

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra22.04.256>

УДК 524.7, 524.8

PACS numbers: 95.75.Wx,
95.85.BhА. Л. СУХАРЕВ¹, В. В. БЕЗРУКОВ², М. Ю. БЛЕЙДЕРС²,
А. А. ОРБИДАНС², М. И. РЯБОВ¹¹ Обсерватория “УРАН-4”, Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Пушкинская, 37, г. Одесса, 65011, Украина
E-mail: magister_phys@yahoo.com² Вентспилсский международный радиоастрономический центр (VIRAC),
ул. Инженьеру, 101, г. Вентспилс, LV-3601, Латвия
E-mail: vladislavsb@venta.lv

О ПРОГРАММЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВНУТРИСУТОЧНОЙ И МЕЖСУТОЧНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ НА ТЕЛЕСКОПАХ ВЕНТСПИЛССКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКОГО ЦЕНТРА (VIRAC)

Предмет и цель работы: *С апреля 2017 г. на телескопе Вентспилсского радиоастрономического центра РТ-16 (частоты 5, 6.1, 6.7, 8.4 ГГц) началось проведение мониторинговой программы наблюдений с целью исследования внутрисуточной и межсуточной переменности внегалактических радиоисточников. На первом этапе осуществлялись отработка методики и проведение пробных наблюдений внегалактических радиоисточников 3C 295, 3C 273, 3C 454.3, BL Lac и OJ 287.*

Методы и методология: *Проделана исследовательская работа по отработке режимов наблюдений радиоисточников в условиях проведения различных программ, процедуры калибровки, учета влияния различных факторов при мониторинговых наблюдениях на РТ-16. Для подобного рода данных наиболее результативным является поиск квазипериодов потоков излучения радиоисточников методом Ломба–Скаргла с последующей аппроксимацией наблюдений тригонометрическими полиномами.*

Результаты: *У радиоисточника 3C 295 проявляются квазипериодические колебания плотности потока излучения на временном масштабе ≈ 4 ч, а также ≈ 5 и 7 ч в разные сеансы наблюдений, и длительные колебания на временном масштабе $10 \div 11$ и $3 \div 4$ сут. У радиоисточников 3C 273 и 3C 454.3 в связи с небольшим числом наблюдений отмечается наличие только межсуточных трендов, у BL Lac и OJ 287 трендовых и квазипериодических изменений плотности потока не обнаружено. Полученные результаты имеют предварительный характер и будут уточняться по мере накопления наблюдательных данных.*

Заключение: *Подготовлена и апробирована методика проведения наблюдений и калибровки для мониторинговой программы исследования внутрисуточной и межсуточной переменности внегалактических радиоисточников на телескопе РТ-16 Вентспилсского радиоастрономического центра. Предварительные результаты анализа полученных данных показали эффективность применяемой методики и их соответствие опубликованным ранее результатам подобных исследований.*

Ключевые слова: *радиотелескоп, радиоисточник, периодограмма, квазипериодические изменения, внутрисуточная переменность, тригонометрический полином*

1. Введение

1.1. Обоснование научной задачи

Поиск и исследование феномена внутрисуточной переменности активных ядер галактик в радиодиапазоне является очень важным и активно развивающимся научным направлением. Программа поисковых наблюдений внутрисуточной и суточной переменности на телескопах VIRAC

(Ventspils International Radio Astronomy Centre – Вентспилсский международный радиоастрономический центр) РТ-16 и РТ-32 в Ирбене (Латвия) основана на ранее проведенном анализе мониторинга переменности плотностей потоков внегалактических радиоисточников, выполненного в Мичиганском университете (Анн_Арбор, США) на радиотелескопе UMRAO (University of Michigan Radio Astronomy Observatory) РТ-26 (частоты 4.8, 8, 14.5 ГГц) в течении более 40 лет. На основе обработки этих данных средствами вейвлет-анализа выявлено существование пе-

© А. Л. Сухарев, В. В. Безруков, М. Ю. Блейдерс,
А. А. Орбиданс, М. И. Рябов, 2017

риодов переменности в интервале $0.4 \div 16$ лет и их изменение со временем. Результатом этой работы стала публикация Каталога свойств переменности внегалактических радиоисточников в журнале “Радиофизика и радиоастрономия”. Целью представленной в настоящей статье научной программы является продление каталога временных изменений плотности потока излучения радиоисточников до масштабов от нескольких часов до нескольких дней. В VIRAC проведена большая работа по подготовке телескопа РТ-16 к наблюдениям внутрисуточной и межсуточной переменности. Решались вопросы калибровки, определения и компенсации различных факторов, влияющих на точность наведения антенны, и определения плотности потока радиоисточников. Тестовые сеансы наблюдений начались в апреле 2017 г. С июня начались систематические наблюдения, первые результаты которых представлены в настоящей работе. В ближайшей перспективе для реализации наблюдений более слабых радиоисточников планируется использовать телескоп РТ-32.

1.2. Краткий обзор результатов наблюдений внутрисуточной переменности радиоисточников

Программа исследований внутрисуточной и межсуточной переменности проводилась на радиотелескопах РТФ-32 системы “Квазар” и радиотелескопе РАТАН-600 САО РАН. В 2009 г. у радиоисточников J0527+0331, J0721+0406, J1728+0427 была обнаружена внутрисуточная переменность с характерными временами от 1 до 5 ч [1]. Наблюдения лацертиды S5 0716+714 показали наличие как длительных квазипериодов $12 \div 20$ сут, так и внутрисуточной переменности с характерными временами $10 \div 12$ ч [2]. В ноябре 2012 г. была уверенно обнаружена внутрисуточная переменность квазара J1159+2914 на частоте 4.8 ГГц с характерным временем около 6 ч [3]. У квазара 3C 454.3 внутрисуточная переменность с характерными временами около 10 ч и 10 сут была обнаружена в сеансах наблюдений в 2011 и 2014 гг. [4].

В работе [5] сообщается об обнаружении ультрабыстрой переменности квазара 3C 273 на длинах волн 3.6 и 6 см по наблюдениям в октябре и августе 2000 г. на 25-метровом телескопе об-

серватории в Урумчи (Китай). Временной масштаб колебаний плотности потока составил около 1 ч. При этом контрольные записи калибровочных источников 3C 123 и 0836+710 не показали существенной переменности [5]. Лацертиды, включая наиболее известных представителей этой группы активных ядер галактик, таких как BL Lac и OJ 287, обладают внутрисуточной переменностью не только в радио-, но и в оптическом и рентгеновском диапазонах.

В работе [6] исследовались 33 внегалактических радиоисточника разных типов по наблюдениям в декабре 1978 г. и июле 1979 г. на 11-метровом телескопе в обсерватории Китт-Пик, Аризона, США, (частота 90 ГГц). У источника OV 236 плотность потока излучения на протяжении десяти дней изменилась от 6.4 до 2.4 Ян с последующим ростом до 6.5 Ян. У OJ 287 плотность потока плавно колебалась в диапазоне от ≈ 2 до ≈ 5 Ян. Источник BL Lac не показал существенного изменения плотности потока излучения за время наблюдений. Однако предыдущие наблюдения [7] источника BL Lac на частоте 11 ГГц в октябре и ноябре 1971 г. показали 6 % рост в течении дня с последующим 12 % падением также в течении дня. Наличие у источника 3C 273 50 % изменений амплитуды плотности потока на длине волны 3.3 мм в течении 1 и 2 дней (июль, ноябрь 1969 г.) показано в работе [8].

Таким образом, множество публикаций по исследованию внутрисуточной переменности на частотах выше 4.8 ГГц показывают, что даже у одного источника быстрые колебания плотности потока могут появляться или отсутствовать в разные месяцы наблюдений, а сама переменность может изменяться в интервале от нескольких часов до нескольких дней. Причем наблюдения в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн для проведения такого рода исследований являются наиболее информативными.

Вместе с тем программы таких исследований проводятся эпизодически. В связи с этим перспективной является организация мониторинга с минимальными разрывами в данных на протяжении не менее одного года на различных частотах. Именно такие серии наблюдений выполняются и будут продолжены на телескопах VIRAC на частотах 5, 6.1, 6.7, 8.4 ГГц.

2. Средства и методы

2.1. Методика проведения наблюдений на телескопе РТ-16

Наблюдения, рассматриваемые в настоящей работе, выполнены на телескопе VIRAC РТ-16 (рис. 1). Телескоп оснащен широкополосным охлаждаемым приемником, рабочих частоты четыре – 5, 6.1, 6.7, 8.4 ГГц. Некоторые параметры телескопа приведены в табл. 1.

