

ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ БЛАЗАРА OJ 287 В РАДИО И ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНАХ

А.СУХАРЕВ^{1,2}, М.РЯБОВ², В.БЕЗРУКОВС¹, А.ОРБИДАНС¹,
М.БЛЕЙДЕРС¹, С.УДОВИЧЕНКО³, Л.КЕЙР³,
И.ЭГЛИТИС⁴, П.ДУБОВСКИЙ⁵

Поступила 28 июня 2019

Принята к печати 18 декабря 2019

Внегалактический радиоисточник OJ 287 является одним из наиболее исследуемых блазаров. По этому источнику накоплено огромное количество данных (в радиодиапазоне за время более 40 лет и в оптическом диапазоне - более 100 лет). В связи с возможным наличием в этом радиоисточнике системы двойной черной дыры, которая включает центральный объект и его спутник, представляют интерес исследования быстрых вариаций радиопотока и звездной величины этого объекта с характерными временами от нескольких часов до нескольких дней. В данной работе представлены результаты поисковых исследований внутрисуточной (IDV) и межсуточной переменности радиоисточника OJ 287 (март-май 2019) на частотах 6.1, 6.7 ГГц на телескопах VIRAC (Ventspils International Radioastronomy Center, Латвия), в сравнении с оптической переменностью в фильтрах V , R , I (апрель-май 2019). Оптические кривые блеска были получены на 1.2-м телескопе системы Шмидта в астрономической обсерватории Балдоне, Латвия, 1-м телескопе VNT в Вигорлатской астрономической обсерватории (Словакия) и на телескопе АЗТ-3 наблюдательной станции Маяки Астрономической обсерватории ОНУ им. И.И.Мечникова. Получены сходства долговременных квазипериодов в радио (15, 42 дней) и оптическом (13, 36-37 дней) диапазонах. Минимальное характерное время изменения плотности потока составило 1.4 часа и 0.6 часа на частотах 6.7 и 6.1 ГГц с основными квазипериодами около 5 и 2-3 часа для различных сеансов наблюдений. Также представлено сравнение полученных результатов с результатами других авторов.

Ключевые слова: *внутрисуточная переменность; межсуточная переменность; радиоисточник; периодограмма: OJ 287*

1. **Введение.** История наблюдений лацертиды OJ 287 началась с представления о ней, как о переменной звезде, а в настоящее время этот объект является одним из наиболее широко исследуемых активных ядер галактик. В результате для OJ 287 накоплено множество оптических наблюдений хорошего качества с общей длительностью около 100 лет.

Например, в работе [1] исследуется кривая блеска OJ 287, полученная в фильтре V , из фрагментов разных наблюдений с 1891 по 2010гг. Проведенный авторами статьи гармонический анализ разными методами показал наличие основного квазипериода ~ 12 лет, а также двух квазипериодов ~ 4 и ~ 1.7 года.

Следует отметить, что двенадцатилетний квазипериод, обнаруженный в

оптическом диапазоне (предполагаемый период обращения черной дыры-спутника), применен для расчета модели двойной черной дыры, которая описывает многие наблюдательные особенности вариаций блеска ОJ 287 и подробно рассмотрена, например, в работе [2]. В работе [3] исследуются *UBVRI* кривые блеска BL Lac, из которых самый длительный ряд получен в фильтре *B* с 1896 по 1996гг. Анализ данных методом Юркевича показал наличие наиболее вероятного квазипериода ~ 14 лет и слабого квазипериода ~ 7.5 лет, а также серии более коротких квазипериодов $\sim 0.6, 0.9, 2, 3$ года.

Внутрисуточная переменность в радиодиапазоне у ОJ 287 зарегистрирована во многих работах разных авторов, однако в связи со сложностью таких наблюдений и ограниченностью во времени на инструментах для регулярных наблюдений, значения квазипериодов не являются надежными. Например, в работе [4] временная шкала изменений плотности потока в радиодиапазоне (5 ГГц) для ОJ 287 оценивается как ~ 0.4 и более двух дней, в оптическом диапазоне, за то же время наблюдений, получены значения квазипериодов в 0.5 и 1.3 дня в фильтре *R*. В оптическом диапазоне временная шкала вариаций блеска часто меньше часа и достигает нескольких минут. В работе [5] обнаружена переменность с характерными временами 34.4, 45.6, 51.3 минуты в фильтрах *V, R, I*.

В радиодиапазоне для ОJ 287 преобладающими являются квазипериоды ~ 1.1 и 1.6 года [6] и $\sim 0.5, 1.1, 2.5$ лет [7] на частоте 14.5 ГГц. В то время как более длительные вариации плотности потока у этого источника уже неявные и возможная цикличность трудноразличима на фоне высокоамплитудной быстрой переменности, что выражается в разбросе значений вероятных квазипериодов при расчете разными методами.

