

ОТЧЕТ

По программе президиума РАН

«Нестационарные явления в объектах Вселенной»

За 2013 г.

Проект: Исследование магнитных полей СР-звезд в молодых рассеянных звездных скоплениях

Научный руководитель доктор физ.-мат. наук И.И.Романюк

Ответственный исполнитель доктор физ.-мат. наук Ю.В.Глаголевский

1. Продолжены наблюдения на 6м телескопе с целью поиска новых магнитных звезд. Особое внимание было уделено массивным звездам с аномалиями химического состава атмосферы. Некоторая часть из них может иметь магнитное поле. Для поисков новых магнитных звезд мы разработали критерии отбора кандидатов для наблюдений. Они оказались эффективными для холодных пекулярных звезд – более чем у 70% объектов было найдено магнитное поле. Для горячих массивных звезд ситуация оказалась хуже, тем не менее критерии поиска магнитных звезд нами были предложены. Мы обнаружили, что существует корреляция между степенью аномальности линий гелия и величиной магнитного поля у звезд с эффективными температурами от 14000 К до 25000 К. Используя этот критерий мы обнаружили около 10 новых горячих магнитных звезд. В целом поля этих объектов в 1.5 раза больше, чем у более холодных Ар-звезд. Но существует температурная граница (около 25000 К) и у звезд с более высокой температурой магнитные поля практически не обнаруживаются.

2. Начато исследование химически пекулярных звезд в ассоциации Орион OB1. Нами выделено 85 СР-звезд разных типов из 814 объектов, членов ассоциации Орион OB1, представленных в работе Брауна и др (1994). В качестве критерия пекулярности мы выбрали факт наличия звезды в каталоге пекулярных звезд Ренсона и Манфруа (2009). Доля СР-звезд уменьшается с возрастом для разных подгрупп скопления: от 15.1% в самой молодой подгруппе (b) до 7.7% в самой старой (a). Мы нашли, что все 23 обнаруженным нами Am-звезды находятся на удалении от 100 до 300 пк и, видимо, не являются членами ассоциации Орион OB1. Это объекты переднего фона. Нами выделено 59 Вр-звезд, что составляет 13.4% общего количества В-звезд ассоциации. Мы показали, что доля пекулярных В-звезд в ассоциации Орион OB1 в 2 раза превышает долю пекулярных А-звезд. Эта же закономерность справедлива и для объектов поля. В ассоциации насчитывается 22 магнитные звезды, из которых 21 Вр-звезда и только 1 Ар-звезда. 17 из них – это объекты с аномальными линиями гелия. Магнитные звезды имеют ярко выраженную тенденцию концентрироваться в центральной области ассоциации (в поясе Ориона), где сосредоточена большая часть из них. Не обнаружено значимых различий в величине поля магнитных В-звезд ассоциации и Вр звезд поля в целом, хотя заметна тенденция – поля звезд с усиленными линиями гелия (He-rich) больше, чем у звезд с ослабленными линиями гелия (He-wk).

3. Начата работа по созданию нового волоконного спектрографа для 6м телескопа. Подготовлен проект спектрографа (выполнены расчеты оптики, выбрано место для установки, подготовлена документация и т.п.). Реализация указанных в проекте параметров позволит решать на 6м телескопе задачи принципиально нового уровня (например, достижение точности определения лучевых скоростей порядка 1 м/с позволит

обнаруживать экзопланеты, при точности измерений магнитных полей порядка 1 Гс можно будет проводить магнитные исследования очень большого класса разнообразных объектов, ранее недоступных для магнитных измерений).

ПУБЛИКАЦИИ

1) Работы, вышедшие из печати в 2013 г

1.1 Ю.Зверко, И. Илиев, И.И. Романюк, И. Статева, И.Барзова, Д.О. Кудрявцев, Е.А. Семенко. Звезды с различающимися скоростями вращения, полученными по линии CaII 3933 и MgII 4481 А. III. Звезды с $v \sin i$ (CaII) < $v \sin i$ (Mg II) Астрофизический Бюллетень, 2013, т. 68, N.1, 60-79.

1.2 И.И. Романюк, Е.А. Семенко, И.А. Якунин, Д.О. Кудрявцев. Химически пекулярные звезды в ассоциации Орион OB1. 1. Частота встречаемости пространственное распределение и кинематика. Астрофизический Бюллетень, 2013, т. 68, N.3, 318-355.

1.3 Romanyuk, Iosif; Yakunin, Iya. Bp stars in OrionOB1 association Proceedings of IAUS 302, 2013 (2013arXiv1309.4276R)

1.4 И.С. Саванов, И.И. Романюк, Е.А. Семенко, Е.С. Дмитриенко. О присутствии магнитного поля у пульсирующего субкарлика Balloon 090100001 II. Наблюдения 2012 года. Астрономический Журнал, 2013, т.90, N=10, с.819-825.

2) Работы, сданные в печать в 2013 г

2.1 Зверко Ю., Илиев И.Х., Романюк И.И. и др. Звезды с различающимися скоростями вращения, полученными по линии CaII 3933 и MgII 4481 А. IV. HD 8837 – звезда с оболочкой, HD 47649 и HD 183986 – новые двойные. Астрофизический Бюллетень, 2013, т.68, вып. 4 (в печати)

2.2 I.I. Romanyuk. Recent results and current challenges in observations of Ap/Bp stars magnetic field. "Putting Ap stars into Context", Proceed. of international meeting, Moscow, 2013

2.3 Г.Г. Валявин и др. Оптоволоконный спектрограф-поляриметр БТА: базовый вариант Астрофизический Бюллетень, 2014, т.69 (принята в печать)

ДОКЛАДЫ на конференциях

1. Международная конференция "Putting Ap stars into Context: Evolution, Environment and Magnetic Fields", Москва, 3-7 июня 2013

1.1. Романюк И.И., Recent results and current challenges in observations of Ap/Bp stars magnetic field. - приглашенный доклад

1.2. Валявин Г.Г. Magnetic fields of single white dwarfs - приглашенный доклад

2. Симпозиум IAU 302 "Magnetic Fields Throughout Stellar Evolution" Франция, Биарриц 26-30 августа 2013

2.1. Semenko E.A. Chemical composition of three cool magnetic stars, -устный доклад

2.2. I.I. Romanyuk, I.A. Yakunin Bp stars in Orion OB1 association - устный доклад

Тема проекта: Исследование ядер галактик на различных масштабах методами панорамной спектроскопии

Научный руководитель доктор физ.-мат. наук В.Л.Афанасьев

Ответственный исполнитель канд. физ.-мат. наук С.Н.Додонов

1. Выполнен анализ наблюдений в линии 21 см на телескопе Westerbork Synthesis Radio Telescope уникальной галактики Объект Хога, который детально исследовался на БТА методами 2D-спектроскопии. Показано, что нейтральный водород распределен в кольце, наиболее плотная часть которого совпадает с оптическим кольцом из относительно молодых звезд, окружающих центральную эллиптическую галактику

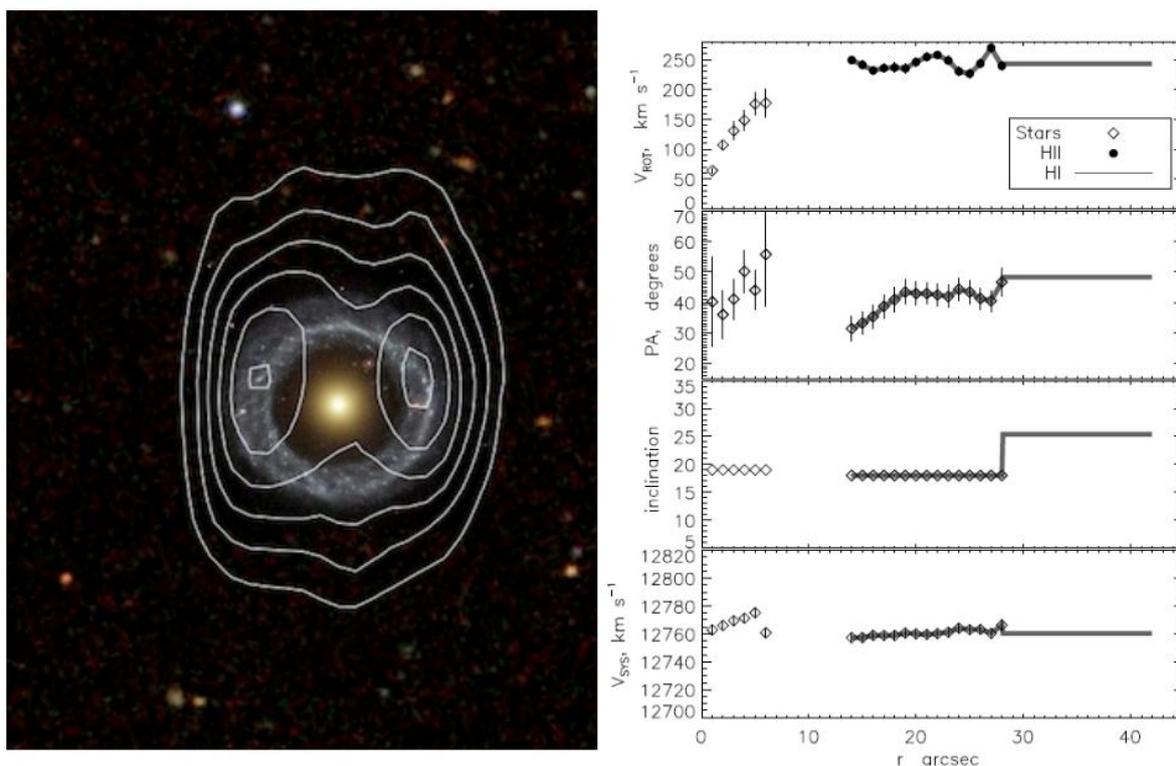


Рис. 1 Слева — изображение Объекта Хога (комбинация снимков SDSS и HST), контуры показывают распределение плотности нейтрального водорода. Справа — радиальные изменения параметров модели кругового вращения в нейтральном и ионизованном газе: кривая вращения, позиционный угол, угол наклона, системная скорость

При этом внешний диаметр кольца HI в два раза превышает оптический размер системы. Кинематика HI совпадает с наблюдаемой в ионизованном газе, а за пределами оптического диаметра имеет место изгиб газового кольца. Результаты наблюдений подтверждают ранее сделанный нами вывод о том, что галактика последние 1-2 млрд. лет не испытывала заметного взаимодействия с окружением. В тоже время, обнаруженные на расстояниях 0.3 и 1 Мпк от галактики два облака нейтрального водорода с близкими к ней системными скоростями возможно являются остатками реликтового газового филамента, аккреция из которого привела ранее к формированию уникальной кольцевой структуры.

2. С помощью оптической длиннощелевой спектроскопии на 6-м телескопе САО РАН изучены распределения лучевых скоростей и дисперсии лучевых скоростей звездного населения в выборке из пяти эллиптических галактик с ярким рентгеновским гало. Используя эти данные были измерены динамические массы галактик (скорости кругового вращения) с помощью нового метода, разработанного в ИКИ РАН, который позволяет избавиться от неопределенности, вызванной априорными предположениями о профиле объемной плотности звезд и характере анизотропии их орбит. Полученные оценки хорошо согласуются с данными распределения рентгеновской светимости. Таким образом, на изучаемых радиальных масштабах можно использовать предположения о гидростатическом равновесии горячего газа в гравитационном потенциале галактик.

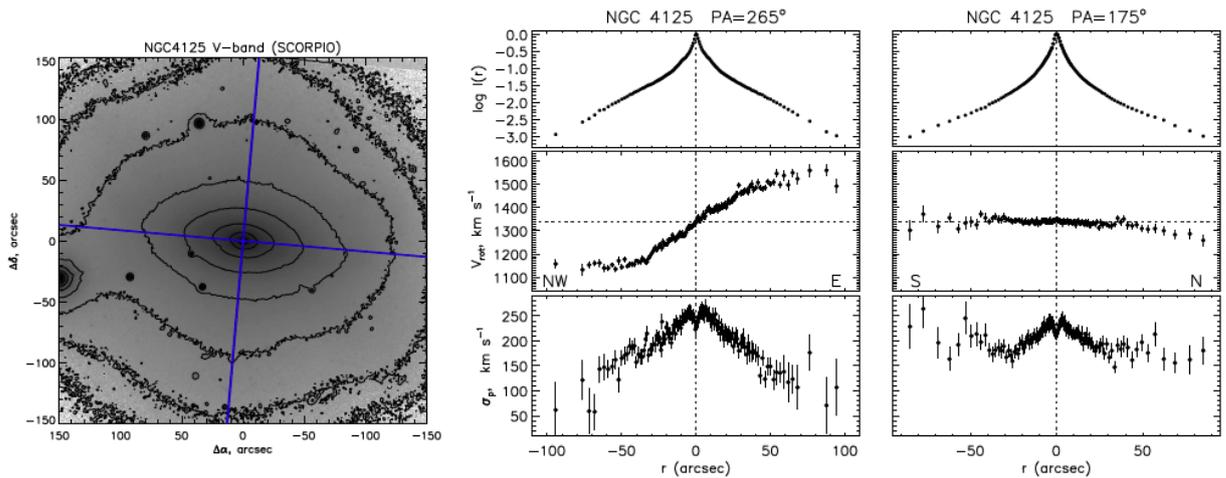


Рис. 2: слева — изображение эллиптической галактики NGC 4125, полученное на 6-м телескопе. Справа — результаты измерения распределения поверхностной яркости, лучевой скорости и дисперсии скоростей звезд вдоль большой и малой осей галактики (положение щелей отмечено на рисунке).

3. На БТА изучены свойства звездных и газовых околоядерных дисков в галактиках NGC4124 и IC719; Показано, в галактике IC719 наблюдается протяженный газовый диск, вращающийся в противоположную, по сравнению с звездным диском сторону.

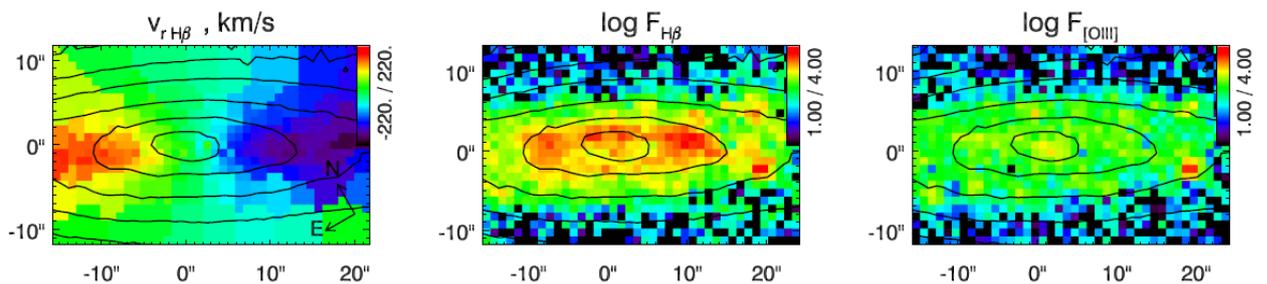


Рис.3. Результат анализа эмиссионных линий в околоядерном диске галактики IC719 по данным 2D-спектроскопии

Анализ состояния газа по ионизационным диаграммам, показывает, что газ в диске имеет содержание кислорода в два раза солнечного. Сделан вывод, что протяженный газовый диск сформирован в результате аккреции газа из окружения галактики.