На радиотелескопах VIRAC проводится ряд наблюдательных программ, в том числе РСДБ (радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами) наблюдения в различных международных радиоинтерферометрических сетях, таких как EVN <<http://evlbi.org/>> и IVS <<https://ivsc.gsfc.nasa.gov/>>. Для оптимизации и автоматизации различных типов наблюдений: РСДБ, мониторинг, наблюдения Солнца – сотрудниками VIRAC разработана программа автоматического планирования, запускающая в свободное от наблюдений время программу мониторинга потоков выбранных внегалактических радиоисточников (рис. 2). В дальнейшем для мониторинговых программ



Рис. 1. Внешний вид телескопа VIRAC РТ-16. В ходе проведенной модернизации в 2015 г. металлическая антенна заменена на углепластиковую, в результате существенно снизился вес подвижной части телескопа и значительно улучшилась точность отражающей поверхности

планируется использовать оба радиотелескопа – РТ-16 и РТ-32, что позволит увеличить доступное для наблюдений время.

В период с апреля по июнь 2017 г. наблюдения проводились последовательно во всех доступных поддиапазонах: 5, 6.1, 6.7 и 8.4 ГГц. Предварительные результаты показали, что поддиапазон 8.4 ГГц сильно зашумлен, что выражается в большом разбросе полученных измерений и уменьшает их достоверность. С июля 2017 г. для наблюдений использовались две частоты – 5 и 6.7 ГГц. Чтобы повысить количество измерений, было решено отказаться также от поддиапазона 6.1 ГГц. Алгоритм регистрации отсчетов плотности потока представлен на рис. 3 и рис. 4. После наведения телескопа на источник и выбора частоты наблюдений производится измерение мощности источника на луче антенны (TP_{src1}), затем следует измерение мощности фона участка неба (TP_{sky}), далее – измерение мощности фона на участке неба с включенным генератором шума (калиброванный шумовой диод) (TP_{cal}) и контрольное измерение мощности источника (TP_{src2}) для уменьшения влияния внешних шумов и изменения угла места телескопа. Плотность потока излучения источника в янских:

$$S_f = \frac{T_{cal}}{DPFU \cdot G(el)} \frac{TP_{src\,avg} - TP_{sky}}{TP_{cal} - TP_{sky}},$$

где коэффициент усиления антенны $DPFU = \frac{T_{sys}}{S_f} \frac{TP_{src} - TP_{sky}}{TP_{src}}$ – приращение температуры приемника на единицу потока, К/Ян; $T_{sys} = T_{cal} \frac{TP_{sky}}{TP_{cal} - TP_{sky}}$ – температура (шумовая) системы, К; T_{cal} – температура (шумовая) калибровочного генератора, К; $G(el)$ – зависимость усиления от угла возвышения антенны.

В результате записывается отсчет плотности потока в янских и его стандартное отклонение. Для уменьшения атмосферных помех каждые семь отсчетов усредняются. Время получения каждого отсчета составляет приблизительно 20 с. В связи с ограниченным временем наблюдений в течении суток количество отсчетов менялось от 31 до 287. В июле 2017 г. значительное увеличение количества отсчетов на частотах 5 и 6.7 ГГц позволило получить более достоверные

Таблица 1. Параметры телескопа VIRAC PT-16

Охлаждаемая приемная система для частотного диапазона С/М/Х	
Производитель	TTI, Испания
Частотный диапазон, МГц	4500 ÷ 8800 RHCP/LHCP
Полоса регистрации, МГц	1000 ÷ 1200
Доступные поддиапазоны, МГц	C1: 4500 ÷ 5500, LO = 4100 C2: 5400 ÷ 6400, LO = 5000 C3: 6400 ÷ 7600, LO = 6100 C4: 7600 ÷ 8800, LO = 7300
Эквивалентная плотность потока системы (SEFD) (C1/C2/C3/C4 для всех диапазонов), Ян	540 ÷ 700
Отношение коэффициента усиления антенны к шумовой температуре системы (G/T), дБ/К	56 ÷ 700
Усиление	~ 0.05 К/Ян, 59 дБи
Температура системы, К	30 ÷ 50 (в зависимости от угла наклона)
Ширина луча по половинной мощности на частоте 8400 МГц	0.156° или 10'
Параметры системы позиционирования антенны	
Разработчик	MTM Mechatronics, Германия
Диапазон	-328° ÷ 328°/2.5° ÷ 94° (азимут/угол места)
Максимальная скорость, градус/с	5/4 (азимут/угол места)
Максимальное ускорение, градус/с ²	1.5/2 (азимут/угол места)
Точность слежения (среднеквадратическое отклонение)	3.3"/3.3" (азимут/угол места)
Точность наведения (среднеквадратическое отклонение)	23"/54" (азимут/угол места)
Режимы работы	таблица координат; таблица поправок; TLE (для спутников)

Примечание. LO – значения частот, выдаваемых генератором промежуточной частоты.

оценки значений возможных периодов, улучшить достоверность сглаживания и аппроксимации рядов наблюдений. Такие высокоточные наблюдения требуют тщательного определения и учета различных факторов, которые могут вносить искажения в отсчеты плотности потока. Была выполнена оценка ошибок наведения луча антенны и их последующая компенсация. Определено оптимальное положение рупорного облучателя вторичного фокуса антенны. Определены зависимости усиления сигнала от высоты, температуры системы (регистрируемой температуры, вызванной излучением окружающей антенну среды в отсутствие исследуемого источника, и тепловыми потерями в облучающей системе) и положения диаграммы направленности. Оценки проведены в частотном диапазоне 4.5 ÷ 8.8 ГГц. Выявлен и учтен эффект возможного прогиба вторичного зеркала антенны, зависящий от уг-

ла возвышения антенны. Проведено несколько сеансов калибровки для измерения коэффициента усиления антенного комплекса во всех четырех частотных поддиапазонах в обоих поляризационных каналах. Проведены измерения мощностей калибровочных источников ЗС 123, ЗС 196, ЗС 286 на луче антенны при различных углах возвышения антенны. Полученные кривые коэффициента усиления являются относительно плоскими во всех частотных полосах (рис. 5) [9]. Однако коэффициент усиления незначительно увеличивается при больших углах возвышения, что может объясняться корректировкой панелей отражающей поверхности в зенитном положении антенны. Выполнена соответствующая коррекция этого эффекта. Результаты обработки данных, полученных в период с апреля по сентябрь 2017 г., выявили проблемы с моделью позиционирования радиотелескопа для угла возвышения антен-

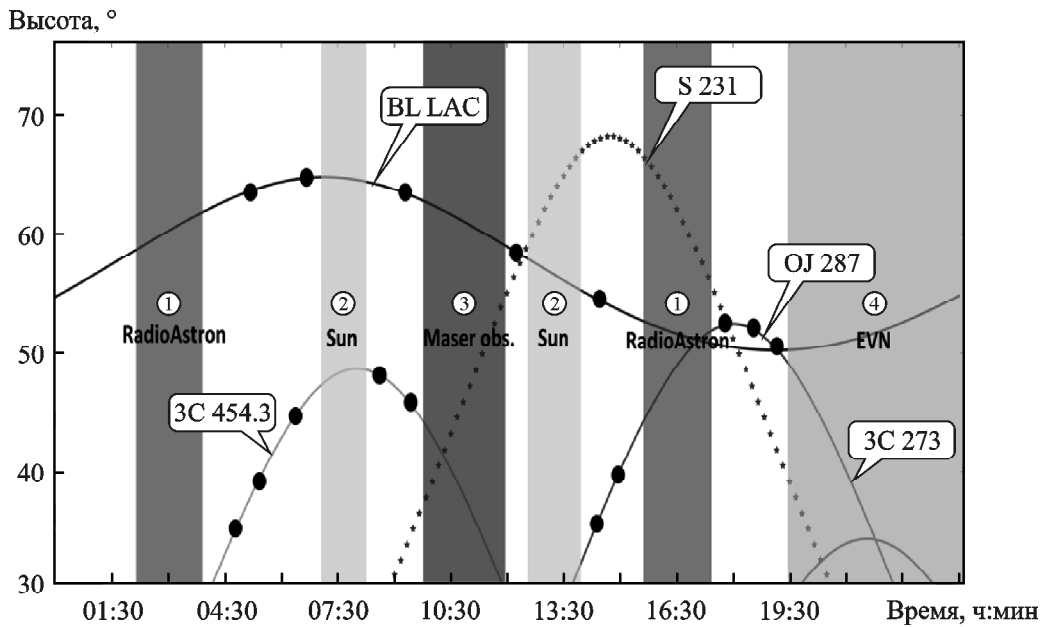


Рис. 2. Пример сгенерированной программы наблюдений выбранных радиоисточников в свободных временных окнах для радиотелескопа VIRAC PT-16: 1 – совместная работа с орбитальным радиотелескопом “Радиоастрон” (“Спектр-Р”), 2 – наблюдения Солнца, 3 – наблюдения мазерных источников радиоизлучения, 4 – работа в Европейской радиоинтерферометрической сети EVN (The European VLBI Network)

ны более 70°, понижающие точность полученных данных. В дальнейшем планируется выполнить коррекцию системы управления телескопом и улучшить точность позиционирования.

