РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ

На правах рукописи

МИНГАЛИЕВ Марат Габдуллович

МНОГОЧАСТОТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА РАТАН-600

Специальность 01.03.02
Астрофизика и радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Санкт-Петербург
2003

Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории РАН

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор	В.А. Гаген-Торн
доктор физико-математических наук, академик	Н.С. Кардашев
доктор физико-математических наук	А.Н. Коржавин

Ведущая организация:
Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, МГУ

Защита состоится 29 сентября 2003 г. в 10 час. 00 мин. на заседании диссертационного Совета Д 002.067.01 в Институте прикладной астрономии РАН по адресу: 191187 С.-Петербург, наб. Кутузова, д. 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной астрономии РАН.

Автореферат разослан 26 августа 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук З.М.Малкин

Введение

Актуальность проблемы

Внегалактические радиоисточники являются самыми большими известными одиночными физическими структурами во Вселенной. Энергия, сконцентрированная в них в форме релятивистских частиц и магнитного поля, весьма велика и достигает величин порядка 10^{60} эрг и более. Происхождение и трансформация этой энергии от центра родительских галактик к областям радиоизлучения по сей день остается одной из наиболее загадочных проблем современной астрофизики. Радиоизображения с высоким угловым разрешением обычно демонстрируют очень компактную деталь, соответствующую активному ядру галактики (АЯГ), которая, предполагается, соответствует «центральной машине». Однако, несмотря на весьма впечатляющие результаты РСДБ-наблюдений последнего десятилетия, по-прежнему не удается разрешить эти «центральные машины». При наблюдениях на самых лучших системах синтеза реализуется разрешающая сила порядка долей миллисекунды дуги. Переменность же внегалактических объектов, например, на расстоянии Z=1, даже на масштабах сотен дней позволяет делать оценки переменных компонент с угловым разрешением около 10^{-2} миллисекунд дуги, что соответствует линейным размерам менее 1 *пк* [1]. Кроме того, РСДБ-исследованиям доступно весьма ограниченное число ярких в радиодиапазоне объектов.

Статистические свойства спектральных индексов радиоисточников являются важным инструментом как для понимания физики объектов, так и для исследования эволюции разных классов объектов и взаимосвязи между ними (радиогалактики, квазары, активные ядра галактик и др.). Информация о спектрах в широком диапазоне длин волн облегчает задачу как их последующего оптического отождествления, так и позволяет разделить объекты с плоскими и крутыми спектрами. Объекты с плоским спектром, ввиду их компактности, могут в последующем служить радиоастрометрическими стандартами, а также являются кандидатами для дальнейших интерферометрических исследований, тогда как объекты с крутым спектром являются кандидатами на предельно далекие галактики (красное смещение > 2). Данной проблеме посвящено большое количество работ. Однако, практически все измерения, проводимые в этой области,

[1] Оценки делались в предположении: Z имеет космологическую природу; H_0=50 $km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}$; $q_0 = 0.5$.

имеют существенный недостаток, так как при определении спектральных индексов используется компилятивный метод, используются результаты наблюдений, полученные на разных телескопах и в разные эпохи. Поскольку каждый отдельно взятый радиотелескоп работает в ограниченном диапазоне длин волн, определение спектров в широком диапазоне требует объединения усилий многих наблюдателей, использующих различные типы телескопов. Радиотелескопы могут иметь сильно отличающиеся характеристики. При проведении радиоизмерений антенна и радиометрический комплекс должны быть надежно прокалиброваны на каждой используемой длине волны. Обычно это достигается наблюдениями одного или нескольких источников, интенсивность которых известна в «абсолютной» шкале. Кроме всего перечисленного, наблюдения на разных инструментах, имея высокую внутреннюю точность, могут иметь большие систематические ошибки. Еще более актуальной становится эта проблема при исследованиях переменности плотностей потоков излучения. Переменность может вызываться многими причинами (среда распространения, микролинзирование, физическая переменность собственно в объекте) и ее проявления различны на разных длинах волн. Только одновременные наблюдения на одном инструменте в широком частотном диапазоне могут адекватно соответствовать разрешению этих задач.

Внегалактические источники, сами являясь объектами исследования, также представляют собой инструмент для космологических исследований. Их статистика и светимости, пространственная плотность позволяет делать оценки космологической эволюции Вселенной. Вместе с тем, радиоисточники являются фактором, препятствующим исследованию другого важнейшего компонента излучения Вселенной — космического микроволнового фонового излучения, известного в русскоязычной литературе как реликтовое излучение. И только точное знание их статистики и их спектральных свойств позволяет точно учитывать вклад фоновых радиоисточников в флуктуации реликтового излучения.

Кроме того, исследования мгновенных спектров внегалактических радиоисточников и их временны́х вариаций в широком частотном диапазоне являются одним из немногих средств наблюдательной астрономии в исследовании межзвездной среды.

При решении вышеуказанных проблем астрофизики радиотелескоп РАТАН - 600 является уникальным инструментом для проведения таких исследований по следующим причинам:

- Возможность получения мгновенного спектра в широком диапазоне длин волн (1.0–31 см). Построение спектров по данным измерений на разных инструментах и разные интервалы времени, кроме случайных ошибок, отягощено дополнительными ошибками (систематические ошибки, переменность принимаемого радиоизлучения). Наблюдения на РАТАН-600 либо полностью исключают эти ошибки, либо они — ошибки — становятся несущественными.

- Высокая координатная точность и высокая чувствительность измерений на РАТАН-600 позволяет уточнить координаты исследуемых источников, что в свою очередь является необходимым этапом для последующего исследования объектов (оптическое отождествление и др.).

Цели диссертации

- исследование переменности источников на разных временны́х масштабах. Наблюдения в широком частотном диапазоне (0.97–21.7 ГГц) дают возможность получить основные характеристики переменности: временну́ю шкалу, амплитуду переменности, спектр переменной составляющей и зависимость его амплитудно-частотных характеристик от времени;

- получение статистических параметров спектров радиоисточников;

- обнаружение интересных объектов, имеющих нестандартные характеристики как в радио, так и в оптическом диапазонах;

- обнаружение космологической эволюции квазаров. Для этого необходимо получить красные смещения большинства объектов, отождествленных с исследуемыми радиоисточниками;

- исследование характеристик радиотелескопа РАТАН-600 и повышение его параметров;

- создание, пополнение, сохранение наблюдательных данных радиотелескопа РАТАН-600 в континууме и организация доступа к ним.

Научная и практическая новизна работы

1. Впервые исследована переменность полной выборки объектов на основе многочастотных наблюдений на одном инструменте, что исключило возможные ошибки в определении прецизионных спектров из-за переменности объектов и/или систематических погрешностей, возникающих при измерениях на разных инструментах и в разные эпохи.

2. Обнаружены уникальные объекты, исследование которых продолжается как на РАТАН-600, так и на других инструментах (EVN, «Квазар», БТА)

3. Получен уникальный наблюдательный материал по быстрой переменности двух полных выборок для исследования физики объектов и межзвездной среды.

4. Измерены плотности потоков более 1100 внегалактических радиоисточников и определены их мгновенные спектры в широком диапазоне частот (0.96–21.7 ГГц).

5. Впервые проведен обзор ярких источников Северного Полюса Мира в широком частотном диапазоне.

6. Результаты методических исследований привели к увеличению потенциала радиотелескопа РАТАН-600.

7. Архив наблюдательных данных РАТАН-600 содержит наблюдательный материал более чем за 20 лет ($\sim$ 150000 многочастотных наблюдений), пополняется в режиме «on-line» текущими наблюдениями, организован доступ по электронному запросу.

Достоверность основных результатов

1. Результаты всех методических исследований привели к повышению потенциала РАТАН-600:

   - повышению точности определения плотностей потоков
   - повышению точности координатных измерений
   - увеличению времени накопления сигнала, что в свою очередь не только улучшило чувствительность инструмента, но и привело к появлению новых наблюдательных задач — исследование быстропеременных процессов, таких как мерцания в межпланетной

плазме, радиоизлучение пульсаров, исследование слабейших объектов в Солнечной системе.

и используются во всех наблюдательных программах, проводимых на радиотелескопе.

2. Все измеренные плотности потоков согласуются с известными в литературе данными или подтверждаются новыми наблюдениями.

3. Результаты определений плотностей потоков исследованных объектов вошли во всемирную базу астрономических данных ADS[2].

4. Архивный материал полностью соответствует наблюдательным данным, поступающим с системы сбора и регистрации радиометров континуума.

