

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»

Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических
наук

Научный руководитель:
Кандидат физико-математических наук Бурсов Николай Николаевич

Нижний Архыз — 2025

Оглавление

	Стр.
Введение	4
Глава 1. Методика наблюдений и обработки обзоров неба на Западном секторе РАТАН-600	14
1.1 Обзоры на Западном секторе радиотелескопа	14
1.2 Антенна и радиометрический комплекс	16
1.3 Методика обработки и программное обеспечение	19
1.4 Математические методы анализа данных	26
1.4.1 Индексы переменности	26
1.4.2 Анализ методом структурной функции	27
1.4.3 Обобщённая периодограмма Ломба-Скаргла	30
1.5 Выводы и результаты Главы 1	30
Глава 2. Исследование источников в обзоре неба на склонении пульсара в Крабовидной туманности	31
2.1 Каталоги и кривые блеска радиоисточников	31
2.2 Радиоспектры	34
2.3 Переменность радиоизлучения источников	37
2.4 Кросс-идентификация с оптическими каталогами	39
2.5 Радиосветимость источников	41
2.6 Выводы Главы 2	43
Глава 3. HFP блазар PKS 1614+051	45
3.1 Радиоисточники с пиком на высоких частотах (HFP)	45
3.2 Механизм формирования пикового радиоспектра	48
3.3 Квазар PKS 1614+051	50
3.4 Наблюдения и обработка	52
3.5 Анализ кривых блеска PKS 1614+051	61
3.6 Влияние мерцаний межзвездной среды на уровень обнаруженной переменности	64
3.7 Выводы и результаты Главы 3	66

Глава 4. Суточная переменность радиоизлучения блазара	
АО 0235+164	68
4.1 Блазар АО 0235+164	68
4.2 Ежедневные наблюдения блазара АО 0235+164 на РАТАН-600 . .	70
4.3 Анализ переменности кривых блеска АО 0235+164	73
4.4 Сравнение с другими наблюдениями	77
4.5 Влияние межзвёздных мерцаний на наблюдаемый уровень переменности спектральной плотности потока излучения	80
4.6 Выводы и результаты Главы 4	81
Заключение	83
Список литературы	86
Приложение А. Радиоспектры 205 источников	108
Приложение Б. Таблицы	118

Введение

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 околоразенитной области неба “Зенит” ($\text{R.A.} = 0^h - 24^h$, $\text{Dec} = 41^\circ.5 \pm 1^\circ$) 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 выбросов (СВ) из АЯГ по-

явились 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-VZCAT, 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 нескольких 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 исследована переменность радиоизлучения двух ярких блазаров АО 0235+164 и PKS 1614+051 в течение года, каждый.

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

²<https://www.sao.ru/blcat/>

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 $\overline{S}_{4.7} = 250$ 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 обнару-

жен 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.

Научная и 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 ЗС 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, всероссийская, 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 11 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, сформу-

лированы 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 НФР квазара PKS 1614+051 на $z = 3.21$ [52]. В разделе 3.1 описано современное представление о НФР- 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 3.4 описаны свойства переменности объекта в ежедневных наблюдениях. В разделе 3.4 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 воз-

возможного вклада мерцаний на межзвёздной среде на наблюдаемый уровень переменности.

В **заключении** приведены основные результаты работы, которые заключаются в следующем:

1. Проведены обзоры на Западном секторе РАТАН-600. Для полученных данных разработаны алгоритмы, программное обеспечение и обработаны данные непрерывных наблюдений с неподвижной антенной на различных склонениях.
2. Обзор на склонении Крабовидной туманности был проведен на 4.7 ГГц в 2018-2019 годах. В результате обработки был получен список наиболее ярких 205 радиоисточников ($S/N > 50$). Все источники отождествлены с радиоданными базы данных CATS и построены спектры, для четверти из которых впервые в высокочастотной области спектра ($\nu \geq 4.7$ ГГц). Методом кросс-идентификации 85% источников отождествлены с источниками оптических каталогов SDSS (DR16), Gaia (DR3), Pan-STARRS, 2MASS и баз данных SIMBAD, NED, Roma-BZCAT, что дало информацию о морфологических типах этих объектов. Обнаруженные источники в основном относятся к квазарам и галактикам различных типов. Также для 205 источников рассчитаны индексы переменности с осреднением 30-90 дней, а для наиболее сильных источников ($S_\nu > 15$ мЯн) получены кривые блеска с трех-суточным накоплением. Увеличение плотности потока излучения в два раза обнаружено у блазара В2 1324+22. У остальных переменность в среднем менее 20%.
3. Для далёкого квазара с пиком в радиоспектре на высокой частоте (НФР) PKS 1614+051 на $z = 3.21$ получены кривые блеска на 2.3 и 4.7 ГГц за период 06.2019–05.2020. Впервые было обнаружен временной масштаб переменности радиоизлучения на уровне 3% с периодом 25 дней в системе отсчёта источника.
4. Получены кривые блеска на 2.3 и 4.7 ГГц и исследовано радиоизлучение блазара АО 0235+164 в период времени 2021-2022 гг. со средней ошибкой измерений 5 и 3 %, соответственно. Впервые обнаружены вторичные вспышки на масштабах времени 110 дней со средней периодичностью около 100 дней, что следует из анализа кривых блеска наблюдений этого источника. В данных мониторинга радиотелескопа GBI

за 1983-1994 годы подобные масштабы не обнаружены. Спектральный индекс $\alpha_{2.3-4.7}$ в течение года изменялся от $+0.20$ в относительно спокойном состоянии до $+0.75$ во время вспышек.

Полный объём диссертации составляет 158 страниц с 32 рисунками и 7 таблицами. Список литературы содержит 185 наименований.

Глава 1. Методика наблюдений и обработки обзоров неба на Западном секторе РАТАН-600

1.1 Обзоры на Западном секторе радиотелескопа

Обзоры неба на Западном секторе ($A = 270^\circ$) радиотелескопа РАТАН-600 при неподвижной антенне проводятся с 2017 г. и по настоящее время. В течение каждого года наблюдений неподвижная антенна сфокусирована на заданную высоту в каждом отдельном обзоре. Как правило, обзоры проводятся на склонеении какого-нибудь калибровочного или исследуемого источника. Параметры проведённых обзоров представлены в Таблице 1. РАТАН-600 является пассажным телескопом, на котором в наблюдениях измеряется антенная температура в зависимости от звёздного времени при прохождении участка неба через неподвижную диаграмму направленности (ДН) телескопа за счёт вращения Земли. Наблюдения на Западном секторе проводятся в направлении на восток, где источники являются восходящими. Существенной особенностью такого режима наблюдений является прохождение источников каждого обзора через ДН под разными углами относительно её центрального сечения в зависимости от склонения. Это влияет на форму и размер сечения ДН при ее свертке с проходящим источником. Параллактический угол q , угол между суточным кругом вращения источника и горизонтальной осью ДН, под которым источник проходит через ДН, определяется по формуле:

$$\sin q = \cos \varphi \cdot \sin A / \cos \delta, \quad (1.1)$$

где широта РАТАН-600 $\varphi = 43.83^\circ$, азимут наблюдения $A = 270^\circ$, δ - склонение источника. Тогда

$$q = \arcsin(-\cos 43.83^\circ / \cos \delta) \quad (1.2)$$

Рассчитанные значения угла q и расположение радиометров во время проведения обзоров представлены в Таблице 2.

Расчёт скорости (мм/с) движения фокального пятна для Западного сектора основан на формуле скорости для Северного сектора ¹ с учётом параллак-

¹https://www.sao.ru/hq/lran/ratan/ratan_english.html

Таблица 1 — Обзоры неба на Западном секторе РАТАН-600

Обзор (источник)	R.A. <i>hh mm ss</i>	Dec <i>° ' "</i>	H <i>° ' "</i>	Период dd/mm/yy	Beam N
3C 48	01:37:41.3	33:09:35.1	52:21:07	30/08/17–28/05/18	1,2,3
Crab Nebula	05:34:32.0	22:00:52.0	32:48:47	28/05/18–30/05/19	3
SS 433	19:11:49.6	04:58:56.8	07:23:32	30/05/19–08/06/20	3,4,5
GRS 1915+105	19:15:11.6	10:56:44.9	16:01:55	09/06/20–26/05/21	5
3C 138	05:21:09.9	16:38:22.1	24:29:44	28/05/21–08/06/22	5
1347+12	13:47:33.4	12:17:24.1	17:47:49	15/07/22–01/06/23	5
1934+22	19:34:55.6	21:53:40.3	32:41:18	28/06/23–19/06/24	6
2253+161	22:53:57.8	16:08:53.6	23:55:01	02/07/24–24/06/25	6

тического угла q :

$$V = \frac{21.23 \cdot \cos \delta}{1 + \cos H_N} \cdot \cos q, \quad (1.3)$$

где H_N - высота источника в азимуте $A = 0^\circ$.

Таблица 2 — Особенности прохождения источников через ДН.

1 – источник, на высоте которого проводится обзор; 2 – параллактический угол q ; 3 – скорость движения фокального пятна; 4 – расстояние между положением фокуса и входных рупоров радиометров, 5 – азимутальное расстояние между положением фокуса и входных рупоров.

Обзор (источник)	q degree	V mm/s	ΔX mm	ΔAz arcmin
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3C 48	-59.5	7.62	$\pm 92, 0$	$\pm 3.02, 0$
Crab Nebula	-51.1	9.01	$\pm 92, 0$	$\pm 2.55, 0$
SS433	-46.4	8.97	$\pm 138, \pm 46$	$\pm 3.84, \pm 1.28$
GRS 1915+105	-47.3	9.17	$\pm 138, \pm 46$	$\pm 3.75, \pm 1.25$
3C 138	-48.8	9.20	$\pm 138, \pm 46$	$\pm 3.75, \pm 1.25$
1347+12	-47.6	9.17	$\pm 138, \pm 46$	$\pm 3.75, \pm 1.25$
1934+22	-51.0	9.03	$\pm 138, \pm 46$	$\pm 3.84, \pm 1.28$
2253+161	-48.7	9.20	$\pm 138, \pm 46$	$\pm 3.75, \pm 1.25$

ДН РАТАН-600, несмотря на свою сложность и зависимость от высоты, подробно изучена, в том числе и для Западного сектора [57]. Знание формы ДН позволяет осуществлять более точную обработку данных с разделением внеосевых источников проходящих через входные рупора радиометров.

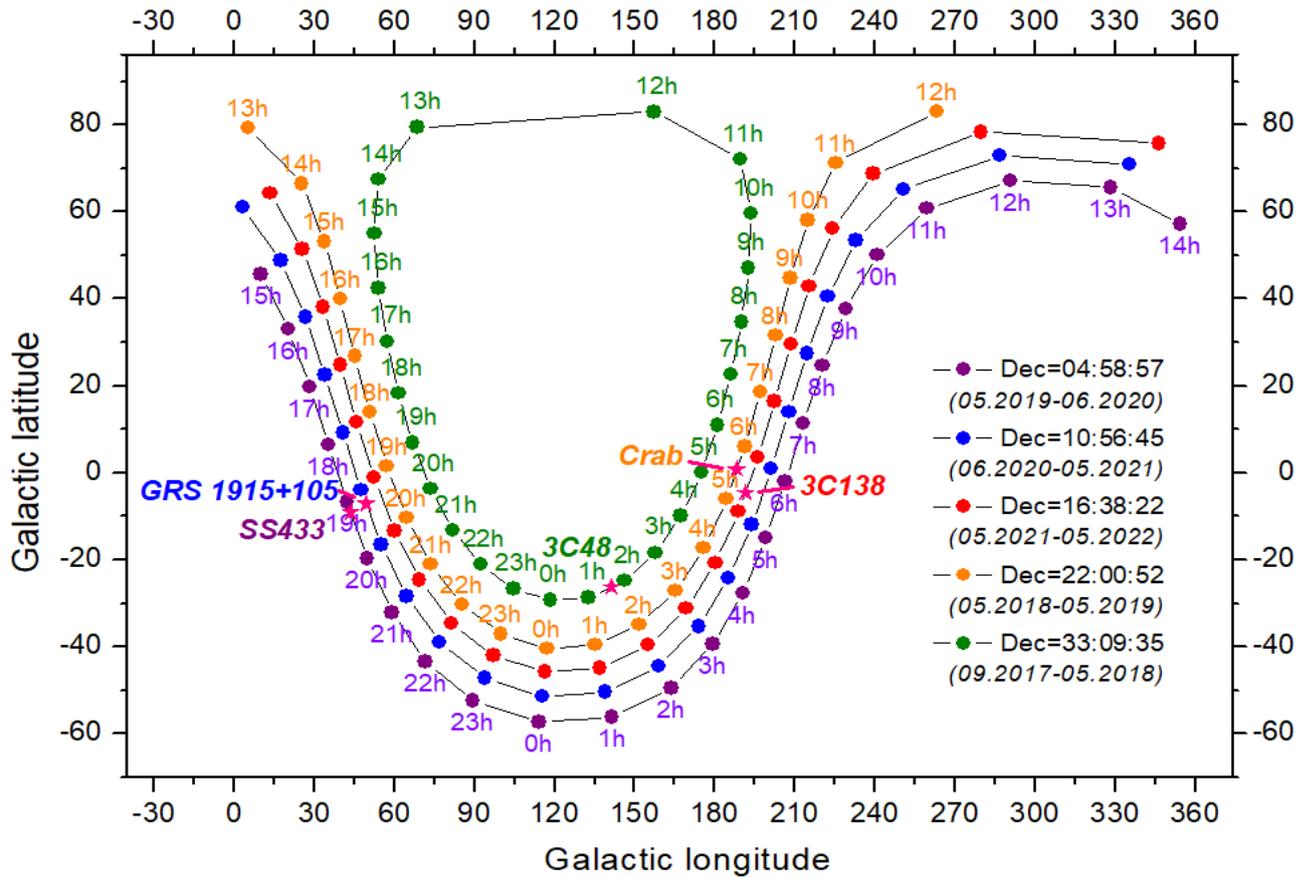


Рисунок 1.1 — Обзоры неба на Западном секторе РАТАН-600

На Рис. 1.1 показана область проведения обзоров на Западном секторе РАТАН-600 в галактических координатах. В диссертационной работе представлены результаты по трем обзорам: на склонении пульсара в Крабовидной туманности ($+22^\circ$), микроквара SS 433 ($+5^\circ$) и калибратора 3C 138 ($+16^\circ$). Рассматриваемая в данной Главе методика основана на обработке обзора на склонении пульсара в Крабовидной туманности.

1.2 Антенна и радиометрический комплекс

Во время проведения всех обзоров антенна Западного сектора находилась в неподвижном состоянии. Перед каждым годовым циклом наблюдений антенна перестраивалась и юстировалась на высоту соответствующего обзора. Источники проходили через ДН под параллактическим углом q , как было показано

выше, с выносом ΔH относительно центра, где $\Delta H = H_0 - H_{src}$, а H_0 и H_{src} - высота обзора и высота источника.

На Рис. 1.2 слева представлено фото комплекса четырехканальных радиометров; справа – расчётные ДН каждого входного рупора радиометров [57; 58]. Изображения построены с учетом рассчитанных aberrаций вынесенных рупоров. При расчете были учтены особенности антенной системы радиотелескопа: вторичное зеркало увеличенных размеров, асимметричное облучение главного зеркала, а также расположение первичных облучателей (рупоров) вдоль фокальной линии вторичного зеркала.

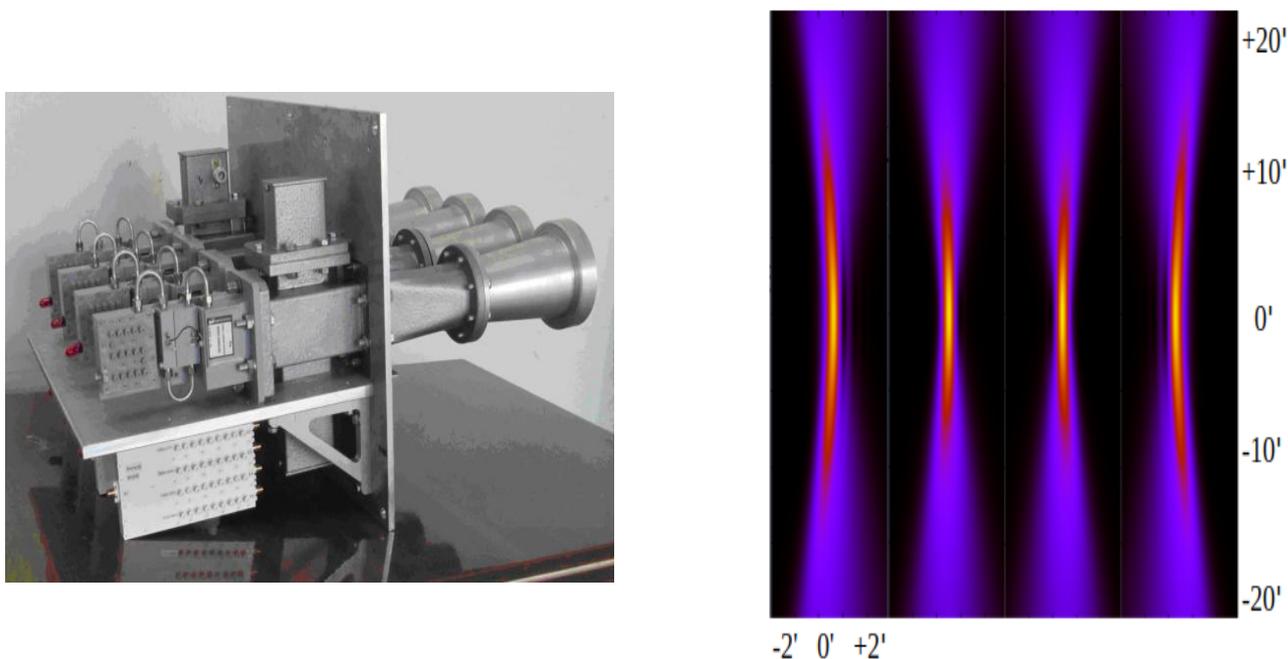


Рисунок 1.2 — Слева: комплекс радиометров на 4.7 ГГц, установленный на вторичном зеркале «Облучатель №5»; справа: расчетные ДН для четырех входных рупоров радиометров с aberrациями из-за выносов по азимуту ($\pm 1.3'$; $\pm 3.8'$) вдоль фокальной линии для обзора на склонении SS 433

На Рис. 1.3 слева представлены расчетные нормированные профили вертикальной ДН антенны в азимуте $A = 270^\circ$ при проведении обзоров на разных склонениях и уширение профилей источников по уровню половинной мощности HPBW (Half-Power Beamwidth) при их прохождении через ДН в зависимости от выноса по высоте от центра диаграммы, в угловых минутах (справа) [57]. Чем меньше высота обзора, тем шире ДН, больше его площадь и меньше угловое разрешение.

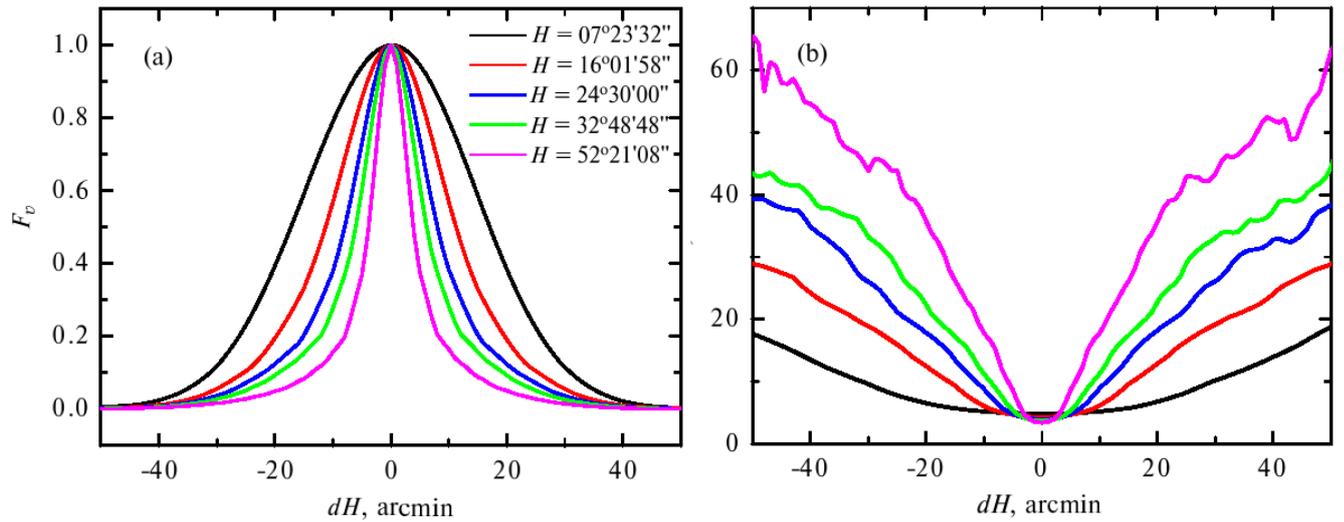


Рисунок 1.3 — Слева: вертикальные нормированные ДН по мощности, F_v ; Справа: НРВW ДН в различных сечениях в зависимости от выноса по ΔH , рассчитанные при наблюдениях на Западном секторе для различных высот источников, на которые была сфокусирована антенна [57]

Обзоры проводятся на комплексе из четырех (до 2020 – трех) однотипных радиометров на центральной частоте 4.7 ГГц ($\lambda = 6.38$ см) и с полосой пропускания 600 МГц, разделенной на каналы шириной 150 МГц каждый. Входные рупора радиометров располагаются вдоль фокальной линии. Наблюдения ведутся круглосуточно, но при этом каждый час по прямому восхождению записывается в отдельный файл для упрощения дальнейшей работы с данными. В системе сбора частота опроса (частота кварцевого генератора) составляла изначально 490 мкс, затем — 245 мкс. В результате одного наблюдения формируются часовые записи каждого канала четырёхканального радиометра в режиме быстрой радиометрии. Так же формируются записи других радиометров (2.3, 14.4 ГГц), расположенных вдоль фокальной линии и установленных позже.

Для проведения наблюдений в континууме на РАТАН-600 используется система сбора данных и управления ER-DAS, которая описана в работе [59]. Это измерительная система, предназначенная для оцифровки и обработки сигналов радиометров и передачи результата по сетям Ethernet. Система ER-DAS обладает низким уровнем собственных шумов и отсутствием шума вида $1/f$. Тип радиометра - радиометр полной мощности с широкой полосой приема и с низким коэффициентом шума усилителя. На масштабах времени до 100 секунд чувствительность такого радиометра остается выше, чем у модуляционного [60].

Таблица 3 — Параметры радиометров приёмно-измерительного комплекса «Облучатель №5» по состоянию на 2025 год.

λ — длина волны наблюдений, f_0 — центральная частота наблюдений, Δf — полоса принимаемых частот, ΔT — чувствительность при постоянной времени 1 секунда, ΔS — чувствительность по плотности потока за 1 секунду, T_n МШУ — шумовая температура малошумящего усилителя, T_a — шумовая температура антенны на средних углах, T_c — шумовая температура системы радиотелескоп-радиометр, ПМ — радиометр полной мощности, N — число радиометров

λ см	f_0 ГГц	Δf МГц	ΔT мК/сек	ΔS мЯн/сек	T_n МШУ К	T_a К	T_c К	Тип радиометра	N
2.1	14.4	2000	3.5	10	24-32	22	60	ПА	1
6.4	4.7	600(150x4)	3.5	10	24-32	22	60	ПА	4
13.2	2.3	80	12	80	35	25	95	ПМ	1

В Таблице 3 представлены основные характеристики радиометров, на которых проводились наблюдения.

1.3 Методика обработки и программное обеспечение

Для обработки и анализа больших объемов данных, полученных в обзорах, была разработана методика и программное обеспечение. Для этого были использованы модули штатного пакета FADPS [61; 62] и системные утилиты OS Linux, а также разработаны программы, которые позволили создать потоковую обработку данных.

Методика обработки обзоров и анализа прохождений источников с выносами для обзоров «Холод», проводившихся на Северном секторе, была ранее изложена в работе [63]. Методика, учитывающая прохождение источников в азимуте 270° под разными параллактическими углами через ДН при неподвижной антенне, описана диссертантом в работе [64] и в настоящей работе.

На первом этапе обработки записи, сильно искаженные атмосферой и нештатной работой аппаратуры, фильтровались по дисперсии. Для увеличения S/N проводилось сжатие пригодных к обработке записей до интервала времени

порядка 0.097 секунд. При этом сама величина частоты опроса незначительно менялась из-за изменения температуры. Для достижения однородности данных с интервалом 0.1 секунды проводилось их интерполирование.

В каналах каждого радиометра записи приводились к среднему значению и усреднялись, что приводило к уменьшению шумов на усредненных записях примерно в два раза. После этого усреднение записей по каждому часу наблюдений в течение года наблюдений проводилось с использованием непараметрических оценок по методу Ходжеса-Лемана [65]. Этот робастный способ усреднения представляет собой некий аналог усечения выборок, где отсеиваются до 25% ранжированных элементов в крыльях и при достаточном числе оставшихся элементов (>30) распределение становится близким к нормальному.

Усреднение записей проводилось от 3-5 суток, по месяцам (1-3 месяца), а также на масштабах целого года (все записи) по следующей формуле: все файлы наблюдений каждого часа разбивались на две равнозначные по качеству выборки. Тогда при равенстве сигнала S и при независимости шумов в обеих выборках, полусумма выборок:

$$((S_1 + N_1) + (S_2 + N_2))/2 = \bar{S}_{1+2} + \bar{N}_{1+2}/\sqrt{2}; \quad (1.4)$$

в полуразности:

$$((S_1 + N_1) - (S_2 + N_2))/2 = \bar{N}_{1+2}/\sqrt{2} \quad (1.5)$$

То есть, в результате в полусумму входит сигнал и шум, а в полуразность в основном только шум. Относительно уровня шума и определялся уровень сигнала от источников. В реальности шум на записях не является полностью независимым из-за различного рода помех, что сказывается на результатах обработки. Обнаружение и отождествление ярких объектов на средних записях проводилась по координатам источников опорного NVSS-каталога с помощью базы астрофизических каталогов CATS [66]. Расчётное положение источников вычислялись с помощью программ эфемеридного обеспечения РАТАН-600 [67].

Перед усреднением проводилась привязка записей по амплитуде и по положению источников. Амплитуда сигнала на записях изменялась из-за сезонного изменения температуры. Из-за отсутствия внутренней калибровки радиометров в холодное время T_a источников возрастала, а в теплое время уменьшалась. Для коррекции записей по амплитуде проводилась привязка по выборке

ярких источников, наблюдавшихся в этом же обзоре. В обзоре на склонении Крабовидной туманности привязка осуществлялась по относительной T_a Крабовидной туманности (Рис. 1.8). Проводилась также коррекция из-за разницы между эфемеридным и реальным положением источников на записях. Разница возникала из-за сбоев связи с GPS-спутниками и по другим причинам.

Определение характеристик источников — видимого положения и амплитуды проводилось методом гаусс-анализа. В качестве примера, на Рис. 1.4

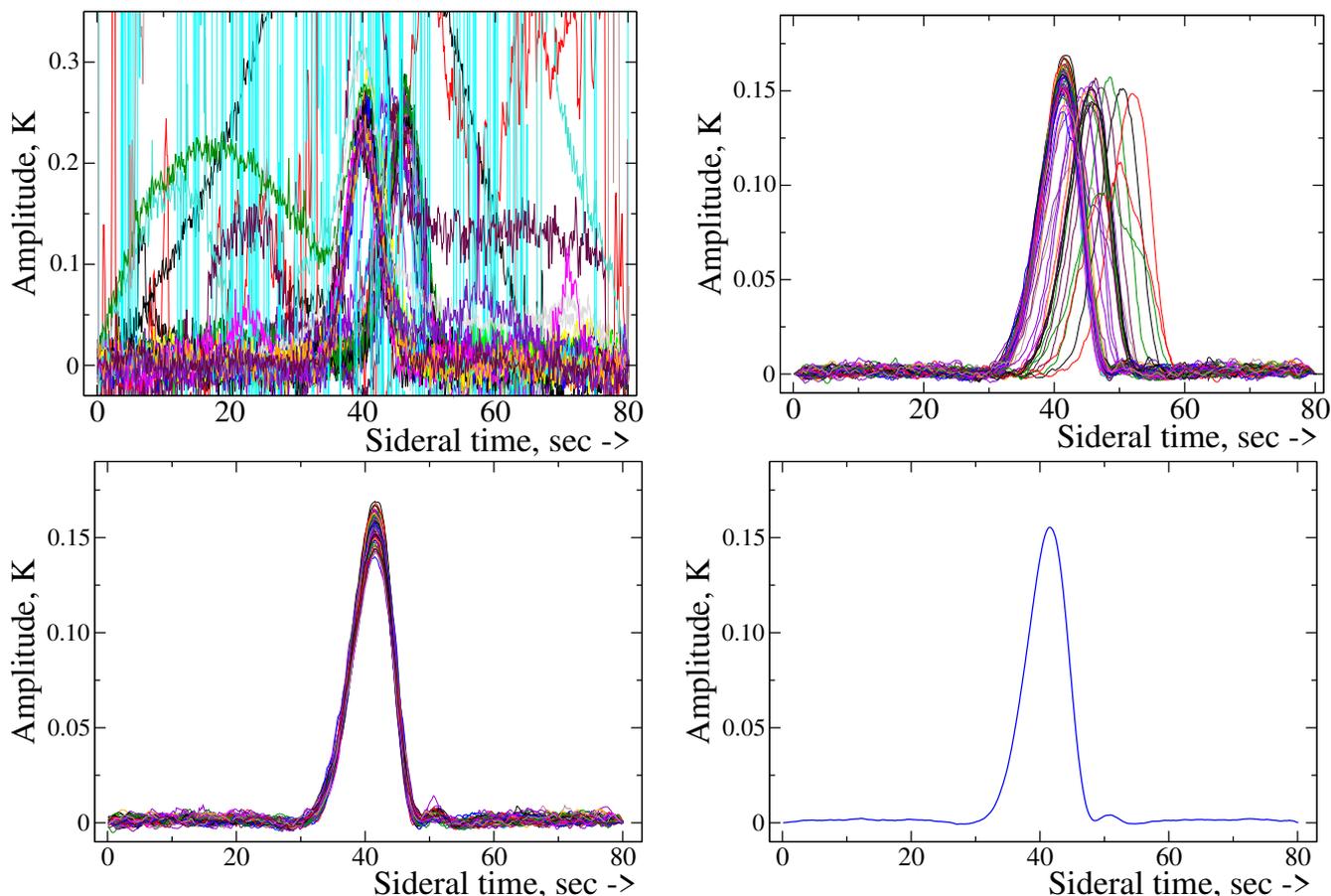


Рисунок 1.4 — Источник NVSS 114325+220656: *слева сверху* — первичные записи наблюдений источника; *справа сверху* — записи после фильтрации помех и атмосферных искажений; *слева внизу* — после коррекции по эфемеридам, привязке по времени и амплитуде, а также за изменение усиления радиометров; *справа внизу* — вид источника после усреднения за год

приведены профили прохождения источника NVSS 114325+220656 через ДН, где слева сверху изображены первичные записи наблюдений источника; справа сверху — записи после фильтрации помех за несколько месяцев наблюдений (усреднение за каждые 10 дней); слева внизу — после коррекции по эфемеридам,

привязке по времени и амплитуде, а также за изменение усиления радиометров; справа внизу – вид источника после усреднения записей за год наблюдений.

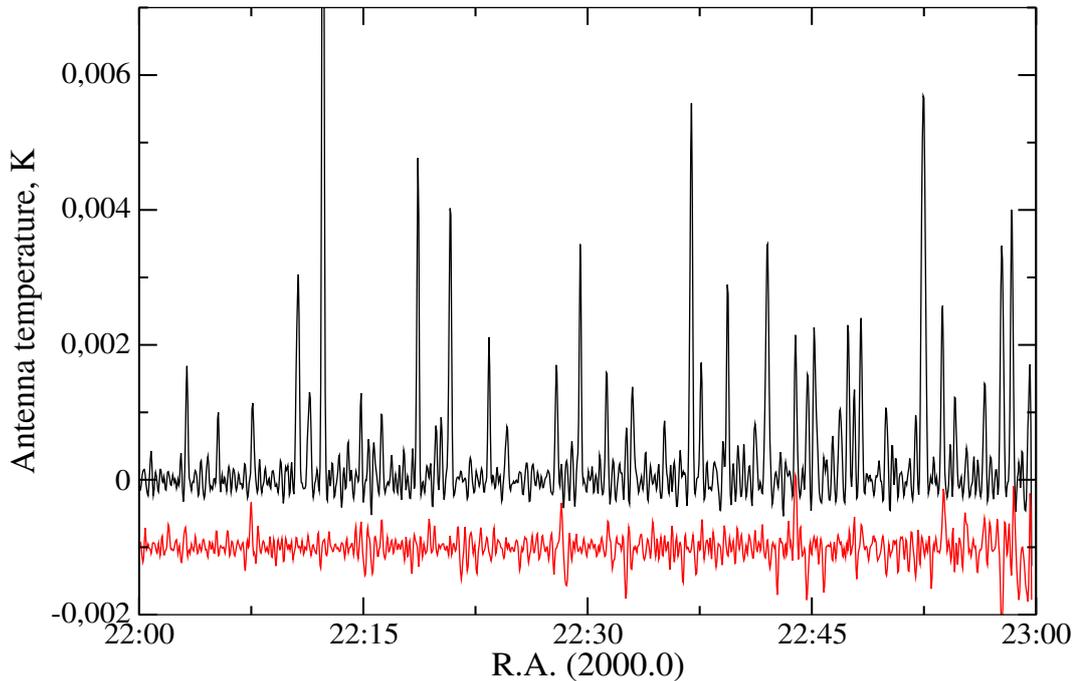


Рисунок 1.5 — Усреднение записей: пример накопления сигнала для полусуммы (*чёрным*) и полуразности (*красным*) записей для $R.A. = 22h$

При усреднении данных проводилось почасовое разбиение записей на две равные по дисперсии группы, с дальнейшей обработкой, как это подробно было описано выше. Таким образом, на осредненных часовых записях оцениваются T_a источников относительно записей, содержащих только шум. Это показано на Рис. 1.5, где видно, что хорошо выделяются даже слабые источники с $T_a = 1-2$ мК.

В обработке наблюдений на Западном секторе есть свои особенности, которые необходимо учитывать. Из-за прецессии видимое положение источников менялось в течение года наблюдений. Эффект данного явления продемонстрирован на Рис. 1.6 с изменением НРВW источников в течение года: *слева*– для источника NVSS J 114325+220656, расположенного симметрично относительно рупора, который находился в фокусе; *справа*– для трех источников с разными выносами. Как известно, интеграл ($Int = \sum_{i=1}^n (T_a(i) \times \Delta t)$) под кривой прохождения источников сохраняется при изменении выносов, это позволяло корректировать T_a источников по гладким кривым НРВW. На Рис. 1.7 (слева) видно, что существует заметное отклонение измеренного положения источников от расчетного (О-С), в зависимости от часового угла (до 6 секунд времени).

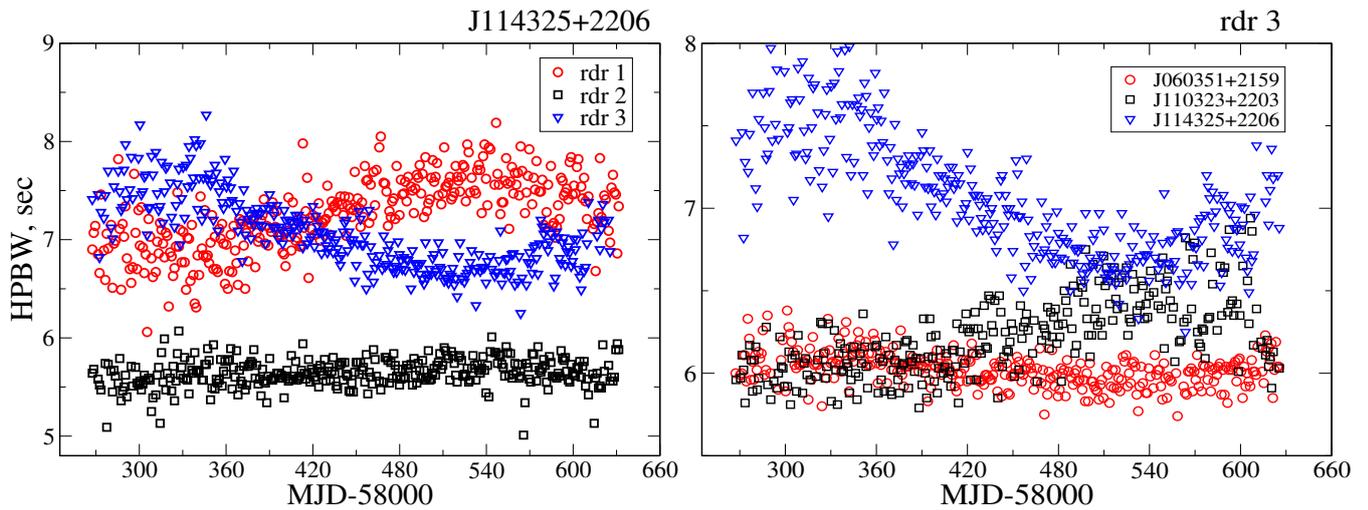


Рисунок 1.6 — Изменение полуширины источников. *Слева:* изменение HPBW источника NVSS 114325+220656 в течение года в трёх радиометрах; *справа:* HPBW трёх источников с разными выносами в радиометре №3 ΔH

Для отождествления источников с источниками NVSS каталога необходимо было учитывать эту зависимость. Распределение источников по ΔH приведено на Рис. 1.7 (справа), где можно проследить падение числа источников с ростом выноса от центра ДН, связанное с уменьшением коэффициента усиления антенны.

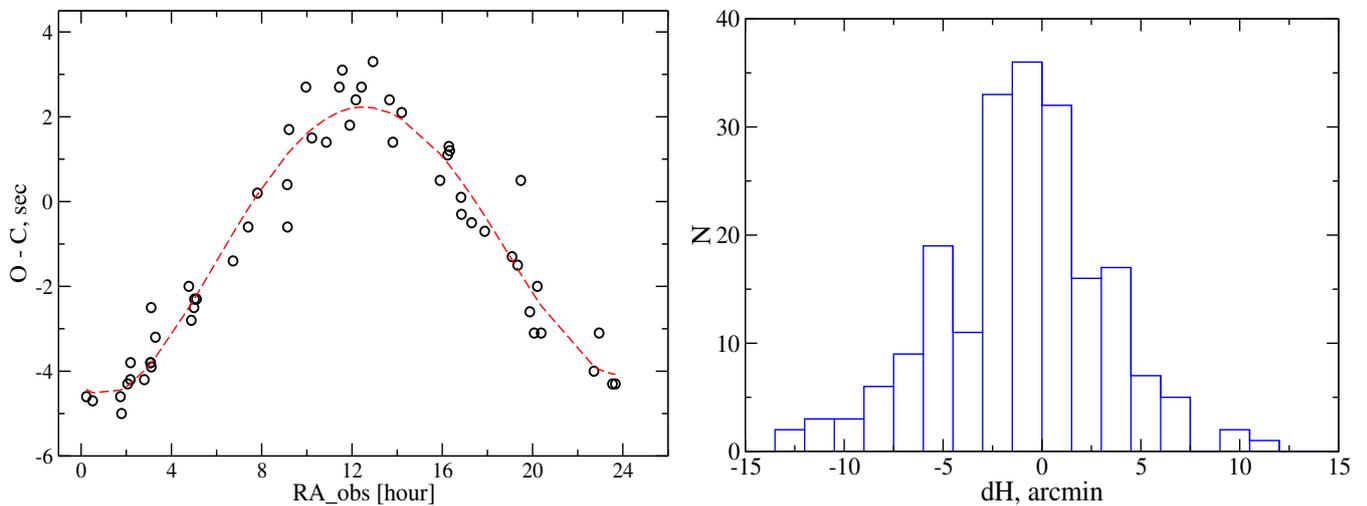


Рисунок 1.7 — Отождествление источников. *Слева:* смещение положения источников вследствие прецессии в зависимости от часового угла; *справа:* гистограмма распределения источников в зависимости от ΔH

Определение плотности потоков осуществлялось с помощью выборки наиболее ярких источников обзора со степенным спектром и предполагаемым по

виду радиоспектра постоянным излучением. Значения плотностей потоков этих источников определялись из аппроксимации радиоспектров. По ним строились калибровочные кривые: отношение спектральной плотности потока каждого источника на частоте обзора $S_{4.7}$ к его антенной температуре T_a в зависимости от ΔH для каждого радиометра, $S_{4.7}/T_a \sim f(\Delta H)$. На Рис. 1.8 показаны калибровочные кривые для трех радиометров на 4.7 ГГц .

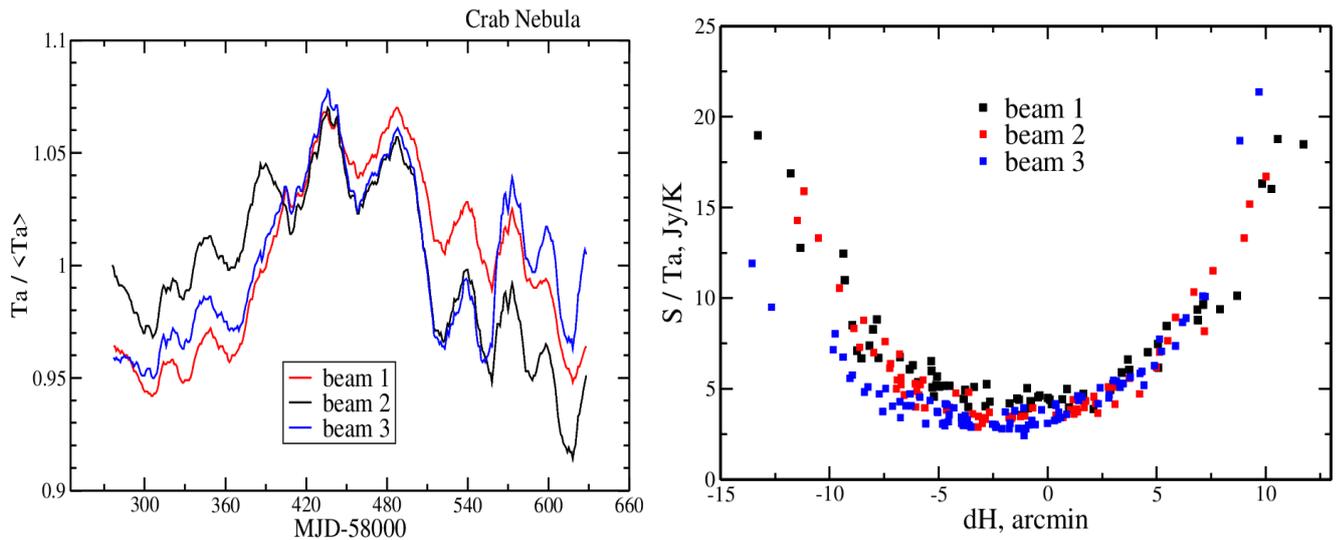


Рисунок 1.8 — Калибровочные кривые для трех радиометров на 4.7 ГГц. Слева: по Крабовидной туманности; справа: по плотности потока, полученные по выборке радиоисточников с постоянным излучением

Затем кривые блеска источников корректировались за сезонные температурные изменения усиления радиометров. В обзорах для наиболее ярких источников на основе гаусс-анализа измерялись основные параметры источников: видимое положение, T_a и НРВW на каждую дату наблюдений. Это было необходимо как для контроля текущих наблюдений, так и для выявления вариаций излучения самих источников. Для этого были написаны соответствующие программы обработки. Управляющая программа *weak.com* была предназначена для подбора входных параметров каждого обзора и запуска программы *weak.src*. Получаемыми табличными данными являлись: видимое положение на записи на день наблюдений α_{vis} , отклонение от расчетного положения, антенная температура источника T_a , полуширина вписанной гауссианы НРВW, интегральное значение $k \cdot T_a \cdot \text{НРВW}$, дата и приведенный юлианский день наблюдений MJD. По этим табличным данным проводились статистические оценки параметров обрабатываемых источников. Для устранения негауссовости шума (помех) в

кривые блеска каждого источника методом наименьших квадратов вписывался полином, относительно которого оценивались пороговые значения шума 3σ с удалением превышающих значений.

Таблица 4 — Пример обработки источника NVSS 060351+215937 за июнь 2018г
1 – измеренное звёздное время прохождения источника через ДН; 2 – разница между расчётным и измеренным звёздным временем прохождения источника через ДН; 3 – измеренная антенная температура, 4 – относительная ошибка измерения антенной температуры; 5 – размах помех на источнике при вычитании вписанной гауссианы; 6 – полуширина вписанной в профиль гауссианы; 7 – интеграл вписанной гауссианы; 8 – дата наблюдений, 9 – средняя модифицированная юлианская дата наблюдений.

s.time (gss) [hh mm ss]	o-c [sec]	Ta [mk]	err [%]	mx+mn [mk]	HW [sec]	Ta*HW [mk*sec]	date [dd mm yy]	MJD [24+]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
01 44 12.03	0.71	187.8	2.6	-4.2	8.72	1.7444	03 06 18	58273
01 44 12.06	0.73	186.5	2.3	-0.3	9.12	1.8103	04 06 18	58274
01 44 12.30	0.97	196.6	2.5	-0.3	8.65	1.8113	05 06 18	58275
01 44 12.00	0.67	201.9	2.7	1.4	8.52	1.8307	06 06 18	58276
01 44 12.38	1.05	197.0	2.2	-6.0	8.68	1.8204	07 06 18	58277
01 44 11.61	0.28	182.9	2.7	-0.6	9.45	1.8393	08 06 18	58278
01 44 12.04	0.71	195.7	2.9	-5.5	8.80	1.8329	09 06 18	58279
01 44 11.58	0.25	200.1	2.4	-4.8	8.39	1.7859	10 06 18	58280
01 44 11.90	0.57	202.8	2.8	-3.9	8.72	1.8829	11 06 18	58281
01 44 11.74	0.40	202.1	2.3	-3.6	8.43	1.8132	12 06 18	58282
01 44 11.57	0.22	192.5	2.7	-3.1	8.92	1.8275	13 06 18	58283
01 44 12.32	0.95	198.4	2.6	1.6	9.08	1.9187	14 06 18	58284
01 44 12.02	0.63	188.7	6.8	81.6	8.97	1.8011	15 06 18	58285
01 44 11.73	0.32	203.2	2.7	-6.9	9.06	1.9605	16 06 18	58286
01 44 11.88	0.45	192.4	2.9	-2.0	9.05	1.8528	17 06 18	58287
01 44 11.87	0.43	191.2	2.9	2.1	8.90	1.8108	18 06 18	58288
01 44 12.24	0.78	193.2	2.5	3.4	8.61	1.7709	19 06 18	58289
01 44 12.12	0.66	196.5	2.5	3.4	8.83	1.8475	20 06 18	58290
11.95	0.54	195.5	2.8	5.3	8.93	1.8580	mean	
0.23	0.25	6.7	0.8	16.1	0.59	0.1260	sgm1	
0.04	0.05	1.3	0.2	3.1	0.11	0.0240	sgmN	
0.11	0.12	3.1	0.4	7.5	0.27	0.0588	sgmN*t0.95	

Результаты работы программ позволяют строить графики основных параметров, в том числе нормированных к средним значениям, и оценивать качество проведенных наблюдений. Пример обработки источника NVSS 060351+215937 за июнь 2018 года приведён в Таблице 4, в которую занесены основные параметры обрабатываемого источника за каждый день наблюдений. Погрешности в определении потоков источников на записях обзора после процедуры их усреднения были рассчитаны по формуле:

$$\sigma^2 = \Delta S_\nu^2 + k_{\Delta H} S_\nu^2, \quad (1.6)$$

где S_ν – рассчитанное значение плотности потока источника на частоте обзора ν ; ΔS_ν – ошибка определения плотности потока на данной частоте; $k_{\Delta H}$ – параметр, зависящий от S/N и определяемый по выборке калибровочных источников на кривой $S_\nu/T_a \sim f(\Delta H)$.

1.4 Математические методы анализа данных

1.4.1 Индексы переменности

Индекс переменности V_S , согласно [68], вычисляется по максимальному S_{\max} и минимальному S_{\min} значениям спектральной плотности потока за все время наблюдений:

$$V_S = \frac{(S_{\max} - \sigma_{S_{\max}}) - (S_{\min} + \sigma_{S_{\min}})}{(S_{\max} - \sigma_{S_{\max}}) + (S_{\min} + \sigma_{S_{\min}})}, \quad (1.7)$$

где $\sigma_{S_{\max}}$ и $\sigma_{S_{\min}}$ – ошибки измерений. Неопределенность ΔV_S индекса переменности была рассчитана согласно выражению

$$\Delta V_S = \frac{2S_{\min}(\sigma_{S_{\min}} + \sigma_{S_{\max}})}{(S_{\min} + S_{\max})^2}. \quad (1.8)$$

Фракционная переменность F_{var} [69] характеризует уровень переменности относительно среднего значения:

$$F_{\text{var}} = \sqrt{\frac{V^2 - \bar{\sigma}_{\text{err}}^2}{\bar{S}^2}}, \quad (1.9)$$

где V^2 – дисперсия, \bar{S} – средняя спектральная плотность потока, $\bar{\sigma}_{\text{err}}$ – средне-квадратичная ошибка измерения.

Неопределенность F_{var} определяется следующим образом:

$$\Delta F_{\text{var}} = \sqrt{\left(\sqrt{\frac{1}{2N}} \frac{\bar{\sigma}_{\text{err}}^2}{F_{\text{var}} * \bar{S}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{\frac{\bar{\sigma}_{\text{err}}^2}{N}} \frac{1}{\bar{S}} \right)^2}. \quad (1.10)$$

Оценка уровня переменности относительно средней спектральной плотности потока \bar{S} без учёта ошибок измерений используя индекс модуляции M [70]:

$$M = \frac{\sigma_{\bar{S}}}{\bar{S}}, \quad (1.11)$$

где $\sigma_{\bar{S}}$ – стандартное отклонение средней спектральной плотности потока \bar{S} .

1.4.2 Анализ методом структурной функции

Структурная функция (СФ, structure function, SF) измеряет среднее значение дисперсии измеренной спектральной плотности потока $S(t)$, разделенных заданным интервалом времени, τ .

Строится в плоскости $\log \tau \sim \log SF$ СФ- средний квадратный корень разности плотности потоков в зависимости в зависимости от временной задержки (лага) между измерениями. Эта функция менее чувствительна к сглаживанию и другим проблемам с временной дискретизацией, чем спектральное распределение мощности (PSD) [71]. Впервые анализ переменности астрофизических данных методом структурных функций описан в работе [72]. Формула структурной функции первого порядка для функции $S(t)$:

$$SF(\tau) = \langle [S(t + \tau) - S(t)]^2 \rangle, \quad (1.12)$$

где τ - задержка по времени.

Дискретное представление структурной функции, позволяющее работать с неравномерными временными рядами:

$$D_1(k) = \frac{1}{N_1(k)} \sum_{i=1}^N w(i)w(i+k)[f(i+k) - f(i)]^2, \quad (1.13)$$

где $f(i)$ - временной ряд полученных наблюдений, $i = 1, 2, \dots, N$, $N_1(k) = \sum w(i)w(i+k)$, $w(i)$ - весовой коэффициент, k -начальный интервал времени, характерная скважность наблюдений. $w(i)=1$ для существующих данных и $w(i)=0$ для отсутствующих во временном ряду значений.

Структурная функция характеризуется наклоном b между двумя плато и временным масштабом τ , при котором функция достигает плато при $SF > 2\sigma^2$. Для упрощения анализа структурная функция нормируется на $2\sigma^2$. Тогда плато достигается при значениях $\log SF > 0.3$. Временной масштаб- максимальный масштаб коррелированного поведения сигнала, либо, эквивалентно, минимальный масштаб некоррелированного поведения. Величина наклона b характеризует природу переменного процесса. Наклон $b=0$ характеризует белый шум, при $0 < b < 1$ процесс является комбинацией белого шума и красного. В случае единичной доминирующей вспышки $b > 1$, а $b \sim 2$ указывает на сильный линейный тренд, либо о сильных периодических осцилляциях [73].

Структурная функция состоит из трёх компонент – начальное плоское плато, характеризующее шум, участок монотонного роста и второе плато, характеризующее переменность сигнала. Локальные минимумы структурной функции на верхнем плато характеризуют временные удвоенные масштабы переменности сигнала [74].

Структурная функция характеризуется углом наклона b между двумя плато, где $SF(\tau) \propto \tau^b$.

Впервые аппарат структурных функций был введён российским академиком А. Н. Колмогоровым в 1941 г. для изучения турбулентности плазмы [76; 77]. В астрономии метод SF впервые применён для анализа мерцаний на межзвёздной среде [78]. А для анализа свойств переменности АЯГ структурные функции были впервые применены в 1985 году для анализа свойств выборок источников с плоскими и степенными спектрами [72]. СФ связана с автокорреляционной

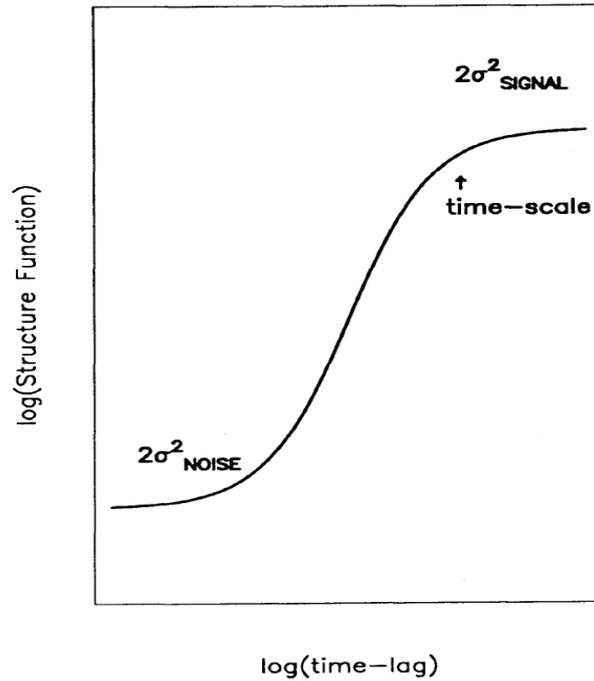


Рисунок 1.9 — Схематическое изображение идеальной структурной функции [75]

функцией (ACF) следующим соотношением:

$$SF^2 = 2\sigma^2[1 - ACF(\Delta t)]. \quad (1.14)$$

Минимум автокорреляционной функции также указывает на переменные масштабы. Обе функции связаны между собой. В настоящее время анализ методом структурных функций широко используется в астрофизике для исследования свойств переменности различных объектов во всём диапазоне электромагнитного спектра[79].

Анализ методом SF показывает свойства наблюдаемой кривой блеска, а не истинного процесса вызывающего переменность излучения.

Структурная функция нормируется на σ^2 и представляется в двойной логарифмической шкале, что делает её форму универсальной для всех кривых блеска, а плато достигается при значении > 0.3 .

1.4.3 Обобщённая периодограмма Ломба-Скаргла

Для поиска периодичности сигнала на кривых блеска была использована Периодограмма Ломба-Скаргла – метод, позволяющий осуществлять поиск периодичности регистрируемого сигнала. Метод разработан для данных, имеющих нерегулярный шаг (пропуски), что даёт возможность использовать его для астрономических наблюдательных данных [80; 81].