2.2. Методика анализа данных наблюдений

Данные наблюдений радиоисточников неоднородно распределены по времени и содержат разрывы. Это затрудняет применение интерполяции из-за возможных ложных выбросов и искажений. Поэтому для поиска периодов использовался метод Ломба–Скаргла [10, 11], основанный на аппроксимации наблюдений синусоидами на заданных частотах и широко распространенный в астрофизических исследованиях. Однако классический “прямой” метод довольно медленный при расчете спектров для больших рядов данных. Поэтому применялась “быстрая” модификация метода Ломба–Скаргла, основанная на быстром преобразовании Фурье и предложенная в работе [12], что позволило значительно увеличить скорость вычислений даже для очень больших рядов практически без потери точности. В исходных данных, чтобы не терять количество отсчетов плотности потока, значения каждой из “выпадающих” точек усреднялись по значениям двух предыдущих и двух последующих точек, отдельные точки-“выбросы” удалялись вручную. Далее проводилось сглаживание полиномиальным скользящим средним с интервалом 10 точек [13]. Перед построением всех периодограмм и тригонометрических полиномов из данных вычиталось среднее

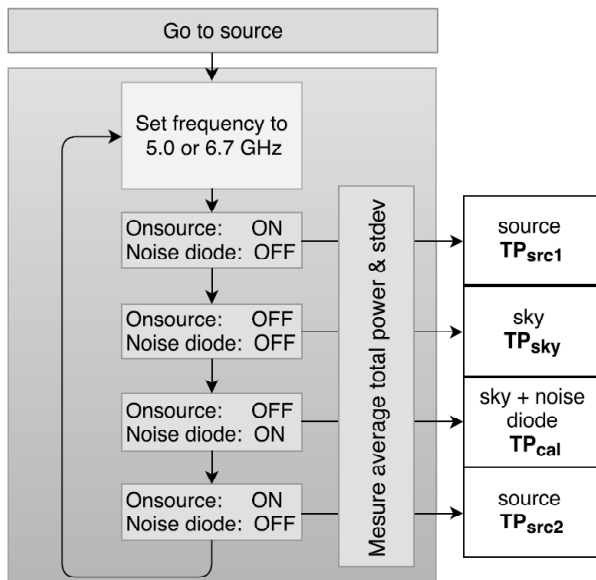


Рис. 3. Алгоритм измерения плотности потока радиоисточника, применяемый для мониторинга активных галактических ядер на радиотелескопе VIRAC PT-16

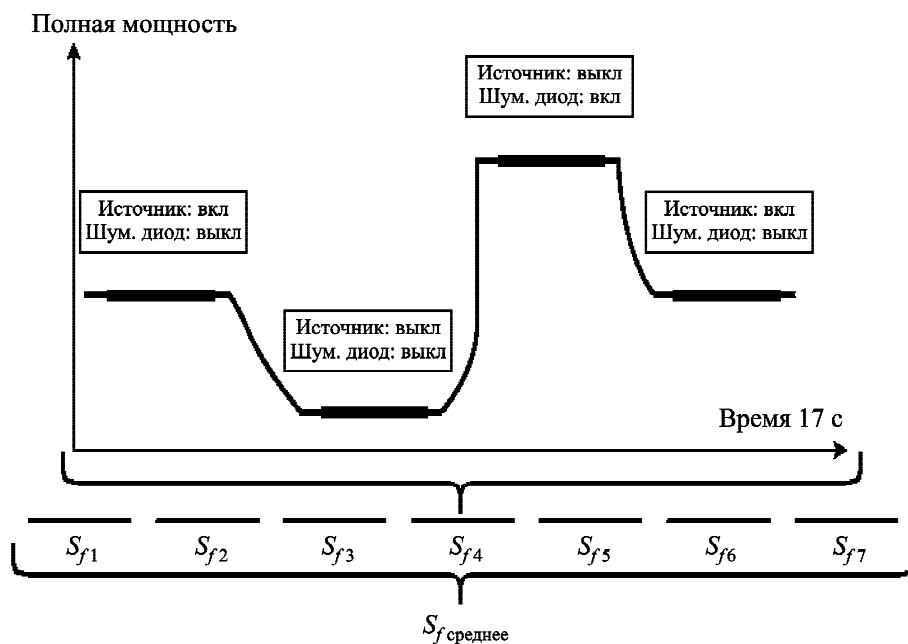


Рис. 4. Измерение плотности потока S_f радиоисточника (одно измерение занимает около 20 с, семь последовательных измерений на одной частоте усредняются)

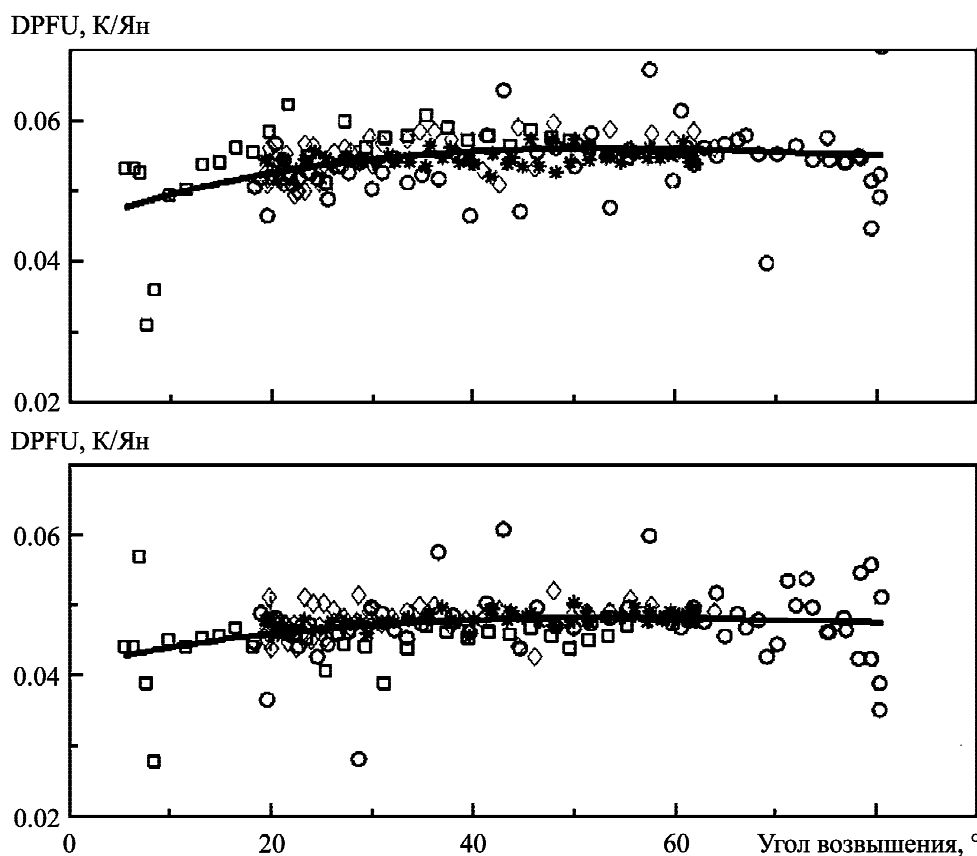


Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления (в виде DPFU) от угла возвышения антенны телескопа VIRAC PT-16, полученная по наблюдениям калибровочных радиоисточников (поддиапазон С1 – 5 ГГц) для левой (верхняя панель) и правой (нижняя панель) круговой поляризации зарегистрированного радиоизлучения: * – 3C 123; о – 3C 196; \diamond – 3C 295; \square – 3C 296; — — полином

значение, что позволило избежать засорения периодограмм частотами, близкими к нулю.

3. Результаты наблюдения радиисточника 3С 295

3.1. Краткое описание

3С 295 – сейфертовская галактика 2-го типа [14], находится в созвездии Волопаса и является центром крупного скопления галактик, насчитывающего более сотни объектов в оптическом диапазоне [15]. Радиисточник окружен обширной газовой оболочкой, наблюдаемой в рентгеновском диапазоне [16]. В радиодиапазоне у 3С 295 наблюдаются лепестки с протяженными выбросами и горячими пятнами, которые также являются рентгеновскими источниками [17]. Радиоизображение 3С 295, полученное на телескопах VLA (Very Large Array, Нью-Мексико, США, <<http://www.vla.nrao.edu/>>), [18] показано на рис. 6.