Апробация

Диссертация отражает содержание более 50 научных публикаций. Основные публикации перечислены в списке литературы. Основные результаты работы по теме диссертации докладывались на астрофизических семинарах и Ученых советах САО РАН, семинарах СПб Филиал САО, АКЦ ФИАН, кафедре астрономии КГУ, Theoretical Astrophysics Center (Копенгаген, Дания), MPIfR (Бонн, ФРГ), ASTRON (Нидерланды, Двингело), Jodrell Bank Observatory (Манчестер, Великобритания), на многих Всесоюзных и Всероссийских радиоастрономических конференциях, на конференциях в Пущино (1997, 1999, 2000, 2001, 2002), посвященных актуальным проблемам астрофизики. Доклады были представлены также на: IAU Symposium 109 «Astrometric Techniques», IAU Symposium No 159 «Active Galactic Nuclei across the Electromagnetic Spectrum», IAU Colloquium 164 «Radio Emission from Galactic and Extragalactic Compact Sources», IAU Symposium 175 «Extragalactic Radio Sources», IAU Symposium 179 «New Horizons from Multi-Wavelength Sky Surveys», IAU Colloquium 182 «Sources and Scintillations: Refraction and Scattering in Radio Astronomy», IAU Symposium 205 «Galaxies and their Constituents at the Highest Angular Resolutions», JENAM-97, XXIVth General Assembly of the URSI, The 2-nd EVN/JIVE Symposium, NATO Advanced Research Workshop on «Observational Tests of Inflation».

[2] The NASA **A**strophysics **D**ata **S**ystem

Основные положения, выносимые на защиту

1. Результаты методических исследований радиотелескопа РАТАН-600:

    - повышение точности определения плотностей потоков;
    - повышение точности координатных измерений;
    - увеличение времени накопления сигнала;
    - анализ и разработка основных принципов параметризации Архива наблюдательных данных.

2. Результаты исследований спектров полной по плотности потока выборки радиоисточников в зоне $03^\circ 30' - 06^\circ$.

    - для объектов с нормальными спектрами:

      спектры большинства источников ($\sim$ 70%) в рассматриваемом частотном диапазоне хорошо аппроксимируются логариф-мической прямой. Практически у всех этих источников нет отклонений от степенного закона вплоть до частоты 0.365 ГГц. Средний спектральный индекс этих объектов равен -0.86 ± 0.13;

      спектры 23% источников имеют тип C_- с уплощением в низкочастотной части спектра, вызванным синхротронным самопоглощением;

      спектры 9% источников имеют тип C_+ с уплощением на частотах выше 3.9 ГГц, что, возможно, связано с появлением компактной компоненты в этих источниках;

      линейную поляризацию со степенью поляризации более 5% имеют 8% источников;

      угловые размеры 30% источников превышают $10''$.

      Таким образом, у подавляющего большинства источников рассматриваемой выборки спектр хорошо описывается степенным законом в области высоких частот. Это свидетельствует, что компактные компоненты в этих источниках либо отсутствуют, либо их излучение не превышает нескольких процентов от излучения протяженной компоненты.

    - У объектов с плоскими спектрами

      вид спектра зависит от фазы активности, в которой находится радиоисточник в момент исследования, и от степени вклада протяженной и компактной компонент. Для 60 % источников удалось разделить протяженную и компактную компоненты. Распределение спектральных индексов протяженных компонент ($\overline{\alpha} = -0.87$) совпадает с аналогичным распределением для источников с нормальными спектрами.

источники с большими красными смещениями ($\overline{z} = 2.03$), как правило, не имеют значительной протяженной компоненты, имеют очень малый разброс частот максимумов, и у них не обнаружена переменность за полтора года.

подтверждена слабая корреляция между светимостью на частоте максимума L_{max} и частотой максимума ν_{max} в спектрах компактных компонент. Обосновано предположение, что существующая корреляция следствие независимости распределения источников по линейным размерам от светимости.

корреляции между L_{max} и параметром кривизны A, между параметром A и ν_{max} не обнаружены. Показано, что обнаруженные в работе [45] корреляции между указанными параметрами являются следствием эффектов селекции.

3. Результаты исследований спектров полной по плотности потока выборки радиоисточников в зоне $10° - 12°30'$.

   - Спектры 68% объектов с нормальными спектрами аппроксимируются прямой во всем диапазоне частот, спектры 28% источников имеют самопоглощение к низким частотам, 4 источника имеют спектры, уплощающиеся на высоких частотах, что, по-видимому, вызывается излучением компактных компонент с частотами максимумов выше исследуемого диапазона.

     60% *источников отождествлены* до 21 звездной величины: из них 52% галактики, среднее красное смещение $\overline{z} = 0.15$; 36% квазары ($\overline{z} = 1.21$); спектры 6 объектов еще не получены.

   - Для источников с плоскими спектрами:

     проведено разделение спектров на протяженную и компактную компоненту;

     для компактных компонент с максимумом до 25 ГГц в системе покоя источников не найдено статистически значимой корреляции между параметрами их спектров и абсолютными спектральными радиосветимостями;

вклад протяженной компоненты на частоте 0.97 ГГц для разных источников меняется от 0 до 100%;

86% *источников отождествляются с оптическими объектами:* из них 65% составляют квазары со средним красным смещением $\overline{z} = 1.41$, 12% — объекты типа BL Lac ($\overline{z} = 0.8$) и 13% — галактики ($\overline{z} = 0.26$), остальные объекты еще не классифицированы.

4. Результаты измерений красных смещений исследованных объектов в зоне склонений $03°30' - 06°$ и $10° - 12°30'$.

5. Результаты исследований долговре́менной переменности 0527+0331 и интерпретация этой переменности прецессией релятивистского джета.

6. Результаты измерений (плотности потоков в диапазоне частот 0.96–21.7 ГГц) более 1100 внегалактических радиоисточников и их мгновенные спектры.

7. Результаты исследований полной по плотности потока выборки объектов в районе Северного Полюса Мира ($+75° \leq Decl \leq +88°$):

   - впервые получены мгновенные спектры для 171 источника в частотном диапазоне 2.3–21.7 ГГц;
   - оценен вклад этих источников в интерферометрический обзор Джодрэл Бэнк по поиску флуктуаций реликтового излучения.

Личный вклад автора

В подавляющем большинстве наблюдательных работ, приведенных в разделе **«Публикации по теме диссертации»**, основной вклад принадлежит автору диссертации: постановка задачи, наблюдения, обработка, интерпретация результатов. В работах 3, 7, 14, 19, 34, 41 — методика наблюдений, сами наблюдения и их обработка; в работах 19, 23, 32, 33, 37, 42 — методика наблюдений и наблюдения. Вклад автора в анализ и разработку основных принципов параметризации Архива наблюдательных данных континуума и комплексной автоматизации всего процесса наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 отражен в работах 21, 22, 27–29, 43, 44, 48, 49. В работах автора, связанных с оптическими наблюдениями, наблюдательный материал получен со авторами из «Лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов» САО РАН, определения спектров и их интерпретация сделаны автором.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка цитируемой литературы (148 наименований). Она содержит 33 рисунка и 16 таблиц (двенадцать из них в приложении). Общий объем диссертации — 245 страниц.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы, задачи и методы, использованные в работе, отмечается научная новизна и практическая значимость ее результатов, дается краткое изложение содержания диссертации, указывается, где диссертация прошла апробацию и формулируются основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводятся результаты методических исследований радиотелескопа РАТАН-600.

Особенности радиотелескопа РАТАН-600 [9, 13, 14, 16, 17] позволяют при малых потерях сигнала из-за поперечных аберраций измерить плотности потоков радиоисточников в течение одного наблюдения на многих длинах волн (получить мгновенный спектр). В следствие того, что в системах Антенн Переменного Профиля (**АПП**) с изменением высоты источника над горизонтом меняется и фокусное расстояние, меняется и эффективная площадь, и аберрационное ослабление сигнала [11, 16]. Поскольку трудно подобрать опорный источник по указанным параметрам в такие же условия, что и исследуемый, удобнее оказалось получать эффективные площади (или калибровочный коэффициент *Ян/К* [3]), а коэффициенты ослабления из-за выноса первичного из электрической оси антенны измерять по сильным источникам или получать из теоретических расчетов [36].

Естественным желанием любого экспериментатора является получение значений измеряемых величин как можно с большей точностью. Повышение точности определения плотностей потоков в радиоастрономии кроме повышения точности определения физических параметров исследуемых объектов позволяет ставить новые типы задач, например, таких, как исследование переменности на разных временны́х масштабах. Напомним вкратце основные факторы, ограничивающие точность определения плотностей потоков при наблюдениях на радиотелескопе РАТАН-600:

[3] *Ян/К*, здесь *Ян* — плотность потока в Янских, а *К* — антенная температура в градусах Кельвина

1. точность установки элементов главного зеркала антенны;
2. точность установки вторичного зеркала в расчетный фокус;
3. отношение «сигнал/шум»;
4. стабильность приемной системы (усиление приемников, калибровочных сигналов и т.д.);
5. точность методов обработки наблюдений, к примеру, в нашем случае — точность выделения уровня «нуля» и аппроксимация кривой прохождения гауссианой;
6. поглощение в атмосфере;
7. внешние помехи (военные радары, телевидение, наземные и космические системы связи).
8. *переменность радиоизлучения*

Чаще всего бывает очень трудно или практически невозможно разделить вклад каждого из вышеуказанных факторов. Их вклад в разных частотных диапазонах обычно не одинаков, поэтому выписанная здесь очередность не отражает степени их важности. Однако, как бы ни было трудно разделить вклад разных факторов, уменьшение влияния любого из них приводит к улучшению результирующей точности.