В данной работе поставлена задача проведения исследований быстрой переменности ОJ 287 в радио и оптическом диапазонах. Перспектива таких наблюдений заключается в том, что они проводятся на одинаковых временных интервалах. В связи с большой зависимостью оптических наблюдений от погоды, наблюдения велись на телескопах, расположенных на близких меридианах, но при этом далеко разнесенных по широте от Латвии до Словакии и до самой южной точки - наблюдательной станции в Украине.

В основе данной работы лежат наблюдения на 16-м и 32-м радиотелескопах VIRAC, где в течение 2017-2018гг. проведено полное исследование антенн радиотелескопов, выполнены десятки наблюдательных сессий, решено множество технических проблем для обеспечения высококачественных прецизионных наблюдений AGN с высоким временным разрешением. В оптическом диапазоне наблюдения проведены на телескопе АЗТ-3 в фильтрах *R* и *V*, а также на 1-м телескопе VNT в фильтрах *V, R, I* и 1.2-м камере Шмидта Астрономической обсерватории Балдоне в фильтре *R*. Причины внутрисуточной

переменности ОJ 287 остаются неясными. Они могут быть связаны как с процессами в самом источнике, так и проявляться под влиянием космической среды. Возможно сосуществование двух причин с различной степенью вклада в радио и оптическом диапазонах.

2. Наблюдения и инструменты.

2.1. *Радиотелескопы.* Наблюдения радиоисточника ОJ 287 в основном выполнены на 16-м радиотелескопе, а с 23 апреля по 9 мая 2019г. наблюдения были выполнены на 32-м радиотелескопе. Обе антенны оснащены криогенными широкополосными приемниками полной мощности в правой и левой круговых поляризациях, которые охлаждаются жидким гелием. Рабочие частоты 5, 6.1, 6.7, 8.4 ГГц. С мая 2019г. на 32-м антенну дополнительно установлен неохлаждаемый SDR приемник L-диапазона, 1.6 ГГц. Основные параметры 16-м радиотелескопа указаны ниже в табл.1. В качестве калибровочных применялись высокостабильные радиоисточники 3C 196 и 3C 286, длительные наблюдения которых показали "ровный" вид кривых блеска с малым разбросом точек.

Одно измерение плотности потока S_f радиоисточника занимает около 20с. Семь последовательных измерений на одной частоте усредняются для уменьшения влияния атмосферных помех. Количество получаемых отсчетов плот-

Таблица 1

ТАБЛИЦА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ 16-м РАДИОТЕЛЕСКОПА

Охлаждаемая приемная система для частотного диапазона С/М/Х	Производитель: ТПІ, Испания Частотный диапазон: 4500 - 8800 MHz RHCP/LHCP Полоса регистрации: 1000 - 1200 MHz Доступные поддиапазоны: C1: 4500 - 5500 MHz, LO = 4100 MHz C2: 5400 - 6400 MHz, LO = 5000 MHz C3: 6400 - 7600 MHz, LO = 6100 MHz C4: 7600 - 8800 MHz, LO = 7300 MHz SEFD (C1/C2/C3/C4 для всех диапазонов): 540 - 700 Jy G/T: 56 - 60 dB/K Усиление: ≈ 0.05 K/Jy, 59 dBi Системная температура: 30 - 50 K в зависимости от угла наклона HPBW @ 8400 MHz: 0.156 deg или 10 arcmin
Параметры системы позиционирования антенны:	Разработчик: МТМ Mechatronics, Германия Азимут/Угол места диапазон: -328...+328 deg/+2.5...94 deg Азимут/Угол места максимальная скорость: 5/4 deg/s Азимут/Угол места максимальное ускорение: 1.5/2 deg/s/s Азимут/Угол места точность слежения: 3.3/3.3 arcsec (RMS) Азимут/Угол места точность наведения: 23/54 arcsec (RMS) Режимы работы: Таблица координат; таблица поправок; TLE (для спутников)

ности потока за сутки изменяется в зависимости от загруженности телескопа другими научными программами и обычно составляет 100-700 точек. Подробнее об исследовании параметров антенны 16-м радиотелескопа и методике получения отсчетов плотности потока в янских изложено в работе [8], аналогичные исследования были проведены и для 32-м радиотелескопа.

2.2. Оптические телескопы. Наблюдения в оптическом диапазоне выполнены на следующих телескопах: АЗТ-3, VNT и камере Шмидта.

Краткие параметры этих телескопов приведены в табл.2.