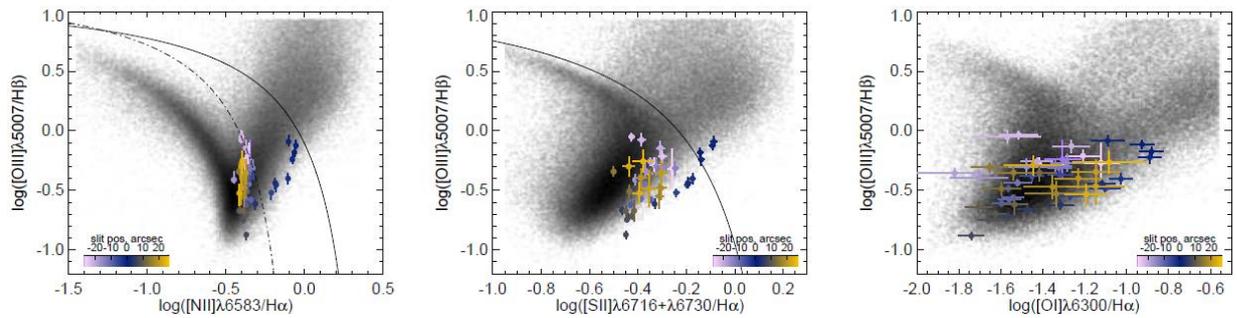


Рис.4. Ионизационные диаграммы в диске IC719

3. Завершен спектро-поляризметрический мониторинг сейфертовской галактики Мкнб со спектрографом SCORPIO-2 на БТА в 2010-2013 гг. Показано, что поляризованный континуум излучается из области размером ~ 0.01 пк, что соответствует задержке переменности поляризованного континуум относительно континуума на 5100 Å 2 дня.

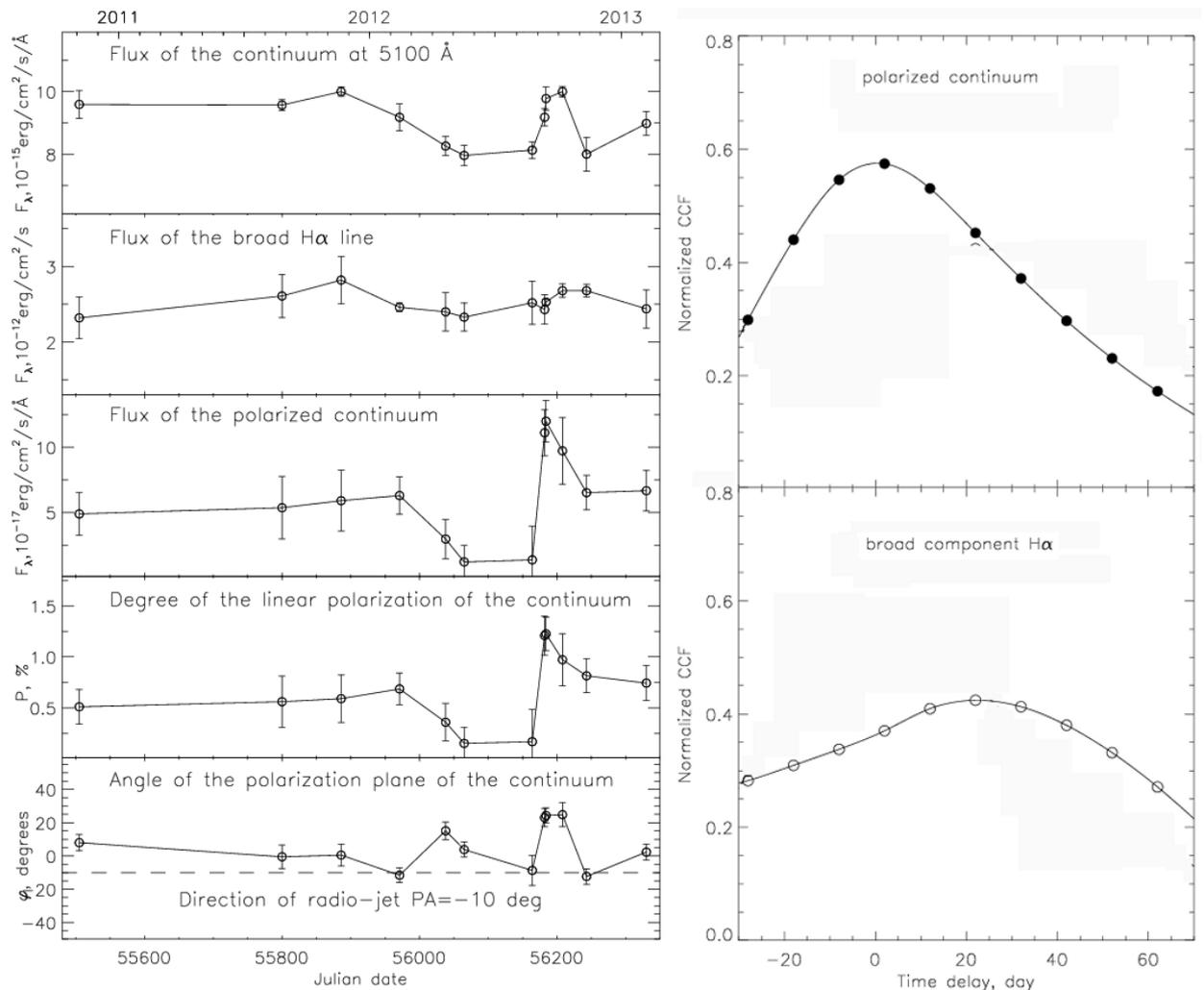


Рис.5 Переменность параметров поляризованного излучения в спектре Мкн 6.

Оценка размера BLR по реверберации дает размер ~ 0.1 пк (задержка 20 дней). Переменность поляризации в континууме Мкнб обусловлена переменностью джета, а наблюдаемая поляризация 0.4-1.2% есть результат векторного сложения поляризации аккреционного диска и джета.

4. Результаты фотометрических наблюдений в 16 среднеполосных фильтрах на 0.6-м телескопе Xilong Station (China) поля 0940+50, размером 0.81 кв. градуса и фотометрических наблюдений в 11 фильтрах на 2.6-м телескопе БАО (Армения), центральной части поля 0940+50, размером 0.05 кв. градуса и спектральных наблюдений на 6-м телескопе CAO РАН дополнены данными обзора SDSS и данными инфракрасной орбитальной обсерватории WISE. Это позволило уточнить селекционные эффекты при отборе AGN и создать полную выборку AGN: в поле 0940+50 до $R=21.5$, в центральной части поля 0940+50 до $R=24$.

Используя спектральные данные SDSS о 10000 квазаров в диапазоне красных смещений $0 < Z < 5.5$ и 1000 звезд мы провели исследование зависимости цветовых избытков квазаров в инфракрасном диапазоне $[3.6]-[4.6]$ и $[4.6]-[12]$ микрон от красного смещения. Для квазаров 1 типа нами получены цветовые критерии ($[3.6]-[4.6] > 0.4$) отбора объектов среди звезд до $Z \leq 3$, (Рис. 6) . Полнота выборки AGN 1 типа превосходит 90%. Следует отметить, что диапазон красных смещений $2. < Z < 3$. особенно труден для селекции квазаров, т.к. цветовые избытки объектов практически не отличаются от звездных и традиционная техника определения фотометрических красных смещений плохо применима к квазарам.

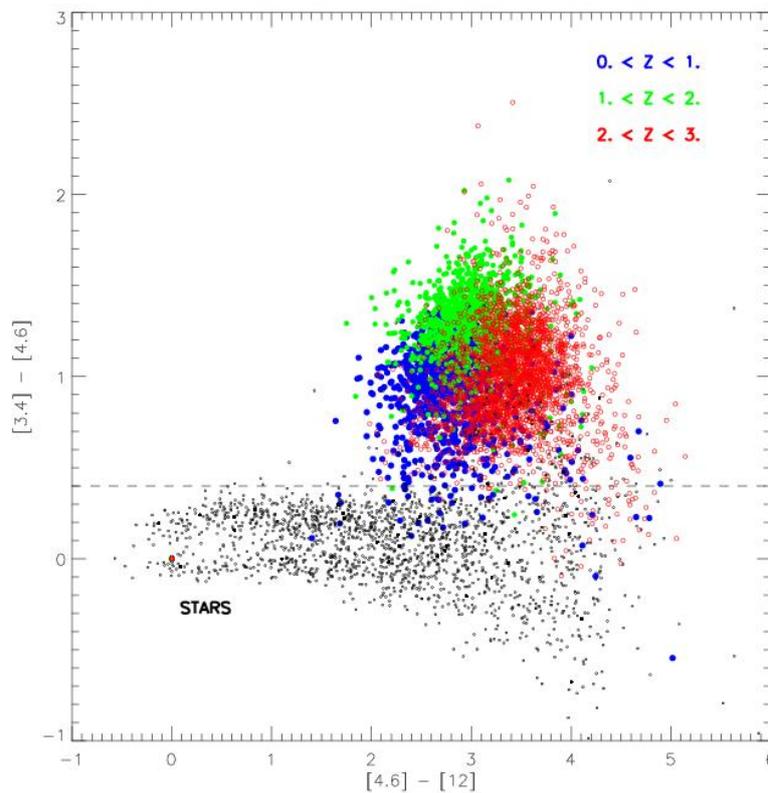


Рис. 6 Инфракрасные данные 10000 квазаров в диапазоне красных смещений $0 < Z < 3.0$ и 1000 звезд спектральных классов O – T из обзора SDSS по данным WISE.

Применив цветовой критерий отбора в инфракрасном диапазоне к полученным нами данным поля 0940+50 мы создали выборку квазаров 1 типа. Всего выборка содержит более 200 объектов, из которых около половины имеют $Z > 2.2$. Анализ полученной

выборки AGN позволил нам сделать оценки кумулятивной поверхностной плотности AGN (Рис. 2), эволюции функции светимости AGN, пространственного распределения AGN среди галактик поля.

1. Работы, вышедшие из печати в 2013 г

- 1.1 Katkov, Ivan Yu.; Sil'chenko, Olga K.; **Afanasiev**, Victor L., Lenticular Galaxy IC 719: Current Building of the Counterrotating Large-scale Stellar Disk, 2013, The Astrophysical Journal, Volume 769, Issue 2, article id. 105, 10
- 1.2 Zasov, A. V.; Sil'chenko, O. K.; Katkov, I. Yu.; **Dodonov**, S. N., Kinematics and stellar population of the lenticular galaxy NGC 4124, 2013, Astronomy Letters, Volume 39, Issue 1, pp.17-25
- 1.3 Brosch, Noah; Finkelman, Ido; Oosterloo, Tom; Jozsa, Gyula; **Moiseev**, Alexei, H I in HO: Hoag's Object revisited, 2013, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 435, Issue 1, p.475-481

2. Работы, сданные в печать в 2013 г

- 2.1 M. A. Ilyina, O. K. Sil'chenko, V. L. **Afanasiev**, Nature of starforming rings in S0 galaxies, (Accepted for publication in MNRAS)
- 2.2 Ivan Yu. Katkov, Olga K. Sil'chenko, Victor L. **Afanasiev**, Decoupled gas kinematics in isolated S0 galaxies, (Accepted for publication in MNRAS)
- 2.3 Stark, Daniel P.; Auger, Matthew; Belokurov, Vasily; Jones, Tucker; Robertson, Brant E.; Ellis, Richard S.; Sand, David J.; **Moiseev**, Alexei; Eagle, Will; Myers, Thomas, The CASSOWARY spectroscopy survey: A new sample of gravitationally lensed galaxies in SDSS (submitted to MNRAS), arXiv:1302.2663
- 2.4 **Shapovalova**, A. I.; Popovic, L. C.; **Burenkov**, A. N.; Chavushyan, V. H.; Ilic, D.; Kollatschny, W.; Kovacevic, A.; Bochkarev, N. G.; Valdes, J. R.; Torrealba, J.; and 7 coauthors, Spectral optical monitoring of a double-peaked emission line AGN Arp 102B: I. Variability of spectral lines and continuum (Accepted for publication in A&A), rXiv:1308.2407
- 2.5 V.L. **Afanasiev**, L.C. Popovic, A.I. **Shapovalova**, A. N. Borisov, D. Ilic, Variability in Spectropolarimetric properties of Sy 1.5 galaxy Mrk 6, (submitted to MNRAS)
- 2.6 N. Lyskova, E. Churazov, A. Moiseev, O. Silchenko, I. Zhuravleva, "Stellar kinematics of X - ray bright massive elliptical galaxies", Monthly Notices of the Royal Astronomy Society, submitted

Доклады на конференциях:

- 1) A. Moiseev, A. Tikhonov, A. Klypin, "What controls the ionized gas turbulent motions in dwarf galaxies?", the annual meeting German Astronomical Society, 24 – 27 сентября, Тюбинген, Германия
- 2) A. Moiseev, "Polar structures in late-type galaxies", conference "Multi-spin galaxies", 30 сентября-3 октября, Неаполь, Италия
- 3) A. Moiseev, O.Egorov, K. Smirnova, "Polar structures in late-type galaxies", conference "Multi-spin galaxies", 30 сентября-3 октября, Неаполь, Италия
- 4) K. Smirnova, A. Moiseev, "Structural properties of polar ring galaxy candidates", conference "Multi-spin galaxies", 30 сентября-3 октября, Неаполь, Италия
- 5) Афанасьев В.Л. Переменность спектрополяриметрических свойств сейфертовской галактики Мкп 6, Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра (HEA2013), Москва, 22-26 дек. 2013

Тема проекта: Спектральные и фотометрические исследования нестационарных внегалактических объектов и звезд Галактики.

Научный руководитель канд. физ.-мат. наук В.В.Власюк

Ответственный исполнитель канд. физ.-мат. наук Н.В.Борисов

В рамках выполнения настоящего проекта продолжены совместные наблюдения в оптическом и радио диапазонах активных ядер галактик с целью обнаружения быстрой (IDV) переменности потока излучения и установления корреляции вариаций потока от источников в указанных диапазонах длин волн. Синхронные наблюдения выборки из 10 объектов проводились на 1-метровом рефлекторе Цейсс-1000 с штатным ПЗС-фотометром в основном в R фильтре и на 22-метровом радиотелескопе НИИ КраО (Украина) на частотах 22 и 36 ГГц.

Для части объектов получены данные в полосах B, V, R, I .

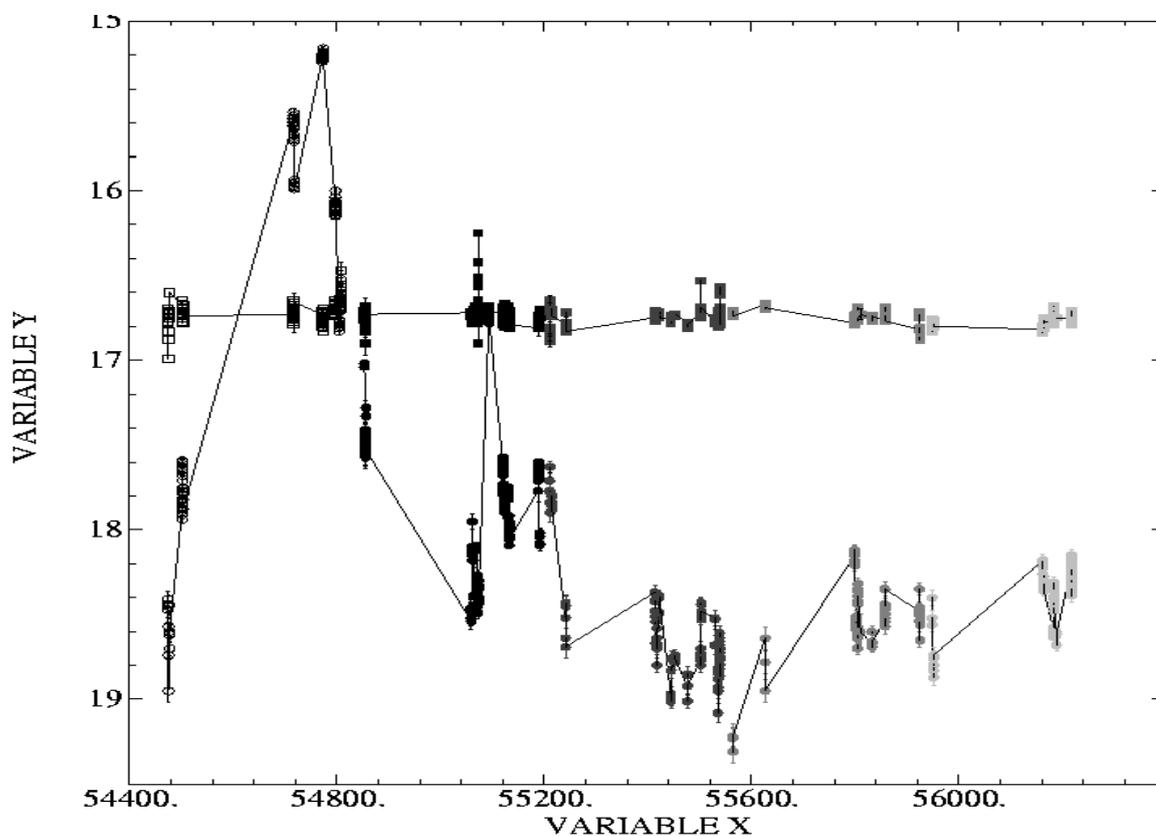


Рис.7. Результаты мониторинга радиоисточника 0235+14 в полосе R в сравнении с блеском звезды сравнения на интервале 2008-2012 гг.