Модернизация в 1988–1994 годах Автоматизированной Системы Управления (**АСУ**) главным отражателем радиотелескопа РАТАН-600, появление в обсерватории вычислительной техники с достаточно высоким объемом и скоростью работы носителей информации, создание развитой локальной вычислительной сети позволили решить проблему сбора и архивизации расписаний наблюдений и результатов установки антенны, а также достаточно быстрого и независимого использования данных, поступающих от АСУ антенной радиотелескопа, широким кругом пользователей обсерватории [10]. На сегодня сформировались три крупные области использования архива АСУ антенной:

- повышение достоверности и точности проводимых на радиотелескопе научных экспериментов за счет учета ошибок обусловленных установкой главного зеркала;

- анализ технического состояния радиотелескопа в разнообразных направлениях: от организационных до тонких технических структур.
- совершенствование эргономики инструмента по отношению ко всем его пользователям и службам.

Нами были проведены исследования влияния невыставленных щитов на антенную температуру наблюдаемых источников. Следствием невыставления отдельных щитов будет изменение диаграммы направленности антенны, приводящее к увеличению ее боковых лепестков и снижению максимума, а также энергетические потери, связанные с рассеиванием энергии на невыставленных щитах. Эксперименты показали, что учет даже 2-3 невыставленных щитов приводит к повышению точности определения плотностей потоков.

Следует отметить, что в рассмотренных нами примерах наблюдений обычно количество отказов (не установленных элементов) было не более трех элементов. Естественно, можно ожидать, что описанный метод будет еще более эффективным при большем количестве не установленных элементов. К сожалению, такая ситуация, например, может иметь место при резких перепадах температуры окружающей среды. В настоящее время (в программах прецизионных измерений) наблюдения, обычно проведенные при количестве отказов более 5-7 элементов, просто не используются при анализе материала.

Таким образом, наличие обратной связи в новой АСУ, а именно информации о положении не установленных в расчетное положение элементов главного отражателя и их учет, позволяет уже на этапе обработки наблюдений уменьшить вклад ошибок измерения плотностей потоков, обусловленных установкой главного зеркала [10].

В дальнейшем планируется автоматизация этого процесса, т.е. написание программ, выполняющих автоматическую выборку нужных параметров антенны из архива АСУ антенной, расчет K_{cor} и подключение их к служебным параметрам, хранимым в архиве совместно с исходными файлами наблюдений.

На Рис. 1 приведен пример наблюдений нескольких опорных объектов на длинах волн 2.7 см и 7.6 см, демонстрирующий точность определения плотностей потоков на РАТАН-600. Там же на рисунке приводятся как точности определения среднего (se) из N наблюдений, так и ошибка единичного измерения (sd) наблюдений. Видно, что точность единичного измерения плотностей потоков для достаточно сильных объектов составляет $\sim 1\%$.

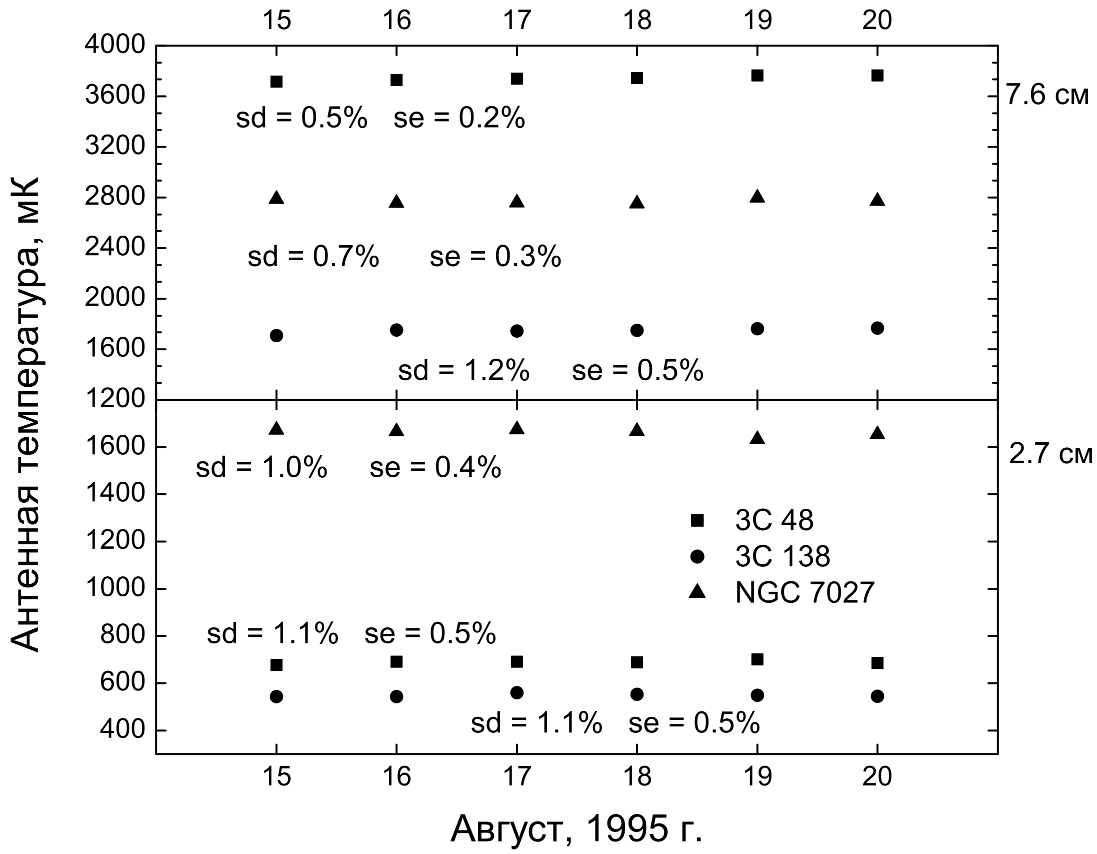

Рис. 1: Точности определения плотностей потоков на примере некоторых калибровочных объектов: здесь *sd* - ошибка единичного измерения *se* - стандартная ошибка среднего [38].

Высокая разрешающая сила и большая собирающая площадь РАТАН-600 позволяют использовать его в качестве инструмента для высокоточных позиционных наблюдений радиоисточников.

Диаграмма направленности (ДН) РАТАН-600 близка к ножевой, вытянутой в вертикальной плоскости. Такая форма ДН определяет основной принцип координатных измерений, заключающийся в регистрации момента прохождения радиоисточника через избранный вертикал на небесной сфере. При наблюдениях в меридиане радиотелескоп работает как пассажный инструмент, что позволяет использовать его для определения прямых восхождений. При этом оптимальными для точности измерений являются наблюдения в симметричных относительно меридиана азимутах с максимальным изменением позиционного угла [12, 13].

При определении координат радиоисточников на РАТАН-600 в общем случае используются различно ориентированные сектора антенны. Даже при наблюдениях в одном азимуте (например, при определении прямых восхождений в меридиане) нельзя гарантировать постоянство электрической оси системы, поскольку положение каждого отдельного элемента главного зеркала и положение вторичного зеркала на радиальных рельсовых путях будут изменяться в зависимости от высоты наблюдаемого объекта над горизонтом. В связи с этим при позиционных наблюдениях на РАТАН-000 более предпочтительны дифференциальные методы определения координат.

Основные причины, ограничивающие координатную точность при наблюдениях на радиотелескопе, следующие:

1. неповторяемость ориентации электрической оси системы от наблюдения к наблюдению;
2. недостаточно высокое отношение «сигнал/шум» (при наблюдении слабых радиоисточников);
3. «дрожание» изображения объекта из-за турбулуентности атмосферы;
4. возможные ошибки из-за термической деформации первичных рупоров или конструкций, на которых они закреплены.

В работе подробно рассмотрены все вышеперечисленные причины и изложены методы их учета и/или уменьшения их вклада. Следует отметить, что контроль и учет ориентации электрической оси системы приводит не только к повышению точности координатных измерений, но и к повышению точности при измерениях плотностей потоков.

Особое внимание уделено исследованию описанного в литературе эффекта «аномальной рефракции» [20]. Показано, что возможный эффект «аномальной рефракции» в условиях наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 отсутствует, либо имеет амплитуду существенно меньше, чем угловая секунда.

В § 1.3 описан метод увеличения времени экспозиции наблюдаемого объекта — метод «скольжения». Увеличение времени экспозиции космического источника позволяет повысить проницающую способность инструмента. Для неподвижных радиотелескопов время экспозиции можно увеличить за счет перемещения первичного облучателя в фокальной плоскости первичного зеркала в пределах допустимых аберраций [16]. На

Северном и Южном секторах радиотелескопа РАТАН-600, работающих в пассажном режиме, начиная с осени 1975 г. применяется метод «скольжения», основанный на увеличении времени накопления сигнала за счет движения первичного облучателя вдоль фокальной линии вторичного зеркала. Это привело к увеличению времени накопления сигнала до 100 секунд времени. На Рис. 2 приводится пример «скольжения».