На длительных, многолетних интервалах времени 3С 295 является достаточно стабильным радиисточником. По наблюдениям, выполненным на 26-метровом радиотелескопе UMRAO, за время с 1984 по 1999 г. изменение плотности потока составило ≈ 0.7 Ян на частотах 14.5 и 8 ГГц и 1.4 Ян на частоте 4.8 ГГц. Средние значения плотности потока равны 6.4 Ян (4.8 ГГц), 3.8 Ян (8 ГГц) и 1.7 Ян (14.5 ГГц) [19]. Поэтому этот радиисточник используется в основном как калибровочный. Однако подробные наблюдения этого источника показали, что у него возможна переменность с характерными временами в несколько десятков дней и меньше. Например, в работе [20] проведен периодограммный анализ для множества радиисточников из каталога UMRAO. Для 3С 295 получено значение квазипериода 0.1 года на частоте 4.8 ГГц, 0.2 года на частоте 8 ГГц, на частоте 14.5 ГГц период не определен. В работе [21] отмечена переменность низкой амплитуды с ква-

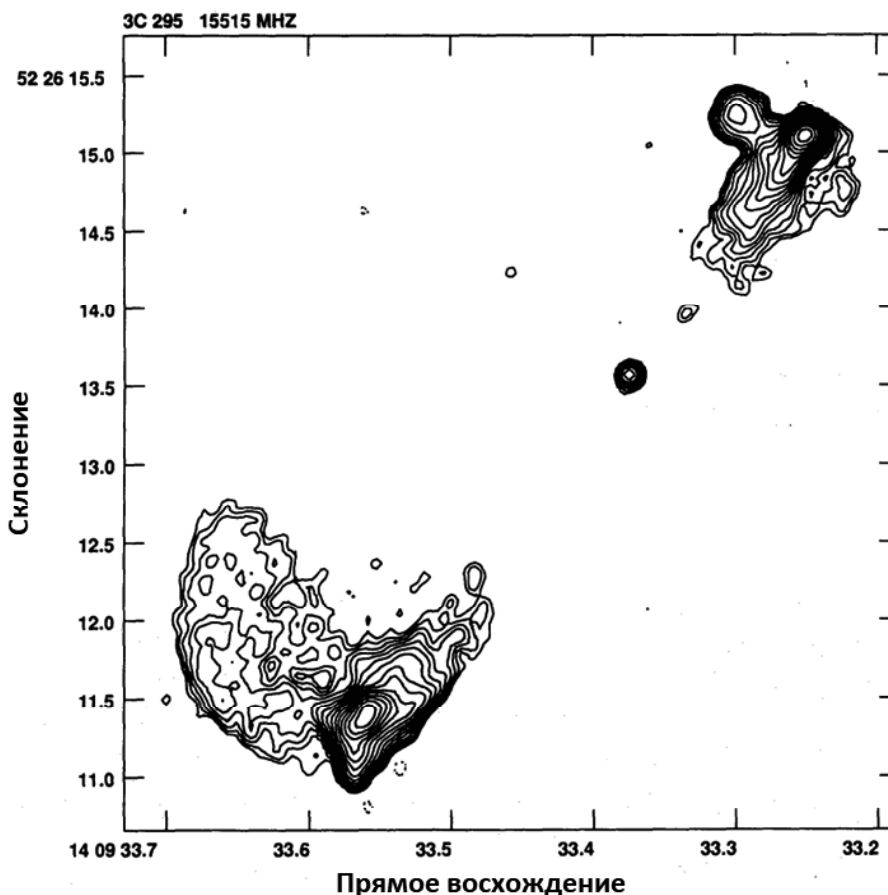


Рис. 6. Карта 3С 295, полученная авторами работы [18] на частоте ≈ 15.5 ГГц на радиотелескопах VLA (угловое разрешение 0.1"). Хорошо видны боковые выбросы в обоих лепестках

зипериодом ≈ 41.5 сут на частоте 8 ГГц. Однако систематических многодневных наблюдений для определения внутрисуточной переменности ранее для этого радиисточника не проводилось.

3.2. Результаты периодограммного анализа для радиисточника 3С 295

Результаты, приведенные в работе, являются предварительными и будут уточнены в последующем. На данном этапе в процессе наблюдений отлаживалась методика наблюдений. Однако уже первые результаты оказались интересными, и далее следует их краткое описание. В начале наблюдений планировалось использовать источник 3С 295 как калибровочный вместе с источниками 3С 123 и 3С 196. Но во время сеанса наблюдений 20 июня 2017 г. на частоте 5 ГГц была получена кривая изменения плотности потока волнообразного вида (рис. 7) с характерным временем ≈ 1.3 и 3 ч. Поэтому далее длительность наблюдения и количество отсчетов плотности потока для этого источника были увеличены. Через семь дней эпизодических наблюдений был зарегистрирован небольшой рост плотности потока, и аппроксимация одной синусоидой с периодом ≈ 2.3 сут показала предположительное наличие более длительных колебаний. В сеансе наблюдений 3С 295 с 30 июня по 2 июля 2017 г. были получены довольно качественные записи, за исключением данных на частоте 8.4 ГГц, где шум был больше, чем на других частотах. Во время этого сеанса хорошо прослеживался суточный и полусуточный ход изменения плотности потока, наилучшим образом выраженный на частотах 5 и 6.1 ГГц (рис. 8).

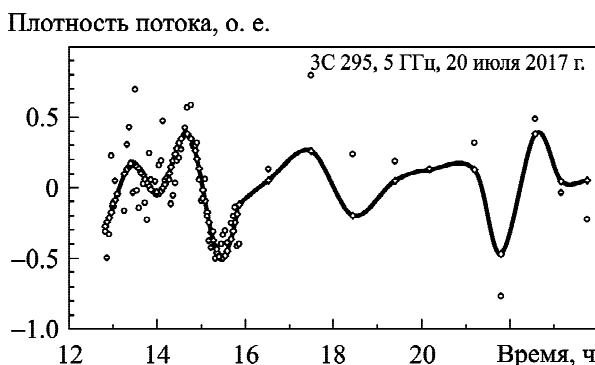


Рис. 7. График изменения плотности потока с вычтенным средним значением источника 3С 295 на частоте 5 ГГц 20 июня 2017 г.: исходные данные (о) и аппроксимация синусоидами с периодами 3, 1.6 и 1.3 ч (-◇-). Резкое падение количества отсчетов не позволило проследить дальнейшее изменение начального колебания

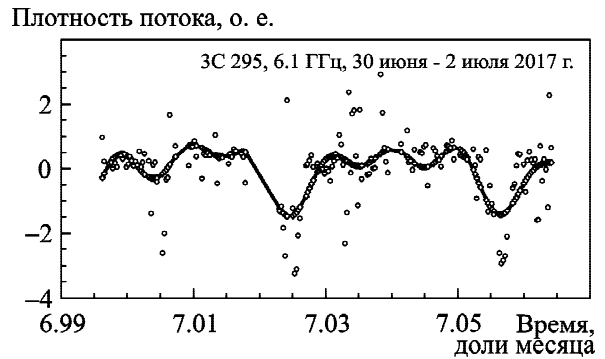


Рис. 8. График изменения плотности потока с вычтенным средним значением источника 3С 295 на частоте 6.1 ГГц с 30 июня по 2 июля 2017 г.: исходные данные (о) и аппроксимация синусоидами с периодами 24, 12 и 7 ч (-◇-)

Для наблюдательных данных, полученных на частотах 6.7 и 8.4 ГГц, применено сглаживание полиномиальным скользящим средним, и периодограмма построены уже по сглаженным данным. Так, для частоты 6.7 ГГц на периодограмме два максимума (периоды ≈ 7.7 и 5.6 ч) превышают доверительный уровень, равный 99 %, и один максимум (≈ 12 ч) превышает доверительный уровень 99.9 %. Для частоты 8.4 ГГц два максимума периодограммы (периоды ≈ 7.8 и 5.7 ч) превышают уровень 99.9 % (рис. 9).

Далее, рассмотрим сеанс наблюдений 3С 295 с 5 июля по 27 июля 2017 г. В этом сеансе наиболее качественные записи получены на частоте



Рис. 9. Периодограмма для источника 3С 295, частота 8.4 ГГц. Первый максимум – 7.8 ч, второй – 5.7 ч (это предположительный результат, поскольку исходные данные зашумлены). Горизонтальные линии – доверительные уровни

тах 5 и 6.7 ГГц. На периодограммах четыре максимума превышают доверительный уровень, равный 99.9 % (периоды ≈ 7.7 и 4.6 ч, а также суточный и полусуточный периоды). Эти четыре периода не зависят от сглаживания. Пример записи на частоте 6.7 ГГц показан на рис. 10.