Для одного из исследуемых источников – 0235+14 – построена кривая блеска в полосе R на протяжении пяти лет – с 2008 по 2012 год (показана на рис.7). Наряду с сравнительно быстрой переменностью на масштабах недель хорошо видны крупномасштабные детали с амплитудой до 4 зв.вел. на масштабах порядка года.

Совместный анализ данных, полученных в оптическом и радиодиапазонах, продолжается.

Проведены спектральные и поляриметрические наблюдения на 6м телескопе БТА новых кандидатов в магнитные катаклизмические переменные – IPHAS 0528 и 1RXS J152506.9-032647. Наблюдения проводились с использованием фокального редулятора светосилы первичного фокуса БТА SCORPIO. На 1м телескопе Цейсс-1000 получены *BVR* – фотометрические наблюдения. Наблюдения обработаны, полученные данные анализируются.

Начаты спектральные наблюдения карликовых Новых типа WZ Sge находящихся в спокойном состоянии с целью определения их фундаментальных параметров. Для этого предполагается проведение совместного анализа полученных данных наблюдений и синтетических спектров белых карликов, рассчитанных методом моделей атмосфер.

Проведены спектральные наблюдения карликовой Новой типа WZ Sge SBS 1108+57 в фазе послевспышечной релаксации (см. рис. 8). В целом наблюдаемые спектры данного объекта в момент вспышки из исследования и в фазах послевспышечной релаксации из данной работы соответствуют спектрам карликовых Новых с дисковой аккрецией. Однако аномально высокая интенсивность линий HeI и короткий орбитальный период позволяют однозначно отнести систему к классу AM Cvn. Показано что, наличие в веществе аккреционного диска более чем восьмикратный избыток гелия относительно его солнечного содержания, свидетельствует об аккреции вещества, ранее переработанного в ядерных реакциях в недрах вторичной компоненты. Полученные нами оценки содержания гелия в аккреционном диске и радиуса полости Роша главной компоненты говорят, что донором в системе может быть только проэволюционировавший объект значительной массы, т.е. не звезда Главной последовательности, а sdB-субкарлик. Таким образом, SBS 1108+57 является двойным вырожденным объектом с дисковой аккрецией.

Выполнен спектральный анализ физического состояния и эволюции катаклизмической переменной GSC 02197-00886 из класса карликовых Новых типа WZ Sge. Наборы спектров системы для полного орбитального периода в момент вспышки 8 мая 2010 г., фазе поздней релаксации и низком состоянии получены на БТА в 2010-2012 гг. С использованием абсорбционных и эмиссионных линий HI, HeI и FeII получены наборы лучевых скоростей системы для всех ночей наблюдений и карты доплеровской томографии для ее низких состояний.

Найдено, что во вспышке спектры объекта формировались в оптически толстом аккреционном диске с эффективной температурой $T_{\text{eff}} = 45000$ К и более горячем пограничном слое. В процессе релаксации системы диск последовательно становился оптически тонким в континууме и все более сильных эмиссионных линиях. В низком состоянии (июль 2012 г.) в непрерывном спектре доминировало излучение остывающего белого карлика с $T_{\text{eff}} = 18000$ К, а эмиссионные линии, формировались под действием эффектов флуоресценции рентгеновского излучения источника 1RXS J213807.1+261958

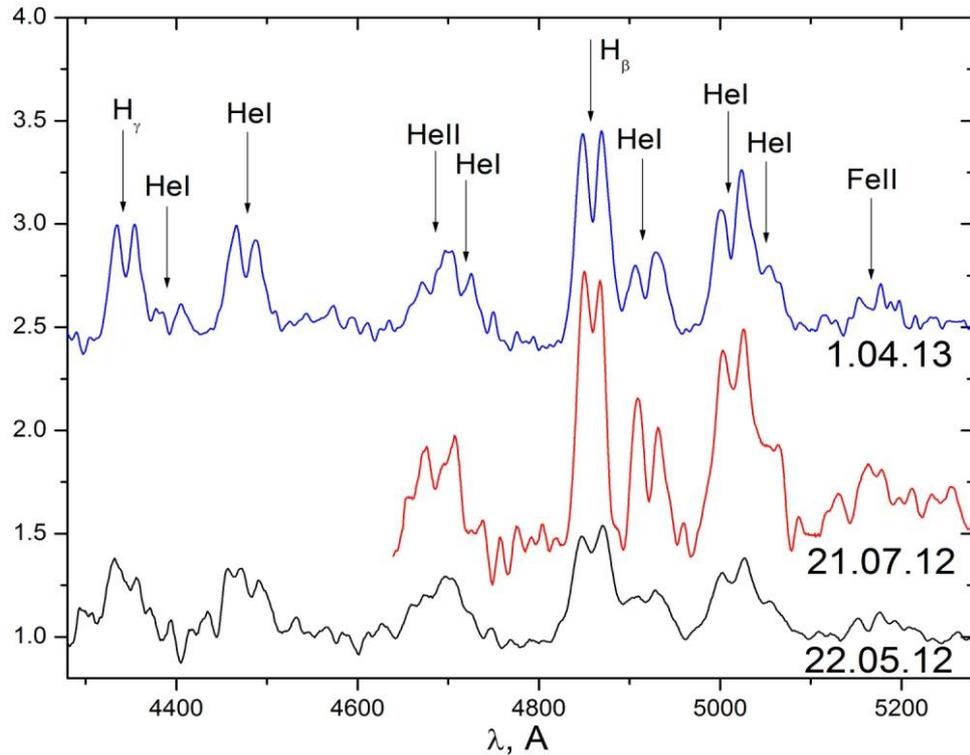


Рис. 8 Нормированные спектры *SBS 1108+57*, полученные в 2012 — 2013гг.

на поверхности холодной звезды. В работе предложен и реализован метод определения параметров белого карлика на основе численного моделирования спектров системы в низком состоянии и их сравнения с наблюдаемыми. Показано, что в процессе релаксации с августа 2010 г. до июля 2012 г. эффективная температура белого карлика понизилась на $T_{\text{eff}} = 6000\text{K}$. Получен набор параметров GSC 02197-00886 и показано их хорошее соответствие средним параметрам карликовых Новых типа WZ Sge, представленным в литературе.

Начаты исследования лучистого взаимодействия компонент в полярах. Исследования осуществляются на основе расчетов эффектов лучистого переноса в спектрах методами моделей атмосфер и их сравнительного анализа с результатами спектральных наблюдений исследуемых объектов.

Реализована методика моделирования циклотронных гармоник наблюдаемых в спектрах полярных звезд. Работа предполагает о совместный анализ спектральных данных новых полярных звезд и рассчитанных циклотронных гармоник для определения величины магнитного поля и эффективной температуры в области циклотронного излучения. Выполнены первые расчеты моделирования спектров циклотронных гармоник для нового полярной звезды USNO-B1.0 1340-00183028 (см. рис.9).

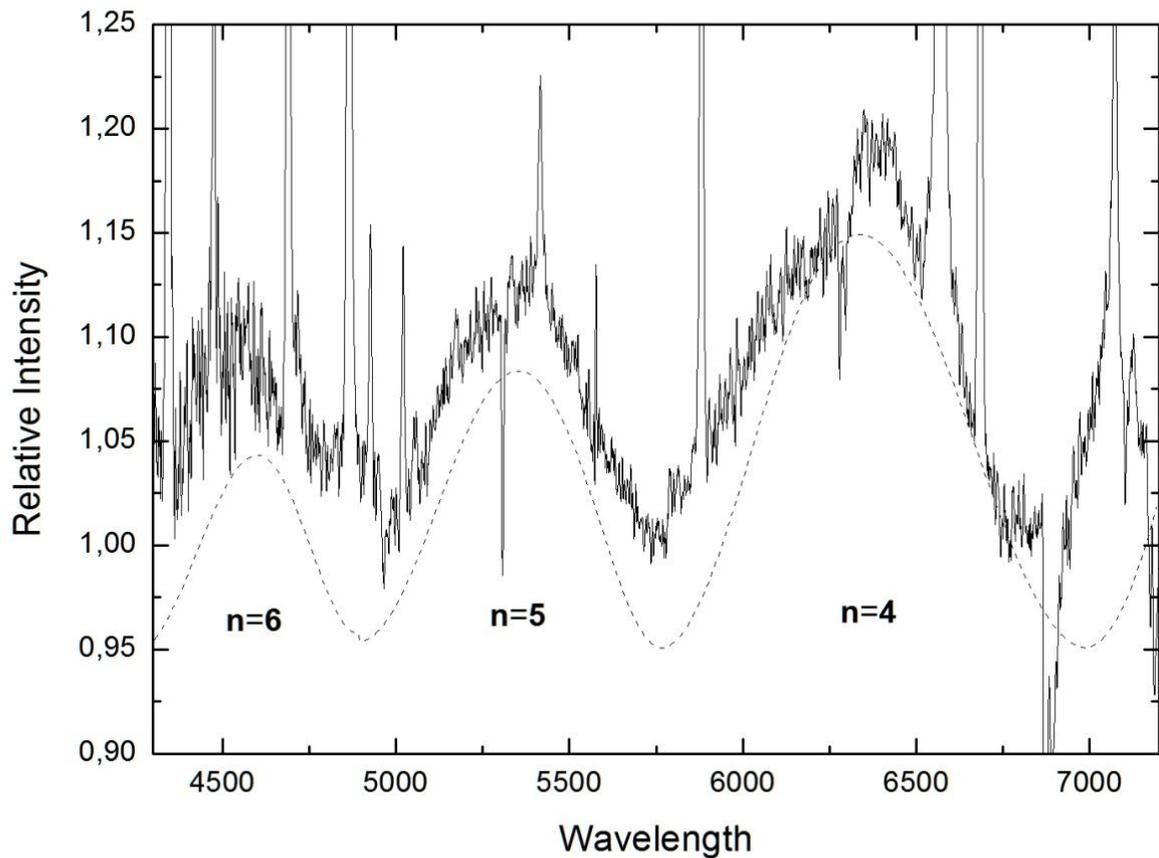


Рис. 9. Сплошная линия — наблюдаемый спектр нового поляра USNO-B1.0 1340-00183028, пунктирная линия — результат моделирования гармоник циклотронного излучения с параметрами модели излучающей области $B = 31\text{—}38$ МГц (величина магнитного поля), $T = 20$ Кэв (температура), $\theta = 75\text{—}90^\circ$ (наклон оси магнитного диполя).

Реализована методика Стокс-картирования области циклотронного излучения на поверхности белого карлика в полярах. Данное картирование излучающей области на поверхности белого карлика осуществляется в рамках интерпретации кривых изменения поляризованного излучения (кривых изменения I , Q , U и V — параметров Стокса) полярных. В настоящее время методика тестируется.

Публикации

1. Габдеев М., Борисов Н., Катышева Н., Шугаров С., "Фотометрические и спектральные исследования поляра USNO-B1.0 1340-00183028.", Известия КрАО, 2013
2. Golysheva, P.; Katysheva, N.; Shugarov, S.; Borisov N.; Gabdeev, M.; Multicolor Photometry of Unusual Dwarf Novae HS 0218+3229; Central European Astrophysical Bulletin, 345-354

3. В.В.Шиманский, А.А.Митрофанова, Н.В. Борисов, М.М.Габдеев, "Анализ наблюдений карликовой Новой 2010 г. в Пегасе.", Известия КрАО, 109,16, 2013
4. Chochol, D.; Shugarov, S.Y.; Volkov, I.M.; Goranskij, V.P.; Metlova, N.V.; Barsukova, E.A.; Gabdeev, M.M., "The detection of a 3.486-hour photometric period in the classical nova V2468 Cyg", Information Bulletin on Variables Stars, 6045,1,2013
5. V.V. Shimansky, N.V. Borisov, I.F. Bikmaev, N.A. Sakhbullin, N.N. Shimanskaya, O.I. Spiridonova, E.N. Irtuganov; PG 1316+678: A young pre-cataclysmic binary with weak reflection effects, ; A. Zh., 2013, Vol. 90, No. 3, pp. 242–252.
6. V.V. Sokolov, A. J. Castro-Tirado, A.S. Moskvitin, E.A. Barsukova, V.N. Komarova, N.V. Borisov, A.F. Valeev, T.N. Sokolova and V.P.Goranskij; GRB 130427A:: BTA spectroscopic observations on May 10/11.GRB Coordinates Network, Circular Service, 14669, 1, 2013
7. G lushkova E.V., Zabolotskikh M.V., Kopusov S.E., Spiridonova O.I., Leonova S.I., Vlasyuk V.V., Rastorguev A.S.; Photometric study of open clusters Berkeley 96, Berkeley 97, King 12, NGC 7261, NGC 7296 and NGC 7788; MNRAS, V. 429, p.1102-1112
8. D. G. Yakin, V. F. Suleimanov, V. V. Vlasyuk, O. I. Spiridonova, НВНА 4705-03: A new cataclysmic variable, Astronomy Letters, January 2013, Volume 39, Issue 1, pp. 38-53.
9. Митрофанова А.А., Борисов Н.В., Шиманский В.В., "Спектральный анализ эволюции карликовой Новой GSC 02197-00886", Астрофизический бюллетень, принята к печати

Тема проекта: Свойства радио и оптического излучения активных ядер галактик

Научный руководитель и ответственный исполнитель доктор физ.-мат. наук М.Г.Мингалиев

В 2013 г. на радиотелескопе РАТАН-600 проведены наблюдения более 200 представителей редкого подкласса активных ядер галактик – объектов типа BL Lacertae (BLO). Использовались два комплекса приемников космического излучения - криорадиометры диапазона 6.2, 3.9, 2.7 и 1.38 см и неохлаждаемый комплекс «ЭРИДАН» (1.38, 2.7 и 6.2 см). Наблюдения проведены в рамках наблюдательной программы «Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae». В результате получены новые мгновенные широкодиапазонные радиоспектры объектов, проанализированы их спектральные свойства и радио переменность. Высокая чувствительность радиотелескопа РАТАН-600 и возможность массового получения мгновенных радиоспектров позволили использовать полученные результаты в комплексных исследованиях. Полученные результаты дали экспериментальную информацию - радиосветимости, плотности потоков, радиоспектры (Рис. 10), для массовых списков BLOs. Исследуемая выборка содержит приблизительно одинаковое число трех представителей BLO: LBL, IBL и HBL. HBLs: high-energy peak, LBLs: low-energy peak, IBLs: intermediate - в зависимости от пика синхротронной компоненты в спектральном распределении энергии. Большинство источников выборки (Рисунок 10) имеют красные смещения $z < 0.5$ (красные смещения взяты из *Roma-BZCAT*, Massaro et

al. 2009). Красные смещения не измерены для 18 объектов. Основные результаты, полученные в результате наблюдений:

