

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

УДК 524.7-77:52-14

Кудряшова Анастасия Алексеевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ
ИСТОЧНИКОВ В ОБЗОРАХ НЕБА НА
РАТАН-600**

Специальность 1.3.1 —
«Физика космоса, астрономия»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

п. Нижний Архыз — 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук

Научный руководитель: Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник САО РАН
Бурсов Николай Николаевич

Официальные оппоненты: **Кузнецов Алексей Алексеевич**,
доктор физико-математических наук,
ИСЗФ СО РАН,
заведующий лабораторией
Бутузова Марина Сергеевна,
кандидат физико-математических наук,
КрАО РАН,
старший научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Защита состоится 24 ноября 2025 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета 24.1.212.01 при САО РАН по адресу: 369167 САО РАН, пос. Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика, Россия .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан ____ сентября 2025 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

24.1.212.01, канд. физ.-мат. наук

Шолухова Ольга Николаевна

Общая характеристика работы

Актуальность Радиообзоры неба и дальнейшее изучение источников являются эффективным методом наблюдательной астрономии. Реализация слепых радиообзоров является трудоемкой задачей, связанной с длительными всепогодными наблюдениями и рядом методических сложностей, таких как калибровка измерений по спектральной плотности потока и обработка больших объёмов данных. Среди первых больших обзоров можно выделить Кембриджские обзоры: обзор 1959 года 3С [1] на частоте 159 МГц и обзор 1965-1967 годов, 4С на 178 МГц [2; 3]. Более поздние обзоры проведены в 60-70-х годах на австралийском телескопе в Парксе [4] на 408 и 2700 МГц, а также в 1986-1987 годах на 90-метровом параболоиде обсерватории NRAO Green Bank GB6 [5] на 4.85 ГГц. Значительный вклад в изучение радиоисточников внесли большие высокоточные обзоры неба NVSS [6] и FIRST [7], проведенные в NRAO на радиоинтерферометре VLA (Very Large Array) на 1.4 ГГц в конце прошлого века.

Среди крупных современных радиообзоров можно отметить TGSS [8], проведённый на индийском радиотелескопе метрового диапазона (GMRT - Giant Metrewave Radio Telescope) на частоте 150 МГц в 2010-2012 годах; обзор GLEAM (Galactic and Extra-Galactic All-Sky MWA Survey) [9], выполненный на 20 частотах в диапазоне 72-231 МГц австралийского телескопа MWA в 2013-2014 годах; обзор NRAO VLASS [10], который проводится с 2017 г. на 2-4 ГГц.

Как правило, целью радиообзоров является составление каталогов источников на различных частотах, получение кривых блеска радиоизлучения на разных временных масштабах для исследования механизмов и процессов, происходящих в объектах. С увеличением чувствительности современных радиотелескопов и совершенствованием методов измерений и обработки обнаруживаются популяции всё более слабых радиоисточников.

В СССР первый поисковый радиообзор был проведен в Крымской астрофизической обсерватории на радиотелескопе РТ-22 в 1969 г. на частоте 10 ГГц [11]. На радиотелескопе РАТАН-600 [12] было проведено несколько крупных обзоров неба: глубокие обзоры «Холод» в 1980-1981 годах на 3.9 ГГц [13], в результате которого был получен РС каталог радиоисточников с рекордной на тот момент чувствительностью по спектральной плотности потока 4 мЯн и

обнаружено порядка тысячи объектов, среди которых преобладали квазары и мощные радиогалактики [14—17]; Зеленчукский обзор области $0^\circ < \text{Dec} < 14^\circ$ в 1984-1990 годах на 3.9-11.2 ГГц [18]. Следующими были обзоры двухградусной околосенитной области неба «Зенит» ($\text{R.A.} = 0^h - 24^h$, $\text{Dec} = 41.5^\circ \pm 1^\circ$) на склонении источника 3C 84, которые проводились в течение 10 лет [19; 20]. В результате был получен RZF (RATAN-600 Zenith Field) каталог 437 радиоисточников на 3.9 ГГц с чувствительностью 2.5 мЯн [21] и были приведены оценки мощности свободно-свободного и синхротронного излучения Галактики на средних и мелких масштабах $500 < l < 1000$ [22].

Из работ Ю.Н. Парийского известно, что квазары и мощные радиогалактики преобладают среди наблюдаемых в радиоконтинууме источников со спектральной плотностью потока в сантиметровой области спектра выше нескольких мЯн [23]. Среди программ наблюдений активных ядер галактик (АЯГ) в радиодиапазоне выделяются: долговременный мониторинг, проводимый с 1980 г. на частотах 4.8-230 ГГц обсерваторией Метсахови [24; 25]; программа мониторинга блазаров с 2007 года на 15 ГГц в обсерватории в Оуэнс Вэлли [26]; трехчастотный мониторинг источников в обсерватории университета Мичигана на 4.8, 8.0 и 14.5 ГГц стартовавший в 1965 году [27]; мониторинг выборки 149 источников на радиоинтерферометре Green Bank в 1979-1996 годах на 2.3 и 8.3 ГГц [28].