На следующем этапе были проанализированы все наблюдения, полученные за два месяца на четырех частотах, с целью выявления межсуточных колебаний плотности потока на временных масштабах – несколько дней. Выполнено предварительное сглаживание данных скользящим средним. Интересной особенностью являются резкие “провалы” плотности потока ЗС 295 с последующим быстрым восстановлением на всех частотах наблюдений. Например, на частоте 5 ГГц эти минимумы пришлось на следующие дни: 20 июня, 1, 2, 5, 7 и 10 июля 2017 г. На других частотах они выражены заметно хуже, но в эти же дни. Время минимумов несколько разное, от ≈ 16 до 19 ч, чаще ≈ 18 ч. Возможно, в это время были некие широкополосные помехи при наблюдениях.

На всех частотах у ЗС 295 хорошо проявились периоды ≈ 12 ч (с большей амплитудой) и ≈ 24 ч (с меньшей амплитудой), поскольку ионосферное поглощение радиоволн изменяется от дня к ночи [22]. Значение возможного долговременного периода составило $\approx 10 \div 11$ сут (также на всех частотах), спектральные максимумы на периодограммах превышали доверительные уровни 90 и 99.9 %. Эти значения очень близки к результатам, полученным в работе [23] для источника ЗС 295. В этой работе на частотах 2 и 8 ГГц временная шкала переменности оценена в 10.3 и 15.9 сут соответственно [23]. Кроме этого, для частоты 5 ГГц, с наилучшим заполнением точками интервала наблюдений, на периодограмме присутствуют два максимума со значениями периодов ≈ 4 и 3 сут, что вероятно соответствует расщеплению одного реального периода на две близкие гармоники. Для оценки минимального значимого периода колебаний плотности потока ряды данных дифференцировались. Дифференцирование подавляет долговременные колебания, выделяя быструю составляющую переменности. Таким образом было установлено, что минимальный значимый период на частотах 5 и 6.7 ГГц (на этих частотах наибольшее количество отсчетов плотности потока) составляет ≈ 4.5 ч.

тах 2 и 8 ГГц временная шкала переменности оценена в 10.3 и 15.9 сут соответственно [23]. Кроме этого, для частоты 5 ГГц, с наилучшим заполнением точками интервала наблюдений, на периодограмме присутствуют два максимума со значениями периодов ≈ 4 и 3 сут, что вероятно соответствует расщеплению одного реального периода на две близкие гармоники. Для оценки минимального значимого периода колебаний плотности потока ряды данных дифференцировались. Дифференцирование подавляет долговременные колебания, выделяя быструю составляющую переменности. Таким образом было установлено, что минимальный значимый период на частотах 5 и 6.7 ГГц (на этих частотах наибольшее количество отсчетов плотности потока) составляет ≈ 4.5 ч.

3.3. Результаты наблюдений калибровочных источников ЗС 123 и ЗС 196

Если наблюдаемые периоды переменности источника ЗС 295, кроме 24 и 12 ч, связаны с ионосферными эффектами, подобная периодичность должна быть и у калибровочных источников ЗС 123 (радиогалактика) и ЗС 196 (сейфертовская галактика первого типа). Они наблюдались на том же интервале времени и на тех же частотах. Наибольшее число измерений плотности потока было на частотах 5 и 6.7 ГГц. Однако периодограммный анализ показал отсутствие каких-либо значимых, превышающих 90 % доверительный уровень, периодов меньше слабого суточного колебания.

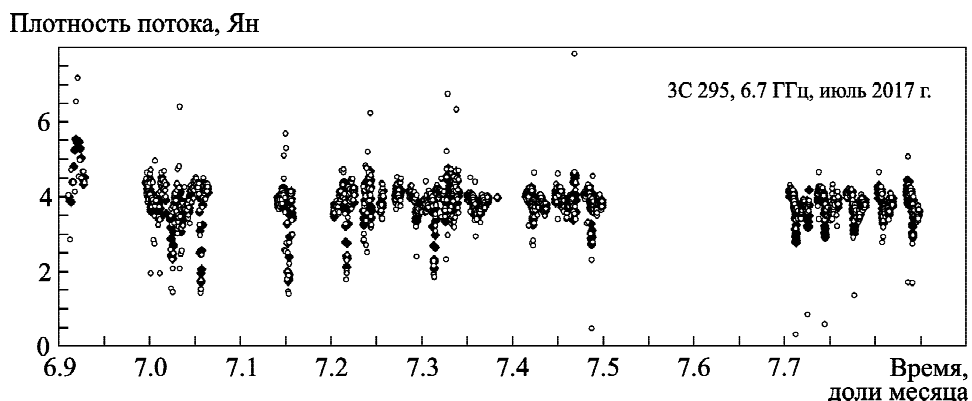


Рис. 10. График изменения плотности потока источника ЗС 295 в июле 2017 г. на частоте 6.7 ГГц: сглаженные данные – ●; исходные данные – ○

4. Результаты наблюдений источников 3C 273, 3C 454.3, BL Lac и OJ 287

Несмотря на то, что основной упор был сделан на наблюдение источника 3C 295, были проведены также исследования двух квазаров, 3C 273, 3C 454.3, и двух лацертид, BL Lac, OJ 287. Эти источники известны своей долговременной и высокоамплитудной переменностью. У них отмечается также наличие внутрисуточной переменности в радиодиапазоне. Количество полученных отсчетов плотности потока было сравнительно невелико, поэтому в нашей работе внутрисуточная переменность этих источников не отмечалась. Пример записей плотности потока радиоизлучения источника 3C 273 на четырех частотах, объединенных на одном графике, показан на рис. 11.

У квазаров видны медленные изменения плотности потока и можно предположить, что характерные времена этих изменений составляют несколько недель. У лацертид, которые по данным многолетних наблюдений обладают “вспышечными” быстрыми изменениями плотности потока, наложенными на долговременные тренды, также наблюдалось очень быстрое увеличение плотности потока, но без явных циклических колебаний. Пример записей для OJ 287 показан на рис. 12. В последующих сеансах наблюдений этим источникам планируется уделить достаточно времени с целью уверенного выделения как межсуточной, так и внутрисуточной переменности.

5. Обсуждение

Внутрисуточная и межсуточная переменность внегалактических радиоисточников состоит из двух составляющих, внутренней и внешней (мерцания на неоднородностях среды, близкой к источнику, межзвездные мерцания, ионосферные эффекты, помехи). Наиболее широкое распространение получила модель, объясняющая переменность мерцаниями источника на неоднородностях межзвездной среды между источником и наблюдателем. В таком случае периоды колебаний плотности потока излучения будут неустойчивыми (или же колебания будут неперiodическими) во времени и разными для разных сеансов наблюдений. Кроме этого, должна быть плохая корреляция данных между разными частотами наблюдений и отсутствие корреляции между радионаблюдениями и наблюдениями в инфракрасном, оптическом диапазонах [24]. Однако у некоторых радиоисточников данные на разных частотах наблюдений хорошо коррелируют, редко наблюдается корреляция между данными в радио- и инфракрасном или оптическом диапазонах. В таком случае реализуется вариант (он наиболее интригующий), который состоит в том, что переменность обусловлена внутренними процессами в джете или области, близкой к аккреционному диску радиоисточника. Здесь более применима модель распространения ударных волн в джете, которые формируют очень быстрые и квазипериодические

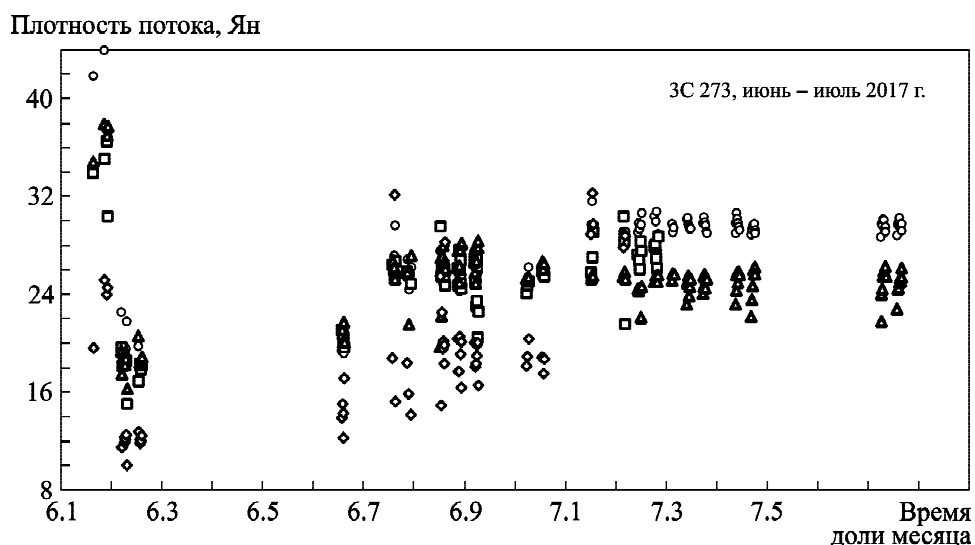


Рис. 11. Изменение плотности потока у источника 3C 273 в течении июня и июля 2017 г. на частотах: 5 ГГц (○); 6.1 ГГц (□); 6.7 ГГц (△) и 84 ГГц (◇). Видны медленные тренды, характерное время которых превышает интервал наблюдений