- Все источники имеют плоские радиоспектры в низкочастотном интервале LBL (Рисунок 11 и 14а); на высоких частотах формы спектра меняются от крутых до растущих; часть объектов имеют спектр с максимумом в гигагерцовом диапазоне – преимущественно.
- На Рисунке 12 представлены гистограммы распределения объектов по плотностям потоков (полученных на ПАТАН-600). Средняя плотность потока рассчитана только для $S/N > 4$ предела обнаружения. Очевидно, что объекты чрезвычайно слабы, особенно HBLs. Ни у одного HBL в образце нет средней плотности потока, достигающей 1 Ян на любой частоте ПАТАН-600. Этот факт подчеркивает исключительную природу выборки. Такие слабые объекты редко предназначаются для наблюдательных компаний, для них нет и систематически определенных радиоспектров.
- В противоположность общепринятому мнению, что BLOs – экстремально переменные объекты, для половины объектов индекс переменности менее 20% (на масштабах нескольких месяцев). Только для отдельных источников спектральная плотность потока меняется на десятки процентов. В выборке обнаружено только 17 объектов с индексом переменности $Var_S \geq 25\%$ на частотах 11.2 и 21.7 ГГц. В основном, это LBL/IBL объекты, за исключением двух представителей HBL (*MS0317.0+1834* и *IES0927+500*). Для *IES0927+500* на 21.7 ГГц получено одно значение плотности потока (с отношением сигнал-шум $S/N > 3$), на других частотах индекс переменности - порядка 50%. Наблюдения всех объектов выборки неоднородны. Из-за ограниченного наблюдательного времени, погодных условий и состояния приемной аппаратуры мы не имеем полных наборов данных для объектов на всех частотах. Наибольшие экспериментальные ряды данных получены для ярких представителей LBL/IBL. В выборке выделено только 7 источников, которые демонстрируют экстремальную переменность радиоизлучения – десятки процентов (LBLs: 0022+06, 0050-09, 0238+16, 0811+01, 0825+03, 1751+09 и HBL: 0319+18).
- Подкласс LBLs имеет радиосветимость (5 GHz) на порядок большую, чем HBLs. Подтверждается антикорреляция “пиковая частота синхротронной компоненты $v_{\text{synch.peak}}$ – радиосветимость” [1] (Рисунок 13).
- Соотношение между изменением спектрального индекса $\Delta\alpha$ и индексом переменности Var_S (7.7 и 21.7 ГГц) представлено на Рисунке 14b. Для объектов с переменностью плотности потока более 25% характерно и значительное изменение спектрального индекса $\Delta\alpha$ (наклона радиоспектра) – от 0.5 до 2 (верхняя правая часть рисунка 14b). Существуют и объекты, значительные изменения спектрального индекса которых не сопровождается большой переменностью в радиодиапазоне ($Var_S < 25\%$, нижняя правая часть Рисунка 14b). Верхний левый угол Рисунка 14b практически не заполнен - в выборке нет объектов с вариациями радиоизлучения $> 25\%$, при которых спектральный индекс не меняется, то есть когда спектр изменяется параллельно на всех частотах.

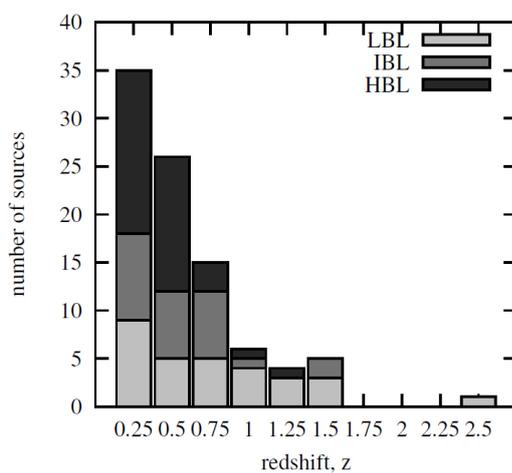


Рис. 10 – распределение красных смещений для объектов BLO исследуемой выборки.

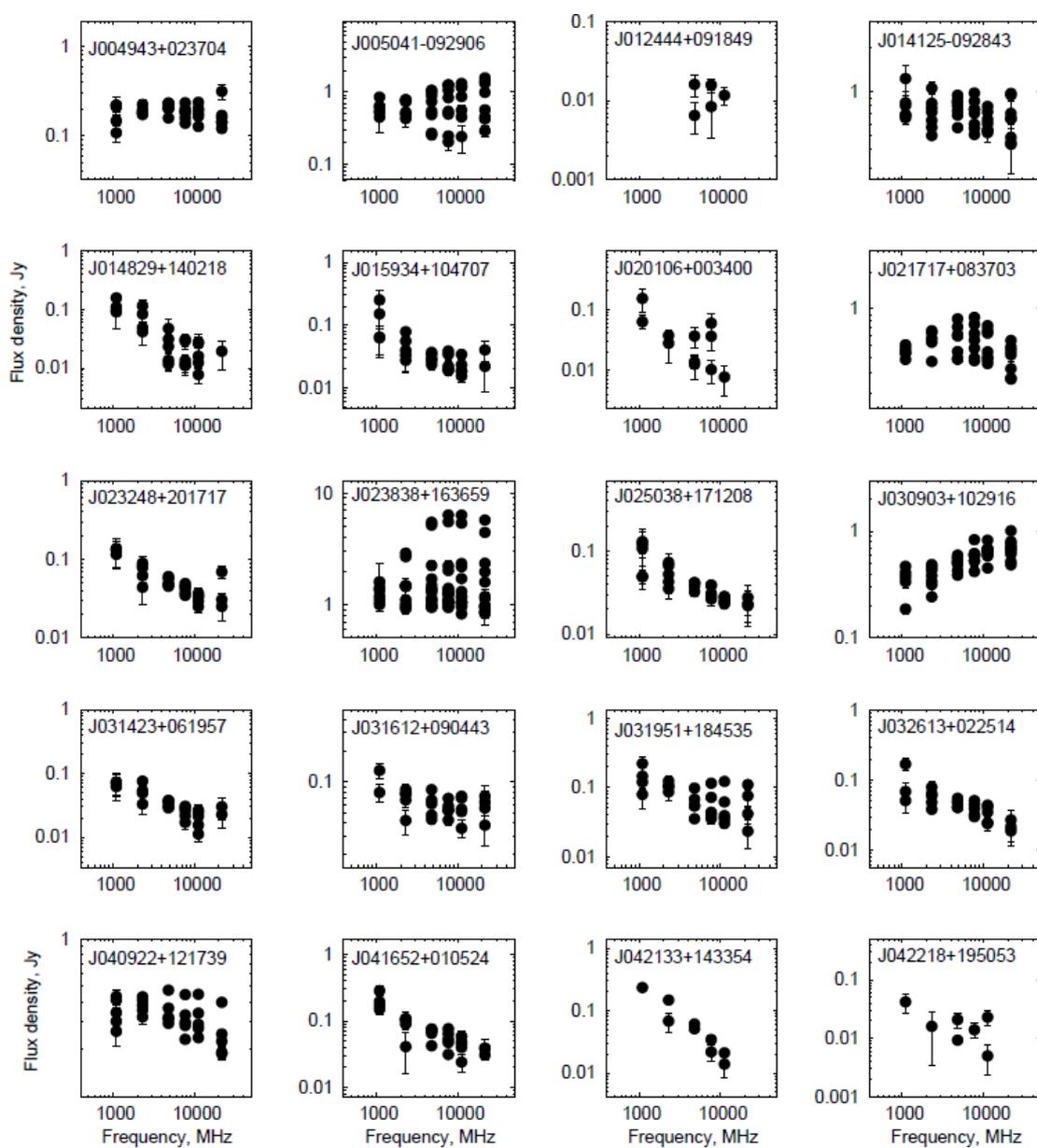


Рис.11 – Мгновенные широкодиапазонные радиоспектры BLOs, полученные на PATAH-600 (2006-2013 гг.).

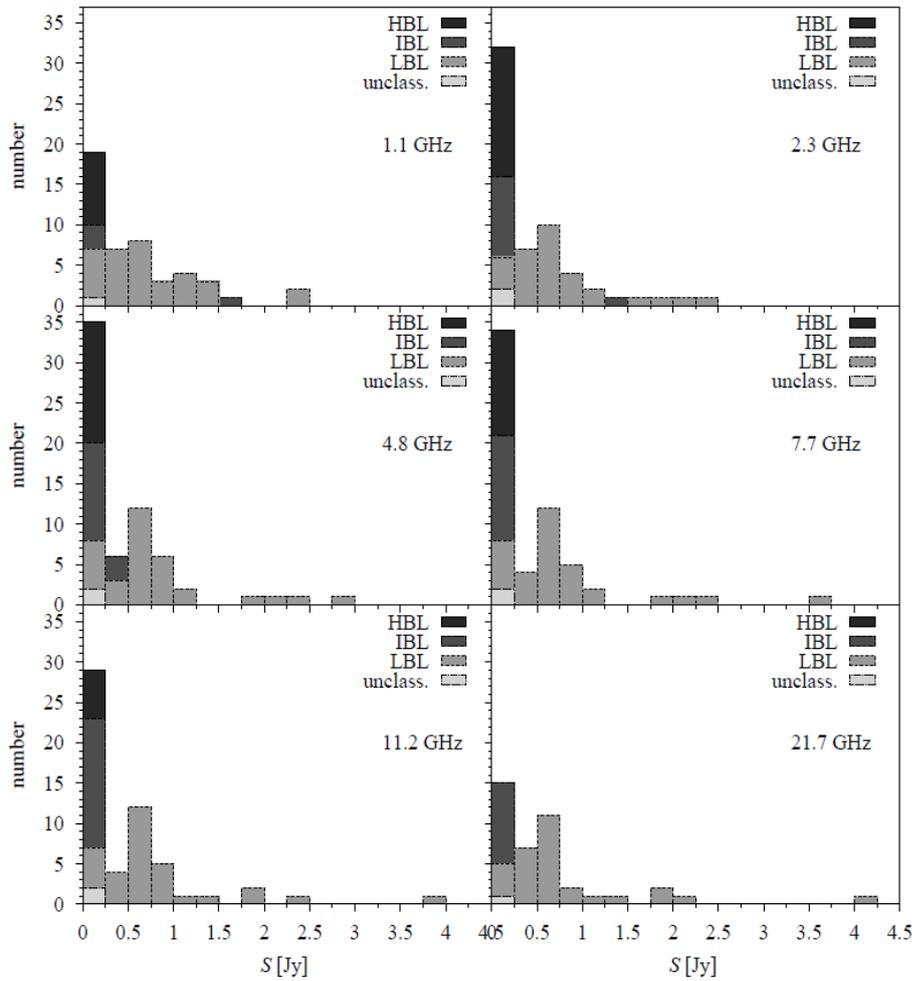


Рис. 12 - Средние значения плотностей потоков для выборки BLO (только для измерений с отношением сигнал-шум $S/N > 4$), полученные на ПАТАН-600. В распределении выделены три подкласса BLOs: LBL, IBL и HBL.

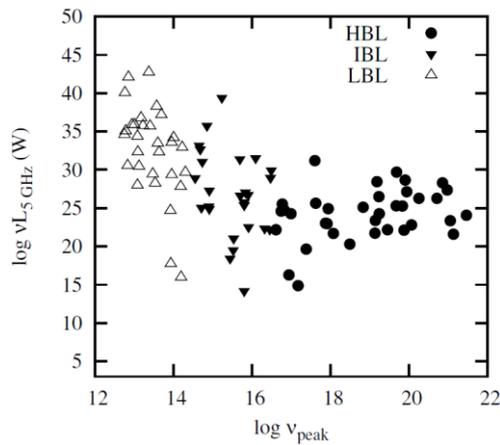


Рис.13 – Соотношение между радиосветимостью (5 ГГц) и значением пиковой частоты синхротронной компоненты для объектов BLO исследуемой выборки. Радиосветимости рассчитаны по данным ПАТАН-600 (2007 г.).

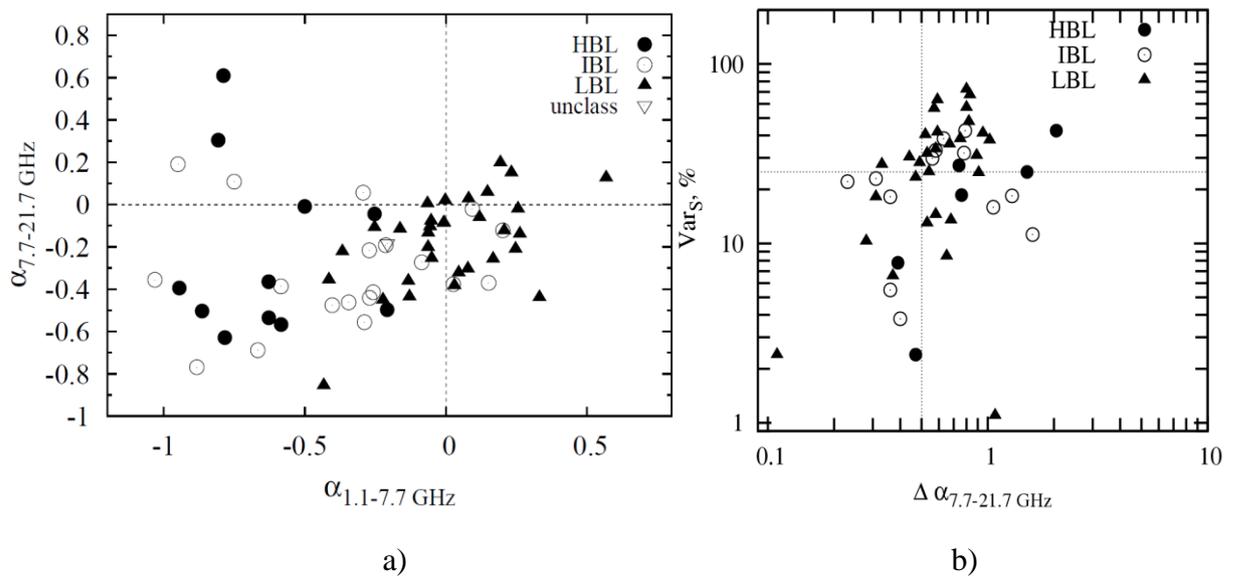


Рис. 14 – a) “radio color” диаграмма для высоко- и низкочастотных спектральных индексов выборки BLOs; b) соотношение между изменением спектрального индекса $\Delta\alpha$ и индексом переменности Var_S (7.7 и 21.7 ГГц).

По материалам исследований BL Lac’s создана интерактивная база наблюдательных данных "RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lac objects" www.sao.ru/blcat/ Version 1.0, в настоящий момент состоящая из 214 объектов. Экспериментальный материал получен с использованием радиотелескопа РАТАН-600 на частотах 1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 8.2, 11.2, 21.7 и 30 ГГц. В каталоге представлены долговременные измерения объектов на нескольких частотах одновременно. Дополнительная информация об объектах основана на измерениях в других диапазонах электромагнитного спектра. Интерактивная база данных позволяет получить мгновенные широкодиапазонные радиоспектры и их параметры, информацию о переменности спектральной плотности потока. Электронная версия доступна на домашней странице Специальной Астрофизической обсерватории РАН <http://www.sao.ru/blcat/>.