Периодограмма может быть записана следующим образом [82]:

$$P_{LS}(f) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{[\sum_j X_j \cos \omega(t_j - \tau)]^2}{\sum_j \cos^2 \omega(t_j - \tau)} + \frac{[\sum_j X_j \sin \omega(t_j - \tau)]^2}{\sum_j \cos^2 \omega(t_j - \tau)} \right\}, \quad (1.15)$$

где X_j -измерение в момент времени t_j , круговая частота $\omega = 2\pi f$, τ - смещение по времени.

$$\tan(2\omega t) = \frac{\sum_j 2\omega t_j}{\sum_j \cos 2\omega t_j} \quad (1.16)$$

1.5 Выводы и результаты Главы 1

1. Разработана методика для обработки источников обзоров в азимуте 270° на разных частотах наблюдений. В методике учтены абберационные искажения ДН антенны, прохождение источников через ДН под параллактическим углом, коррекция записей за изменение усиления радиометров в зависимости от окружающей температуры и изменения положения источников вследствие прецессии и нутации. Предложен способ обработки, который позволяет определять положение обнаруженных источников с точностью до 1-2 секунд времени.
2. 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 %.

Глава 2. Исследование источников в обзоре неба на склонении пульсара в Крабовидной туманности

Слепые обзоры неба, особенно те, в которых обнаруживаются популяции малоизученных слабых источников, представляют научную ценность. Их систематизация, комплексное исследование в разных спектральных диапазонах и отождествление с источниками других каталогов и, особенно, с оптическими, позволяют понять природу самих объектов и проследить их эволюцию.

С 2017 года на Западном секторе РАТАН-600 проводятся непрерывные обзоры с продолжительностью порядка одного года, каждый. Целью данного исследования является формирование выборки радиоисточников, наблюдавшихся в обзоре на склонении пульсара в Крабовидной туманности; составление каталога измерений, изучение их спектральных свойств, оптические отождествления, измерение кривых блеска источников и переменности их излучения.

2.1 Каталоги и кривые блеска радиоисточников

Обзор проводился в течение года с 28 мая 2018 года по 30 мая 2019 года на склонении $\delta = 22^{\circ}00'52''$ на комплексе из трех однотипных радиометров на центральной частоте 4.7 ГГц. Входные рупора трех радиометров располагались вдоль фокальной линии вторичного зеркала таким образом, что второй рупор находился в фокусе радиотелескопа. Привязка усиления радиометров из-за изменения температуры окружающей среды проводилась по кривым блеска Крабовидной туманности (Рис. 1.8).

В этом обзоре было обнаружено 205 относительно ярких источников, отождествлённых с источниками NVSS каталога. Используя полученные данные, были уточнены и дополнены радиоспектры источников, проанализированы кривые блеска источников на разных временных масштабах в течение года и выполнена оценка переменности плотности потока.

Выборка источников была получена при усреднении скорректированных записей за год наблюдений. Для достижения максимального отношения сиг-

нал/шум к усредненным записям применялась свертка с реальной ДН, полученной по ярким источникам обзора. Критерием включения источников в выборку ярких объектов было $S/N > 50$ (без учета эффекта путаницы) при антенной температуре $T_a \geq 5$ мК. В результате для всей выборки источников, расположенных с выносом $|dH| < 10'$ от центра ДН антенны, минимальная плотность потока составила 15 мЯн.

Плотность источников составила $205/24h < 10$ источников на час наблюдений, что незначительно для эффекта путаницы (confusion). Тем не менее, случаи блендирования (пересечения) источников имели место, и такие источники не рассматривались.

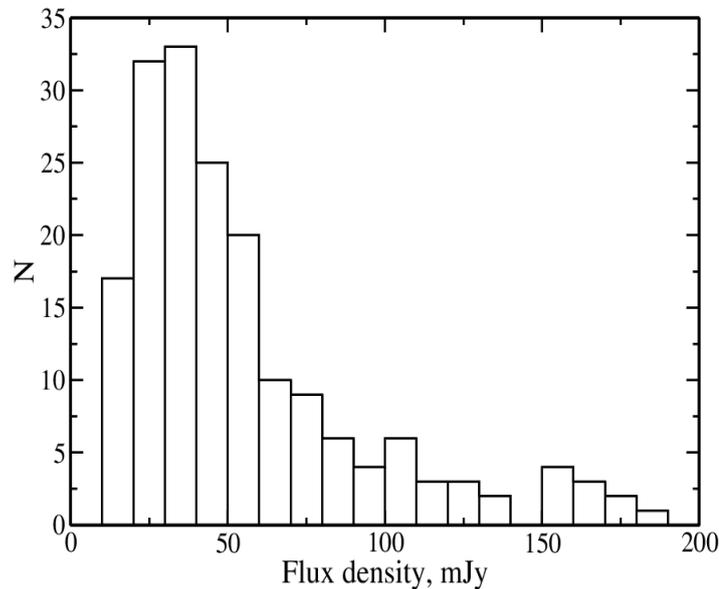


Рисунок 2.1 — Гистограмма распределения плотности потока выборки 205 источников на частоте 4.7 ГГц

На Рис. 2.1 показана гистограмма распределения спектральной плотности потоков 205 источников на 4.7 ГГц. Только один источник в выборке имеет плотность потока $S_{4.7} > 1$ Ян, остальные источники относительно слабые, по которым в литературе мало сведений. Более половины источников с $S_{4.7} < 50$ мЯн.

Кроме измерений средней плотности потока за год наблюдений, для всех источников были выполнены измерения с усреднением по месяцам наблюдений. Данные с усреднением за каждый месяц представлены в Таблице В.2 Приложения. В зависимости от S/N и наличия помех, осреднение проводилось за каждый месяц, за два месяца ($T_a < 10$ мК) и, в исключительных случаях, за три

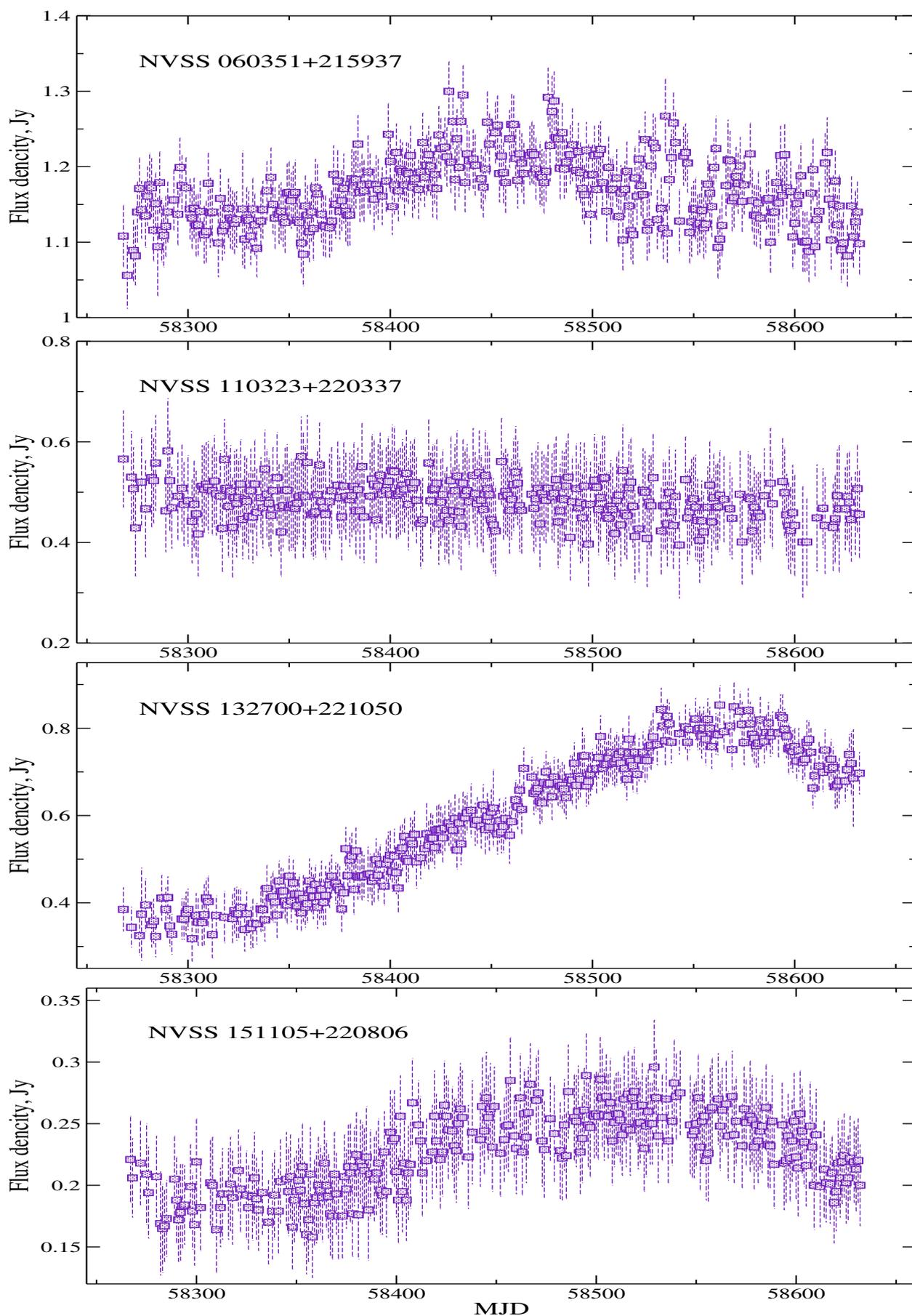


Рисунок 2.2 — Кривые блеска четырех блазаров с ежесуточным измерением на 4.7 ГГц: NVSS 060351+215937, NVSS 110323+220337, NVSS 132700+221050 (B2 1324+22) и NVSS 151105+220806

месяца ($T_a < 6$ мК). Для каждого источника выборки были построены кривые блеска. Для 26 источников с наибольшим S/N ($S_{4.7} > 100$ мЯн) были выполнены более точные измерения для поиска переменности излучения на масштабах нескольких суток. Данные с усреднением за трое суток для 26 источников опубликованы в базе данных Vizier.¹

В качестве примера, на Рис. 2.2 приведены кривые блеска за каждый день наблюдений четырёх блазаров с наибольшим S/N на 4.7 ГГц: NVSS 060351+215937, NVSS 132700+221050 (B2 1324+22), NVSS 110323+220337 и NVSS 151105+220806. Каталог измерений на частоте 4.7 ГГц приведен в Приложении (Таблица B.1), фрагмент которого представлен в Таблице 6.

2.2 Радиоспектры

В обзоре [83] были исследованы источники с различным спектральным распределением энергии: источники с пиком на частоте порядка 1 ГГц (Gigahertz peaked spectrum, GPS), компактные источники с ультракрутым спектром (Compact steep spectrum, CSS) и источники с пиком на высоких частотах (High frequency peaker, HFP), которые представляют собой класс радиоизлучающих активных ядер галактик (АЯГ), которые, как считается, являются молодыми предшественниками массивных АЯГ, таких как Центавр А и Лебедь А [84–87]. Спектры источников GPS и HFP имеют заметный пик и понижение потоков по обе стороны от пика. Полагают, что источники CSS обладают свойствами, сходными с источниками GPS и HFP, но их пиковые частоты значительно ниже [88]. Следовательно, основным различием между источниками GPS, CSS и HFP является частота спектрального пика и размер источника. Источники GPS и HFP имеют линейные размеры примерно 1 кпк и пиковые частоты около 1–5 ГГц и более 5 ГГц, соответственно [89]. В то время как CSS источники имеют линейный размер около 1–20 кпк и, как принято считать, имеют самые низкие пиковые частоты, до сотен мегагерц. Источники USS (Ultra steep spectrum) определяются как компактные радиоисточники с $\alpha < -1.3$. Им уделялось внимание при поиске АЯГ с большим z , так как в ряде работ было показано, что

¹<https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/J/other/AstBu/79.36>

крутые спектры соответствуют самым высоким красным смещениям [90–93]. В данной работе используется классификация радиоспектров, представленная в Таблице 5.

Укручение спектральных индексов источников на низких частотах с увеличением плотности потока было показано в ряде работ [94–96], а также в работе [97] для 43 000 источников каталога VCSS на частоте 340 МГц. В работе [98] для спектральных индексов на частоте 3.94 ГГц для радиоисточников RC каталога получена обратная зависимость – уплощение спектральных индексов, что объясняется вкладом излучения далеких и ярких квазаров.

В зависимости «красное смещение – спектральный индекс» по данным нашей работы также просматривается уплощение спектральных индексов квазаров с ростом z (Рис. 2.7, справа). Однако в работе [99] на 178 МГц, с $S_{178} \geq 10$ Ян явно прослеживается укручение спектральных индексов с увеличением красного смещения для галактик с мощным радиоизлучением и крутыми спектрами. Это другой класс объектов с USS, High- z radio galaxies (HzRGs) – галактики с активным звездообразованием на больших z .

С помощью базы данных CATS источники выборки были отождествлены с источниками других радиокаталогов на разных частотах. По данным обзора и литературным данным были построены радиоспектры исследуемых объектов. Для этого использовалась программа *spg* штатного пакета обработки данных FADPS. Спектральный индекс рассчитывались как тангенс угла наклона прямой на графике $\log \nu \sim \log S_\nu$ ($S_\nu \propto \nu^\alpha$) между данными NVSS на 1.4 ГГц и данными, полученными в данной работе на 4.7 ГГц.

Таблица 5 — Классификация радиоспектров, $S_\nu \propto \nu^\alpha$

Тип	Критерий
Пиковой	$\alpha_{\text{low}} > 0, \alpha_{\text{high}} < 0$
Вогнутый	$\alpha_{\text{low}} < 0, \alpha_{\text{high}} > 0$
Плоский	$-0.5 \leq \alpha \leq 0.3$
Инвертированный	$\alpha > 0.3$
Степенной	$-1.0 \leq \alpha < -0.5$
Крутой	$-1.3 \leq \alpha < -1.0$
Ультракрутой	$\alpha < -1.3$
Сложный	Многокомпонентный

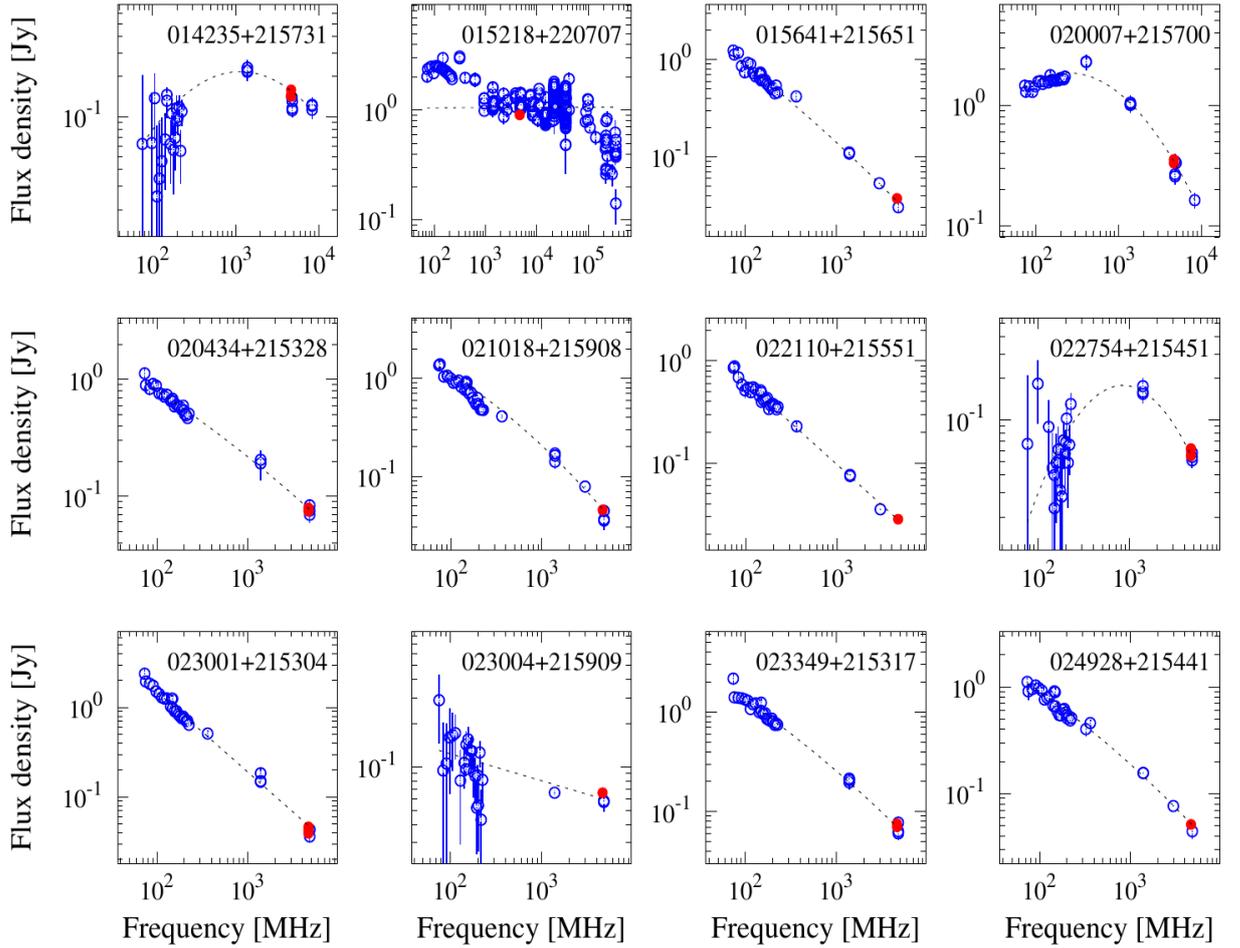


Рисунок 2.3 — Пример радиоспектров источников разных типов. *Красные* точки измеренные данные из этой работы на 4.7 ГГц

Распределение спектральных индексов приведено на Рис. 2.4, его пиковое значение $\alpha \approx -0.9$. Классификация показала, что 124 источника (61%) имеют нормальный степенной спектр ($-1.1 < \alpha < -0.5$), 22 (11%) являются источниками с пиком в спектре, 25 объектов (12%) — источники с очень крутым спектром, у 26 источников (13%) спектр плоский ($-0.5 < \alpha < 0.3$, три источника имеют инвертированный спектр ($\alpha > 0.3$), а восемь — укрупнение на низких частотах. У 16 источников обзора частоты пиковых плотностей потоков ниже 1 ГГц, они являются кандидатами в MPS источники. Пять источников, имеющие максимум потоков в диапазоне частот 1–2 ГГц, являются кандидатами в GPS источники. Пиковая частота NVSS J072614+215319 равна 8.5 ГГц, и он является кандидатом в HFR источником.

На Рис. 2.3 представлен пример построенных радиоспектров разных типов; спектры всех 205 источников приведены на Рисунках Приложения А, где синим цветом обозначены данные из CATS, а красным — измеренные в настоя-

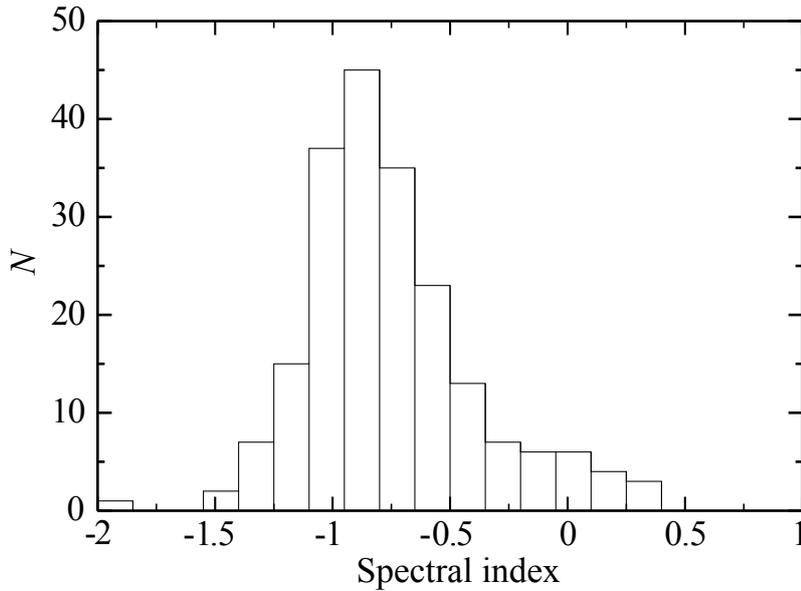


Рисунок 2.4 — Гистограмма распределения спектральных индексов источников выборки на частоте 4.7 ГГц.

щей работе значения плотностей потоков на 4.7 ГГц. На спектрах приведено от одного до трех измерений, в зависимости от качества данных и выноса источников из фокуса радиометров. Для 50 объектов измерения выполнены впервые на частотах ≥ 4.7 ГГц. Значения спектральных индексов и их ошибок приведен в каталоге (Таблица В.1 Приложения), фрагмент которого представлен в Таблице 6.

2.3 Переменность радиоизлучения источников

Для всех объектов выполнена оценка индекса переменности радиоизлучения для данных с усреднением по месяцам в течение года.

Безразмерный индекс переменности V_S мы рассчитывали по измененной формуле из [68], где вместо величин плотностей потоков используются их антенной температуры T_a . Такая замена позволяет оценить индекс переменности источников в зависимости от T_a .

На Рис. 2.5 приведены рассчитанные значения V_S , где присутствует только одно относительно большое значение $V_S = 0.3$, которое принадлежит известному блазару NVSS J132700+221050 (B2 1324+22) на $z = 1.4$ с изменением плотности потока более чем в два раза в течение года. Еще пять источников имеют пе-

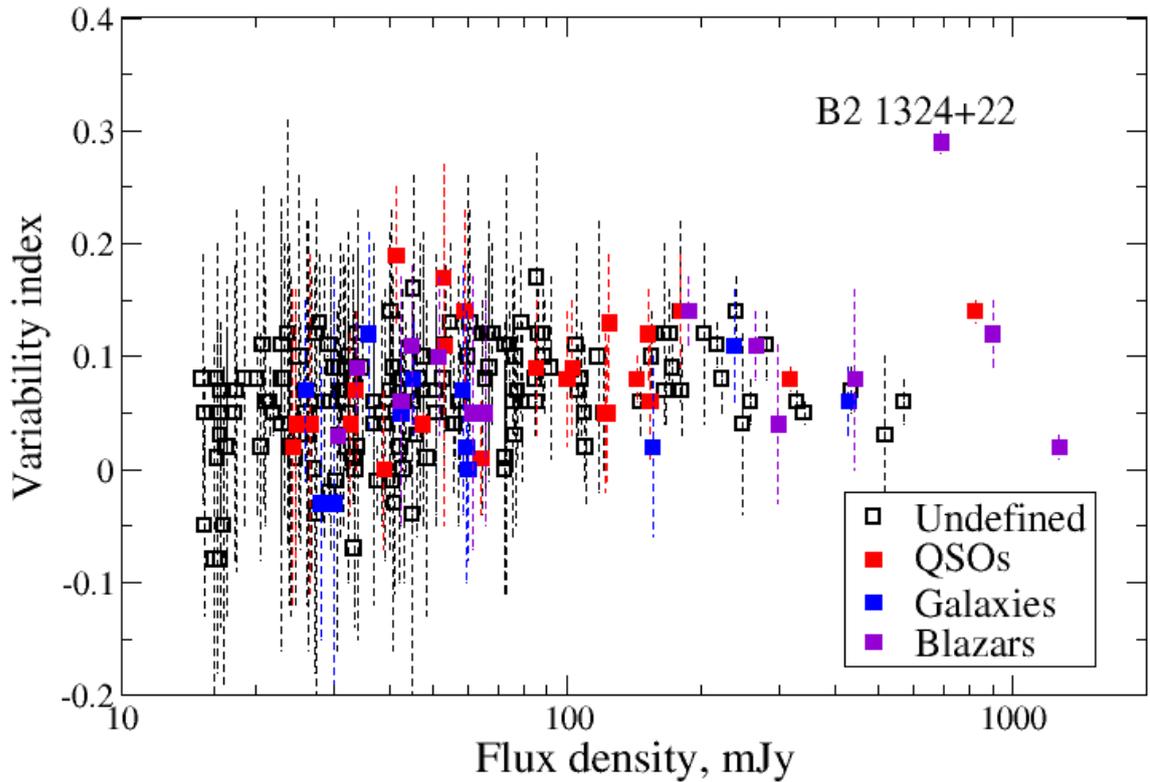


Рисунок 2.5 — Индексы переменности (в безразмерных единицах) для 205 источников на 4.7 ГГц.

ременность излучения с $V_S \sim 0.2$ с изменением амплитуды в полтора раза. Это источники NVSS каталога: 114417+220752 ($V_S = 0.17 \pm 0.09$), 141726+220539 ($V_S = 0.17 \pm 0.11$), 133212+220549 ($V_S = 0.16 \pm 0.10$) и 170744+220049 ($V_S = 0.19 \pm 0.06$). Для остальных источников $V_S < 0.15$. из чего следует, что на масштабах одного года 97% источников значимой переменностью не обладают из-за ошибок сопоставимых с рассчитанными значениями индекса переменности. На Рис. 2.6 *слева* представлено изменение излучения блазара B2 1324+22 за год наблюдений; *справа* гистограмма распределения источников по индексу переменности V_S для всех 205 источников.

Значения индексов переменности и их ошибок приведены каталоге (Таблица В.1 Приложения), фрагмент которого представлен в Таблице 6.

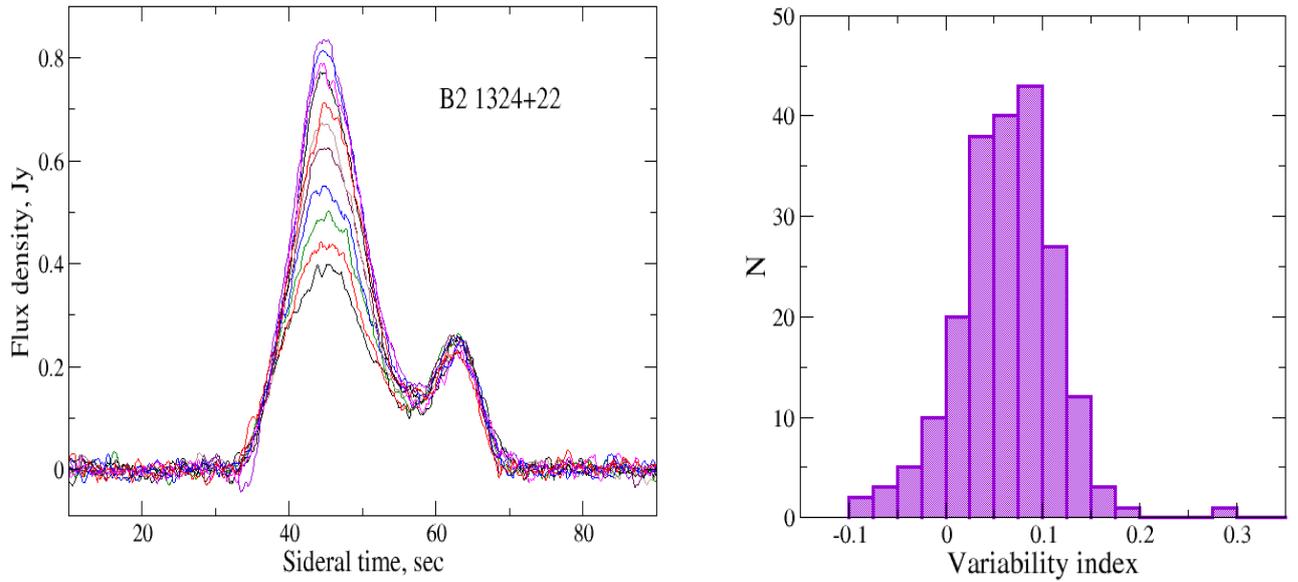


Рисунок 2.6 — Переменность источников: *слева* изменение излучения блазара B2 1324+22 за год наблюдений; *справа* гистограмма распределения источников по индексу переменности V_S для 205 источников

2.4 Кросс-идентификация с оптическими каталогами

Для источников выборки были проанализированы имеющиеся для них литературные данные. С этой целью было проведено отождествление с источниками баз астрофизических данных VizieR, NED и Roma-BZCAT методом кросс-идентификации в радиусе $15''$ и выполнено оптическое отождествление с каталогами SDSS (DR16), Gaia DR3, Guide Star Catalog, Pan-STARRS. В результате была получена информация о физических характеристиках объектов: их оптические и звездные величины, красные смещения и классы объектов (квазар, блазар, галактика и т.д.). В оптическом диапазоне большинство источников (147; 72%) отождествлено с каталогом SDSS. Так как обзор SDSS не покрывает всего неба, дополнительно проведено отождествление с оптическими каталогами Gaia DR3, Guide Star Catalog, Pan-STARRS. Из каталога SDSS были использованы данные о морфологических характеристиках (протяженный/точечный), для протяженных — фотометрические красные смещения. Для части объектов в каталоге имеются спектроскопические данные, в таком случае известны фи-

Таблица 6 — Измерения 205 радиоисточников

(фрагмент Таблицы *B.1* из Приложения)

Source name — имя источника; R — номер луча (радиометра); V_S — индекс переменности и его ошибка; $S_{4.7}$ — плотность потока излучения и ошибка измерения; ΔH — вынос относительно центрального сечения ДН; HW — полуширина профиля источника, α — спектральный индекс и его ошибка; N — число месяцев, за которые получено усреднение записей

Source name	R	$V_S \pm err$	$S_{4.7} \pm err$ mJy	ΔH [']	HW s	$\alpha \pm err$	N
000727+220413	1	0.14 ± 0.08	180.0 ± 11.8	11.3	15.5	-1.25 ± 0.06	12
001145+215912	1	0.05 ± 0.06	123.1 ± 6.6	3.3	10.9	-0.74 ± 0.06	12
002130+215319	3	0.12 ± 0.14	24.3 ± 3.1	0.2	11.0	-0.64 ± 0.09	12
002337+215624	1	0.07 ± 0.03	166.1 ± 6.8	-1.2	6.6	-0.81 ± 0.06	12
003147+215347	3	0.06 ± 0.02	258.2 ± 9.3	0.9	9.3	-0.86 ± 0.09	12
004157+215423	2	0.02 ± 0.12	32.2 ± 2.5	-1.3	11.9	-0.45 ± 0.13	12
011852+215144	2	-0.01 ± 0.15	40.6 ± 2.7	-5.8	12.8	-0.92 ± 0.07	12
012428+215454	2	0.11 ± 0.14	20.8 ± 1.7	-0.8	10.7	-0.63 ± 0.06	11
012729+215136	3	0.15 ± 0.14	17.0 ± 2.7	-2.9	12.0	-0.99 ± 0.08	12
013352+220125	1	0.11 ± 0.16	53.1 ± 4.1	6.5	13.5	-0.62 ± 0.08	12

зические характеристики объектов (их класс: галактика либо квазар) и их спектроскопические красные смещения. Отождествление с каталогом внегалактических объектов Gaia DR3 дало значения красных смещений еще для 18 объектов. Отождествление с 2MASS вне области покрытия SDSS дало информацию о морфологии для 35 объектов. Дополнительно, в каталоге Pan-STARRS вне области покрытия SDSS два источника отождествлены с пустыми полями. Всего 11 объектов выборки находятся в пустых оптических полях. Три источника расположены в оптических полях с большим количеством оптических источников каталога Pan-STARRS. Из-за большой плотности объектов на снимках и из-за отсутствия информации об их природе не удалось однозначно получить отождествление источников исследуемой выборки, попадающих в данное поле. Результаты отождествления приведены в Приложении.

При наличии нескольких измерений красных смещений объектов для дальнейшего анализа предпочтение отдавалось спектроскопическому методу. Три источника имеют близкие значения измерений спектральных красных смещений в разных независимых работах. Для источника NVSS J091914+22051 при-

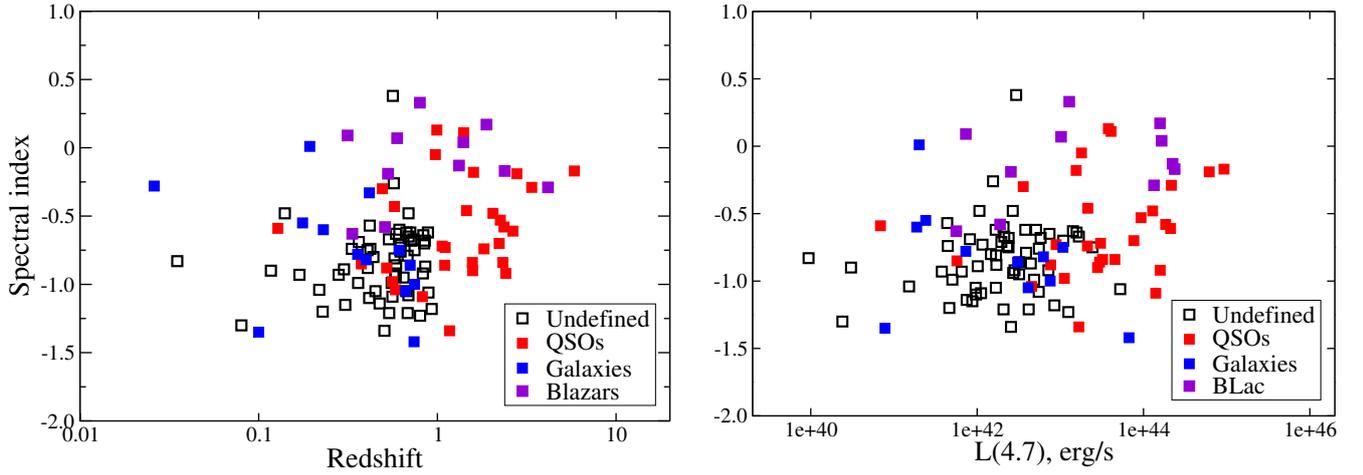


Рисунок 2.7 — Зависимость спектральных индексов 205 источников на частоте 4.7 ГГц: *слева* от красного смещения z , *справа* от радиосветимости $L_{4.7}$

ведено два значения спектроскопического красного смещения, так как они отличаются существенно.

В результате 86% были отождествлены с оптическими и инфракрасными каталогами. 44% процента источников являются протяженными, и 42% источников являются точечными. Остальные не отождествлены с оптическими данными. Лишь 30% источников имеют определенный физический тип. Из всей выборки: квазары — 18%, блазары — 6%, галактики — около 6%.

Для 112 объектов известно красное смещение, спектроскопическое либо фотометрическое. Для этих источников рассчитана радиосветимость на частоте 4.7 ГГц. Результаты оптических отождествлений приведены в Таблице В.3 Приложения.

2.5 Радиосветимость источников

Для 112 объектов с известными красными смещениями рассчитана радиосветимость на частоте 4.7 ГГц.

В расчетах использовалась Λ CDM космология с $H_0 = 67.4 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$, $\Omega_m = 0.315$ и $\Omega_\Lambda = 0.685$ [100] для оценки радиосветимости по формуле [101]:

$$L_\nu = 4\pi D_l^2 \nu S_\nu (1+z)^{-\alpha-1}, \quad (2.1)$$

где ν — частота наблюдений, S_ν измеренная плотность потока на частоте наблюдения, z — красное смещение, α — спектральный индекс, D_l — фотометрическое расстояние [102].

$$D_L = \frac{c}{H_0}(1+z) \int_0^z \frac{dx}{H(x)/H_0}, \quad (2.2)$$

где c - скорость света.

$$H(z) = H_0[\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_\Lambda] \quad (2.3)$$

Значения фотометрического расстояния были получены с помощью модуля `cosmology` пакета `astropy` для языка программирования `Python`.

Расчетные значения радиосветимости на частоте 4.7 ГГц и их ошибки приведены в Приложении в Таблице В.4. Точность оценки радиосветимости определяется ошибками всех входящих в уравнение величин. Самые большие ошибки светимости связаны с существенными ошибками фотометрического красного смещения.

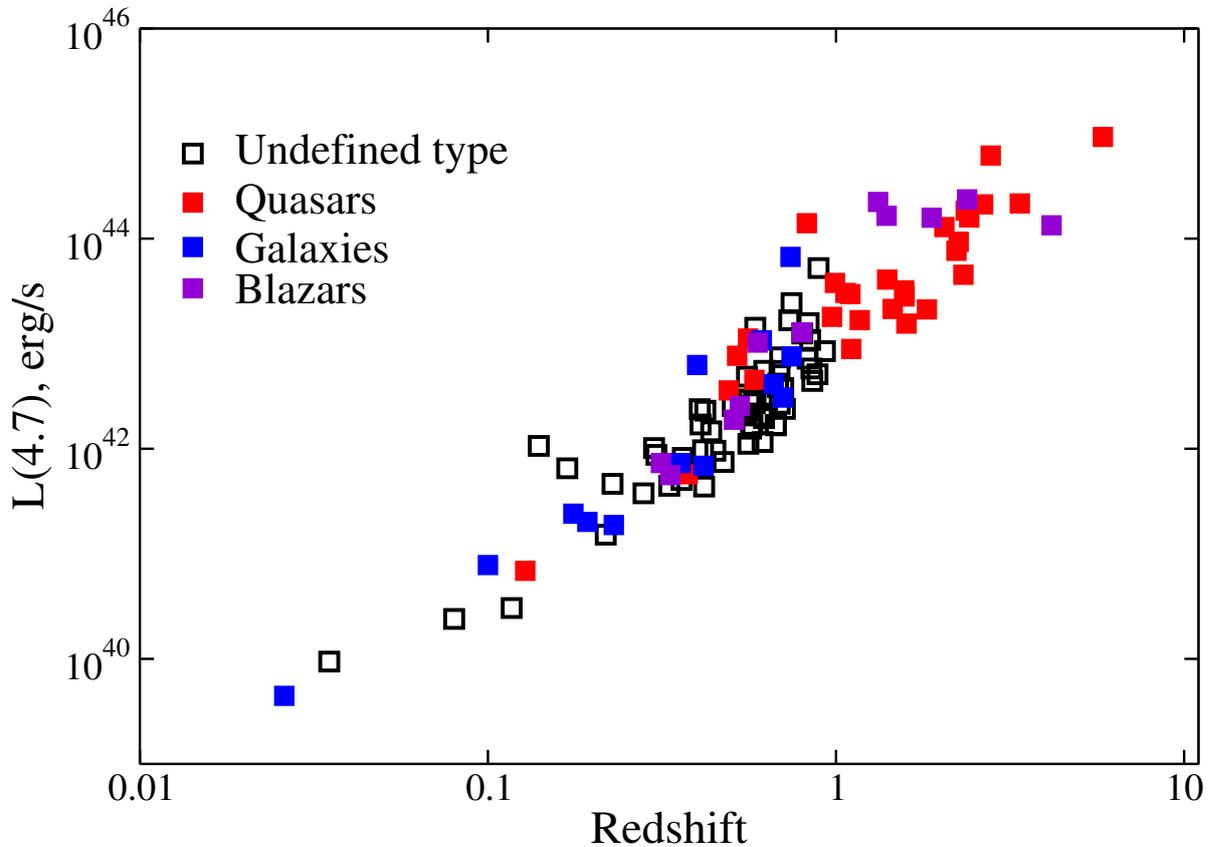


Рисунок 2.8 — Радиосветимость источников на частоте 4.7 ГГц в зависимости от красного смещения для квазаров, блазаров, галактик и источников неизвестного типа.

На Рис. 2.8 показано распределение вычисленных значений радиосветимости источников на частоте 4.7 ГГц в зависимости от красного смещения для квазаров, блазаров, галактик и источников неопределенного типа. Учитывая, что объектами с низкой светимостью являются в основном протяженные объекты, а также то, что в среднем они с $\alpha \sim -1$ и с $z < 1$ и со средней светимостью $L = 1.9 \cdot 10^{42}$, близкой к галактикам, то можно предположить, что эти объекты также являются галактиками. Объектами с наибольшей светимостью являются далекие квазары, для которых средняя светимость $L = 3.4 \cdot 10^{43}$ и $L = 9.4 \cdot 10^{43}$ эрг/сек, соответственно.

2.6 Выводы Главы 2

1. В обзоре за 2018–2019 гг. на Западном секторе радиотелескопа РАТАН-600 на склонении пульсара в Крабовидной туманности ($\text{Dec} = 22^\circ$) на трехлучевом радиометрическом комплексе на частоте 4.7 ГГц обнаружено 205 ярких источников. Для всех источников определены средние плотности потоков: за год наблюдений, за каждый из 12 месяцев и за каждые три дня для 26 наиболее ярких из них. Все данные сведены в каталоги и расположены в Приложении.
2. По данным, полученным в настоящей работе, а также из базы данных CATS, построены континуальные радиоспектры всех 205 объектов выборки. Из них 124 источника (61%) имеют степенной спектр; 22 источника с пиковым распределением в радиоспектре – источники типа CSS - GPS; 25 источников являются источниками с USS; 26 источников имеют плоский спектр - квазары и блазары; три источника имеют инвертированный спектр, возможно тепловой; восемь источников имеют подъем в спектре на низких частотах. Для четверти источников в высокочастотной области спектра ($\nu \geq 4.7$ ГГц) данные были получены впервые, а для остальных дополнены либо уточнены. Пиковое значение распределения спектральных индексов $\alpha \approx -0.9$.
3. В зависимости «радиосветимость – спектральный индекс» прослеживается укрупнение спектральных индексов с уменьшением светимости

источников, что как предполагается обусловлено вкладом галактик, к которым с большой вероятностью относятся и объекты неопределенного типа. В зависимости «красное смещение – спектральный индекс» — уплощение спектральных индексов с увеличением z , что не согласуется с такими распределениями на низких частотах. Предполагается, что это связано со значительным вкладом далеких квазаров с мощным радиоизлучением.

4. Получены оценки переменности источников как по индексу переменности на интервалах одного года, так и на интервале трех суток для 26 наиболее ярких источников. Оценка V_S показала, что у большинства источников выборки (97%) не было значительного изменения ($V_S < 0.15$) спектральной плотности потока. Однако блазар B2 1324+224 показал двукратное увеличение плотности потока в течение одного года ($V_s = 0.3$). У самого яркого источника обзора ($S_{1.4} > 1$ Ян) NVSS 060351+215937 (4C+22.12), кандидата в блазары, изменения в уровне излучения не обнаружено. Среди исследованных на суточную переменность источников два (NVSS 043458+215540 и NVSS 161334+220425) находятся в пустых полях SDSS. Еще для семи источников из литературы неизвестен их класс.
5. Методом кросс-идентификацией с источниками оптических каталогов SDSS (DR16), Gaia (DR3) Extragalactic, Pan-STARRS, инфракрасного 2MASS и с источниками баз данных SIMBAD, NED, Roma-BZCAT отождествлено 86% источников выборки. Протяженными являются 44% процента источников, точечными — 42%. Остальные не отождествлены. Лишь 30% источников имеют определенный физический тип. Во всей выборке: квазаров — 18%, блазаров — 6%, галактик — около 6%. Протяженные объекты, вероятно, связаны с более слабыми или далекими галактиками. Отождествлены только с инфракрасными данными 35 объектов.
6. Для 112 отождествленных объектов (57%) рассчитана светимость, наибольшую из которых показывают далекие квазары, а наименьшую относительно близкие галактики.

Глава 3. HFP блазар PKS 1614+051

3.1 Радиоисточники с пиком на высоких частотах (HFP)

Источники с пиком в спектре радиоизлучения, приходящимся на радиочастоты $0.05 < \nu_p < 20$ ГГц, называются peaked-spectrum или PS-источниками. В зависимости от положения пика, классифицируются как CSS (Compact Steep Spectrum, $\nu_p \leq 0.5$ ГГц), GPS (Gigahertz Peaked-Spectrum, $0.5 < \nu_p < 5$ ГГц) и HFP (High Frequency Peakers, $\nu_p > 5$ ГГц) [103]. Ответственными за наличие спектрального пика обычно считаются механизмы синхротронного самопоглощения (synchrotron-self absorption – SSA) [104; 105] или свободно-свободного поглощения (free-free absorption – FFA) [106]. Схематически такой спектр показан на Рис. 3.1.

Эти механизмы объясняют наблюдаемую антикорреляцию между частотой пика в спектре и видимым линейным размером источника [107; 108]. Согласно этой антикорреляции, чем выше частота пика, тем компактнее радиоисточник. Поэтому объекты HFP рассматриваются как кандидаты в молодые радиоисточники [109]. Плотная окружающая среда также рассматривается как причина того, что источник не расширился и остается компактным [85]. Согласно предположению о молодом возрасте HFP-объектов, они могут эволюционировать в протяженные объекты и представляют самые ранние стадии эволюции галактик [110; 111]. Поскольку пиковая форма спектра наблюдается и у вспыхивающих блазаров, различить истинно молодые компактные радиоисточники и блазары можно только на основе многоволновых и долговременных измерений в радиоконтинууме.

PS радиоисточники являются отдельным предметом исследования начиная с начала 80-х годов прошлого века. В работе Peacock и Wall [112] по картированию полной выборки ярких источников ($S_{2.7} > 1.5$ Ян) показано, что более компактные радиоисточники имеют более плоские двухчастотные радиоспектры между 5 и 2.7 ГГц ($\alpha > -0.5$, $S_\nu \propto \nu^\alpha$). Теми же авторами в работе [113] был выделен отдельный класс компактных радиоисточников со степенными спектрами (CSS).

Phillips и Mutel [111] в 1982 г. обратили внимание на то, что двойные радиоисточники имеют, как правило, инвертированный спектр либо спектр с пиком. При этом расстояние между компонентами таких источников больше, чем размеры самих источников. На радиокартах они похожи на FR II, но в 100-1000 раз меньше [114] и имеют размер $\sim 10\text{--}1000$ пк [115]. Сегодня эти источники известны, как радиоисточники CSO (Compact Symmetric Objects, компактные симметричные объекты). Предполагается, что значительная часть галактик FR 0 является CSS либо PS радиоисточниками [116].

При этом стоит отличать истинные PS радиоисточники с постоянной пиковой формой спектра от переменных объектов, у которых пиковая форма спектра проявляется временно во время вспышек [117] и рождения “молодых” и компактных компонент с синхротронным самопоглощением. Хотя форма истинных PS радиоисточников является неизменно пиковой, сама пиковая частота и форма радиоспектра могут изменяться. Особенностью источников с пиком является их компактность, которая является критерием определения объекта как PS радиоисточника с помощью РСДБ-карт. Таким образом, можно суммировать классификацию PS радиоисточников в зависимости от величины пиковой частоты и линейного размера: радиоисточники с пиком на частоте нескольких сотен МГц (Megahertz Peaked Sources, MPS), GPS источники с пиком на частоте 1–5 ГГц, HFP источники с пиком на частотах более 5 ГГц, а также компактные CSS источники со степенным спектром. Полагают, что источники CSS обладают свойствами, сходными с источниками GPS и HFP, но их пиковые частоты значительно ниже [84]. Следовательно, основным различием между источниками GPS, CSS и HFP являются частота спектрального пика и размер объекта. HFP имеют видимый линейный размер < 0.1 кпк. Источники GPS имеют линейные размеры порядка 1 кпк, в то время как CSS-источники имеют линейный размер

Таблица 7 — Классификация радиоисточников с пиком в спектре излучения

Класс объекта	Характеристика спектра	Линейные размеры, кпк	Ссылки
CSS	$\alpha < -0.5, \nu_p \ll 1$ ГГц	1–20	[84; 108]
MPS	$\nu_p < 1$ ГГц	≤ 1	[118]
GPS	$0.5 < \nu_p < 5$ ГГц	≤ 1	[84]
HFP	$\nu_p > 5$ ГГц	< 0.1	[119; 120]

около 1–20 кпк и, как принято считать, имеют самые низкие пиковые частоты, до сотен мегагерц [84]. Таблица 7 суммирует данную классификацию.

Впервые НФР радиоисточники были выделены в отдельный класс в работе D. Dallacasa и других в 2000 году [119]. Авторы определили НФР радиоисточники, как источники с пиковым радиоспектром континуума и с максимумом на частоте больше нескольких ГГц. В результате наблюдений на 8 частотах в диапазоне от 1.4 до 22.5 ГГц радиоинтерферометра VLA, был получен список ярких ($S_{5GHz} > 0.3$ Ян) 55 НФР радиоисточников. В дальнейшем, эти источники наблюдались на радиоинтерферометре VLA с целью получения информации об их размере и морфологии. Оказалось, что пиковая форма радиоспектра континуума не всегда является постоянной характеристикой объекта и в выборку вошли не только молодые объекты, но и блазары, которые были на момент наблюдений в стадии вспышки с компонентой с сильным синхротронным самопоглощением [117]. Той же группой в 2009 году выборка была дополнена слабыми ($S_{5GHz} > 50$ мЯн) НФР радиоисточниками и их общее количество составило 61 источник [121]. Из-за эффекта релятивистского замедления времени, для подтверждения постоянства излучения более далёких объектов, требуется всё большее время наблюдений.

Существующая антикорреляция между видимыми линейными размерами источника l и пиковой частотой радиоспектра ν_p , где $\nu_p \propto l^{-0.65}$ [84] позволяет предполагать, что компактные источники являются либо молодыми, либо источниками в плотном газовом окружении. Таким образом, НФР представляются источниками на самых ранних стадия эволюции существующих АЯГ [84].

Благодаря своей компактности и симметричности, GPS и НФР радиоисточники, находясь в пределах центрального региона излучения узких линий (NLR, narrow-line region) АЯГ, могут помочь в изучении газовой составляющей родительской галактики и эволюции радиоисточников.

По сценарию, при котором наиболее компактные радиоисточники являются более ранней стадией источников менее компактных и далее протяженных, НФР радиоисточники являются представителями объектов на наиболее ранних стадиях эволюции. При дальнейшем расширении источники переходят в класс GPS, MPS и в наименее компактные CSS [122; 123].

3.2 Механизм формирования пикового радиоспектра

В однородном магнитном поле заряженная частица движется вдоль линии магнитного поля по спиральной траектории с постоянной линейной и угловой скоростями.

В большинстве источников синхротронного излучения электроны распределены по степенному закону:

$$n(E)dE \propto E^{-\gamma}dE, \quad (3.1)$$

где $n(E)$ - число электронов в зависимости от их энергии E , γ - безразмерный показатель степени распределения.

Наблюдаемый спектральный индекс зависит от γ как $\alpha = -(\gamma - 1)/2$.

Формула синхротронного спектра однородного сферического источника может быть записана следующим образом (например, [104]):

$$S_\nu = \left(\frac{\nu}{\nu_p}\right)^{5/2} \cdot \left(1 - \exp\left\{-\left(\frac{\nu}{\nu_p}\right)^{-(\gamma+4)/2}\right\}\right), \quad (3.2)$$

где ν_p - частота, при которой оптическая толща $\tau=1$. Либо в терминах оптической толщи(например, [124]):

$$S_\nu = a_1 \left(\frac{\nu}{\nu_p}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{1 - \exp(-\tau)}{\tau}\right), \quad (3.3)$$

где $\tau = \left(\frac{\nu}{\nu_p}\right)^{-(\gamma+4)/2}$, a_1 - амплитуда синхротронного спектра.

Так как реальные астрофизические источники неоднородны, синхротронное самопоглощение всегда дает наклоны намного ниже $5/2$ и менее выраженный пик.

В случае свободно-свободно механизма (FFA) синхротронный фотон поглощается тепловыми электронами плазмы. Электрон, находящимся в поле иона поглощает фотон. До и после поглощения фотона электрон остаётся свободным, увеличивая кинетическую энергию на величину $E = h\nu$. В случае внешнего однородного FFA-поглощения плазма находится вне синхротронного источника, и зависимость спектральной плотности потока от частоты имеет

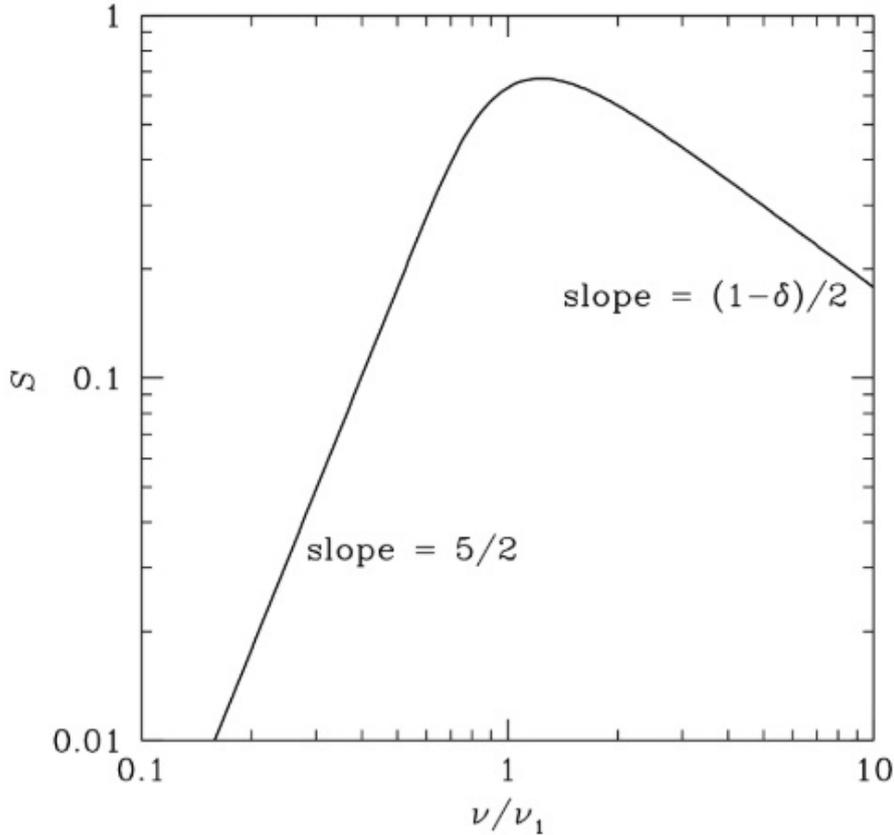


Рисунок 3.1 — Теоретический спектр однородного сферического синхротронного радиоисточника. На данном рисунке: S -плотность потока; ν_1 - пиковая частота, на которой оптическая толща $\tau=1$; δ -показатель степени распределения электронов [125]

следующий вид (например, [124]):

$$S_\nu = a_2 \nu^\alpha \exp(-\tau_\nu), \quad (3.4)$$

где $\tau_\nu = (\frac{\nu}{\nu_p})^{-2.1}$, a_2 — амплитуда синхротронного спектра. В случае когда поглощающая плазма перемешана с излучающими электронами FFA-поглощение называется внутренне неоднородным. В данном случае спектральная плотность потока зависит от частоты следующим образом:

$$S_\nu = a_3 \nu^\alpha \cdot \left(\frac{1 - \exp(-\tau_\nu)}{\tau_\nu} \right), \quad (3.5)$$

где $\tau_\nu = (\frac{\nu}{\nu_p})^{-2.1}$, a_3 — параметр нормализации.

3.3 Квазар PKS 1614+051

Далекий ($z = 3.21$, [52]) источник PKS 1614+051 является ярким радиогромким квазаром [126], существующим в эпоху, составляющую порядка 15% от настоящего возраста Вселенной. Классифицирован как FSRQ (Flat spectrum radio quasar, квазар с плоским спектром) в каталоге ROMA-BZCAT [49]. PKS 1614+051 известен также как PS источник [85; 127; 128] с частотой максимума 4–5 GHz, что делает его также и источником с пиком на высокой частоте (HFP) [117; 119; 129].

Анализ оптических данных показал наличие компаньонов вблизи многих объектов HFP, расположенных в галактиках [130; 131]. Исследуемый объект PKS 1614+051 также представляет собой взаимодействующую пару квазар-галактика [132]. Это подтверждает гипотезу о том, что взаимодействия между галактиками играют решающую роль в происхождении радиоизлучения от таких молодых объектов. PKS 1614+051 интересен как далекий HFP-квазар, который может быть кандидатом в молодые источники с возрастом 10^2 – 10^3 лет (Dallacasa et al., 2000). Согласно предположению о молодом возрасте HFP-квазаров (например, Blake, 1970; Phillips and Mutel, 1982), такие объекты будут эволюционировать в протяженные радиогалактики и квазары (например, FR I или FR II). Однако, поскольку пиковая форма спектра также встречается у вспыхивающих блазаров, необходимо различать по-настоящему молодые компактные радиоисточники и блазары. В этом могут помочь многоволновые и долговременные исследования HFP-радиоисточников.

Радиоспектр PKS 1614+051 был изучен в ряде работ, в которых частота ν_p пика была определена равной 4.1 ГГц [119], 4.7 ГГц [86], 5.8 ГГц [129] и 4.4 ГГц [128]. На РСДБ-изображениях на 8.4 ГГц блазар имеет яркую центральную компоненту и слаботоразрешаемую структуру в направлении на юго-запад; на частоте 15 ГГц присутствуют две компоненты на расстоянии ~ 1.4 mas (11 пк). Морфологически источник классифицируется как компактный симметричный объект (CSO) [129].