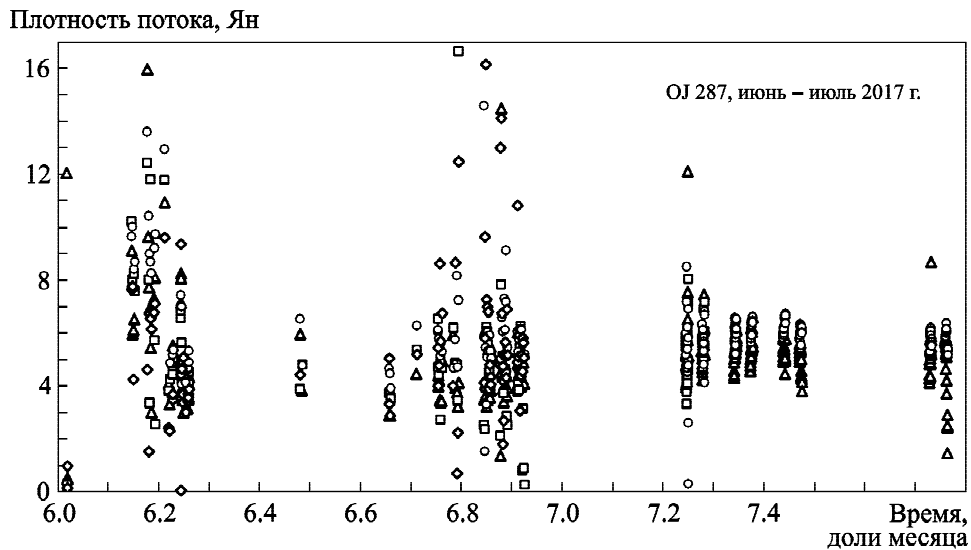


Рис. 12. Изменение плотности потока у источника OJ 287 в течении июня и июля 2017 г. на частотах: 5 ГГц (○); 6.1 ГГц (□); 6.7 ГГц (△) и 84 ГГц (◇). В начале и конце июня наблюдаются резкие колебания высокой амплитуды на четырех частотах

колебания плотности потока [25]. Для радиоисточников с узкоколлимированными джетами (угол раствора $\approx 0.1^\circ$) предполагается, что распространение в джете вращающихся сгустков плазмы формирует быстрые колебания плотности потока, наблюдаемые периоды которых зависят от основного периода вращения плазмы джета. При этом могут наблюдаться вариации плотности потока с характерными временами меньше суток [26]. Кроме этого, есть модели, основанные на магнитных перисоединениях и вспышках в горячей короне аккреционного диска (например, [27]). Наблюдаемая быстрая переменность, вероятно, формируется как внутренними процессами в радиоисточнике, так и межзвездными мерцаниями. Поэтому изучение этого феномена является важной задачей, позволяющей расширить представления о природе активных ядер галактик.

6. Выводы

1. Начата программа наблюдений по исследованию внутрисуточной переменности в Вентспилсском международном радиоастрономическом центре (Латвия), проведена отработка методики этих наблюдений на 16-метровом радиотелескопе. Подобрана группа радиоисточников и получены тестовые записи в течении июня и июля 2017 г. на частотах 5, 6.1, 6.7, 8.4 ГГц.

2. Обнаружено, что у источника 3C 295, на частотах 5 и 6.7 ГГц существует квазипериод 4.5 ч.

Колебание с периодом 1.3 ч, проявившееся в серии наблюдений 20 июня 2017 г., в дальнейшем не проявилось. Кроме этого, наблюдались квазипериоды $\approx 7 \div 7.7$ ч и в отдельные сеансы наблюдений ≈ 5.6 ч и на частотах 6.1 и 8.4 ГГц. Эти данные являются новым результатом, поскольку ранее столь быстрая переменность источника 3C 295 в радиодиапазоне не отмечалась.

3. Возможно, существуют и длительные колебания плотности потока излучения на четырех частотах у источника 3C 295 с квазипериодом $\approx 10 \div 11$ дней и $\approx 3 \div 4$ сут на частоте 5 ГГц.

4. Анализ записей калибровочных источников 3C 123 и 3C 196 показал слабое проявление только суточного хода в изменении их плотности потока излучения без наличия других периодических колебаний.

5. Предварительные результаты показывают, что, возможно, сейфертовские галактики 2-го типа, проявляющие стабильность на долговременных многолетних интервалах наблюдений, могут проявлять слабую переменность на временных масштабах от десятков дней до нескольких часов.

6. Анализ записей для квазаров 3C 273, 3C 454.3 и лацертид OJ 287 и BL Lac показал отсутствие циклической переменности, во многом из-за незначительного количества отсчетов плотности потока. У лацертид поток резко меняется в каждом сеансе наблюдений. Наличие медленных