Одним из эффективных способов изучения процессов, происходящих в АЯГ, являются многоволновые исследования переменности излучения на различных временных масштабах. В анализе долговременных и многочастотных кривых блеска АЯГ оцениваются: временной масштаб и уровень вариаций излучения, взаимные корреляции, временные задержки активности и изменение спектрального индекса. Оценка характерных временных масштабов вспышек и их задержек в различных частотных диапазонах даёт возможность найти взаимосвязь между пространственно разнесёнными областями переменного излучения АЯГ [29—32].

Переменность радиоизлучения АЯГ известна с 1965 года [33—35]. В 1966 году ван дер Лаан описал модель однородного сферического адиабатически расширяющегося с нерелятивистскими скоростями синхротронного радиоисточника [36]; случай релятивистского расширения был впервые рассмотрен Рисом в 1967 году [37]. Однако после обнаружения струйных выбро-

сов (СВ) из АЯГ появилось множество моделей развития радиоизлучения СВ при нестационарной аккреции вещества на сверхмассивную черную дыру (СМЧД). Модель прецессирующего джета описывает наблюдаемую переменность спектрального распределения энергии излучения АЯГ в результате переменного Допплер-фактора из-за изменения угла ориентации релятивистского джета [38—41].

Радиотелескоп РАТАН-600 хорошо подходит для долговременного и многочастотного мониторинга, его главным преимуществом является измерение мгновенных радиоспектров космических объектов на частотах от 1 до 30 ГГц [12; 42]. Чувствительность РАТАН-600 по спектральной плотности потока на размер луча варьируется в диапазоне от 5 до 200 мЯн в зависимости от частоты на средних углах при отсутствии помех и хороших погодных условиях.¹

Регулярный многочастотный мониторинг АЯГ проводится на РАТАН-600 с середины 90-х годов прошлого века [43—46]. Кривые блеска более 1700 блазаров, наблюдаемых массово с 2004 г., представлены в интерактивном каталоге BLcat [47; 48], доступном на сайте САО РАН.² В этом каталоге на 2022 год среднее число измерений составляет 17. Блазары и их классификация заимствованы из обширного каталога блазаров Roma-BZCAT, который содержит 3561 АЯГ [49; 50]. Около 20% блазаров этого каталога имеют менее 20 измерений в радиоконтинууме за всё время наблюдений, то есть регулярные долговременные многочастотные данные имеются для ограниченного числа блазаров.

С 2017 года на Западном секторе РАТАН-600 проводятся обзоры неба на разных склонениях на частотах 2.3 и 4.7 ГГц с целью поиска быстрых радиовсплесков [51]. Каждый из проведённых обзоров длился около одного года. В таких обзорах неба при неподвижной антенне с относительно большой диаграммой направленности можно проводить ежедневные измерения большого числа источников в течение одного года, и таким образом получать непрерывные кривые блеска с точностью в несколько процентов для объектов с плотностью потока выше 1 Ян.

Таким образом, был проведён мониторинг 205 источников с $S_\nu > 15$ мЯн в обзоре на склонении пульсара в Крабовидной туманности и была ис-

¹<https://www.sao.ru/hq/Komitet/CircLet2024-R600.pdf>

²<https://www.sao.ru/blcat/>

следована переменность радиоизлучения двух ярких блазаров АО 0235+164 и PKS 1614+051 в течение года, каждый.

В настоящей работе представлены результаты исследований АЯГ, в том числе блазаров, из трёх обзоров с 2018 по 2022 год.

Целью работы является изучение радиосвойств АЯГ на основе данных круглосуточных обзоров неба на Западном секторе РАТАН-600.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Проведение круглосуточных обзоров неба на штатных радиометрах на разных склонениях.
2. Разработка алгоритмов и программ обработки и калибровки измерений, полученных в обзорах в режиме неподвижной антенны, с учётом параметров диаграммы направленности и усиления радиометров.
3. Обработка больших массивов данных для каждого радиометра в условиях электромагнитных помех. Измерение спектральных плотностей потоков исследуемых источников и построение их кривых блеска.
4. Кросс-идентификация исследуемых источников с объектами радио- и оптических каталогов, компиляция радиоспектров в широком диапазоне частот, анализ спектральных свойств источников и статистика свойств выборки объектов.
5. Анализ свойств переменности радиоизлучения: временного масштаба, смещения по времени между частотами, периодичности, влияния мерцания на межзвёздной среде на наблюдаемый уровень переменности.
6. Сравнение полученных результатов с данными из опубликованных работ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. На основе разработанной методики обработки наблюдений радиоисточников в обзорах на Западном секторе РАТАН-600 в режиме неподвижной антенны измерено 6080 плотностей потоков излучения на 4.7 ГГц с точностью 2 - 7 %.