Таблица 2

**ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ,
ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ В НАБЛЮДЕНИЯХ ЛАЦЕРТИДЫ ОJ 287**

АЗТ-3	Камера Шмидта	VNT
Диаметр: 480-мм Фокальное расст.: 2024-мм Камера: UAI CCD ICX429ALL Поле зрения: 12'.0 x 8'.5 Предельная величина: 17 ^m	Диаметр: 1.2-м Фокальное расст.: 2.4-м Камера: SBIG CCDs STX-16803 16 mpx Размер пикселя 9 x 9 мкм Поле зрения: 1° x 1° Предельная величина: 21 ^m	Апертура: 1000-мм Фокальное расст.: 9000-мм CCD: FLI PL 1001E 1024 x 1024 px Поле зрения: 9'.47 x 9'.47

2.3. Методы обработки наблюдательных данных. Для расчета периодограмм и определения значений вероятных квазипериодов, применен метод Ломба-Скаргла [9]. Однако в своей "оригинальной" форме этот метод при большом объеме данных довольно медленный. В связи с этим в работе использовался модифицированный "быстрый" метод Ломба-Скаргла на основе быстрого преобразования Фурье, предложенный в работе [10]. При построении периодограммы применялось спектральное окно Кайзера-Бесселя с параметром сглаживания α равным 4. Это позволяет уменьшить эффект "растекания спектра" и ослабить ложные пики на периодограмме [11] ценой незначительного снижения частотного разрешения.

При анализе отдельных сеансов наблюдений, для проверки нормальности статистического распределения применялись статистические тесты Колмогорова-Смирнова и Крамера-Мизеса, что позволяет приблизительно установить - являются ли анализируемые данные шумовыми [12]. Для отдельных сессий наблюдений применялась Фурье-интерполяция с последующим обнулением частот за пределами исходной частоты Найквиста (чтобы избежать искажений спектра временного ряда) [13]. Это позволило улучшить выделение на периодограмме максимумов, соответствующих низкоамплитудным квазигармоническим вариациям, что важно при анализе IDV (внутрисуточной) переменности.

3. Результаты.

3.1. *Радиодиапазон.* В радиодиапазоне наблюдения радиоисточника ОJ 287 проводились с 28 марта по 15 мая 2019г. Изначально планировались наблюдения на частотах 5, 6.7 и 8.4 ГГц, однако впоследствии оказалось, что на частотах 5 и 8.4 ГГц проявляются сильные помехи и шумы, поэтому дальнейшие наблюдения велись регулярно на 6.7 ГГц (как основной) частоте, с дополнительными наблюдениями на частоте 6.1 ГГц (10-15 мая). На частоте 6.7 ГГц получено 4678 отсчетов плотности потока, что позволило во многих наблюдательных сессиях зафиксировать проявление IDV и определить характерное время этих быстрых вариаций.

На рис.1 показан график наблюдений ОJ 287, 6.7 ГГц, сглаженных скользящим средним (интервал сглаживания 8 точек, степень полинома 2).

Для определения характерного времени внутрисуточных вариаций (IDV) необходимо рассмотреть каждый сеанс наблюдения, поскольку на периодограммах для RCP и LCP низкоамплитудные быстрые вариации потока "заглушаются" мощным суточным периодом и его гармониками. Его появление

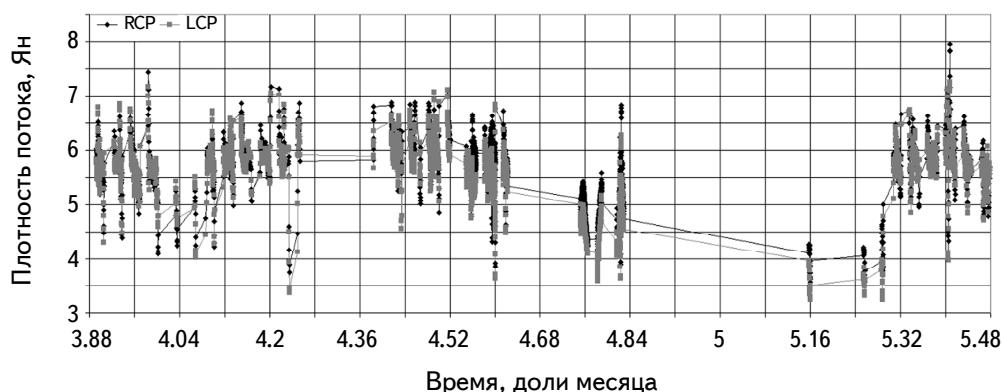


Рис.1. График сглаженных данных для ОJ 287 в правой (RCP) и левой (LCP) круговых поляризациях на частоте 6.7 ГГц. Хорошо заметно долговременное изменение плотности потока. Вертикальные "полоски" распределения данных представляют отдельные сеансы наблюдений.

связано с тем, что наблюдения на радиотелескопах проводятся с перерывами (поскольку есть другие научные программы) и в данных появляются повторяющиеся разрывы, что приводит к появлению максимума на периодограмме с периодом 24 часа. Характерное время наиболее длительного, трендового изменения плотности потока оценено вписыванием синусоиды в данные наблюдений методом наименьших квадратов. Примеры показаны на рис.2. Максимумы на периодограмме идентифицируются с помощью процедуры обнаружения локальных максимумов, которая основана на интерполяции периодограммы кубическим сплайном [14].