Многоволновое исследование Gigahertz-Peaked spectrum (GPS) объектов и кандидатов. GPS-галактики и квазары – источники мощного радиоизлучения, имеющие выпуклую форму радиоспектра. Максимум спектра (частота пика) приходится на диапазон от 0.5 до нескольких десятков ГГц. GPS-объекты характеризуются малыми размерами ($<1kpc$) и низкой амплитудой переменности. Из-за малых угловых размеров даже в наблюдениях с радиоинтерферометрами со сверхдлинными базами структура таких источников разрешается частично. Исследование природы GPS-источников осложняется тем, что не существует однородных выборок, полученных в широком частотном диапазоне и позволяющих определить истинные их свойства. Большинство результатов о свойствах GPS-источников получены статистически. Часто выборки включают квазары, временно имеющие радиоспектр с максимумом [1, 2] (далее - FSRQ - flat spectrum radio quasars). На полученные в настоящее время выводы влияют эффекты селекции, из-за естественных ограничений на расширение одновременно и выборок, и частотного интервала. Большинство выводов и предположений о свойствах GPS основаны на малых выборках, на подробных исследованиях нескольких объектов или на выборках, содержащих смешанные типы объектов из-за ошибочной классификации [5-7].

Многолетние наблюдения Gigahertz-Peaked spectrum источников на ПАТАН-600 (Investigation of radio spectra and variability of GPS sources, Metsahovi Radio Observatory, SAO RAS, Многоволновое исследование GPS источников и кандидатов, САО РАН) явились основой большого объема экспериментальных данных [3, 4]. В результате использования этого материала и базы данных CATS получены следующие результаты:

- Сформирована полная по плотности потока новая выборка 112 GPS-кандидатов (ПАТАН-600 + CATS). Это составляет примерно 2% от всей выборки (около 5000) с $S \geq 200 \text{ mJy}$ на 4.8/5 ГГц. Из них только 45 (1%) соответствует свойствам классическим GPS [1, 15]. Это значительно меньше, чем ожидалось (принято считать, что GPS составляют 10% от ярких внегалактических объектов). Каталог опубликован в центре Астрономических данных Страсбурга.

- Большая часть радиоисточников с узкими спектрами локализована в областях красных смещений $z < 1$ и $z > 3$ (Рисунок 15).

- GPS галактики имеют наиболее *узкие спектры* и наиболее *крутые* на высоких частотах, чем квазары. Наблюдается увеличение низкочастотного спектрального индекса с ростом красного смещения z , причем для G и QSO его значения сравнимы (Рисунок 16, Таблица 1 и 2).

- Численность *GPS галактик* резко падает с увеличением красного смещения, начиная с $z=1$ (Рисунок 17а). Галактики и квазары на одинаковых z имеют угловые размеры одного порядка, при этом их светимости могут на порядок отличаться (Рисунок 18 и 19). Наблюдается дефицит объектов на больших красных смещениях с низкими частотами пика (несколько ГГц). Возможно, на больших z отсутствуют объекты с крупными компонентами синхротронного самопоглощения. Различные косвенные оценки подтверждают наличие вещества с высокой плотностью излучающих частиц в околоядерных областях GPS-объектов.

- Выборка *значительно “загрязнена”* объектами FSRQs (flat spectrum radio quasars) (Рисунок 17b и 20). Подтверждаются предположения, что такие *непеременные* квазары встречаются крайне редко.

На Рисунке 15 представлено соотношение “красное смещение - частота пика - ширина радиоспектра” ($z - \nu_{intrinsic} - FWHM$) для всех объектов выборки, имеющих спектральный максимум в радиодиапазоне. Такое соотношение отражает распределение компактных объектов с относительно однородным синхротронным излучением. Так как в соотношение включены все объекты (467), то оно содержит и объекты в момент активности, когда излучение компактных ядерных областей доминирует, при этом форма радиоспектра становится временно выпуклой. На рисунке видно, что радиоисточники с наиболее узкими спектрами локализованы в областях красных смещений $z < 1$ и $z > 3$.

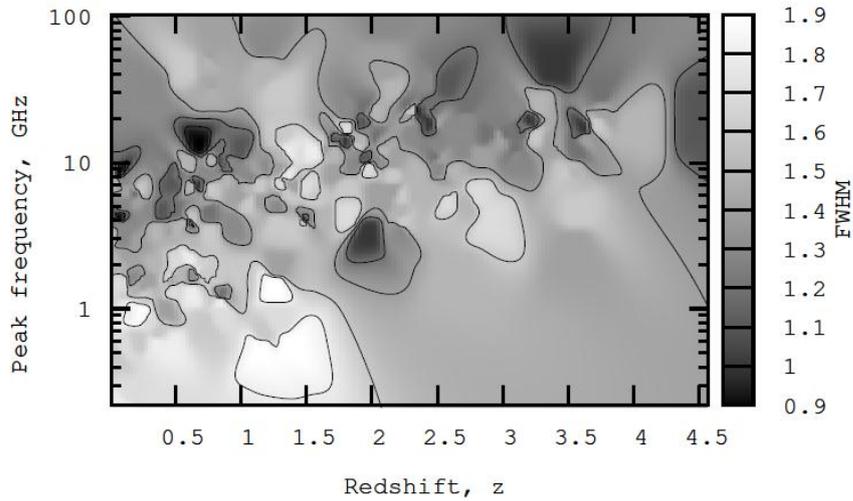


Рис. 15 – Соотношение “красное смещение – частота пика – ширина спектра” для всех объектов выборки, имеющих спектральный максимум в радиодиапазоне. Частота пика представлена в системе отсчета источника. Большая часть радиисточников с узкими спектрами локализована в областях красных смещений $z < 1$ и $z > 3$.

Для сравнения формы спектров для GPS-галактик и квазаров построены их нормированные радиоспектры (Рисунок 16). Нормирование на наблюдаемые пиковые частоты и плотности потока в максимуме позволяет сравнивать радиоспектры между собой [1]. По красному смещению мы можем проверить эволюционные воздействия на форму радиоспектра, используя различные интервалы z . Теоретически все радиоспектры должны проходить через одну точку: $\nu/\nu_{max}=1$ и $S(\nu)/S(\nu_{max})=1$. Вариации плотностей потоков на различных инструментах и приближенное определение максимума (с использованием параболы) являются причиной разброса точек в максимуме нормированного спектра. Нормированный радиоспектр смоделирован в виде двух линий в логарифмическом масштабе, пересекающихся в максимуме. Параметры нормированного радиоспектра GPS-галактик и квазаров представлены в Таблице 1. В целом, средний радиоспектр GPS-галактик более крутой на частотах выше и ниже пика. В результате галактики имеют более узкий средний нормированный радиоспектр $FWHM=1.4$, чем квазары $FWHM=1.6$.

Таблица 1. Параметры нормированного радиоспектра галактик и квазаров GPS.

<i>mun</i>	α_{below}	α_{above}	<i>FWHM</i>
G	+1.01±0.002	-0.81±0.002	1.4
QSO	+0.90±0.002	-0.59±0.001	1.6

Таблица 2. Спектральные параметры для различных интервалов z .

<i>интервал</i>	α_{below}	α_{above}	<i>FWHM</i>
0-1	+0.73±0.04	-0.87±0.06	1.16
1-5	+0.93±0.06	-0.80±0.04	1.16
0-2	+0.79±0.05	-0.85±0.05	1.16
2-5	+0.93±0.06	-0.81±0.05	1.17

Выборка разделена на интервалы по красным смещениям [0-1] и [1-5] для определения различия между галактиками и квазарами GPS. Для выявления действия эволюции на форму спектров красные смещения z GPS-кандидатов разделены на интервалы [0-2] и [2-5]. Результат представлен в Таблице 2, откуда видно, что α_{below}

меняется на величину ~ 0.2 начиная с $z=1$. Отметим, ранее сообщалось, что нет статистического отличия в среднем значении α_{below} для подгрупп галактик и квазаров GPS [1, 15, 2]. Спектральный индекс α_{above} меняется в процессе эволюции и различается для разных типов объектов на величину 0.04-0.07. Значения α_{below} растут по модулю с ростом z . Таким образом, энергетический спектр галактик [9] оказался заметно круче - показатель степени γ больше на 0.4-0.5, чем у квазаров. Здесь γ - показатель степени в распределении $N(E)=KE^{-\gamma}$ излучающих релятивистских электронов по энергиям. Это может быть связано как с дополнительными энергетическими потерями у галактик [19], так и с возможным наличием добавочных компактных компонент у квазаров. Анализ такого различия должен быть предметом отдельного самостоятельного исследования. Наблюдается увеличение низкочастотного спектрального индекса α_{below} с увеличением z , причем, для галактик и квазаров он практически не различается. Это может быть связано, например, с увеличением плотности окружающей среды с ростом красного смещения, с отсутствием систематических измерений на низких частотах или с использованием неодновременных экспериментальных данных.

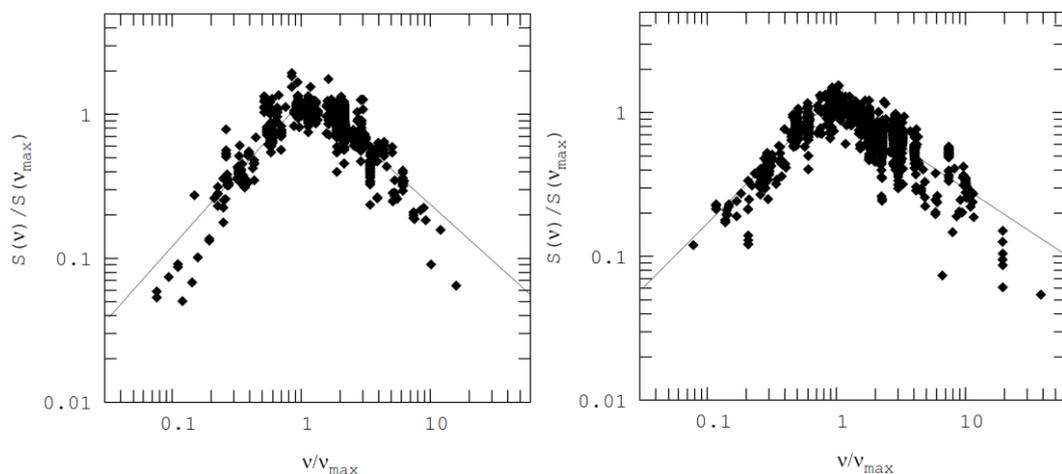


Рис.16 – Нормированный на максимальный поток и частоту радиоспектр GPS-галактик (слева) и квазаров (справа). Метод наименьших квадратов дает спектральные индексы $\alpha_{below}=+1.01\pm 0.002$ и $\alpha_{above}=-0.81\pm 0.002$ для галактик и $\alpha_{below}=+0.90\pm 0.002$ и $\alpha_{above}=-0.59\pm 0.001$ для квазаров.

Соотношения “красное смещение - частота пика” показаны для галактик и квазаров на Рисунке 11, 14(a), а для FSRQ, объектов типа BLLac, блазаров неопределенного типа и объектов, не имеющих свойств блазаров на Рисунке 11,14 (b). Так как блазары характеризуются переменным радиоизлучением, то в выборку попадает значительное число объектов с временно выпуклыми радиоспектрами. Легко увидеть, что Рисунки 8a и b похожи: объекты выборки распределены по красным смещениям так, что большинство квазаров совпадает с объектами FSRQ из каталога BZCAT, а большинство галактик - с объектами, не имеющими свойств блазаров. Поэтому большая доля квазаров выборки может не являться GPS-источниками. В настоящем исследовании установлено, что численность GPS-галактик резко падает с увеличением красного смещения, начиная с $z=1$. Нами не обнаружено GPS-галактик в достаточно большом диапазоне красных смещений - от 1.8 до 4.5 (Рисунок 17a), как не обнаружено и неотожествленных с оптическими источниками объектов. Однако, в этом интервале z встречается значительное число квазаров, не имеющих свойств блазаров (Рисунок 17b). Самым далеким GPS-объектом является галактика J1606+31 ($z=4.56$). Это единственная GPS-галактика в выборке на больших красных смещениях. Отсутствие далеких GPS-галактик может быть связано и с тем, что из-за крутого радиоспектра они не были обнаружены в

существующих обзорах радиоисточников, в отличие от более ярких квазаров. Возможно, необходимо исследование физических условий окружающей среды на больших и малых красных смещениях.

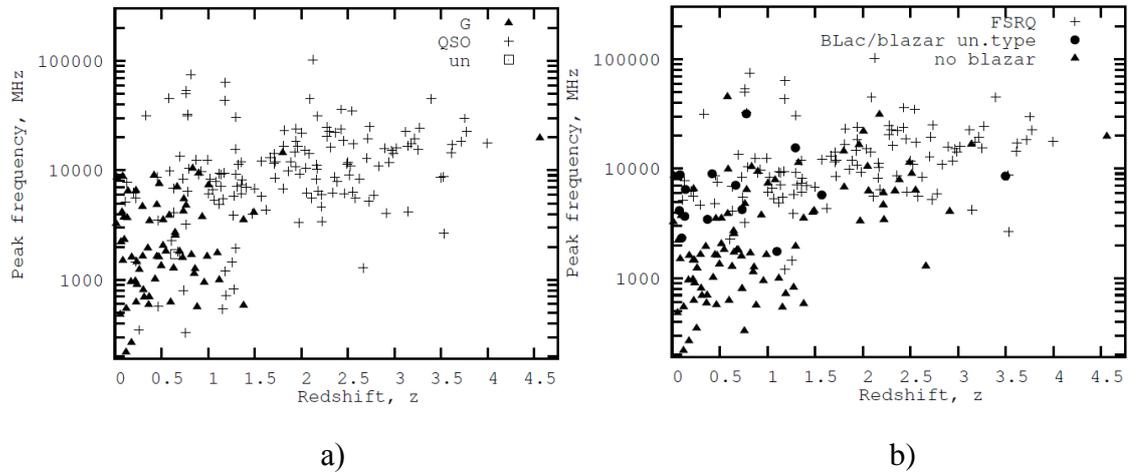


Рис. 17 – а) Соотношение “красное смещение – частота пика” для галактик *G*, квазаров *QSO* и неотожествленных объектов *un*; б) соотношение “красное смещение – пиковая частота” для *FSRQs*, *BL Lac’s* и блазаров неопределенного типа (*blazar un.type*) и объектов, не имеющих свойств блазаров (*no blazar*).

GPS-источники могут состоять из нескольких компонент. Регистрируемое излучение является суммой излучения всех компонент (когда источник является точечным для диаграммы направленности). Мы можем сделать оценку верхнего предела размера области образования излучения, предполагая ответственным за образование пика в спектре GPS-источника процесс синхротронного самопоглощения (а не свободно-свободное поглощение). В однородном по структуре и магнитному полю источнике радиоизлучения с самопоглощением и степенным распределением электронов по энергиям частота максимума излучения определяется как [9]:

$$\nu_{max} = 8B^{1/5} S_{max}^{2/5} \theta^{-4/5} (1+z)^{1/5},$$

B - магнитное поле в Гауссах, S_{max} - значение плотности потока в максимуме радиоспектра в Ян, θ - угловой размер в *mas* и ν_{max} - частота максимума в ГГц. Принимая величину магнитных полей для компактных радиоисточников равными 100 μ Gauss [10] получаем для угловых размеров источника:

$$\theta \approx 1.345 \frac{\sqrt{S_{max}(1+z)^{1/4}}}{\nu_{max}^{5/4}}$$

Данное соотношение определяет верхний предел области излучения (формирующей “выпуклый” радиоспектр) и не имеет отношения к общему размеру объекта. Для объектов с известным красным смещением из выборки GPS-кандидатов выполнено построение зависимости углового размера θ от красного смещения z (Рисунок 19). Для выбранных GPS-объектов угловые размеры не превышают 10 *mas*, что хорошо согласуется с данными измерений размеров компактных объектов методом VLBI [11, 12]. В среднем у квазаров из выборки угловые размеры меньше чем у галактик, а на одинаковых z они имеют угловые размеры одного порядка. Существующая антикорреляция между линейными размерами и частотами пиков [13, 14] означает, что более мощные по светимости и с большими z (см. Рисунок 17а) квазары более компактны, так как имеют большие значения $\nu_{intrinsic}$ (Рисунок 17а). В области совпадения галактик и квазаров по z они имеют угловые размеры одного порядка, при этом их светимости могут на порядок различаться. Прямые и косвенные оценки размеров указывают на большую компактность GPS-квазаров, что дает основания предположить

наличие плотной окружающей среды. Следует учесть, что из-за больших красных смещений квазаров возможное излучение протяженных областей находится ниже предела обнаружения систем апертурного синтеза.