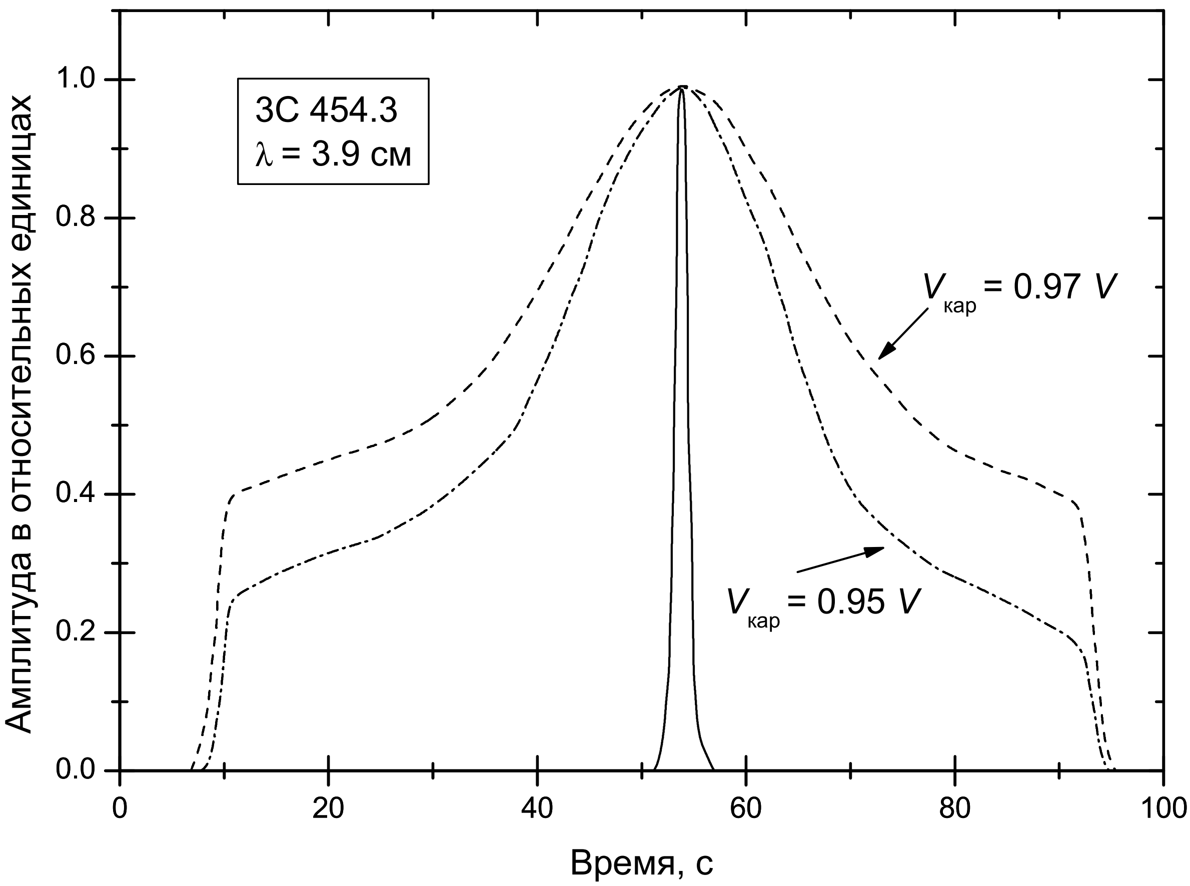

Рис. 2: Пример наблюдений в «скольжении» на длине волны 3.9 см квазара 3C 454.3 при разных относительных скоростях движения каретки и фокального пятна (изображения объекта): $V_{carr} = 0.97V$ — скорость каретки меньше скорости фокального пятна на 3%; $V_{carr} = 0.95V$ — скорость каретки меньше скорости фокального пятна на 5%. Для сравнения приведена диаграмма направленности при наблюдениях в режиме прохождения [38].

Применение этого метода позволило провести исследование таких предельно слабых объектов, как Галилеевские спутники Юпитера. Метод «скольжения» применялся также при изучении быстро-переменных процессов, как, например, мерцания радиоизлучения источников на неоднородностях солнечного ветра, исследование пульсара. Другим примером увеличения возможностей радиотелескопа РАТАН-600 с помощью «скольжения» является двумерный синтез и уменьшение эффекта насыщения в околополярной области. Для уменьшения влияния фонового излучения слабых радиоисточников необходимо уменьшить телесный угол диаграммы направленности. С помощью ножевой диаграммы Южного сектора РАТАН-600 сканировалась область неба $+15'$ вблизи полюса Мира на волне 7.6 см. Сканирование достигалось применением «скольжения». Суточное вращение Земли приводит к возможности восстановления двумерного изображения околополярной области с разрешением, эквивалентным круглой диаграмме с размером, т.е. с разрешением, равным горизонтальному размеру ножевой диаграммы. Ввод в эксплуатацию многоазимутального режима наблюдений на Южном секторе РАТАН-600 с Плоским отражателем [2] в сочетании со «скольжением» увеличивает наблюдательные возможности радиотелескопа РАТАН-600, а именно: существенно увеличивается время накопления сигнала, а также появляется возможность исследования переменных процессов практически на всех временных масштабах.

Обязательным элементом астрономических наблюдений является архивизация наблюдательных данных. Автор более 25 лет занимается этой проблемой. Первые наблюдения в континууме радиодиапазона были проведены на РАТАН–600 в 1974 г. с регистрацией выходных данных в аналоговой форме. В настоящее время локальный архив оцифрованных данных радиометров континуума охватывает более чем 20-летний период и включает результаты порядка 150000 многочастотных наблюдений общим объемом 24.4 Gb [33].

Как показал опыт, ключевым моментом при создании архивных баз является вопрос максимальной параметризации выходных данных систем сбора и регистрации. Чем в большей степени параметризованы данные, тем больше информации предоставляется радиоастроному для контроля многочисленных факторов, которые определяют условия проведения экспериментов, и последующей оптимизации всего наблюдательного процесса. С другой стороны, наличие широкого набора параметров позволяет использовать более гибкие процедуры доступа к архивным данным и, в конечном итоге, расширяет возможность процедур обработки хранимой информации.

Методология параметризации экспериментальных данных получила дальнейшее развитие в системе сбора нового поколения для радиометров континуума, которая была введена в рабочую эксплуатацию на Облучателе No 1 в 2002 г. Она основывается на разделении параметров на группы (радиометрические, антенные, метеорологические и т.д.), связанные с работой отдельных функционально ориентированных подсистем радиотелескопа, объединенных в интегрированную систему автоматизации подготовки и проведения наблюдений — USS (United Supporting System). Формальной базой для оптимальной параметризации данных является система локальных стандартов, определяющих не только правила разделения параметров на группы, статусы параметров по способу их формирования, типы значений, но и общую форму представления результатов наблюдений — самодокументированный FITS-подобный унифицированный формат. Введение строгих стандартов в этой области позволяет существенно расширить набор допустимых ключей поиска данных в архивных базах и распространить их на более широкие временные архивные интервалы. Однородность локального архива в этом плане значительно облегчает работу радиоастрономов и способствует оперативному получению окончательных астрофизических результатов.

Во второй главе приводятся результаты детальных исследований двух полных по плотности потока выборок. Первая выборка, полученная из Зеленчукского обзора на частоте 3.9 ГГц [7], содержит все источники с потоками $S_{3.9} > 200$ мЯн в области склонений $03°30' - 06°$ (B1950), прямые восхождения 0–24 часа, $|b| > 10°$. Выборка исследуется нами с 1984 г. и содержит 160 объектов.

Вторая выборка из каталога MGB на 4.85 ГГц [29] содержит все источники с плотностью потока $S_{4.85} > 200$ мЯн в области склонений $10° - 12°30'$ (J2000), прямые восхождения 0–24 часа, $|b| > 15°$. В выборке 154 объекта.

Выборки разделены на два под-класса по типу спектра (в области $\nu = 3.9 - 7.7$ ГГц):

- радиоисточники с нормальными спектрами ($\alpha < -0.5$, $S \propto \nu^{\alpha}$);
- объекты с плоскими спектрами ($\alpha > -0.5$, $S \propto \nu^{\alpha}$).

Радиоисточники с нормальными спектрами — это объекты, у которых подавляющий вклад в наблюдаемое излучение вносят протяженные внешние структуры с характерными размерами в сотни и более килопарсек.

Излучение компактных ядер, доминирующее у источников с плоскими спектрами, у этих объектов, как правило, пренебрежимо мало. Поэтому излучение этих источников постоянно на больших временны́х масштабах, сравнимых, по меньшей мере, со всей историей радиоастрономии. Изучение источников в широком диапазоне частот дает возможность детально исследовать их спектральные характеристики и получить ответы на ряд вопросов, в частности, насколько хорошо соблюдается степенной закон излучения. Отличие от него в области высоких частот указывает на заметный вклад компактных структур в общее излучение, завал на низких частотах характеризует угловые размеры протяженных структур. Поскольку исследовались полные по потоку выборки, полученные результаты дают реальное представление о классификации спектральных характеристик и, следовательно, о морфологии класса источников с нормальными спектрами.