2. В результате обработки обзора на 4.7 ГГц на склонении пульсара в Крабовидной туманности в 2018-2019 годах составлен новый каталог измерений спектральных плотностей потоков 205 радиоисточников с уровнем потока $S_{4.7} > 15$ мЯн. Для 50 объектов измерения выполнены впервые на частотах $\nu \geq 4.7$ ГГц. Для всех объектов впервые построены кривые блеска с осреднением записей за каждый месяц наблюдений; для 26 наиболее ярких источников с $\bar{S}_{4.7} = 250$ мЯн измерены кривые блеска с трёхдневным осреднением данных.
3. В результате анализа переменности излучения 205 радиоисточников показано, что плотность потока излучения блазара В2 1324+224 увеличилась в два раза на масштабе одного года наблюдений, у остальных объектов изменение уровня излучения было в среднем 20%. Показано, что наименьшую радиосветимость имеют галактики и объекты неопределённого типа, а наибольшую — блазары и квазары.
4. В результате анализа суточной кривой блеска в 2019-2020 годах блазара PKS 1614+051 на 4.7 ГГц показано, что источник был слабо переменным. Измерен временной масштаб переменности радиоизлучения в системе источника $\tau \approx 25$ дней, что предполагает высокую компактность (малая доля парсека) излучающей области.
5. В результате ежедневных измерений плотности потока блазара АО 0235+164 в 2021-2022 годах на 2.3 и 4.7 ГГц на склоне яркой вспышки были впервые обнаружены три повторные вспышки меньшей амплитуды. Их временной масштаб составил 57 дней в системе источника, что вносит ограничение на размер излучающей области $R \ll 1$ пк. Обнаружена задержка максимумов излучения этих вспышек между 2.3 и 4.7 ГГц, равная 7 дням, что соответствует расстоянию $D < 0.1$ пк между областями генерации излучения.

Научная новизна:

1. Методика обработки и калибровки континуальных измерений, представленная в настоящей работе, является новой для обзоров на Западном секторе РАТАН-600 в режиме фиксированной высоты наблюдений.

2. Составление нового каталога измерений с месячным и годовым осреднением плотностей потоков для 205 АЯГ на частоте 4.7 ГГц. Измерения для четверти источников в высокочастотной области спектра ($\nu \geq 4.7$ ГГц) выполнены впервые.
3. Для 26 наиболее ярких источников впервые измерены средние спектральные плотности потока за каждые три дня в течение года наблюдений. Впервые измерены плотности потоков радиоизлучения блазара PKS 1614+051 на 4.7 ГГц в период 2019–2020 годов и впервые обнаружен временной масштаб переменности радиоизлучения 25 дней в системе отсчёта источника.
4. Впервые выполнены ежедневные измерения плотностей потоков блазара АО 0235+164 на частотах 2.3 и 4.7 ГГц в период 2021–2022 годов. Впервые обнаружены три повторные вспышки на обеих частотах с временным масштабом переменности около 57 дней в системе источника.

Практическая значимость Разработанный новый алгоритм обработки измерений на РАТАН-600 может использоваться в рамках новых наблюдательных программ на Западном секторе телескопа с использованием многолучевого комплекса диапазона 4.7 ГГц с высоким временным разрешением. Новые ежедневные измерения 205 радиоисточников размещены в открытых базах данных (<https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR>) и являются ценным материалом для дальнейших исследований природы излучения космических объектов. Ежедневные измерения АО 0235+164 и PKS 1614+051 могут быть использованы в дальнейшем исследовании и интерпретации механизмов переменности нетеплового излучения в блазарах, и прежде всего на коротких временных масштабах.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на семинарах САО РАН и в следующих докладах на всероссийских конференциях:

1. Методика обработки обзоров на РАТАН-600 при неподвижной антенне, Всероссийская астрономическая конференция, устный доклад, 2021 год.

2. Исследование выборки ярких источников в наблюдениях на западном секторе РАТАН-600, Многоликая Вселенная: теория и наблюдения, устный доклад, 2022 год.
3. Обзор неба и исследование радиоисточников обнаруженных на склонении $3C\ 84$ в наблюдениях 2011-2012 гг, Многоликая Вселенная: теория и наблюдения, постерный доклад, 2022 год.
4. Свойства источников выборки, наблюдаемых в обзорах неба на РАТАН-600, Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра, все-российская, постерный доклад, 2022 год.
5. Методика обработки обзора неба на склонении Крабовидной туманности на РАТАН-600, Современные инструменты и методы в астрономии, устный доклад, 2023 год.
6. Радиоисточники обзора на склонении пульсара в Крабовидной туманности ($\delta = +22^\circ$), Конкурс-конференция САО РАН, 2024, устный доклад.
7. Исследование суточной переменности радиоизлучения блазаров в обзорах на РАТАН-600, Всероссийская научная конференция «Современная наблюдательная космология», устный доклад, 2025 год.