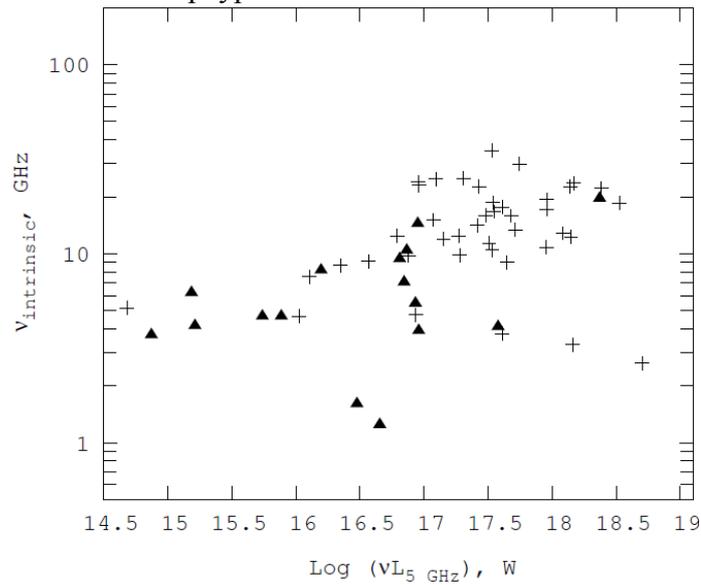


Рисунок 18 – Собственная частота $\nu_{\text{intrinsic}}$ в зависимости от радиосветимости для галактик (треугольники) и квазаров (крестики).

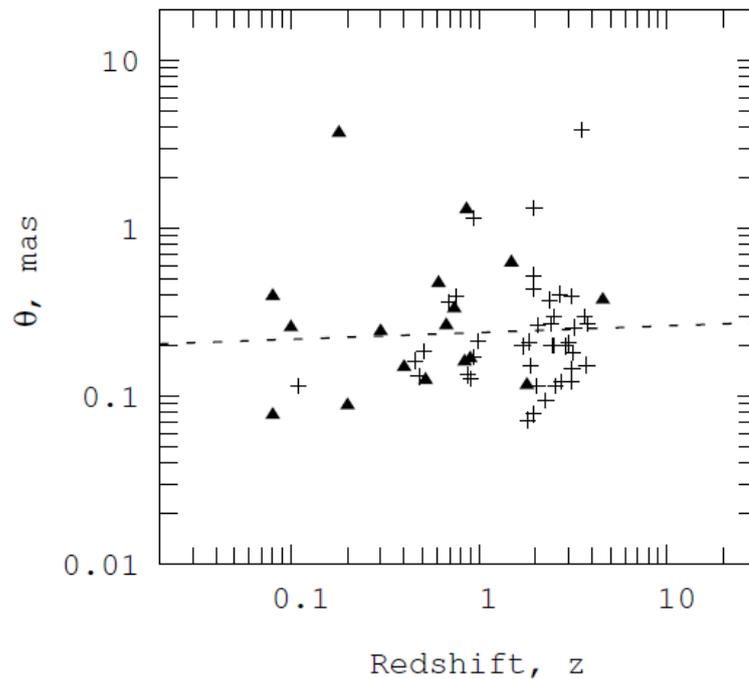


Рис. 19 – Угловые размеры излучающей области относительно красного смещения GPS-галактик (треугольники) и квазаров (крестики).

Красные смещения источников выборки взяты из базы данных NED/IPAC и известны для $\sim 53\%$ объектов. Гистограмма распределения по красным смещениям представлена на Рисунке 11. Часть источников выборки (132) представлена в Roma-VZCAT каталоге [8]. Каталог представляет обширный список блазаров, основанный на данных многочастотных обзоров и тщательном обзоре литературы и содержит 3149 объектов: квазары с плоским спектром FSRQs, объекты типа BLLac и кандидаты в них

BLLac-cand., блазары неопределенного типа (Blz.un.t). Включение GPS-кандидатов в каталог блазаров связано с проблемой определения их природы, которая все еще является предметом многочисленных дискуссий [15-18]. GPS-объекты, имеющие свойства блазаров, включены в Roma-BZCAT каталог. На гистограмме распределения источников по z выделены объекты FSRQ и BLLac. На рисунке видно, что в нашу выборку попала значительная доля блазаров, часть из которых на малых z - это объекты типа BLLac и кандидаты в них (3 шт), на больших z - FSRQ (118 шт) и 11 объектов - блазары с неопределенным типом.

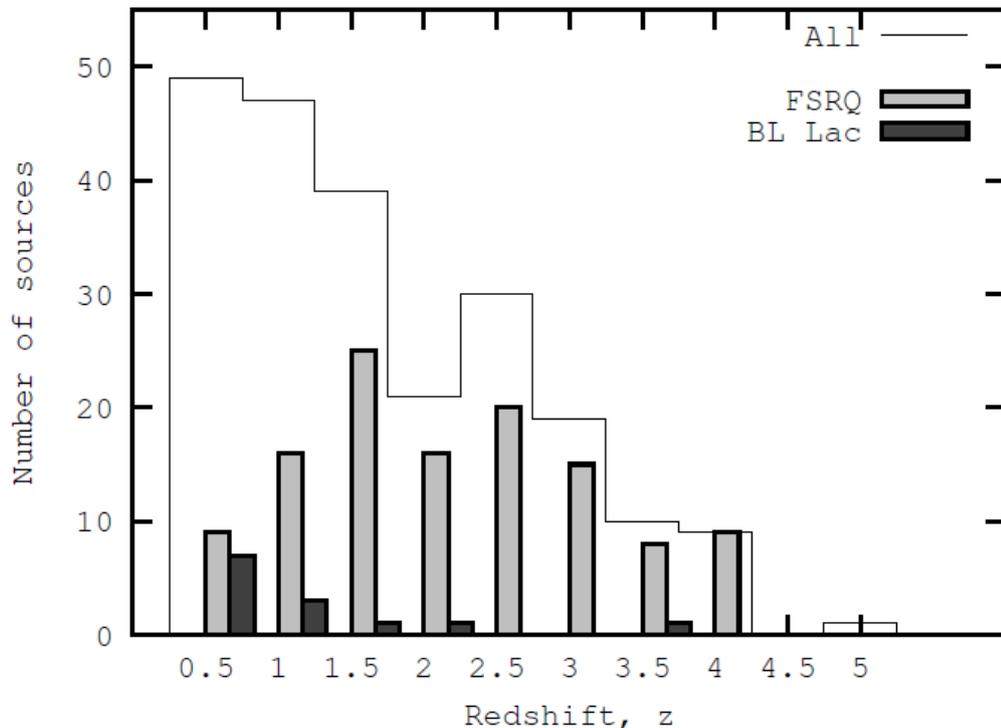


Рис.20 – Распределение всех объектов выборки по красным смещениям (тонкая линия); черным выделено распределение объектов типа BL Lac's и блазаров с неопределенным типом (14 объектов) по классификации Roma-BZCAT [8], серым – для объектов FSRQ (118 объектов).

Публикации:

1. M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, T.V. Mufakharov, A.K. Erkenov, R.Yu. Udovitskiy, Gigahertz-peaked spectrum (GPS) galaxies and quasars, *Astrophysical Bulletin*, Volume 68, Issue 3, pp. 262-272 (2013).
2. А.Г. Горшков, В.К. Конникова, М.Г. Мингалиев, А.К.Эркенов. Переменность плотности потока блазара S5 1803+784 (J1800+7828) на месячном масштабе. *Астрон. ж.*, 2013, т. 90, No 5, с. 378-383.
3. А.Г. Горшков, В.К. Конникова, М.Г. Мингалиев. Переменность плотности потока радиоисточников с характерными временами меньше месяца в области склонений 10° – $12^{\circ}30'$. *Астрономический журнал*, *Астрон. ж.*, 2013, т. 90, No 5, с. 384-405.

4. A.G. Gorshkov, V. K. Konnikova, M. G. Mingaliev, and A. K. Erkenov. Spectra and Variability of a Sample of Polar Sources. *Astrophysical Bulletin*, Volume 68, Issue 4, pp. 403-417 (2013).
5. Mingaliev, M.; Trushkin, S.; Sotnikova, J.; Erkenov, A.; Mufakharov, T. RATAN-600 multi-frequency measurements of flaring activity of BL Lacertae. *The Astronomer's Telegram*, #5002, 04/2013.
6. M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, M. Tornikoski, E. Nieppola, T.V. Mufakharov, R.Yu. Udovitskiy, Simultaneous spectra and radio properties of the BL Lacertae Objects, *A&A in preparation* 2013.

Тезисы докладов:

1. М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, Т.В. Муфахаров, А.К. Эркенов, Р.Ю. Удовицкий. Многочастотный каталог объектов типа BL Lac «RATAN-600 Multi-frequency Data for the BL Lac Objects», Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная», 23-27 сентября 2013 г., Санкт-Петербург, тезисы докладов, стр. 186.
2. М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, Т.В. Муфахаров, А.К. Эркенов, Р.Ю. Удовицкий. Исследование мгновенных радиоспектров и радиосвойств объектов типа BL Lac, Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная», 23-27 сентября 2013 г., Санкт-Петербург, тезисы докладов, с. 186-187.
3. М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, Т.В. Муфахаров, А.К. Эркенов, Р.Ю. Удовицкий. Gigahertz-Peaked Spectrum (GPS) галактики и квазары, Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная», 23-27 сентября 2013 г., Санкт-Петербург, тезисы докладов, стр. 187.
4. А.Г. Горшков, А.В. Ипатов, В.К. Конникова, М.А. Харинов, В.В. Мардышкин, М.Г. Мингалиев, А.Г. Михайлов, А.А. Дьяков, Р.Ю. Сергеев. Переменность блазаров J1159+2914 и 3C 454.3 (J2253+1608) на суточных и внутрисуточных масштабах в 2010-2013 гг. по наблюдениям на РАТАН

Тема проекта: Наземная поддержка космических экспериментов по исследованию активных ядер галактик

Научный руководитель и ответственный исполнитель кандидат физ.-мат. наук
Н.А.Нижельский

1. В 2013 году проведены 3 цикла наблюдений по программе исследования долговременной переменности спектров радиоизлучения квазаров и галактик (Ю.Ю.Ковалев, АКЦ ФИАН). Результаты доложены на очередной всероссийской конференции ВАК-2013 (1,2), где представлены спектры 100 объектов, обнаруживших сильную переменность спектральной плотности потока на масштабах до 10 лет. Выборка содержала около 1000 объектов, наблюдавшихся по этой программе 3-4 раза в год.

Результаты наблюдений переменных источников на РАТАН-600 использовались также для калибровки и анализа параметров космического радиотелескопа «Радиастрон».

2. Проведены два цикла наблюдений по программе исследования эволюции синхротронных мгновенных спектров объектов типа BL LAC, представляющих собой весьма редкий подкласс активных ядер галактик (рук. Т.Ф. Муфухаров, САО РАН). Получены мгновенные широкодиапазонные радиоспектры более 100 объектов, проанализированы их спектральные свойства, переменность плотности потока и радиосветимость (8,9).
3. Проведены три цикла многоволновых исследований источников, имеющих максимум излучения в гигагерцовом диапазоне волн (Gigahertz-Peaked Spectrum, рук. Ю.В.Сотникова, САО РАН), проведен также комплексный анализ полученных радиоспектров источников (2,10).
4. Программы исследования микрокварзаров на РАТАН-600 проводятся регулярно с момента обнаружения мощных вспышек от Cyg X3 (рук. С.А.Трушкин), им выделяется значительное время: 150-250 дней ежегодно (программа пересекается с другими).
5. Успешно проведены два цикла наблюдений по международной программе мониторинга ярких источников, регистрировавшихся космическим радиотелескопом Планк (Bright Sources Monitoring during Planck Mission (Planck WG 6). Все программы осуществлялись на высокочувствительном приемном комплексе №1 по Планам Программного комитета, статистика за год более 6 тысяч наблюдений.
6. На приемном комплексе облучателя №2 с трехчастотным радиометром «Эридан-2» проведен многосуточный мониторинг ярких блазаров (Сотникова, Мингалиев и др.). За 8 месяцев выполнено 5958 наблюдений.
7. Основные результаты технических работ по модернизации аппаратуры, полученные в ходе выполнения проекта:

7.1 Переведены на новую элементную базу – малощумящие неохлаждаемые транзисторные усилители на гетероструктурах - два криогенных радиометра водородного уровня охлаждения (волны 2.7 и 3.6 см). Сравнение современных усилителей различных производителей по их рабочим параметрам (и в первую очередь по шумовым характеристикам) позволили сделать выбор в пользу усилительных модулей на различные частоты НПФ «Микран» (г. Томск, Россия). На них работают на настоящий момент пять ранее криогенных радиометров РАТАН-600.

При незначительной потере чувствительности кардинально повышена эксплуатационная надежность и снижены затраты на обслуживание радиометров (4).

7.2. Получены положительные результаты по освоению нового, ранее не применявшегося из-за несовершенства элементной базы режима работы радиометров сантиметрового диапазона (регистрация полной мощности принимаемого излучения, в опытной эксплуатации два приемника). Исследования различных типов шумов в радиометрах РАТАН-600, а также применяемой элементной базы:

- **Усилительные модули НПФ «Микран»**
г. Томск, Россия:

MALN-109117,

MALN-079087-12, MALN-079084-4,

MALN-4450-11.