полиномиальных трендов указывает на возможное существование колебаний с характерным временем в несколько недель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А. Г., Ипатов А. В., Ипатова И. А., Конникова В. К., Мардышкин В. В., Харинов М. А., Михайлов А. Г. Внутрисуточная переменность трех радиосточников с плоскими спектрами // *Астрономический журнал*. – 2009. – Т. 86, № 5. – С. 428–439.
2. Горшков А. Г., Ипатов А. В., Конникова В. К., Мардышкин В. В., Мингалиев М. Г., Финкельштейн А. М., Харинов М. А. Переменность плотности потока блазара S5 0716+714 в радиодиапазоне с характерными временами меньше месяца // *Астрономический журнал*. – 2011. – Т. 88, № 2. – С. 115–126.
3. Горшков А. Г., Ипатов А. В., Конникова В. К., Мардышкин В. В., Мингалиев М. Г., Харинов М. А. Переменность плотности потока квазара J1159+2914 (S5 1156+295) в радиодиапазоне в 2010–2013 гг. // *Астрономический журнал*. – 2014. – Т. 91, № 10. – С. 815–823. DOI: 10.7868/S0004629914100065
4. А. Г. Горшков, В. К. Конникова, А. В. Ипатов, М. А. Харинов, А. Г. Михайлов, В. В. Мардышкин. Поиск внутрисуточной переменности радиосточников на антеннах ИПА РАН // *Труды ИПА РАН*. – 2016. – Вып. 38. – С. 80–89.
5. Xiang Liu. Detection of Intra-hour Variabilities in Quasar 3C 273? // *Acta Astronomica Sinica*. – 2003. – Vol. 44, Suppl. – P. 310–312.
6. Harvey G. A., Andrew B. H., MacLeod J. M., and Medd W. J. A search for rapidly varying radio sources // *Astrophys. J. Lett.* – 1972. – Vol. 11. – P. 147–149.
7. Epstein E. E., Landau R., and Rather J. D. G. Extragalactic radio sources: Rapid variability at 90 GHz // *Astron. J.* – 1980. – Vol. 85, No. 11. – P. 1427–1433. DOI: 10.1086/112818
8. Epstein E. E., Schneider E., Fogarty W. G., and Mottmann J. Quenchings and outbursts of extragalactic radio sources – Nine years of 3.3-mm measurements and comparisons with centimeter-wave variations // *Astron. J.* – 1982. – Vol. 87, No. 3. – P. 449–461.
9. Bleiders M., Bezrukovs V., and Orbidans A. Performance evaluation of Irbene RT-16 radio telescope receiving system // *Latvian J. Phys. Techn. Sci.* – 2018. – Vol. 55, No. 1.
10. Lomb N. R. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data // *Astrophys. Space Sci.* – 1976. – Vol. 39, Is. 2. – P. 447–462. DOI: 10.1007/BF00648343
11. Scargle J. D. Studies in astronomical time series analysis. II – Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data // *Astrophys. J.* – 1982. – Vol. 263, Part 1. – P. 835–853. DOI: 10.1086/160554
12. Press W. H. and Rybicki G. B. Fast algorithm for spectral analysis of unevenly sampled data // *Astrophys. J.* – 1989. – Vol. 338. – P. 277–280. DOI: 10.1086/167197
13. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: Специальный справочник. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.
14. Laing R. A., Riley J. M., and Longair M. S. Bright radio sources at 178 MHz - Flux densities, optical identifications and the cosmological evolution of powerful radio galaxies // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1983. – Vol. 204, Is. 1. – P. 151–187. DOI: 10.1093/mnras/204.1.151
15. Butcher H. and Oemler A. Jr. The evolution of galaxies in clusters. I - ISIT photometry of C1 0024+1654 and 3C 295 // *Astrophys. J.* – 1978. – Vol. 219, Part 1. – P. 18–30. DOI: 10.1086/155751
16. Allen S. W., Taylor G. B., Nulsen P. E. J., Johnstone R. M., David L. P., Ettori S., Fabian A. C., Forman W., Jones C., and McNamara B. Chandra X-ray observations of the 3C 295 cluster core // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2001. – Vol. 324, Is. 4. – P. 842–858. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2001.04315.x
17. Harris D. E., Nulsen P. E. J., Ponman T. J., Bautz M., Cameron R. A., David L. P., Donnelly R. H., Forman W. R., Grego L., and Hardcastle M. J. Chandra X-Ray Detection of the Radio Hot Spots of 3C 295 // *Astrophys. J. Lett.* – 2000. – Vol. 530, No. 2. – P. L81–L85. DOI: 10.1086/312503
18. Taylor G. B. and Perley R. A. The structure of the hot spots in 3C 295 // *Astron. Astrophys.* – 1992. – Vol. 262, No. 2. – P. 417–423.
19. Aller M. F., Aller H. D., and Hughes P. A. Pearson-Readhead Survey Sources II: The Longterm Centimeter-band Total Flux and Linear Polarization Properties of a Complete Radio Sample // *Astrophys. J.* – 2003. – Vol. 586, No. 1. – P. 33–52.
20. Fan J. H., Liu Y., Yuan Y. H., Hua T. X., Wang H. G., Wang Y. X., Yang J. H., Gupta A. C., Li J., Zhou J. L., Xu S. X., and Chen J. L. Radio variability properties for radio sources // *Astron. Astrophys.* – 2007. – Vol. 462, Is. 2. – P. 547–552. DOI: 10.1051/0004-6361:20054775
21. Jun-Hui Fan, Yong Huang, Yu-Hai Yuan, Jiang-He Yang, Yi Liu, Jun Tao, Ying Gao, Tong-Xu Hua, Rui-Guang Lin, Jiang-Shui Zhang, Jing-Yi Zhang, and Yi-Ping Qin. Brightness temperature for 166 radio sources // *Res. Astron. Astrophys.* – 2009. – Vol. 9, No. 7. – P. 751–760.
22. Spoelstra T. A. Th. The ionosphere and radio interferometry // *Ann. Geophys.* – 1997. – Vol. 40, No. 4. – P. 865–885. DOI: 10.4401/ag-3885
23. Rickett B. J., Lazio T. J. W., and Ghigo F. D. Interstellar scintillation observations of 146 extragalactic radio sources // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 2006. – Vol. 165. – P. 439–460. DOI: 10.1086/504897
24. Koay J. Y., Bignall H. E., Macquart J. P., Jauncey D. L., Rickett B. J., and Lovell J. E. J. Detection of six rapidly scintillating active galactic nuclei and the diminished variability of J1819+3845 // *Astron. Astrophys.* – 2011. – Vol. 534. – P. L1–L5. DOI: 10.1051/0004-6361/201117805
25. Qian Shan-jie, Li Xiao-cong, Wegner R., Witzel A., and Krichbaum T. P. Implications of the correlation between the optical and radio intraday variations in BLO 0716+714 // *Chinese Astron. Astrophys.* – 1996. – Vol. 20, Is. 1. – P. 15–25. DOI: 0.1016/0275-1062(96)00003-3
26. Camenzind M. and Krockenberger M. The lighthouse effect of relativistic jets in blazars - A geometric origin of intraday variability // *Astron. Astrophys.* – 1992. – Vol. 255, No. 1-2. – P. 59–62.
27. D’Silva S. and Chakrabarti S. K. Magnetic activity in thick accretion disks and associated observable phenomena. 2: Flux storage // *Astrophys. J.* – 1994. – Vol. 424, No. 1. – P. 149–157. DOI: 10.1086/173879

REFERENCES

1. GORSHKOV, A. G., IPATOV, A. V., IPATOVA, I. A., KONNIKOVA, V. K., MARDYSHKIN, V. V., KHARINOV, M. A. and MIKHAILOV, A. G., 2009. The intraday variability of three radio sources with flat spectra. *Astron. Zh.* vol. 86, no. 5, pp. 428–439, (in Russian).
2. GORSHKOV, A. G., IPATOV, A. V., KONNIKOVA, V. K., MARDYSHKIN, V. V., MINGALIEV, M. G., FINKELSTEIN, A. M. and KHARINOV, M. A., 2011. Variability of the flux density of the blazar S5 0716 + 714 in the radio range with characteristic times less than a month. *Astron. Zh.* vol. 88, no. 2, pp. 115–126, (in Russian).
3. GORSHKOV, A. G., IPATOV, A. V., KONNIKOVA, V. K., MARDYSHKIN, V. V., MINGALIEV, M. G. and KHARINOV, M. A., 2014. Variability of the flux density of the quasar J1159 + 2914 (S5 1156 + 295) in the radio range in 2010 – 2013. *Astron. Zh.* vol. 91, no 10, pp. 815–823, (in Russian). DOI: 10.7868/S0004629914100065
4. GORSHKOV, A. G., KONNIKOVA, V. K., IPATOV, A. V., HARINOV, M. A., MIKHAILOV, A. G. and MARDYSHKIN, V. V., 2016. Search for intraday variability of radio sources on the antennas of the IPA RAS. *Trudy IPA RAN*, vol. 38, P. 80–89, (in Russian).
5. XIANG LIU, 2003. Detection of Intrahour Variabilities in Quasar 3C 273? *Acta Astronomica Sinica*. vol. 44, suppl., pp. 310–312.
6. HARVEY, G. A., ANDREW, B. H., MACLEOD, J. M. and MEDD, W. J., 1972. A search for rapidly varying radio sources. *Astrophys. Lett.* vol. 11, pp. 147–149.
7. EPSTEIN, E. E., LANDAU, R. and RATHER, J. D. G., 1980. Extragalactic radio sources: Rapid variability at 90 GHz. *Astron. J.* vol. 85, no. 11, pp. 1427–1433, DOI: 10.1086/112818
8. EPSTEIN, E. E., SCHNEIDER, E., FOGARTY, W. G. and MOTTMANN, J., 1982. Quenchings and outbursts of extragalactic radio sources - Nine years of 3.3-mm measurements and comparisons with centimeter-wave variations. *Astron. J.* vol. 87, no. 3, pp. 449–461.
9. BLEIDERS, M., BEZRUKOV, V. and ORBIDANS, A., 2018. Performance evaluation of Irbene RT-16 radio telescope receiving system. *Latvian J. Phys. Techn. Sci.* vol. 55, no. 1.
10. LOMB, N. R., 1976. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophys. Space Sci.* vol. 39, is. 2, pp. 447–462. DOI: 10.1007/BF00648343
11. SCARGLE, J. D., 1982. Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *Astrophys. J.* vol. 263, part 1, pp. 835–853. DOI: 10.1086/160554
12. PRESS, W. H. and RYBICKI, G. B., 1989. Fast algorithm for spectral analysis of unevenly sampled data. *Astrophys. J.* vol. 338, pp. 277–280. DOI: 10.1086/167197
13. GAIDYSHEV, I., 2001. *Data Analysis and Processing: Special reference book*. Saint Petersburg, Russia: Piter Publ. (in Russian).
14. LAING, R. A., RILEY, J. M. and LONGAIR, M. S., 1983. Bright radio sources at 178 MHz - Flux densities, optical identifications and the cosmological evolution of powerful radio galaxies. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 204, is. 1, P. 151–187. DOI: 10.1093/mnras/204.1.151
15. Butcher, H. and Oemler, A. Jr., 1978. The evolution of galaxies in clusters. I - ISIT photometry of C1 0024+1654 and 3C 295. *Astrophys. J.* vol. 219, part 1, pp. 18–30. DOI: 10.1086/155751
16. ALLEN, S. W., TAYLOR, G. B., NULSEN, P. E. J., JOHNSTONE, R. M., DAVID, L. P., ETTORI, S., FABIAN, A. C., FORMAN, W., JONES, C. and MCNAMARA, B., 2001. Chandra X-ray observations of the 3C 295 cluster core. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 324, is. 4, pp. 842–858. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2001.04315.x
17. HARRIS, D. E., NULSEN, P. E. J., PONMAN, T. J., BAUTZ, M., CAMERON, R. A., DAVID, L. P., DONNELLY, R. H., FORMAN, W. R., GREGO, L. and HARDCASTLE, M. J., 2000. Chandra X-Ray Detection of the Radio Hot Spots of 3C 295. *Astrophys. J. Letts.* vol. 530, no. 2, pp. L81–L85. DOI: 10.1086/312503
18. TAYLOR, G. B. and PERLEY, R. A., 1992. The structure of the hot spots in 3C 295. *Astron. Astrophys.* vol. 262, no. 2, pp. 417–423.
19. ALLER, M. F., ALLER, H. D. and HUGHES, P. A., 2003. Pearson-Readhead Survey Sources II: The Longterm Centimeter-band Total Flux and Linear Polarization Properties of a Complete Radio Sample. *Astrophys. J.* vol. 586, no 1, pp. 33–52.
20. FAN, J. H., LIU, Y., YUAN, Y. H., HUA, T. X., WANG, H. G., WANG, Y. X., YANG, J. H., GUPTA, A. C., LI, J., ZHOU, J. L., XU, S. X. and CHEN, J. L., 2007. Radio variability properties for radio sources. *Astron. Astrophys.* vol. 462, is. 2, pp. 547–552. DOI: 10.1051/0004-6361:20054775
21. JUN-HUI FAN, YONG HUANG, YU-HAI YUAN, JIANG-HE YANG, YI LIU, JUN TAO, YING GAO, TONG-XU HUA, RUI-GUANG LIN, JIANG-SHUI ZHANG, JING-YI ZHANG and YI-PING QIN, 2009. Brightness temperature for 166 radio sources. *Res. Astron. Astrophys.* vol. 9, no. 7, P. 751–760.
22. SPOELSTRA, T. A. TH., 1997. The ionosphere and radio interferometry. *Ann. Geophys.* vol. 40, no. 4, P. 865–885. DOI: 10.4401/ag-3885
23. RICKETT, B. J., LAZIO, T. J. W. and GHIGO, F. D., 2006. Interstellar scintillation observations of 146 extragalactic radio sources. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* vol. 165, pp. 439–460. DOI: 10.1086/504897
24. KOAY, J. Y., BIGNALL, H. E., MACQUART, J. P., JAUNCEY, D. L., RICKETT, B. J. and LOVELL, J. E. J., 2011. Detection of six rapidly scintillating active galactic nuclei and the diminished variability of J1819+3845. *Astron. Astrophys.* vol. 534, pp. L1–L5. DOI: 10.1051/0004-6361/201117805
25. QIAN SHAN-JIE, LI XIAO-CONG, WEGNER, R., WITZEL, A. and KRICHBAUM, T. P., 1996. Implications of the correlation between the optical and radio intraday variations in BLO 0716+714. *Chinese Astron. Astrophys.* vol. 20, is. 1, pp. 15–5. DOI: 0.1016/0275-1062(96)00003-3
26. CAMENZIND, M. and KROCKENBERGER, M., 1992. The lighthouse effect of relativistic jets in blazars - A geometric origin of intraday variability. *Astron. Astrophys.* vol. 255, no 1-2, pp. 59–62.