Радиосветимость $L_5 = 8.63 \pm 0.8 \cdot 10^{44}$ эрг/с и радиогромкость $Rl = 7.9 \cdot 10^3$ блазара оценены в работе [128].

Суммарный широкодиапазонный радиоспектр PKS 1614+051 был построен на основе литературных измерений, заимствованных в базе данных CATS [133; 134] и измеренных значений в настоящей работе на частотах 2.3 и 4.7 ГГц (обозначены красными точками). Спектр представлен на Рис. 3.3. Как яркий блазар (спектральная плотность потока в максимуме спектра достигает 1.5 Ян) он являлся целевым источником многих наблюдательных кампаний (порядка 50) в диапазоне частот 0.076–37 ГГц. Общее число литературных данных составляет порядка 900 измерений. В Таблице 8 представлен список основных каталогов, которые были использованы для построения радиоспектра PKS 1614+051.

Таблица 8 — Основные каталоги, использованные для построения радиоспектра PKS 1614+051

1 – инструмент или название каталога из CATS; 2 – период наблюдений; 3 – число измерений; 4 – частота; 5 – ссылка

Каталог	Период	N_{obs}	Частота, ГГц	Ссылка
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
RC	1980–1981	64	3.9	[135]
GB6	1986–1987	1	4.85	[5]
87GB	1987	1	4.85	[136]
RC	1987–1988	25	0.96, 2.3, 3.9, 7.7	[137]
GBIMO	1988–1994	578	2.25, 8.3	[28]
FIRST	1993–1995	1	1.4	[138]
NVSS	1993–1996	1	1.4	[6]
MGPS2	1996–1997	22	2.3, 4.8, 7.7, 11.2, 21.7	[139]
Kov97	1997	6	2.3, 3.9, 7.7, 11.2, 21.7	[44]
GPSDa	1998–2000	11	1.4, 5.0, 8, 15, 22	[119]
GPSTi	2000	8	1.4, 1.7, 4.5, 5.0, 8.1, 8.5, 14.9, 22.5	[117]
GPSra	2006–2010	24	1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2, 21.7	[140]
CGR15	2008–2009	142	15	[26]
TGSS	2010–2012	1	0.15	[141]
RATAN-600	2011–2016	5	1.2, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2	[142]
RATAN-600	2012–2020	10	2.3, 4.8, 7.7, 11.2, 22	[128]
GLEAM	2013–2014	21	0.076–0.220	[9]

В настоящей работе исследуются свойства переменности радиоизлучения блазара PKS 1614+051 на частоте 4.7 ГГц на временном масштабе 375 дней. Целью исследования является определение таких параметров переменности, как амплитуда, масштабы и возможная периодичность.

3.4 Наблюдения и обработка

Наблюдения блазара PKS 1614+051 проводились на Западном секторе РАТАН-600 (азимут = 270°) с 30.05.2019 по 08.06.2020 гг. в режиме обзора на склонении известного микроквара SS 433 (Dec=04:58:57). Первая часть наблюдений проводилась на комплексе из трёх радиометров на частоте 4.7 ГГц в период с 30.05.2019 по 20.11.2019 гг. Позже был добавлен ещё один аналогичный радиометр, после чего наблюдения проводились на четырёх радиометрах с 21.11.2019 по 08.06.2020 гг. Все радиометры были четырёх-канальными с шириной полосы пропускания 150 МГц каждого канала. В первой части наблюдений в фокусе антенны располагался входной рупор второго радиометра, во второй части фокус находился между рупорами второго и третьего радиометров. Расстояние между рупорами радиометров в первой части обзора: -92, 0, +92 мм. Во второй части: -138, -46, +46, +138 мм. Это соответствует смещению вдоль фокальной линии для первого цикла обзора: $-2.03'$, $0'$, $+2.03'$; для второго цикла: $-3.05'$, $-1.02'$, $+1.02'$, $+3.05'$. Наблюдения проводились с неподвижной антенной Западного сектора и с неподвижным вторичным зеркалом №5, расположенным в фокусе антенны сектора. Особенности прохождения источников через диаграмму телескопа были описаны в Главе 1. С 13 августа 2019 г. был установлен радиометр на более низкой частоте, 2.3 ГГц.

Привязка данных проводилась отдельно для двух циклов наблюдений на 4.7 ГГц, а также на частоте 2.3 ГГц. Данные в каналах каждого радиометра усреднялись с учётом разницы уровней средней T_a к их общему среднему значению. Проводилась также привязка между радиометрами с учетом абберационных потерь из-за смещения входных рупоров радиометров вдоль фокальной линии вторичного зеркала. Данные, полученные в каждом из радиометров,

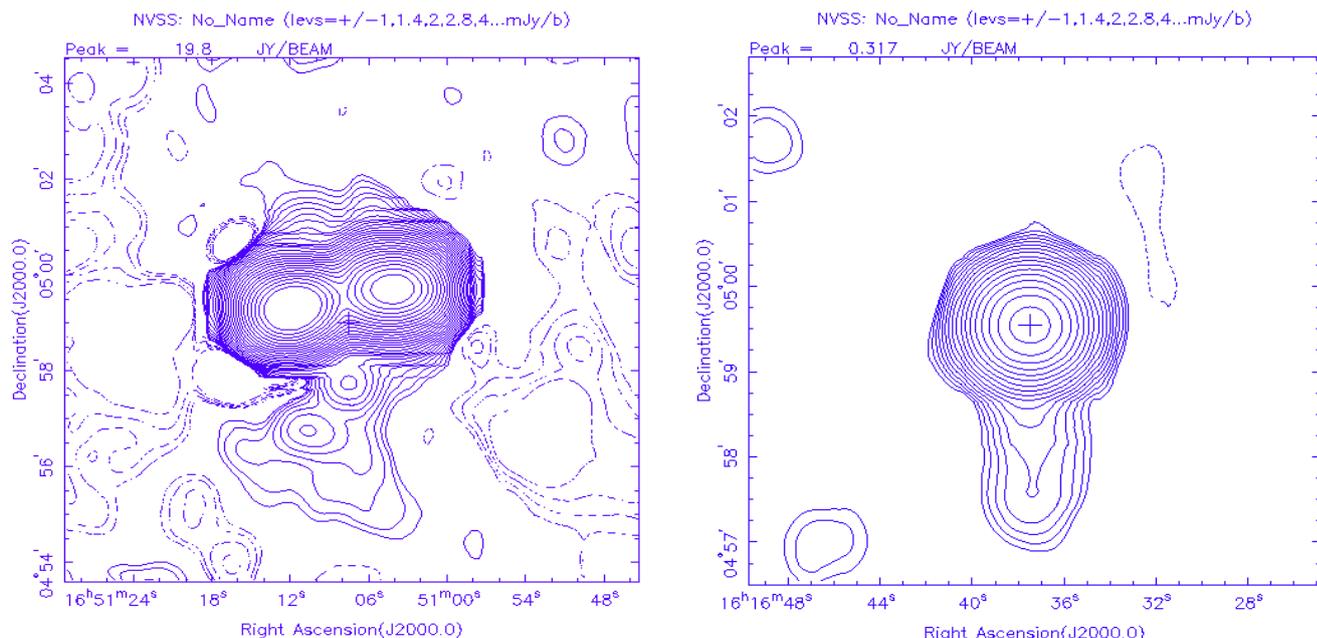


Рисунок 3.2 — Радиоизображение источников из NVSS обзора, полученные на интерферометре VLA: *слева* – калибровочного источника Геркулес А (3C 348), *справа* – исследуемого PKS 1614+051¹

усреднялись для получения средней кривой по всем радиометрам на 4.7 ГГц для получения максимального отношения сигнал/шум (S/N).

Для привязки данных и калибровки по плотности потока использовался яркий калибровочный источник 3C 348 – радиогалактика Геркулес А (Рис. 3.2) Источник является двойным и на Западном секторе РАТАН-600 при прохождении источника через ДН под позиционным углом $q \sim 46^\circ$ форма источника становится асимметричной, что учитывалось при его обработке. Антенная температура калибровочного источника определялась по максимуму его кривой прохождения через ДН. Такая оценка оказалась более точной, чем с помощью интеграла под кривой, так как в определение интеграла входят два независимых параметра параметра: полуширина HPBW и антенная температура T_a , а в измерение максимума входит только антенная температура.

Спектральная плотность потока калибровочного источника была принята равной 27.3 Ян на частоте 2.3 ГГц и 12.6 Ян на частоте 4.7 ГГц [143]. Но поскольку частоты каналов на 4.7 ГГц были разные, как приведено в Таблице 9, то обработка была проведена для каждого канала и каждого радиометра по отдельности. После этого полученные значения спектральной плотности потока излучения источника усреднялись. Нужно отметить, что исследуемый и калиб-

¹<https://www.cv.nrao.edu/nvss/postage.shtml>

Таблица 9 — Параметры радиометров и расчетная плотность потока калибровочного источника 3C 348

Параметры / номер канала	1	2	3	4	5
Длина волны (λ , см)	6.09	6.28	6.49	6.70	13.3
Центральная частота (ν_0 , ГГц)	4.48	4.78	4.63	4.93	2.25
Плотность потока (S_ν , Ян)	12.0	12.4	12.8	13.3	27.3

ровочный источники регистрировались на одном и том же часе наблюдений, что минимизировало различие условий их наблюдений.

На Рис. 3.3 приведены спектры источников из базы астрофизических каталогов CATS: калибровочного 3C 348 ($\alpha = -1.1$) и исследуемого НФР PKS 1614+051.

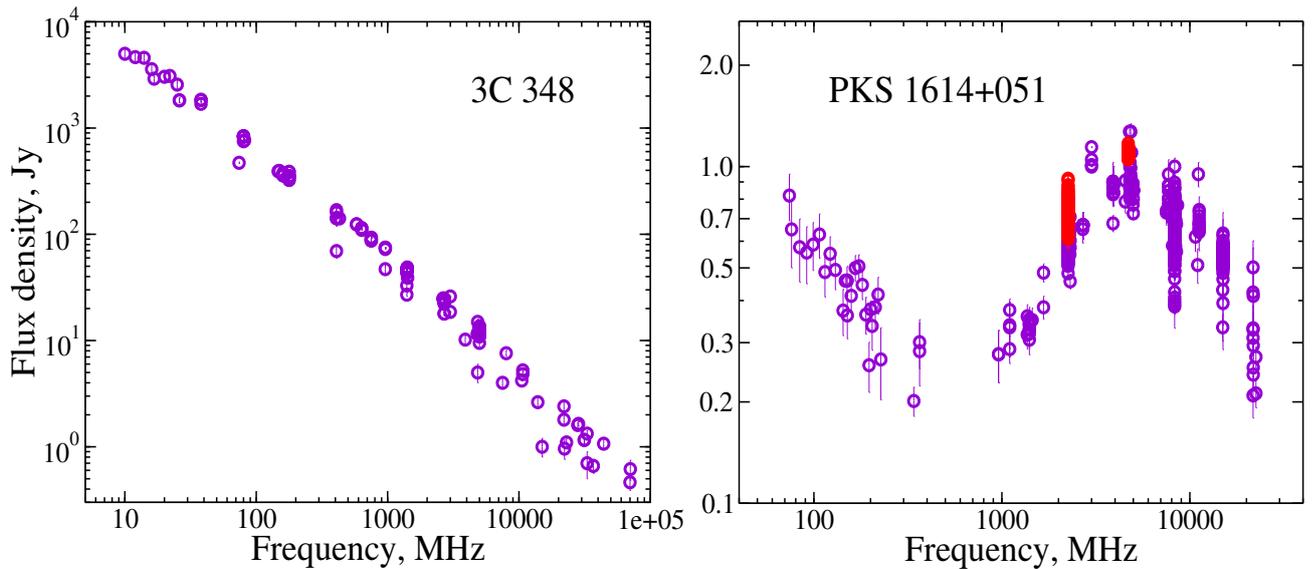


Рисунок 3.3 — Радиоспектры источников, построенные по литературным данным из CATS. Слева: — калибровочного источника 3C 348; справа: — исследуемого PKS 1614+051. Красные точки данные обзора

Обработка данных была проведена по каналам каждого радиометра. Для примера, на Рис. 3.5 и 3.6 приведены кривые за первый цикл наблюдений 5-11.2019 года калибровочного источника 3C 348 и исследуемого PKS 1614+051 по четырем каналам радиометра №2. Видна высокая степень подобия между

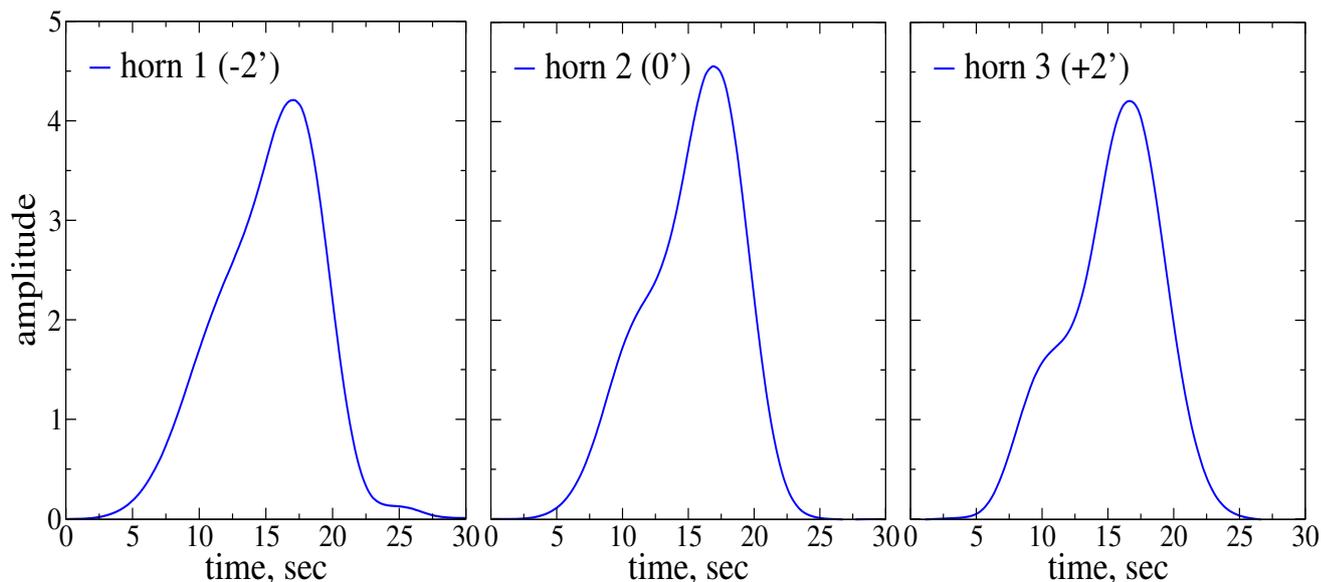


Рисунок 3.4 — Изменение формы кривой прохождения калибровочного источника 3С 348 из наблюдений в период времени июнь–ноябрь 2019 на трехлучевом комплексе на 4.7 ГГц со смещением вдоль фокальной линии на $-2.03'$, $0'$, $+2.03'$

каналами, с коэффициентом корреляции между ними 0.92 ± 0.01 в первом цикле наблюдений и 0.99 ± 0.00 , во втором. Ошибка одного измерения в среднем составила порядка 5%. Между одними и теми же каналами радиометров корреляция составила 0.78 ± 0.05 . Приведенная высокая корреляция в измерениях T_a источников в каналах радиометров позволяет после привязки каналов проводить их усреднение без заметной потери сигнала, но с уменьшением уровня шума. В целом это позволяет более надежно получить результат по исследуемому источнику.

На Рис. 3.7 и 3.8 представлены кривые нормированной T_a для калибровочного источника 3С 348 (розовая кривая) и для исследуемого PKS 1614+051 (синяя кривая). Кривые блеска на рисунке получены в период времени 30.05.2019 – 20.11.2019 гг. при усреднении данных, полученных по четырем каналам в трех радиометрах. Средняя относительная ошибка для первого цикла наблюдений на трех радиометрах, составила 1% и 1.3%, соответственно. Для второго цикла на четырех радиометрах, 0.7% и 1.0%. Кривые на нижнем рисунке получены в период времени 21.11.2019 – 08.06.2020 гг. при усреднении данных четырех радиометров.

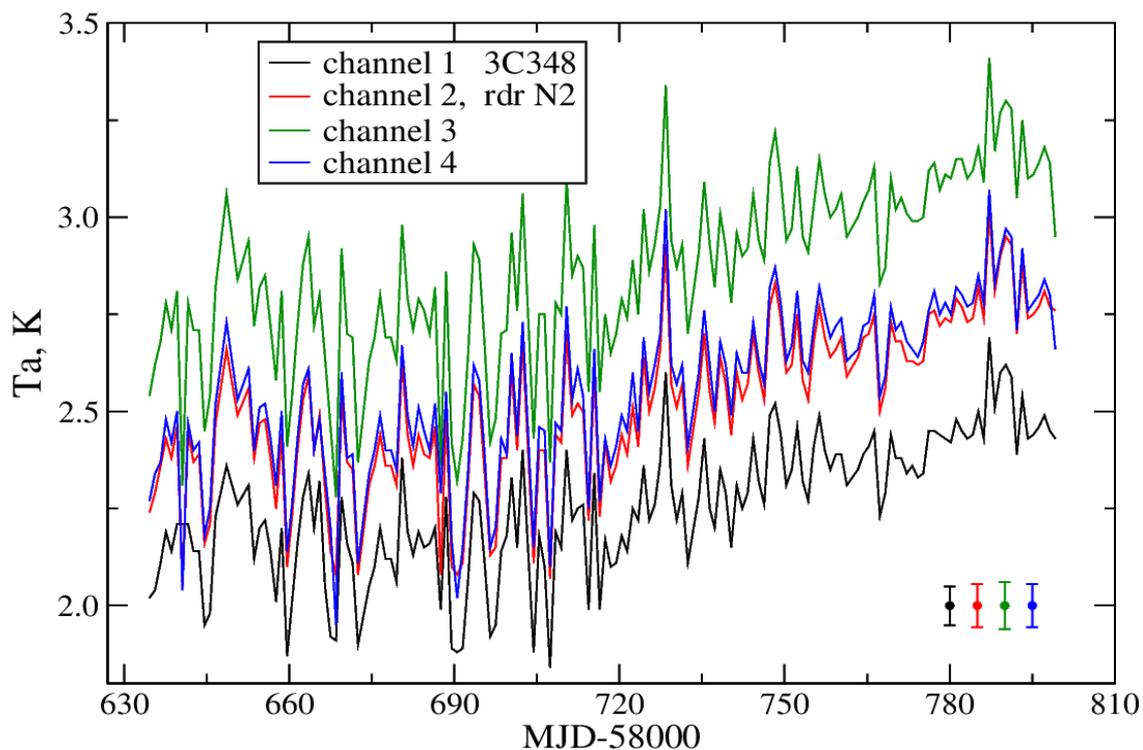


Рисунок 3.5 — Антенная температура (T_a) калибровочного источника 3C 348 на частоте 4.7 ГГц в период наблюдений с 29.05 по 20.11.2019 гг., измеренная в каналах радиометра №2

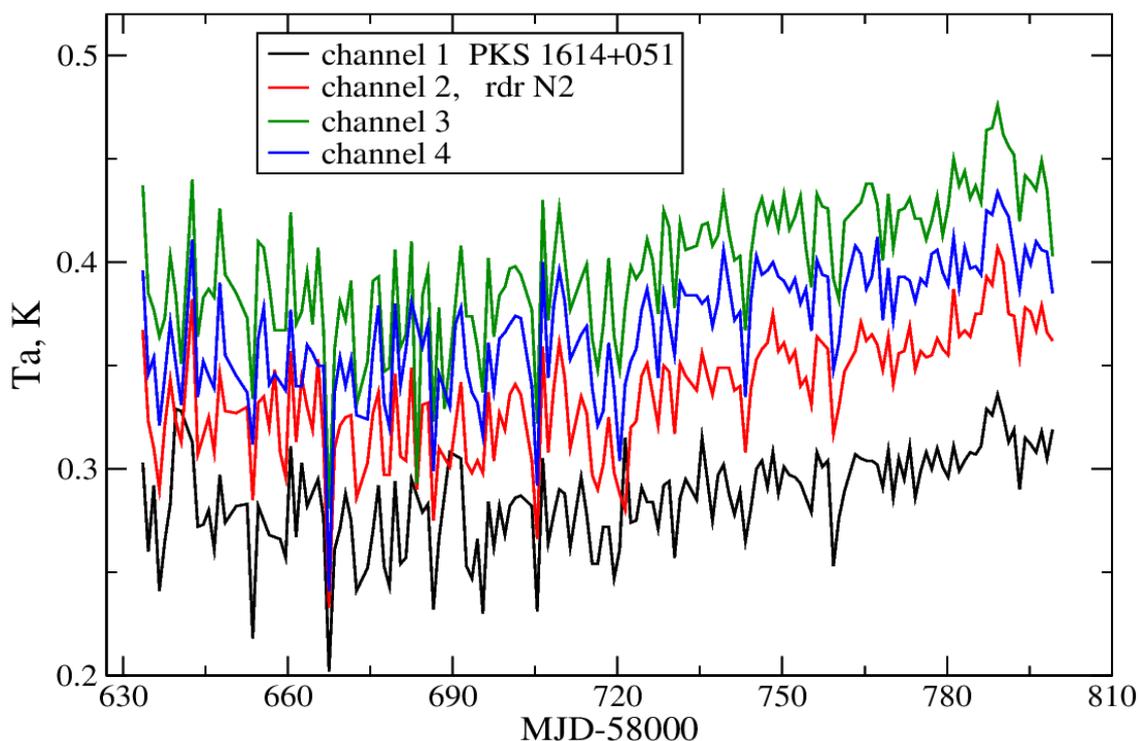


Рисунок 3.6 — T_a источника PKS 1614+051 на частоте 4.7 ГГц в период наблюдений с 29.05 по 20.11.2019 гг., измеренная в каналах радиометра №2

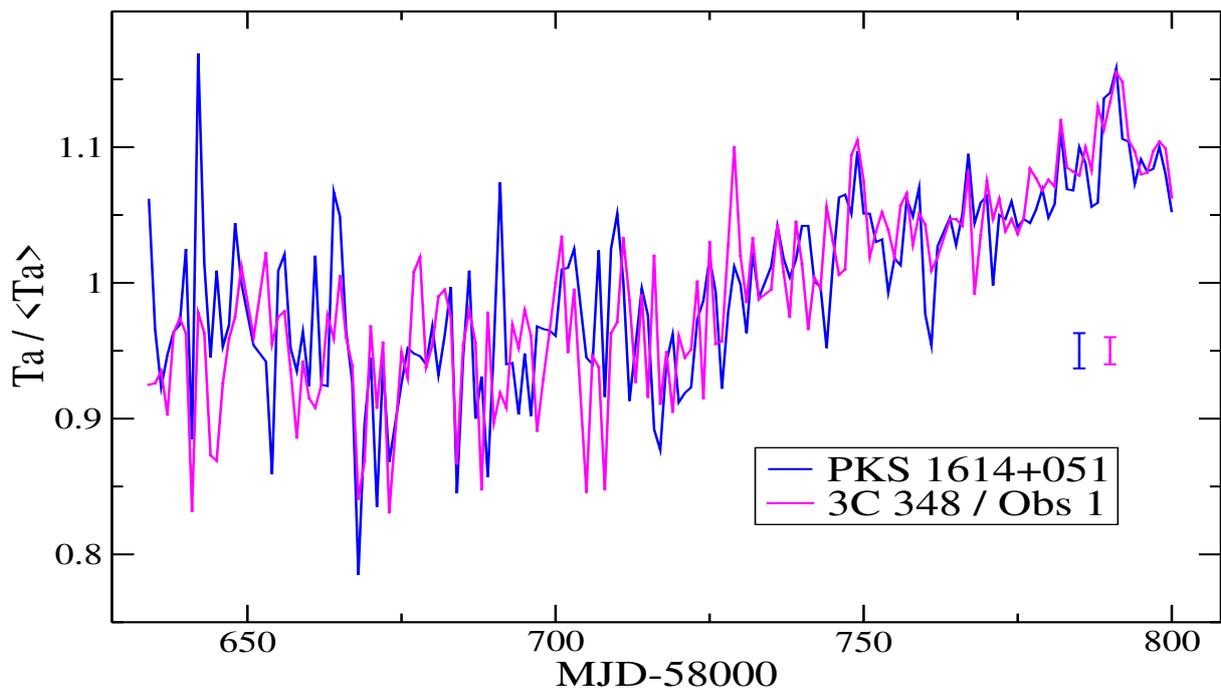


Рисунок 3.7 — T_a источников, нормированные на средние значения с 30.05 по 20.11.2019 гг., полученные при усреднении данных трёх радиометров. Розовой линией обозначен калибровочный источник 3C 348, синей линией — исследуемый источник PKS 1614+051

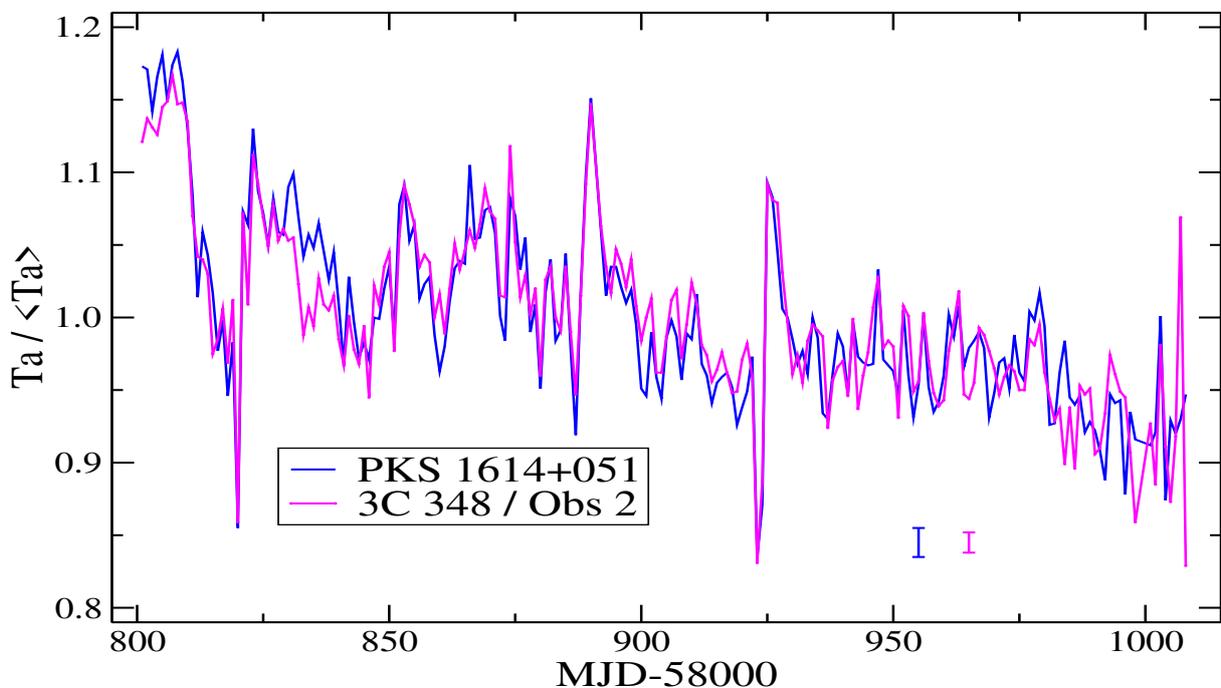


Рисунок 3.8 — T_a источников, нормированные на средние значения с 21.11.2019 по 08.06.2020 гг., измеренные при усреднении данных четырёх радиометров. Розовой линией обозначен калибровочный источник 3C 348, синей линией — исследуемый источник PKS 1614+051.

Можно видеть, что близость уровня кривых и всплесков на них связаны с изменением погодных условий – окружающей температуры за год наблюдений и, как следствие, изменение усиления радиоспектров. Коэффициент корреляции для первого цикла наблюдений между исследуемым и калибровочным источниками составил 0.74 ± 0.04 , для второго цикла наблюдений – 0.91 ± 0.01 , что указывает на высокую степень совпадений деталей на кривых. Это позволяет кривую блеска исследуемого источника скорректировать по кривой калибровочного источника. Подробный анализ кривой блеска представлен ниже в этой главе.

На Рис. 3.9 приведены ежесуточные кривые прохождения исследуемого источника PKS 1614+051 через ДН за год наблюдений. Первичные записи наблюдений приведены для двух частот: слева – на частоте 2.3 ГГц, справа – на частоте 4.7 ГГц. На частоте 2.3 ГГц заметен высокий уровень шума на записях из-за помех во время наблюдений, на частоте 4.7 ГГц их сравнительно меньше.

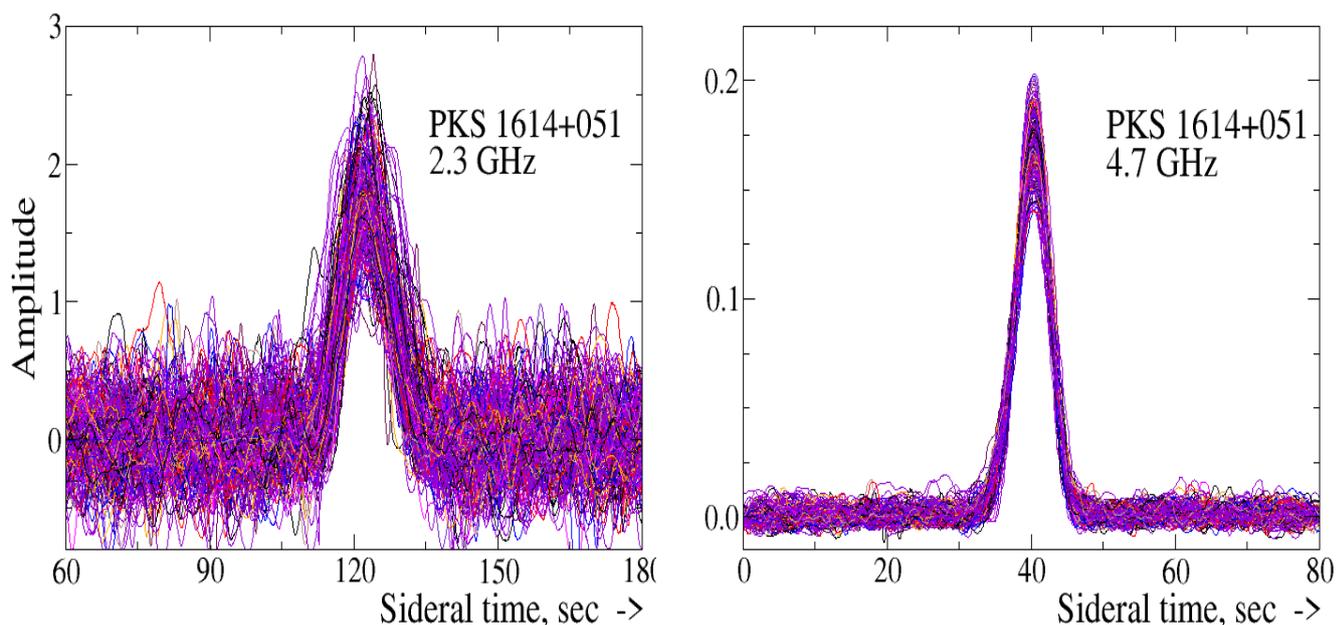


Рисунок 3.9 — Записи наблюдений источника PKS 1614+051 после коррекции по времени и амплитуде по калибровочному источнику ЗС 348. Слева: на 2.3 ГГц; справа: на 4.7 ГГц

Несмотря на то, что данные на 4.7 ГГц были получены с усреднением по всем радиометрам, средняя ошибка составила около 2%, а на 2.3 ГГц 10%. Для повышения точности было проведено усреднение по каждому трем дням на

Таблица 10 — Средние параметры источника PKS 1614+051 при усреднении записей за год наблюдений

Параметр накопление	1d	3d	5d	ν , ГГц
Число наблюдений, дней	239	80	48	2.3
T_a , мК	1716±292	1672±186	1669±169	2.3
Дисперсия шума, мК	169±51	104±28	79±17	2.3
Сигнал/шум (S/N)	11±5	17±5	22±5	2.3
Полуширина, сек	12.2±2.6	11.9±1.5	11.7±1.1	2.3
Число наблюдений, дней	352	115	69	4.7
T_a , мК	170±13	170±10	169±8	4.7
Дисперсия шума, мК	2.7±2.1	1.4±0.3	1.1±0.2	4.7
Сигнал/шум (S/N)	72±22	123±26	156±33	4.7
Полуширина, сек	5.8±0.5	5.8±0.3	5.8±0.3	4.7

частоте 4.7 ГГц и по пяти дням на частоте 2.3 ГГц. Результаты представлены на Рис. 3.10 и Рис. 3.11 В Таблице 10 приведены средние параметры источника PKS 1614+051 на частоте 2.3 ГГц и 4.7 ГГц измеренные за год наблюдений (ежедневные помечены, как 1d) и с усреднением записей по 3 и 5 дней (помечены, как 3d и 5d). На более низкой частоте 2.3 ГГц максимальное улучшение по S/N достигается при усреднении по пяти дням. Это увеличение в два раза связано с относительно низкой точностью определения параметров источника и большого числа помех. На частоте 4.7 ГГц достаточное улучшение достигается уже при трехдневном усреднении. При каждодневных наблюдениях избыточный шум на обеих частотах связан с невысокой точностью измерений и с отсутствием калибровок записей. При усреднении записей повышается не только точность измерений, но и происходит потеря информации. Однако в данной задаче по определению параметров источника PKS 1614+051 это не является заметной проблемой.

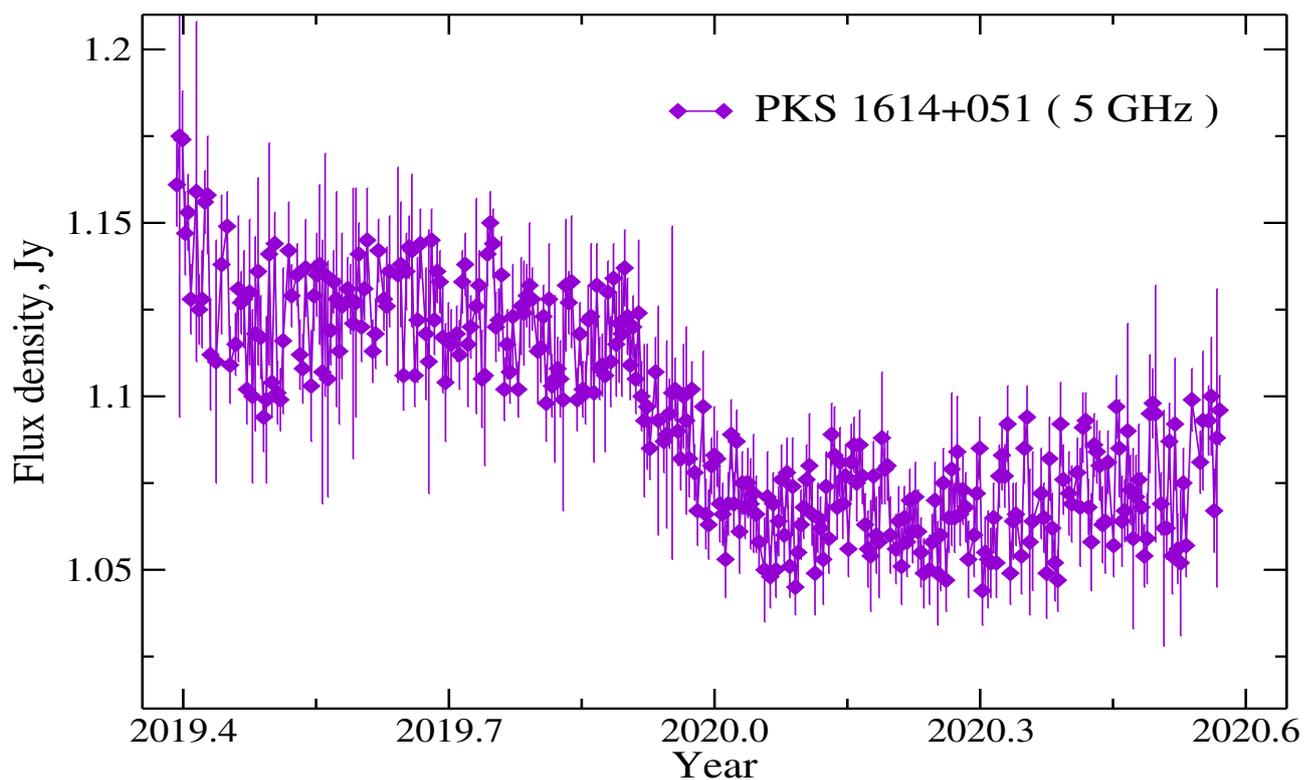


Рисунок 3.10 — Кривая блеска источника PKS 1614+051 на частоте 4.7 ГГц при ежедневных наблюдениях в период с 30.05.2019 по 08.06.2020 гг.

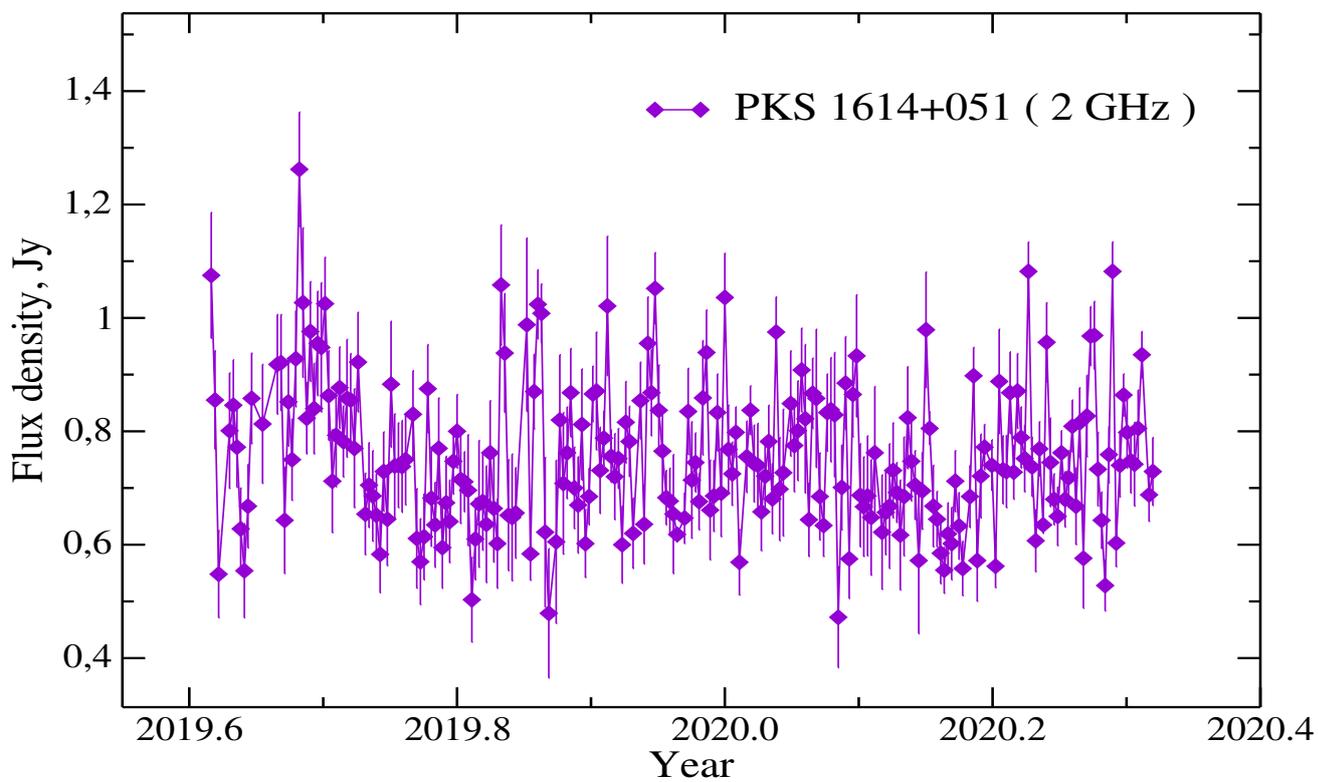


Рисунок 3.11 — Кривая блеска источника PKS 1614+051 на частоте 2.3 ГГц при ежедневных наблюдениях в период с 13.08.2019 по 26.04.2020 гг.

На Рис. 3.11 представлены кривые блеска ежедневных наблюдений источника PKS 1614+051 на частоте 4.7 ГГц с 30.05.2019 по 08.06.2020 гг., в Ян, Рис. 3.10. Всего данные содержат 337 дней наблюдений. Порядка 10% были отфильтрованы из-за различных сбоев и потерь из-за плохой погоды. На частоте 2.3 ГГц в период времени с 13.08.2019 по 26.04.2020 гг.

3.5 Анализ кривых блеска PKS 1614+051

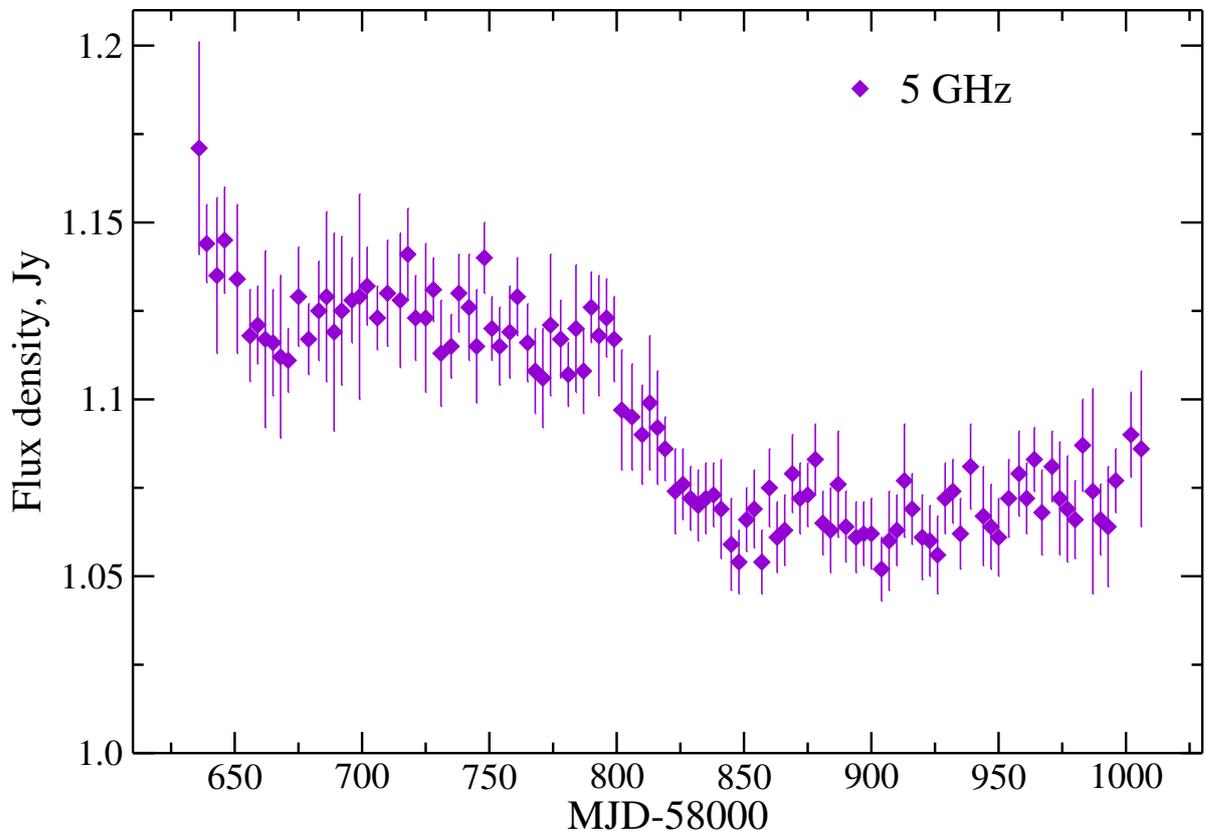


Рисунок 3.12 — Кривая блеска для PKS 1614+051 при трехдневном усреднении из наблюдений на Западном секторе РАТАН-600, проведённых с мая 2019 г. по июнь 2020 гг. на частоте 4.7 ГГц.

На Рис. 3.12 приведены значения плотности потока на $S_{4.7}$ с трехдневным усреднением. Среднее значение спектральной плотности потока на 4.7 ГГц составило 1.1 Ян со стандартным отклонением 0.03 Ян. Максимальная спектральная плотность потока составила 1.18 ± 0.08 Ян, минимальная — 1.04 ± 0.01 Ян. На Рис. 3.13 приведены данные по плотности потока на частоте 2.3 ГГц, полученные в период времени 13.08.2019–26.04.2020 гг. Данные получены с усреднением

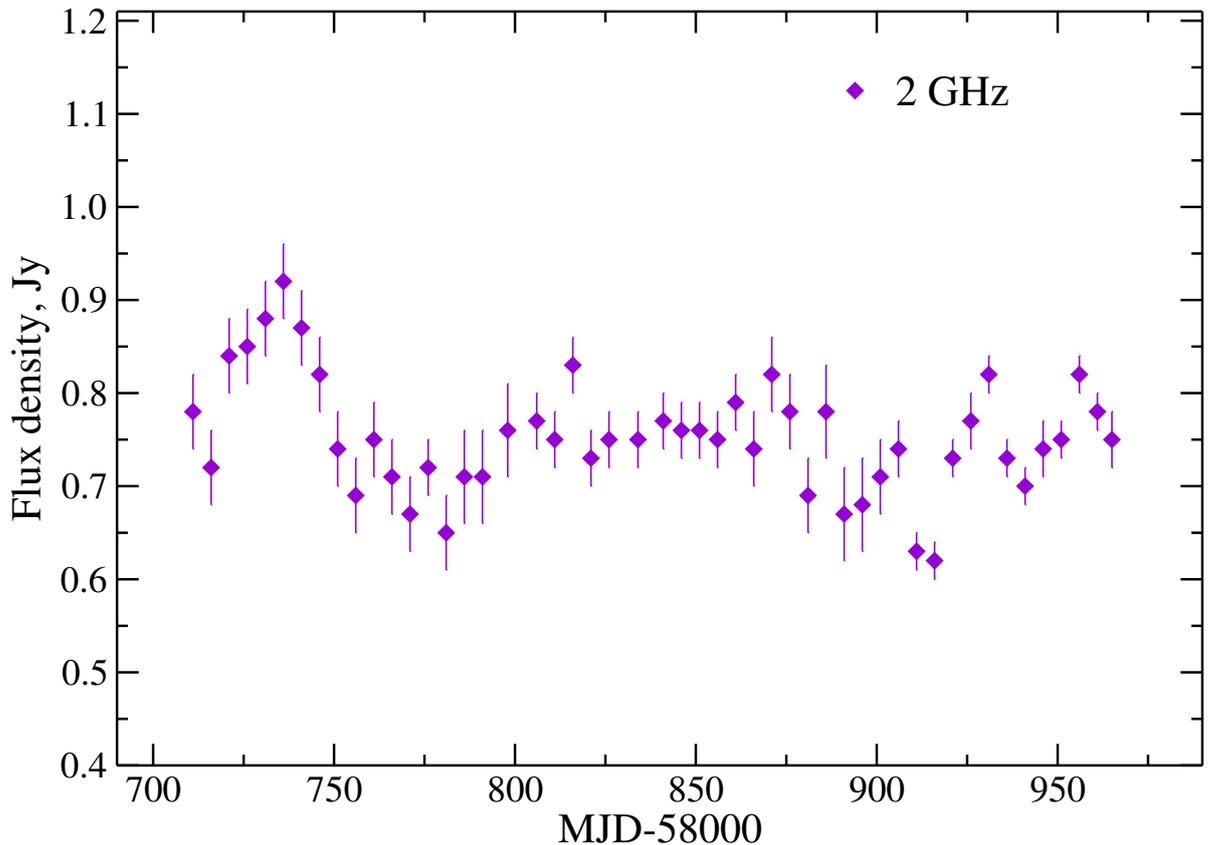


Рисунок 3.13 — Кривая блеска PKS 1614+051 с пятидневным усреднением из наблюдений на Западном секторе РАТАН-600, проведённых с мая 2019 г. по июнь 2020 гг. на частоте 2.3 ГГц.

по пять дней для повышения точности результата. Среднее значение спектральной плотности потока составило 1.1 Ян со стандартным отклонением 0.03 Ян.

Средние эпохи наблюдений, значения спектральной плотности потока на 4.7 ГГц и их ошибки представлены в Таблице В.6 Приложения. Аналогично представлены данные на 2.3 ГГц в Таблице В.7 Приложения

Уровень переменности кривой блеска на 4.7 ГГц достаточно мал: $V_S = 0.02 \pm 0.001$, $F_{\text{var}} = 0.02 \pm 0.001$, $M = 0.03$. Аналогично для кривой блеска на частоте 2.3 ГГц: $V_S = 0.04 \pm 0.02$, $F_{\text{var}} = 0.03 \pm 0.002$, $M = 0.03$.

Структурная функция (СФ) первого порядка была рассчитана для двух разных случаев. Первый случай – для исходных данных (Рис. 3.12, слева), второй – для кривой блеска после вычитания тренда (Рис. 3.12, справа), чтобы исключить тренд долговременной переменности. Начальный шаг по времени τ был равен одному дню в обоих случаях. СФ для начальной кривой блеска не достигает второго плато, что означает масштабы переменности больше, чем время наблюдения PKS 1614+051. Для данных после вычитания долговремен-

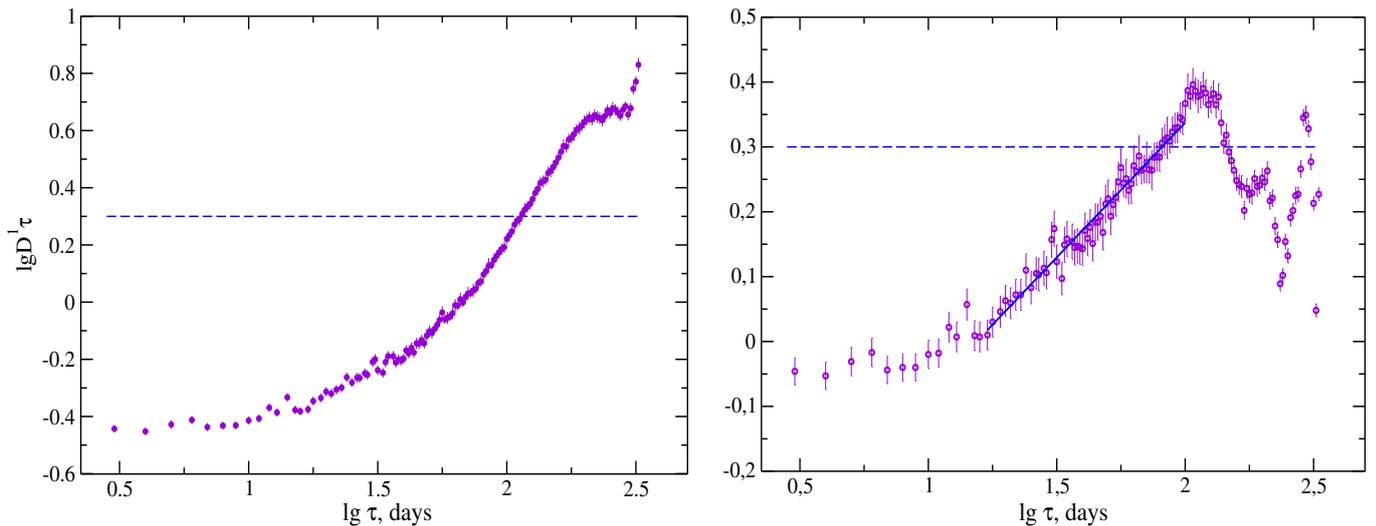


Рисунок 3.14 — Структурная функция кривой блеска PKS 1614+051 из ежедневных наблюдений на РАТАН-600 в 2019 – 2020 гг. на частоте 4.7 ГГц. *Слева:* для исходных данных; *справа:* для данных после вычитания линейного тренда

ного линейного тренда СФ показывает плато $\tau_{\text{obs}} \sim 100$ (или 25 дней в системе источника). Согласно [75], наклон СФ $b < 1$ характеризует процесс состоящий из фликер-шума и шума случайного блуждания (процесс длится произвольное время).

Зная временной масштаб переменности, можно оценить размер излучающей области R , ответственной за данный временной масштаб, следуя работе [144]:

$$R \leq c t_{\text{obs}} \delta / (1 + z), \quad (3.6)$$

где c – скорость света, δ – Допплер фактор. Для данного источника Допплер-фактор оценён как $\delta=3$ так же в работе [144]. Тогда $R < 0.1$ пк.

С целью поиска периодичности сигнала на масштабе суток была вычислена периодограмма Ломба-Скаргла [145; 146]. Расчёты были выполнены с помощью модуля Python GLS [147]. Периодограмма Ломба-Скаргла на частоте 4.7 ГГц не обнаруживает никаких значимых пиков с $\text{FAP} \leq 1\%$ как для случая исходных данных, так и для случая данных с вычтенным трендом.

Переменность блазара PKS 1614+051 на масштабе 43 лет оценена в работе [148]. Индекс переменности на 4.7 оценён как $V_S=0.26$, что говорит в целом о его относительно небольшой степени изменения излучения на таких временных масштабах. На радиоинтерферометре Грин Бэнк (GBI) в 1988–1994 годах проводился мониторинг этого блазара [28]. На Рис. 3.15 представлены в одном

масштабе мониторинги PKS 1614+051 на GBI и RATAN-600 на одних и тех же частотах, 2.3 и 8.3 ГГц. По данным GBI хорошо видно рост спектрального индекса со степенного до инвертированного, что указывает на рост непрозрачности излучающей области. Наблюдения на Западном секторе пришлись на склон многолетней вспышки, но с медленным изменением излучения источника.

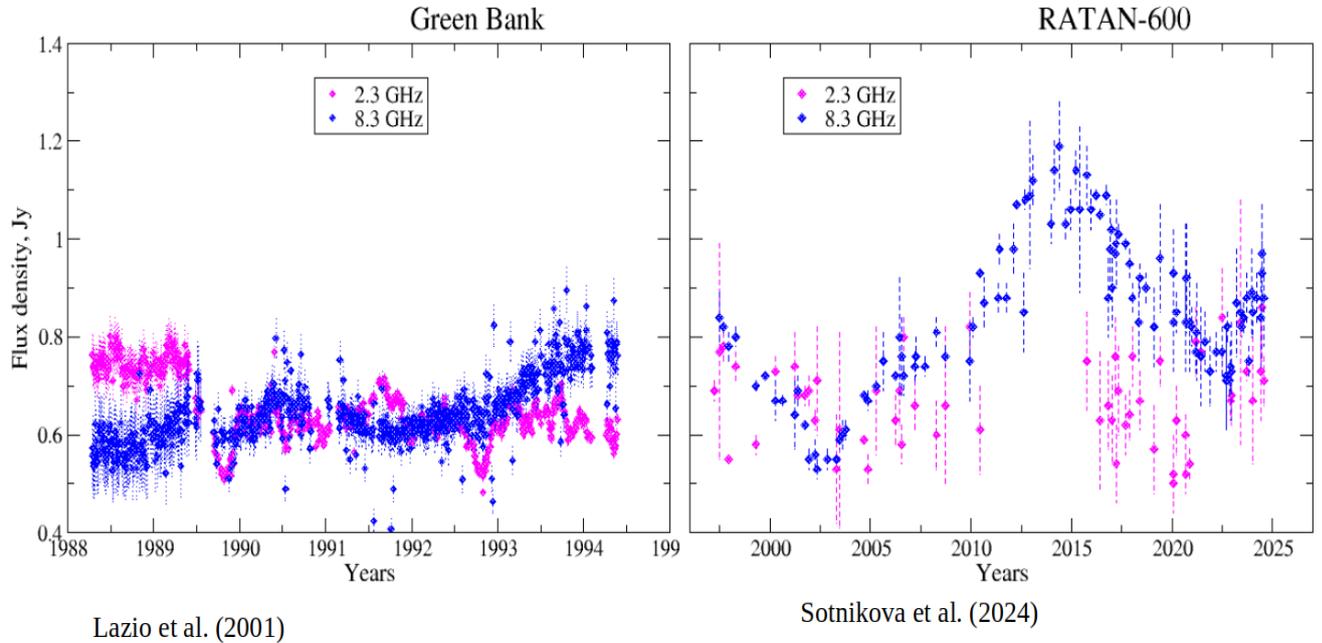


Рисунок 3.15 — Кривые блеска PKS 1614+051 из ежедневных наблюдений на частотах 2.3 и 8.3 ГГц: *слева* на радиоинтерферометре Грин Бэнк (GBI) в 1988 – 1994 годах, *справа* на RATAN-600 в 1999 – 2024 годах

3.6 Влияние мерцаний межзвёздной среды на уровень обнаруженной переменности

Для учета влияния межзвёздной среды на уровень переменности плотности потока излучения была выполнена оценка возможного вклада межзвёздных мерцаний по модели $ТС\ 93$, описанной в работе [149].