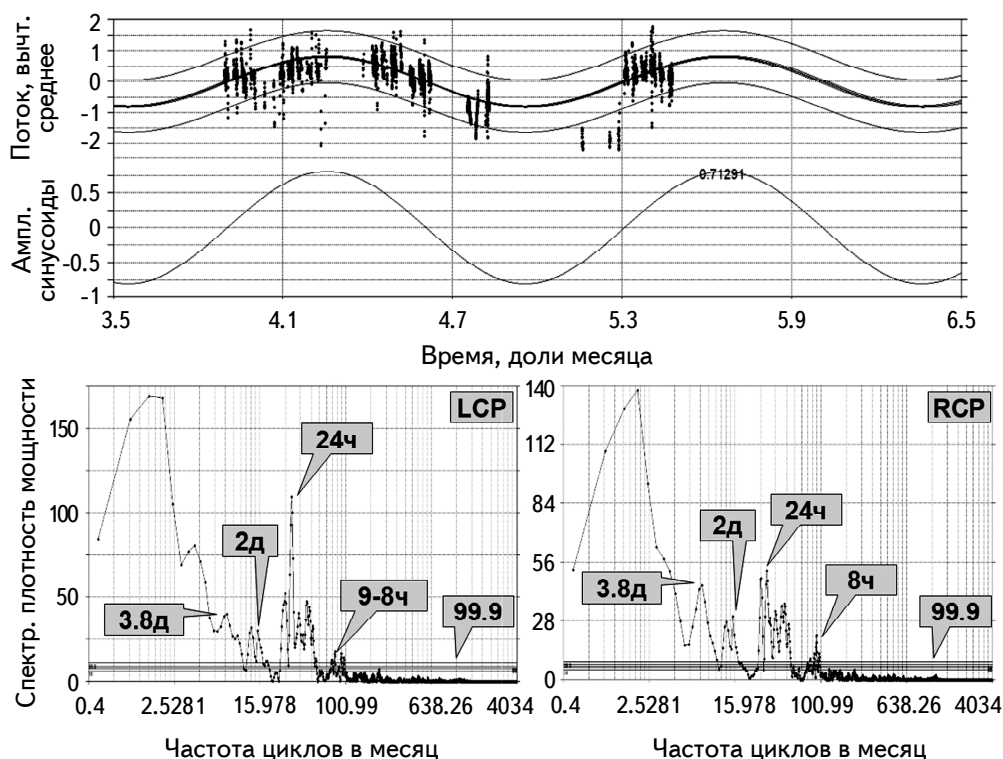


Рис.2. Пример аппроксимации исходных данных (вычтено среднее значение) (вверху) и периодограммы (внизу) для OJ 287 6.7 ГГц. Здесь $R^2 = 0.474$ - коэффициент детерминации, $SE = 0.433$ - стандартная ошибка аппроксимации, $F = 1926.100$ - значение F-статистики. На периодограммах флажками обозначены значения квазипериодов в часах (h) и днях (d), флажок 99.9 обозначает уровень значимости, показывающий, что вероятность только 1 из 1000 случайных наборов данных может дать максимум на периодограмме выше этого уровня. Самый высокий максимум на периодограммах соответствует значению около 15 дней.

Начальные значения частот, амплитуд и фаз гармоник, полученные из периодограммы, использовались для построения тригонометрического полинома путем "уточнения" начальных значений итерационным методом Левенберга-Марквардта [15] до наилучшего совпадения аппроксимирующего ряда с исходными данными. Пример показан на рис.3.

Рассмотрим отдельные сеансы наблюдений, примеры показаны на рис.4.

Анализ отдельных сеансов наблюдений (где были значимые максимумы на периодограммах) показал, что на частотах 6.7 и 6.1 ГГц основные значения квазипериодов быстрых вариаций близки к 5 и 2 часам. В некоторые сеансы наблюдений проявлялся также квазипериод около 3 часов. Пример для частоты 6.1 ГГц показан на рис.5.