27. D'SILVA, S. and CHAKRABARTI, S. K., 1994. Magnetic activity in thick accretion disks and associated observable phenomena. 2: Flux storage. *Astrophys. J.* vol. 42, no. 1, pp. 149–157. DOI: 10.1086/173879

A. L. Sukharev¹, V. V. Bezrukovs², M. Y. Bleiders²,
A. A. Orbidans², and M. I. Ryabov¹

¹ Observatory “URAN-4”, Institute of Radio Astronomy,
National Academy of Sciences of Ukraine,
37, Pushkinska St., Odesa, 65011, Ukraine

² Ventspils International Radio Astronomy Center (VIRAC),
101, Inzhenieru St., Ventspils, LV-3601, Latvia

ON THE PROGRAM AND PRELIMINARY RESULTS
OF INVESTIGATIONS OF INTRADAY
AND INTERDIURNAL FLUX VARIABILITY
OF EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES
AT TELESCOPES OF VENTSPILS INTERNATIONAL
RADIO ASTRONOMY CENTER (VIRAC)

Purpose: From April 2017, a monitoring program of observations has been started at the RT-16 telescope of Ventspils Radio Astronomy Center (frequencies 5, 6.1, 6.7, 8.4 GHz) to study the intraday and interdiurnal variability of extragalactic radio sources. At the first stage, the technique was developed and trial observations of extragalactic radio sources 3C 295, 3C 273, 3C 454.3, BL Lac and OJ 287 were made.

Design/methodology/approach: Research efforts were made to test the modes of source observations in the context of some other different programs and calibration procedures, taking into account the influence of various factors in monitoring observations with the RT-16. For this type of data, the most effective is search for quasiperiods of radio source fluxes by the Lomb–Scargle method with the following approximation of observations by trigonometric polynomials.

Findings: The radio source 3C 295 appears to have quasiperiodic fluctuations in radiant flux density at the time scale of ≈ 4 h, as well as ≈ 5 and 7 h in different observation sessions, and long-term oscillations at the time scale of 10–11 and 3–4 days. In radio sources 3C 273 and 3C 454.3, due to a small number of observations, only the day-to-day trends are observed, BL Lac and OJ 287 show no trend and quasi-periodic changes in flux density. Obtained results are preliminary and will be refined with accumulation of observational data.

Conclusions: Methodology for realization of observations and calibration was prepared and tested for the monitoring program to study intraday and interdiurnal variability of extragalactic radio sources using the RT-16 telescope of Ventspils Radio Astronomy Center. Preliminary results of analysis of obtained data showed the effectiveness of applied technique and their conformity to the results of similar studies published earlier.

Key words: radio telescope, radio source, periodogram, quasiperiodic changes, intraday variability, trigonometric polynomial

A. Л. Сухарев¹, В. В. Безруковс², М. Ю. Блейдерс², А. А. Орбиданс², М. І. Рябов¹

¹ Обсерваторія “УРАН-4”, Радіоастрономічний інститут
НАН України,
вул. Пушкінська, 37, м. Одеса, 65011, Україна

² Вентспільський міжнародний
радіоастрономічний центр (VIRAC),
вул. Інженієру, 101, м. Вентспільс, LV-3601, Латвія

ПРО ПРОГРАМУ ТА ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ
ДОСЛІДЖЕНЬ ВНУТРІШНЬОДОБОВОЇ
ТА МІЖДОБОВОЇ МІНЛИВОСТІ ПОТОКІВ
ВИПРОМІНЮВАННЯ ПОЗАГАЛАКТИЧНИХ
РАДІОДЖЕРЕЛ НА ТЕЛЕСКОПАХ
ВЕНТСПІЛСЬКОГО МІЖНАРОДНОГО
РАДІОАСТРОНОМІЧНОГО ЦЕНТРУ (VIRAC)

Предмет та мета роботи: 3 квітня 2017 р. на телескопі Вентспільського радіоастрономічного центру РТ-16 (частоти 5, 6.1, 6.7, 8.4 ГГц) розпочалося виконання моніторингової програми спостережень з метою дослідження внутрішньодобової та міждодової змінності позагалактичних радіоджерел. На першому етапі здійснювалось відпрацювання методики та виконання пробних спостережень позагалактичних радіоджерел 3C 295, 3C 273, 3C 454.3, BL Lac і OJ 287.

Методи і методологія: Виконано дослідницьку роботу щодо відпрацювання режимів спостережень радіоджерел за умов виконання різних програм, процедури калібрування, врахування впливу різних чинників при моніторингових спостереженнях на РТ-16. Для подібного роду даних найрезультативнішим є пошук квазіперіодів потоків випромінювання радіоджерел методом Ломба–Скаргла з подальшою апроксимацією спостережень тригонометричними поліномами.

Результати: У радіоджерела 3C 295 проявляються квазіперіодичні коливання щільності потоку випромінювання на часовому масштабі ≈ 4 г, а також ≈ 5 і 7 г у різні сеанси спостережень, і тривалі коливання на часовому масштабі 10–11 і 3–4 діб. У радіоджерел 3C 273 і 3C 454.3 в зв'язку з невеликим числом спостережень відзначається наявність тільки міждодових трендів, у BL Lac і OJ 287 трендових та квазіперіодичних змін густини потоку не виявлено. Отримані результати мають попередній характер і будуть уточнюватися в міру накопичення спостережних даних.

Висновок: Підготовлена і апробована методика виконання спостережень і калібрування для моніторингової програми дослідження внутрішньодобової та міждодової змінності позагалактичних радіоджерел на телескопі РТ-16 Вентспільського радіоастрономічного центру. Попередні результати аналізу отриманих даних показали ефективність застосовуваної методики та їх відповідність опублікованим раніше результатам подібних досліджень.

Ключові слова: радіотелескоп, радіоджерело, періодограма, квазіперіодичні зміни, внутрішньодобова змінність, тригонометричний поліном

Стаття постуила в редакцію 25.10.2017