Межзвёздные мерцания делятся на рефракционные и рассеивающие. Так как не существует зафиксированных примеров дифракционного мерцания внегалактических источников [149], данный вид мерцаний далее рассматриваться не будет.

Рефракционное рассеяние рассматривается в двух разных режимах: в режиме сильного и слабого рассеяния. При слабом рассеянии наблюдаются лишь небольшие фазовые изменения, вносимые ISM в первую зону Френеля. При сильном рассеянии волновой фронт сильно искажается на масштабах, меньших, чем первая зона Френеля. Эти два режима демонстрируют качественно различное влияние на проходящее через них радиоизлучение. Основные параметры, которые учитывает модель: ξ - сила рассеяния, ν_0 -частота перехода, при которой $\xi = 1$ (неоднородности ISM приводят к фазовым изменениям порядка половины радиана в первой зоне Френеля, θ_F - угловой размер первой зоны Френеля, t_F - время для прохождения первой зоны Френеля.)

Для этого использовался пакет на языке программирования Python RISS19² [150]. PKS 1614+051 имеет галактические координаты $b = 18.05$ и $l = +36.45$. Переходная частота для координат PKS 1614+051 составляет 3.42 ГГц. Таким образом, на частоте 2.3 ГГц реализуется режим сильного рассеяния, а на 4.7 ГГц режим слабого рассеяния. Размер первой зоны Френеля $\theta_F = 0.03$ mas. Учет конечных размеров источника приводит к уменьшению m и увеличению t . Для оценки максимально возможного вклада RISS в наблюдаемый уровень переменности в качестве приближения для размера источника был выбран минимальный размер стационарного синхротронного радиоисточника [151]: $\theta_s = \theta_{\min} = 0.6 \times \sqrt{S}/\nu$ В качестве S было использовано медианное значение спектральной плотности потока за время наблюдений.

Для точечного источника отношение между частотой наблюдения и переходной частотой определяет уровень модуляции m спектральной плотности потока и её временной масштаб t в указанных двух режимах согласно формулам из [149]

Для медианной спектральной плотности потока на частоте 4.7 ГГц $\theta_{\min} = 0.13$ mas. Уровень модуляции плотности потока m примерно 2% для размера источника $\theta_s = 4 \times \theta_{\min} = 0.52$ mas, что означает доминирующий вклад RISS, и около 1% для $\theta_s = 8 \times \theta_{\min} = 1.04$ mas в случае вклада RISS сравнимого со внутренней переменностью.

Для медианной спектральной плотности потока на частоте 2.3 ГГц $\theta_{\min} = 0.27$ mas. Уровень модуляции плотности потока m примерно 4% для размера источника $\theta_s = 4 \times \theta_{\min} = 1.08$ mas, что означает доминирующий вклад

²<https://github.com/PaulHancock/RISS19>

RISS, и около 2% для $\theta_s = 8 \times \theta_{\min} = 2.08 \text{ mas}$ в случае вклада RISS сравнимого со внутренней переменностью.

Учитывая, что временные масштабы t для RISS около 1–3 дней, в соответствии с вышеуказанными предположениями, они не могут быть сглажены за время наблюдения на РАТАН-600 (несколько минут). Размер источника $\theta_s = 0.5\text{--}1.0 \text{ mas}$ на 2 и 5 ГГц сопоставим с размерами PKS 1614+051 по данным РСДБ [152; 153].

Можно сделать вывод, что эффекты RISS могут быть существенными для ежедневных наблюдений PKS 1614+051 на 4.7 и 2.3 ГГц.

3.7 Выводы и результаты Главы 3

1. Измерены спектральные плотности потока радиоизлучения НФР блазара PKS 1614+051 на частотах 2.3 и 4.7 ГГц в период 2019-2020 гг. Общее число измерений – 337. Измерения сделаны в режиме обзора на фиксированной высоте Западного сектора РАТАН-600, калибровка по спектральной плотности потока проведена с использованием радиоисточника 3С 348. Средняя ошибка измерений составляет 3% и 7% при усреднении данных по 3 и 5 дней, соответственно.
2. Кривая блеска демонстрирует медленное уменьшение спектральной плотности потока в период 2019–2020 гг. Максимальная спектральная плотность потока составила $1.18 \pm 0.08 \text{ Ян}$, минимальная – $1.04 \pm 0.01 \text{ Ян}$. Ежедневные наблюдения выявили невысокий уровень переменности спектральной плотности потока на обеих частотах: на 4.7 ГГц индекс переменности $V_S = 0.02 \pm 0.001$, фракционная переменность $F_{\text{var}} = 0.02 \pm 0.001$ и индекс модуляции $M = 0.03$. На частоте 2.3 ГГц: $V_S = 0.04 \pm 0.02$, $F_{\text{var}} = 0.03 \pm 0.03 \pm 0.002$ и $M = 0.03$. Однако влияние межзвёздных мерцаний является существенным и сравнимым с уровнем модуляции спектральной плотности потока. Временной масштаб переменности радиоизлучения в системе наблюдателя $\tau_{\text{obs}} = 100$ дней, что соответствует 25 дням в системе источника и размеру области излучения $R \leq 0.1 \text{ пк}$.

3. Периодограмма Ломба–Скаргла на частоте 2.3 и 5 ГГц не обнаруживает значимых периодов на кривых блеска ($FAP \geq 1\%$).

Глава 4. Суточная переменность радиоизлучения блазара АО 0235+164

4.1 Блазар АО 0235+164

АО 0235+164 является ярким экстремально компактным блазаром [53—55] с красным смещением $z = 0.94$ [56]. Его излучение детектируется во всём электромагнитном спектре, включая γ -диапазон [49; 154—156], что делает его подходящим кандидатом для исследования переменности излучения во всём электромагнитном диапазоне спектра. На рисунке 4.1 по данным с помощью инструмента *SED Builder* центра космических данных SSDC¹ показано спектральное распределение энергии для блазара АО 0235+164 во всём диапазоне длин волн с двумя характерными для блазаров пиками.

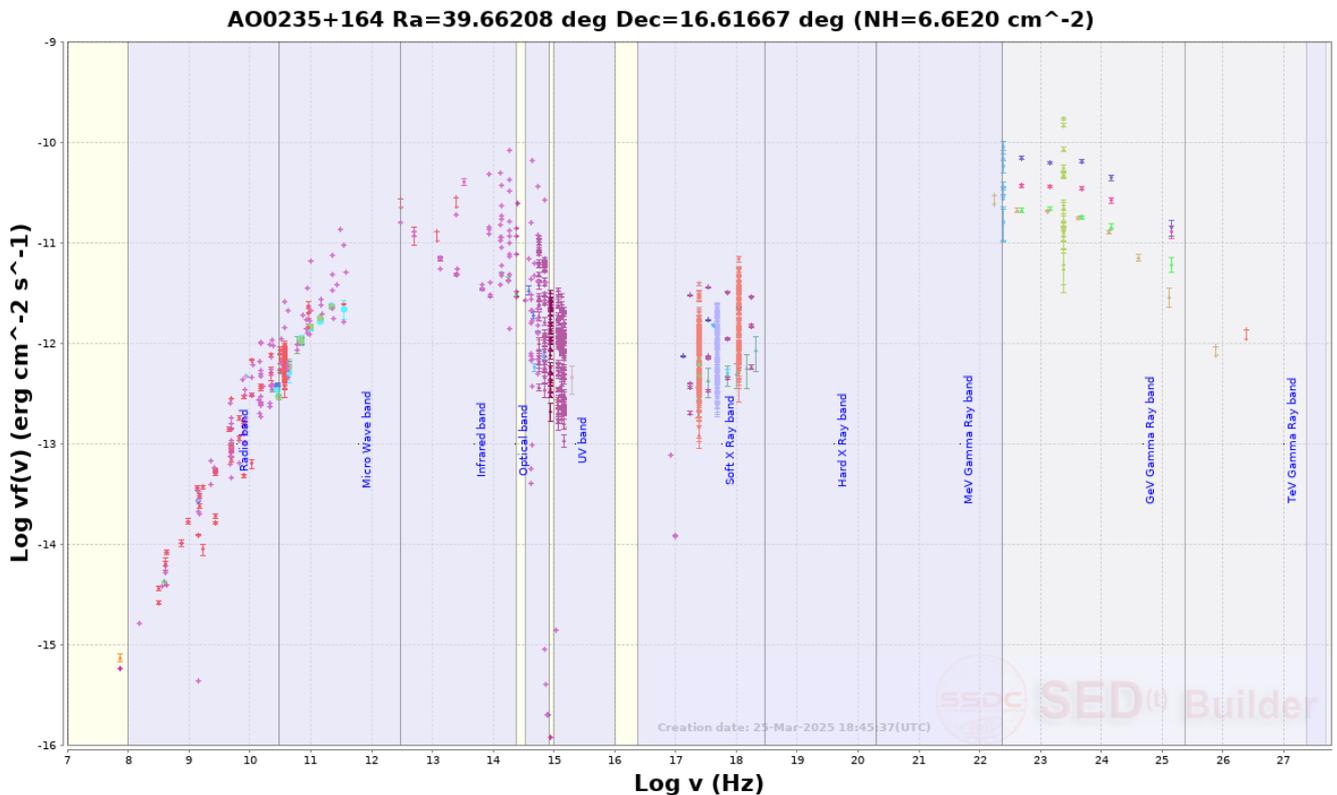


Рисунок 4.1 — Спектральное распределение энергии для блазара АО 0235+164, построенное с помощью *SED Builder*, во всём диапазоне длин волн с двумя характерными для блазаров пиками.

¹<https://tools.ssdsc.asi.it/SED>

Радиоинтерферометрические наблюдения показывают его чрезвычайную компактность, составляющую $\leq 0.5 \text{ mas}$ со сверхсветовыми видимыми скоростями $\sim 30c$ [157] и с предполагаемым широким видимым углом раскрытия струи $\sim 50^\circ$ в пределах примерно 0.5 mas от ядра [158–160]. Компактность и яркость объекта сочетаются с небольшим углом между джетом и лучом зрения $\Theta = 1.7^\circ$ [161], что указывает на геометрию, удачную для наблюдения за активностью джета источника [162]. Джет АО 0235+164 претерпевает значительные изменения во времени, что отличает его от большинства других блазаров [163].

Анализ корреляции между переменностью оптического излучения и γ -излучения указывает на тесную взаимосвязь излучающих областей, подчеркивая взаимодействие между различными компонентами излучения [164]. В работе [165] показано, что области γ -излучения и оптического примерно одинаковы и расположены на расстоянии 6.6 пк от центральной области излучения на частоте 15 ГГц .

Для АО 0235+164 были обнаружены признаки квазипериодичности кривых блеска в оптическом и радиодиапазонах [166; 167]. Ряд работ указывает на потенциальную квазипериодичность кривой блеска в R- фильтре оптического диапазона с периодом ~ 8.2 года [168–170]. Квазипериодичное поведение плотности потока на кривых блеска указывает на возможное наличие в центральной области двойной системы сверхмассивных чёрных дыр [171; 172]. Анализ на частоте 37 ГГц позволил предположить существование тесной двойной системы СМЧД с примерно одинаковыми массами около $10^{10} M_\odot$ [173].

По результатам РСДБ наблюдений с помощью системы VLBA у блазара АО 0235+164 не было обнаружено протяжённой структуры на масштабах порядка одного парсека [160].

На масштабах килопарсек АО 0235+164 по наблюдениям на радиоинтерферометре VLA на частотах 1.4 и 5 ГГц в направлении на северо-запад от компактного ядра детектируется слабая протяжённая составляющая [56; 174]. Эти факты могут свидетельствовать о чрезвычайно малом угле наклона джета относительно луча зрения [175].

Блазар АО 0235+164 демонстрирует экстремальную переменность нетеплового излучения на временных масштабах менее 1 года во всех спектральных диапазонах. Переменность АО 0235+164 в течение четырех десятилетий изучалась от радио до γ -диапазона. Характерное время переменности варьируется от

менее чем часа до нескольких лет [167; 173; 176–181]. Данный объект был объектом нескольких кампаний телескопа Whole Earth Blazar Telescope (WEBT) [166; 182; 183] и фигурировал в программе поддержки GLAST-AGILE (GASP) [180].

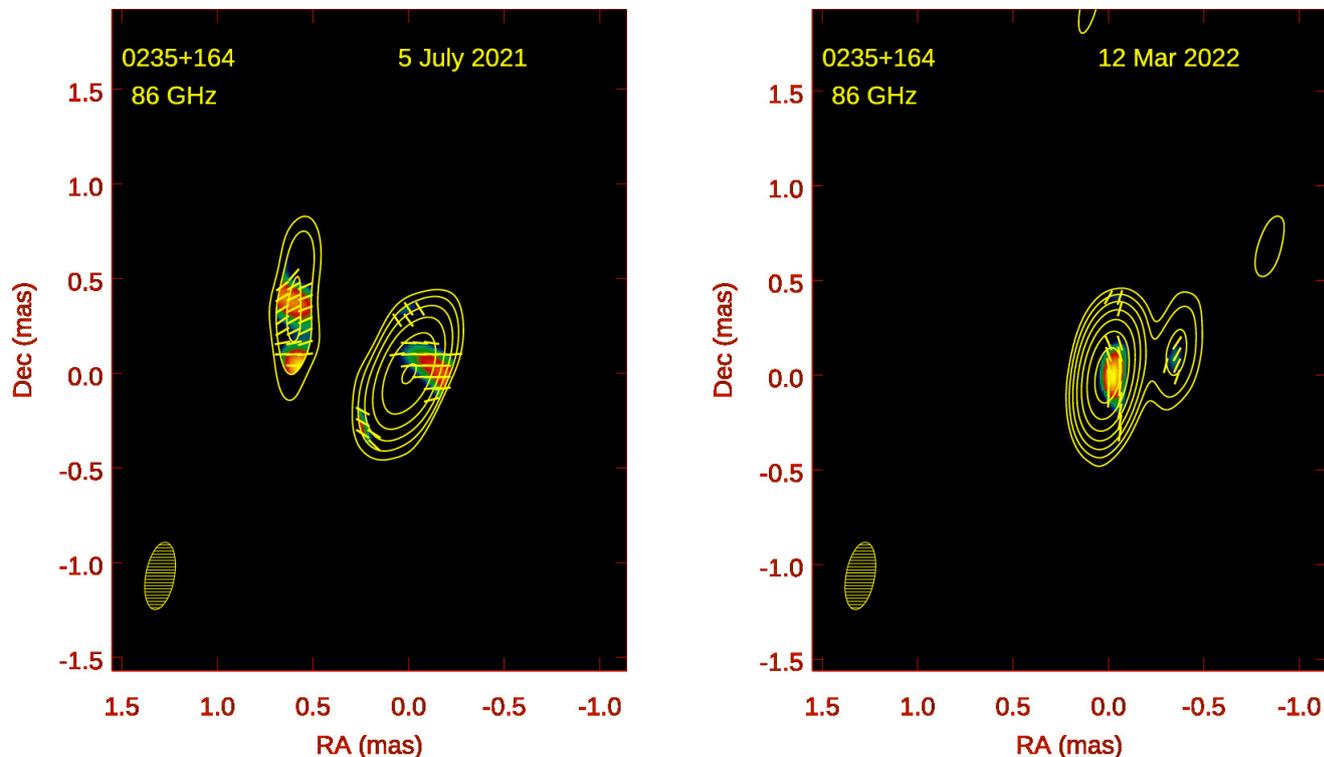


Рисунок 4.2 — VLBA изображения АО 0235+164 (заимствованы из https://www.bu.edu/blazars/VLBA_GLAST/0235.html) на частоте 86 ГГц и полученные во время проведения обзора на Западном секторе РАТАН-600.

Целью исследования АО 0235+164 в рамках настоящей работы является определение свойств переменности радиоизлучения на временных масштабах от суток до одного года.

4.2 Ежедневные наблюдения блазара АО 0235+164 на РАТАН-600

Блазар АО 0235+164 наблюдался на Западном секторе РАТАН-600 в обзоре неба со вторичным зеркалом «Облучатель № 5» на склонении калибровочного источника ЗС 138. Наблюдения проводились на частоте 2.3 и 4.7 ГГц ежедневно с мая 2021 по июнь 2022. Радиометр на частоте 2.3 ГГц с 7 по 27 апреля был временно демонтирован, а в начале мая из-за плохой погоды ряд

наблюдений был исключен из обработки на обеих частотах. Наблюдения на центральной частоте 4.7 ГГц проводились на комплексе из четырех четырехканальных радиометров, параметры которых были приведены в Таблице 3 Главы 1. На Рис. 4.3 (слева) показан радиоспектр источника АО 0235+164. Синие точки - литературные данные из базы астрофизических каталогов CATS, красные - данные на 2.3 и 4.7 ГГц, полученные на Западном секторе РАТАН-600. (Справа показан радиоспектр калибровочного источника ЗС 138.) по антенной температуре этого источника.

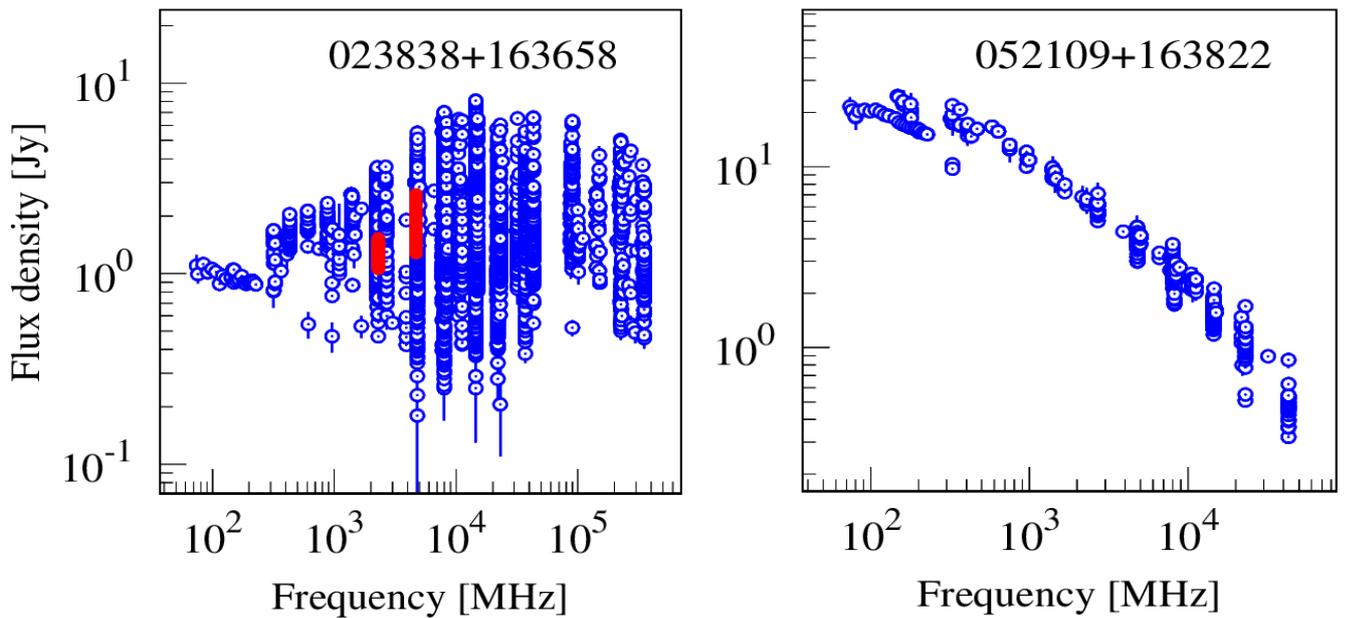


Рисунок 4.3 — Радиоспектры источников. Слева: блазар АО 0235+164, справа: калибровочный ЗС 138; по литературным данным из CATS

Начало наблюдений блазара совпало с его яркой вспышкой с максимальной плотностью потока $S_{4.7} = 3$ Ян. На Рис. 4.4 приведена кривая блеска вспышки длительностью 4.5 года (01.04.2019), измеренной на Северном секторе РАТАН-600 (фиолетовым цветом, заимствовано из работы [184]) и на Западном секторе (синим цветом).

Данные в четырех каналах каждого радиометра были усреднены для каждого наблюдения; затем, после перевода кривых блеска в плотность потока, данные были усреднены по четырем радиометрам. Это было сделано как для блазара, так и для калибровочного источника ЗС 138. Учитывая обнаруженную нестабильность излучения калибровочного источника ЗС 138 [185] окончательная привязка была проведена между секторами по калибровочной кривой полученной при обработке калибровочных источников на Северном секторе mboxРА-

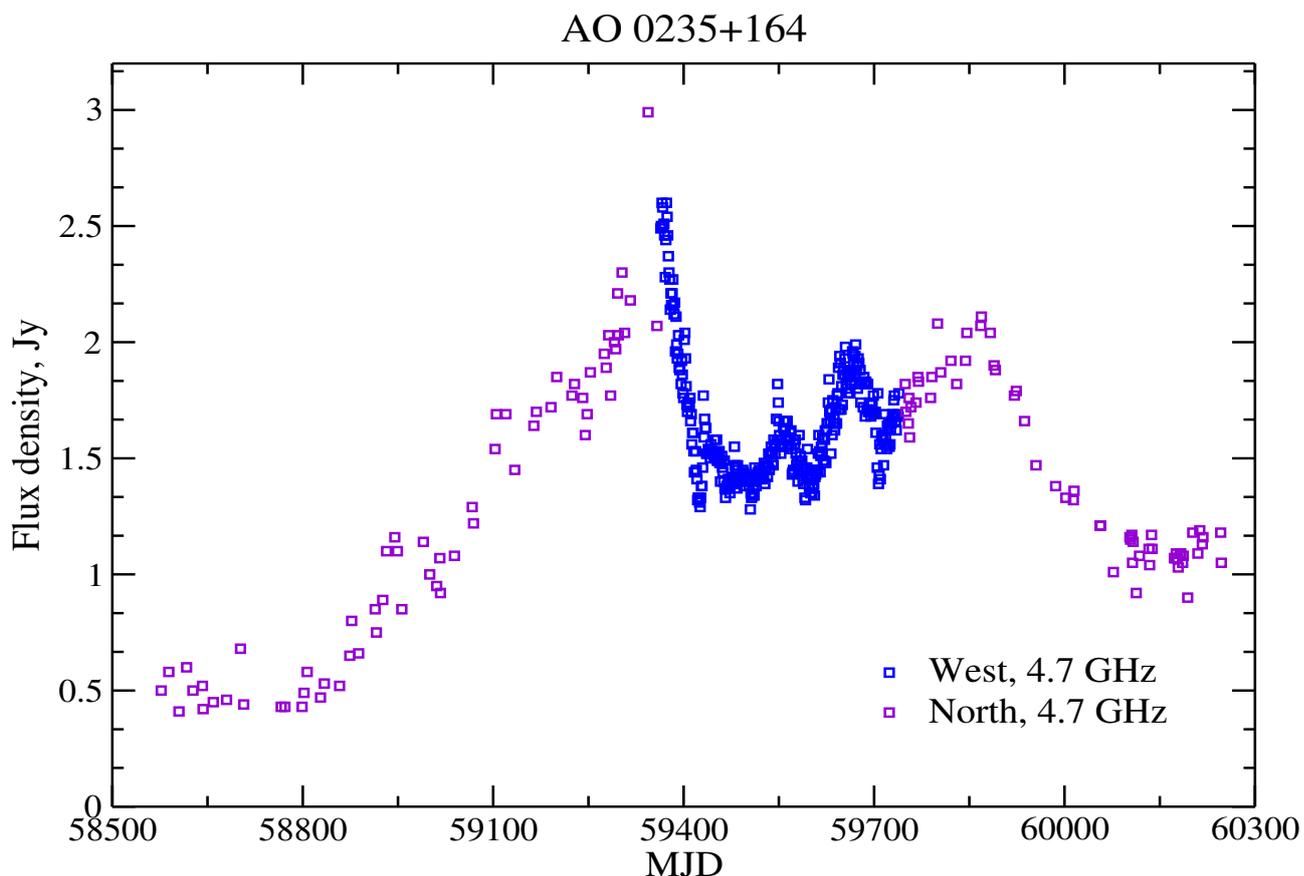


Рисунок 4.4 — Кривые блеска наблюдений источника АО 0235+164 на 4.7 ГГц во время обзора на Западном секторе (синие точки) на фоне наблюдений на Северном секторе РАТАН-600 (фиолетовые точки), с 01.04.2019 по 01.11.2023 гг.

ТАН-600. Общее число наблюдений составило 376 дней на 4.7 ГГц и 316 дней на 2.3 ГГц. Из-за относительно большего шума на 2.3 ГГц, чем на 4.7 ГГц (около двух раз) данные на 2.3 ГГц были усреднены за каждые три дня наблюдений.

На Рис. 4.5 представлены кривые блеска плотности потоков на 2.3 и 4.7 ГГц. Ошибки средних значений плотности потока 7% и 3% на 2.3 и 4.7 ГГц, соответственно. В Таблице В.5 Приложения представлены измеренные плотности потока на 2.3 и 4.7 ГГц.

На кривых блеска прослеживаются изменения плотности потока на частоте 4.7 и 2.3 ГГц. На частоте 4.7 ГГц выявлено три относительно небольшие повторные вспышки с плотностью потока в максимуме около MJD 59445, MJD 59559 и MJD 59662, как показано на Рис. 4.5. На этом же рисунке видно, что за пределами цикла началась следующая вспышка. Из работы [184] были использованы недостающие значения следующей вспышки на частоте 4.7 ГГц,

измеренные на Северном секторе РАТАН-600 и добавлены к кривым блеска обзора. На рисунке 4.6 приведена данная кривая блеска на частоте 4.7 ГГц, на котором фиолетовым обозначены измерения на Северном секторе.

Кроме указанных повторных вспышек на этой кривой блеска перед каждым максимумом наблюдаются быстрые всплески в три-пять дней невыясненной природы. Параметры вспышек приведены в таблице 11.

4.3 Анализ переменности кривых блеска АО 0235+164

С помощью полученных измерений спектральной плотности потока был рассчитаны двухчастотные спектральные индексы, которые представлены на Рис. 4.7.

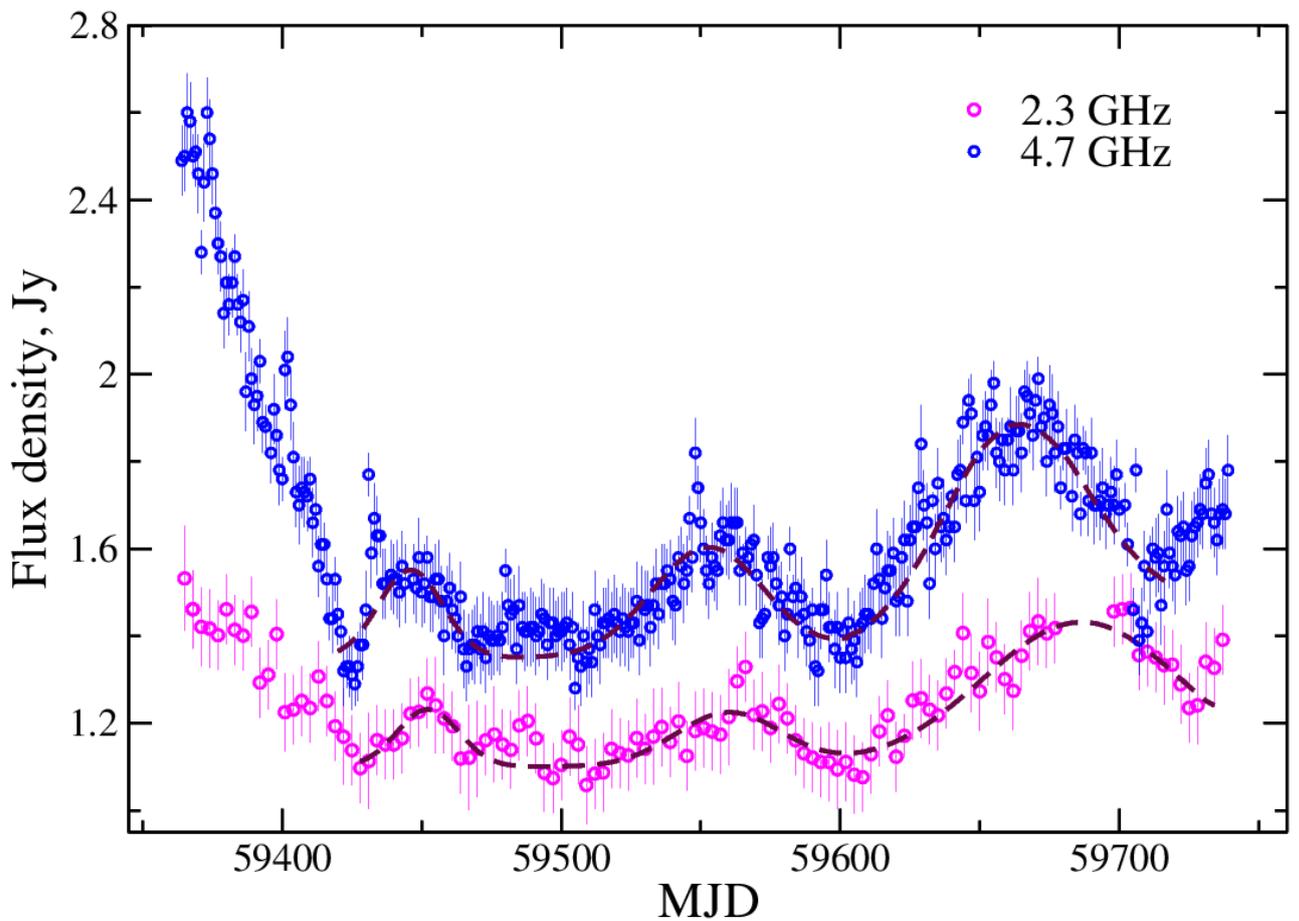


Рисунок 4.5 — Кривые блеска блазара АО 0235+164 на частоте 4.7 и 2.3 ГГц, измеренные на Западном секторе РАТАН-600 с 28.05.2021 по 08.06.2022

AO 0235+164

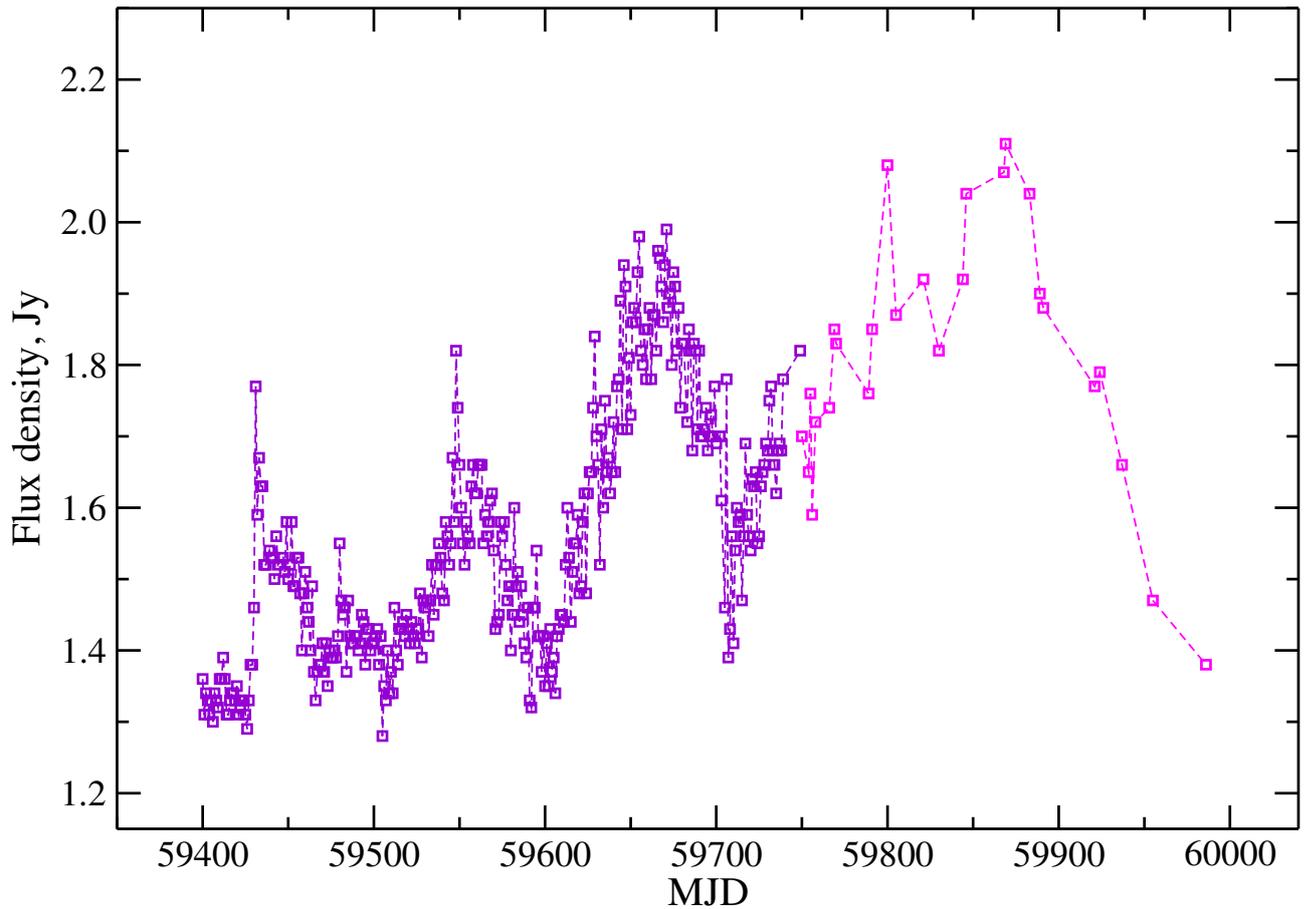


Рисунок 4.6 — Кривые блеска вспышек блазара AO 0235+164 на частоте 4.7 ГГц с добавлением данных с Северного сектора РАТАН-600 (обозначено розовым цветом)

Кривая изменения спектрального индекса (Рис. 4.5), изменяется за время наблюдений от $+0.20$ до $+0.75$, что указывает на оптически толстую область излучения в течение всего периода наблюдений в 2021-2022 гг. и особенно во время увеличения плотности потока. Гистограмма распределения спектральных индексов $\alpha_{2.3-4.7}$ за год наблюдений показана на Рис. 4.8 (слева). Видно и по рисунку, и на гистограмме, что спектр источника инвертированный ($\alpha_{2.3-4.7} > 0$, $\bar{\alpha}_{2.3-4.7} = 0.3$).

Медианное значение плотности потока на 4.7 ГГц равно 1.56 Ян, максимальное – 2.6 ± 0.06 , минимальное – 1.28 ± 0.004 . Индекс переменности $V_S = 0.32 \pm 0.07$, фракционная переменность $F_{\text{var}} = 0.16 \pm 0.0017$, модуляционный индекс $M = 0.03$. Медианное значение плотности потока на 2.3 ГГц равно 1.23 Ян, максимальное – 1.77 ± 0.13 , минимальное – 0.98 ± 0.07 . Индекс переменности $V_S = 0.22 \pm 0.14$, фракционная переменность $F_{\text{var}} = 0.093 \pm 0.0046$, модуляционный индекс $M = 0.12$.

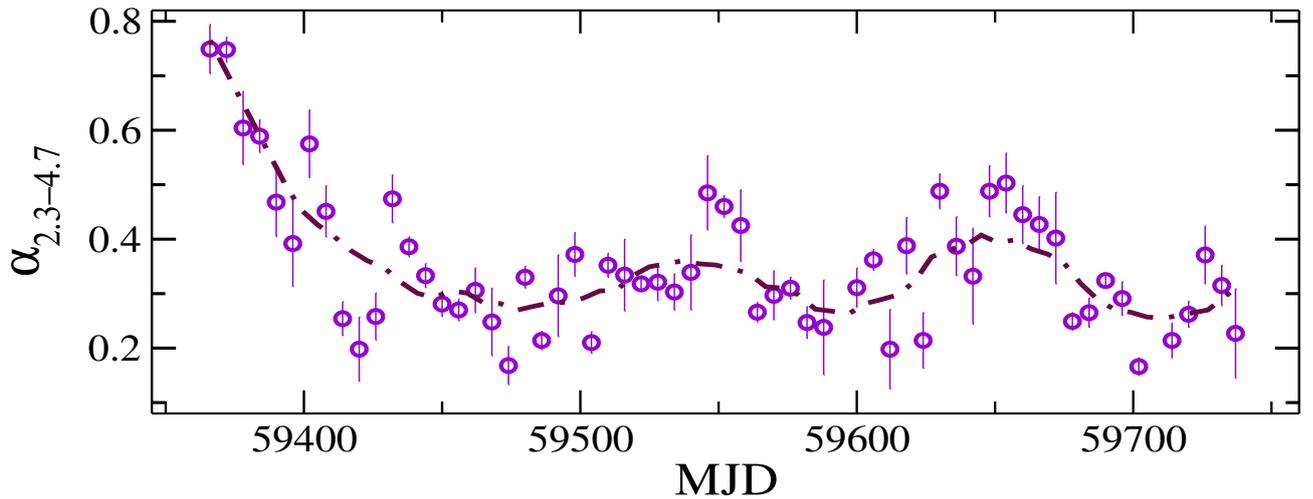


Рисунок 4.7 — Кривая спектральных индексов $\alpha_{2.3-4.7}$ между частотами 4.7 и 2.3 ГГц

Структурная функция для кривой блеска на 4.7 ГГц представлена на рисунке 4.8. Расчёт проводился с начальным шагом в 1 день. Как было показано в Главе 1, временной масштаб – максимальный масштаб коррелированного поведения сигнала. Структурная функция выходит на плато на масштабе переменности ~ 110 дней, что соответствует максимальной продолжительности вспышек. Наклон между двумя плато равен $b \sim 1.2$, что говорит о процессе переменности как о единичной доминирующей вспышке.

Периодограмма Ломба-Скаргла была применена с целью поиска периодических вариаций и показала пик с периодом 100 ± 10 дней, как показано на Рис. 4.10. Однако уровень значимости пиков, FAR (false alarm probability) > 1 %. При вычитании линейного тренда из кривых блеска периодограмма Ломба-Скаргла демонстрирует два пика с периодом 100 и 165 дней с уровнем значимости FAR > 1 %. Если включить в рассмотрение вспышку произошедшую сразу после проведения обзора на Западном секторе, но зафиксированную на Север-

Таблица 11 — Параметры вспышек и всплесков блазара АО 0235+164 на частоте 4.7 ГГц, выявленных во время обзора

максимум вспышки, MJD	длительность, число дней	плотность потока, Ян	всплески, MJD	амплитуда всплеска, Ян	сектор обзора
59445	50	0.18	59433	0.27	запад
59559	80	0.22	59547	0.23	запад
59662	110	0.45	59630	0.22	запад
59880	225	0.48	59800	0.24	север

ном секторе РАТАН-600, как показано на Рис. 4.10 и приведено в Таблице 11, то обнаруживается период ~ 100 дней с $\text{FAP} < 1\%$.

Анализ методом дискретной корреляционной функции (DCF) демонстрирует сильную корреляцию между плотностью потока на 4.7 и 2.3 ГГц. Максимальное значение $\text{DCF} = 0.86 \pm 0.06$ (уровнем достоверности $> 3\sigma$) и с временной задержкой $\tau = 7 \pm 1$ дней (Рис. 4.9).

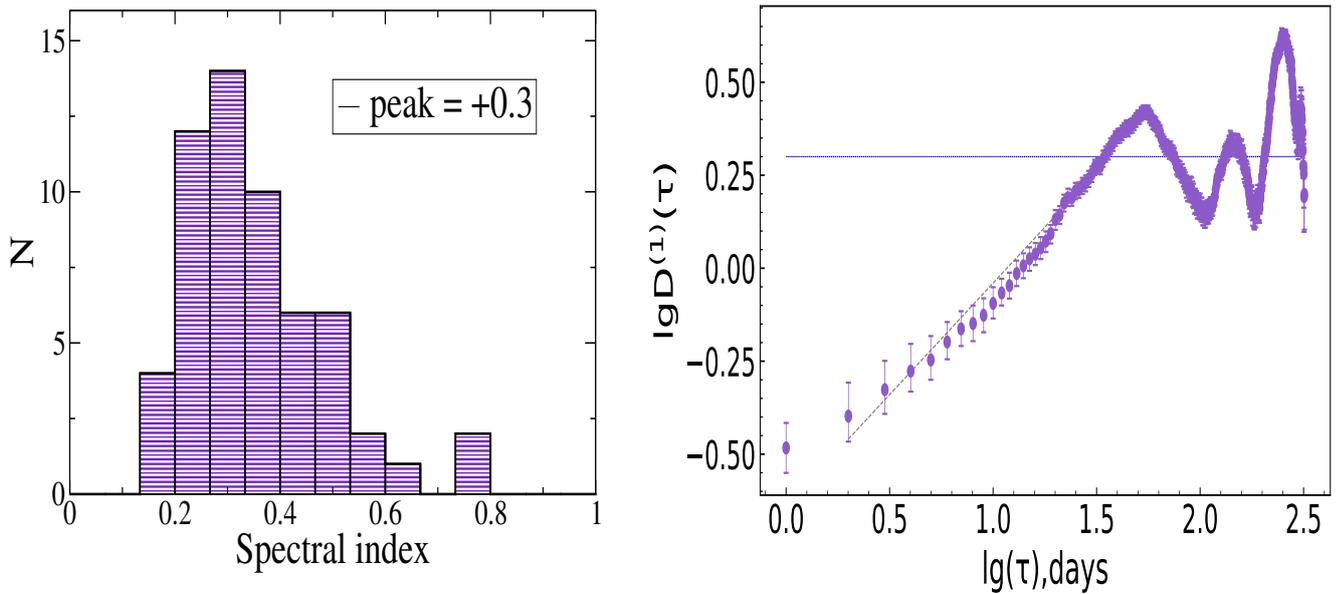


Рисунок 4.8 — Слева: гистограмма распределения спектральных индексов $\alpha_{2.3-4.7}$ за год наблюдений на 2.3 и 4.7 ГГц; справа: структурная функция блазара АО 0235+164 для кривой блеска на частоте 4.7 ГГц

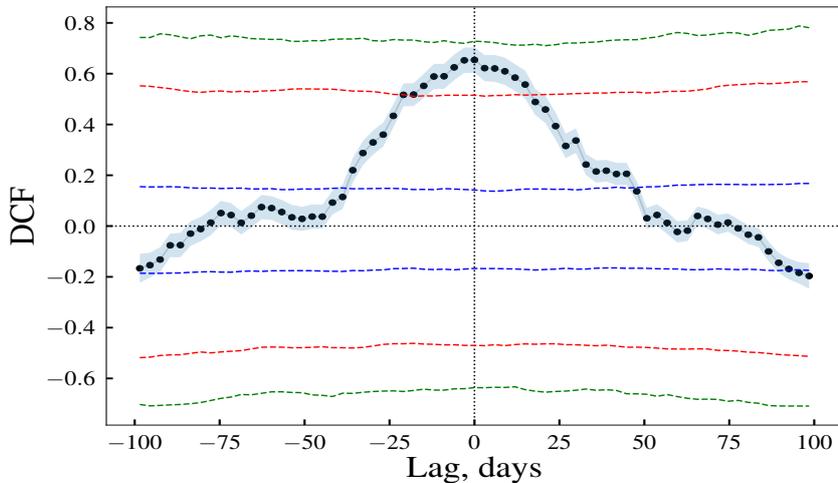


Рисунок 4.9 — Дискретная корреляционная функция для кривых блеска на частоте 4.7 и 2.3 ГГц. Горизонтальными линиями показаны уровни статистической значимости 1, 2 и 3 σ

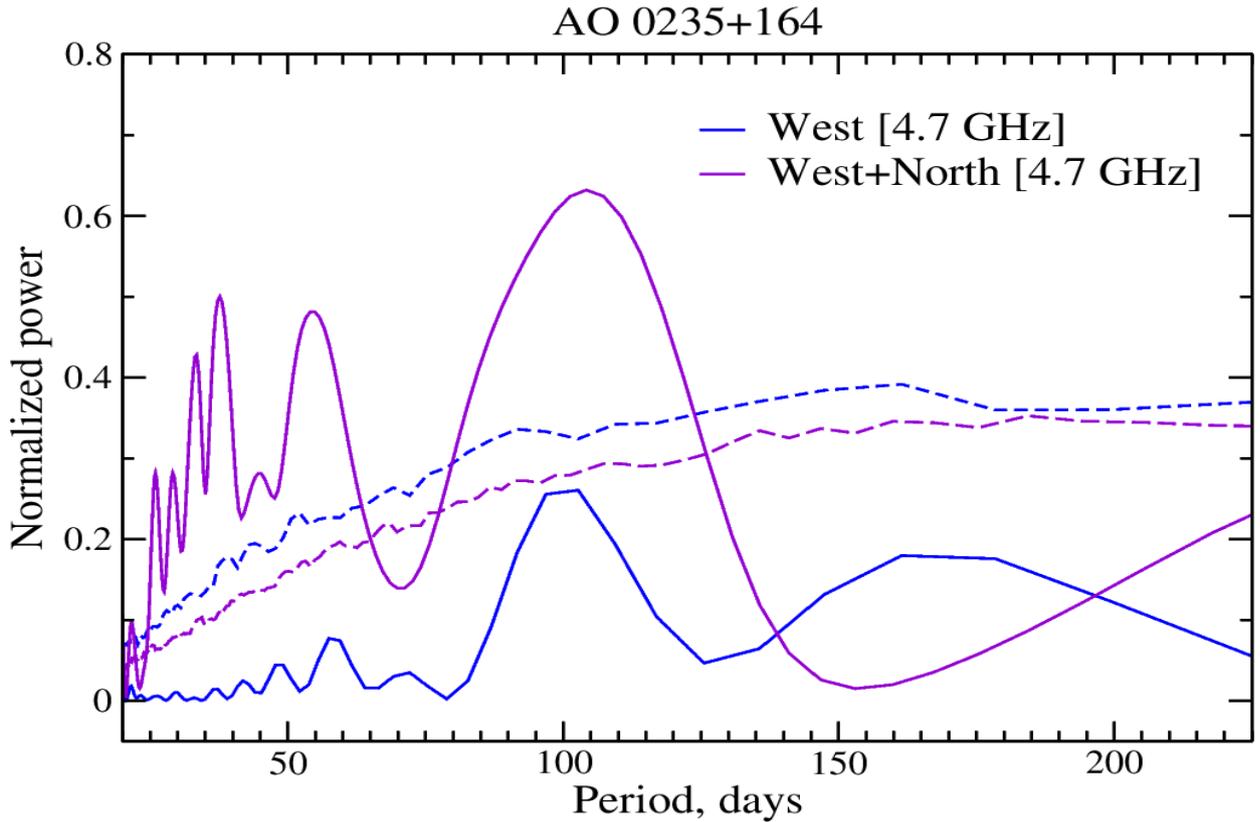


Рисунок 4.10 — Периодограмма Ломба-Скаргла для кривых блеска на 4.7 ГГц. *Синим:* для кривой блеска с Западного сектора; *фиолетовым:* для данных с Западного и Северного секторов. Штриховыми линиями обозначены соответствующие уровни значимости $FAP = 1\%$

4.4 Сравнение с другими наблюдениями

На Рис. 4.2 представлены VLBA изображения АО 0235+164 на частоте 86 ГГц с деталями размером 3-5 парсек, полученные в период проведения обзора на РАТАН-600.

Изображения были проанализированы на предмет связи со вспышками, полученными в настоящей работе. На Рис. 4.11 приведены кривые блеска на VLBA на частоте 43 ГГц и 4.7 ГГц полученные на Северном секторе РАТАН-600 за период времени с 2014 по 2023 годы. Задачей было кросс-корреляция между наблюдениями, чтобы определить возможную связь выбросов видимых на 86 ГГц со вспышками на 4.7 ГГц во время обзора. Кросс-корреляция дает общее

смещение ~ 40 дней кривой блеска на 43 ГГц относительно 4.7 ГГц. Однако в период проведения обзора смещение меньше, порядка 20 дней, что близко по положению к третьей вспышке.

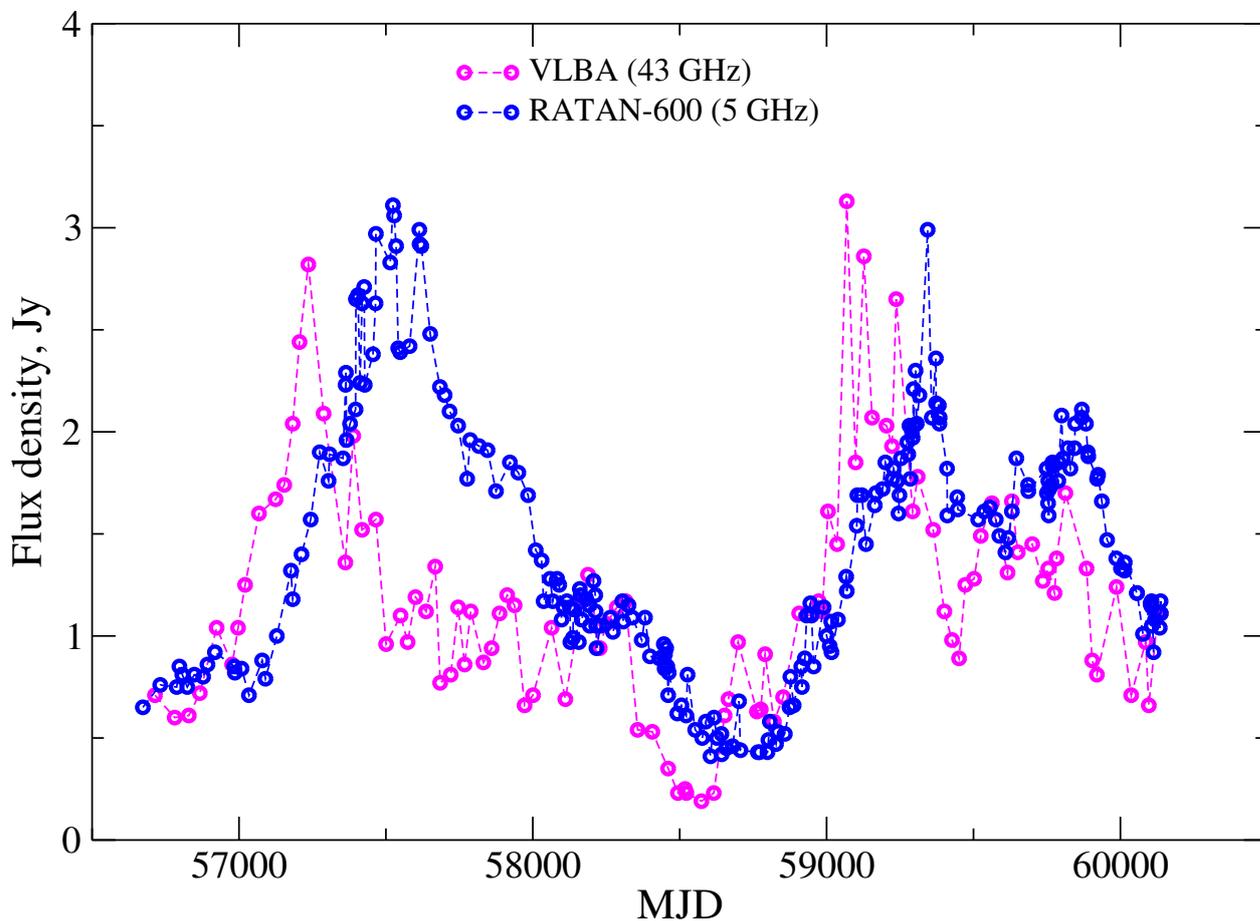


Рисунок 4.11 — Кривые блеска полученные на VLBA на частоте 43 и РАТАН-600 на 4.7 ГГц в период времени 2014-2023 гг.

Наиболее показательным является сравнение данных обзора с длительными обзорами источников и, в том числе, АО 0235+164 на радиоинтерферометре Грин Бэнк (GBI) [28]. На рисунке 4.12 приведены данные этих обзоров по источнику АО 0235+164 на 2.3 и 8.3 ГГц в период с 1982.0 по 1994.5 гг., более 13 лет. На этих кривых блеска видны как острые вспышки, так и вспышки со структурой похожей на обнаруженные вспышки на Западном секторе. Причем детали вспышек лучше просматриваются на более высокой частоте, 8.3 ГГц.

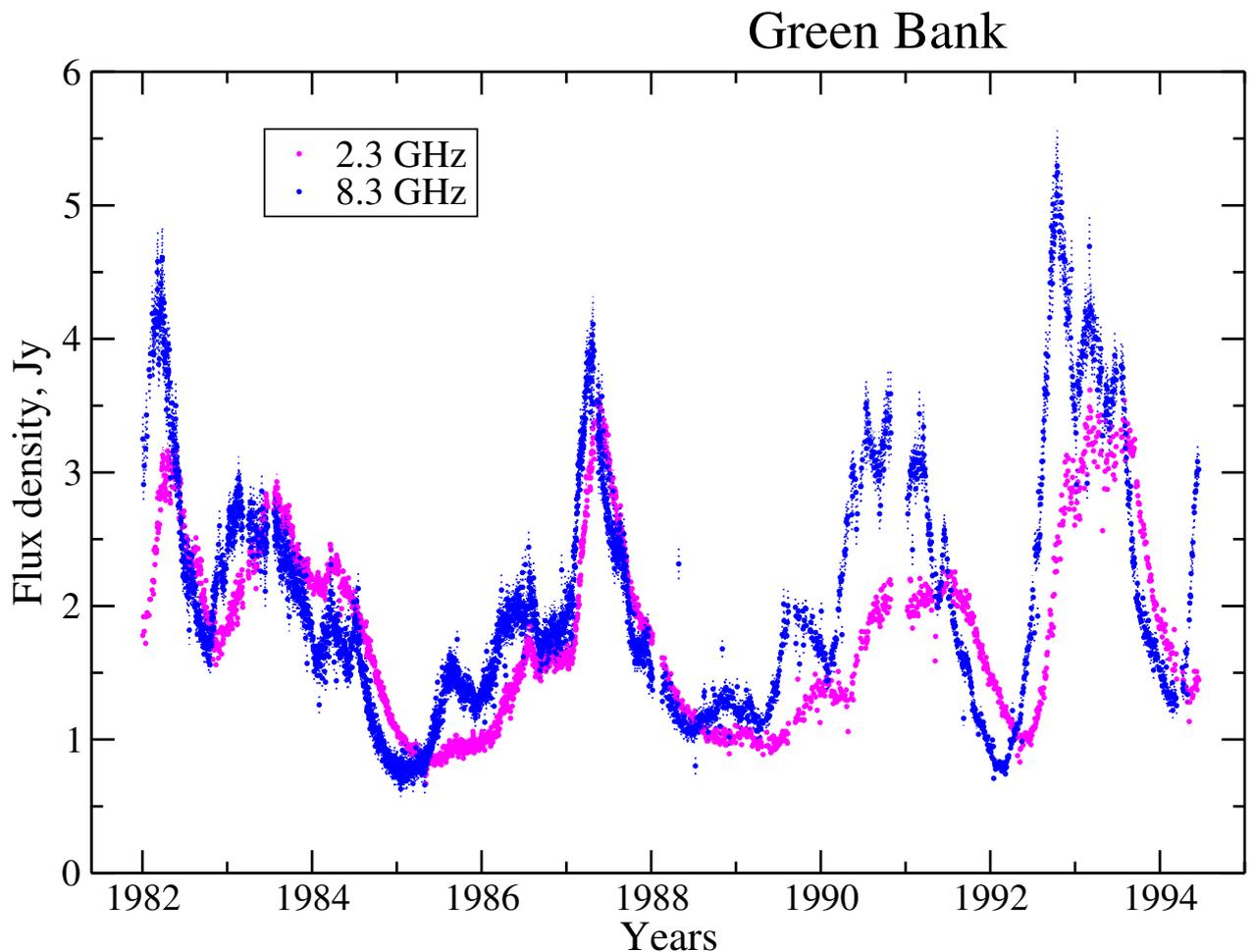


Рисунок 4.12 — Кривые блеска мониторинга АО 0235+164 на интерферометре Грин Бэнк на частоте 2.3 и 8.3 ГГц в период времени 1982.0-1994.5 гг.