Значительная часть радиоисточников с плоскими спектрами имеет сложную морфологию. К радиоисточникам с плоскими спектрами мы относим и объекты, спектры которых нельзя описать степенным законом в широком частотном диапазоне, но двухчастотный спектральный индекс которых в сантиметровом диапазоне > -0.5. У таких источников наряду с излучением протяженных внешних структур значительная, а зачастую и основная, часть излучения приходится на очень компактные структуры с угловыми размерами меньше угловой секунды. В ряде объектов компактные компоненты не разрешаются методами РСДБ на предельно достижимых на поверхности Земли базах. Компактные структуры отождествляются с активными ядрами галактик (АЯГ) и являются "центральными машинами", ответственными за феномен существования дискретных источников радиоизлучения.

Нестационарные процессы, происходящие в АЯГ, приводят к вариациям плотности потока радиоисточников на самых различных временны́х масштабах — от дней до десятков лет. После обнаружения в 1966 г. существования переменности дискретных источников [18, 26] это явление активно изучается во многих обсерваториях. Получены многолетние ряды наблюдений больших выборок радиоисточников в дециметровом [23], сантиметровом [21, 19] и миллиметровом [44] диапазонах. Проводятся и детальные изучения отдельных, наиболее выдающихся, представителей этого класса объектов (см., например, [43].

Для всех объектов выборок получены плотности потоков на шести частотах в диапазоне 0.97–21.7 ГГц. Наши исследования под-выборки объектов с ***нормальными*** ($\alpha < -0.5$, $S \propto \nu^{\alpha}$) спектрами показали, что у подавляющего большинства источников спектр хорошо описывается степенным законом в области высоких частот. Это свидетельствует, что компактные компоненты в этих источниках либо отсутствуют, либо их излучение не превышает нескольких процентов от излучения протяженной компоненты.

Для большинства объектов под-выборки радиоисточников с ***плоскими*** $\alpha > -0.5$ ($S \propto \nu^{\alpha}$) спектрами проведено разделение компонент спектров: спектр — протяженной компоненты и спектр — компактной. Успешность указанной процедуры подтверждает факт полного совпадения гистограмм распределения спектральных индексов для объектов с нормальными спектрами с таковыми для протяженных компонент объектов с плоскими спектрами.

Исследована долговременная переменность объектов. Получены и проанализированы зависимость переменности источников от формы их спектров, что, в свою очередь, отражает фазу активности и степень вклада в радиоизлучение протяженной и компактной компонент (вклад протяженной компоненты может меняться от 0 до 100%).

В § 2.4 приводятся результаты оптического отождествления и измерения красных смещений этих объектов. Значительное число объектов, отождествленных с источниками выборки, было классифицировано ранее. Все приведенные в дальнейшем красные смещения и типы объектов получены из каталога квазаров и активных галактик [46], из базы данных внегалактических источников NED[4] [32] и из наших работ. Наши оптические наблюдения проводились на двух инструментах:

- на 2.1-м телескопе OAGH (The Observatorio Astrofísico Guillermo Haro) в Кананеа, Мексика;
- на 6-м телескопе БТА САО РАН.

К настоящему времени проведено измерение красных смещений для большинства объектов. Например, для выборки $10^{\circ} - 12^{\circ}30'$ с оптическими объектами отождествлено 86% радиоисточников с плоскими спектрами и 59% источников с нормальными спектрами. Для 14 наиболее слабых источников, отождествленных с оптическими объектами, спектры еще не получены. Наблюдения продолжаются на БТА.

[4]NED — NASA/IPAC Extragalactic Data Base

В результате исследований этих выборок нами обнаружены уникальные объекты, имеющие нестандартные характеристики как в радио, так и в оптическом диапазонах. В частности, демонстрирующие выдающуюся переменность в радиодиапазоне на всех исследованных временны́х масштабах — от дней до нескольких лет. Ярким примером такого объекта является радиоисточник 0527+0331 (J2000.0). Источник наблюдается нами более 20 лет и имеет наибольшую амплитуду ***долговре́менной переменности*** из всех известных радиоисточников. С 1988 по 1999 гг. плотность потока на частоте 7.7 ГГц увеличилась почти в 20 раз. Спектр оптического объекта, с которым отождествлен радиоисточник, получен на БТА. Объект оказался лацертидой.

За время наблюдений обнаружены, по крайней мере, две вспышки этого объекта с характерными временами 4 и 1.5 года. Долговре́менная переменность коррелирована на частотах 21.7–2.3 ГГц. Во время максимума второй вспышки в начале 1998 г. наблюдалась переменность на временных масштабах 6-14 дней на частотах 21.7–2.3 ГГц. Вариации коррелированы на всех частотах, где можно установить характеристики переменности, в том числе и в оптически толстой области спектра. Предложен и обоснован механизм, объясняющий долговре́менную переменность.

Исследования обнаруженных уникальных объектов продолжаются:

- ведутся наблюдения и анализ данных переменности на коротких временны́х масштабах, включая наблюдения на других инструментах, например, на Европейской РСДБ сети (EVN), на РТФ-32 Института прикладной астрономии РАН;
- наблюдения объектов типа BLLac в разные фазы их активности на БТА с целью измерить красные смещения.

В третьей главе обсуждаются результаты исследований переменности выборки сильных внегалактических радиоисточников. Наблюдения были выполнены в 1995–1996 гг. на Северном секторе радиотелескопа РАТАН–600. Диапазон склонений составлял от -24°до 44°. Источники наблюдались в восемь серий на длинах волн 2.7, 3.9, 7.6, 13 и 31 см, а в некоторых сериях и на 1.38 см. Всего наблюдался 71 объект, из них 6 опорных источников.

Из 65 исследуемых радиоисточников 32 имеют плоские спектры (т.е. $\alpha > -0.5$), у 8 спектры крутые ($\alpha \leq$-0.5), а у остальных объектов выборки спектры сложные. При исследовании зависимости плотности потока радиоизлучения внегалактических объектов от частоты был выполнен расчет спектральных индексов $\alpha_{0.97}^{2.3}$, $\alpha_{2.3}^{3.9}$, $\alpha_{3.9}^{7.7}$ и $\alpha_{7.7}^{11.1}$ ($S \propto \nu^{\alpha}$), а также построены спектры. Как известно, плоские спектры характерны для компактных структур, а крутые — для протяженных областей. Оптическое отождествление показывает, что больше всего источников с плоскими спектрами — это лацертиды 13 (87%) из 15, на втором месте идут квазары 15 из 29, затем галактики 3 из 15 и один из 6 – это источники с пустым полем (EF). Что касается крутых спектров, то они характерны для 3 квазаров, 2 объектов с пустым полем и трех галактик. Источники с переменными индексами (т.е., для спектров которых на одних интервалах $\alpha > -0.5$, а на других $\alpha \leq -0.5$) включают 11 квазаров, 9 галактик, 3 объекта с пустым полем и 2 лацертиды.

В четвертой главе приводятся результаты исследований мгновенных спектров объектов из четырех полных выборок: из каталогов 87GB и PMN, источников вблизи Северного Полюса Мира и РСДБ-компактных ярких радиоисточников.

Знания спектров радиоисточников в широком частотном диапазоне, в особенности включая высокочастотные данные, важны по нескольким причинам. В последнее десятилетие был выделен новый класс радиоисточников с большими красными смещениями, которые вероятнее относятся к нормальным галактикам, чем к квазарам. Исследования в радиодиапазоне оказались наиболее эффективным инструментом для обнаружении таких предельных объектов, поскольку в оптическом диапазоне они весьма слабы. Известно, что радиоисточники с крутыми спектрами являются наиболе вероятными кандидатами при поиске галактик с красными смещениями более 2. С другой стороны, многочастотные спектры позволяют выделять объекты с плоскими спектрами или со спектрами с гигагерцовым пиком (GPS), которые являются компактными объектами и могут быть кандидатами для последующих интерферометрических исследований. И, наконец, многочастотные спектры в широком диапазоне дают информацию о физике исследуемых объектов, в особенности, о высокоэнергичных частицах, ответственных за радиоизлучение. И не в последнюю очередь, следует подчеркнуть важность получения мгновенных спектров, ибо их наличие исключает неоднозначность, которая может возникнуть при интерпретации переменных объектов.

Объекты из каталогов 87GB и PMN. Наблюдения проводились на Северном секторе радиотелескопа РАТАН-600 в течение нескольких сетов в режиме неподвижного фокуса [15]. Каждый объект наблюдался 5-8 раз и ошибка измерения плотностей потоков определялась как стандартное отклонение из N наблюдений.

Параметры выборки объектов из 87GB [28] следующие:

- $00^h \leqslant RA \leqslant 24^h$;
- $+03^\circ \leqslant Dec \leqslant +05^\circ$;
- $|b| > 10^\circ$;
- плотности потоков $\geqslant 200$ мЯн на частоте обзора Грин Бэнк 4.8 ГГц.

