Ulakovich, M.L. Khabibullina, E.K. Majorova. Radio galaxies of different populations on the Planck mission maps. *Astron. Rep.* 61, 297-298 (2017)
- D. I. Solov'ov, O. V. Verkhodanov. Modelling of giant radio galaxy distribution over the sphere in the millimeter-wavelength range. *Astrophys. Bull.* 72, Iss. 3, p.217-223 (2017).
- O.V. Verkhodanov, N.V. Verkhodanova, O.S. Ulakovich, D.I. Solov'ov, M.L. Khabibullina. Search for Candidate Objects with the Sunyaev-Zeldovich Effect in the Radio Source Vicinities. *Astrophys. Bull.* 73, Iss.1, p.1-21 (2018).
- O.V. Verkhodanov, E.K. Majorova, O.P. Zhelneko, D.I. Solov'ov, M.L. Khabibullina, O.S. Ulakovich. Faint Radio Galaxies on the Planck Mission Maps in "Radiation mechanisms of astrophysical objects". [Механизмы излучения космических объектов: классика и современность] Eds.: V. Ginzin et al. (Yerevan: Edit Print, 2017), pp. 367-384.
- Olga Verkhodanov, Dmitri Solov'ov, Elena Majorova, Margarita Khabibullina. To the problem of the secondary CMB anisotropy separation. In Proc. 19th Int. Seminar on High Energy Physics (QUARKS-2016), Eds.: V.A. Anufriyev, V.A. Matveev, V.A. Rubakov, V.Y. Kim, A.A. Antiparin, M.D. Filkevich, EPJ Web of Conferences, V.125, 03019 (2016)

Выносимые на защиту результаты

- **Новый метод обнаружения ГРГ, каталог новых ГРГ и результаты их отождествления.** Метод основан на морфологии радиострелочников и позволяет искать кандидаты в ГРГ с заданными параметрами. Метод был нами успешно использован, позволив найти 16 новых ГРГ, а также нашёл применение в работах других авторов
- **Результаты исследования различных популяций радиогалактик по данным Planck.** Выявлены особенности ГРГ: плоский спектр в миллиметровом и отсутствию сигнала в субмиллиметровом диапазоне; ГРГ заметны на картах микроволнового фона, однако иначе, чем предполагалось из-за эффекта Сюняева-Зельдовича.
- **Новый метод селекции кандидатов в объекты с эффектом Сюняева-Зельдовича.** В результате поиска был обнаружен 391 кандидат в объекты с эффектом Сюняева-Зельдовича на заданной области неба. Метод позволяет находить кандидаты в объекты со слабым эффектом, благодаря чему было показано, что при тщательном анализе полной сферы может быть устранено несоответствие между теоретически предсказанным и наблюдаемым числом объектов с эффектом Сюняева-Зельдовича.
- **Результаты построения и применения новой модели распределения протяженных радиострелочников на полной сфере** и программное обеспечение, реализованное в общедоступном коде. Программное обеспечение может быть использовано в широком спектре задач благодаря гибкой модели параметров.

Глава 5. Поиск кандидатов в объекты с эффектом С-3

- Отобран 381 кандидат.
- Для полной сферы число объектов больше в 10-20 раз.
- Противоречия между ожидаемым числом скоплений галактик с С-3 эффектом и наблюдаемым числом устранены.

Апробация

- Поиск гигантских радиогалактик в обзоре NVSS. XXVII конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" (Пуццано, 2011)
- Радио и оптическое отождествление гигантских галактик из NVSS. Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная» (Вак-2013, Санкт-Петербург, 2013) PLANSK
- "Отождествление радиострелочников РС-каталога с круглыми спектрами на картах космической миссии Planck" Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная» (Вак-2013, Санкт-Петербург, 2013)
- Поиск и исследование гигантских радиогалактик. Конкурс-конференция работ сотрудников САО (2014)
- Радиогалактики с признаками слияния из списка кандидатов в ГРГ по данным обзора NVSS. XXI конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" (Пуццано, 2014)
- Исследование источников РСР-каталога в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах по данным миссии Planck. XXII конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" (Пуццано, 2015)
- Моделирование распределения радиогалактик на сфере. XXXII конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" (Пуццано, 2016)
- Радиогалактики разных популяций в микроволновом диапазоне по данным Planck. XXXIII конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" (Пуццано, 2016)
- Селекция кандидатов в скопления галактик с эффектом Зельдовича-Сюняева по данным радиособоров и карт миссии Planck. "XXIV Всероссийская конференция. Актуальные проблемы внегалактической астрономии" (Пуццано, 2017)

К ВОЗМОЖНЫМ ВОПРОСАМ