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие в обработке измерений и интерпретации полученных результатов, отладке новой методики обработки. Автор принимал в соавторстве участие в: расчёте радиосветимости и радиогромкости источников в работе [8]; в оценке масштабов переменности в работе [5] в оценке уровня и масштабов переменности радиоизлучения блазаров АО 0235+164 и PKS 1614+051 с учетом межзвездного мерцания в работах [7] и [9]. В работе [6] автором осуществлен сбор всех доступных радиоизмерений источников в базе данных CATS; проведён поиск доступной информации по радиоисточникам в базах данных SIMBAD, NED, Roma-BZCAT; выполнил кросс-идентификацию источников с источниками оптическими каталогами в SDSS (DR16), Gaia (DR3) Extragalactic, Pan-STARRS и с источниками инфракрасного каталога 2MASS; рассчитал радиосветимость. Автор по всем задачам работал с литературными данными с последующим обзором затронутых проблем в работе. Во всех работах принимал участие в обсуждении полученных результатов.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 9 печатных изданиях, 5 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из Введения, четырёх Глав, Заключения и Приложений. Полный объём диссертации составляет 158 страниц с 45 рисунками и 10 таблицами. Список литературы содержит 185 наименований.

Во **Введении** обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме. Формулируется цель, ставятся задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы. Описан личный вклад автора в проведённые исследования.

Первая глава посвящена методике обработки данных обзоров на Западном секторе РАТАН-600. Основные характеристики и особенности обзоров с неподвижной антенной описаны в разделе 1.1. Параметры антенны и приёмников, используемых в наблюдениях описаны в разделе 1.2. Математические методы обработки данных, используемые в диссертации описаны в разделе 1.4.

Вторая глава Посвящена исследованию выборки 205 наиболее ярких источников с $S/N > 50$ обзора на склонении пульсара в Крабовидной туманности. Обзор проводился в 2018-2019 гг. В разделе 2.1 дано краткое описание обзора на склонении пульсара в Крабовидной туманности и описаны каталоги полученных измерений спектральных плотностей потоков на 4.7 ГГц. В разделе 2.2 даны спектральные характеристики полученной выборки радиоисточников. В разделе 2.3 приведён анализ уровня переменности радиоисточников за год наблюдений. В разделе 2.4 описаны проведённые оптические отождествления. В разделе 2.5 проанализирована радиосветимость изучаемых объектов.

Третья глава посвящена исследованию далёкого HFR квазара PKS 1614+051 на $z = 3.21$ [52]. В разделе 3.1 описано современное представление о HFR радиоисточниках. В разделе 3.2 описан механизм формирования пикового радиоспектра. В разделе 3.3 описан объект исследования PKS 1614+051. В разделе 3.4 описаны ежедневные наблюдения

PKS 1614+051, полученные в рамках настоящего исследования. В разделе 3.5 описаны свойства переменности объекта в ежедневных наблюдениях. В разделе 3.6 приводится оценка возможного влияния вклада мерцаний на межзвёздной среде на наблюдаемый уровень переменности.

Четвёртая глава посвящена исследованию яркого экстремально компактным блазара [53—55] АО 0235+164 с красным смещением $z = 0.94$ [56]. В разделе 4.1 дано описание объекта, особенностей его угловой структуры и излучения. В разделе 4.2 описаны наблюдения АО 0235+164, полученные в рамках настоящего диссертационного исследования. В разделе 4.3 описано исследование переменности плотности потока излучения во время наблюдений. В разделе 4.4 описывается возможная связь между вспышками и изменениями в угловой структуре в литературных РСДБ-картах. В разделе 4.5 приводится оценка возможного вклада мерцаний на межзвёздной среде на наблюдаемый уровень переменности.

Заключение подытоживает все полученные результаты в рамках данной работы.

Публикации автора по теме диссертации

1. *Kudryashova A. A., Bursov N. N., Trushkin S. A.* Study of a bright sources sample in the RATAN-600 Western sector observations // The Multifaceted Universe: Theory and Observations - 2022. — 2022.
2. *Kudryashova A. A., Bursov N. N.* Method of processing data obtained during RATAN-600 West sector surveys with static antenna // Astronomy at the Epoch of Multimessenger Studies. — 2022.
3. Detected Sources from the Sensitive Survey at the Declination of the Crab Nebula (22°) / N. Bursov [и др.] // Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century / под ред. I. I. Romanyuk [и др.]. — 12.2020. — с. 424—427. — DOI: [10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_424](https://doi.org/10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_424).
4. *Бурсов Н., Кудряшова А.* Методика обработки обзора неба на склонении Крабовидной туманности на РАТАН-600 // Известия Крымской астрофизической обсерватории. — 2024. — июнь. — т. 120, № 2. — с. 30—35. — URL: <https://jncrao.ru/index.php/izvcrao/article/view/1138>.
5. High-Redshift Quasars at $z > 3$: Radio Variability and MPS/GPS Candidates / Y. Sotnikova [и др.] // Galaxies. — 2024. — май. — т. 12, № 3. — с. 25. — DOI: [10.3390/galaxies12030025](https://doi.org/10.3390/galaxies12030025). — arXiv: [2406.01458](https://arxiv.org/abs/2406.01458) [astro-ph.GA].
6. *Kudryashova A. A., Bursov N. N., Trushkin S. A.* Radio Sources of the Survey on the Declination of the Pulsar in the Crab Nebula ($\text{Dec} = +22^\circ$) // Astrophysical Bulletin. — 2024. — март. — т. 79, № 1. — с. 36—59. — DOI: [10.1134/S1990341324700263](https://doi.org/10.1134/S1990341324700263).
7. Multiwavelength variability of the blazar AO 0235+164 / V. V. Vlasyuk [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2024. — дек. — т. 535, № 3. — с. 2775—2799. — DOI: [10.1093/mnras/stae2491](https://doi.org/10.1093/mnras/stae2491). — arXiv: [2411.01497](https://arxiv.org/abs/2411.01497) [astro-ph.HE].
8. High-redshift quasars at $z > 3$ - I. Radio spectra / Y. Sotnikova [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2021. — дек. — т. 508, № 2. — с. 2798—2814. — DOI: [10.1093/mnras/stab2114](https://doi.org/10.1093/mnras/stab2114). — arXiv: [2109.14029](https://arxiv.org/abs/2109.14029) [astro-ph.GA].