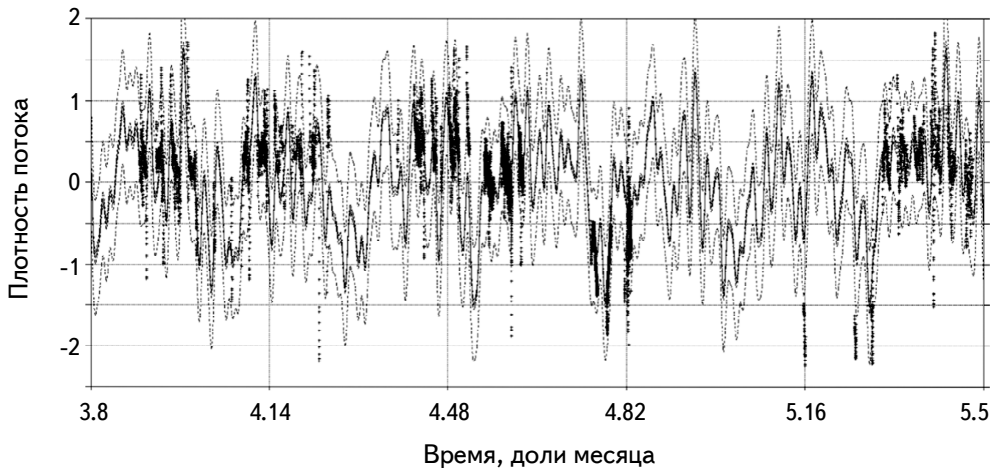


Рис.3. Пример аппроксимации сглаженных наблюдений (вычтено среднее значение) OJ 287, 6.7 ГГц (LCP) тригонометрическим полиномом, составленных из 12 синусоид, соответствующих максимумам периодограммы, превышающих 99.9 уровень значимости. Здесь $R^2 = 0.650$ - коэффициент детерминации, $SE = 0.354$ - стандартная ошибка аппроксимации, $F = 678.559$ - значение F-статистики. Пунктирные линии обозначают 95% интервал предсказания, которые показывают диапазон Y для данного X , где существует 95% вероятность того, что следующее значение Y будет получено на основе аппроксимации имеющихся значений.

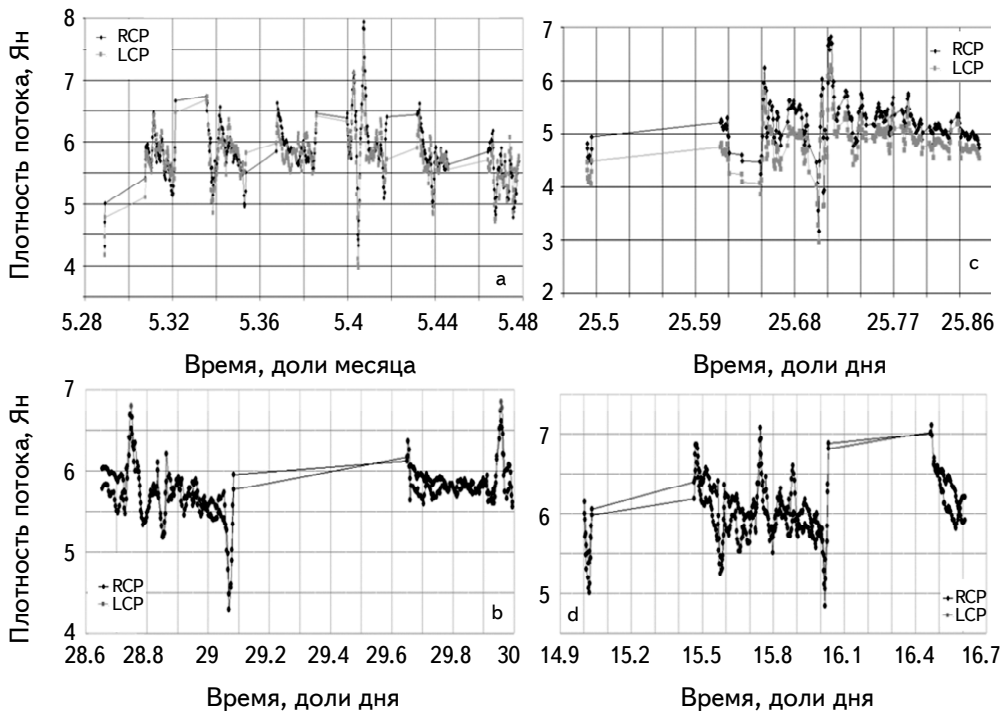


Рис.4. а) Фрагмент данных с 9 по 15 мая 2019; б) фрагмент данных с 28 по 29 марта 2019; в) фрагмент данных 25 апреля 2019; д) фрагмент данных с 15 по 16 апреля 2019.

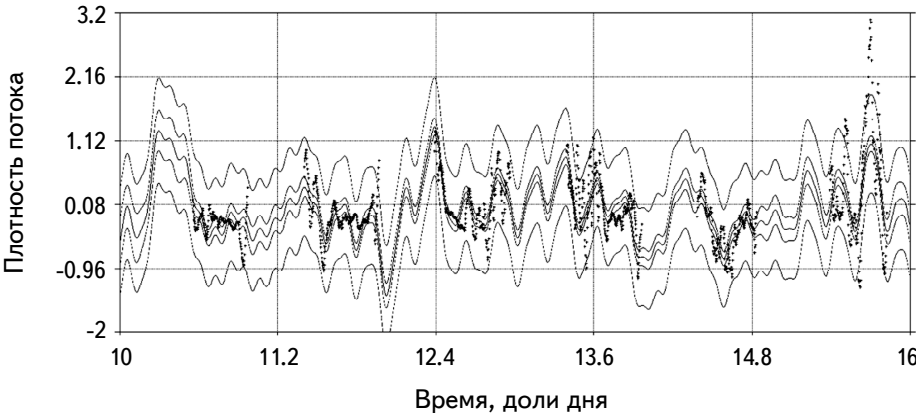


Рис.5. Пример тригонометрического полинома для OJ 287 (вычтено среднее значение), 10-15 мая 2019, 6.1 ГГц (RCP). Периоды синусоид: 3.3 дня, 24, 16, 12, 5.3 и 2.4 часа. Здесь $R^2 = 0.515$ - коэффициент детерминации, $SE = 0.400$ - стандартная ошибка аппроксимации, $F = 46.531$ - значение F-статистики.