Параметры выборки объектов из PMN[5] [30] следующие:

- $00^h \leqslant RA \leqslant 24^h$;
- $-21^\circ \leqslant Dec \leqslant -17^\circ$;
- $|b| > 10^\circ$;
- плотности потоков $\geqslant 200$ мЯн на частоте обзора PMN 4.8 ГГц.

Всего исследовалась 112 из 87GB и 262 объекта из PMN. В результате получены мгновенные спектры всех объектов. Проведен анализ распределения спектральных индексов, в том числе с добавлением низкочастотных данных, взятых из Техасского обзора [27] на частоте 0.365 ГГц.

Благодаря высокой чувствительности и достаточно высокой разрешающей силе нам удалось заметно повысить точность определения прямых восхождений для исследованных объектов. Для большинства объектов точность для RA равна или лучше $0\overset{s}{.}1$, а для остальных — лучше $0\overset{s}{.}2$. Для оценки возможных систематических ошибок, измеренные нами значения прямых восхождений мы сравнили с данными исходных каталогов (87GB и PMN) и Техасского обзора. Возможные ошибки измерений намного меньше совокупных ошибок исходных данных и наших измерений. Например, $\Delta RA = RA_{RATAN} - RA_{PMN}$ равен $0\overset{s}{.}081$, а Техасского обзора — $-0\overset{s}{.}038$.

Радиоисточники в области Северного Полюса Мира (СПМ). Нами проведены наблюдения ярких радиоисточников в области СПМ на Южном

[5]PMN — The Parkes-MIT-NRAO Surveys

секторе радиотелескопа РАТАН-600 на частотах 2.3, 3.9, 7.7, 11.2 и 21.7 ГГц в диапазоне склонений $+75^\circ \leq \delta \leq +88^\circ$. Изначально предполагалось, что этот обзор будет проводиться в качестве дополнения к интерферометрическим наблюдениям излучения Галактики на 5 ГГц, проходившим в Джодрелл Бэнк в 1998-99 гг (Мелхьюш и др. [37]). Для того, чтобы получить информацию о излучении галактического синхротрона и свободно-свободной компоненты в исследуемой области, было необходимо определить плотности потоков точечных источников на 5 ГГц и вычесть их вклад из карты, синтезированной интерферометром.

До настоящего времени в области СПМ не проводилось глубоких обзоров на частотах выше чем 1.4 ГГц (NRAO VLA Sky Survey (NVSS),Condon et al. [25]). Обзор Гринбэнк на 5 ГГц (Gregory et al. [29]) включает области склонений не более $\delta = +75^\circ$. Ограниченная информация содержится в обзоре области $+88^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$ (Pauliny-Toth et al. [41]) и в каталоге ярких радиоисточников Кюра (Kuehr et al. [35]). К тому же, так как значительная часть (окло 20%) источников на 5 ГГц может иметь плоский спектр и быть переменными, одновременный обзор радиоисточников на этой же частоте был необходим. Верхний предел по склонению для этого обзора на РАТАН-600 был установлен в $+88^\circ$, так как телескоп работает в транзитном режиме, и данные в нём не могут быть получены близко к полюсу. В результате:

- были получены мгновенные спектры для 171 источника;
- проанализирована статистика спектров этих источников;
- оценен вклад фоновых источников в интерферометрический обзор Джодрелл Бэнк.

РСДБ-объекты. На РАТАНе проводится многолетняя программа исследования долговременной переменности РСДБ-объектов из списка Престона [42]. Эта программа содержит все объекты в диапазоне склонений от -30° до $+43^\circ$ с коррелированной плотностью потока более 0.1 Ян на длине волны 13 см. В настоящей работе приводятся результаты наблюдений на частотах 0.96, 2.3, 3.9, 7.7, 11.2 и 21.7 ГГц 550 компактных объектов в 1997–1998 гг. Радиотелескоп РАТАН-600 является единственным в мире инструментом, который позволяет получать мгновенные спектры (на масштабах времени менее одной минуты) в таком широком частотном спектре. Описываемые здесь наблюдения (и результаты) — часть долговременной программы мониторинга мгновенных спектров компактных внегалактических объектов, имеющих миллисекундные структуры и активно исследуемых методами РСДБ. Кроме того, наши наблюдения являются дополняющими в программах космических интерферометров: наземная поддержка идущих наблюдений в проекте VSOP [31, 34]; планируемые исследования в Проекте "Радиоастрон"[1]. На сегодняшний день список включает в себя более 1000 РСДБ-компактных внегалактических объектов. Конечная цель описываемых здесь исследований — поиск взаимосвязи между мгновенными спектрами (и их переменностью) и РСДБ-структурами.

В заключении формулируются основные результаты диссертации. С учетом современных задач астрофизики и существующих в мире инструментов проводится анализ потенциальных возможностей радиотелескопа РАТАН-600 в области наблюдательной радиоастрономии. Сделаны выводы о дальнейших путях совершенствования аппаратурных и методических возможностей РАТАН-600.

В приложении приведены таблицы с плотностями потоков всех обсуждаемых в настоящей диссертации объектов, а также вычисленные параметры их спектров.

Публикации по теме диссертации

1. Мингалиев М.Г., Пустильник С.А., Трушкин С.А., Киракосян Р.М., Малумян В.Г. Спектры некоторых переменных радиоисточников по наблюдениям на РАТАН-600. // Астрофизика, 1978, **14**, No 1, стр. 91-98.

2. Майзель В.А., Мингалиев М.Г., Пустильник С.А., Трушкин С.А. Дальнейшие наблюдения переменных радиоисточников на РАТАН-600. // Астрофизика, 1981, **17**, No 3, стр. 445-454.

3. Берлин А.Б., Гольнев В.Я., . . . , Мингалиев М.Г. и др. Мгновенный спектр 3C 84 по наблюдениям на 16 частотах на РАТАН-600. // Письма в Астрон. ж., 1980, **6**, No 10, стр. 617-619.

4. Шишова Т.Д., Мингалиев М.Г. Межпланетные мерцания радиоисточника 3C 279 по наблюдениям на РАТАН-600. // Письма в Астрон. ж., 1980, **6**, No 4, стр. 218-222.

5. Мингалиев М.Г., Петров З.Е., Филипенко В.И., Черков Л.Н. Метод "скольжения"на радиотелескопе РАТАН-600. // Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1985, **19**, стр. 76-80.

6. Алиакберов К.Д., Мингалиев М.Г., Наугольная М.Н. и др. Определение плотностей потоков радиоисточников на комплексе широкополосных радиометров сплошного спектра радиотелескопа РАТАН-600. // Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1985, **19**, стр. 60-65.

7. Афанасьева П.М., Мингалиев М. Г., Пожалов А.А., Фомин В.А. Определение прямых восхождений на РАТАН-600 в режиме скольжения. // Препринт САО АН СССР, 1985, 17Л.

8. Берлин А.Б., Есепкина Н.А., . . . , Мингалиев М. Г. и др. Наблюдения галилеевских спутников Юпитера. // Письма в Астрон. ж., 1976, **2**, No 8, стр. 405-409.

9. Афанасьева П.М., Фомин В.А., Зверев Ю.К., Мингалиев М. Г. и др. Экспериментальные определения прямых восхождений Меркурия на РАТАН-600. // Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1979, **11**, стр. 226-235.

10. Afanas'eva, P. M., Fomin, V. A., Zverev Yu.K., Mingaliev M.G., L'vov, V. N., Pozhalov A. A. The use of the RATAN-600 radio telescope in astrometry. // The Proc. IAU Simposium 109, 1986, p. 169-171.

11. Мингалиев М. Г., Черненков В.Н. К точности координатных измерений на РАТАН-600. // Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1991, **31**, стр. 153-162.

12. Мингалиев М.Г., Верходанов О.В., Хабрахманов А.Р. Зенитный обзор 1988 г. на РАТАН-600 на длине волны 8.0 см. // Письма в Астрон. ж., 1991, **17**, No 9, стр. 787-793.

13. Parijskij Yu.N., Verkhodanov O.V., ..., Mingaliev M.G. et al. RATAN-600 Radio Telescope in the "ZENITH"Mode. // Bull. Spec. Astrophys. Obs. 1994, **38**, p.58-102.

14. Mingaliev M. Centimeter-Wave Spectra of a Sample of Radio Sources from the 87GB Catalog. // Turkish J. of Physics. 1994. **18**, No 9. p. 898-902.

15. Mingaliev M. Anomalous Refraction at the RATAN-600. // Turkish J. of Physics. 1994, **18**, No 9. p. 920-925.

16. Мингалиев М., Хабрахманов А. Исследование мгновенных спектров выборки радиоисточников каталога 87GB. // Астрон. ж., 1995, **72**, No 1, с. 12-21.

    Mingaliev, M.; Khabrakhmanov, A. Spectroscopy of Sources from 87GB Catalog (Mingaliev+, 1995) // **1997yCat..80720012M**

17. Жеканис Г.В., Боташев А., Мингалиев М. Г. Первый опыт эксплуатации нового поколения АСУ РАТАН-600. // Докл. XXVI Радиоастрон. конф., СПБ, 1995. с. 374-375.