9. Radio and Optical Properties of the Blazar PKS 1614+051 at $z=3.21$ / Y. V. Sotnikova [и др.] // *Astrophysical Bulletin*. — 2024. — дек. — т. 79, № 4. — с. 548–572. — DOI: [10.1134/S199034132460087X](https://doi.org/10.1134/S199034132460087X). — arXiv: [2501.12694](https://arxiv.org/abs/2501.12694) [[astro-ph.GA](#)].

Список литературы

1. A Survey of radio sources at frequency 159 Mc/s. / D. O. a. J. R. Edge [и др.] // *Memoirs of the Royal Astronomical Society*. — 1959. — т. 68. — с. 37–60.
2. *Pilkington J. D. H., Scott J. F.* A survey of radio sources between declinations 20° and 40° // *Memoirs of the Royal Astronomical Society*. — 1965. — т. 69. — с. 183.
3. *Gower J. F. R., Scott P. F., Wills D.* A survey of radio sources in the declination ranges -07° to 20° and 40° to 80° . // *Memoirs of the Royal Astronomical Society*. — 1967. — т. 71. — с. 49.
4. *Wright A., Otrupcek R.* PKSCAT90: The southern radio source database // *Bulletin d'Information du Centre de Donnees Stellaires*. — 1992. — июль. — т. 41. — с. 47.
5. The GB6 Catalog of Radio Sources / P. C. Gregory [и др.] // *The Astrophysical Journal Supplement Series*. — 1996. — апр. — т. 103. — с. 427. — DOI: [10.1086/192282](https://doi.org/10.1086/192282).
6. The NRAO VLA Sky Survey / J. J. Condon [и др.] // *The Astronomical Journal*. — 1998. — май. — т. 115, № 5. — с. 1693–1716. — DOI: [10.1086/300337](https://doi.org/10.1086/300337).
7. *Becker R. H., White R. L., Helfand D. J.* The VLA's FIRST Survey // *Astronomical Data Analysis Software and Systems III*. т. 61 / под ред. D. R. Crabtree, R. J. Hanisch, J. Barnes. — 01.1994. — с. 165. — (Astronomical Society of the Pacific Conference Series).

8. The GMRT 150 MHz all-sky radio survey. First alternative data release TGSS ADR1 / H. T. Intema [и др.] // *Astronomy and Astrophysics*. — 2017. — февр. — т. 598. — А78. — DOI: [10.1051/0004-6361/201628536](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201628536). — arXiv: [1603.04368](https://arxiv.org/abs/1603.04368) [[astro-ph.CO](#)].
9. GaLactic and Extragalactic All-sky Murchison Widefield Array (GLEAM) survey - I. A low-frequency extragalactic catalogue / N. Hurley-Walker [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2017. — янв. — т. 464, № 1. — с. 1146—1167. — DOI: [10.1093/mnras/stw2337](https://doi.org/10.1093/mnras/stw2337). — arXiv: [1610.08318](https://arxiv.org/abs/1610.08318) [[astro-ph.GA](#)].
10. The Karl G. Jansky Very Large Array Sky Survey (VLASS). Science Case and Survey Design / M. Lacy [и др.] // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. — 2020. — март. — т. 132, № 1009. — с. 035001. — DOI: [10.1088/1538-3873/ab63eb](https://doi.org/10.1088/1538-3873/ab63eb). — arXiv: [1907.01981](https://arxiv.org/abs/1907.01981) [[astro-ph.IM](#)].
11. *Vol'vach A. E., Larionov M. G.* RT-22 KrAO: from the Simeiz sky survey to the selection of sources for the RadioAstron flight program // *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.* — 2008. — нояб. — т. 104, № 5. — с. 78—84. — URL: <https://jncrao.ru/index.php/izvcrao/article/view/822>.
12. *Parijskij Y. N.* RATAN-600 - The world's biggest reflector at the "cross roads" // *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. — 1993. — авг. — т. 35. — с. 7—12. — DOI: [10.1109/74.229840](https://doi.org/10.1109/74.229840).
13. *Parijskij YU. N. and Korol'kov D. V.* Experiment COLD: the first deep sky survey with the RATAN-600 radio telescope. // *Sov. Sci. Rev. E Astrophys. Space Phys.* — 1986. — т. 5. — с. 39—179.
14. The RATAN-600 7.6 cm catalog of radio sources from Experiment Cold-80 / I. N. Parijskij [и др.] // *Astronomy & Astrophysics, Suppl. Ser.* — 1991. — янв. — т. 87. — с. 1—32.
15. The RATAN-600 7.6 cm catalog of radio sources from "Experiment Cold-80". / I. N. Parijskij [и др.] // *Astronomy & Astrophysics, Suppl. Ser.* — 1991. — янв. — т. 87. — с. 1—32.
16. The update catalog of RC sources (RATAN-600). / N. N. Bursov [и др.] // *Bulletin of the Special Astrophysics Observatory*. — 1996. — янв. — т. 42. — с. 5—207.