3.2. *Оптический диапазон.* В оптическом диапазоне наблюдения выполнены в фильтрах V , R (АЗТ-3); V , R , I (VNT); R (камера Шмидта). Интервалы времени наблюдений и количество отсчетов звездной величины показаны в табл.3.

Таблица 3

ИНТЕРВАЛЫ ВРЕМЕНИ НАБЛЮДЕНИЙ И КОЛИЧЕСТВО ПОЛУЧЕННЫХ ОТСЧЕТОВ ЗВЕЗДНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В РАЗНЫХ ФИЛЬТРАХ ДЛЯ ТРЕХ ТЕЛЕСКОПОВ

Телескоп	Время наблюдений	Количество точек
АЗТ-3	2 марта - 26 апреля, 2019	1040 (V) 977 (R)
VNT	1 апреля - 8 мая, 2019	182 (V) 179 (R) 185 (I)
Камера Шмидта	5 апреля - 7 мая, 2019	255 (R)

Кривые блеска OJ 287 показаны на рис.6. Наблюдения на телескопе АЗТ-3 приведены к стандартной фотометрической системе по следующим формулам:

$$V_{st} = \Delta V_{inst} + \varepsilon_V \Delta(B - V) + V_{comp}, \quad R_{st} = \Delta R_{inst} + \varepsilon_R \Delta(V - R) + R_{comp},$$

где V_{st} , R_{st} - звездные величины в стандартной системе, ΔV_{inst} , ΔR_{inst} - разность звездных величин переменной звезды и звезды сравнения, ε_V , ε_R - цветовые коэффициенты трансформации [29], $\Delta(B - V)$, $\Delta(V - R)$ - разность показателей

цвета переменной звезды и звезды сравнения, V_{comp} , R_{comp} - звездные величины звезды сравнения в стандартной системе [16].

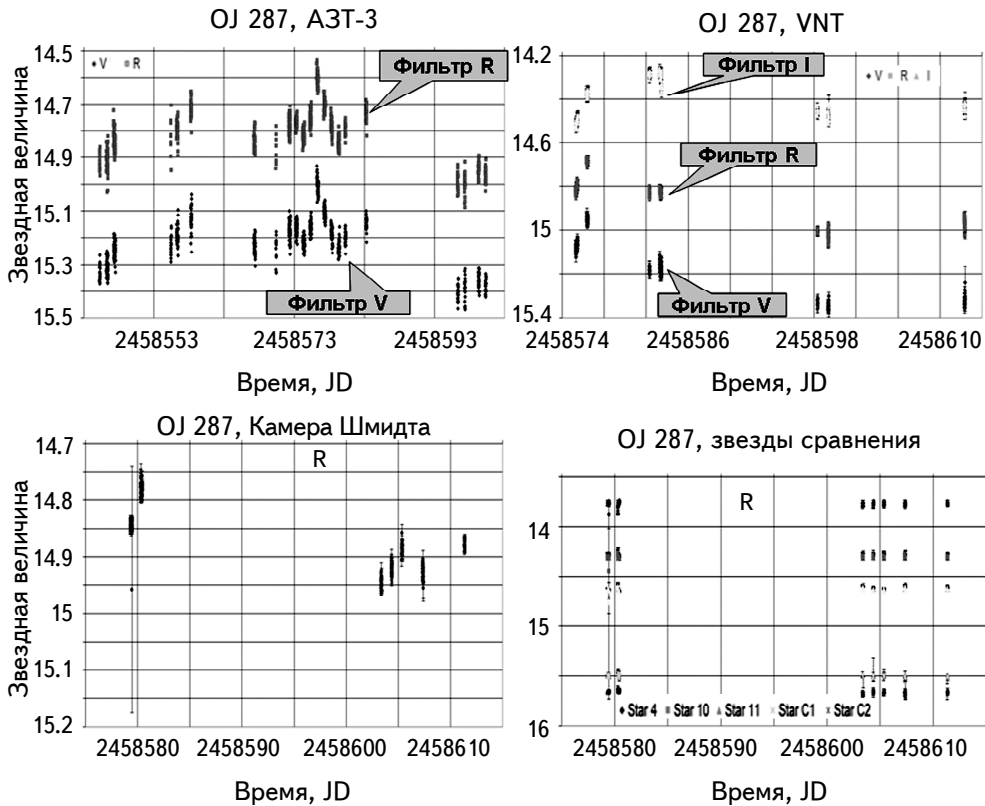


Рис.6. Кривые блеска OJ 287 в фильтрах V , R , I , а также кривые блеска, показывающие стабильность звезд сравнения (взятых из работы [17]) в фильтре R по наблюдениям в Балдоне, Латвия.