18. Ковалев Ю.А., Берлин А.Б.,..., Мингалиев М.Г., Амирханян В.А. Мгновенные спектры радиоизлучения в диапазоне 1-11 ГГц выборки 170 компактных внегалактических объектов в 1995 году. // Докл. XXVI Радиоастрон. конф. СПБ, 1995. с. 35-36.

19. Мингалиев М.Г., Столяров В. Наблюдения столкновения кометы Шумейкера-Леви с Юпитером на радиотелескопе РАТАН-600. // Письма в Астрон. журн. 1995. **21**, No 7. с. 541-544.

20. Кононов В.К., Мингалиев М. Г. Архив данных радиометров сплошного спектра радиотелескопа РАТАН-600: 1989-1995 гг. Нижний Архыз, 1996. стр. 1-13. // Препринт Спец. Астрофиз. Обсерватории РАН. **114Т**.

21. Боташев А.М. , Жеканис Г.В., Майорова Е.К., Мингалиев М. Г. Влияние и учет неустановленных элементов главного зеркала антенны РАТАН-600 при определении плотностей потоков дискретных радиоисточников. // Изв. ВУЗов Радиофизика, 1997. **XL**, No 11, с. 1378-1387.

22. Ковалев Ю.А., Нижельский Н.А., ..., Мингалиев М. Г. Первые результаты массового мониторинга мгновенных радиоспектров 600 РСДБ-компактных внегалактических объектов в 1997 году. // Докл. XXVII Радиоастрон. конф. "Проблемы современной радиоастрономии", **1**, С.-Петербург, 1997, с. 178-179.

23. Парийский Ю.Н. , Мингалиев М. Г., Хайкин В.Б. Хайкин и РАТАН-600 на пороге 21 века. // Докл. XXVII Радиоастрон. конф. "Проблемы современной радиоастрономии", **1**, С.-Петербург, 1997, с. 50-53.

24. Mingaliev M.G., Botashev A.M., and Stolyarov V.A. Simultaneous Spectra of Complete Sample of Sources from the PMN Survey. // Proc. IAU Symp. No.179 "New Horizons from Multiwavelength Sky Surveys", Eds. Brian J. McLean, Daniel A. Golombek etc. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, 1998, p. 139-141.

25. Mingaliev M., Botashev A., and Stolyarov V. Multi-Frequency Monitoring of a Sample of Extragalactic Radio Sources. // Proc. of IAU Collq. No. 164 "Radio Emission from Galactic and Extragalactic Compact Sources". Astronomical Society of the Pacific Conference Series, **144**, Eds. J.A. Zensus, G.B. Taylor, and J.M. Wrobel. 1998. p. 279-280.

26. Кононов В.К., Павлов С.В., Мингалиев М.Г., Верходанов О.В. Реорганизация архива наблюдательных данных радиометров континуума радиотелескопа РАТАН-600. // Нижний Архыз, 1998. 12 с. Препринт Спец. Астрофиз. Обсерватории РАН. **128Т**.

27. Кононов В.К., Мингалиев М.Г. Концепция банка наблюдательных радиотелескопа РАТАН-600. // Нижний Архыз, 1998. 40 с. Препринт Спец. Астрофиз. Обсерватории РАН. **129Т**.

28. Кононов В.К., Павлов С.В., Мингалиев М.Г., Верходанов О.В. Архивная база наблюдательных данных радиометров континуума радиотелескопа РАТАН-600. Текущее состояние. // Нижний Архыз, 1999. 29 с. Препринт Спец. Астрофиз. Обсерватории РАН. **131**.

29. Боташев А.М. , Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г. Мультичастотные спектры полной выборки радиоисточников с крутыми ($\alpha < -0.5$) спектральными индексами. // Астрон. ж.,.1999, **76**, No 10, стр. 723-728

30. Mingaliev M.G. , A.M. Botashev and V.A. Stolyarov Simultaneous spectra of complete sample of sources from the PMN survey. // Bull. Spec. Astrophys. Obs. 1998, **46**, p.28-61.

    Mingaliev, M. G. Botashev, A. M. Stolyarov, V. Complete sample of PMN survey spectra (Mingaliev+, 1998) // **A.2000yCatp011004601M**

31. Kovalev, Y. Y., Nizhelsky, N. A., . . . , Mingaliev, M. G., Bogdantsov, A. V. Survey of instantaneous 1-22 GHz spectra of 550 compact extragalactic objects with declinations from -30deg to +43deg. // Astron. and Astrophys. Suppl., **139**, No 3, 1999, p.545-554

    Kovalev, Y. Y., Nizhelsky, . . . , Mingaliev, M. G.; Bogdantsov, A.V. 1-22 GHz spectra survey (Kovalev+, 1999) // **1999yCat..41390545K**

32. Kovalev Y.A., Nizhelsky N.A., . . . , Mingaliev M.G., Bogdantsov A.V. Monitoring of 1-22 GHz Instantaneous Spectra of 550 Compact Extragalactic Objects in 1997-1998. // ASP Conf. Ser., 1999, IAU 194, pp.177-178.

33. Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г. Быстрая переменность плотности потока радиоисточника 0524+034. // Астрон. ж., 2000, **77**, No 3, стр. 188-197.

34. Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г. Анализ мгновенных спектров полной выборки радиоисточников со спектральными индексами $\alpha > -0.5$ (плоские спектры). // Астрон. ж., 2000, **77**, No 6, стр.407-419

    Gorshkov, A. G., Konnikova, V. K., Mingaliev, M. G. Flat-spectrum radio sources at 0.97-21.7GHz (Gorshkov+, 2000) // **2000yCat..80770407G**

35. Чавушян В., Муджика Р., . . . , Мингалиев М.Г. Оптические спектры четырех объектов, отождествленных с переменными радиоисточниками. // Письма в Астрон. ж., 2000, **26**, No 6, стр. 403-407

36. Kovalev, Y. Y.; Gorshkov, A. G.; Konnikova, V. K.; Mingaliev, M. G. A VLBI and broad band radio spectra study of the strongly variable extragalactic object 0524+034. // Proc. of IAU Symp. No 205, Manchester, UK, August 15-18, 2000. Ed. R. T. Schilizzi, 2001, p. 100.

37. В.Чавушян, Р.Мухика, А.Г.Горшков, В.К.Конникова, М.Г.Мингалиев, Х.Р.Валдес Радио и оптические спектры объектов из двух полных выборок радиоисточников. // Астрон. ж.,.2001, **78**, No 2, стр. 99-105

38. Mingaliev M.G., V.A. Stolyarov, R.D. Davies et al. Observations of the bright radio sources in North Celestial Pole region at the RATAN-600 radio telescope. // Astron. and Astrophys., 2001, **370**, p. 78-86 (более подробную версию статьи можно найти в *astro-ph/0102275*)

    Mingaliev, M. G.; Stolyarov, V. A.; Davies et al. RATAN-600 NCP bright radio sources (Mingaliev+, 2001) // **2001yCat..33700078M**

39. Gorshkov A.G., V.K.Konnikova, M.G.Mingaliev. Variability Observations of a Complete Sample of Flat-spectrum Radio Sources: preliminary results. // Astrophysics and Space Science. 2001, **278**, p.93-96.

40. Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г., Смирнова Т.В., Шишов В.И. Переменность внегалактических радиоисточников на коротких временных масштабах. // Тезисы докл. Всероссийской Астрономической Конф., СПБ, 2001. с. 50

41. Ковалев Ю.А., Ковалев Ю. Ю., ..., Мингалиев М.Г. Долговременное поведение многочастотных спектров 600 РСДБ-компактных внегалактических объектов в диапазоне 1-22 ГГц: наблюдения и анализ. // Тезисы докл. Всероссийской Астрономической Конф., СПБ, 2001. с. 92-93

42. Кононов В.К., Павлов С.В., Мингалиев М.Г., Верходанов О.В., Нижельская Е.К., Хубиева Н.В. ODA-R - банк наблюдательных данных радиотелескопа РАТАН-600. // Нижний Архыз, 2001. 31 с. Препринт Спец. Астрофиз. Обсерватории РАН. **164**.

43. Kononov V.K, Pavlov S.V, Mingaliev M.G. et al. ODA-R – the Bank of observational data of the radio telescope RATAN-600. The first version. // Bull. Spec. Astrophys. Obs. 2002, **53**, p.131-133.

44. Чавушян В., Р.Мухика, Х.Р.Валдес, А.Г.Горшков, В.К.Конникова, М.Г.Мингалиев. Классификация оптических отождествлений радиоисточников из полных выборок. III. // Астрон. ж., 2002, **79**, No 9, стр.771-777.

45. Жеканис Г.В., Кононов В.К., Мингалиев М.Г., Цыбулев П.Г. Концепция USS-комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений на

радиотелескопе РАТАН-600. // Нижний Архыз, 2002. 27 с. Препринт Спец. Астрофиз. Обсерватории РАН. **167**.