17. RATAN-600 7.6-cm deep sky strip surveys at the declination of the SS433 source during the 1980-1999 period. Data reduction and the catalog of radio sources in the right-ascension interval $7^h \leq \text{R.A.} < 17^h$ / N. S. Soboleva [и др.] // Astrophysical Bulletin. — 2010. — янв. — т. 65, № 1. — с. 42–59. — DOI: [10.1134/S1990341310010050](https://doi.org/10.1134/S1990341310010050). — arXiv: [1003.0829](https://arxiv.org/abs/1003.0829) [astro-ph.CO].
18. *Amirkhanyan V. R., Gorshkov A. G., Konnikova V. K.* Complete sample of radio sources at 3.9, 4.8, 7.5, and 11.2 GHz from the Zelenchuk survey // Astronomicheskii Zhurnal. — 1992. — апр. — т. 69. — с. 225.
19. RATAN-600 new zenith field survey and CMB problems / Y. Parijskij [и др.] // Gravitation and Cosmology. — 2005. — т. 10. — с. 1–10.
20. Multi-frequency survey of background radiations of the Universe. The “Cosmological Gene project”. First results / Y. N. Parijskij [и др.] // Astrophysical Bulletin. — 2011. — окт. — т. 66, № 4. — с. 424–435. — DOI: [10.1134/S1990341311040043](https://doi.org/10.1134/S1990341311040043).
21. *Semenova T. A., Bursov N. N., Pariiskii Y. N.* Radio spectra of objects in the RATAN-600 RZF catalog and a population analysis of faint radio sources // Astronomy Reports. — 2007. — апр. — т. 51, № 4. — с. 257–263. — DOI: [10.1134/S1063772907040014](https://doi.org/10.1134/S1063772907040014).
22. Small-scale galactic emission fluctuation observations with RATAN-600 radio telescope / V. A. Stolyarov [и др.] // Astrophysical Bulletin. — 2012. — янв. — т. 67, № 1. — с. 29–43. — DOI: [10.1134/S1990341312010038](https://doi.org/10.1134/S1990341312010038).
23. Spectroscopy of “Big Trio” objects using the “Scorpio” spectrograph of the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory / Y. N. Parijskij [и др.] // Astronomy Reports. — 2010. — авг. — т. 54, № 8. — с. 675–695. — DOI: [10.1134/S1063772910080019](https://doi.org/10.1134/S1063772910080019). — arXiv: [1011.1649](https://arxiv.org/abs/1011.1649) [astro-ph.CO].
24. Five years monitoring of extragalactic radio sources. I. Observations at 12,22 and 37 GHz. / E. Salonen [и др.] // Astronomy Astrophysics, Suppl. Ser. — 1987. — сент. — т. 70. — с. 409–435.
25. Long-Term Variability of Radio-Bright BL Lacertae Objects / E. Nieppola [и др.] // The Astronomical Journal. — 2009. — июнь. — т. 137, № 6. — с. 5022–5036. — DOI: [10.1088/0004-6256/137/6/5022](https://doi.org/10.1088/0004-6256/137/6/5022). — arXiv: [0910.2607](https://arxiv.org/abs/0910.2607) [astro-ph.CO].