- Детектор на низкобарьерном диоде Шоттки: КДК-26, ФГУП НИИПИ «КВАРЦ».
- Туннельный обращенный диод
MBD-1057-E28 (Aeroflex/Metelics).
- Операционные **auto-zero** усилители: AD8628, ADA-4521 позволили сделать неожиданные выводы:
- Основным источником шума $1/f$ (в рамках аппаратуры, примененной в данной работе) является СВЧ детектор на диоде с низким барьером Шоттки (НДБШ).
- Радиометр полной мощности на практике показывает чувствительность в 2 раза выше, чем модуляционный радиометр на масштабах времени до 10 секунд.
- На масштабах времени до 50 секунд чувствительность радиометра полной мощности остается выше, чем модуляционного.
-

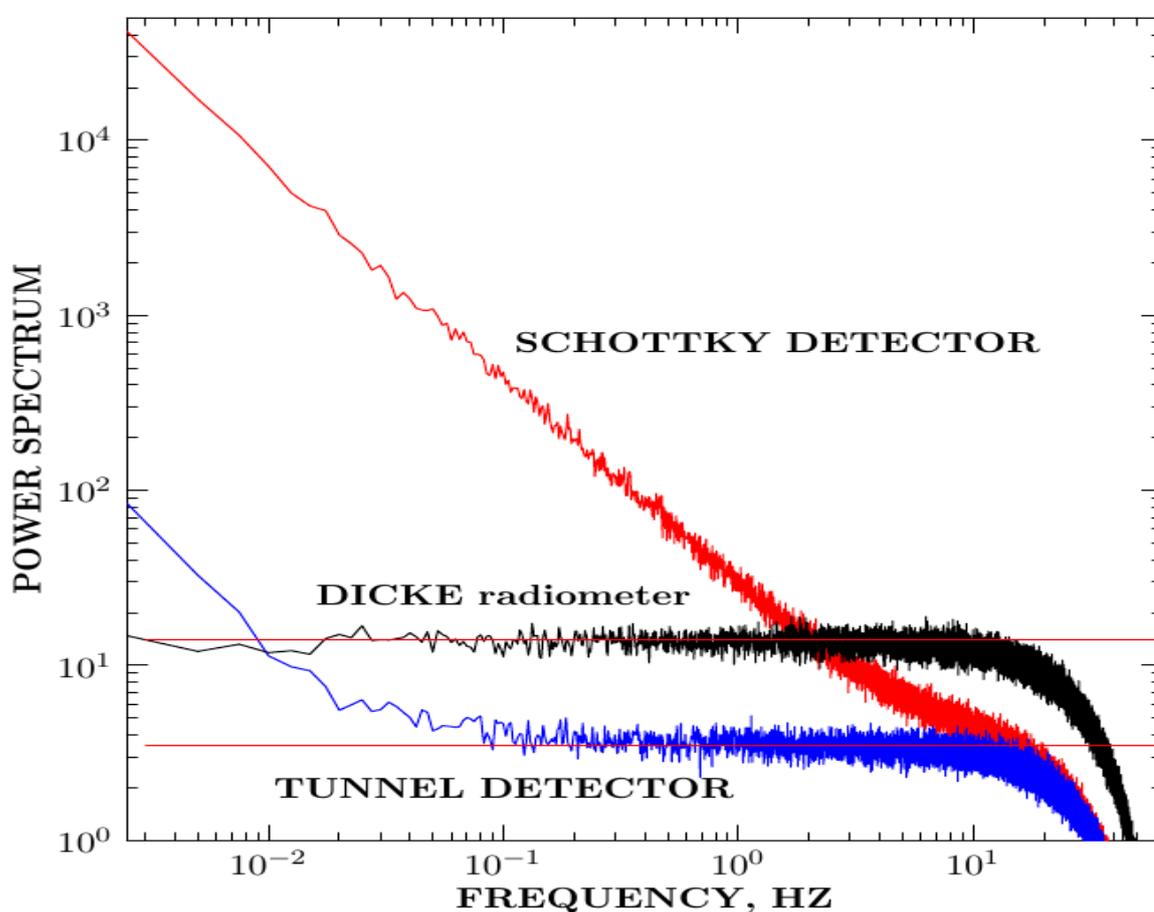


Рис.21. Измеренные значения спектров мощности детекторов на НДБШ и на туннельных диодах.

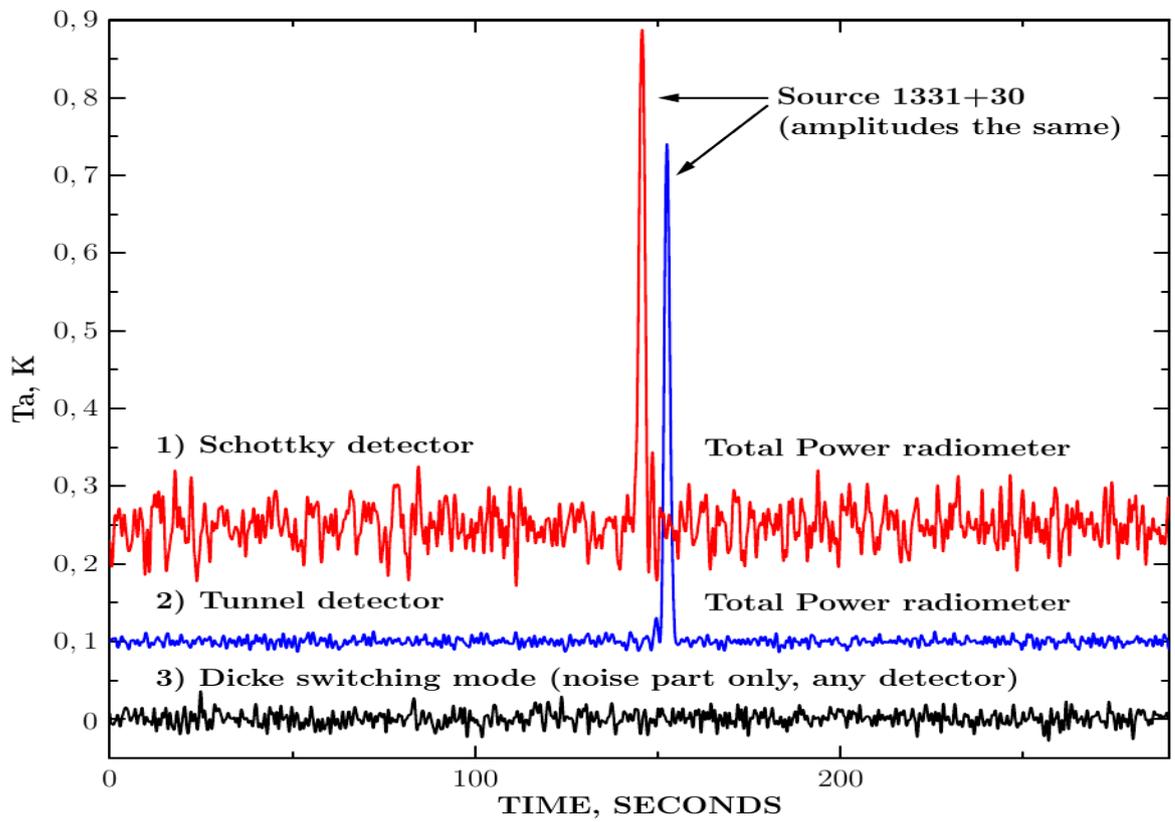


Рис.22. Сравнение СВЧ детекторов при различных схемах радиометров (модуляционной и полной мощности).

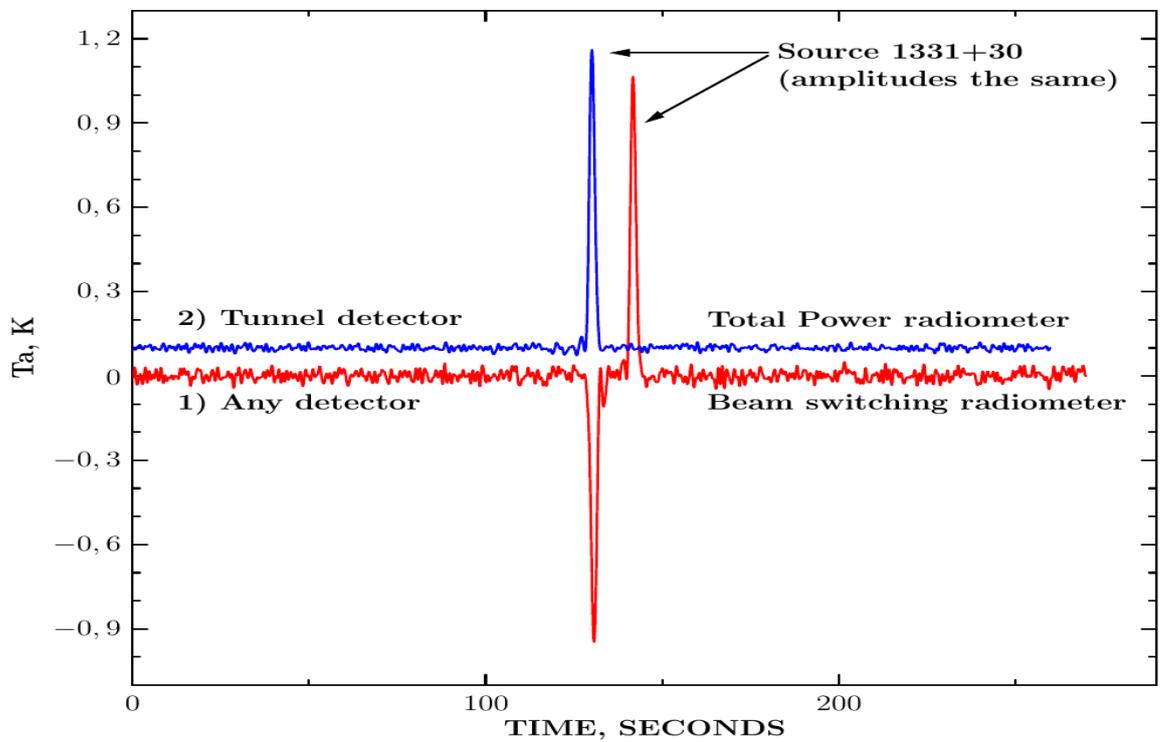


Рис.23. Сравнение реализуемых чувствительностей радиометров: модуляционного и полной мощности.

В результате этих работ появилась перспектива в ближайшее время не только реализовать без применения дорогостоящих и сложных в обслуживании криосистем (т.е. «в тепле») чувствительность радиометров, достижимую только при криогенных температурах, но и превзойти ее (6,7).

7.3. Завершена модернизация системы сбора данных и управления (ССДиУ) для всех радиометрических комплексов континуума на ПАТАН-600 на современном аппаратно-программном уровне.

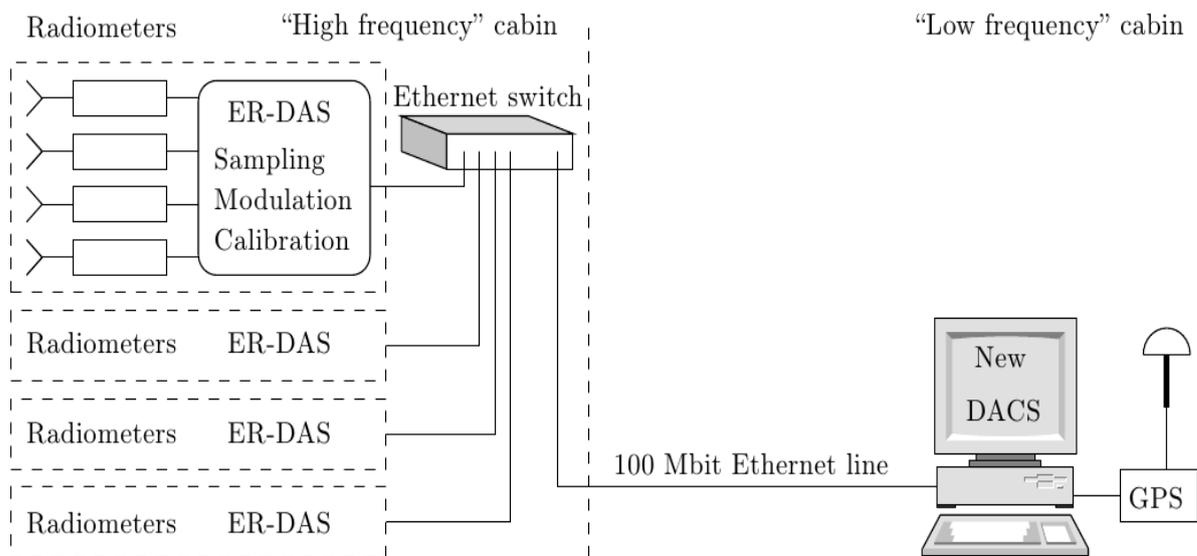


Рис.24. Архитектура новой ССДиУ.

Новый подход к регистрации данных (**раздельная запись полупериодов модуляции, регистрация на постоянном токе, отсутствие шума вида $1/f$ в самой измерительной системе**) позволяет:

- изменить (упростить) конструкцию радиометра, например, использовать **программную балансировку** вместо аппаратной;
- проводить оперативную диагностику состояния радиометра;
- исследовать отдельные узлы и каскады радиометра для выявления и устранения источников нестабильностей (С помощью этой методики удалось устранить ,например, **температурную зависимость** таких важных элементов радиометров, как **p-i-n аттенюаторов**).

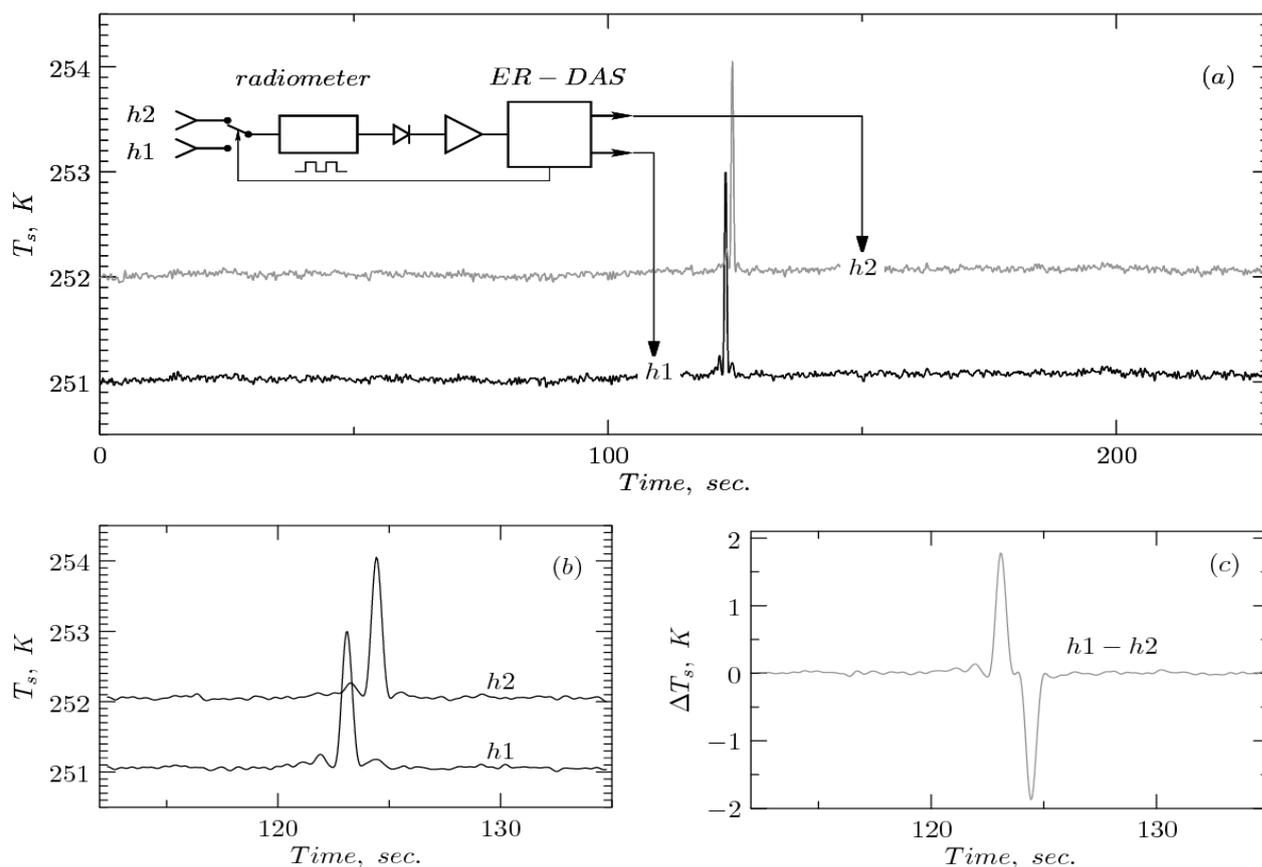


Рис.25. Способ регистрации отдельных полупериодов модуляции (отложенное цифровое синхронное детектирование).

7.4. Продолжены работы по накоплению материалов мониторинга электромагнитной обстановки на РАТАН-600 и эксперименты по адаптивной фильтрации помех в условиях бурного роста средств массовых коммуникаций (3).