46. Мингалиев М.Г. РАТАН-600 – современное состояние и перспективы. // Тезисы докл. Конф. РТ-2002, Пущино, 2002. с. 80.

47. Zhekanis G.V., V.K. Kononov, M.G. Mingaliev , P.G. Tsybulev. USS — the project of a complex for automatization of preparing and making observations at the radio telescope RATAN-600. // Bull. Spec. Astrophys. Obs. 2003, **55**, p.133-145.

    Жеканис Г.В., Кононов В.К., Мингалиев М.Г., Цыбулев П.Г. Проект комплекса автоматизации подготовки и проведения наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600. // Тезисы докл. Конф. РТ-2002, Пущино, 2002. с. 47.

48. Кононов В.К., Павлов С.В., Мингалиев М.Г. и др. Централизованный Банк наблюдательных данных радиотелескопа РАТАН-600. // Тезисы докл. Конф. РТ-2002, Пущино, 2002. с. 56.

49. Богод В.М., Жеканис Г.В., Мингалиев М.Г. и др. Многоазимутальный режим наблюдений на Южном секторе РАТАН-600 с перископическим отражателем. // Тезисы докл. Конф. РТ-2002, Пущино, 2002. с. 24.

50. Горшков А.Г., В.К.Конникова, М.Г.Мингалиев. Радионаблюдения и оптические отождествления полной выборки радиоисточников в области склонений 10°—$12^{\circ}30'$ (J2000). // Препринт Спец. Астрофиз. Обсерватории РАН. **175**. (Астрон. ж., 2003, **80**, No 11)

51. Афанасьев В.Л., С.Н.Додонов, А.В.Моисеев, ..., М.Г.Мингалиев.Спектральные исследования радиоисточников в радио- и оптическом диапазонах. // Астрон. ж., 2003, **80**, No 6, с.499-507.

52. Kiikov, M.G. Mingaliev, V.A. Stolyarov, M.S. Stupalov. Variability of extragalactic radio sources from the results of multifrequency monitoring at RATAN-600. S.O. // Bull. Spec. Astrophys. Obs. 2002, **54**, p. 5-28.

53. Афанасьев, С.Н. Додонов, А.В. Моисеев, В. Чавушян, Р. Мухика, Я. Хуарес, А.Г. Горшков, В.К. Конникова, М.Г. Мингалиев. Исследование радиоисточников в оптическом и радиодипазонах. // Письма в АЖ, **29**, No 9, с.1-8 В.Л.

Цитируемая литература

[1] Андреянов В.В., Кардашев Н.С., Попов Н.В. и др // Астрон. ж., 1986, **63**, 850-855.

[2] Богод В.М., Жеканис Г.В., Мингалиев М.Г. и др. // Тезисы докл. Конф. РТ-2002, Пущино, 2002. с. 24.

[3] Верходанов О.В. // Препринт САО РАН, 1995, **106**, 57.

[4] Галактическая и внегалактическая радиоастрономия. М.: "Мир", 1976. Ред. Г.Л. Верскер и К.И. Келлерман. 620 с.

С-Петербург, 1997. **1**, С.176.

[5] Горшков А.Г., Хромов О.И. // Астрофиз. Исслед. (Изв. САО) 1981, **14**, С. 15.

[6] Горшков А.Г., Конникова В.К. // Астрон. ж. 1995, **72**, с.291.

[7] Горшков А.Г., Конникова В.К. // Астрон. ж. 1996, **73**, с. 351.

[8] Горшков А.Г., Конникова В.К. // Астрон. ж. 1997, **74**, с.374.

[9] Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. // Радиотелескопы и радиометры. М.: "Нука", 1976. 548 с.

[10] Жеканис Г.В., Боташев А., Мингалиев М. Г. // Тезисы докл. XXVI Радиоастрон. конф., СПБ, 1995. с. 374-375.

[11] Коржавин А.Н. // Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1977, **9**, с. 71-88.

[12] Львов В.Н. // Астрон.ж., 1980, **57**, с. 649-652.

Нижельский Р.А. // Отчет Спец. Астрофиз. обсерв. 1996. р. 57.

[13] Парийский Ю.Н., Шиврис О.Н. // Изв. ГАО, 1972, **188**, с. 13-39.

[14] Парийский Ю.Н., Шиврис О.Н., Корольков Д.В. и др. // Изв. ВУЗов Радиофизика, 1976, **19**, с. 1581-1593.

[15] Соболева Н.С., Темирова А.В., Пятунина Т.Б. // Препринт Спец. Астрофиз. обсерв. РАН. 1986. **32Л**, 22 с.

[16] Стоцкий А.А. // Изв. ГАО, 1972, **188**, с. 63-76.

[17] Хайкин С.Э., Парийский Ю.Н., Есепкина Н.А. // Изв. ГАО, 1972, **188**, с. 3-11

[18] Шоломицкий Г.Б. // IAU Bull. on Variable Star. 1965, **83**, p. 1.

[19] Aller H. D., Aller M. E., Latimer G. E., Hodge P. E. // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1985, **59**. P.513.

[20] Altenhoff W.J., Baars J.W.M, Downes D. et al. // Astron. and Astrophys. 1987, **184**, p. 381-385.

[21] Andrew B. H., MacLeod J. M., Harvey G. A., Medd W. J. // Astron. J. 1978, **83**, P. 863.

[22] Blandford R.D., Kongil A. // Astrophys. J., 1979, **232**, P. 34.

[23] Bondi M., Padrielli L., Fanti R. et al. // Astron. & Astrophys. Suppl. Ser. 1996. **120**, P. 89.

[24] Browne I.W.A. // Monthly Notices Roy.Astron.Soc. 1998, **293**, P.257.

[25] Condon J.J., Cotton W.D., Greisen E.W., et al. // 1998, Astron. J. **115**, 1693

[26] Dent W. A. // Science. 1965, **148**, 1458.

[27] Douglas J.N. // Bull. Amer. Astron. Soc. 1987, **19**, P. 1048.

[28] Gregory P.C., Condon J.J. // Astrophys. J. Suppl. Ser., 1991, **75**.,. P. 1011.

[29] Gregory P.C., Scott W.K., Douglas K., Condon J.J. // Astrophys. JS, 1996, **103**, 427

[30] Griffith M.R., Wright A.E., Burke B.F., and Ekers R.D. // Astrophys. J., 1994, **90**, p.179

[31] Hirababyashi H., Fomalont E.B. et al. //Publ. Astron. Soc Japan, 2000, **52**, p. 997-1014.

[32] http:// nedwww.ipac.caltech.edu

[33] Kononov V.K., Pavlov S.V., Mingaliev M.G., Verkhodanov O.V., Nizhelskaya E.K., Khubieva N.V. // ODA–R — the Bank of observational data of the radiotelescope RATAN–600. The first version, Bull. Spec. Astrophys. Obs., **53**, 131

[34] Kovalev Yu.A., Kovalev, Y. Y., Nizhelsky N.A. // Publ. Astron. Soc Japan, 2000, **52**, p. 1027-1036.

[35] Kuehr H., Witzel A., Pauliny-Toth I.I.K., Nauber U. // Astron. and Astrophys. Suppl., 1981, **45**, 367

[36] Majorova E.K., Trushkin S.A. // Bull.SAO, 2002, **54**, p.89-122

[37] Melhuish S.J., Davies R.D., Mingaliev M.G., Stolyarov V.A. // 2003, in preparation

[38] Mingaliev M., Botashev A., and Stolyarov V. // Proc. of IAU Collq. No. 164 "Radio Emission from Galactic and Extragalactic Compact Sources". Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Volume 144, Eds. J.A. Zensus, G.B. Taylor, and J.M. Wrobel. 1998. p. 279-280.

[39] Mingaliev M., Botashev A., Stolyarov V. // 1998. In: IAU Colloquium 164: Radio Emission from Galactic and Extragalactic Compact Sources, eds. Zensus J.A., Taylor G.B., Wrobel J.M., ASP Conf. Series, **144**, 279

[40] O'Dea C.P. // Publ. Astron. Soc. Pacif., 1998, **110**, p. 493.

[41] Pauliny-Toth I.I.K., Witzel A., Preuss E., Baldwin J.E., Hills R.E. // Astron. and Astrophys. Suppl., 1978, **34**, 253

[42] Preston R.A., Morabito D.D., Williams J.G. et al. // Astron. J., 1985, **90**, 1599.

[43] Romero G. T., Surpi G., Vicetich H., // Astron and Astrophys., 1995, **301**, P. 64.

[44] Terasranta H., Tornikoski M., Valtaoja E. et al. // Astron. and Astrophys. Suppl., 1992, **94**, p. 121.

[45] 18. Valtaoja E.,Haarala S., Lehto H et al. // Astron. and Astrophys., 1988, **203**, p. 1.

[46] Veron-Cetty M.P., Veron P. "Quasars and Active Galactic Nuclei (8th Ed.)"// ESO Scientific Report, 1998, **18**.

Бесплатно

Отпечатано в типографии
Специальной астрофизической обсерватории РАН
369167 пос.Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская республика, Россия
Заказ *No* 134с. Уч.-изд. л. 2. Тираж 100 экз.