26. Blazars in the Fermi Era: The OVRO 40 m Telescope Monitoring Program / J. L. Richards [и др.] // The Astrophysical Journal Supplement. — 2011. — июнь. — т. 194, № 2. — с. 29. — DOI: [10.1088/0067-0049/194/2/29](https://doi.org/10.1088/0067-0049/194/2/29). — arXiv: [1011.3111](https://arxiv.org/abs/1011.3111) [astro-ph.CO].
27. Spectra and linear polarizations of extragalactic variable sources at centimeter wavelengths. / H. D. Aller [и др.] // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 1985. — дек. — т. 59. — с. 513—768. — DOI: [10.1086/191083](https://doi.org/10.1086/191083).
28. A Dual-Frequency, Multiyear Monitoring Program of Compact Radio Sources / T. J. W. Lazio [и др.] // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 2001. — окт. — т. 136, № 2. — с. 265—392. — DOI: [10.1086/322531](https://doi.org/10.1086/322531). — arXiv: [astro-ph/0105433](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0105433) [astro-ph].
29. Investigating the multiwavelength behaviour of the flat spectrum radio quasar CTA 102 during 2013-2017 / F. D’Ammando [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2019. — дек. — т. 490, № 4. — с. 5300—5316. — DOI: [10.1093/mnras/stz2792](https://doi.org/10.1093/mnras/stz2792). — arXiv: [1910.03609](https://arxiv.org/abs/1910.03609) [astro-ph.HE].
30. Multiwavelength behaviour of the blazar 3C 279: decade-long study from gamma-ray to radio / V. M. Larionov [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2020. — март. — т. 492, № 3. — с. 3829—3848. — DOI: [10.1093/mnras/staa082](https://doi.org/10.1093/mnras/staa082). — arXiv: [2001.06512](https://arxiv.org/abs/2001.06512) [astro-ph.HE].
31. Multimessenger Characterization of Markarian 501 during Historically Low X-Ray and γ -Ray Activity / H. Abe [и др.] // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 2023. — июнь. — т. 266, № 2. — с. 37. — DOI: [10.3847/1538-4365/acc181](https://doi.org/10.3847/1538-4365/acc181). — arXiv: [2210.02547](https://arxiv.org/abs/2210.02547) [astro-ph.HE].
32. Multiband cross-correlated radio variability of the blazar 3C 279 / A. Krishna Mohana [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2024. — янв. — т. 527, № 3. — с. 6970—6980. — DOI: [10.1093/mnras/stad3583](https://doi.org/10.1093/mnras/stad3583). — arXiv: [2311.02395](https://arxiv.org/abs/2311.02395) [astro-ph.HE].
33. *Sholomitskii G. B.* Fluctuations in the 32.5-cm Flux of CTA 102 // *Astronomicheskii Zhurnal*. — 1965. — янв. — т. 42. — с. 673.

34. *Dent W. A.* Variation in the Radio Emission of 3C273 and Other Quasi-Stellar Sources. // *Astronomical Journal*. — 1965. — нояб. — т. 70. — с. 672. — DOI: [10.1086/109792](https://doi.org/10.1086/109792).
35. *Maltby P., Moffet A. T.* Time Dependence of the Radio Emission from CTA 21 and CTA 102. // *Astrophysical Journal*. — 1965. — июль. — т. 142. — с. 409. — DOI: [10.1086/148304](https://doi.org/10.1086/148304).
36. *van der Laan H.* A Model for Variable Extragalactic Radio Sources // *Nature*. — 1966. — сент. — т. 211, № 5054. — с. 1131—1133. — DOI: [10.1038/2111131a0](https://doi.org/10.1038/2111131a0).
37. *Rees M. J.* Studies in radio source structure-I. A relativistically expanding model for variable quasi-stellar radio sources // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 1967. — янв. — т. 135. — с. 345. — DOI: [10.1093/mnras/135.4.345](https://doi.org/10.1093/mnras/135.4.345).
38. *Villata M., Raiteri C. M.* Helical jets in blazars. I. The case of MKN 501 // *Astronomy and Astrophysics*. — 1999. — июль. — т. 347. — с. 30—36.
39. The complex variability of blazars: time-scales and periodicity analysis in S4 0954+65 / C. M. Raiteri [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2021. — июль. — т. 504, № 4. — с. 5629—5646. — DOI: [10.1093/mnras/stab1268](https://doi.org/10.1093/mnras/stab1268). — arXiv: [2104.15005](https://arxiv.org/abs/2104.15005) [[astro-ph.HE](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].
40. OJ287: deciphering the ‘Rosetta stone of blazars’ / S. Britzen [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2018. — авг. — т. 478, № 3. — с. 3199—3219. — DOI: [10.1093/mnras/sty1026](https://doi.org/10.1093/mnras/sty1026).
41. Precession-induced Variability in AGN Jets and OJ 287 / S. Britzen [и др.] // *The Astrophysical Journal*. — 2023. — июль. — т. 951, № 2. — с. 106. — DOI: [10.3847/1538-4357/acbbbc](https://doi.org/10.3847/1538-4357/acbbbc). — arXiv: [2307.05838](https://arxiv.org/abs/2307.05838) [[astro-ph.HE](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].
42. *Korolkov D. V., Pariiskii I. N.* The Soviet RATAN-600 radio telescope // *Sky and Telescope*. — 1979. — апр. — т. 57. — с. 324—329.
43. *Gorshkov A. G., Konnikova V. K., Mingaliev M. G.* Long-term variability of a complete sample of flat-spectrum radio sources at declinations of 4° 6° (B1950) // *Astronomy Reports*. — 2008. — апр. — т. 52, № 4. — с. 278—298. — DOI: [10.1134/S1063772908040033](https://doi.org/10.1134/S1063772908040033).