8. Публикации:

1. Ю.Н.Парийский, Н.Н.Бурсов, А.Б.Берлин, М.Г.Мингалиев, Н.А.Нижельский, В.А.Столяров, П.Г.Цыбулев, Т.А.Семенова, В.Б.Хайкин, А.А.Гречкин, Обзор околоризантной области неба на частоте 30 ГГц с 32-элементной матрицей радиометров РАТАН-600. *Астрофизический Бюллетень*, 68-2, с.249.
2. Мингалиев М.Г., Сотникова Ю.В., Муфхаров Т.В., Эркенов А.К., Удовицкий Р.Ю., Gigahertz-peaked spectrum (GPS) galaxies and quasars, *Astrophysical Bulletin*, Volume 68, Issue 3, pp.262-272 (2013).

Тезисы докладов на ВАК -2013:

1. Ю.А.Ковалев, А.Б.Берлин, Ю.Ю.Ковалев, Н.А.Нижельский, Г.В.Жеканис, А.В.Богданцов, П.Г.Цыбулев. 100 квазаров и галактик: сильная долговременная переменность мгновенных широкодиапазонных спектров радиоизлучения по 10-летним измерениям на 6 частотах от 1 до 22 ГГц на РАТАН-600. Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная», 23-27 сентября 2013 г., Санкт-Петербург, тезисы докладов, с. 115.
2. Ю.А.Ковалев, Ю.Ю.Ковалев, Г.В.Жеканис, Н.А.Нижельский, П.Г.Цыбулев. Внегалактические релятивистские струи по совместным исследованиям на телескопах РАТАН-600, VLBA и FERMI. Там же, с. 116-117.
3. Д.В.Кратов, П.Г.Цыбулев, Н.А.Нижельский, Р.Ю.Удовицкий. Исследование возможности применения адаптивной фильтрации для чистки помех на РАТАН-600: первые результаты. Там же, с. 158.
4. Н.А.Нижельский, Д.В.Кратов, А.Б.Берлин, П.Г.Цыбулев, Р.Ю.Удовицкий. Радиометры континуума РАТАН-600: от «водорода» к «теплу». Там же, с. 197-198.
5. Р.Ю.Удовицкий, П.Г.Цыбулев, Н.А.Нижельский, М.Г.Мингалиев, Ю.В.Сотникова, Д.В.Кратов, Ю.А.Ковалев. Автоматизация мониторинга параметров радиотелескопа РАТАН-600 по наблюдениям калибровочных источников. Там же, с. 258.
6. П.Г.Цыбулев, Н.А.Нижельский, А.Б.Берлин, Д.В.Кратов, Р.Ю.Удовицкий. Шум вида $1/f$ в радиометре. Там же, стр.267.
7. П.Г.Цыбулев, Н.А.Нижельский, А.Б.Берлин, Д.В.Кратов, Р.Ю.Удовицкий. Система сбора данных и управления для наблюдений в континууме на РАТАН-600: завершение модернизации. Там же, стр.268.
8. М.Г.Мингалиев, Ю.В.Сотникова, Т.В.Муфахаров, А.К.Эркенов, Р.Ю.Удовицкий. Многочастотный каталог объектов типа BL Lac «RATAN-600 Multi-frequency Data for the BL Lac Objects». Там же, стр 186.
9. М.Г.Мингалиев, Ю.В.Сотникова, Т.В.Муфахаров, А.К.Эркенов, Р.Ю.Удовицкий. Исследование мгновенных радиоспектров и радиосвойств объектов типа BL Lac. Там же, стр 186-187.
10. М.Г.Мингалиев, Ю.В.Сотникова, Т.В.Муфахаров, А.К.Эркенов, Р.Ю.Удовицкий. Gigahertz-Peaked Spectrum (GPS) галактики и квазары. Там же, стр 187.

ПЛАН исследований по программе ПРАН

«Нестационарные явления в объектах Вселенной» на 2014 год

Проект: Исследование магнитных полей СР-звезд в молодых рассеянных звездных скоплениях

Научный руководитель доктор физ.-мат. наук И.И.Романюк

Ответственный исполнитель доктор физ.-мат. наук Ю.В.Глаголевский

План

Продолжение поисков магнитных звезд среди горячих массивных звезд молодых рассеянных скоплений. Наблюдения будут проводиться на ОЗСП БГА с зеemanовским анализатором на новой крупноформатной ПЗС-матрице (4600x2000px). Для эффективного отбора кандидатов в магнитные звезды будут использоваться массовые вспомогательные наблюдения на 1м телескопе САО. Объекты, у которых обнаружены сильные и переменные линии He, будут наблюдаться на 6м телескопе.

Завершение разработки и внедрение в наблюдения на БГА приставки для одновременного измерения четырех параметров Стокса. Для повышения эффективности работы необходимо автоматизировать процесс управления анализатором. Мы планируем получить измерения круговой и линейной поляризации в линиях для пяти горячих He звезд.

По уже полученным материалам будет проведен анализ физических параметров и химического состава. Атмосфер горячих гелиевых звезд — для изучения связей между магнитными полями и другими процессами, происходящими в звездных атмосферах.

Сравнительный анализ величины и конфигурации магнитного поля для выборок молодых и старых магнитных звезд позволит сделать более определенные выводы о характере эволюции их магнитных полей.

Обоснование

В настоящее время выполняется обширная программа исследования химического состава и динамики атмосфер звезд на стадии «после асимптотической ветви гигантов». Получены убедительные свидетельства проявлений в звездных атмосферах различных процессов нуклеосинтеза, происходящих в недрах звезд. Проводятся исследования процессов обмена веществом звезд и межзвездной среды, получены обобщающие результаты о характере таких процессов у звезд различной массы. Многолетняя программа спектроскопических исследований звездных атмосфер поддерживается соответствующим развитием спектральной аппаратуры БГА и численных методов анализа. Современная теория предполагает более сложную структуру поля у более молодых и горячих звезд, по сравнению со старыми. Экспериментальная проверка этой теории - одна из основных целей нашей программы.

Тема проекта: Исследование ядер галактик на различных масштабах методами панорамной спектроскопии

Научный руководитель доктор физ.-мат. наук В.Л.Афанасьев

Ответственный исполнитель канд. физ.-мат. наук С.Н.Додонов

План

Отладка методики наблюдений с новым панорамным спектрографом по реальным объектам, Разработка новых методов анализа двумерных полей скоростей. Описание их с помощью адекватных моделей, измерение внутренней пространственной ориентации орбит газовых облаков (т.е. по сути - восстановление трехмерного вектора скорости в каждой точке газового диска).

Проведение наблюдений и выполнение предварительного анализа данных наблюдений на 6-м телескопе ряда галактик с активными ядрами. А именно, с помощью спектрографа MPFS планируются наблюдения окооядерные области галактик Mkn 209, Mkn 520, Mkn 534, Mkn 609, NGC 2110, NGC 4235. С помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо и фокального редуктора SCORPIO планируются наблюдения для галактик Mkn 504, Mkn 530, Mkn 543, Mkn 885, Mkn 975, Mkn 1146 и Mkn 1179. Для всех галактик будут построены поля скоростей ионизованного газа в различных эмиссионных линиях, а также проведено исследование механизмов возбуждения газа методами диагностических диаграмм. С целью обнаружения и исследования следов взаимодействия и/или слияния с галактиками-спутниками планируется получить глубокие прямые изображения в трех фильтрах *B*, *V*, *R* следующих объектов: Mkn 471, Mkn 744, NGC 4235. Спектральный мониторинг профилей линий избранных AGN.

Обоснование

Анализ методами 3D-спектрофотометрии с высоким отношением сигнал/шум морфологических и кинематических особенностей в центральных областях близких активных галактик, для которых имеются радиоданные с хорошим пространственным разрешением (в основном из работы Nagar et al, 1999), демонстрирующие существование вытянутых радиоструктур. Наш опыт показывает, что рассматривая двумерные поля скоростей газа в бальмеровских и запрещенных линиях (и сравнивая их с полем скоростей звездного компонента) можно достаточно уверенно оценить среднюю скорость газа, возмущенного вторжением радиоджета. Также планируется проведение стандартными методами диагностики плазмы двухмерных карт степени возбуждения газа в различных (в кинематическом смысле) компонентах газовых облаков. При таком анализе будет возможно проследить влияние радио джета на межзвездный газ, излучающий в центральных областях галактик, и разделить механизмы возбуждения газа в различных подсистемах.

Тема проекта: Спектральные и фотометрические исследования нестационарных внегалактических объектов и звезд Галактики.

Научный руководитель канд. физ.-мат. наук В.В.Власюк

Ответственный исполнитель канд. физ.-мат. наук Н.В.Борисов

План

- 1) продолжение исследований фотометрической переменности внегалактических объектов с континуальными спектрами, демонстрирующими значимую переменность в радиодиапазоне, выполнение синхронных наблюдений на 6-м и 1-м телескопе САО и радиотелескопах АКЦ ФИАН;
- 2) изучение выборки активных ядер галактик методами спектрополяриметрии с целью изучения модели аккреции в близи сверхмассивных черных дыр, анализ полученных данных, подготовка публикаций
- 3) исследования конечной стадии эволюции тесных двойных систем фотометрическими и спектральными методами на 6-м и 1-м телескопах
- 4) продолжить спектральные и фотометрические исследования природы гамма-всплесков на оптических телескопах САО, изучение выборки сверхновых звезд спектральными, фотометрическими и поляриметрическими средствами.
- 5) Завершить реализация на спектрографе SCORPIO БТА методики одновременного измерения четырех параметров Стокса в спектрах слабых объектов
- 6) Внедрить на 1-м телескопе методику фотополариметрических исследований для исследования нестационарных объектов.

Обоснование

Внегалактические объекты с континуальными спектрами (типа BL Lac), демонстрирующие значимую переменность в оптическом и радио диапазонах, исследуются достаточно давно. Тем не менее, лишь для немногих объектов удалось провести синхронные наблюдения в различных спектральных диапазонах в рамках широких международных кооперативных проектов. Одной из задач, решаемой в рамках данного проекта, является одновременное исследование вариаций блеска в оптическом диапазоне на оптических телескопах САО РАН и радиотелескопах АКЦ ФИАН (совместно с группой Н.С.Кардашева). Совместные работы по изучению выборки таких объектов начаты на 1-м телескопе САО и радиотелескопе РТ-22 (Крым) в 2004 году.

Физические условия аккреционных дисков вокруг сверхмассивных черных дыр практически не позволяют применять прямой метод измерения магнитных полей – метод зеэмановской спектрополяриметрии. Мы предполагаем использовать косвенный метода – метод фарадеевского вращения. Роль поляриметрических наблюдений сильно возросла в последнее время в связи с тем, что они позволяют сделать решающий выбор между все возрастающим количеством различных моделей аккреционных дисков. Такой рост происходит в связи с увеличением количества численных расчетов структуры таких

аккреционных дисков. В результате применения данной методики будут определены величины магнитных полей в той области аккреционного диска, где генерируется наблюдавшееся излучение активных галактических ядер, а также показатель степенного распределения магнитного поля в самом диске. Эти данные, полученные из наблюдений, позволяют также определить величину магнитного поля вблизи радиуса горизонта сверхмассивной черной дыры и сравнить полученную на основе данных наблюдений величину магнитного поля на горизонте событий с теоретическими оценками, полученными в различных моделях.

Исследования конечной стадии эволюции ТДС на телескопах САО совместно с группой из КазГУ ведутся на протяжении последних 10 лет. Накоплен большой фактический материал, часть данных интерпретирована благодаря имеющемуся методическому аппарату, разработанному в Казани, основанному на моделировании звездных атмосфер. Необходимо завершить сбор спектрального (на БТА) и фотометрического (1-м телескоп) материала для двух десятков наиболее интересных объектов.

Исследования послесвечения гамма-всплесков, ведущиеся в САО, общепризнаны в мировом сообществе. Идеи о природе явления гамма-всплесков, разрабатываемые нами, нуждаются в детальной проверке методами спектроскопии и спектрополяриметрии на телескопах САО.

Тема проекта: Свойства радио и оптического излучения активных ядер галактик

Научный руководитель и ответственный исполнитель доктор физ.-мат. наук
М.Г.Мингалиев

План

1. Многоволновое исследование объектов типа VL Lacertae (VLO) с сильно выраженной переменностью плотности потока излучения (от 50% и выше); получение длинных временных рядов значений плотностей потоков; получение экспериментальной информации о спектральном поведении максимального большого списка объектов этого класса (порядка 300 источников).
2. Дальнейшее исследование выявленных кандидатов в GPS-источники. Расширение исследуемого списка GPS-источников и наблюдение новых кандидатов на РАТАН-600. Привлечение архивных данных РАТАН-600 с целью изучения эволюции GPS-радиоспектров на временных масштабах до 30 лет.

Обоснование

Изучая переменные объекты, такие как VLO, становится очевидным, что измерения вариаций плотности потока на одной-двух частотах дают мало информации об исходном излучении вообще. Для действительного понимания природы и особенностей излучения мы нуждаемся в постоянном мониторинге в течение многих десятилетий.

Экспериментальная информация о переменности для источников этой области достаточно ограничена, особенно на высоких частотах.

Большинство исследований GPS основано на выборках малого размера с исследованием нескольких свойств, или на единственном источнике с более широким набором свойств. Уникальность наблюдательного материала РАТАН-600 заключается в одновременности измерений в широком диапазоне частот (1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2 и 21.7 ГГц). В настоящее время нет информации о поведении радиоспектров GPS-источников на длительных масштабах, поэтому вопрос о переменности таких объектов остается открытым.

Тема проекта: Наземная поддержка космических экспериментов по исследованию активных ядер галактик

Научный руководитель и ответственный исполнитель кандидат физ.-мат. наук
Н.А.Нижельский

План

В 2014 году планируется продолжить начатые работы по повышению чувствительности радиометров путем замены СВЧ детекторов с барьером Шоттки на детекторы с малыми $1/f$ шумами на обращенных туннельных диодах. Заказ и приобретение таких детекторов для продвижения разработки в высокочастотную часть сантиметрового диапазона волн. Завершение реконструкции радиометра Эридан-2.

Перевод на новую систему сбора данных матричной системы МАРС-3, установленной в приемной кабине №2 РАТАН-600. Сопровождение системы и отладка в ходе наблюдательных программ.

Лабораторные испытания одной частоты двухчастотного криорadiометра, разрабатываемого по Договору с НГТУ им. Р.Е.Алексеева. По результатам доработка технического задания и сопровождение проектирования следующего частотного диапазона.

Продолжение мониторинга электромагнитной обстановки на РАТАН-600. Поиск участков спектра, наименее подверженных «загрязнению» помехами. Разработка узкополосных облучателей и фильтров. Пробные наблюдения сильных радиоисточников.

Обоснование

Получение мгновенных спектров внегалактических объектов в широком частотном диапазоне одновременно с наблюдениями на космических аппаратах является весьма важным инструментом в исследованиях активных ядер галактик (определение характеристик релятивистских струй, исследование их физики и эволюции). Изучение основано на измерениях мгновенных спектров радиоизлучения на 5–7 частотах от 0.6 до

22 ГГц с помощью штатной аппаратуры высокочувствительного приемного комплекса Облучателя №1 радиотелескопа РАТАН-600: периодических наблюдениях полной выборки 600-800 активных ядер (3-4 спектра в год), наиболее ярких в радиодиапазоне, на масштабах парсеков. Информация по текущим наиболее ярким вспышкам будет использоваться для оперативного отбора объектов для наблюдений наземно-космическим интерферометром «Радиоастрон» с экстремально высоким угловым разрешением.

Запланировано также несколько циклов наблюдений по международной программе наземного мониторинга ярких источников, наблюдавшихся космическим радиотелескопом Планк.

Проект направлен на техническое обеспечение перечисленных выше программ, а также на совершенствование радиометрических приемных комплексов с целью повышения точности измерений и надежности приемной аппаратуры.