Кривые блеска были проанализированы аналогично данным обзора на Западном секторе. Целью анализа был поиск вспышек, подобных обнаруженным в обзоре на Западном секторе на частотах 2.3 и 4.7 ГГц. На рисунке 4.13 приведены структурные функции рассчитанные на обеих частотах. На более высокой частоте 8.3 ГГц во время основных вспышек с тройной структурой прослеживается временной масштаб переменности ~ 160 дней. Структурная функции для кривой блеска на этой частоте показывает признаки данного масштаба, но ее уровень едва достигает порогового значения 0.3. На более низкой частоте 2.3 ГГц таких структур во время больших вспышек не обнаружено, тем более между ними.

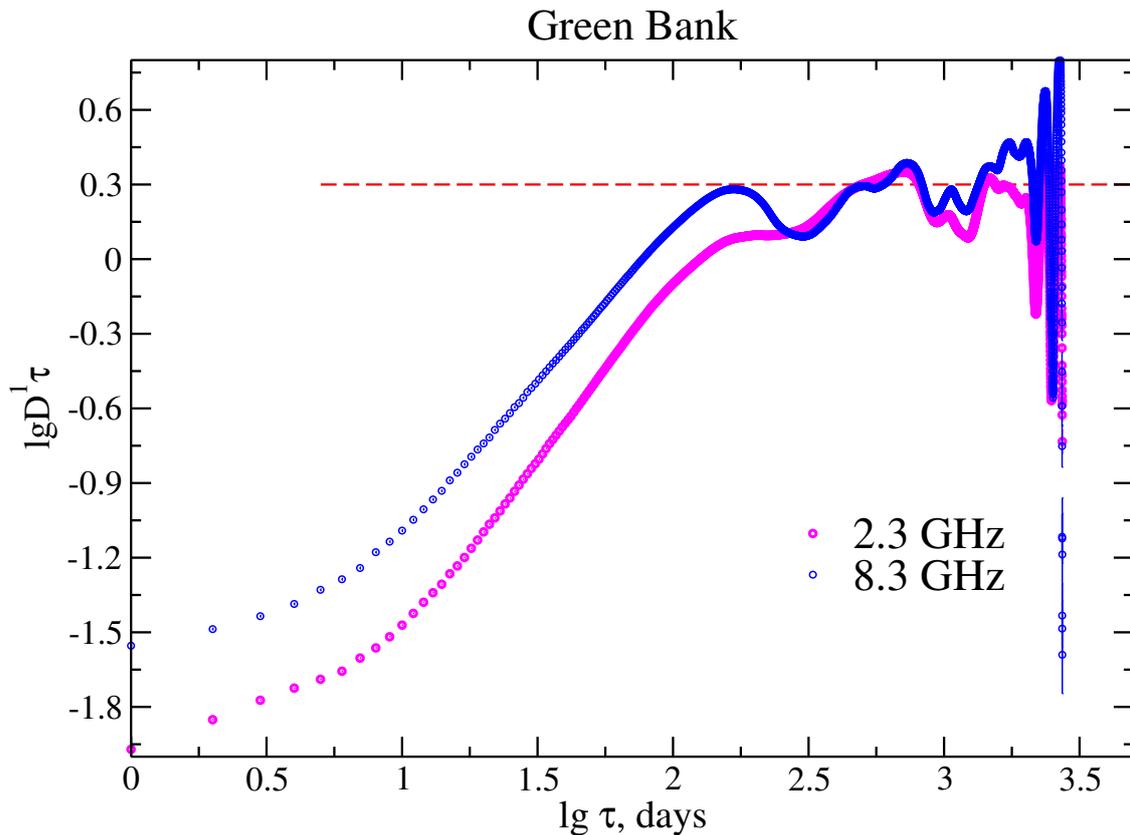


Рисунок 4.13 — Структурные функции по кривым блеска мониторинга на интерферометре Грин Бэнка на частоте 2.3 и 8.3 ГГц в период 1983-1994 гг.

4.5 Влияние межзвёздных мерцаний на наблюдаемый уровень переменности спектральной плотности потока излучения

Оценка возможного вклада межзвёздных мерцаний на наблюдаемый уровень переменности выполнена аналогично 4.5. Для точечного источника отношение между частотой наблюдения и переходной частотой определяет уровень модуляции m спектральной плотности потока и её временной масштаб t в указанных двух режимах согласно формулам из [149].

Для координат исследуемого блазара R.A. = 02:38:38.9 Dec = 16:36:59 переходная частота $\nu_0 = 3.8$. Из этого следует, для 3.2 ГГц реализуется режим сильных рассеяний, а 4.7 ГГц реализуется режим слабых рассеяний. Размер первой зоны Френеля $\theta_F = 0.03$ mas.

Для медианной спектральной плотности потока на частоте 4.7 ГГц $\theta_{\min} = 0.15$ mas. Уровень модуляции плотности потока m примерно 4% для

размера источника $\theta_s = 4 \times \theta_{\min} = 0.6$ mas. Временной масштаб RISS t порядка полутора суток, что не может быть сглажено за время наблюдения на РАТАН-600.

Для медианной спектральной плотности потока на частоте 2.3 ГГц $\theta_{\min} = 0.26$ mas. Уровень модуляции плотности потока m примерно 1% для размера источника $\theta_s = 4 \times \theta_{\min} = 1.04$ mas. Временной масштаб RISS t больше восьми суток, что не может быть сглажено за время наблюдения на РАТАН-600.

Можно сделать вывод, что эффекты RISS не являются определяющими для ежедневных наблюдений блазара АО 0235+164 на 4.7 и 2.3 ГГц.

4.6 Выводы и результаты Главы 4

1. В обзоре на Западном секторе РАТАН-600 измерены кривые блеска за каждый день наблюдений блазара АО 0235+164 в период времени 2021-2022 гг. Всего выполнено 376 наблюдений на 4.7 ГГц и 316 наблюдений на 2.3 ГГц со средней ошибкой измерений 7 и 3%, соответственно.
2. На основе полученных данных проведён анализ переменности АО 0235+164. Измеренный индекс переменности $V_S = 0.32 \pm 0.07$, фракционная переменность $F_{\text{var}} = 0.16 \pm 0.0017$, модуляционный индекс $M = 0.03$.
3. Впервые обнаружены вспышки излучения на масштабах времени около 110 дней со средней периодичностью около 100 дней. Их временной масштаб составил 57 дней в системе источника, что вносит ограничение на размер излучающей области $R \ll 1$ пк. При сравнении полученных данных по вспышкам с данными 13-летнего мониторинга АО 0235+164 на интерферометре GB1 вспышки с такими характеристиками не обнаружены.
4. При анализе трех вспышек наблюдавшихся на Западном секторе и четвертой на Северном секторе РАТАН-600, как показано на Рис. 4.10, измерена переменность излучения АО 0235+164 с периодом ~ 100 дней, с $\text{FAP} < 1$ %.

5. Обнаружена статистически значимая корреляция ($>3\sigma$) $>80\%$ между кривыми блеска на 2.3 и 4.7 ГГц с временной задержкой $\tau=7\pm 1$ дней, что соответствует расстоянию $D < 0.1$ пк между областями генерации излучения.
6. Оценен вклад МЗС на наблюдаемый уровень переменности. На 4.7 ГГц вклад мерцаний на МЗС равен 4%, а на 2.3 ГГц 1%.

Заключение

В рамках работы исследована переменность радиоизлучения АЯГ с помощью данных, полученных в обзорах неба на Западном секторе РАТАН-600. Исследованные АЯГ наблюдались в трёх обзорах с 2018 по 2022 год. Всего исследовано 207 объектов.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана методика обработки и калибровки данных, полученных в круглосуточных обзорах неба на Западном секторе РАТАН-600 в режиме неподвижной антенны. Для 205 радиоисточников на склонении пульсара в Крабовидной туманности количество измерений составило 5370. Средняя ошибка измерений при осреднении за год составила 7% при $\bar{S}_{4.7} < 0.1$ Ян. Для блазара PKS 1614+051 выполнено 337 измерений на 4.7 ГГц со средней ошибкой 2% при $\bar{S}_{4.7} \sim 1.1$ Ян. Для блазара АО 0235+164 выполнено 316 измерений на 2.3 ГГц и 369 на 4.7 ГГц со средними ошибками 7% и 3%, соответственно, при $\bar{S}_{2.3} \sim 1.2$ и $\bar{S}_{4.7} \sim 1.6$ Ян.
2. В результате обработки наблюдений на склонении пульсара в Крабовидной туманности за 2018-2019 годы составлен каталог плотностей потоков 205 наиболее ярких источников обзора на 4.7 ГГц. Все источники отождествлены с радиоданными базы данных CATS, для них построены радиоспектры и рассчитаны спектральные индексы. Для четверти источников измерения в высокочастотной области спектра ($\nu \geq 4.7$ ГГц) выполнены впервые. Для 26 наиболее ярких источников с $\bar{S}_{4.7} \sim 250$ мЯн измерены средние спектральные плотности потока за каждые три дня наблюдений в течение года. Для всех источников рассчитан индекс переменности. Обнаружено двукратное увеличение плотности потока излучения блазара B2 1324+224 на масштабе одного года наблюдений ($V_S = 0.3$). Анализ кривых блеска показал, что индекс переменности радиоизлучения пяти квазаров $V_S \sim 0.2$, а у остальных источников $V_S \leq 0.15$. В результате кросс-идентификации 85% источников отождествлено с источниками оптических каталогов SDSS, Gaia, Pan-STARRS, 2MASS и баз данных SIMBAD, NED, Roma-BZCAT. Для

- 112 источников с известными красными смещениями рассчитана радиосветимость на 4.7 ГГц: для 12 галактик и 57 объектов неопределенного типа средние светимости близки, $\bar{L}_{4.7} = 1.9 \cdot 10^{42}$ эрг/с; для 25 квазаров $\bar{L}_{4.7} = 3.4 \cdot 10^{43}$ эрг/с; для 12 блазаров $\bar{L}_{4.7} = 9.4 \cdot 10^{43}$ эрг/с. Учитывая, что объектами с низкой светимостью являются в основном протяженные объекты, а также то, что в среднем они с $\alpha \sim -1$ и с $z < 1$, то можно предположить, что эти объекты также являются галактиками.
3. Построены кривые блеска НФР блазара PKS 1614+051 на 2.3 и 4.7 ГГц в период времени 2019-2020 годы. На кривой блеска на 4.7 ГГц обнаружено медленное уменьшение спектральной плотности потока в 2019-2020 гг. при низком уровне переменности (3%). Измерен временной масштаб переменности радиоизлучения в системе источника $\tau \approx 25$ дней, что предполагает высокую компактность (доли парсека) излучающей области. По литературным данным радиотелескопа GBI данный масштаб не обнаружен. Периодичность радиоизлучения на 2.3 и 4.7 ГГц не обнаружена, как и для данных GBI на частоте 2.3 и 8.3 ГГц.
 4. Построены кривые блеска АО 0235+164 на 2.3 и 4.7 ГГц в период времени 2021-2022 гг. на склоне основной вспышки (которая была в максимуме порядка 3 Ян). Исследована переменность радиоизлучения на двух частотах. Впервые на 4.7 ГГц обнаружены три повторные вспышки со средней периодичностью около 100 дней на масштабах времени 110 дней, что вносит ограничение на размер излучающей области $R \ll 1$ пк. При анализе трех вспышек наблюдавшихся на Западном секторе и четвертой на Северном секторе РАТАН-600, измерена переменность излучения АО 0235+164 с периодом ~ 100 дней, с FAR < 1 %. Спектральный индекс $\alpha_{2.3-4.7}$ в течение года изменялся от +0.20 в относительно спокойном состоянии до +0.75 во время вспышек. Обнаружена задержка излучения в 7 ± 1 день 2.3 ГГц относительно 4.7 ГГц, что соответствует расстоянию $D < 0.1$ пк между областями генерации излучения.

Благодарности

Автор выражает особую благодарность своему научному руководителю Бурсову Н. Н. Благодарит Сотникову Ю. В. и Трушкина С. А. за помощь в работе и полезные наставления во время проведения исследования и

подготовки текста. Автор благодарит Кайсину Е. И. и Панчук А. В. за помощь во время обучения в аспирантуре и представлении научного доклада. Автор благодарит коллег, высказавших замечания и пожелания во время семинара по результатам диссертационной работы. Автор выражает благодарность Шолуховой О. Н. за помощь в подготовке к процедуре защиты диссертации.

Автор также выражает благодарность всему коллективу РАТАН-600 за возможность проведения наблюдений и исследований на радиотелескопе.

Данное исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по контракту 075-15-2024-541.

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. — A78. — 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](https://arxiv.org/abs/1011.1649)].
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](https://arxiv.org/abs/0910.2607)].
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](https://arxiv.org/abs/1011.3111)].

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](#)].
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](#)].
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 $+43^{\text{deg}}$ / *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/SAO.2020.1.52361](https://doi.org/10.26119/SAO.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).
57. *Majorova E. K., Bursov N. N., Trushkin S. A.* RATAN-600 Beam Pattern and Drift Scans of Radio Sources in the Radio Telescope Operation Mode with the West Sector // *Astrophysical Bulletin*. — 2023. — сент. — т. 78, № 3. — с. 429—442. — DOI: [10.1134/S1990341323700141](https://doi.org/10.1134/S1990341323700141).
58. *Korzhavin A. N.* Polarization effects of the secondary mirror of a variable profile antenna. // *Astrofizicheskie Issledovaniia Izvestiya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*. — 1979. — янв. — т. 11. — с. 170—181.
59. *Tsybulev P. G.* New-generation data acquisition and control system for continuum radio-astronomic observations with RATAN-600 radio telescope: Development, observations, and measurements // *Astrophysical Bulletin*. — 2011. — янв. — т. 66, № 1. — с. 109—122. — DOI: [10.1134/S199034131101010X](https://doi.org/10.1134/S199034131101010X).
60. C-Band Radiometer for Continuum Observations at RATAN-600 Radio Telescope / P. G. Tsybulev [и др.] // *Astrophysical Bulletin*. — 2018. — окт. — т. 73, № 4. — с. 494—500. — DOI: [10.1134/S1990341318040132](https://doi.org/10.1134/S1990341318040132).
61. Basic principles of a flexible astronomical data processing system in UNIX environment. / O. V. Verkhodanov [и др.] // *Bulletin of the Special Astrophysics Observatory*. — 1993. — янв. — т. 36. — с. 132—137.
62. GLESP package for full sky CMB maps data analysis and its realization in the FADPS data processing system. / O. V. Verkhodanov [и др.] // *Bulletin of the Special Astrophysics Observatory*. — 2005. — май. — т. 58. — с. 40—50.

63. *Bursov N. N.* Deep sky surveys at RATAN-600 : PhD thesis / Bursov N. N. — Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, 2003.
64. *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).
65. *Hodges J. L., Lehmann E. L.* Estimates of Location Based on Rank Tests // *The Annals of Mathematical Statistics*. — 1963. — т. 34, № 2. — с. 598—611. — URL: <http://www.jstor.org/stable/2238406> (дата обр. 21.04.2025).
66. *Verkhodanov O. V., Trushkin S. A., Chernenkov V. N.* Cats : a Database System of Astrophysical Catalogs // *Baltic Astronomy*. — 1997. — март. — т. 6. — с. 275—278.
67. Development of ephemeris support in observations of distant radio sources and solar system objects at RATAN-600 radio telescope / A. N. Korzhavin [и др.] // *Astrophysical Bulletin*. — 2012. — апр. — т. 67, № 2. — с. 225—229. — DOI: [10.1134/S1990341312020095](https://doi.org/10.1134/S1990341312020095).
68. *Aller M. F., Aller H. D., Hughes P. A.* Pearson-Readhead Survey Sources: Properties of the Centimeter-Wavelength Flux and Polarization of a Complete Radio Sample // *Astrophysical Journal*. — 1992. — нояб. — т. 399. — с. 16. — DOI: [10.1086/171898](https://doi.org/10.1086/171898).
69. On characterizing the variability properties of X-ray light curves from active galaxies / S. Vaughan [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2003. — нояб. — т. 345, № 4. — с. 1271—1284. — DOI: [10.1046/j.1365-2966.2003.07042.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2966.2003.07042.x). — arXiv: [astro-ph/0307420](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0307420) [astro-ph].
70. Intraday variability in compact extragalactic radio sources. II. Observations with the Effelsberg 100 m radio telescope / A. Kraus [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2003. — апр. — т. 401. — с. 161—172. — DOI: [10.1051/0004-6361:20030118](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20030118).
71. Modeling the Time Variability of SDSS Stripe 82 Quasars as a Damped Random Walk / C. L. MacLeod [и др.] // *The Astrophysical Journal*. — 2010. — окт. — т. 721, № 2. — с. 1014—1033. — DOI: [10.1088/0004-637X/721/2/1014](https://doi.org/10.1088/0004-637X/721/2/1014). — arXiv: [1004.0276](https://arxiv.org/abs/1004.0276) [astro-ph.CO].

72. *Simonetti J. H., Cordes J. M., Heeschen D. S.* Flicker of extragalactic radio sources at two frequencies. // *Astrophysical Journal*. — 1985. — сент. — т. 296. — с. 46—59. — DOI: [10.1086/163418](https://doi.org/10.1086/163418).
73. *Hufnagel B. R., Bregman J. N.* Optical and Radio Variability in Blazars // *Astrophysical Journal*. — 1992. — февр. — т. 386. — с. 473. — DOI: [10.1086/171033](https://doi.org/10.1086/171033).
74. Study of the variability and components of the pulsar B0823+26 at a frequency of 111 MHz / М. О. Торопов [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2024. — янв. — т. 527, № 1. — с. 1594—1600. — DOI: [10.1093/mnras/stad3349](https://doi.org/10.1093/mnras/stad3349). — arXiv: [2311.05376](https://arxiv.org/abs/2311.05376) [[astro-ph.HE](#)].
75. *Hughes P. A., Aller H. D., Aller M. F.* The University of Michigan Radio Astronomy Data Base. I. Structure Function Analysis and the Relation between BL Lacertae Objects and Quasi-stellar Objects // *Astrophysical Journal*. — 1992. — сент. — т. 396. — с. 469. — DOI: [10.1086/171734](https://doi.org/10.1086/171734).
76. *Kolmogorov A. N.* Dissipation of Energy in Locally Isotropic Turbulence // *Akademiia Nauk SSSR Doklady*. — 1941. — апр. — т. 32. — с. 16.
77. *Kolmogorov A.* The Local Structure of Turbulence in Incompressible Viscous Fluid for Very Large Reynolds' Numbers // *Akademiia Nauk SSSR Doklady*. — 1941. — янв. — т. 30. — с. 301—305.
78. *Rickett B. J., Coles W. A., Bourgois G.* Slow scintillation in the interstellar medium. // *Astronomy & Astrophysics*. — 1984. — май. — т. 134. — с. 390—395.
79. *Emmanoulopoulos D., McHardy I. M., Uttley P.* On the use of structure functions to study blazar variability: caveats and problems // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2010. — май. — т. 404, № 2. — с. 931—946. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2010.16328.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2010.16328.x). — arXiv: [1001.2045](https://arxiv.org/abs/1001.2045) [[astro-ph.CO](#)].
80. *Scargle J. D.* Studies in Astronomical Time Series Analysis. V. Bayesian Blocks, a New Method to Analyze Structure in Photon Counting Data // *The Astrophysical Journal*. — 1998. — сент. — т. 504, № 1. — с. 405—418. — DOI: [10.1086/306064](https://doi.org/10.1086/306064). — arXiv: [astro-ph/9711233](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9711233) [[astro-ph](#)].

81. *Lomb N. R.* Least-Squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data // *Astrophysics and Space Science*. — 1976. — февр. — т. 39, № 2. — с. 447—462. — DOI: [10.1007/BF00648343](https://doi.org/10.1007/BF00648343).
82. Determination of time-varying periodicities in unequally spaced time series of OH* temperatures using a moving Lomb-Scargle periodogram and a fast calculation of the false alarm probabilities / C. Kalicinsky [и др.] // *Atmospheric Measurement Techniques*. — 2020. — февр. — т. 13, № 2. — с. 467—477. — DOI: [10.5194/amt-13-467-2020](https://doi.org/10.5194/amt-13-467-2020).
83. Extragalactic Peaked-spectrum Radio Sources at Low Frequencies / J. R. Callingham [и др.] // *Astrophysical Journal*. — 2017. — февр. — т. 836, № 2. — с. 174. — DOI: [10.3847/1538-4357/836/2/174](https://doi.org/10.3847/1538-4357/836/2/174). — arXiv: [1701.02771](https://arxiv.org/abs/1701.02771) [[astro-ph.GA](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].
84. *O’Dea C. P.* The Compact Steep-Spectrum and Gigahertz Peaked-Spectrum Radio Sources // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. — 1998. — май. — т. 110, № 747. — с. 493—532. — DOI: [10.1086/316162](https://doi.org/10.1086/316162).
85. *O’Dea C. P., Baum S. A., Stanghellini C.* What Are the Gigahertz Peaked-Spectrum Radio Sources? // *Astrophysical Journal*. — 1991. — окт. — т. 380. — с. 66. — DOI: [10.1086/170562](https://doi.org/10.1086/170562).
86. High Frequency Peakers: Young radio sources or flaring blazars? / S. Tinti [и др.] // *AstronomyandAstrophysics*. — 2005. — март. — т. 432, № 1. — с. 31—43. — DOI: [10.1051/0004-6361:20041620](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20041620). — arXiv: [astro-ph/0410663](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0410663) [[astro-ph](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].
87. A survey of low-luminosity compact sources and its implication for the evolution of radio-loud active galactic nuclei - I. Radio data / M. Kunert-Bajraszewska [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2010. — нояб. — т. 408, № 4. — с. 2261—2278. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2010.17271.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2010.17271.x). — arXiv: [1009.5235](https://arxiv.org/abs/1009.5235) [[astro-ph.CO](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].
88. A search for clusters at high redshift. II. A proto cluster around a radio galaxy at $z=2.16$ / L. Pentericci [и др.] // *AstronomyandAstrophysics*. — 2000. — сент. — т. 361. — с. L25—L28. — DOI: [10.48550/arXiv.astro-ph/0008143](https://doi.org/10.48550/arXiv.astro-ph/0008143). — arXiv: [astro-ph/0008143](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0008143) [[astro-ph](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].

89. High frequency peakers. I. The bright sample / D. Dallacasa [и др.] // *Astronomy and Astrophysics*. — 2000. — нояб. — т. 363. — с. 887—900. — DOI: [10.48550/arXiv.astro-ph/0012428](https://doi.org/10.48550/arXiv.astro-ph/0012428). — arXiv: [astro-ph/0012428](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0012428) [[astro-ph](#)].
90. On the redshift cut-off for steep-spectrum radio sources / M. J. Jarvis [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2001. — нояб. — т. 327, № 3. — с. 907—917. — DOI: [10.1046/j.1365-8711.2001.04778.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2001.04778.x). — arXiv: [astro-ph/0106473](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0106473) [[astro-ph](#)].
91. A search for distant radio galaxies from SUMSS and NVSS - II. Optical spectroscopy / C. De Breuck [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2006. — февр. — т. 366, № 1. — с. 58—72. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2005.09799.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.09799.x). — arXiv: [astro-ph/0511169](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0511169) [[astro-ph](#)].
92. A search for distant radio galaxies from SUMSS and NVSS - III. Radio spectral energy distributions and the z - α correlation / I. J. Klammer [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2006. — сент. — т. 371, № 2. — с. 852—866. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2006.10714.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2006.10714.x). — arXiv: [astro-ph/0606469](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0606469) [[astro-ph](#)].
93. A new search for distant radio galaxies in the Southern hemisphere - II. 2.2μ imaging / J. J. Bryant [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2009. — апр. — т. 394, № 4. — с. 2197—2222. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2009.14500.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2009.14500.x). — arXiv: [0902.0643](https://arxiv.org/abs/0902.0643) [[astro-ph.CO](#)].
94. *Gopal-Krishna, Steppe H.* Spectral index - Flux density relation for extragalactic radio sources found in metre-wavelength surveys. // *Astronomy and Astrophysics*. — 1982. — сент. — т. 113. — с. 150—154.
95. Microjansky Source Counts and Spectral Indices at 8.44 GHz / R. A. Windhorst [и др.] // *Astrophysical Journal*. — 1993. — март. — т. 405. — с. 498. — DOI: [10.1086/172382](https://doi.org/10.1086/172382).
96. Spectral index properties of milliJansky radio sources / K. E. Randall [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2012. — апр. — т. 421, № 2. — с. 1644—1660. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2012.20422.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.20422.x). — arXiv: [1201.0568](https://arxiv.org/abs/1201.0568) [[astro-ph.CO](#)].

97. *Dabhade P., Gopal-Krishna.* The spectral index-flux density relation for extragalactic radio sources selected at metre and decametre wavelengths // *Astronomy and Astrophysics*. — 2023. — июль. — т. 675. — с. L3. — DOI: [10.1051/0004-6361/202346593](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202346593). — arXiv: [2306.11205](https://arxiv.org/abs/2306.11205) [[astro-ph.GA](#)].
98. *Zhelenkova O. P., Majorova E. K.* Study of RCR Catalogue Radio Source Integral Spectra // *Astrophysical Bulletin*. — 2018. — апр. — т. 73, № 2. — с. 142—161. — DOI: [10.1134/S1990341318020037](https://doi.org/10.1134/S1990341318020037). — arXiv: [1805.05656](https://arxiv.org/abs/1805.05656) [[astro-ph.GA](#)].
99. *Laing R. A., Peacock J. A.* The relation between radio luminosity and spectrum for extended extragalactic radio sources. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 1980. — март. — т. 190. — с. 903—924. — DOI: [10.1093/mnras/190.4.903](https://doi.org/10.1093/mnras/190.4.903).
100. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters / Planck Collaboration [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2020. — сент. — т. 641. — A6. — DOI: [10.1051/0004-6361/201833910](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833910). — arXiv: [1807.06209](https://arxiv.org/abs/1807.06209) [[astro-ph.CO](#)].
101. *Condon J. J.* Radio sources and cosmology. // *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy* / под ред. К. I. Kellermann, G. L. Verschuur. — 1988. — с. 641—678.
102. *Hogg D. W.* Distance measures in cosmology // *ArXiv Astrophysics e-prints*. — 1999. — май. — eprint: [astro-ph/9905116](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9905116).
103. Multifrequency VLA observations of GHz-peaked-spectrum radio cores. / C. P. O’Dea [и др.] // *Astronomy & Astrophysics, Suppl. Ser.* — 1990. — сент. — т. 84. — с. 549.
104. *Pacholczyk A. G.* Radio astrophysics. Nonthermal processes in galactic and extragalactic sources. — San Francisco, "W.H.Freeman", 1970.
105. A new sample of faint Gigahertz Peaked Spectrum radio sources / I. A. G. Snellen [и др.] // *Astronomy & Astrophysics Supplement*. — 1998. — сент. — т. 131. — с. 435—449. — DOI: [10.1051/aas:1998281](https://doi.org/10.1051/aas:1998281). — eprint: [arXiv: astro-ph/9803140](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9803140).

106. *Bicknell G. V., Dopita M. A., O’Dea C. P.* Unification of the Radio and Optical Properties of Gigahertz Peak Spectrum and Compact Steep-Spectrum Radio Sources // *Astronomical Journal*. — 1997. — авг. — т. 485. — с. 112—124. — DOI: [10.1086/304400](https://doi.org/10.1086/304400).
107. *O’Dea C. P., Baum S. A.* Constraints on Radio Source Evolution from the Compact Steep Spectrum and GHz Peaked Spectrum Radio Sources // *Astronomical Journal*. — 1997. — янв. — т. 113. — с. 148—161. — DOI: [10.1086/118241](https://doi.org/10.1086/118241).
108. On the nature of compact steep spectrum radio sources. / R. Fanti [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 1990. — май. — т. 231. — с. 333—346.
109. *Dallacasa D.* High Frequency Peakers // *Publications of the Astronomical Society of Australia*. — 2003. — янв. — т. 20, № 1. — с. 79—84. — DOI: [10.1071/AS03005](https://doi.org/10.1071/AS03005). — arXiv: [astro-ph/0303131](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0303131) [[astro-ph](https://arxiv.org/abs/astro-ph)].
110. *Blake G. M.* Observations of Extragalactic Radio Sources Having Unusual Spectra // *Astrophysical Letters*. — 1970. — июль. — т. 6. — с. 201.
111. *Phillips R. B., Mutel R. L.* On symmetric structure in compact radio sources. // *Astronomy & Astrophysics*. — 1982. — февр. — т. 106. — с. 21—24.
112. *Peacock J. A., Wall J. V.* Bright extragalactic radio sources at 2.7 GHz - I. The northern hemisphere catalogue. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 1981. — янв. — т. 194. — с. 331—349. — DOI: [10.1093/mnras/194.2.331](https://doi.org/10.1093/mnras/194.2.331).
113. *Peacock J. A., Wall J. V.* Bright extragalactic radio sources at 2.7 GHz- II. Observations with the Cambridge 5-km telescope. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 1982. — март. — т. 198. — с. 843—860. — DOI: [10.1093/mnras/198.3.843](https://doi.org/10.1093/mnras/198.3.843).
114. *Hodges M. W., Mutel R. L., Phillips R. B.* A VLBI survey of peaked-spectrum radio sources. // *Astronomical Journal*. — 1984. — сент. — т. 89. — с. 1327—1331. — DOI: [10.1086/113631](https://doi.org/10.1086/113631).
115. *Mutel R. L., Phillips R. B.* The Evolution of Compact Double Radio Sources // *The Impact of VLBI on Astrophysics and Geophysics*. т. 129 / под ред. М. J. Reid, J. M. Moran. — 01.1988. — с. 73. — (IAU Symposium).

116. *O'Dea C. P., Saikia D. J.* Compact steep-spectrum and peaked-spectrum radio sources // *The Astronomy & Astrophysics Review*. — 2021. — дек. — т. 29, № 1. — с. 3. — DOI: [10.1007/s00159-021-00131-w](https://doi.org/10.1007/s00159-021-00131-w). — arXiv: [2009.02750](https://arxiv.org/abs/2009.02750) [[astro-ph.GA](#)].
117. High Frequency Peakers: Young radio sources or flaring blazars? / S. Tinti [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2005. — март. — т. 432, № 1. — с. 31—43. — DOI: [10.1051/0004-6361:20041620](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20041620). — arXiv: [astro-ph/0410663](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0410663) [[astro-ph](#)].
118. What are the megahertz peaked-spectrum sources? / R. Coppejans [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2016. — июль. — т. 459, № 3. — с. 2455—2471. — DOI: [10.1093/mnras/stw799](https://doi.org/10.1093/mnras/stw799). — arXiv: [1604.00171](https://arxiv.org/abs/1604.00171) [[astro-ph.GA](#)].
119. High frequency peakers. I. The bright sample / D. Dallacasa [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2000. — нояб. — т. 363. — с. 887—900. — arXiv: [astro-ph/0012428](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0012428) [[astro-ph](#)].
120. *Orienti M., Dallacasa D.* Parsec-scale morphology and spectral-index distribution in faint high-frequency peakers // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2012. — июль. — т. 424, № 1. — с. 532—544. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2012.21226.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.21226.x). — arXiv: [1205.0395](https://arxiv.org/abs/1205.0395) [[astro-ph.CO](#)].
121. *Stanghellini C., Dallacasa D., Orienti M.* High Frequency Peakers: The faint sample // *Astronomische Nachrichten*. — 2009. — февр. — т. 330, № 2. — с. 223. — DOI: [10.1002/asna.200811162](https://doi.org/10.1002/asna.200811162). — arXiv: [0901.3068](https://arxiv.org/abs/0901.3068) [[astro-ph.CO](#)].
122. Are compact steep-spectrum sources young? / C. Fanti [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 1995. — окт. — т. 302. — с. 317.
123. The Evolution of Extragalactic Radio Sources / A. C. S. Readhead [и др.] // *Extragalactic Radio Sources*. т. 175 / под ред. R. D. Ekers, C. Fanti, L. Padrielli. — 01.1996. — с. 88. — (IAU Symposium).
124. The radio spectral turnover of radio-loud quasars at $z > 5$ / Y. Shao [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2022. — март. — т. 659. — A159. — DOI: [10.1051/0004-6361/202142489](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202142489). — arXiv: [2112.03133](https://arxiv.org/abs/2112.03133) [[astro-ph.GA](#)].

125. *Condon J. J., Ransom S. M.* Essential Radio Astronomy. — Princeton University Press, 2016.
126. *V'eron-Cetty M. .-P., V'eron P.* A catalogue of quasars and active nuclei: 13th edition // *Astronomy & Astrophysics*. — 2010. — июль. — т. 518. — A10. — DOI: [10.1051/0004-6361/201014188](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201014188).
127. *O'Dea C. P.* Do quasars with radio spectra peaked at gigahertz frequencies have extremely high redshifts? // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 1990. — июль. — т. 245. — 20P.
128. High-redshift quasars at $z \geq 3$ - 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](#)].
129. VLBA images of high frequency peakers / *M. Orienti [и др.]* // *Astronomy & Astrophysics*. — 2006. — май. — т. 450, № 3. — с. 959—970. — DOI: [10.1051/0004-6361:20054656](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20054656). — arXiv: [astro-ph/0602158](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0602158) [[astro-ph](#)].
130. Optical CCD imaging of GHz-peaked-spectrum radio sources / *C. Stanghellini [и др.]* // *The Astrophysical Journal Supplement Series*. — 1993. — сент. — т. 88. — с. 1—21. — DOI: [10.1086/191812](https://doi.org/10.1086/191812).
131. A Parkes half-Jansky sample of GHz peaked spectrum galaxies / *I. A. G. Snellen [и др.]* // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2002. — дек. — т. 337. — с. 981—992. — DOI: [10.1046/j.1365-8711.2002.05978.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2002.05978.x). — eprint: [arXiv:astro-ph/0208368](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0208368).
132. Dissecting the complex environment of a distant quasar with MUSE / *K. Husband [и др.]* // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2015. — сент. — т. 452, № 3. — с. 2388—2395. — DOI: [10.1093/mnras/stv1424](https://doi.org/10.1093/mnras/stv1424). — arXiv: [1507.07919](https://arxiv.org/abs/1507.07919) [[astro-ph.GA](#)].
133. *Verkhodanov O. V., Trushkin S. A., Chernenkov V. N.* Cats : a Database System of Astrophysical Catalogs // *Baltic Astronomy*. — 1997. — март. — т. 6. — с. 275—278. — DOI: [10.1515/astro-1997-0224](https://doi.org/10.1515/astro-1997-0224).
134. Current status of the CATS database. / *O. V. Verkhodanov [и др.]* // *Bulletin of the Special Astrophysics Observatory*. — 2005. — май. — т. 58. — с. 118—129. — DOI: [10.48550/arXiv.0705.2959](https://doi.org/10.48550/arXiv.0705.2959). — arXiv: [0705.2959](https://arxiv.org/abs/0705.2959) [[astro-ph](#)].

135. The RATAN-600 7.6 CM catalog of radio sources from “Experiment cold-80”. / I. N. Pariiski [и др.] // *Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser.* — 1991. — янв. — т. 87. — с. 1—32.
136. *Gregory P. C., Condon J. J.* The 87GB Catalog of Radio Sources Covering $0^\circ < \delta < +75^\circ$ at 4.85 GHz // *The Astrophysical Journal Supplement.* — 1991. — апр. — т. 75. — с. 1011. — DOI: [10.1086/191559](https://doi.org/10.1086/191559).
137. *Bursov N. N.* Spectra of weak radio sources from the RATAN-600 “Kholod” deep survey // *Astronomy Reports.* — 1997. — янв. — т. 41, № 1. — с. 35—55.
138. A Catalog of 1.4 GHz Radio Sources from the FIRST Survey / R. L. White [и др.] // *The Astrophysical Journal.* — 1997. — февр. — т. 475, № 2. — с. 479—493. — DOI: [10.1086/303564](https://doi.org/10.1086/303564).
139. The second epoch Molonglo Galactic Plane Survey: compact source catalogue / T. Murphy [и др.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* — 2007. — нояб. — т. 382, № 1. — с. 382—392. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2007.12379.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.12379.x). — arXiv: [0708.3092](https://arxiv.org/abs/0708.3092) [astro-ph].
140. Multifrequency study of GHz-peaked spectrum sources and candidates with the RATAN-600 radio telescope / M. G. Mingaliev [и др.] // *Astronomy & Astrophysics.* — 2012. — авг. — т. 544. — A25. — DOI: [10.1051/0004-6361/201118506](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118506).
141. The GMRT 150 MHz all-sky radio survey. First alternative data release TGSS ADR1 / H. T. Intema [и др.] // *Astronomy & Astrophysics.* — 2017. — февр. — т. 598. — A78. — 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].
142. Multifrequency Study of GHz-peaked Spectrum Sources / Y. V. Sotnikova [и др.] // *Astrophysical Bulletin.* — 2019. — окт. — т. 74, № 4. — с. 348—364. — DOI: [10.1134/S1990341319040023](https://doi.org/10.1134/S1990341319040023). — arXiv: [1911.12769](https://arxiv.org/abs/1911.12769) [astro-ph.GA].
143. The absolute spectrum of Cas A: an accurate flux density scale and a set of secondary calibrators. / J. W. M. Baars [и др.] // *Astronomy & Astrophysics.* — 1977. — окт. — т. 61. — с. 99—106.

144. 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](#)].
145. *Lomb N. R.* Least-Squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data // *Astrophysics and Space Science*. — 1976. — февр. — т. 39, № 2. — с. 447—462. — DOI: [10.1007/BF00648343](https://doi.org/10.1007/BF00648343).
146. *Scargle J. D.* Studies in astronomical time series analysis. II. Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. // *Astrophysical Journal*. — 1982. — дек. — т. 263. — с. 835—853. — DOI: [10.1086/160554](https://doi.org/10.1086/160554).
147. *Zechmeister M., Kürster M.* The generalised Lomb-Scargle periodogram. A new formalism for the floating-mean and Keplerian periodograms // *Astronomy & Astrophysics*. — 2009. — март. — т. 496, № 2. — с. 577—584. — DOI: [10.1051/0004-6361:200811296](https://doi.org/10.1051/0004-6361/200811296). — arXiv: [0901.2573](https://arxiv.org/abs/0901.2573) [[astro-ph.IM](#)].
148. 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](#)].
149. *Walker M. A.* Interstellar scintillation of compact extragalactic radio sources // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 1998. — февр. — т. 294. — с. 307—311. — DOI: [10.1046/j.1365-8711.1998.01238.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.1998.01238.x).
[x10.1111/j.1365-8711.1998.01238.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-8711.1998.01238.x).
150. Refractive Interstellar Scintillation of Extra-galactic Radio Sources I: Expectations / P. J. Hancock [и др.] // arXiv e-prints. — 2019. — июль. — arXiv:1907.08395. — DOI: [10.48550/arXiv.1907.08395](https://doi.org/10.48550/arXiv.1907.08395). — arXiv: [1907.08395](https://arxiv.org/abs/1907.08395) [[astro-ph.GA](#)].
151. *Kellermann K. I., Owen F. N.* Radio galaxies and quasars. // *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy* / под ред. К. I. Kellermann, G. L. Verschuur. — Berlin, New York, Springer-Verlag, 1988. — с. 563—602.

152. *Pushkarev A. B., Kovalev Y. Y.* Milky Way scattering properties and intrinsic sizes of active galactic nuclei cores probed by very long baseline interferometry surveys of compact extragalactic radio sources // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2015. — окт. — т. 452, № 4. — с. 4274—4282. — DOI: [10.1093/mnras/stv1539](https://doi.org/10.1093/mnras/stv1539). — arXiv: [1507.02459](https://arxiv.org/abs/1507.02459) [astro-ph.HE].
153. Tracing Milky Way scattering by compact extragalactic radio sources / Т. А. Koryukova [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2022. — сент. — т. 515, № 2. — с. 1736—1750. — DOI: [10.1093/mnras/stac1898](https://doi.org/10.1093/mnras/stac1898). — arXiv: [2201.04359](https://arxiv.org/abs/2201.04359) [astro-ph.GA].
154. The Third EGRET Catalog of High-Energy Gamma-Ray Sources / R. C. Hartman [и др.] // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 1999. — июль. — т. 123, № 1. — с. 79—202. — DOI: [10.1086/313231](https://doi.org/10.1086/313231).
155. Explanatory Supplement to the WISE All-Sky Data Release Products / R. M. Cutri [и др.]. — 03.2012. — Explanatory Supplement to the WISE All-Sky Data Release Products.
156. The Two Micron All Sky Survey (2MASS) / M. F. Skrutskie [и др.] // The Astronomical Journal. — 2006. — февр. — т. 131, № 2. — с. 1163—1183. — DOI: [10.1086/498708](https://doi.org/10.1086/498708).
157. *Fan J. H., Xie G. Z., Wen S. L.* The relativistic beaming model for active galactic nuclei. // Astronomy & Astrophysics Supplement. — 1996. — май. — т. 116. — с. 409—415.
158. Multiepoch Very Long Baseline Array Observations of EGRET-detected Quasars and BL Lacertae Objects: Superluminal Motion of Gamma-Ray Bright Blazars / S. G. Jorstad [и др.] // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 2001. — июнь. — т. 134, № 2. — с. 181—240. — DOI: [10.1086/320858](https://doi.org/10.1086/320858). — arXiv: [astro-ph/0101570](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0101570) [astro-ph].
159. The Fastest Relativistic Jets: VLBA Observations of Blazars with Apparent Speeds Exceeding $25c$ / B. G. Piner [и др.] // The Astrophysical Journal. — 2006. — март. — т. 640, № 1. — с. 196—203. — DOI: [10.1086/500006](https://doi.org/10.1086/500006). — arXiv: [astro-ph/0511664](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0511664) [astro-ph].

160. Kinematics of Parsec-scale Jets of Gamma-Ray Blazars at 43 GHz within the VLBA-BU-BLAZAR Program / S. G. Jorstad [и др.] // The Astrophysical Journal. — 2017. — сент. — т. 846, № 2. — с. 98. — DOI: [10.3847/1538-4357/aa8407](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa8407). — arXiv: [1711.03983](https://arxiv.org/abs/1711.03983) [astro-ph.GA].
161. The extreme blazar AO 0235+164 as seen by extensive ground and space radio observations / A. M. Kutkin [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2018. — апр. — т. 475, № 4. — с. 4994–5009. — DOI: [10.1093/mnras/sty144](https://doi.org/10.1093/mnras/sty144). — arXiv: [1801.04892](https://arxiv.org/abs/1801.04892) [astro-ph.GA].
162. Doppler factors, Lorentz factors and viewing angles for quasars, BL Lacertae objects and radio galaxies / T. Hovatta [и др.] // Astronomy & Astrophysics. — 2009. — февр. — т. 494, № 2. — с. 527–537. — DOI: [10.1051/0004-6361:200811150](https://doi.org/10.1051/0004-6361:200811150). — arXiv: [0811.4278](https://arxiv.org/abs/0811.4278) [astro-ph].
163. Variations of the Blazar AO 0235+164 in 2006-2015 / V. A. Hagen-Thorn [и др.] // Astronomy Reports. — 2018. — февр. — т. 62, № 2. — с. 103–115. — DOI: [10.1134/S106377291802004X](https://doi.org/10.1134/S106377291802004X).
164. Correlation between optical and *gamma*-ray flux variations in BL Lacs / B. Rajput [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2021. — июнь. — т. 504, № 2. — с. 1772–1786. — DOI: [10.1093/mnras/stab970](https://doi.org/10.1093/mnras/stab970). — arXiv: [2104.00402](https://arxiv.org/abs/2104.00402) [astro-ph.HE].
165. *Wang Y.-F., Jiang Y.-G.* A Comprehensive Study on the Variation Phenomena of AO 0235+164 // The Astrophysical Journal. — 2020. — окт. — т. 902, № 1. — с. 41. — DOI: [10.3847/1538-4357/abb36c](https://doi.org/10.3847/1538-4357/abb36c). — arXiv: [2009.00879](https://arxiv.org/abs/2009.00879) [astro-ph.HE].
166. Optical and radio variability of the BL Lacertae object <ASTROBJ>AO 0235+16</ASTROBJ>: A possible 5-6 year periodicity / C. M. Raiteri [и др.] // Astronomy & Astrophysics. — 2001. — окт. — т. 377. — с. 396–412. — DOI: [10.1051/0004-6361:20011112](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20011112). — eprint: [astro-ph/0108165](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0108165).
167. Optical periodicity analysis for radio selected BL Lacertae objects (RBLs) / J. H. Fan [и др.] // Astronomy & Astrophysics. — 2002. — янв. — т. 381. — с. 1–5. — DOI: [10.1051/0004-6361:20011356](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20011356).

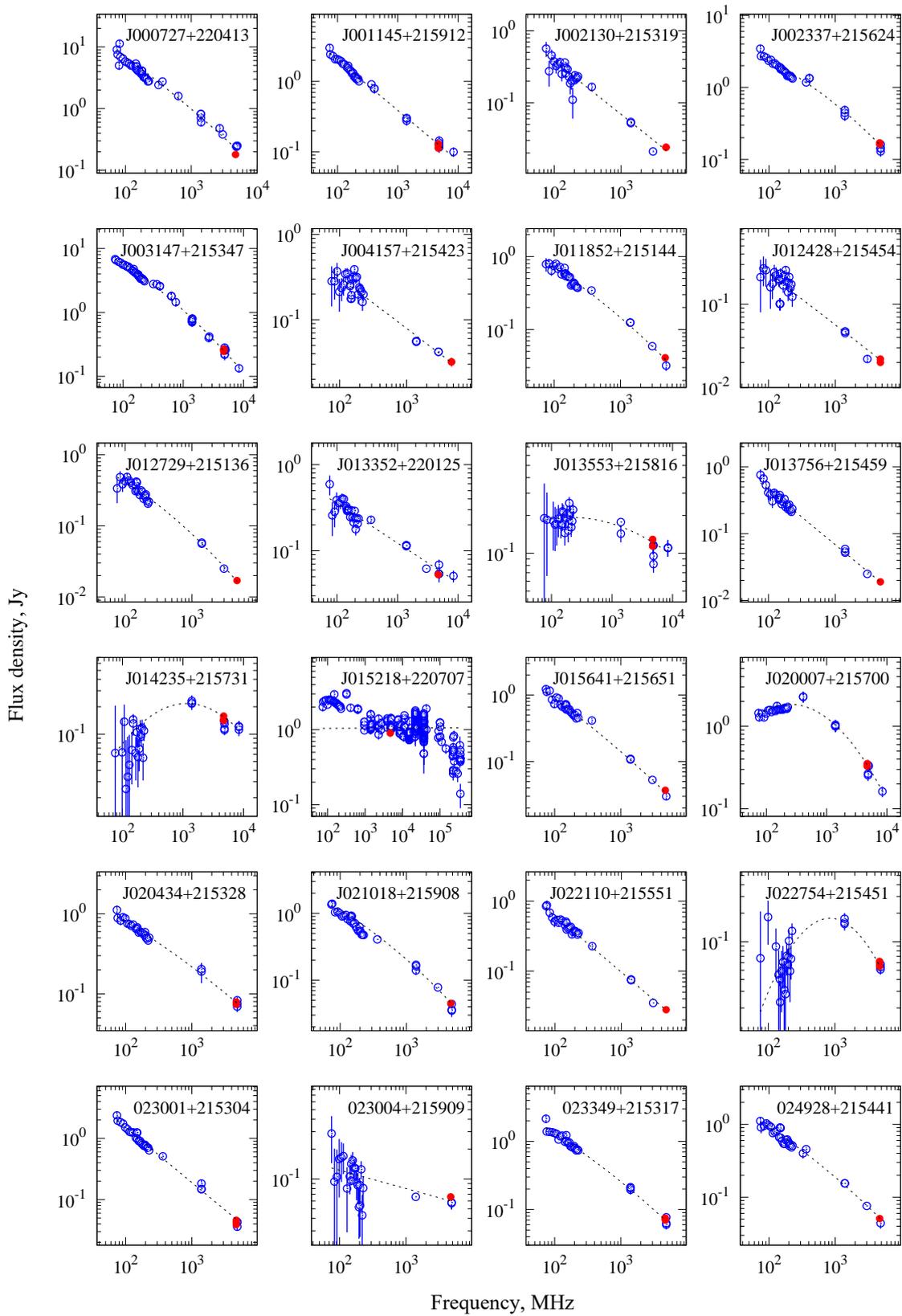
168. Multiwavelength periodicity search in a sample of γ -ray bright blazars / J. Otero-Santos [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2023. — февр. — т. 518, № 4. — с. 5788—5807. — DOI: [10.1093/mnras/stac3142](https://doi.org/10.1093/mnras/stac3142). — arXiv: [2210.16327](https://arxiv.org/abs/2210.16327) [astro-ph.HE].
169. Multifrequency variability of the blazar AO 0235+164. The WEBT campaign in 2004-2005 and long-term SED analysis / C. M. Raiteri [и др.] // Astronomy & Astrophysics. — 2006. — дек. — т. 459, № 3. — с. 731—743. — DOI: [10.1051/0004-6361:20065744](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20065744). — arXiv: [astro-ph/0608627](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0608627) [astro-ph].
170. Detection of a quasi-periodic oscillation in the optical light curve of the remarkable blazar AO 0235+164 / A. Roy [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2022. — июль. — т. 513, № 4. — с. 5238—5244. — DOI: [10.1093/mnras/stac1287](https://doi.org/10.1093/mnras/stac1287). — arXiv: [2205.03586](https://arxiv.org/abs/2205.03586) [astro-ph.HE].
171. *Romero G. E., Fan J.-H., Nuza S. E.* The Binary Black Hole Scenario for the BL Lacertae Object AO~0235+16 // Chinese Journal of Astronomy & Astrophysics. — 2003. — дек. — т. 3, № 6. — с. 513—525. — DOI: [10.1088/1009-9271/3/6/513](https://doi.org/10.1088/1009-9271/3/6/513). — arXiv: [astro-ph/0312197](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0312197) [astro-ph].
172. *Ostorero L., Villata M., Raiteri C. M.* Helical jets in blazars. Interpretation of the multifrequency long-term variability of AO 0235+16 // Astronomy & Astrophysics. — 2004. — июнь. — т. 419. — с. 913—925. — DOI: [10.1051/0004-6361:20035813](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20035813). — arXiv: [astro-ph/0402551](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0402551) [astro-ph].
173. Physical characteristics of the Blazar AO 0235+164 / A. E. Vol'vach [и др.] // Astronomy Reports. — 2015. — февр. — т. 59, № 2. — с. 145—155. — DOI: [10.1134/S1063772914120117](https://doi.org/10.1134/S1063772914120117).
174. VSOP Monitoring of the Compact BL Lac Object AO 0235+164 / S. Frey [и др.] // Proceedings of the Astronomical Society of Australia, Proceedings. — 2006. — апр. — т. 58. — с. 217—222. — DOI: [10.1093/pasj/58.2.217](https://doi.org/10.1093/pasj/58.2.217). — arXiv: [astro-ph/0509528](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0509528) [astro-ph].
175. A near magnetic-to-kinetic energy equipartition flare from the relativistic jet in AO 0235 + 164 during 2013-2019 / W. Y. Cheong [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2024. — янв. — т. 527, № 1. — с. 882—894. — DOI: [10.1093/mnras/stad3250](https://doi.org/10.1093/mnras/stad3250). — arXiv: [2310.16296](https://arxiv.org/abs/2310.16296) [astro-ph.HE].

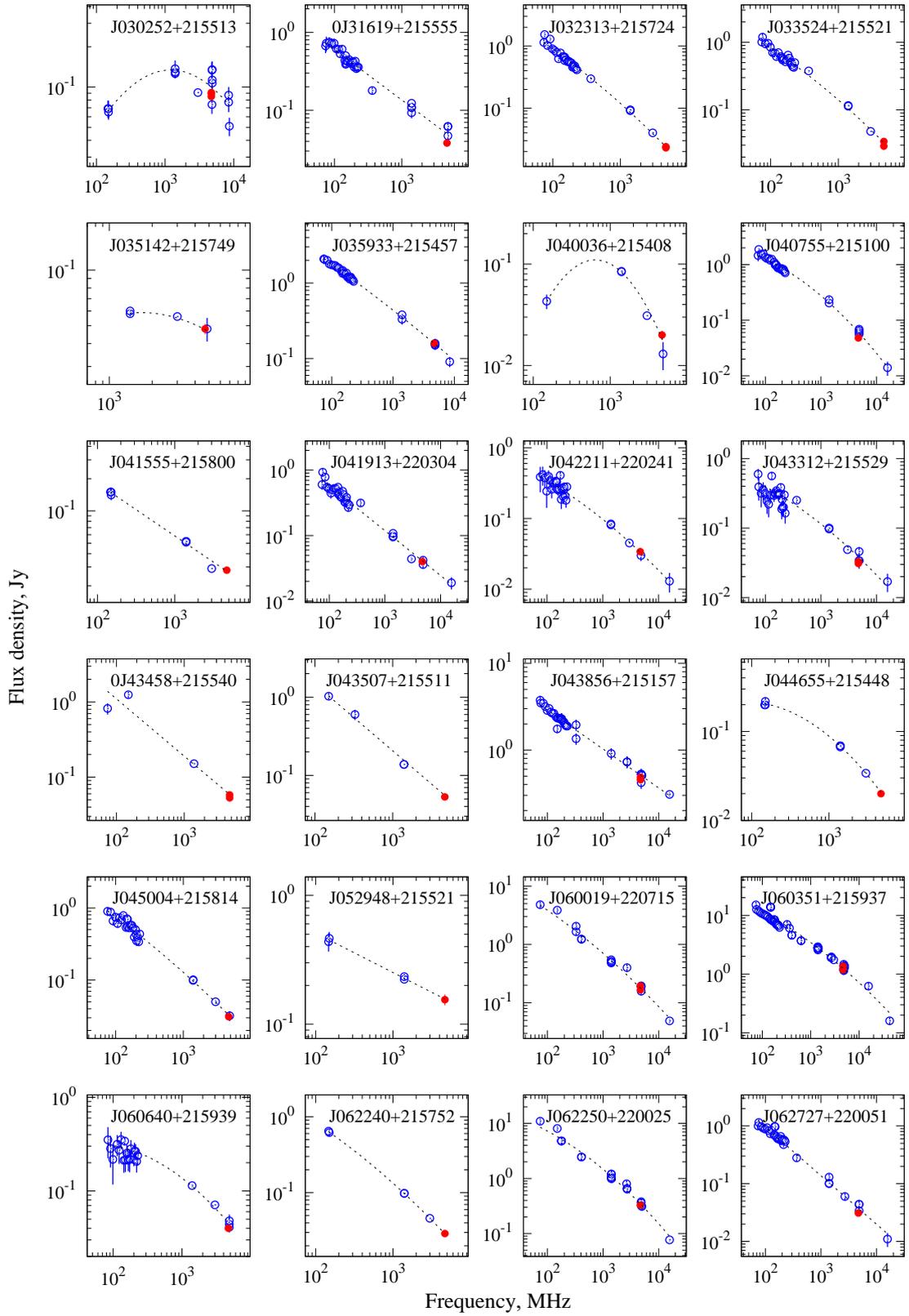
176. The 1997 Outburst of AO 0235+164: Evidence for a Microlensing Event? / J. R. Webb [и др.] // *The Astronomical Journal*. — 2000. — июль. — т. 120, № 1. — с. 41–46. — DOI: [10.1086/301432](https://doi.org/10.1086/301432).
177. Search for intraday radio variability in EGRET blazars. / G. E. Romero [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 1997. — окт. — т. 326. — с. 77–86.
178. *Peng B., de Bruyn A. G.* Evidence for Microarcsecond Structure in the BL Lacertae Object AO 0235+164 // *The Astrophysical Journal*. — 2004. — июль. — т. 610, № 1. — с. 151–155. — DOI: [10.1086/421485](https://doi.org/10.1086/421485).
179. The Outburst of the Blazar AO 0235+164 in 2006 December: Shock-in-Jet Interpretation / V. A. Hagen-Thorn [и др.] // *The Astrophysical Journal*. — 2008. — янв. — т. 672, № 1. — с. 40–47. — DOI: [10.1086/523841](https://doi.org/10.1086/523841). — arXiv: [0709.3550](https://arxiv.org/abs/0709.3550) [[astro-ph](#)].
180. Multi-wavelength Observations of Blazar AO 0235+164 in the 2008-2009 Flaring State / M. Ackermann [и др.] // *The Astrophysical Journal*. — 2012. — июнь. — т. 751, № 2. — с. 159. — DOI: [10.1088/0004-637X/751/2/159](https://doi.org/10.1088/0004-637X/751/2/159). — arXiv: [1207.2932](https://arxiv.org/abs/1207.2932) [[astro-ph.HE](#)].
181. *Wang H.* The optical periodic analysis of BL Lac object AO 0235+164 // *Astrophysics and Space Science*. — 2014. — май. — т. 351, № 1. — с. 281–287. — DOI: [10.1007/s10509-014-1840-z](https://doi.org/10.1007/s10509-014-1840-z).
182. The WEBT campaign to observe AO 0235+16 in the 2003-2004 observing season. Results from radio-to-optical monitoring and XMM-Newton observations / C. M. Raiteri [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2005. — июль. — т. 438, № 1. — с. 39–53. — DOI: [10.1051/0004-6361:20042567](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20042567). — arXiv: [astro-ph/0503312](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0503312) [[astro-ph](#)].
183. Radio-to-UV monitoring of AO 0235+164 by the WEBT and Swift during the 2006-2007 outburst / C. M. Raiteri [и др.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2008. — март. — т. 480, № 2. — с. 339–347. — DOI: [10.1051/0004-6361:20079044](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20079044). — arXiv: [0801.1236](https://arxiv.org/abs/0801.1236) [[astro-ph](#)].
184. 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](#)].