Рассмотрим аппроксимации оптических наблюдений с одной или несколькими синусоидами, методом наименьших квадратов, для определения характерных времен изменения блеска OJ 287. Однако, поскольку количество наблюдений невелико, приведенные результаты можно рассматривать пока как предположительные. Ниже показаны примеры на рис.7.

По наблюдениям в Астрономической обсерватории Одесского университета на телескопе АЗТ-3 (самые длительные наблюдения) в фильтрах V , R характерное время изменения блеска 13 дней. Также присутствует трендовая волна около 60 дней. Для определения характерного времени внутрисуточной переменности, данные наблюдений были сглажены скользящим средним с шириной окна 8 точек, а затем дифференцированы (с последующей нормализацией на стандартное отклонение). Процедура дифференцирования временного ряда

подавляет долговременные (трендовые) вариации и усиливает кратковременные [18]. В результате минимальные характерные времена изменения блеска определены как 0.9 часа (фильтр *I*) и 1.1 часа (фильтр *R*). Довольно близкая к 1 часу квазипериодическая переменность OJ 287 в оптическом диапазоне отмечается в работах [19,20] с значением характерного времени около 40 минут.

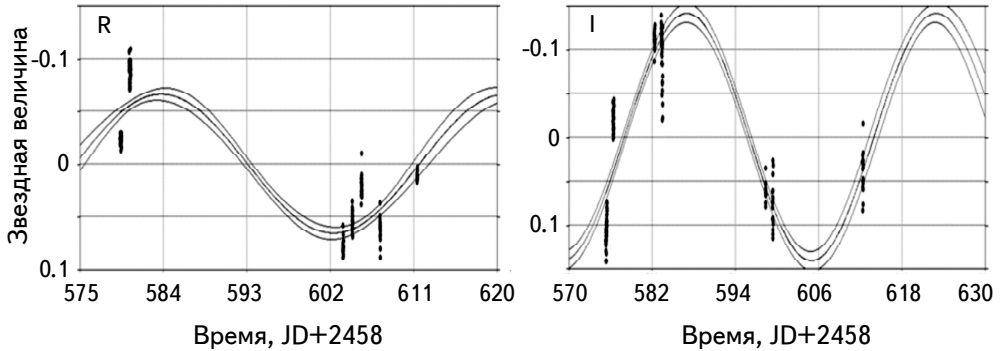


Рис.7. Примеры аппроксимации одной синусоидой наблюдений в фильтре R (обсерватория Балдоне) (слева) и в фильтре I (Вигорлатская обсерватория) (справа). Параметры аппроксимации кривой блеска в фильтре R: $R^2 = 0.814$, $SE = 0.025$, $F = 548.024$, в фильтре I: $R^2 = 0.802$, $SE = 0.039$, $F = 369.365$. В обоих случаях получены близкие значения (37 и 36 дней) характерного времени изменения блеска, соответственно.

Рассмотрим показатель цвета $V-R$. Его график показан на рис.8. Видно, что у показателя цвета отсутствует какой-либо тренд со временем (кроме некоторых ночей, где есть слабый линейный тренд) и он больше нуля (значит, объект излучает больше красного света) и нет выраженной зависимости

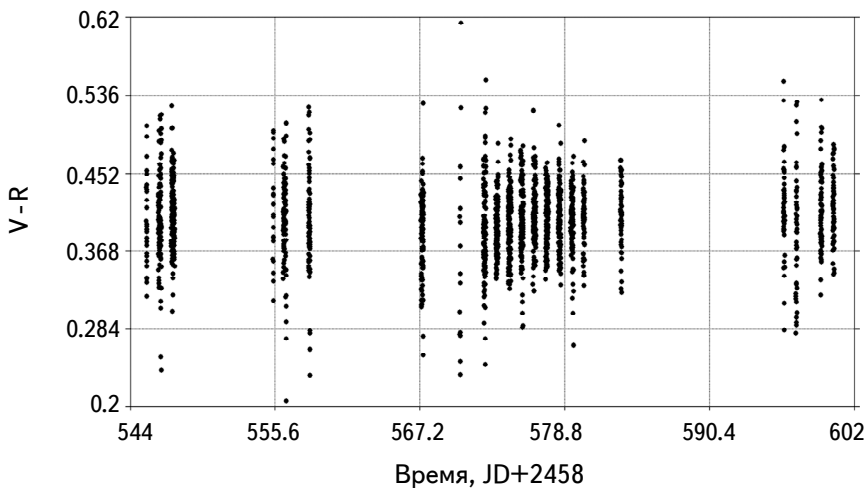


Рис.8. Показатель цвета $V-R$ (среднее значение $0^m.402$) по наблюдениям на телескопе АЗТ-3.

цвета от яркости.