44. Survey of instantaneous 1-22 GHz spectra of 550 compact extragalactic objects with declinations from -30^{deg} to $+43^{deg}$ / Y. Y. Kovalev [и др.] // *Astronomy & Astrophysics Supplement*. — 1999. — нояб. — т. 139. — с. 545—554. — DOI: [10.1051/aas:1999406](https://doi.org/10.1051/aas:1999406). — arXiv: [astro-ph/0408264](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0408264) [[astro-ph](#)].
45. *Gorshkov A. G., Konnikova V. K.* Variability at Frequencies 3.9 and 7.5 GHz: Radio Sources from the Zelenchukskii Survey with Fluxes $> 200\text{mJy}$ // *Astronomicheskii Zhurnal*. — 1995. — т. 72. — с. 291—302.
46. Observations of the bright radio sources in the North Celestial Pole region at the RATAN-600 radio telescope / M. G. Mingaliev [и др.] // *Astronomy and Astrophysics*. — 2001. — апр. — т. 370. — с. 78—86. — DOI: [10.1051/0004-6361:20010215](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20010215). — arXiv: [astro-ph/0102275](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0102275) [[astro-ph](#)].
47. RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lacertae objects / M. G. Mingaliev [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2014. — дек. — т. 572. — A59. — DOI: [10.1051/0004-6361/201424437](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201424437). — arXiv: [1410.2835](https://arxiv.org/abs/1410.2835) [[astro-ph.GA](#)].
48. The RATAN-600 Multi-Frequency Catalogue of Blazars:BLcat / Y. V. Sotnikova [и др.] // *Astrophysical Bulletin*. — 2022. — дек. — т. 77, № 4. — с. 361—371. — DOI: [10.1134/S1990341322040149](https://doi.org/10.1134/S1990341322040149). — arXiv: [2211.11279](https://arxiv.org/abs/2211.11279) [[astro-ph.HE](#)].
49. Roma-BZCAT: a multifrequency catalogue of blazars / E. Massaro [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2009. — февр. — т. 495, № 2. — с. 691—696. — DOI: [10.1051/0004-6361:200810161](https://doi.org/10.1051/0004-6361:200810161). — arXiv: [0810.2206](https://arxiv.org/abs/0810.2206) [[astro-ph](#)].
50. The 5th edition of the Roma-BZCAT. A short presentation / E. Massaro [и др.] // *Astrophysics and Space Science*. — 2015. — май. — т. 357, № 1. — с. 75. — DOI: [10.1007/s10509-015-2254-2](https://doi.org/10.1007/s10509-015-2254-2). — arXiv: [1502.07755](https://arxiv.org/abs/1502.07755) [[astro-ph.HE](#)].
51. Future Fast Radio Bursts (FRB) search with the RATAN-600 radio telescope at 4.7 GHz / S. A. Trushkin [и др.] // *SN 1987A, Quark Phase Transition in Compact Objects and Multimessenger Astronomy*. — 01.2018. — с. 211—216. — DOI: [10.26119/SA0.2020.1.52361](https://doi.org/10.26119/SA0.2020.1.52361).

52. An atlas of QSO spectra. / B. J. Wilkes [и др.] // Astronomical Society of Australia, Proceedings. — 1983. — янв. — т. 5, № 1. — с. 2—83. — DOI: [10.1017/S1323358000021664](https://doi.org/10.1017/S1323358000021664).
53. *Spinrad H., Smith H. E.* AO 0235+164 a red BL Lacertae object. // Astrophysical Journal. — 1975. — окт. — т. 201. — с. 275—276. — DOI: [10.1086/153883](https://doi.org/10.1086/153883).
54. Photometric and spectroscopic observations of the BL Lac object A 0235+164. / G. H. Rieke [и др.] // Nature. — 1976. — апр. — т. 260. — с. 754—758. — DOI: [10.1038/260754a0](https://doi.org/10.1038/260754a0).
55. The First Catalog of Active Galactic Nuclei Detected by the Fermi Large Area Telescope / A. A. Abdo [и др.] // The Astrophysical Journal. — 2010. — май. — т. 715, № 1. — с. 429—457. — DOI: [10.1088/0004-637X/715/1/429](https://doi.org/10.1088/0004-637X/715/1/429). — arXiv: [1002.0150](https://arxiv.org/abs/1002.0150) [astro-ph.HE].
56. The Nature of the BL Lacertae Object AO 0235+164 / R. D. Cohen [и др.] // Astrophysical Journal. — 1987. — июль. — т. 318. — с. 577. — DOI: [10.1086/165393](https://doi.org/10.1086/165393).

Бесплатно

Кудряшова Анастасия Алексеевна

Исследование внегалактических источников в обзорах неба на РАТАН-600

Подписано в печать _____ Заказ № _____

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 70 экз.

Типография _____