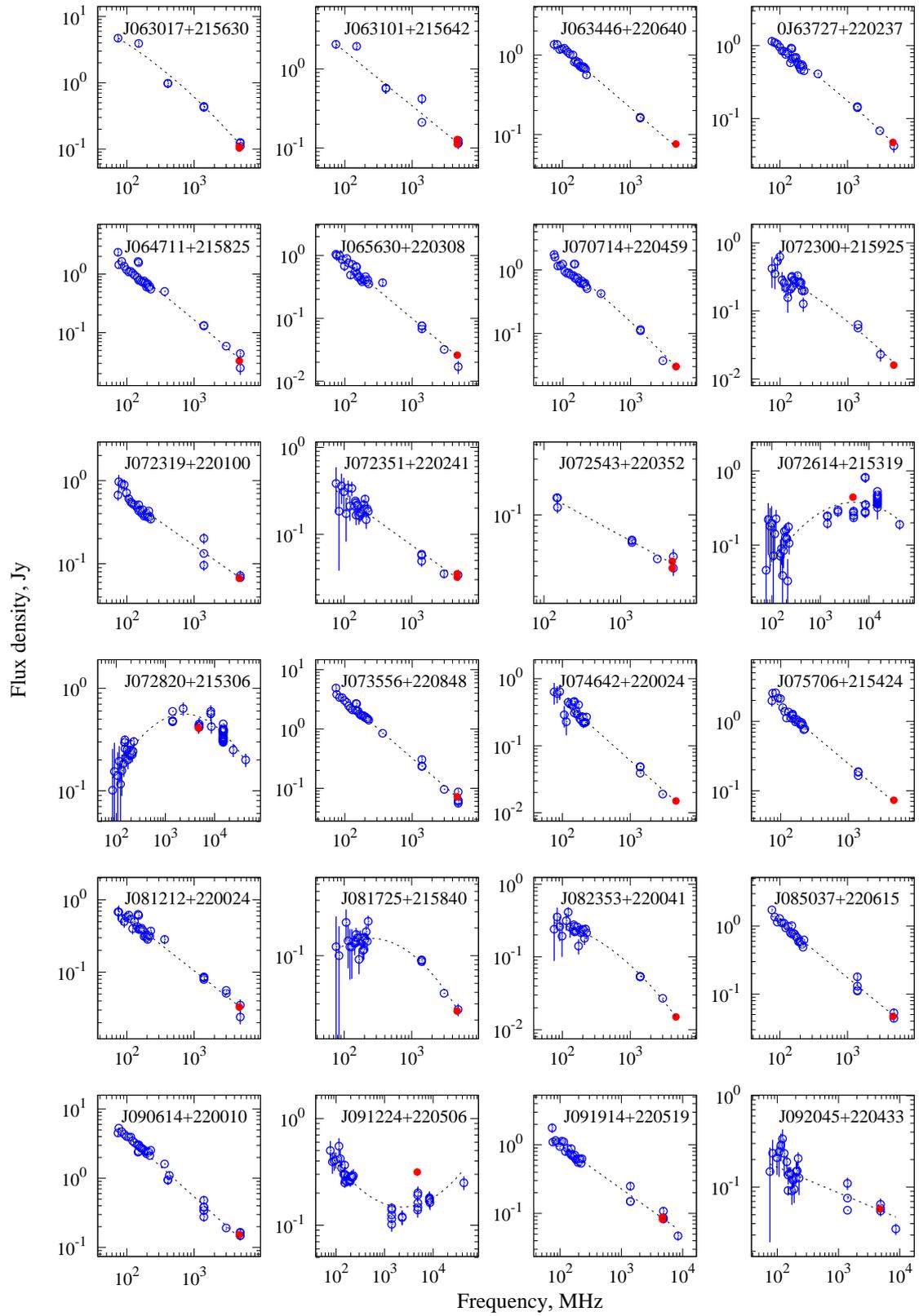
185. Radio flare in CSS quasar 3C 138 / Y. V. Sotnikova [и др.] // The Astronomer's Telegram. — 2025. — март. — т. 17104. — с. 1.

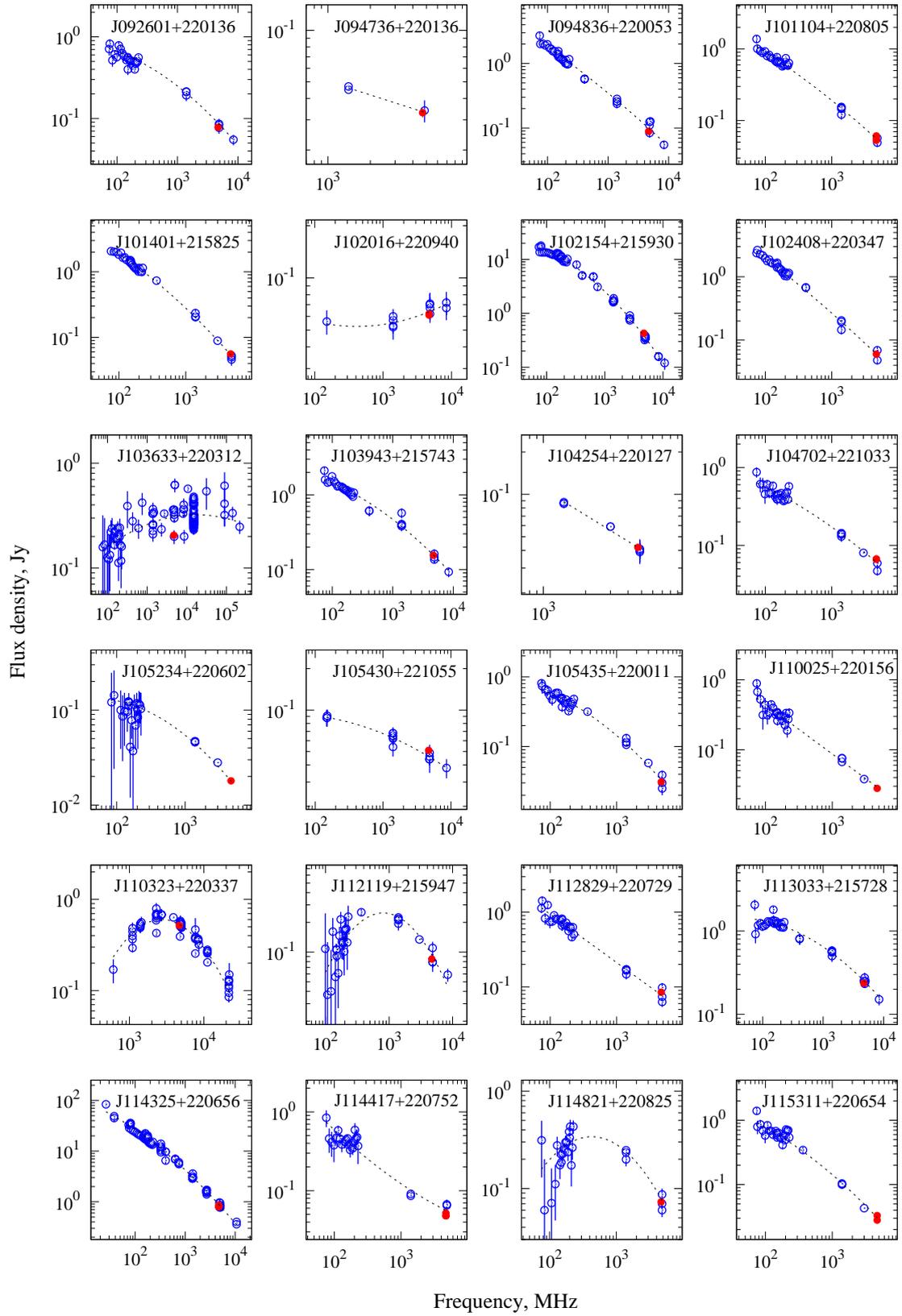
Приложение А

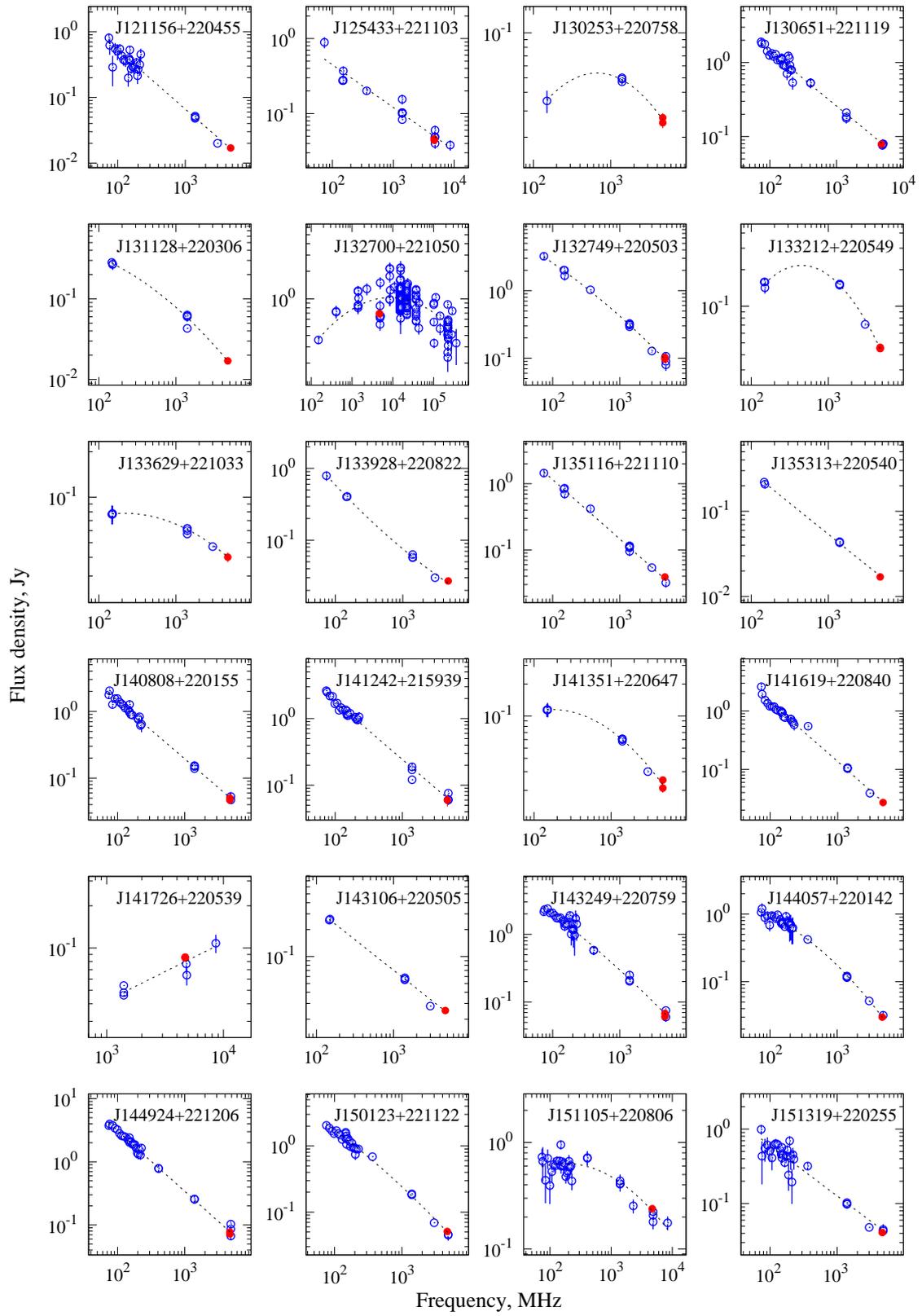
Радиоспектры 205 источников

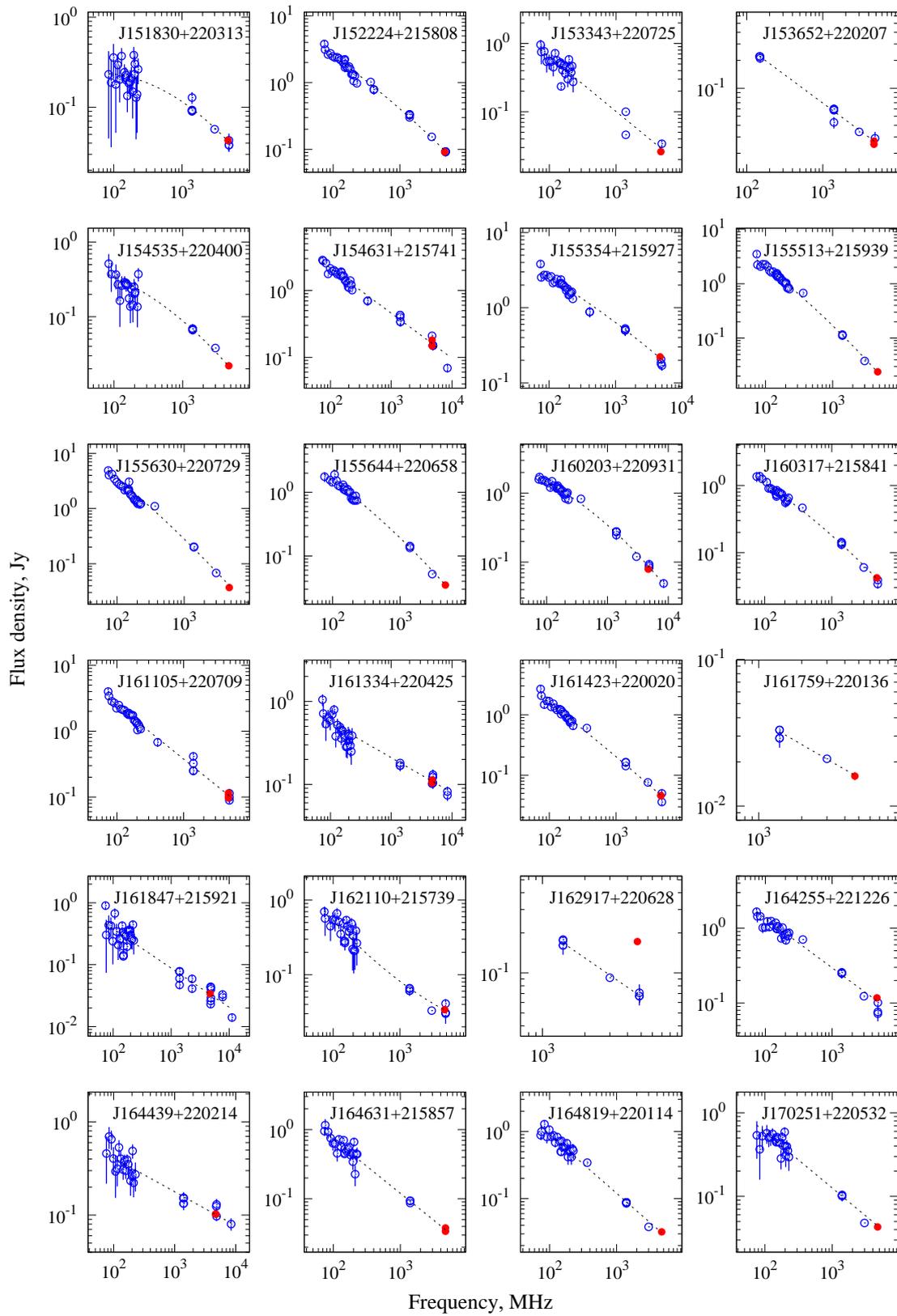


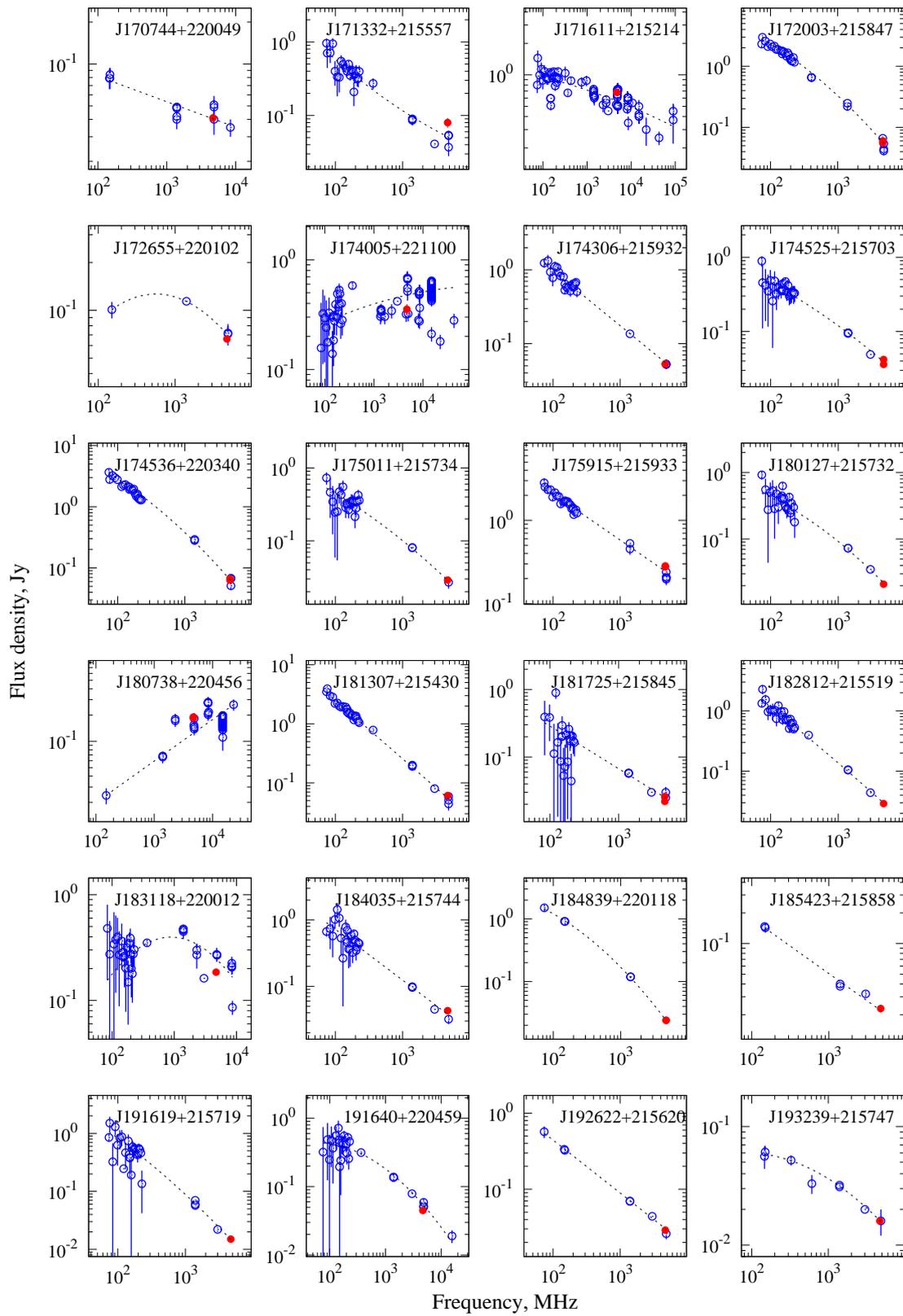


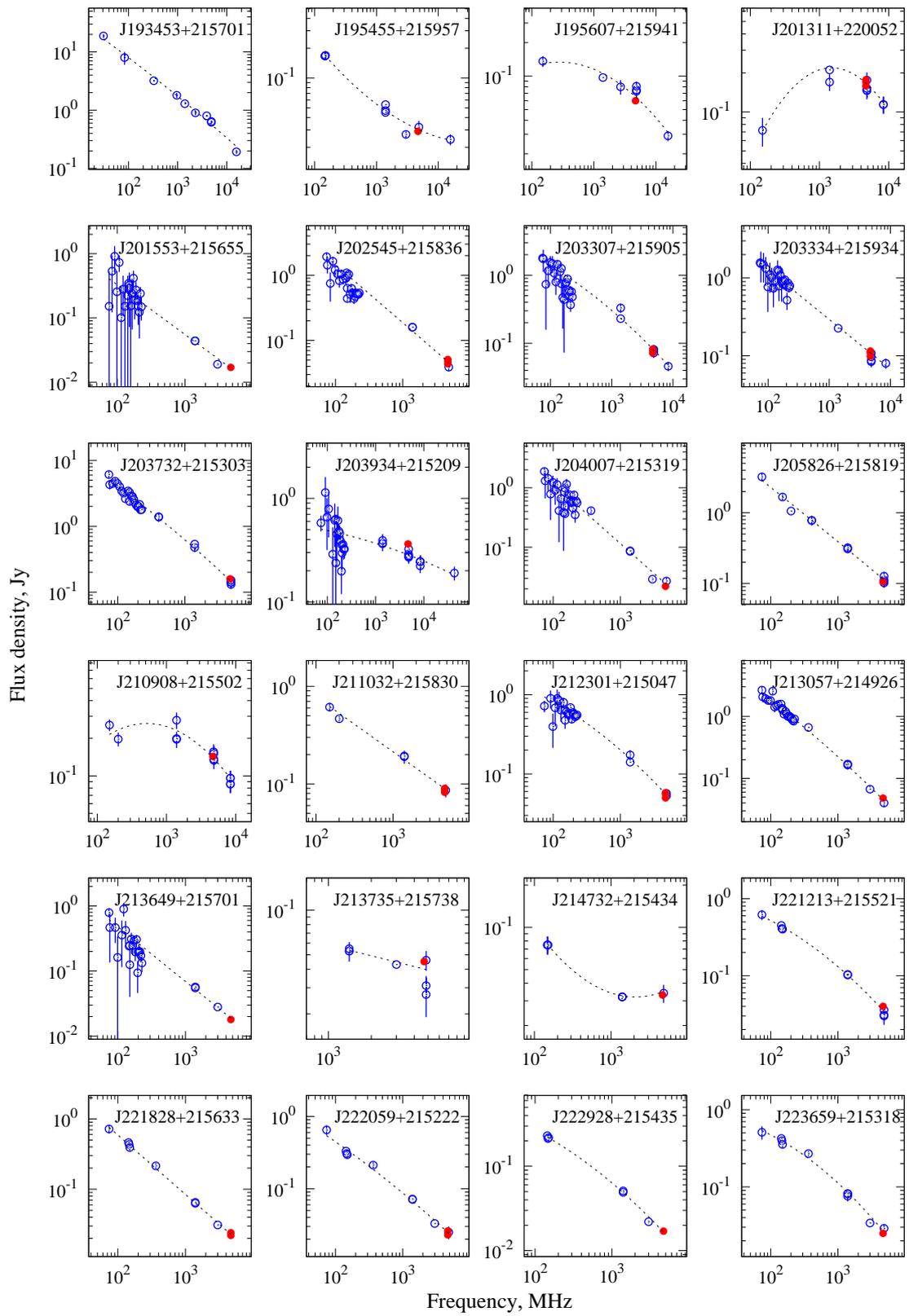


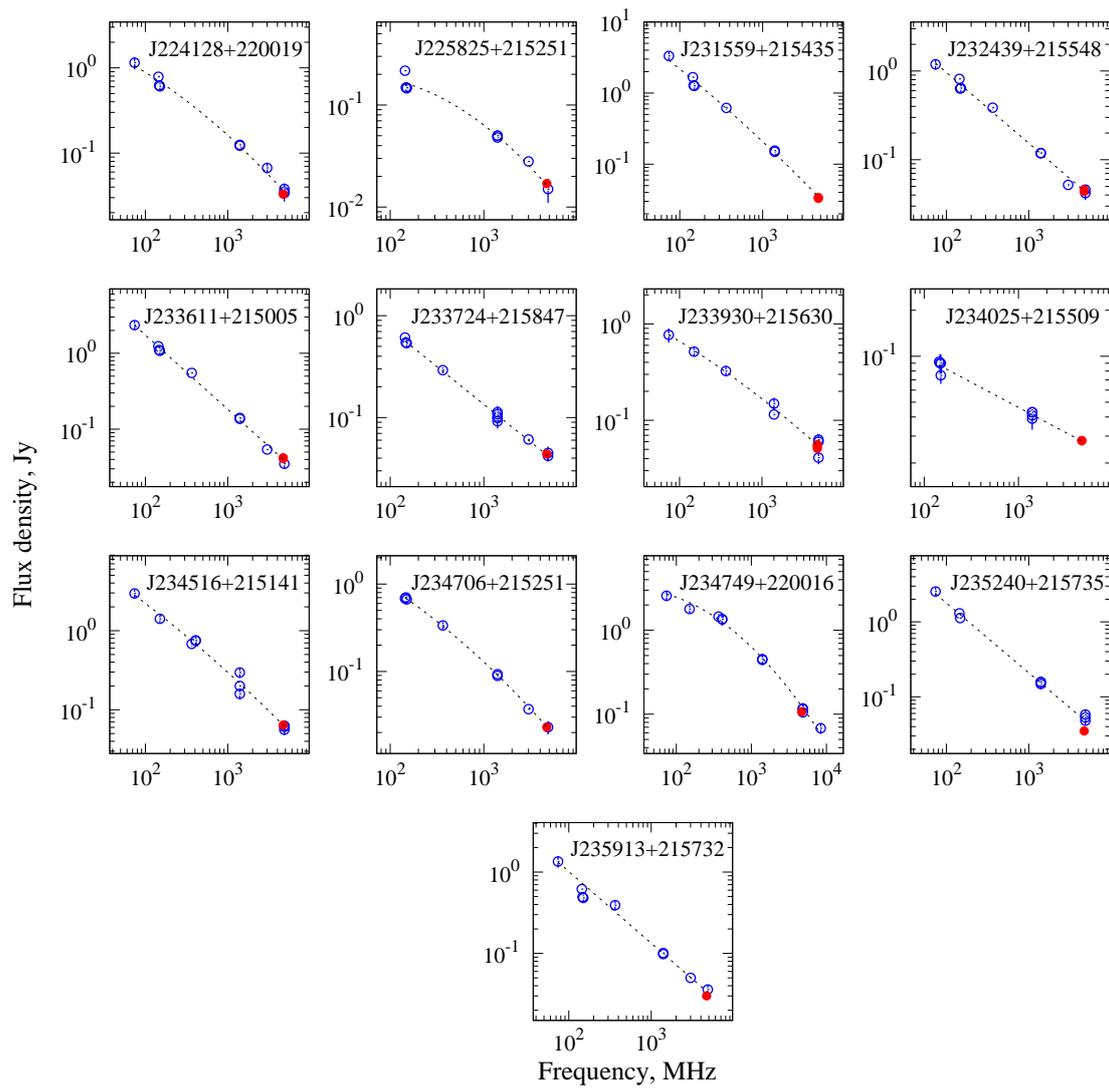












Приложение Б

Таблицы

Таблица В.1 — Измерения 205 радиоисточников

Source name	R	$V_S \pm err$	$S_{4.7} \pm err$ mJy	dH arcmin	HW s	$SpI \pm err$	Nm
000727+220413	1	0.14 ± 0.08	180.0 ± 11.8	11.3	15.5	-1.25 ± 0.06	12
001145+215912	1	0.05 ± 0.06	123.1 ± 6.6	3.3	10.9	-0.74 ± 0.06	12
002130+215319	3	0.12 ± 0.14	24.3 ± 3.1	0.2	11.0	-0.64 ± 0.09	12
002337+215624	1	0.07 ± 0.03	166.1 ± 6.8	-1.2	6.6	-0.81 ± 0.06	12
003147+215347	3	0.06 ± 0.02	258.2 ± 9.3	0.9	9.3	-0.86 ± 0.09	12
004157+215423	2	0.02 ± 0.12	32.2 ± 2.5	-1.3	11.9	-0.45 ± 0.13	12
011852+215144	2	-0.01 ± 0.15	40.6 ± 2.7	-5.8	12.8	-0.92 ± 0.07	12
012428+215454	2	0.11 ± 0.14	20.8 ± 1.7	-0.8	10.7	-0.63 ± 0.06	11
012729+215136	3	0.15 ± 0.14	17.0 ± 2.7	-2.9	12.0	-0.99 ± 0.08	12
013352+220125	1	0.11 ± 0.16	53.1 ± 4.1	6.5	13.5	-0.62 ± 0.08	12
013553+215816	1	0.05 ± 0.07	121.8 ± 5.5	1.4	12.4	-0.31 ± 0.06	12
013756+215459	2	0.20 ± 0.13	18.9 ± 2.1	-0.7	11.4	-0.84 ± 0.08	10
014235+215731	1	0.12 ± 0.04	151.7 ± 7.2	0.3	9.9	-0.33 ± 0.05	12
015218+220707	1	0.12 ± 0.03	900.3 ± 32.1	15.5	17.8	-0.10 ± 0.04	12
015641+215651	2	0.04 ± 0.16	36.8 ± 2.5	2.3	10.1	-0.88 ± 0.07	12
020007+215700	2	0.05 ± 0.01	340.4 ± 12.1	1.6	9.5	-0.90 ± 0.02	11
020434+215328	3	0.03 ± 0.08	76.5 ± 4.0	-0.9	9.3	-0.75 ± 0.29	12
021018+215908	1	0.06 ± 0.11	45.1 ± 3.4	1.9	10.7	-1.06 ± 0.08	9
022110+215551	2	0.12 ± 0.12	27.4 ± 2.3	-0.2	10.3	-0.81 ± 0.08	9
022754+215451	2	0.02 ± 0.12	59.4 ± 3.4	-1.8	9.8	-0.80 ± 0.03	12
023001+215304	3	0.06 ± 0.11	42.4 ± 3.4	-1.6	10.0	-1.03 ± 0.06	12
023004+215909	1	0.05 ± 0.10	65.5 ± 6.5	2.0	10.6	-0.00 ± 0.07	12
023349+215317	3	-0.00 ± 0.09	72.5 ± 3.9	-1.2	9.3	-0.89 ± 0.04	12
024928+215441	1	0.07 ± 0.12	50.9 ± 3.2	-5.2	12.8	-0.92 ± 0.06	11
030252+215513	2	0.12 ± 0.05	88.4 ± 4.3	-2.9	11.0	-0.29 ± 0.05	11
031619+215555	3	0.05 ± 0.10	38.5 ± 2.4	1.4	11.8	-0.85 ± 0.07	10
032313+215724	1	0.12 ± 0.19	23.6 ± 2.1	-2.4	11.6	-1.10 ± 0.09	11
033524+215521	3	0.07 ± 0.12	31.6 ± 2.4	0.5	10.4	-1.04 ± 0.07	10
035142+215749	3	0.12 ± 0.08	68.0 ± 3.5	4.5	11.2	0.13 ± 0.06	10
035933+215457	1	0.12 ± 0.08	203.0 ± 11.6	-6.3	13.8	-0.52 ± 0.06	12
040036+215408	3	0.16 ± 0.11	21.1 ± 2.5	-3.4	11.3	-1.14 ± 0.07	11
040755+215100	3	0.07 ± 0.12	47.6 ± 3.1	-7.9	15.8	-1.20 ± 0.07	12

Таблица В.1 — (Продолжение)

Source name	R	$V_S \pm err$	$S_{4.7} \pm err$	dH	HW	$SpI \pm err$	Nm
041555+215800	2	-0.02 ± 0.16	27.4 ± 2.2	-0.3	9.8	-0.51 ± 0.08	11
041913+220304	1	0.18 ± 0.14	40.1 ± 3.1	4.8	12.7	-0.71 ± 0.08	12
042211+220241	1	0.01 ± 0.17	33.8 ± 2.7	4.0	12.0	-0.72 ± 0.08	12
043312+215529	3	0.09 ± 0.09	31.9 ± 4.2	-1.2	10.5	-0.92 ± 0.07	12
043458+215540	3	0.04 ± 0.06	55.7 ± 3.3	-0.8	13.9	-0.82 ± 0.05	12
043507+215511	3	0.05 ± 0.06	59.4 ± 3.1	-1.7	13.6	-0.70 ± 0.05	12
043856+215157	3	0.07 ± 0.02	434.1 ± 14.9	-5.9	14.5	-0.17 ± 0.04	12
044655+215448	3	0.08 ± 0.12	20.2 ± 2.0	-2.3	11.9	-0.99 ± 0.07	12
045004+215814	3	0.07 ± 0.13	31.1 ± 2.3	3.1	10.1	-0.96 ± 0.08	12
052948+215521	2	0.02 ± 0.05	155.0 ± 11.7	-8.5	18.1	-0.30 ± 0.06	11
060019+220715	1	0.07 ± 0.04	180.6 ± 9.7	6.4	13.4	-0.91 ± 0.06	12
060351+215937	1	0.02 ± 0.01	1269.8 ± 42.8	-5.6	12.0	-0.64 ± 0.04	12
060640+215939	3	0.05 ± 0.11	32.4 ± 2.1	0.7	10.6	-1.05 ± 0.07	12
062240+215752	3	0.11 ± 0.03	29.1 ± 2.2	-2.1	0.5	-1.00 ± 0.08	6
062250+220025	3	0.06 ± 0.01	327.6 ± 12.9	1.9	9.3	-0.97 ± 0.05	12
062727+220051	1	0.08 ± 0.14	30.8 ± 4.2	-4.7	14.2	-0.97 ± 0.07	9
063017+215630	3	0.02 ± 0.06	110.0 ± 6.1	-4.3	12.8	-1.13 ± 0.05	12
063101+215642	3	0.05 ± 0.05	120.7 ± 5.9	-4.4	15.1	-0.46 ± 0.05	12
063446+220640	1	0.17 ± 0.11	75.6 ± 4.8	5.6	13.3	-0.62 ± 0.06	12
063727+220237	1	0.08 ± 0.12	46.7 ± 3.0	-0.9	11.6	-0.92 ± 0.06	12
064711+215825	3	0.01 ± 0.13	33.3 ± 2.5	-1.3	10.6	-1.12 ± 0.06	11
065630+220308	2	0.05 ± 0.21	26.0 ± 2.3	3.1	13.4	-0.88 ± 0.08	12
070714+220459	1	0.09 ± 0.17	30.0 ± 2.2	0.5	11.2	-1.08 ± 0.08	12
072300+215925	3	0.47 ± 0.05	16.4 ± 2.3	-2.1	8.1	-1.02 ± 0.08	12
072319+220100	3	0.36 ± 0.05	66.9 ± 3.7	0.4	9.4	-0.57 ± 0.06	12
072351+220241	2	0.22 ± 0.10	33.5 ± 2.5	-0.1	9.7	-0.43 ± 0.07	12
072543+220352	3	0.41 ± 0.07	37.5 ± 2.7	4.9	14.0	-0.35 ± 0.06	12
072614+215319	3	0.08 ± 0.03	442.0 ± 30.1	-11.8	20.6	0.48 ± 0.06	12
072820+215306	3	0.04 ± 0.08	248.0 ± 23.7	-12.2	23.0	-0.53 ± 0.05	12
073556+220848	1	0.13 ± 0.12	72.4 ± 4.9	6.5	14.5	-0.97 ± 0.07	12
074642+220024	3	0.20 ± 0.14	15.4 ± 2.0	-2.1	7.7	-0.94 ± 0.08	12
075706+215424	3	0.26 ± 0.12	72.8 ± 4.7	-10.1	21.2	-0.77 ± 0.07	12
081212+220024	3	0.04 ± 0.08	32.7 ± 2.5	-2.8	10.0	-0.77 ± 0.08	12
081725+215840	3	0.21 ± 0.12	24.6 ± 2.1	-5.6	14.9	-1.04 ± 0.08	12
082353+220041	3	0.21 ± 0.14	15.4 ± 2.5	-2.4	13.0	-1.02 ± 0.08	11
085037+220615	2	0.04 ± 0.13	47.4 ± 3.3	3.4	11.3	-0.72 ± 0.07	11
090614+220010	3	0.06 ± 0.04	153.2 ± 9.4	-5.9	12.9	-0.75 ± 0.06	12
091224+220506	2	0.08 ± 0.01	316.0 ± 25.1	-0.4	9.1	0.64 ± 0.08	12
091914+220519	3	0.09 ± 0.06	85.2 ± 4.1	3.1	10.1	-0.47 ± 0.04	12

Таблица В.1 — (Продолжение)

Source name	R	$V_S \pm err$	$S_{4.7} \pm err$	dH	HW	$SpI \pm err$	Nm
092045+220433	3	0.07 ± 0.11	58.4 ± 3.0	1.8	10.4	-0.21 ± 0.07	12
092601+220136	3	0.10 ± 0.07	76.4 ± 4.4	-2.9	10.1	-0.82 ± 0.06	12
094736+220136	3	0.08 ± 0.11	33.0 ± 2.2	-2.9	11.8	-0.29 ± 0.05	12
094836+220053	3	0.10 ± 0.05	88.8 ± 4.6	-4.0	11.8	-0.96 ± 0.07	12
101104+220805	1	0.06 ± 0.11	57.0 ± 3.3	-0.3	9.9	-0.83 ± 0.05	12
101401+215825	3	0.11 ± 0.11	56.1 ± 3.9	-9.4	14.6	-1.07 ± 0.07	11
102016+220940	1	0.05 ± 0.12	61.4 ± 3.6	2.2	11.8	0.11 ± 0.06	12
102154+215930	3	0.06 ± 0.03	427.6 ± 15.4	-7.7	15.5	-1.11 ± 0.04	12
102408+220347	3	-0.00 ± 0.13	60.0 ± 5.3	-0.9	10.6	-1.01 ± 0.09	12
103633+220312	3	0.11 ± 0.03	265.0 ± 23.0	-1.8	9.8	0.01 ± 0.02	12
103943+215743	3	0.02 ± 0.08	155.4 ± 7.8	-10.5	18.1	-0.74 ± 0.04	12
104254+220127	3	0.02 ± 0.13	42.2 ± 2.9	-4.6	14.8	-0.59 ± 0.06	12
104702+221033	1	0.12 ± 0.11	66.5 ± 4.2	3.7	10.6	-0.63 ± 0.07	12
105234+220602	2	0.33 ± 0.12	18.0 ± 2.5	-0.4	14.7	-0.78 ± 0.08	12
105430+221055	1	0.14 ± 0.10	51.5 ± 4.5	4.2	13.6	-0.19 ± 0.07	12
105435+220011	3	0.22 ± 0.13	30.7 ± 2.1	-6.6	16.3	-1.08 ± 0.07	11
110025+220156	3	0.35 ± 0.07	27.8 ± 2.4	-4.7	13.7	-0.82 ± 0.07	10
110323+220337	3	0.03 ± 0.01	517.0 ± 16.9	-2.0	9.2	0.01 ± 0.03	12
112119+215947	3	0.08 ± 0.06	84.7 ± 4.7	-8.1	15.7	-0.75 ± 0.05	12
112829+220729	3	0.06 ± 0.07	85.0 ± 6.2	4.1	11.7	-0.58 ± 0.03	12
113033+215728	3	0.11 ± 0.05	237.1 ± 10.1	-11.8	18.0	-0.67 ± 0.10	12
114325+220656	2	0.14 ± 0.01	823.4 ± 24.3	0.1	9.5	-1.10 ± 0.01	12
114417+220752	2	0.17 ± 0.09	52.8 ± 3.2	1.6	10.9	-0.51 ± 0.04	12
114821+220825	2	0.23 ± 0.07	72.8 ± 3.9	2.5	10.9	-0.97 ± 0.04	12
115311+220654	1	-0.01 ± 0.19	30.4 ± 2.7	-3.1	13.3	-1.00 ± 0.07	12
121156+220455	3	0.10 ± 0.15	17.3 ± 1.9	-0.3	10.5	-0.85 ± 0.08	12
125433+221103	1	0.17 ± 0.15	44.8 ± 3.1	3.2	12.4	-0.67 ± 0.07	12
130253+220758	2	0.21 ± 0.10	26.2 ± 2.0	1.8	11.2	-0.49 ± 0.08	12
130651+221119	1	0.06 ± 0.07	79.1 ± 4.5	4.0	12.7	-0.81 ± 0.06	12
131128+220306	3	0.09 ± 0.19	16.7 ± 2.0	-2.7	13.4	-1.06 ± 0.08	12
132700+221050	1	0.29 ± 0.01	689.7 ± 41.0	3.3	11.6	-0.15 ± 0.05	12
132749+220503	1	0.08 ± 0.06	100.0 ± 4.6	-5.9	12.1	-0.93 ± 0.05	12
133212+220549	2	0.16 ± 0.10	45.2 ± 3.2	-1.6	10.8	-0.99 ± 0.05	12
133629+221033	1	0.37 ± 0.09	40.2 ± 2.8	2.8	13.6	-0.34 ± 0.07	12
133928+220822	2	0.02 ± 0.17	26.6 ± 1.8	2.5	11.5	-0.64 ± 0.08	11
135116+221110	1	0.37 ± 0.09	38.8 ± 2.9	3.8	13.1	-0.87 ± 0.08	12
135313+220540	3	0.15 ± 0.15	16.7 ± 2.1	1.3	12.9	-0.78 ± 0.08	12
140808+220155	3	0.17 ± 0.07	48.5 ± 5.8	-3.7	11.9	-0.92 ± 0.13	12
141242+215939	3	0.23 ± 0.08	60.0 ± 7.1	-7.2	14.6	-0.86 ± 0.20	12

Таблица В.1 — (Продолжение)

Source name	R	$V_S \pm err$	$S_{4.7} \pm err$	dH	HW	$SpI \pm err$	Nm
141351+220647	2	0.14 ± 0.14	22.9 ± 2.0	0.9	12.5	-0.79 ± 0.09	10
141619+220840	1	0.06 ± 0.16	26.7 ± 1.9	0.8	13.2	-1.12 ± 0.07	11
141726+220539	2	0.15 ± 0.05	85.5 ± 4.2	-1.2	9.8	0.51 ± 0.05	12
143106+220505	2	0.09 ± 0.13	25.1 ± 1.9	-2.0	12.1	-0.66 ± 0.07	10
143249+220759	1	0.05 ± 0.11	64.5 ± 3.9	-0.4	10.7	-0.95 ± 0.05	12
144057+220142	3	-0.02 ± 0.16	29.6 ± 2.2	-4.0	12.5	-1.12 ± 0.07	11
144924+221206	1	0.24 ± 0.09	74.4 ± 5.2	6.2	15.8	-0.95 ± 0.09	12
150123+221122	1	0.13 ± 0.11	50.9 ± 4.0	6.6	15.3	-1.06 ± 0.08	11
151105+220806	1	0.14 ± 0.03	239.2 ± 10.3	1.4	10.3	-0.45 ± 0.03	12
151319+220255	3	0.09 ± 0.09	40.6 ± 3.0	-0.6	9.8	-0.74 ± 0.07	12
151830+220313	3	0.08 ± 0.08	42.7 ± 3.0	-0.1	9.8	-0.63 ± 0.07	12
152224+215808	3	0.09 ± 0.08	91.8 ± 5.4	-8.2	12.8	-1.06 ± 0.07	12
153343+220725	1	0.08 ± 0.21	25.6 ± 2.0	0.5	12.5	-0.48 ± 0.08	11
153652+220207	3	-0.06 ± 0.15	25.9 ± 2.2	-1.5	10.8	-0.67 ± 0.08	11
154535+220400	2	0.58 ± 0.02	21.6 ± 1.9	-2.0	58.9	-0.93 ± 0.07	11
154631+215741	3	0.12 ± 0.08	164.9 ± 5.3	-8.9	13.6	-0.79 ± 0.06	12
155354+215927	3	0.08 ± 0.03	222.4 ± 8.6	-6.1	10.9	-0.69 ± 0.05	12
155513+215939	3	0.02 ± 0.15	24.0 ± 1.7	-5.7	15.2	-1.26 ± 0.08	12
155630+220729	1	0.16 ± 0.15	36.8 ± 2.8	0.5	20.0	-1.40 ± 0.07	11
155644+220658	1	0.09 ± 0.13	34.8 ± 2.6	-0.4	18.8	-1.16 ± 0.07	11
160203+220931	1	0.13 ± 0.08	79.0 ± 4.8	5.6	14.9	-1.03 ± 0.06	12
160317+215841	3	0.05 ± 0.09	42.4 ± 2.7	-5.3	14.5	-0.99 ± 0.06	12
161105+220709	1	0.11 ± 0.05	104.6 ± 5.7	2.1	10.9	-0.93 ± 0.06	12
161334+220425	1	0.05 ± 0.06	109.3 ± 4.7	-2.5	10.1	-0.41 ± 0.03	12
161423+220020	3	0.03 ± 0.09	46.1 ± 3.3	-2.7	8.9	-1.04 ± 0.05	12
161759+220136	3	-0.07 ± 0.24	16.2 ± 1.8	-0.7	10.7	-0.59 ± 0.08	10
161847+215921	3	0.21 ± 0.09	33.7 ± 2.5	-4.3	15.6	-0.69 ± 0.06	12
162110+215739	3	-0.02 ± 0.19	33.8 ± 2.5	-6.7	13.6	-0.53 ± 0.07	11
162917+220628	1	0.12 ± 0.04	170.0 ± 11.0	0.8	10.4	-0.06 ± 0.04	12
164255+221226	1	0.15 ± 0.11	117.4 ± 8.0	10.3	17.7	-0.62 ± 0.07	12
164439+220214	2	0.09 ± 0.06	102.8 ± 4.7	-2.8	10.1	-0.33 ± 0.04	12
164631+215857	3	0.18 ± 0.12	35.9 ± 2.3	-4.9	11.4	-0.79 ± 0.07	12
164819+220114	2	-0.02 ± 0.16	31.9 ± 2.6	-4.4	11.0	-0.81 ± 0.06	12
170251+220532	1	0.28 ± 0.09	43.3 ± 2.5	1.6	12.3	-0.70 ± 0.06	12
170744+220049	3	0.19 ± 0.06	41.4 ± 3.3	0.3	10.0	-0.13 ± 0.09	12
171332+215557	3	0.13 ± 0.07	124.0 ± 5.8	-7.4	12.9	0.28 ± 0.05	12
171611+215214	3	0.04 ± 0.03	297.6 ± 13.9	-13.3	19.5	-0.69 ± 0.05	12
172003+215847	3	0.06 ± 0.06	57.5 ± 3.4	-2.9	9.8	-1.22 ± 0.05	12
172655+220102	3	0.08 ± 0.07	65.5 ± 3.7	0.7	9.5	-0.46 ± 0.05	12

Таблица В.1 — (Продолжение)

Source name	R	$V_S \pm err$	$S_{4.7} \pm err$	dH	HW	$SpI \pm err$	Nm
174005+221100	1	0.14 ± 0.05	180.0 ± 15.7	10.3	18.2	-0.54 ± 0.12	12
174306+215932	3	0.08 ± 0.10	52.8 ± 3.4	-1.7	11.0	-0.78 ± 0.07	12
174525+215703	3	0.36 ± 0.09	39.1 ± 3.1	-5.7	12.9	-0.72 ± 0.08	12
174536+220340	1	0.17 ± 0.08	64.7 ± 3.6	-1.4	10.5	-1.24 ± 0.05	12
175011+215734	3	0.06 ± 0.12	28.5 ± 2.5	-4.8	12.9	-0.86 ± 0.07	12
175915+215933	2	0.11 ± 0.03	280.1 ± 10.6	-4.8	10.8	-0.53 ± 0.04	12
180127+215732	3	0.02 ± 0.14	20.6 ± 1.9	-2.4	8.9	-1.04 ± 0.07	12
180738+220456	1	0.14 ± 0.03	187.4 ± 11.0	3.1	7.4	0.83 ± 0.05	12
181307+215430	3	0.13 ± 0.10	60.6 ± 3.7	-7.2	13.3	-0.97 ± 0.06	12
181725+215845	3	0.02 ± 0.17	23.9 ± 1.8	-0.5	11.7	-0.71 ± 0.09	12
182812+215519	3	0.07 ± 0.16	29.4 ± 2.3	-6.0	12.0	-1.04 ± 0.07	11
183118+220012	3	0.06 ± 0.05	153.3 ± 7.8	1.8	10.5	-0.91 ± 0.05	12
184035+215744	2	0.10 ± 0.13	43.0 ± 3.9	-5.2	14.5	-0.66 ± 0.07	12
184839+220118	2	0.19 ± 0.14	23.9 ± 2.2	0.8	13.9	-1.32 ± 0.09	12
185423+215858	2	0.33 ± 0.10	22.9 ± 1.8	-3.3	11.8	-0.42 ± 0.08	12
191619+215719	3	0.11 ± 0.16	15.2 ± 2.6	-0.5	12.5	-1.09 ± 0.08	11
191640+220459	1	-0.04 ± 0.20	45.0 ± 3.6	5.6	16.0	-0.91 ± 0.08	12
192622+215620	3	0.10 ± 0.11	32.4 ± 2.8	-1.9	9.2	-0.64 ± 0.07	11
193239+215747	3	0.01 ± 0.19	16.4 ± 2.5	0.4	10.2	-0.54 ± 0.08	12
193453+215701	3	0.11 ± 0.02	216.6 ± 8.3	-0.5	26.7	0.34 ± 0.06	12
195455+215957	1	-0.06 ± 0.21	29.2 ± 2.5	-2.7	12.1	-0.35 ± 0.07	12
195607+215941	1	0.10 ± 0.08	60.0 ± 3.5	-2.8	11.1	-0.39 ± 0.04	12
201311+220052	1	0.09 ± 0.02	172.4 ± 8.1	1.3	6.4	-0.18 ± 0.03	12
201553+215655	3	0.03 ± 0.19	16.7 ± 2.2	1.3	11.6	-0.79 ± 0.08	12
202545+215836	2	0.10 ± 0.07	47.5 ± 3.4	0.8	9.5	-0.99 ± 0.05	12
203307+215905	2	0.07 ± 0.06	77.5 ± 4.2	1.6	9.3	-0.89 ± 0.04	12
203334+215934	1	0.08 ± 0.04	107.8 ± 4.9	-0.8	9.6	-0.61 ± 0.04	12
203732+215303	3	0.06 ± 0.03	145.8 ± 9.0	-4.9	11.2	-1.00 ± 0.07	12
203934+215209	2	0.06 ± 0.02	569.0 ± 23.1	-9.4	14.9	0.36 ± 0.02	12
204007+215319	3	0.15 ± 0.13	21.9 ± 2.1	-4.4	17.0	-1.12 ± 0.08	12
205826+215819	2	0.07 ± 0.04	105.9 ± 4.8	0.4	10.1	-0.88 ± 0.05	12
210908+215502	3	0.08 ± 0.02	143.4 ± 5.5	0.2	8.9	-0.27 ± 0.04	12
211032+215830	1	0.12 ± 0.04	86.2 ± 4.0	-0.5	9.4	-0.67 ± 0.03	12
212301+215047	3	0.13 ± 0.07	54.7 ± 4.2	-6.5	12.6	-0.78 ± 0.08	12
213057+214926	3	0.10 ± 0.11	47.6 ± 3.3	-8.7	12.7	-1.04 ± 0.07	12
213649+215701	2	0.07 ± 0.16	18.1 ± 1.8	0.2	10.2	-0.91 ± 0.08	12
213735+215738	2	0.11 ± 0.07	45.2 ± 2.8	1.2	11.2	-0.14 ± 0.06	12
214732+215434	3	0.08 ± 0.08	33.2 ± 2.4	-0.5	8.6	0.04 ± 0.06	12
221213+215521	2	0.11 ± 0.05	40.0 ± 3.3	-0.9	9.3	-0.77 ± 0.06	12

Таблица В.1 — (Продолжение)

Source name	R	$V_S \pm err$	$S_{4.7} \pm err$	dH	HW	$SpI \pm err$	Nm
221828+215633	2	0.08 ± 0.14	22.9 ± 2.3	1.0	10.1	-0.83 ± 0.09	12
222059+215222	3	0.15 ± 0.09	24.7 ± 2.3	-2.5	10.3	-0.86 ± 0.09	12
222928+215435	3	0.02 ± 0.15	17.2 ± 2.3	1.0	10.4	-0.86 ± 0.08	12
223659+215318	3	0.05 ± 0.12	25.2 ± 2.1	-1.1	10.0	-0.97 ± 0.08	12
224128+220019	1	-0.00 ± 0.14	33.3 ± 2.7	3.9	11.9	-1.07 ± 0.08	11
225825+215251	3	0.23 ± 0.10	16.7 ± 1.7	-1.8	9.8	-0.87 ± 0.08	12
231559+215435	2	0.07 ± 0.07	33.6 ± 2.3	-1.2	9.7	-1.22 ± 0.07	12
232439+215548	2	0.07 ± 0.07	45.1 ± 3.0	0.7	9.0	-0.80 ± 0.05	12
233611+215005	3	-0.03 ± 0.12	41.1 ± 2.9	-5.2	10.1	-1.00 ± 0.08	12
233724+215847	2	0.14 ± 0.09	59.0 ± 3.7	5.5	12.6	-0.43 ± 0.07	12
233930+215630	1	0.03 ± 0.08	53.5 ± 3.3	-1.5	10.8	-0.62 ± 0.06	12
234025+215509	2	-0.02 ± 0.14	28.1 ± 2.1	-0.3	9.5	-0.30 ± 0.08	9
234516+215141	3	0.01 ± 0.06	64.0 ± 3.2	-2.7	9.5	-0.94 ± 0.05	12
234706+215251	3	0.08 ± 0.12	23.2 ± 2.0	-1.1	9.0	-1.11 ± 0.06	12
234749+220016	1	0.08 ± 0.05	107.5 ± 5.6	4.7	11.9	-1.17 ± 0.04	12
235240+215735	2	-0.02 ± 0.18	27.1 ± 3.1	3.4	13.2	-1.45 ± 0.08	12
235913+215732	1	-0.03 ± 0.20	30.1 ± 2.1	0.3	12.7	-0.98 ± 0.07	12

Таблица В.2 — Плотности потоков 205 радиоисточников на 4.7 ГГц после усреднения записей по месяцам наблюдений

Source name	$S_{4.7} \pm err,$ mJy											
(2000.0)	MJD 58285	MJD 58315	MJD 58345	MJD 58375	MJD 58405	MJD 58440	MJD 58470	MJD 58500	MJD 58530	MJD 58560	MJD 58590	MJD 58620
000727+220413	188.8±13.9	154.8±16.3	176.9±14.3	207.8±17.3	173.3±14.4	132.0±15.7	152.7±18.9	142.1±17.4	192.4±17.5	204.8±19.7	213.3±20.7	215.7±19.4
001145+215912	137.1± 6.7	127.4± 8.0	129.7± 6.9	129.2± 8.2	109.2± 9.3	116.4± 5.7	117.4±10.8	123.1± 7.0	116.1± 8.4	128.2± 8.7	116.9± 8.5	130.7± 7.2
002130+215319	24.1± 3.8	20.9± 4.8	19.9± 3.9	25.7± 3.7	25.4± 4.8	22.4± 4.0	27.2± 5.6	19.2± 6.0	23.7± 4.9	25.3± 5.0	27.3± 5.3	37.9± 5.7
002337+215624	179.1± 4.4	165.2± 5.2	160.7± 5.0	170.1± 6.2	159.2± 5.7	160.1± 6.2	158.6± 6.0	172.8± 6.3	166.2± 7.0	193.9± 5.5	166.2± 5.7	163.7± 5.7
003147+215347	278.5± 6.1	266.7± 5.6	250.4± 6.0	256.6± 5.9	252.7± 5.5	239.1± 7.4	247.1± 7.2	259.2± 7.0	251.1± 8.4	265.9± 7.1	285.6± 7.7	257.3±13.2
004157+215423	28.2± 3.8	29.9± 4.9	28.5± 4.5	36.3± 5.4	29.9± 5.5	32.4± 5.7	34.9± 5.7	30.0± 4.9	38.9± 4.4	38.9± 4.8	27.9± 4.7	30.6± 5.4
011852+215144	36.0± 4.9	35.8± 6.3	41.6± 5.6	44.6± 6.0	37.9± 6.2	40.6± 6.7	43.6± 5.3	37.7± 7.4	50.4± 8.9	44.8± 8.5	35.6± 6.8	43.3± 7.8
012428+215454	17.7± 3.7	15.9± 5.6	15.4± 3.5	22.3± 4.2	23.6± 6.0	21.7± 3.9	18.4± 4.3	–	19.2± 5.4	28.6± 5.3	20.9± 5.4	27.4± 5.6
012729+215136	18.5± 3.3	16.0± 3.2	11.5± 4.4	19.8± 3.9	14.0± 4.6	24.2± 4.1	11.7± 5.0	16.5± 3.5	19.8± 4.6	17.0± 6.1	17.5± 4.9	17.0± 5.9
013352+220125	42.7± 18.2	63.4±12.1	47.9± 9.0	53.2±11.8	62.0±14.0	72.3±18.2	37.7±18.1	50.3±13.1	51.6±15.1	69.8±13.9	44.2±16.6	50.5±12.5
013553+215816	134.5± 5.2	127.8± 6.3	117.9± 4.8	127.5± 6.0	118.5± 7.5	107.5± 7.6	125.7± 5.6	117.8± 6.7	134.5± 8.6	119.4± 9.6	104.2±10.1	121.0± 6.1
013756+215459	17.1± 3.5	12.7± 3.9	11.7± 4.6	–	15.9± 3.9	18.5± 3.4	23.8± 3.9	21.0± 4.3	20.7± 5.1	19.6± 5.4	27.0± 5.7	–
014235+215731	167.2± 5.7	171.0± 7.4	137.7± 6.2	142.3± 6.4	149.7± 6.4	155.1± 9.6	157.4± 8.1	138.5± 8.8	161.8± 9.7	162.2± 8.1	145.3±11.6	122.1± 9.8
015218+220707	1045.6±44.2	998.3±27.5	929.3±31.0	991.7±24.3	952.2±28.4	923.5±36.7	887.4±33.6	808.3±30.0	868.0±39.6	826.2±28.8	755.6±44.9	803.9±28.2
015641+215651	32.3± 4.0	45.8± 4.9	29.7± 5.2	35.8± 6.2	32.9± 5.0	32.8± 5.0	32.6± 5.6	46.4± 6.2	27.5± 9.5	39.0± 7.7	43.1± 8.2	42.9± 5.6
020007+215700	362.5± 5.7	336.3± 6.6	332.7± 6.1	355.4± 6.2	327.3± 6.0	325.8± 5.6	325.1± 6.2	330.6± 5.4	328.6± 5.9	360.2± 7.0	350.5± 7.0	–
020434+215328	80.2± 3.5	80.6± 4.0	75.7± 3.1	69.5± 4.1	72.6± 2.5	80.3± 3.2	70.8± 5.1	71.4± 3.6	81.5± 4.7	68.3± 5.2	87.0±10.8	85.9± 7.9
021018+215908	46.7± 3.9	–	35.6± 4.8	45.6± 5.1	–	42.0± 5.7	–	44.1± 5.1	46.1± 7.6	53.3± 6.8	42.4± 6.7	53.5± 9.0
022110+215551	26.7± 3.7	32.7± 3.6	22.1± 4.2	22.7± 5.2	27.7± 4.3	25.1± 4.2	35.2± 6.5	25.5± 4.6	–	30.7± 4.1	–	–
022754+215451	63.3± 4.0	65.2± 4.7	62.9± 4.2	53.6± 5.6	59.4± 5.1	57.2± 5.0	57.4± 6.9	58.3± 5.0	59.0± 7.0	59.8± 6.0	51.3± 7.9	57.5±10.2
023001+215304	49.3± 3.7	41.9± 4.4	41.5± 3.8	48.7± 5.7	42.3± 3.3	44.5± 5.0	36.8± 4.7	41.4± 5.9	36.8± 5.4	43.7± 6.2	46.7± 7.6	35.3± 8.2
023004+215909	61.2± 5.2	72.3± 4.2	59.1± 5.0	73.5± 6.5	68.0± 4.8	75.4± 6.6	58.0± 7.2	75.8± 7.8	54.1± 7.3	61.3± 7.1	65.3±11.9	62.1± 7.7
023349+215317	73.1± 4.0	75.3± 5.1	67.3± 3.6	74.8± 4.1	71.4± 3.6	72.5± 5.0	71.2± 5.4	72.8± 5.7	66.6± 4.0	73.2± 5.0	76.6±11.3	71.7± 7.1
024928+215441	51.5± 4.8	58.7± 5.2	40.3± 5.9	47.3± 7.2	56.1± 5.7	46.8± 6.9	50.4± 8.8	54.9± 7.8	41.7±10.2	63.2± 9.6	48.8± 7.7	–
030252+215513	92.9± 4.3	93.3± 6.8	79.4± 4.4	88.3± 4.3	90.5± 4.8	87.2± 4.6	85.4± 4.8	83.6± 3.7	102.8± 6.2	92.9± 6.5	87.7± 5.9	–
031619+215555	41.5± 3.0	37.4± 4.2	40.7± 3.0	39.0± 4.6	38.8± 3.5	40.5± 3.3	38.6± 5.0	38.0± 5.1	–	33.4± 5.4	34.4± 5.5	–
032313+215724	16.7± 3.9	–	15.6± 4.6	21.9± 4.3	21.0± 4.3	16.5± 5.3	20.3± 3.9	25.4± 4.9	27.1± 5.6	27.5± 6.3	31.5± 5.1	40.0±15.4
033524+215521	35.5± 4.0	29.4± 4.0	31.0± 3.2	26.5± 3.5	30.1± 3.5	25.0± 4.2	39.5± 5.6	28.7± 4.5	–	38.2± 4.9	33.1± 6.0	–
035142+215749	72.2± 6.0	63.8± 6.9	78.0± 6.2	53.4± 7.7	66.3± 6.1	70.8± 6.6	73.1± 8.7	73.9± 8.5	–	55.1±12.0	63.8± 9.7	–
035933+215457	205.2±13.3	183.7±11.2	194.8±13.3	193.4±14.1	179.8±11.2	181.1±21.0	226.7±14.6	250.9±19.6	174.7±27.2	211.1±18.3	245.1±27.2	213.0±33.2
040036+215408	16.7± 3.1	15.9± 3.7	23.8± 3.2	16.7± 3.5	20.8± 3.0	–	18.4± 3.8	30.7± 3.6	23.9± 3.4	23.5± 3.5	23.0± 4.8	24.5± 5.9
040755+215100	41.5± 7.4	53.8± 5.3	41.3± 4.7	47.6± 5.4	40.0± 5.4	38.0± 5.7	40.3± 7.3	58.9± 4.8	56.6± 6.4	59.2± 9.4	52.2± 7.1	40.5± 8.1
041555+215800	27.8± 4.4	29.2± 5.2	29.0± 4.4	24.4± 4.6	27.2± 3.7	26.1± 5.0	25.4± 4.5	23.2± 5.8	28.3± 6.6	–	33.1± 5.1	28.1± 6.7
041913+220304	47.4± 9.2	46.1± 7.1	41.9± 5.9	34.3± 8.6	35.4± 7.3	53.6± 8.8	35.7± 9.1	44.6± 6.7	50.2± 9.9	24.1±10.7	27.4±10.0	28.1±11.3
042211+220241	33.1± 7.3	31.0± 7.3	30.0± 6.5	27.3± 8.2	39.7± 7.4	37.1± 9.9	29.9±10.5	35.8± 8.5	32.9± 8.6	27.6±12.1	44.1± 7.8	40.6± 9.8

043312+215529	27.8± 4.6	34.4± 4.8	26.0± 3.2	38.3± 3.7	31.0± 3.2	33.3± 3.8	35.6± 4.6	25.4± 3.3	36.0± 5.1	32.6± 5.4	30.4± 3.9	31.5± 5.3
043458+215540	53.9± 4.0	58.6± 5.6	55.0± 3.5	61.9± 3.7	62.0± 3.1	55.8± 3.4	50.6± 4.2	49.4± 4.7	61.8± 4.0	56.0± 5.9	51.9± 4.1	49.9± 5.9
043507+215511	58.1± 4.7	65.5± 4.4	58.1± 3.4	67.7± 4.1	65.4± 3.2	59.6± 3.5	53.4± 4.3	53.3± 4.4	61.9± 5.8	60.2± 6.1	57.8± 4.0	55.1± 6.1
043856+215157	428.2±10.4	407.0±10.0	404.5± 8.5	434.1± 8.6	430.8± 8.6	436.4± 8.3	477.5±10.4	444.8± 8.8	424.0± 9.6	462.1±15.3	461.2±10.1	416.2±10.4
044655+215448	21.8± 4.0	23.5± 3.5	14.6± 2.6	15.7± 2.4	15.9± 3.2	21.1± 3.5	19.6± 2.8	22.3± 3.8	23.1± 3.9	20.6± 5.0	22.4± 3.9	18.8± 4.4
045004+215814	42.3± 5.8	27.6± 5.0	27.2± 2.9	29.9± 4.5	33.8± 4.5	30.0± 5.4	33.4± 5.5	33.8± 5.9	25.8± 6.1	31.4± 7.3	27.8± 5.0	38.7± 6.8
052948+215521	–	167.9± 9.0	158.2± 8.8	144.7± 8.7	146.0± 9.8	154.2±11.3	159.3± 9.6	147.1± 9.7	147.3±10.4	153.5± 9.4	158.8±10.1	169.6± 9.8
060019+220715	185.5±10.0	200.9± 8.4	184.1± 6.7	191.7± 6.6	175.9± 7.2	201.7± 8.0	175.2± 9.5	180.5± 8.9	162.1±10.9	160.7± 8.8	176.4± 7.7	176.2±11.0
060351+215937	1257.6±22.8	1276.7±21.6	1266.3±20.6	1312.6±20.7	1269.3±20.2	1263.0±20.4	1269.8±20.4	1255.0±20.4	1264.9±20.9	1259.8±21.8	1297.8±20.7	1301.1±21.4
060640+215939	37.9± 5.0	26.5± 4.5	32.4± 2.9	38.4± 4.2	30.6± 3.5	29.8± 3.0	35.4± 3.9	31.4± 4.2	27.4± 4.3	33.3± 5.2	31.3± 5.0	35.8± 6.6
062240+215752	23.6± 1.5	–	–	–	–	31.8± 0.8	26.4± 0.7	–	29.5± 0.9	30.9± 1.0	–	29.2± 1.2
062250+220025	340.7± 8.1	333.0± 7.0	318.6± 5.5	341.6± 5.7	329.3± 5.2	322.6± 5.5	326.2± 5.9	340.0± 7.0	296.0± 7.0	332.3± 6.9	323.6± 6.3	310.0± 7.8
062727+220051	–	25.2± 6.6	23.6± 5.0	30.3± 5.3	33.0± 4.7	30.7± 6.4	26.8± 5.8	30.9± 6.1	–	39.6± 6.6	–	40.7± 7.4
063017+215630	120.9± 7.6	105.8± 7.0	110.1± 5.3	117.0± 4.6	107.6± 5.3	113.9± 4.2	105.0± 4.2	110.5± 5.4	106.7± 6.2	102.7± 6.6	116.3± 5.6	104.4± 8.4
063101+215642	105.8± 8.4	126.6± 4.7	128.2± 4.7	131.3± 5.4	119.8± 3.8	123.3± 4.1	112.6± 5.4	115.3± 4.5	110.0± 4.3	125.4± 6.3	131.5± 5.2	117.3± 9.1
063446+220640	68.8±12.4	59.1±10.7	63.8± 7.4	67.9±10.7	83.0± 7.9	87.4±10.3	100.8±12.7	77.4± 9.9	92.1±11.1	71.7±11.1	90.8± 9.0	62.0±12.8
063727+220237	35.8± 7.5	58.3± 7.9	44.8± 6.0	45.6± 5.4	50.4± 5.2	49.7± 5.9	50.4± 6.7	40.4± 5.5	55.7± 6.5	46.1± 7.2	43.2± 6.7	42.8± 6.5
064711+215825	31.8± 5.9	28.3± 4.1	32.4± 3.2	35.3± 3.5	35.4± 4.2	34.4± 3.9	33.2± 3.7	32.6± 3.9	37.9± 4.5	–	27.5± 5.5	34.6± 5.7
065630+220308	28.2± 5.4	29.2± 6.8	21.5± 5.0	18.4± 4.7	24.7± 4.9	30.1± 5.2	28.4± 5.1	30.8± 6.7	26.6± 8.1	31.9±11.0	19.6± 7.4	17.9±10.1
070714+220459	39.3± 5.9	21.0± 8.5	23.6± 4.8	34.1± 4.3	30.2± 5.7	26.0± 5.2	36.2± 6.1	27.5± 5.7	37.0± 8.5	29.7± 6.8	31.3± 5.5	20.0± 7.2
072300+215925	19.9± 4.0	11.0± 5.3	20.4± 4.6	21.3± 3.6	19.3± 3.1	18.2± 3.2	19.5± 3.0	17.3± 3.4	12.5± 3.8	11.3± 3.4	12.2± 4.0	18.7± 3.6
072319+220100	71.3± 5.7	62.3± 9.2	66.3± 2.8	69.2± 3.4	75.0± 3.7	62.7± 4.5	68.6± 4.1	64.3± 4.6	69.2± 5.7	62.9± 5.0	61.1± 6.2	57.6± 8.4
072351+220241	40.3± 5.0	28.6± 3.6	28.3± 4.4	33.0± 5.1	31.8± 3.8	36.2± 4.4	30.8± 4.1	38.7± 4.7	32.8± 5.9	40.4± 5.5	28.6± 6.7	35.2± 4.9
072543+220352	36.7± 8.1	34.9± 9.5	39.7± 6.8	35.0± 5.6	36.6± 5.2	35.5± 5.0	40.4± 6.9	24.7± 5.6	28.9± 8.0	23.1± 8.5	30.5± 9.4	39.9± 8.9
072614+215319	464.9±16.2	418.1±28.0	456.7±12.7	460.0±13.1	435.3±15.2	454.1±15.4	437.1±15.2	399.6±14.0	428.3±19.5	400.1±20.5	445.9±25.8	469.8±22.2
072820+215306	254.4±15.4	211.4±26.0	220.6±14.1	254.5±14.1	244.2±11.6	249.6±14.3	254.3±13.8	241.5±15.5	227.2±21.0	280.7±22.7	248.7±17.8	273.5±25.2
073556+220848	63.4±10.8	81.2±17.8	74.3±11.1	70.0±10.7	75.0± 8.1	81.8±10.0	86.6± 9.8	69.7± 8.0	56.5±14.2	67.3±11.0	96.5±13.2	61.9±12.6
074642+220024	14.5± 4.7	13.7± 5.0	8.8± 3.3	11.0± 3.0	12.5± 3.2	15.7± 2.4	12.9± 3.3	18.6± 4.6	9.5± 4.9	16.6± 4.8	13.2± 5.1	14.0± 5.0
075706+215424	89.6± 9.6	58.3±19.6	74.4±10.6	79.3± 9.4	70.3± 9.3	76.0± 9.1	55.1± 9.7	81.8±12.0	89.7±14.3	59.8±14.2	76.4±14.1	63.2±15.3
081212+220024	37.2± 2.9	31.8± 6.7	30.3± 3.1	34.0± 3.1	33.8± 2.8	29.1± 2.6	34.4± 4.0	32.6± 3.5	33.9± 3.7	28.4± 3.5	31.4± 3.5	33.9± 5.8
081725+215840	20.3± 4.3	29.6± 8.0	22.6± 4.5	28.1± 4.1	26.0± 3.0	22.1± 4.3	27.2± 6.0	27.0± 4.1	34.5± 5.0	24.6± 4.7	19.1± 5.5	24.2± 8.7
082353+220041	12.0± 3.5	16.8± 5.2	15.4± 3.7	15.3± 3.7	17.3± 3.7	19.2± 3.2	17.4± 4.8	10.5± 4.0	–	12.7± 4.3	13.7± 5.2	15.6± 7.1
085037+220615	40.5± 6.2	54.0± 8.6	50.2± 8.2	51.1± 6.4	41.7± 6.2	45.3± 5.7	51.9± 7.9	50.0± 7.8	51.1± 7.6	40.0± 8.4	41.1± 9.9	–
090614+220010	153.0± 5.4	179.6± 6.3	149.5± 5.5	157.3± 5.0	152.1± 4.2	150.6± 4.2	148.5± 5.3	152.4± 4.7	160.8± 7.0	147.6± 6.5	147.1± 8.0	167.2± 9.9
091224+220506	278.7± 5.6	279.7± 6.7	296.1± 7.3	313.2± 7.4	318.7± 5.8	321.1± 6.6	324.4± 7.0	323.9± 6.8	336.4± 8.0	320.8± 8.8	308.2± 7.1	328.1±12.6
091914+220519	76.0± 4.5	82.4± 6.7	68.4± 6.6	89.1± 4.8	81.4± 4.1	87.1± 3.5	85.6± 5.2	93.4± 4.3	88.1± 4.6	86.7± 5.0	89.4± 6.0	83.2± 8.6
092045+220433	58.7± 3.5	55.2± 4.5	58.1± 4.4	61.1± 3.9	52.1± 4.0	60.2± 3.8	58.3± 3.8	60.8± 3.6	62.4± 4.6	56.6± 4.5	62.5± 6.6	51.1± 7.8
092601+220136	81.0± 5.2	71.0± 5.2	70.2± 5.0	81.1± 4.3	78.8± 3.2	75.2± 4.0	76.6± 4.4	66.5± 4.4	79.9± 5.6	79.8± 5.3	71.7± 5.6	76.0± 9.3
094736+220136	39.0± 4.6	35.5± 3.6	25.5± 4.1	33.2± 3.5	34.8± 3.7	33.7± 4.0	35.1± 4.0	28.6± 3.3	30.8± 4.5	32.4± 4.3	35.7± 5.0	28.7± 5.5
094836+220053	102.6± 5.5	92.5± 6.1	95.9± 5.3	104.9± 4.1	94.9± 4.0	89.1± 4.4	79.4± 5.2	81.2± 4.5	88.7± 5.7	75.6± 8.4	84.4± 7.5	77.3± 9.7
101104+220805	46.4± 7.2	54.8± 6.6	46.6± 8.2	67.5± 5.1	51.9± 6.3	60.7± 5.5	49.8± 6.4	55.7± 6.2	62.6± 6.6	69.9± 9.4	57.4± 8.3	60.1± 6.2

101401+215825	52.9±12.0	52.4± 9.3	-	54.4±10.5	45.5± 9.3	57.8± 8.5	72.4± 9.4	53.9± 6.9	66.7±10.9	64.5±11.7	62.8±13.9	48.6±14.3
102016+220940	57.3± 6.7	56.2± 8.0	52.3± 8.2	54.1± 6.9	64.8± 5.8	64.3± 7.1	59.8± 7.3	63.4± 5.6	74.8± 7.9	75.8± 9.1	68.3± 9.8	51.4± 9.5
102154+215930	438.2±10.3	415.1±10.7	435.8±11.5	443.9± 9.0	423.5± 8.8	423.3± 8.3	427.2±10.4	431.7± 8.5	418.8±10.8	396.0±12.9	474.7±13.6	423.5±11.9
102408+220347	59.0± 6.9	56.4± 8.8	67.4±10.9	58.3± 4.5	59.3± 4.0	63.6± 5.1	54.5± 4.5	57.2± 5.7	53.0± 7.3	71.1±11.1	62.3± 8.9	61.8± 9.7
103633+220312	258.6± 7.8	253.6± 6.7	237.2±10.2	276.7± 7.1	271.1± 5.3	269.7± 6.1	281.8± 7.2	282.2± 5.7	262.7± 8.4	251.1± 8.2	299.1± 9.4	221.2±10.9
103943+215743	141.4±11.0	142.7±12.2	149.2±13.4	173.4± 9.9	168.1± 9.7	155.3±10.5	157.5±12.5	169.4±13.1	155.8±11.5	144.7±15.6	139.0±18.4	164.6±19.3
104254+220127	39.6± 7.3	42.8± 4.4	41.6± 4.5	47.0± 4.0	48.9± 3.9	42.2± 4.5	38.4± 4.7	42.6± 4.5	36.6± 5.2	35.8± 6.7	41.9± 6.5	41.9± 7.7
104702+221033	69.7±10.8	56.8± 8.9	65.3±12.4	52.2± 8.7	62.6± 8.8	73.2± 9.3	69.1±12.2	83.6± 9.5	70.4±10.5	76.1±11.4	66.1± 9.3	57.4±10.4
105234+220602	21.1± 5.3	17.7± 3.1	17.0± 4.1	23.6± 4.3	21.8± 3.4	14.7± 3.7	14.4± 3.8	15.3± 3.3	16.0± 3.9	11.3± 4.1	22.0± 4.6	20.8± 6.2
105430+221055	56.0±10.1	48.3± 6.9	39.5±10.1	44.5± 5.3	56.5± 6.0	53.3± 9.0	46.0± 9.3	58.0± 7.3	42.5± 9.1	61.0± 8.5	58.5±10.8	58.5± 8.0
105435+220011	48.3± 6.8	29.8± 6.6	40.6± 6.5	32.1± 4.2	30.7± 5.2	20.6± 4.7	30.3± 5.3	31.5± 4.3	-	28.7±10.5	38.2± 8.5	27.6± 8.7
110025+220156	29.7± 3.0	17.2± 2.8	22.8± 2.4	17.5± 2.5	36.4± 2.4	33.3± 2.3	22.3± 3.0	24.6± 1.8	-	-	18.4± 2.2	36.6± 5.1
110323+220337	520.6± 8.9	500.8± 7.4	501.9± 8.1	530.4± 7.6	522.8± 7.5	518.8± 7.4	516.3± 7.7	511.1± 7.5	532.2± 7.6	498.5± 7.6	524.6± 9.3	521.7±10.2
112119+215947	76.1± 9.4	89.9± 6.8	83.1± 9.4	103.5± 7.2	85.7± 6.4	99.1± 6.8	75.5± 6.6	82.9± 7.5	75.9± 6.9	77.4±12.2	94.1± 9.9	83.5±16.8
112829+220729	79.9± 7.7	90.2± 7.0	73.2±10.5	78.8± 5.5	87.1± 5.0	87.9± 5.8	91.1± 5.2	94.9± 6.6	98.8± 4.8	85.3± 4.6	76.1± 6.8	75.3± 9.5
113033+215728	278.1±16.3	209.2±17.5	240.1±28.0	251.0±14.0	264.7±12.1	225.0±13.8	232.9±14.3	246.5±12.8	196.4±14.8	209.0±14.4	236.2±16.3	254.3±25.1
114325+220656	802.9±13.6	776.2±13.2	738.4±12.8	871.3±14.3	873.6±14.2	866.3±14.0	844.2±14.1	877.1±14.4	821.0±14.0	829.0±19.5	802.4±13.7	700.6±16.4
114417+220752	48.2± 8.1	60.5± 5.8	48.9± 7.3	54.4± 5.9	53.8± 5.5	53.5± 6.4	57.2± 5.1	55.9± 7.7	62.0± 5.1	45.2± 5.5	43.1± 7.1	51.0± 7.4
114821+220825	62.1±10.0	60.4± 5.8	49.4± 7.1	79.4± 7.0	64.7± 4.5	68.9± 5.1	82.1± 4.6	84.6± 6.8	79.4± 5.2	75.7± 5.4	70.5± 5.8	88.6± 8.8
115311+220654	33.6± 9.2	27.1± 6.0	23.3± 5.8	34.8± 4.7	29.5± 5.0	34.0± 6.0	30.4± 6.0	21.9± 5.4	33.4± 5.6	26.8± 5.3	35.1± 8.6	32.1± 6.1
121156+220455	20.7± 6.0	16.8± 4.2	19.6± 3.0	17.4± 3.2	15.0± 3.0	15.0± 3.5	13.9± 3.0	16.7± 2.8	18.0± 3.5	14.6± 3.5	16.3± 5.5	18.2± 6.9
125433+221103	46.6±11.6	48.1± 9.2	31.3± 7.0	42.0± 8.2	37.3± 5.7	54.4± 6.1	48.9± 7.3	50.8± 6.3	46.0± 8.1	47.6± 7.6	40.7± 7.7	32.1± 9.7
130253+220758	23.2± 4.2	42.9± 5.8	26.1± 4.1	25.2± 3.6	23.0± 4.6	23.4± 4.1	25.5± 3.8	27.5± 3.7	26.6± 3.6	30.2± 4.1	24.5± 4.9	38.8± 6.8
130651+221119	71.5± 9.7	72.8±13.2	70.6± 5.6	74.1± 6.3	75.9± 6.9	80.0± 7.2	87.9± 8.9	82.2± 6.6	84.2± 8.0	76.1± 7.0	85.1±10.5	82.3±10.1
131128+220306	19.0± 4.1	20.2± 5.2	16.3± 3.0	15.7± 3.6	14.1± 2.9	14.4± 3.9	12.1± 3.2	17.1± 3.5	20.7± 4.0	13.1± 5.0	17.9± 4.5	21.2± 5.8
132700+221050	507.8±13.4	484.2±17.1	545.0±11.4	571.4±12.8	611.1±12.4	663.4±12.6	719.9±15.2	788.8±13.9	830.5±16.2	912.8±17.9	886.6±20.1	731.9±18.9
132749+220503	98.7± 9.0	113.9± 7.2	103.4± 5.1	112.0± 5.9	96.0± 6.3	100.3± 6.0	93.1± 8.0	98.5± 5.4	94.1± 7.4	92.1± 7.2	99.1± 8.1	113.0± 9.2
133212+220549	41.4± 5.0	42.4± 6.4	48.1± 4.4	43.3± 5.1	46.4± 4.1	48.0± 4.9	50.8± 4.1	36.4± 4.0	56.2± 5.1	53.5± 5.5	42.9± 4.9	39.2± 8.0
133629+221033	52.3±12.6	40.9±10.0	36.5± 4.9	36.0± 6.2	37.7± 5.5	41.5± 7.0	32.0± 6.0	40.9± 5.5	57.0± 8.5	43.2± 7.1	42.2± 8.2	35.2±11.5
133928+220822	22.8± 7.6	22.8±11.4	20.4± 6.2	24.4± 5.3	29.2± 4.1	21.9± 5.9	27.3± 5.6	30.4± 4.6	31.9± 5.4	32.9± 5.4	26.7± 7.5	-
135116+221110	25.5± 9.5	35.5±11.7	28.1± 7.1	32.4± 8.7	32.1± 8.1	41.6± 6.9	46.0± 8.4	49.1± 7.1	34.4± 8.5	48.8±11.4	40.7±11.1	31.8±12.2
135313+220540	17.8± 4.1	20.2± 5.4	13.4± 4.4	19.2± 4.1	18.1± 4.2	18.9± 3.5	21.4± 3.6	15.8± 3.2	18.9± 3.2	12.5± 4.5	15.7± 4.3	16.7± 4.2
140808+220155	49.7± 6.4	58.8± 6.8	49.6± 3.7	52.5± 3.5	44.0± 3.5	40.6± 3.4	46.0± 4.4	48.1± 3.9	46.7± 3.5	49.6± 3.5	47.3± 4.3	53.0± 7.5
141242+215939	65.3± 8.0	57.9± 7.2	52.6± 4.9	66.3± 3.8	61.4± 5.0	50.2± 5.0	60.4± 5.6	55.2± 4.8	59.8± 5.6	61.9± 6.1	60.1± 5.8	68.1± 6.3
141351+220647	23.8± 5.5	25.7± 7.3	18.7± 5.0	22.0± 3.8	22.0± 4.3	28.3± 4.2	20.0± 3.6	-	25.6± 4.7	23.8± 3.9	17.3± 4.1	-
141619+220840	27.8± 5.2	28.0± 8.7	21.3± 4.9	26.6± 4.0	24.3± 4.5	27.8± 3.9	32.1± 5.7	26.6± 4.5	25.6± 4.7	24.9± 7.5	27.5± 4.7	-
141726+220539	64.8± 5.9	77.3± 9.1	77.8± 6.1	80.7± 5.0	84.0± 4.2	90.1± 3.8	97.6± 4.8	98.8± 5.1	101.2± 5.3	100.1± 6.5	87.2± 5.7	65.6± 6.7
143106+220505	25.9± 8.0	-	30.9± 6.4	29.4± 5.6	21.9± 5.0	22.6± 3.3	34.1± 5.3	24.7± 3.9	19.3± 4.6	-	21.2± 4.8	22.7± 8.2
143249+220759	56.6±10.3	57.5± 8.8	57.9± 6.7	61.6± 5.5	63.3± 8.2	62.8± 5.9	81.4± 8.1	75.8± 6.0	61.7± 6.3	67.2± 6.7	65.7± 6.4	63.0± 9.7
144057+220142	-	26.0± 5.8	27.3± 4.6	29.3± 3.7	29.4± 4.5	27.6± 3.8	27.3± 6.7	35.8± 4.4	32.1± 4.3	29.5± 7.7	36.7± 6.1	31.3± 7.8
144924+221206	58.9±12.9	60.3±12.9	83.1±11.1	82.5±11.9	69.0±10.4	92.1±11.2	65.7±11.9	78.3±10.5	87.4±11.4	84.5± 8.9	66.5±13.1	64.3±11.5

150123+221122	62.7±11.0	-	63.4±19.3	52.1± 7.9	47.1±12.4	50.0± 8.9	55.7±10.0	50.8± 7.4	50.9± 8.9	49.7± 8.8	45.4± 7.7	40.4± 6.8
151105+220806	236.4± 8.6	192.2±11.7	226.6±18.5	232.8± 6.6	238.8± 9.0	238.2± 6.6	239.3± 7.0	253.1± 8.0	273.8± 7.9	270.0± 8.6	261.2± 8.8	237.0± 7.7
151319+220255	41.3± 8.9	33.0± 9.3	32.7± 5.0	37.1± 5.4	45.0± 5.4	39.1± 4.2	40.0± 7.1	49.6± 4.3	44.1± 4.0	36.9± 5.3	41.9± 5.4	46.0± 5.9
151830+220313	39.9± 4.9	36.0± 5.2	39.4± 4.2	42.8± 2.5	40.5± 3.1	44.1± 4.4	41.8± 3.3	43.5± 2.8	49.8± 3.0	47.2± 3.1	51.5± 3.3	38.2± 5.5
152224+215808	95.9± 8.1	79.2±10.1	97.5± 7.9	100.6± 6.2	83.0± 6.3	93.8± 5.4	86.6± 7.4	94.1± 4.9	93.3± 5.3	84.5± 5.7	100.4± 7.3	89.8± 7.8
153343+220725	15.7±11.4	16.1± 8.8	25.5±13.8	20.7± 4.3	32.3± 7.2	32.5± 8.0	23.6± 7.3	27.9± 7.0	26.4± 6.8	25.3± 6.3	24.6± 6.7	-
153652+220207	28.1± 5.9	-	23.8± 5.0	26.2± 5.1	25.8± 4.6	26.6± 4.3	29.1± 4.7	28.7± 3.4	24.4± 4.4	23.0± 4.4	24.7± 5.4	24.6± 5.3
154535+220400	13.7± 5.8	-	15.8± 5.6	17.0± 5.4	10.0± 5.4	11.5± 4.4	15.6± 5.4	16.2± 6.2	18.2± 5.3	12.8± 3.3	15.8± 6.4	10.1± 6.2
154631+215741	162.0±10.3	194.7±20.5	180.0±13.3	179.5± 9.6	172.1±14.1	175.8± 9.4	162.0± 9.2	164.7± 6.6	167.8± 7.8	125.5±12.3	137.6± 9.7	134.6±13.3
155354+215927	220.4±10.0	229.3±12.3	203.4± 7.4	232.1± 5.9	233.4± 8.5	227.6± 8.4	228.0± 7.9	233.4± 5.9	234.3± 7.4	185.9± 8.7	214.1± 9.4	184.1± 9.3
155513+215939	30.1± 4.2	23.9± 3.9	25.8± 4.0	22.3± 3.5	25.2± 4.9	25.5± 3.7	22.5± 4.0	22.3± 3.3	23.9± 4.4	22.2± 3.8	30.3± 5.0	22.4± 4.9
155630+220729	43.5± 9.5	40.7± 7.9	-	32.0± 6.0	28.9± 5.8	41.7± 7.1	39.5± 6.3	40.9± 4.7	40.8± 5.1	40.3± 6.0	32.7± 4.2	28.1± 5.6
155644+220658	32.8± 7.5	36.3± 8.3	-	30.5± 5.9	27.2± 6.5	39.0± 6.8	38.9± 6.5	39.0± 4.3	41.4± 5.1	39.1± 6.2	33.0± 4.5	26.5± 6.2
160203+220931	79.4± 8.7	78.9±10.1	74.1± 7.7	72.8± 8.2	67.6± 8.5	75.1± 8.2	85.4± 9.5	77.5± 7.6	104.6± 8.1	108.3± 9.7	79.6± 8.3	84.4± 7.3
160317+215841	45.7± 3.9	42.0± 5.3	39.5± 4.6	45.5± 3.3	42.1± 3.4	41.7± 3.9	42.6± 3.7	38.4± 3.4	48.5± 3.9	37.0± 4.2	40.9± 4.0	40.8± 5.4
161105+220709	98.3± 6.0	89.0± 8.2	89.5± 7.0	82.9± 7.2	102.2± 6.6	107.7± 6.7	112.6± 6.4	113.6± 6.1	118.6± 6.6	112.9± 5.6	106.3± 6.1	114.4± 5.8
161334+220425	104.8± 4.8	103.1± 7.6	100.5± 7.9	113.9± 7.4	106.6± 5.6	116.9± 7.6	105.9± 4.8	109.5± 5.4	125.1± 6.6	113.7± 5.7	109.0± 5.9	109.5± 6.0
161423+220020	41.8± 4.6	48.6± 6.4	46.4± 4.9	50.0± 4.4	45.3± 5.0	44.3± 3.9	40.7± 5.6	45.7± 3.3	46.5± 4.4	43.0± 4.9	52.9± 4.3	50.1± 5.6
161759+220136	12.0± 4.7	18.5± 5.9	-	15.3± 3.4	13.1± 3.9	13.7± 3.3	19.3± 4.1	14.8± 2.9	18.6± 3.8	17.1± 2.7	17.4± 3.5	-
161847+215921	24.7± 5.1	33.9± 6.7	35.2± 4.4	29.6± 4.2	25.5± 4.7	36.3± 3.6	33.2± 4.2	32.7± 2.5	38.9± 3.4	25.1± 3.2	42.5± 4.5	40.8± 5.1
162110+215739	35.4±10.5	-	30.4± 7.1	25.9± 9.5	41.1± 7.1	32.8± 6.3	38.5± 7.3	32.7± 5.5	32.9± 7.8	32.4± 6.8	35.8± 7.9	34.5± 8.2
162917+220628	162.4± 8.2	152.2± 8.6	140.6± 8.9	174.4± 6.7	164.1± 7.2	171.2± 7.4	165.5± 8.0	186.2± 5.7	197.1± 8.3	194.4± 6.8	169.1± 8.3	174.5± 7.6
164255+221226	119.9±17.2	105.6±23.0	134.9±16.6	128.8±14.2	111.2±20.3	111.2±18.8	139.3±23.4	125.9±15.5	117.6±20.0	132.5±20.2	97.1±16.8	95.3±19.1
164439+220214	95.1± 6.6	108.5± 7.5	96.7± 9.7	96.0± 8.3	97.5± 5.8	105.4± 5.9	113.6± 6.9	118.4± 5.6	97.9± 6.2	102.3± 7.9	120.9± 8.4	97.7± 7.2
164631+215857	34.9± 6.0	34.3±10.1	40.1± 6.7	40.9± 4.3	32.8± 5.4	40.2± 5.7	36.0± 6.2	29.7± 4.6	39.9± 4.9	36.7± 5.8	32.8± 5.9	29.0± 7.0
164819+220114	30.9± 5.1	40.0± 7.7	37.6± 4.7	33.9± 4.3	32.9± 4.2	33.0± 5.0	30.5± 4.0	32.6± 4.5	29.9± 4.9	30.2± 5.2	28.4± 5.2	30.5± 5.8
170251+220532	38.0± 6.6	39.6± 8.2	22.1± 6.4	48.6± 7.4	29.1± 5.3	39.2± 7.6	42.2± 6.0	49.3± 5.6	48.0± 6.8	45.1± 4.9	45.2± 4.3	41.4± 5.6
170744+220049	29.4± 3.4	29.7± 4.9	39.7± 4.0	35.7± 3.9	33.1± 3.5	42.4± 3.0	41.5± 4.2	50.0± 3.4	51.4± 3.3	48.7± 3.0	46.8± 3.3	47.5± 4.2
171332+215557	109.8± 9.0	99.1±10.9	103.9± 9.5	140.3± 9.0	119.7± 9.4	129.0± 7.3	117.4± 7.5	133.9± 6.2	126.3± 6.3	125.1± 7.4	127.5± 6.8	134.7±12.0
171611+215214	315.4± 7.8	280.3±10.3	296.1± 9.5	313.3±11.7	296.6± 7.8	298.9± 8.8	324.8± 9.5	303.4± 7.0	295.1± 7.6	287.4± 9.0	283.6± 7.6	289.2±10.1
172003+215847	64.7± 3.9	59.5± 6.6	58.5± 5.2	52.0± 4.7	52.4± 4.4	51.5± 4.1	55.5± 5.5	60.6± 3.2	67.7± 4.7	61.8± 5.2	55.5± 5.3	54.1± 6.3
172655+220102	62.9± 4.4	62.2± 9.0	55.4± 6.1	57.8± 6.6	67.4± 6.6	72.8± 5.5	58.3± 6.7	68.7± 3.3	70.6± 4.6	67.8± 7.1	78.5± 5.9	67.6± 7.5
174005+221100	203.0±12.8	154.6±10.3	155.4±13.6	161.1±10.2	157.9±11.3	175.1±11.5	178.0±13.2	200.6± 7.9	209.1±13.2	204.7±13.7	189.5±12.1	170.4± 7.8
174306+215932	55.0± 5.1	42.6± 9.3	48.5± 6.4	58.2± 5.1	40.1± 6.9	50.9± 5.4	55.0± 6.2	57.6± 4.0	57.6± 4.2	46.4± 5.5	57.2± 5.4	50.5± 7.5
174525+215703	44.7± 6.1	-	40.4± 7.0	44.8± 7.8	42.9± 7.2	35.7± 6.0	35.3± 5.5	38.5± 4.6	36.9± 6.8	33.5± 5.8	45.1± 5.9	34.0± 8.0
174536+220340	85.0± 7.2	55.1± 5.8	57.9± 8.0	69.2± 7.0	61.3± 6.7	52.7± 9.1	65.5± 7.4	72.9± 4.8	73.8± 6.8	65.3± 6.7	64.0± 6.4	56.8± 6.6
175011+215734	29.3± 3.5	20.4± 4.7	25.1± 4.1	31.4± 3.6	24.5± 3.7	30.5± 3.4	29.2± 5.7	30.6± 2.6	29.8± 3.3	26.2± 4.1	32.1± 3.5	29.1± 3.7
175915+215933	307.0±41.8	279.9±20.2	245.0± 9.4	273.2±43.5	280.8±15.5	297.0±10.1	282.4±10.4	294.9± 9.1	325.3± 9.5	272.6±12.2	245.9±12.4	257.4±14.1
180127+215732	20.4± 4.2	20.2± 4.2	21.5± 3.9	17.3± 3.4	19.1± 3.6	21.4± 4.0	20.7± 3.1	21.8± 3.6	19.2± 3.9	25.8± 4.1	21.6± 3.3	19.9± 4.9
180738+220456	187.7± 6.0	180.5± 8.3	155.1± 6.9	156.3± 6.7	161.1± 7.0	182.8± 7.9	190.9± 6.7	204.9± 6.0	222.2± 6.8	217.9± 8.8	214.6± 7.0	185.6± 6.1
181307+215430	77.4± 7.4	57.1±10.2	56.8± 7.5	82.3± 7.4	59.9± 8.2	65.7± 8.4	59.9± 5.8	59.2± 6.1	73.7± 7.0	57.6± 6.0	55.9± 7.2	58.1± 8.8

181725+215845	27.5± 5.2	18.4± 5.7	22.2± 6.4	25.8± 5.3	24.0± 5.9	23.6± 3.7	21.5± 4.2	21.5± 3.0	30.2± 5.2	19.1± 3.9	24.0± 4.1	22.0± 4.9
182812+215519	32.3± 7.5	-	27.3± 5.8	25.6± 6.7	33.0± 5.9	31.7± 6.6	22.3± 6.4	34.8± 5.8	26.1± 5.0	22.8± 6.1	32.4± 5.9	37.9± 7.0
183118+220012	151.6± 6.6	147.1± 8.0	134.2± 7.8	135.1± 7.7	149.9± 7.5	168.2± 7.4	165.6± 6.8	161.5± 5.2	168.6± 9.0	154.0± 7.2	160.5± 6.7	142.2± 6.8
184035+215744	45.3± 6.9	37.4± 7.0	43.2± 9.2	56.3± 8.7	42.3± 7.0	58.2± 9.3	44.6± 9.4	42.9± 7.0	51.8± 9.8	35.4± 6.1	40.0± 6.4	42.8± 7.5
184839+220118	24.5± 5.1	32.5± 7.7	26.0± 7.3	18.9± 6.6	16.4± 7.2	27.9± 6.6	28.6± 5.4	19.3± 4.5	26.8± 4.4	19.9± 4.4	18.0± 3.6	23.6± 6.1
185423+215858	18.5± 5.5	20.5± 4.4	26.4± 8.2	31.7± 7.6	26.2± 6.2	23.9± 7.5	14.7± 7.7	19.4± 4.2	18.7± 3.6	19.2± 4.9	27.3± 3.7	29.4± 4.4
191619+215719	17.6± 2.5	15.0± 3.2	18.9± 3.2	-	11.6± 3.2	13.9± 3.4	12.4± 3.1	11.9± 3.3	14.4± 3.4	19.8± 4.2	16.2± 3.2	18.5± 4.8
191640+220459	40.4± 7.2	48.4± 8.6	50.2±13.8	39.4±10.9	44.6± 9.5	51.6±11.5	41.2±10.2	42.3± 7.1	40.3± 7.1	40.4± 9.1	45.7± 8.5	43.4± 9.6
192622+215620	35.4± 4.8	23.5± 4.3	-	32.4± 4.8	38.8± 4.9	30.8± 4.6	34.0± 5.2	35.0± 3.8	27.0± 4.9	24.2± 5.0	34.4± 5.3	33.3± 5.3
193239+215747	17.7± 4.4	15.0± 4.2	18.7± 5.0	15.9± 5.0	15.1± 5.2	14.3± 3.7	22.2± 4.3	14.7± 3.4	20.0± 3.8	13.9± 5.4	17.9± 4.1	13.0± 4.5
193453+215701	222.3± 5.7	208.9± 5.8	204.3± 7.5	186.4± 5.6	186.6± 6.4	194.6± 6.4	211.4± 6.6	229.8± 6.0	228.5± 5.5	245.4± 7.1	243.8± 6.1	242.4± 9.7
195455+215957	34.3± 5.1	24.6± 6.7	30.0± 8.2	31.8± 9.3	33.8± 7.0	26.0± 6.6	25.0± 7.2	23.1± 7.7	33.4± 5.7	35.1± 7.7	28.2± 7.8	24.8± 7.2
195607+215941	59.6± 6.1	57.9± 6.3	62.5± 9.7	66.3± 8.6	52.7± 7.1	55.6± 8.0	57.9± 7.4	60.1± 6.3	70.9± 5.4	61.6± 7.0	68.8± 5.9	58.0± 6.9
201311+220052	171.6± 4.0	154.2± 3.8	157.6± 4.1	158.9± 4.7	153.6± 4.7	162.1± 4.4	173.9± 5.3	190.6± 4.5	187.2± 4.4	192.0± 5.5	190.8± 5.1	169.8± 4.5
201553+215655	18.7± 2.7	14.7± 3.5	16.1± 3.5	17.0± 3.4	18.3± 2.9	16.3± 3.1	14.3± 3.5	19.1± 3.4	15.3± 3.2	18.0± 3.2	19.7± 3.5	15.8± 4.5
202545+215836	45.8± 3.3	43.2± 4.9	38.6± 4.5	54.0± 4.1	39.1± 3.5	39.2± 4.0	47.3± 3.8	49.6± 3.7	52.0± 3.8	55.2± 4.6	47.7± 4.1	49.8± 4.8
203307+215905	80.0± 4.0	69.0± 5.4	77.7± 5.6	67.5± 6.9	68.9± 5.4	69.7± 4.7	73.3± 4.6	81.2± 4.5	83.5± 4.5	87.6± 6.9	79.5± 4.9	81.7± 5.5
203334+215934	115.8± 5.1	114.5± 5.4	101.2± 6.0	100.1± 4.2	90.8± 4.3	99.1± 5.5	114.6± 4.8	108.3± 4.8	108.9± 4.8	113.1± 6.5	114.3± 4.3	107.5± 5.8
203732+215303	140.6± 4.3	139.4± 4.5	134.9± 5.3	152.2± 5.4	143.5± 4.7	138.0± 4.0	145.1± 3.6	161.8± 4.8	148.2± 4.0	142.0± 5.0	148.0± 4.4	151.0± 6.9
203934+215209	605.3±12.6	591.8±14.3	546.8±12.9	576.3±12.9	544.1±12.5	545.6±12.7	574.5±11.5	564.4±11.6	581.4±12.0	586.6±12.1	581.1±12.8	523.3±13.0
204007+215319	27.8± 2.5	18.2± 3.8	19.5± 3.5	15.9± 3.5	18.2± 3.4	25.0± 3.2	18.9± 3.2	28.4± 2.6	27.3± 2.7	15.8± 5.0	17.2± 3.8	28.6± 4.3
205826+215819	115.5± 4.5	107.3± 6.6	92.4± 6.0	100.7± 4.6	95.4± 4.3	103.5± 3.9	105.3± 4.5	117.5± 4.7	115.0± 4.8	108.2± 5.4	116.0± 4.8	96.4± 5.2
210908+215502	143.1± 3.3	141.3± 3.6	140.4± 4.1	135.6± 4.2	131.6± 3.9	135.4± 4.2	136.4± 3.6	144.3± 3.4	162.0± 4.3	153.9± 4.2	156.9± 4.0	147.6± 4.5
211032+215830	90.0± 3.6	79.3± 5.1	79.2± 4.5	80.7± 4.6	71.8± 5.2	80.3± 4.6	87.2± 4.4	82.5± 5.2	93.3± 4.8	101.2± 4.4	97.0± 4.7	91.6± 4.3
212301+215047	56.4± 3.6	56.0± 4.0	51.8± 3.8	63.1± 4.8	51.5± 4.1	40.8± 4.4	52.4± 3.8	57.8± 3.9	52.4± 5.6	59.2± 5.4	60.3± 5.3	51.1± 6.0
213057+214926	55.1± 6.0	45.9± 6.3	47.6± 6.0	40.6± 6.7	33.7± 6.6	44.1± 5.1	53.5± 6.6	51.1± 6.3	44.5± 7.3	54.1± 8.4	45.4± 7.1	49.9± 6.9
213649+215701	18.4± 3.3	15.5± 5.9	18.6± 3.4	14.6± 4.5	18.3± 3.2	21.8± 3.2	19.1± 3.7	20.8± 3.6	15.7± 3.9	25.2± 4.5	17.8± 3.3	16.2± 4.3
213735+215738	44.7± 3.8	39.8± 4.3	39.3± 4.9	44.8± 4.5	36.4± 4.6	46.2± 4.1	43.1± 4.5	47.5± 3.5	49.1± 3.7	49.6± 3.9	48.2± 4.8	42.7± 4.2
214732+215434	38.3± 2.5	35.5± 2.9	28.1± 3.2	33.0± 2.4	38.6± 3.3	32.8± 3.7	30.4± 3.5	32.9± 2.7	34.6± 3.1	26.8± 3.4	36.0± 3.7	32.1± 3.7
221213+215521	40.5± 2.0	38.5± 2.6	41.1± 2.4	34.2± 3.4	32.1± 2.7	36.6± 2.3	42.7± 3.4	41.9± 2.5	40.0± 2.7	45.8± 2.5	42.0± 3.0	39.9± 2.8
221828+215633	27.8± 3.6	29.8± 4.5	24.9± 4.0	18.9± 4.7	19.8± 4.1	21.9± 4.1	20.7± 4.0	21.3± 4.1	22.2± 3.7	22.9± 3.6	22.9± 3.9	28.0± 4.5
222059+215222	19.9± 3.1	24.3± 3.2	22.6± 4.3	24.0± 4.2	29.6± 2.7	21.9± 2.9	24.3± 3.4	24.9± 3.1	26.7± 3.6	25.4± 3.6	26.0± 3.2	25.1± 5.1
222928+215435	20.1± 2.6	17.6± 3.4	17.8± 2.9	17.8± 3.5	17.3± 3.1	20.8± 3.3	20.8± 3.8	17.1± 3.1	16.6± 3.1	16.7± 3.5	19.1± 3.6	19.6± 4.0
223659+215318	26.1± 3.2	25.7± 3.3	23.6± 3.9	20.5± 4.7	24.6± 2.7	21.1± 3.4	24.8± 3.4	27.1± 2.8	29.2± 3.3	23.2± 4.2	25.1± 3.7	29.8± 4.7
224128+220019	39.2± 4.6	28.9± 4.4	34.9± 5.3	34.8± 5.2	30.3± 5.5	33.8± 5.7	33.0± 6.6	36.0± 5.3	28.3± 6.5	35.5± 6.8	-	31.4± 6.8
225825+215251	18.6± 2.3	15.3± 2.3	13.0± 3.4	14.7± 2.4	16.7± 2.7	18.7± 3.1	16.4± 2.7	19.7± 2.3	20.8± 2.5	16.5± 3.1	20.0± 2.6	14.4± 3.2
231559+215435	32.6± 3.0	30.6± 3.3	28.7± 2.8	37.6± 4.9	29.5± 3.4	30.2± 4.1	29.8± 3.3	37.7± 3.3	36.1± 3.1	39.1± 3.2	37.3± 3.9	32.3± 3.3
232439+215548	46.6± 3.3	45.1± 4.5	45.2± 3.8	47.8± 5.1	42.1± 4.3	43.4± 3.8	41.4± 4.8	42.5± 5.3	48.1± 4.0	47.5± 4.1	42.0± 3.9	47.6± 3.6
233611+215005	41.1± 3.9	42.8± 4.0	37.7± 4.5	42.5± 4.3	39.6± 4.6	40.4± 3.9	41.9± 4.9	45.8± 3.8	38.8± 3.9	39.4± 5.0	40.0± 5.3	46.9± 7.2
233724+215847	69.3± 6.9	50.2± 6.5	60.1± 8.3	59.5± 8.2	50.3± 6.6	43.1± 6.3	56.6± 6.0	63.5± 6.7	57.4± 7.3	61.0± 6.0	68.9± 7.4	66.5± 6.9
233930+215630	49.9± 3.5	57.4± 3.8	54.2± 3.9	57.3± 4.5	50.2± 5.1	54.7± 3.6	49.0± 5.3	52.5± 5.4	60.0± 4.2	52.1± 6.0	50.7± 4.9	56.7± 4.2

234025+215509	–	–	28.0± 4.9	32.7± 5.2	24.2± 4.4	28.2± 4.7	24.8± 4.4	28.0± 3.7	–	31.7± 3.5	30.6± 4.2	27.0± 4.0
234516+215141	67.0± 2.6	66.0± 3.1	59.8± 2.9	67.4± 3.6	59.6± 2.5	64.7± 2.9	58.9± 3.6	63.7± 2.9	67.7± 3.2	61.6± 3.5	65.8± 4.0	67.7± 4.1
234706+215251	24.4± 2.3	21.3± 1.9	24.1± 3.6	21.0± 2.9	21.5± 3.1	18.8± 3.2	23.7± 3.4	25.6± 2.5	22.8± 2.7	22.7± 3.3	24.7± 3.1	26.6± 4.1
234749+220016	127.2± 6.2	105.0± 6.8	105.7± 5.5	117.0± 7.8	105.0± 9.0	101.7± 6.7	96.2± 7.2	114.3± 6.9	99.2± 6.0	126.8± 7.5	107.0± 6.7	106.5± 8.1
235240+215735	28.7± 4.9	28.2± 4.6	24.9± 5.6	22.5± 6.2	26.3± 5.4	27.8± 4.8	27.7± 4.9	22.4± 4.5	28.8± 4.9	27.9± 4.6	26.9± 4.2	27.8± 5.6
235913+215732	34.6± 2.4	32.9± 2.8	29.0± 2.8	37.4± 4.2	28.5± 2.7	33.8± 3.5	25.7± 4.5	25.0± 2.7	27.6± 4.5	35.1±12.9	24.5± 3.6	25.5± 2.8

Таблица В.3 — Кросс-отождествление источников выборки с оптическими каталогами. В колонках указаны: (1) — имя источника; (2) — красное смещение, пометка s — спектроскопическое, p — фотометрическое; (3) — физический тип объекта, согласно общепринятым сокращениям: QSO — квазар, BL Lac — блазар, FSRQ — квазар с плоским радиоспектром, G — галактика, BClG — большой кластер галактик, GinCl — галактика в кластере, GinGroup — галактика в группе; (4) — оптический морфологический тип объекта: Pt — точечный, Ext — протяженный, VisS — источник в поле с большой плотностью оптических объектов. Источники информации: [1] — The Roma-BZCAT, [2] — SIMBAD, [3] — NED, [4] — Gaia DR3 Extra-galactic, [5] — SDSS DR16, [6] — Pan-STARRS, [7] — 2MASS

NVSS name	Redshift	Class	Optical type	
J000727+220413	0.559 s [4]	QSO [3]	Ext	[5]
J001145+215912	1.064 s [4]	QSO [4]	Pt	[5]
J002130+215319	1.824 s [5]	QSO [2,5]	Pt	[5]
J002337+215624	0.169 s [5]	—	Ext	[5]
J003147+215347	0.891 p [5]	—	Ext	[5]
J004157+215423	0.612 p [5]	—	Ext	[5]
J011852+215144	—	—	EF	[5]
J012428+215454	0.671 s [5]	—	Ext	[5]
J012729+215136	0.560 p [5]	—	Ext	[5]
J013352+220125	1.455 s [5]	QSO [2,5]	Ext	[5]
J013553+215816	3.372 [3]	QSO [2]	Pt	[5]
J013756+215459	—	—	Ext	[5]
J014235+215731	2.047 s [5, 4]	QSO [5]	Pt	[5]
J015218+220707	1.321 s [5]	BL Lac [2]	Pt	[5]
J015641+215651	0.646 p [5]	—	Ext	[5]
J020007+215700	—	—	Pt	[5]
J020434+215328	0.843 p [5]	—	Ext	[5]
J021018+215908	—	—	EF	[5]
J022110+215551	0.575 p [5]	—	Ext	[5]
J022754+215451	0.100 p [5]	Galaxy[2]	Ext	[5]
J023001+215304	0.581 p [5]	—	Ext	[5]
J023004+215909	0.529 s [4]	BL Lac[2]		

Таблица В.3 — (Продолжение)

NVSS name	Redshift	Class	Optical type	
J023349+215317	0.300 p [5]	—	Ext	[5]
J024928+215441	—	—	EF	[6]
J030252+215513	—	—	Pt	[7]
J031619+215555	—	—	Pt	[7]
J032313+215724	—	—	Pt	[7]
J033524+215521	—	—	EF	[6]
J035142+215749	—	—		
J035933+215457	—	—		
J040036+215408	—	—		
J040755+215100	—	—		
J041555+215800	—	—		
J041913+220304	0.363 p [5]	—	Ext	[5]
J042211+220241	0.885 p [5]	—	Ext	[5]
J043312+215529	—	—	EF	
J043458+215540	—	—	Pt	[7]
J043507+215511	—	—		
J043856+215157	0.140 p [5]	—	Ext	[5]
J044655+215448	—	—	Pt	[5,7]
J045004+215814	0.280 p [5]	—	Ext	[5]
J052948+215521	0.280 p [5]	—	Ext	[5]
J060019+220715	—	—	Pt	[5]
J060351+215937	—	BL Lac [2]	Pt	[5]
J060640+215939	—	—		
J062240+215752	—	—	Pt	[7]
J062250+220025	—	—	Pt	[7]
J062727+220051	—	—	Pt	[7]
J063017+215630	—	—		
J063101+215642	—	—	Pt	[7]
J063446+220640	—	—	Pt	[5]
J063727+220237	—	—	Pt	[5]
J064711+215825	—	—	Pt	[5]
J065630+220308	—	Galaxy [2]	Pt	[7]

Таблица В.3 — (Продолжение)

NVSS name	Redshift	Class	Optical type	
J070714+220459	—	—	Pt	[7]
J072300+215925	—	—	Pt	[7]
J072319+220100	0.176 p [3]	Galaxy [3]	Pt	[7]
J072351+220241	0.128 s [4]	QSO [4]		
J072543+220352	—	QSO [4]		
J072614+215319	1.882 s [4, 3]	FSRQ [1]	Pt	[7]
J072820+215306	5.844 s [4]	QSO [4]	Pt	[7]
J073556+220848	—	—	Pt	[5]
J074642+220024	—	—	Pt	[7]
J075706+215424	—	—	Pt	[5]
J081212+220024	1.106 s [5]	QSO [2,3,4,5]	Pt	[5]
J081725+215840	—	—	Ext	[5]
J082353+220041	—	—	Pt	[5]
J085037+220615	1.570 s [5]	QSO [2]	Pt	[5]
J090614+220010	0.520 s [5]	Galaxy [2]	Ext	[5]
J091224+220506	0.993 s [5]	QSO [2,3,4]	Pt	[5]
J091914+220519	1.55 s [5]	QSO [5]	Pt	[5]
	2.25 s [4]			
J092045+220433	0.034 s [2]	GinGroup [2]	Ext	[5]
J092601+220136	0.622 p [5]	—	Ext	[5]
J094736+220136	0.570 p [5]	—	Ext	[5]
J094836+220053	0.716 s [5]	QSO[5,2,3]	Ext	[5]
J101104+220805	—	—	Pt	[5]
J101401+215825	0.305 p [5]	—	Ext	[5]
J102016+220940	0.314 s [5]	QSO [5]	Ext	[5]
	—	BL Lac [2]		
J102154+215930	0.740 p [5]	RadioG [2]	Ext	[5]
J102408+220347	0.140 p [5]	—	Ext	[5]
J103633+220312	0.595 s [5]	BL Lac [2]	Pt	[5]
J103943+215743	0.612 s [5]	Galaxy [5]	Ext	[5]
J104254+220127	0.705 p [5]	—	Ext	[5]
J104702+221033	0.035 p [5]		Ext	[5]

Таблица В.3 — (Продолжение)

NVSS name	Redshift	Class	Optical type	
J105234+220602	—	—	VisS	[5]
J105430+221055	4.161 s [4]	BL Lac [1,2]	Pt	[5]
	—	Galaxy [4]		
	—	QSO [4]		
J105435+220011	—	—	EF	
J110025+220156	0.621 p [5]	—	Ext	[5]
J110323+220337	—	—	EF	
J112119+215947	—	—	Ext	[5]
J112829+220729	0.691 p [5]	—	Ext	[5]
J113033+215728	0.399 s [5]	Galaxy [5]	Ext	[5]
J114325+220656	0.824 s [3]	QSO [3]	Ext	[5]
J114417+220752	0.575 s [5]	BCIG [2]	Ext	[5]
J114821+220825	0.800 p [5]	—	Ext	[5]
J115311+220654	0.415 p [5]	—	Ext	[5]
J121156+220455	0.117 p [5]	—	Ext	[5]
J125433+221103	0.509 s [5]	BL Lac [2]	Pt	[5]
	—	Galaxy [5]		
J130253+220758	0.332 p [5]	—	Ext	[5]
J130651+221119	0.421 p [5]	—	Ext	[5]
J131128+220306	0.475 p [5]	—	Ext	[5]
J132700+221050	1.398 s [5]	BL Lac [2]		
	—	FSRQ [1]	Pt	[5]
J132749+220503	1.100 s [5]	QSO [2,4,5]	Pt	[5]
J133212+220549	0.505 p [5]	—	Ext	[5]
J133629+221033	—	—	Pt	[5]
J133928+220822	2.323 s [5]	QSO [2,5]	Pt	[5]
J135116+221110	1.574 s [5]	QSO [2,4,5]	Pt	[5]
J135313+220540	0.615 p [5]	—	Ext	[5]
J140808+220155	0.587 p [5]	—	Ext	[5]
J141242+215939	0.408 p [5]	—	Ext	[5]
J141351+220647	0.360 p [5]	—	Ext	[5]
J141619+220840	—	—	EF	

Таблица В.3 — (Продолжение)

NVSS name	Redshift	Class	Optical type	
J141726+220539	0.563 p [5]	—	Ext	[5]
J143106+220505	0.713 p [5]	—	Ext	[5]
J143249+220759	—	—	Pt	[5]
J144057+220142	0.080 p [5]	—	Ext	[5]
J144924+221206	—	—	Pt	[5]
J150123+221122	0.688 p [5]	—	Ext	[5]
J151105+220806	0.586 p [5]	—	Ext	[5]
J151319+220255	0.850 p [5]	—	Ext	[5]
J151830+220313	0.681 p [5]	—	Ext	[5]
J152224+215808	—	—	EF	
J153343+220725	—	—	Ext	[5]
J153652+220207	0.230 p [5]	Galaxy [2]	Ext	[5]
J154535+220400	0.218 p [5]	—	Ext	[5]
J154631+215741	0.734 s [3]	—	Ext	[5]
J155354+215927	0.745 s [3]	—	Ext	[5]
J155513+215939	—	—	Pt	[5,7]
J155630+220729	0.682 p [5]	—	Ext	[5]
J155644+220658	0.929 p [5]	—	Ext	[5]
J160203+220931	0.555 p [5]	—	Ext	[5]
J160317+215841	0.662 p [5]	Galaxy [2]	Ext	[5]
J161105+220709	—	—	Ext	[5]
J161334+220425	—	—	EF	
J161423+220020	0.829 p [5]	—	Ext	[5]
J161759+220136	0.418 p [5]	—	Ext	[5]
J161847+215921	0.334 s [5]	BL Lac [1]	Pt	[5]
J162110+215739	0.689 p [5]	—	Ext	[5]
J162917+220628	—	—	Ext	[5]
J164255+221226	0.834 p [5]	—	Ext	[5]
J164439+220214	0.492 s [4]	QSO [4]	Pt	[5]
J164631+215857	0.358 s [3]	Galaxy [2]	Ext	[5]
	—	QSO [3]		
J164819+220114	—	—	Pt	[5]

Таблица В.3 — (Продолжение)

NVSS name	Redshift	Class	Optical type	
J170251+220532	0.535 p [5]	—	Ext	[5]
J170744+220049	1.593 s [5]	QSO [2,5]	Pt	[5]
J171332+215557	2.646 s [4]	QSO [4]	Pt	[5]
J171611+215214	2.380 s [4]	FSRQ [1] BL Lac [2]	Ext	[5]
J172003+215847	0.228 p [5]	—	Ext	[5]
J172655+220102	—	—		Pt[7]
J174005+221100	1.403 s [4,3]	QSO [2]		Pt[7]
J174306+215932	—		Ext	[3]
J174525+215703	—	—		
J174536+220340	—	—		
J175011+215734	—	—		
J175915+215933	—	—	Pt	[7]
J180127+215732	—	—		
J180738+220456	0.798 s [2]	QSO [2] FSRQ [1]	Pt	[5]
J181307+215430	—	QSO [5]	Pt	[5]
J181725+215845	—	—	Pt	[5]
J182812+215519	—	—	Ext	[5]
J183118+220012	0.977 s [4]	QSO [2,4]	Ext	[5]
J184035+215744	—	—	Pt	[7]
J184839+220118	—	—	Pt	[7]
J185423+215858	—	—		
J191619+215719	—	—	Pt	[7]
J191640+220459	—	—	Pt	[7]
J192622+215620			Pt	[7]
J193239+215747			Pt	[7]
J193453+215701	—	—	Pt	[7]
J195455+215957	—	—	Pt	[7]
J195607+215941	—	—	Pt	[7]
J201311+220052	—	QSO [4]	Pt	[7]
J201553+215655	—	—	Pt	[7]

Таблица В.3 — (Продолжение)

NVSS name	Redshift	Class	Optical type	
J202545+215836	—	—	Pt	[7]
J203307+215905	2.413 s [4]	QSO [4]	Pt	[7]
J203334+215934	—	—	Pt	[7]
J203732+215303	—	—	Pt	[7]
J203934+215209	2.782 s [4]	QSO [2,4]	Pt	[7]
J204007+215319	—	—	Pt	[7]
J205826+215819	—	—	Pt	[7]
J210908+215502	2.359 s [4]	QSO [2,4]	Pt	[5]
J211032+215830	—	—	Pt	[7]
J212301+215047	—	—	Pt	[5]
J213057+214926	—	—		Pt[7]
J213649+215701	—	—	VisS	
J213735+215738	0.193 p [5]	Galaxy [4]	Pt	[5]
J214732+215434	—	QSO [4]	Ext	[5]
J221213+215521	0.584 p [5]	—	Pt	[5]
J221828+215633	—	—	Ext	[5]
J222059+215222	0.375 p [5]	QSO [2]	Ext	[5]
J222928+215435	—	—	Ext	[5]
J223659+215318	0.450 p [5]	—	Ext	[5]
J224128+220019	0.537 p [5]	—	Ext	[5]
J225825+215251	0.672 p [5]	—	Pt	[5]
J231559+215435	1.170 s [5]	QSO [2,5]	Ext	[5]
J232439+215548	0.438 p [5]	—	Ext	[5]
J233611+215005	—	—	Pt	[5]
J233724+215847	2.218 s [5]	QSO [2,4,5]	Pt	[5]
J233930+215630	—	—	Ext	[5]
J234025+215509	0.416 s [5]	GinCl [2]	Pt	[5]
J234516+215141	0.583 s [5]	QSO [2,4,5]	Pt	[5]
J234706+215251	—	—	EF	[5] Pt[7]
J234749+220016	—	—	Ext	[5]
J235240+215735	0.855 p [5]	—	Ext	[5]
J235913+215732	0.704 s [5]	Galaxy [5]	Ext	[5]

Таблица В.4 — Радиосветимость источников обзора на частоте 4.7 ГГц.
 Указаны расчетные величины светимости с ошибками и относительные
 ошибки радиосветимости ΔL в процентах

NVSS name	Luminosity, erg s^{-1}	(ΔL)
J000727+220413	$(1.0 \pm 0.1) \cdot 10^{43}$	10%
J001145+215912	$(3.1 \pm 0.2) \cdot 10^{43}$	6%
J002130+215319	$(1.9 \pm 0.3) \cdot 10^{43}$	16%
J002337+215624	$(6.4 \pm 0.2) \cdot 10^{41}$	3%
J003147+215347	$(4.6 \pm 1.0) \cdot 10^{43}$	22%
J004157+215423	$(1.9 \pm 0.5) \cdot 10^{42}$	26%
J012428+215454	$(1.7 \pm 0.1) \cdot 10^{42}$	6%
J012729+215136	$(1.1 \pm 0.7) \cdot 10^{42}$	64%
J013352+220125	$(2.5 \pm 0.3) \cdot 10^{43}$	12%
J013553+215816	$(2.2 \pm 0.2) \cdot 10^{44}$	9%
J014235+215731	$(1.1 \pm 0.08) \cdot 10^{44}$	7%
J015218+220707	$(2.2 \pm 0.1) \cdot 10^{44}$	5%
J015641+215651	$(3.1 \pm 1.5) \cdot 10^{42}$	48%
J020434+215328	$(1.1 \pm 0.3) \cdot 10^{42}$	27%
J022110+215551	$(1.7 \pm 0.8) \cdot 10^{42}$	47%
J022754+215451	$(7.4 \pm 3.0) \cdot 10^{40}$	41%
J023001+215304	$(3.0 \pm 1.4) \cdot 10^{42}$	47%
J023004+215909	$(2.4 \pm 0.3) \cdot 10^{42}$	13%
J023349+215317	$(1.0 \pm 0.4) \cdot 10^{42}$	40%
J041913+220304	$(8.2 \pm 2.1) \cdot 10^{42}$	26%
J042211+220241	$(5.4 \pm 1.2) \cdot 10^{42}$	22%
J043856+215157	$(1.0 \pm 2.1) \cdot 10^{42}$	210%
J045004+215814	$(3.8 \pm 2.4) \cdot 10^{41}$	63%
J072319+220100	$(2.7 \pm 0.1) \cdot 10^{40}$	4%
J072351+220241	$(6.8 \pm 0.3) \cdot 10^{40}$	4%
J072614+215319	$(1.1 \pm 0.1) \cdot 10^{44}$	9%
J072820+215306	$(1.9 \pm 0.2) \cdot 10^{45}$	11%
J081212+220024	$(9.2 \pm 0.9) \cdot 10^{42}$	10%
J085037+220615	$(2.9 \pm 0.3) \cdot 10^{43}$	10%
J090614+220010	$(7.3 \pm 0.5) \cdot 10^{42}$	7%

J091224+220506	$(2.6 \pm 0.3) \cdot 10^{43}$	12%
J091914+220519	$(8.7 \pm 0.6) \cdot 10^{43}$	7%
J092045+220433	$(4.4 \pm 4.4) \cdot 10^{39}$	100%
J092601+220136	$(5.7 \pm 0.9) \cdot 10^{42}$	16%
J094736+220136	$(1.6 \pm 1.0) \cdot 10^{42}$	63%
J094836+220053	$(9.9 \pm 0.7) \cdot 10^{42}$	7%
J101401+215825	$(8.6 \pm 6.4) \cdot 10^{41}$	74%
J102016+220940	$(7.3 \pm 0.5) \cdot 10^{41}$	7%
J102154+215930	$(5.6 \pm 2.1) \cdot 10^{43}$	38%
J102408+220347	$(1.6 \pm 1.8) \cdot 10^{42}$	120%
J103633+220312	$(1.2 \pm 0.1) \cdot 10^{43}$	8%
J103943+215743	$(1.1 \pm 0.06) \cdot 10^{43}$	5%
J104254+220127	$(3.7 \pm 0.6) \cdot 10^{42}$	16%
J104702+221033	$(9.3 \pm 18.8) \cdot 10^{39}$	202%
J105430+221055	$(1.1 \pm 0.2) \cdot 10^{44}$	18%
J110025+220156	$(2.1 \pm 0.4) \cdot 10^{42}$	19%
J112829+220729	$(7.2 \pm 2.1) \cdot 10^{42}$	29%
J113033+215728	$(6.0 \pm 0.4) \cdot 10^{42}$	7%
J114325+220656	$(1.4 \pm 0.04) \cdot 10^{44}$	3%
J114417+220752	$(2.8 \pm 0.2) \cdot 10^{42}$	7%
J114821+220825	$(1.1 \pm 0.4) \cdot 10^{43}$	36%
J115311+220654	$(9.4 \pm 5.0) \cdot 10^{41}$	53%
J121156+220455	$(3.0 \pm 2.1) \cdot 10^{40}$	70%
J125433+221103	$(2.0 \pm 0.2) \cdot 10^{42}$	10%
J130253+220758	$(4.1 \pm 2.9) \cdot 10^{41}$	71%
J130651+221119	$(2.4 \pm 2.4) \cdot 10^{42}$	100%
J131128+220306	$(7.3 \pm 4.3) \cdot 10^{41}$	59%
J132700+221050	$(1.9 \pm 0.1) \cdot 10^{44}$	5%
J132749+220503	$(3.1 \pm 0.2) \cdot 10^{43}$	6%
J133212+220549	$(2.2 \pm 0.4) \cdot 10^{42}$	18%
J133928+220822	$(3.6 \pm 0.4) \cdot 10^{43}$	11%
J135116+221110	$(2.7 \pm 0.3) \cdot 10^{43}$	11%
J135313+220540	$(1.2 \pm 0.9) \cdot 10^{42}$	75%
J140808+220155	$(3.3 \pm 1.2) \cdot 10^{42}$	36%

J141242+215939	$(1.7 \pm 0.8) \cdot 10^{42}$	47%
J141351+220647	$(4.7 \pm 4.2) \cdot 10^{41}$	89%
J141726+220539	$(2.8 \pm 0.6) \cdot 10^{42}$	21%
J143106+220505	$(2.4 \pm 0.6) \cdot 10^{42}$	25%
J144057+220142	$(2.4 \pm 1.5) \cdot 10^{40}$	63%
J150123+221122	$(5.5 \pm 2.1) \cdot 10^{42}$	38%
J151105+220806	$(1.3 \pm 0.8) \cdot 10^{43}$	62%
J151319+220255	$(6.0 \pm 2.4) \cdot 10^{42}$	40%
J151830+220313	$(3.6 \pm 1.3) \cdot 10^{42}$	36%
J153652+220207	$(1.9 \pm 0.3) \cdot 10^{41}$	16%
J154535+220400	$(1.5 \pm 0.7) \cdot 10^{41}$	47%
J154631+215741	$(1.8 \pm 0.1) \cdot 10^{43}$	6%
J155354+215927	$(2.4 \pm 0.1) \cdot 10^{43}$	4%
J155630+220729	$(4.6 \pm 1.9) \cdot 10^{42}$	41%
J155644+220658	$(8.4 \pm 1.9) \cdot 10^{42}$	23%
J160203+220931	$(4.9 \pm 3.0) \cdot 10^{42}$	61%
J160317+215841	$(4.0 \pm 1.6) \cdot 10^{42}$	40%
J161423+220020	$(7.7 \pm 1.7) \cdot 10^{42}$	22%
J161759+220136	$(4.4 \pm 3.6) \cdot 10^{41}$	82%
J161847+215921	$(5.7 \pm 0.5) \cdot 10^{41}$	9%
J162110+215739	$(2.8 \pm 1.9) \cdot 10^{42}$	68%
J164255+221226	$(1.6 \pm 0.4) \cdot 10^{43}$	25%
J164439+220214	$(3.6 \pm 0.2) \cdot 10^{42}$	6%
J164631+215857	$(7.3 \pm 0.5) \cdot 10^{41}$	7%
J170251+220532	$(2.1 \pm 0.5) \cdot 10^{42}$	24%
J170744+220049	$(1.5 \pm 0.2) \cdot 10^{43}$	13%
J171332+215557	$(6.7 \pm 0.5) \cdot 10^{43}$	7%
J171611+215214	$(4.5 \pm 0.3) \cdot 10^{44}$	7%
J172003+215847	$(4.6 \pm 7.2) \cdot 10^{41}$	157%
J174005+221100	$(7.2 \pm 1.0) \cdot 10^{43}$	14%
J180738+220456	$(9.6 \pm 0.6) \cdot 10^{42}$	6%
J183118+220012	$(3.5 \pm 0.2) \cdot 10^{43}$	6%
J203307+215905	$(1.5 \pm 0.1) \cdot 10^{44}$	7%
J203934+215209	$(3.0 \pm 0.1) \cdot 10^{44}$	3%

J210908+215502	$(1.3 \pm 0.07) \cdot 10^{44}$	5%
J213735+215738	$(2.1 \pm 1.1) \cdot 10^{41}$	52%
J221213+215521	$(2.5 \pm 0.5) \cdot 10^{42}$	20%
J222059+215222	$(5.7 \pm 2.5) \cdot 10^{41}$	44%
J223659+215318	$(9.3 \pm 1.5) \cdot 10^{41}$	16%
J224128+220019	$(2.0 \pm 0.9) \cdot 10^{42}$	45%
J225825+215251	$(1.5 \pm 0.9) \cdot 10^{42}$	60%
J231559+215435	$(1.5 \pm 0.1) \cdot 10^{43}$	7%
J232439+215548	$(1.5 \pm 1.3) \cdot 10^{42}$	87%
J233724+215847	$(5.6 \pm 0.6) \cdot 10^{43}$	11%
J234025+215509	$(6.8 \pm 0.6) \cdot 10^{41}$	9%
J234516+215141	$(4.3 \pm 0.3) \cdot 10^{42}$	7%
J235240+215735	$(6.3 \pm 1.6) \cdot 10^{42}$	25%
J235913+215732	$(3.3 \pm 0.3) \cdot 10^{42}$	9%

Таблица В.5 — Ежедневные измерения плотности потока блазара АО 0235+164 на Западном секторе РАТАН-600 в 2021–2022 годах. MJD – эпоха наблюдений, уууу.мм.дд – дата наблюдений, $S_{4.7}$, $\sigma S_{4.7}$ – измеренная плотность потока на 4.7 ГГц и ошибка измерений, $S_{2.3}$, $\sigma S_{2.3}$ – измеренная плотность потока на 2.3 ГГц и ошибка измерений

MJD epoch	уууу.мм.дд	S_5 , σS_5 Jy	S_2 , σS_2 Jy
(1)	(2)	(3)	(4)
59364	2021.05.29	2.49 ± 0.01	–
59365	2021.05.30	2.50 ± 0.03	1.53 ± 0.08
59366	2021.05.31	2.60 ± 0.04	–
59367	2021.06.01	2.58 ± 0.04	–
59368	2021.06.02	2.50 ± 0.05	1.46 ± 0.06
59369	2021.06.03	2.51 ± 0.01	–
59370	2021.06.04	2.46 ± 0.03	–
59371	2021.06.05	2.28 ± 0.05	1.42 ± 0.06
59372	2021.06.06	2.44 ± 0.04	–
59373	2021.06.07	2.60 ± 0.03	–
59374	2021.06.08	2.54 ± 0.04	1.42 ± 0.06

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59375	2021.06.09	2.46 ± 0.28	—
59376	2021.06.10	2.37 ± 0.03	—
59377	2021.06.11	2.30 ± 0.09	1.40 ± 0.05
59378	2021.06.12	2.27 ± 0.09	—
59379	2021.06.13	2.14 ± 0.09	—
59380	2021.06.14	2.21 ± 0.09	1.46 ± 0.05
59381	2021.06.15	2.16 ± 0.12	—
59382	2021.06.16	2.21 ± 0.10	—
59383	2021.06.17	2.27 ± 0.09	1.41 ± 0.05
59384	2021.06.18	2.16 ± 0.11	—
59385	2021.06.19	2.12 ± 0.10	—
59386	2021.06.20	2.17 ± 0.11	1.40 ± 0.05
59387	2021.06.21	1.96 ± 0.13	—
59388	2021.06.22	2.11 ± 0.10	—
59389	2021.06.23	1.99 ± 0.11	1.46 ± 0.05
59390	2021.06.24	1.93 ± 0.14	—
59391	2021.06.25	1.95 ± 0.10	—
59392	2021.06.26	2.03 ± 0.08	1.29 ± 0.05
59393	2021.06.27	1.89 ± 0.11	—
59394	2021.06.28	1.88 ± 0.07	—
59395	2021.06.29	1.66 ± 0.10	1.31 ± 0.05
59396	2021.06.30	1.82 ± 0.12	—
59397	2021.07.01	1.92 ± 0.10	—
59398	2021.07.02	1.86 ± 0.12	1.40 ± 0.05
59399	2021.07.03	1.78 ± 0.11	—
59400	2021.07.04	1.76 ± 0.09	—
59401	2021.07.05	2.01 ± 0.02	1.23 ± 0.06
59402	2021.07.06	2.04 ± 0.04	—
59403	2021.07.07	1.93 ± 0.02	—
59404	2021.07.08	1.81 ± 0.09	1.23 ± 0.05
59405	2021.07.09	1.73 ± 0.09	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59406	2021.07.10	1.70 ± 0.08	—
59407	2021.07.11	1.74 ± 0.11	1.25 ± 0.05
59408	2021.07.12	1.73 ± 0.09	—
59409	2021.07.13	1.72 ± 0.10	—
59410	2021.07.14	1.76 ± 0.07	1.24 ± 0.05
59411	2021.07.15	1.66 ± 0.10	—
59412	2021.07.16	1.69 ± 0.13	—
59413	2021.07.17	1.56 ± 0.13	1.31 ± 0.05
59414	2021.07.18	1.61 ± 0.12	—
59415	2021.07.19	1.61 ± 0.15	—
59416	2021.07.20	1.53 ± 0.14	1.25 ± 0.05
59417	2021.07.21	1.44 ± 0.15	—
59418	2021.07.22	1.44 ± 0.18	—
59419	2021.07.23	1.53 ± 0.21	1.19 ± 0.05
59420	2021.07.24	1.45 ± 0.17	—
59421	2021.07.25	1.41 ± 0.18	—
59422	2021.07.26	1.32 ± 0.19	1.17 ± 0.06
59423	2021.07.27	1.33 ± 0.10	—
59424	2021.07.28	1.33 ± 0.17	—
59425	2021.07.29	1.31 ± 0.18	1.14 ± 0.05
59426	2021.07.30	1.29 ± 0.18	—
59427	2021.07.31	1.33 ± 0.19	—
59428	2021.08.01	1.38 ± 0.17	1.10 ± 0.05
59429	2021.08.02	1.38 ± 0.19	—
59430	2021.08.03	1.46 ± 0.03	—
59431	2021.08.04	1.77 ± 0.05	1.11 ± 0.06
59432	2021.08.05	1.59 ± 0.02	—
59433	2021.08.06	1.67 ± 0.01	—
59434	2021.08.07	1.63 ± 0.03	1.16 ± 0.05
59435	2021.08.08	1.63 ± 0.05	—
59436	2021.08.09	1.52 ± 0.02	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59437	2021.08.10	1.52 ± 0.02	1.15 ± 0.05
59439	2021.08.12	1.54 ± 0.01	—
59440	2021.08.13	1.53 ± 0.02	1.15 ± 0.05
59441	2021.08.14	1.53 ± 0.02	—
59442	2021.08.15	1.50 ± 0.02	—
59443	2021.08.16	1.56 ± 0.01	1.17 ± 0.05
59444	2021.08.17	1.52 ± 0.03	—
59446	2021.08.19	—	1.22 ± 0.05
59447	2021.08.20	1.53 ± 0.01	—
59448	2021.08.21	1.51 ± 0.01	—
59449	2021.08.22	1.58 ± 0.02	1.23 ± 0.05
59450	2021.08.23	1.50 ± 0.02	—
59451	2021.08.24	1.52 ± 0.02	—
59452	2021.08.25	1.58 ± 0.03	1.27 ± 0.05
59453	2021.08.26	1.49 ± 0.01	—
59454	2021.08.27	1.49 ± 0.03	—
59455	2021.08.28	1.53 ± 0.02	1.24 ± 0.06
59456	2021.08.29	1.53 ± 0.03	—
59457	2021.08.30	1.48 ± 0.01	—
59458	2021.08.31	1.40 ± 0.03	1.21 ± 0.05
59459	2021.09.01	1.48 ± 0.01	—
59460	2021.09.02	1.51 ± 0.02	—
59461	2021.09.03	1.46 ± 0.03	1.19 ± 0.05
59462	2021.09.04	1.44 ± 0.01	—
59463	2021.09.05	1.40 ± 0.01	—
59464	2021.09.06	1.49 ± 0.01	1.12 ± 0.05
59465	2021.09.07	1.37 ± 0.02	—
59466	2021.09.08	1.33 ± 0.01	—
59467	2021.09.09	1.37 ± 0.01	1.12 ± 0.06
59468	2021.09.10	1.38 ± 0.01	—
59469	2021.09.11	1.38 ± 0.04	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59470	2021.09.12	1.41 ± 0.01	1.14± 0.06
59471	2021.09.13	1.37 ± 0.01	—
59472	2021.09.14	1.41 ± 0.02	—
59473	2021.09.15	1.35 ± 0.01	1.16± 0.05
59474	2021.09.16	1.40 ± 0.02	—
59475	2021.09.17	1.39 ± 0.02	—
59476	2021.09.18	1.39 ± 0.01	1.17± 0.06
59477	2021.09.19	1.40 ± 0.01	—
59478	2021.09.20	1.39 ± 0.01	—
59479	2021.09.21	1.42 ± 0.01	1.15± 0.05
59480	2021.09.22	1.55 ± 0.06	—
59481	2021.09.23	1.47 ± 0.02	—
59482	2021.09.24	1.45 ± 0.01	1.14± 0.06
59483	2021.09.25	1.46 ± 0.02	—
59484	2021.09.26	1.37 ± 0.01	—
59485	2021.09.27	1.47 ± 0.03	1.20± 0.05
59486	2021.09.28	1.42 ± 0.00	—
59487	2021.09.29	1.41 ± 0.02	—
59488	2021.09.30	1.41 ± 0.01	1.21± 0.05
59489	2021.10.01	1.42 ± 0.02	—
59490	2021.10.02	1.42 ± 0.01	—
59491	2021.10.03	1.40 ± 0.03	1.17± 0.05
59492	2021.10.04	1.41 ± 0.01	—
59493	2021.10.05	1.45 ± 0.01	—
59494	2021.10.06	1.44 ± 0.01	1.09± 0.06
59495	2021.10.07	1.38 ± 0.01	—
59496	2021.10.08	1.43 ± 0.01	—
59497	2021.10.09	1.43 ± 0.01	1.07± 0.05
59498	2021.10.10	1.40 ± 0.01	—
59499	2021.10.11	1.41 ± 0.01	—
59500	2021.10.12	1.41 ± 0.02	1.10± 0.05

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59501	2021.10.13	1.42 ± 0.01	—
59502	2021.10.14	1.43 ± 0.00	—
59503	2021.10.15	1.38 ± 0.01	1.17 ± 0.06
59504	2021.10.16	1.42 ± 0.01	—
59505	2021.10.17	1.28 ± 0.07	—
59506	2021.10.18	1.35 ± 0.01	1.15 ± 0.06
59507	2021.10.19	1.33 ± 0.04	—
59508	2021.10.20	1.40 ± 0.02	—
59509	2021.10.21	1.34 ± 0.02	1.06 ± 0.06
59510	2021.10.22	1.37 ± 0.01	—
59511	2021.10.23	1.34 ± 0.01	—
59512	2021.10.24	1.46 ± 0.03	1.08 ± 0.05
59513	2021.10.25	1.40 ± 0.02	—
59514	2021.10.26	1.38 ± 0.03	—
59515	2021.10.27	1.43 ± 0.02	1.09 ± 0.06
59516	2021.10.28	1.43 ± 0.02	—
59517	2021.10.29	1.44 ± 0.02	—
59518	2021.10.30	1.42 ± 0.02	1.14 ± 0.06
59519	2021.10.31	1.45 ± 0.02	—
59520	2021.11.01	1.43 ± 0.01	—
59521	2021.11.02	1.41 ± 0.01	1.13 ± 0.05
59522	2021.11.03	1.44 ± 0.01	—
59523	2021.11.04	1.42 ± 0.02	—
59524	2021.11.05	1.41 ± 0.02	1.13 ± 0.05
59525	2021.11.06	1.43 ± 0.01	—
59526	2021.11.07	1.43 ± 0.01	—
59527	2021.11.08	1.48 ± 0.02	1.17 ± 0.06
59528	2021.11.09	1.39 ± 0.01	—
59529	2021.11.10	1.47 ± 0.02	—
59530	2021.11.11	1.46 ± 0.02	1.14 ± 0.05
59531	2021.11.12	1.47 ± 0.01	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59532	2021.11.13	1.42 ± 0.02	—
59533	2021.11.14	1.47 ± 0.02	1.17 ± 0.08
59534	2021.11.15	1.52 ± 0.01	—
59535	2021.11.16	1.45 ± 0.01	—
59536	2021.11.17	1.52 ± 0.02	1.19 ± 0.06
59537	2021.11.18	1.52 ± 0.02	—
59538	2021.11.19	1.55 ± 0.03	—
59539	2021.11.20	1.53 ± 0.02	1.16 ± 0.05
59540	2021.11.21	1.48 ± 0.02	—
59541	2021.11.22	1.47 ± 0.02	—
59542	2021.11.23	1.58 ± 0.05	1.20 ± 0.06
59543	2021.11.24	1.56 ± 0.02	—
59544	2021.11.25	1.52 ± 0.03	—
59545	2021.11.26	1.55 ± 0.02	1.13 ± 0.05
59546	2021.11.27	1.67 ± 0.05	—
59547	2021.11.28	1.58 ± 0.02	—
59548	2021.11.29	1.82 ± 0.09	1.18 ± 0.06
59549	2021.11.30	1.74 ± 0.07	—
59550	2021.12.01	1.66 ± 0.03	—
59551	2021.12.02	1.60 ± 0.03	1.19 ± 0.06
59552	2021.12.03	1.55 ± 0.02	—
59553	2021.12.04	1.52 ± 0.02	—
59554	2021.12.05	1.58 ± 0.01	1.18 ± 0.06
59555	2021.12.06	1.56 ± 0.01	—
59556	2021.12.07	1.55 ± 0.02	—
59557	2021.12.08	1.63 ± 0.02	1.17 ± 0.06
59558	2021.12.09	1.66 ± 0.02	—
59559	2021.12.10	1.62 ± 0.01	—
59560	2021.12.11	1.62 ± 0.02	1.21 ± 0.05
59561	2021.12.12	1.66 ± 0.03	—
59562	2021.12.13	1.66 ± 0.01	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59563	2021.12.14	1.66 ± 0.01	1.30 ± 0.05
59564	2021.12.15	1.55 ± 0.01	—
59565	2021.12.16	1.59 ± 0.02	—
59566	2021.12.17	1.56 ± 0.03	1.33 ± 0.05
59567	2021.12.18	1.58 ± 0.02	—
59568	2021.12.19	1.61 ± 0.02	—
59569	2021.12.20	1.62 ± 0.03	1.22 ± 0.05
59570	2021.12.21	1.54 ± 0.03	—
59571	2021.12.22	1.43 ± 0.03	—
59572	2021.12.23	1.44 ± 0.04	1.23 ± 0.06
59573	2021.12.24	1.45 ± 0.02	—
59574	2021.12.25	1.58 ± 0.05	—
59575	2021.12.26	1.56 ± 0.04	1.19 ± 0.05
59576	2021.12.27	1.58 ± 0.01	—
59577	2021.12.28	1.52 ± 0.02	—
59578	2021.12.29	1.47 ± 0.03	1.24 ± 0.06
59579	2021.12.30	1.49 ± 0.02	—
59580	2021.12.31	1.40 ± 0.02	—
59581	2022.01.01	1.45 ± 0.02	1.21 ± 0.05
59582	2022.01.02	1.60 ± 0.05	—
59583	2022.01.03	1.49 ± 0.05	—
59584	2022.01.04	1.51 ± 0.01	1.16 ± 0.05
59585	2022.01.05	1.44 ± 0.04	—
59586	2022.01.06	1.49 ± 0.04	—
59587	2022.01.07	1.45 ± 0.03	1.13 ± 0.05
59588	2022.01.08	1.41 ± 0.01	—
59589	2022.01.09	1.39 ± 0.02	—
59590	2022.01.10	1.46 ± 0.03	1.12 ± 0.05
59591	2022.01.11	1.33 ± 0.02	—
59592	2022.01.12	1.32 ± 0.01	—
59593	2022.01.13	1.46 ± 0.04	1.11 ± 0.05

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59594	2022.01.14	1.46 ± 0.02	—
59595	2022.01.15	1.54 ± 0.03	—
59596	2022.01.16	1.42 ± 0.03	1.11 ± 0.06
59597	2022.01.17	1.42 ± 0.02	—
59598	2022.01.18	1.37 ± 0.04	—
59599	2022.01.19	1.42 ± 0.01	1.09 ± 0.06
59600	2022.01.20	1.35 ± 0.01	—
59601	2022.01.21	1.41 ± 0.02	—
59602	2022.01.22	1.35 ± 0.01	1.11 ± 0.06
59603	2022.01.23	1.43 ± 0.01	—
59604	2022.01.24	1.37 ± 0.01	—
59605	2022.01.25	1.39 ± 0.02	1.08 ± 0.06
59606	2022.01.26	1.34 ± 0.00	—
59607	2022.01.27	1.42 ± 0.02	—
59608	2022.01.28	1.43 ± 0.02	1.08 ± 0.05
59609	2022.01.29	1.45 ± 0.03	—
59610	2022.01.30	1.45 ± 0.01	—
59611	2022.01.31	1.44 ± 0.02	1.13 ± 0.06
59612	2022.02.01	1.52 ± 0.02	—
59613	2022.02.02	1.60 ± 0.02	—
59614	2022.02.03	1.53 ± 0.01	1.18 ± 0.05
59615	2022.02.04	1.44 ± 0.02	—
59616	2022.02.05	1.51 ± 0.01	—
59617	2022.02.06	1.55 ± 0.02	1.22 ± 0.05
59618	2022.02.07	1.55 ± 0.03	—
59619	2022.02.08	1.59 ± 0.01	—
59620	2022.02.09	1.48 ± 0.01	1.12 ± 0.05
59621	2022.02.10	1.49 ± 0.02	—
59622	2022.02.11	1.58 ± 0.02	—
59623	2022.02.12	1.62 ± 0.02	1.17 ± 0.05
59624	2022.02.13	1.48 ± 0.01	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59625	2022.02.14	1.62 ± 0.01	—
59626	2022.02.15	1.65 ± 0.02	1.25 ± 0.06
59627	2022.02.16	1.65 ± 0.00	—
59628	2022.02.17	1.74 ± 0.02	—
59629	2022.02.18	1.84 ± 0.02	1.26 ± 0.06
59630	2022.02.19	1.70 ± 0.01	—
59631	2022.02.20	1.66 ± 0.02	—
59632	2022.02.21	1.52 ± 0.01	1.23 ± 0.05
59633	2022.02.22	1.71 ± 0.02	—
59634	2022.02.23	1.60 ± 0.01	—
59635	2022.02.24	1.75 ± 0.01	1.22 ± 0.05
59636	2022.02.25	1.65 ± 0.01	—
59637	2022.02.26	1.67 ± 0.02	—
59638	2022.02.27	1.62 ± 0.01	1.27 ± 0.05
59639	2022.02.28	1.65 ± 0.03	—
59640	2022.03.01	1.72 ± 0.02	—
59641	2022.03.02	1.65 ± 0.01	1.32 ± 0.05
59642	2022.03.03	1.77 ± 0.01	—
59643	2022.03.04	1.78 ± 0.01	—
59644	2022.03.05	1.89 ± 0.03	1.41 ± 0.06
59645	2022.03.06	1.71 ± 0.04	—
59646	2022.03.07	1.94 ± 0.04	—
59647	2022.03.08	1.91 ± 0.02	1.32 ± 0.06
59648	2022.03.09	1.71 ± 0.03	—
59649	2022.03.10	1.81 ± 0.01	—
59650	2022.03.11	1.73 ± 0.03	1.27 ± 0.06
59651	2022.03.12	1.86 ± 0.02	—
59652	2022.03.13	1.88 ± 0.02	—
59653	2022.03.14	1.86 ± 0.01	1.39 ± 0.07
59654	2022.03.15	1.93 ± 0.03	—
59655	2022.03.16	1.98 ± 0.05	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59656	2022.03.17	1.82 ± 0.02	1.35 ± 0.05
59657	2022.03.18	1.80 ± 0.02	—
59658	2022.03.19	1.85 ± 0.03	—
59659	2022.03.20	1.78 ± 0.02	1.30 ± 0.05
59660	2022.03.21	1.85 ± 0.03	—
59661	2022.03.22	1.88 ± 0.03	—
59662	2022.03.23	1.78 ± 0.02	1.27 ± 0.06
59663	2022.03.24	1.87 ± 0.01	—
59664	2022.03.25	1.87 ± 0.01	—
59665	2022.03.26	1.82 ± 0.03	1.36 ± 0.05
59666	2022.03.27	1.96 ± 0.05	—
59667	2022.03.28	1.95 ± 0.01	—
59668	2022.03.29	1.91 ± 0.02	1.41 ± 0.06
59669	2022.03.30	1.86 ± 0.03	—
59670	2022.03.31	1.94 ± 0.04	—
59671	2022.04.01	1.99 ± 0.04	1.43 ± 0.07
59672	2022.04.02	1.88 ± 0.03	—
59673	2022.04.03	1.90 ± 0.05	—
59674	2022.04.04	1.80 ± 0.03	1.41 ± 0.05
59675	2022.04.05	1.93 ± 0.04	—
59676	2022.04.06	1.91 ± 0.04	—
59677	2022.04.07	1.82 ± 0.04	1.42 ± 0.05
59678	2022.04.08	1.88 ± 0.06	—
59679	2022.04.09	1.74 ± 0.05	—
59680	2022.04.10	1.83 ± 0.05	—
59681	2022.04.11	1.83 ± 0.04	—
59683	2022.04.13	1.72 ± 0.02	—
59684	2022.04.14	1.85 ± 0.06	—
59685	2022.04.15	1.82 ± 0.03	—
59686	2022.04.16	1.68 ± 0.05	—
59687	2022.04.17	1.83 ± 0.05	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59688	2022.04.18	1.82 ± 0.05	—
59689	2022.04.19	1.71 ± 0.02	—
59690	2022.04.20	1.82 ± 0.09	—
59691	2022.04.21	1.70 ± 0.03	—
59692	2022.04.22	1.70 ± 0.04	—
59693	2022.04.23	1.71 ± 0.03	—
59694	2022.04.24	1.74 ± 0.03	—
59695	2022.04.25	1.68 ± 0.02	—
59696	2022.04.26	1.70 ± 0.05	—
59697	2022.04.27	1.73 ± 0.07	—
59698	2022.04.28	1.70 ± 0.04	1.46 ± 0.05
59699	2022.04.29	1.77 ± 0.09	—
59700	2022.04.30	1.69 ± 0.07	—
59701	2022.05.01	—	1.46 ± 0.05
59702	2022.05.02	1.70 ± 0.05	—
59703	2022.05.03	1.61 ± 0.07	—
59703	2022.05.03	1.61 ± 0.07	—
59704	2022.05.04	—	1.46 ± 0.05
59705	2022.05.05	1.46 ± 0.07	—
59706	2022.05.06	1.78 ± 0.06	—
59707	2022.05.07	1.39 ± 0.07	1.36 ± 0.05
59708	2022.05.08	1.43 ± 0.06	—
59709	2022.05.09	1.56 ± 0.06	—
59710	2022.05.10	1.41 ± 0.05	1.36 ± 0.05
59711	2022.05.11	1.54 ± 0.04	—
59712	2022.05.12	1.60 ± 0.05	—
59713	2022.05.13	1.58 ± 0.04	1.35 ± 0.05
59714	2022.05.14	1.59 ± 0.03	—
59715	2022.05.15	1.47 ± 0.03	—
59716	2022.05.16	1.56 ± 0.02	1.33 ± 0.06
59717	2022.05.17	1.69 ± 0.04	—

Таблица В.5 — Продолжение

MJD epoch	yyyy.mm.dd	$S_5, \sigma S_5$ Jy	$S_2, \sigma S_2$ Jy
59718	2022.05.18	1.59 ± 0.02	—
59719	2022.05.19	1.56 ± 0.03	1.33 ± 0.05
59720	2022.05.20	1.54 ± 0.04	—
59721	2022.05.21	1.64 ± 0.03	—
59722	2022.05.22	1.63 ± 0.02	1.29 ± 0.06
59723	2022.05.23	1.65 ± 0.02	—
59724	2022.05.24	1.55 ± 0.02	—
59725	2022.05.25	1.56 ± 0.06	1.24 ± 0.05
59726	2022.05.26	1.63 ± 0.02	—
59727	2022.05.27	1.65 ± 0.03	—
59728	2022.05.28	1.66 ± 0.02	1.24 ± 0.06
59729	2022.05.29	1.69 ± 0.01	—
59730	2022.05.30	1.68 ± 0.02	—
59731	2022.05.31	1.75 ± 0.03	1.34 ± 0.06
59732	2022.06.01	1.77 ± 0.01	—
59733	2022.06.02	1.68 ± 0.01	—
59734	2022.06.03	1.66 ± 0.01	1.33 ± 0.06
59735	2022.06.04	1.62 ± 0.01	—
59736	2022.06.05	1.68 ± 0.01	—
59737	2022.06.06	1.69 ± 0.04	1.39 ± 0.05
59738	2022.06.07	1.68 ± 0.02	—
59739	2022.06.08	1.78 ± 0.03	—

Таблица В.6 — Усредненные за три дня измерения плотности потока на 4.7 ГГц блазара PKS 1614+051 в 2019–2020 гг.: Дата в формате уууу.мм.дд, средняя модифицированная юлианская дата MJD, значение плотности потока на 4.7 ГГц и его ошибка, Ян

Date уууу.мм.дд	Date MJD	$S_{4.7} \pm \sigma$ Ян
(1)	(2)	(3)
2019.06.01	58636	1.18 ± 0.08
2019.06.04	58639	1.15 ± 0.01
2019.06.08	58643	1.13 ± 0.01
2019.06.11	58646	1.16 ± 0.02
2019.06.16	58651	1.14 ± 0.02
2019.06.21	58656	1.12 ± 0.02
2019.06.24	58659	1.13 ± 0.01
2019.06.27	58662	1.10 ± 0.03
2019.06.30	58665	1.12 ± 0.01
2019.07.03	58668	1.14 ± 0.03
2019.07.06	58671	1.10 ± 0.01
2019.07.10	58675	1.14 ± 0.01
2019.07.14	58679	1.11 ± 0.01
2019.07.18	58683	1.10 ± 0.02
2019.07.21	58686	1.14 ± 0.02
2019.07.24	58689	1.11 ± 0.03
2019.07.27	58692	1.13 ± 0.03
2019.07.31	58696	1.13 ± 0.01
2019.08.03	58699	1.13 ± 0.03
2019.08.06	58702	1.13 ± 0.01
2019.08.10	58706	1.12 ± 0.01
2019.08.14	58710	1.13 ± 0.02
2019.08.19	58715	1.14 ± 0.02
2019.08.22	58718	1.14 ± 0.01
2019.08.25	58721	1.12 ± 0.02
2019.08.29	58725	1.11 ± 0.04
2019.09.01	58728	1.14 ± 0.01

Таблица В.6 — Продолжение

Date уууу.мм.дд	Date MJD	$S_5 \pm \sigma$ Ян
(1)	(2)	(3)
2019.09.04	58731	1.10 ± 0.02
2019.09.08	58735	1.12 ± 0.01
2019.09.11	58738	1.14 ± 0.01
2019.09.15	58742	1.13 ± 0.03
2019.09.18	58745	1.11 ± 0.03
2019.09.21	58748	1.14 ± 0.01
2019.09.24	58751	1.14 ± 0.01
2019.09.27	58754	1.11 ± 0.01
2019.10.01	58758	1.13 ± 0.01
2019.10.04	58761	1.13 ± 0.02
2019.10.08	58765	1.11 ± 0.01
2019.10.11	58768	1.13 ± 0.02
2019.10.14	58771	1.11 ± 0.01
2019.10.17	58774	1.13 ± 0.02
2019.10.21	58778	1.10 ± 0.01
2019.10.24	58781	1.10 ± 0.01
2019.10.27	58784	1.10 ± 0.02
2019.10.30	58787	1.11 ± 0.01
2019.11.02	58790	1.11 ± 0.01
2019.11.05	58793	1.12 ± 0.02
2019.11.08	58796	1.12 ± 0.01
2019.11.11	58799	1.11 ± 0.01
2019.11.14	58802	1.09 ± 0.02
2019.11.18	58806	1.11 ± 0.01
2019.11.22	58810	1.09 ± 0.03
2019.11.25	58813	1.10 ± 0.01
2019.11.28	58816	1.10 ± 0.02
2019.12.01	58819	1.10 ± 0.01
2019.12.05	58823	1.10 ± 0.02
2019.12.08	58826	1.08 ± 0.01

Таблица В.6 — Продолжение

Date уууу.мм.дд	Date MJD	$S_5 \pm \sigma$ Ян
(1)	(2)	(3)
2019.12.11	58829	1.07 ± 0.01
2019.12.14	58832	1.07 ± 0.01
2019.12.17	58835	1.09 ± 0.01
2019.12.20	58838	1.07 ± 0.01
2019.12.23	58841	1.07 ± 0.02
2019.12.27	58845	1.05 ± 0.02
2019.12.30	58848	1.07 ± 0.01
2020.01.02	58851	1.08 ± 0.01
2020.01.05	58854	1.05 ± 0.01
2020.01.08	58857	1.06 ± 0.01
2020.01.11	58860	1.08 ± 0.01
2020.01.14	58863	1.05 ± 0.01
2020.01.17	58866	1.05 ± 0.01
2020.01.20	58869	1.09 ± 0.01
2020.01.23	58872	1.08 ± 0.01
2020.01.26	58875	1.06 ± 0.01
2020.01.29	58878	1.08 ± 0.01
2020.02.01	58881	1.06 ± 0.01
2020.02.04	58884	1.08 ± 0.01
2020.02.07	58887	1.09 ± 0.02
2020.02.10	58890	1.06 ± 0.01
2020.02.14	58894	1.05 ± 0.01
2020.02.17	58897	1.07 ± 0.01
2020.02.20	58900	1.06 ± 0.01
2020.02.24	58904	1.05 ± 0.01
2020.02.27	58907	1.05 ± 0.02
2020.03.01	58910	1.05 ± 0.01
2020.03.04	58913	1.07 ± 0.01
2020.03.07	58916	1.07 ± 0.01
2020.03.11	58920	1.06 ± 0.01

Таблица В.6 — Продолжение

Date уууу.мм.дд	Date MJD	$S_5 \pm \sigma$ Ян
(1)	(2)	(3)
2020.03.14	58923	1.04 ± 0.01
2020.03.17	58926	1.05 ± 0.01
2020.03.20	58929	1.08 ± 0.01
2020.03.23	58932	1.09 ± 0.01
2020.03.26	58935	1.07 ± 0.01
2020.03.30	58939	1.09 ± 0.01
2020.04.04	58944	1.07 ± 0.01
2020.04.07	58947	1.08 ± 0.01
2020.04.10	58950	1.05 ± 0.01
2020.04.14	58954	1.07 ± 0.01
2020.04.18	58958	1.07 ± 0.02
2020.04.21	58961	1.07 ± 0.01
2020.04.24	58964	1.08 ± 0.01
2020.04.27	58967	1.06 ± 0.02
2020.05.01	58971	1.10 ± 0.01
2020.05.04	58974	1.07 ± 0.01
2020.05.07	58977	1.06 ± 0.03
2020.05.10	58980	1.07 ± 0.01
2020.05.13	58983	1.10 ± 0.02
2020.05.17	58987	1.07 ± 0.01
2020.05.20	58990	1.09 ± 0.01
2020.05.23	58993	1.06 ± 0.01
2020.05.26	58996	1.06 ± 0.01
2020.06.01	59002	1.09 ± 0.02
2020.06.05	59006	1.07 ± 0.01

Таблица В.7 — Усредненные за пять дней измерения плотности потока на 2.3 ГГц PKS 1614+051 в 2019–2020 гг.: Дата в формате уууу.мм.дд, средняя модифицированная юлианская дата MJD , значение плотности потока на 2.3 ГГц и его ошибка, Ян

Date уууу.мм.дд	Date MJD	$S_{2.3} \pm \sigma$ Ян
(1)	(2)	(3)
2019.08.15	58711	1.14 ± 0.02
2019.08.20	58716	1.11 ± 0.01
2019.08.25	58721	1.12 ± 0.02
2019.08.30	58726	1.15 ± 0.01
2019.09.04	58731	1.10 ± 0.02
2019.09.09	58736	1.11 ± 0.01
2019.09.19	58746	1.14 ± 0.01
2019.09.24	58751	1.14 ± 0.01
2019.10.04	58761	1.13 ± 0.02
2019.10.09	58766	1.12 ± 0.02
2019.10.14	58771	1.11 ± 0.01
2019.10.19	58776	1.13 ± 0.02
2019.10.24	58781	1.10 ± 0.01
2019.10.29	58786	1.11 ± 0.01
2019.11.03	58791	1.13 ± 0.01
2019.11.08	58796	1.12 ± 0.01
2019.11.13	58801	1.10 ± 0.01
2019.11.18	58806	1.11 ± 0.01
2019.11.23	58811	1.10 ± 0.01
2019.11.28	58816	1.10 ± 0.02
2019.12.03	58821	1.07 ± 0.01
2019.12.08	58826	1.08 ± 0.01
2019.12.13	58831	1.05 ± 0.01
2019.12.18	58836	1.06 ± 0.01
2019.12.23	58841	1.07 ± 0.02
2019.12.28	58846	1.07 ± 0.01
2020.01.02	58851	1.08 ± 0.01
2020.01.07	58856	1.05 ± 0.01
2020.01.12	58861	1.08 ± 0.02
2020.01.17	58866	1.05 ± 0.01
2020.01.22	58871	1.07 ± 0.01
2020.01.27	58876	1.08 ± 0.01
2020.02.01	58881	1.06 ± 0.01

Таблица В.7 — Продолжение

Date уууу.мм.дд	Date MJD	$S_{2,3} \pm \sigma$ Ян
(1)	(2)	(3)
2020.02.06	58886	1.06 ± 0.02
2020.02.16	58896	1.06 ± 0.01
2020.02.21	58901	1.06 ± 0.01
2020.02.26	58906	1.07 ± 0.01
2020.03.02	58911	1.07 ± 0.01
2020.03.07	58916	1.07 ± 0.01
2020.03.12	58921	1.07 ± 0.01
2020.03.17	58926	1.05 ± 0.01
2020.03.22	58931	1.08 ± 0.01
2020.04.01	58941	1.06 ± 0.02
2020.04.06	58946	1.05 ± 0.01
2020.04.11	58951	1.09 ± 0.01
2020.04.21	58961	1.07 ± 0.01
2020.04.25	58965	1.08 ± 0.01