4. *Обсуждение.* Сравнение радио и оптических наблюдений лацертиды ОJ 287 показало ряд интересных результатов. Кривая изменения плотности потока на частоте 6.7 ГГц содержит вклады как долговременной переменности от нескольких дней (2 и 3–4 дня) до, возможно, нескольких десятков дней (15 и 42 дня), так и внутрисуточной (IDV) переменности. Однако ее анализ затруднен значительным влиянием разрывов в данных, что проявляется в виде мощного суточного периода и его гармоник. Для минимизации этого эффекта были проанализированы отдельные наблюдательные сессии, в которых было наличие IDV (гипотеза о нормальности в статистическом тесте отклонялась). Таким образом, значимые характерные времена вариаций потока оказались близки к 5 и 2–3 часам. Минимальное значимое (на доверительном уровне периодограммы 95% и выше) характерное время составило приблизительно 1.4 часа на частоте 6.7 ГГц и 0.6 часа на частоте 6.1 ГГц. IDV появляется и исчезает в разные наблюдательные сессии. Чтобы уловить этот эффект, в будущих радионаблюдениях планируется увеличить временное разрешение и длительность отдельных наблюдательных сессий в свободное от других исследовательских программ время.

Для сравнения рассмотрим исследования быстрой переменности ОJ 287 в радиодиапазоне, выполненные другими авторами. В работе [21] зарегистрирована переменность на длине волны 7 мм с четким периодом 35 мин в течение февраля 1986 г. Однако в следующем году этот период не подтвердился. В работе [22] сообщается об обнаружении квазипериодических вариаций радиопотока с характерным временем 15.7 мин. По наблюдениям ОJ 287 на системе апертурного синтеза VLA была обнаружена очень быстрая, но нерегулярная переменность на частотах 5, 15 и 22 ГГц в работе [23]. Таким образом, анализ публикаций показывает, что наблюдений IDV данного объекта в радиодиапазоне сравнительно немного, поэтому наблюдения, проводимые в Вентспилском Международном Радиоастрономическом центре особенно актуальны.

Обобщая наблюдения, выполненные в трех обсерваториях в оптическом диапазоне, можно сказать, что у ОJ 287 заподозрена переменность с характерным временем 36–37 дней (по данным Вигорлатской и Балдоне обсерваторий), что, однако, требует уточнения по причине небольшого количества наблюдательных сессий. Это довольно близко к долговременному 42-дневному предположительному циклу на частоте 6.7 ГГц. Возможный квазипериод около 13 дней по данным наблюдений на телескопе АЗТ-3 близок к значению в 15 дней на частоте 6.7 ГГц.

Рассмотрим теперь работы авторов, посвященные быстрым вариациям ОJ 287 в оптическом диапазоне. Квазипериод величиной 40 дней уверенно

обнаружен в работе [24] по наблюдениям в 1994-1996 и 2005гг. Авторы связывают этот 40-дневный период со спиральной структурой магнитного поля у основания струи или с орбитальным движением вблизи основной центральной черной дыры. В работе [25] при анализе долговременных кривых блеска обнаружены вариации звездной величины с характерными временами в интервале 4-10 дней, что близко к 13-дневному циклу в данных АЗТ-3 и к 15-дневному циклу на частоте 6.7 ГГц, а также 3-4-дневным вариациям плотности потока на 6.1 и 6.7 ГГц. Периодический компонент с характерным временем около 50 дней (что близко к значению 60 дней по данным наблюдений на АЗТ-3) на кривой блеска по наблюдениям в фильтре R с интервалом времени 2004-2006гг., а также квазипериодический компонент в 3.5 дня, были обнаружены в работе [26]. Авторами объясняется 50-дневный период как период спиральной волны во внутренней части аккреционного диска.

Таким образом, в данной работе найдено соответствие между долговременными квазипериодами в радио и оптическом диапазонах, а также хорошее соответствие полученных значений квазипериодов в этой работе с результатами других авторов. Это показывает взаимосвязь физических процессов, формирующих наблюдаемые кривые блеска в радио и оптическом диапазонах. По используемым в этой работе наблюдениям IDV в оптическом диапазоне является нерегулярной, а показатель цвета $V-R$ не показывает трендовых изменений. Однако во многих других работах наблюдался тренд показателя цвета. При этом, во время вспышек OJ 287 становился более "голубым" [27]. Также в этой работе показано, что IDV на протяжении интервала наблюдений носила нерегулярный характер. Помимо быстрых вариаций плотности потока, следует отметить наличие ярко выраженной долговременной квазигармонической переменности OJ 287 в радиодиапазоне, которая позволяет выполнять кратковременные прогнозы развития его активности, что подробно рассмотрено, например, в работе [28].

5. Заключение.

1. Проведена инициативная программа квазиодновременных наблюдений внутрисуточной переменности лацертиды OJ 287 в радио и оптическом диапазонах.

2. Проведен анализ радионаблюдений на частотах 6.1 и 6.7 ГГц, полученных на 16-м и 32-м радиотелескопах Вентспилского Международного Радио-астрономического Центра, в марте-мае 2019г.

3. В радиодиапазоне основные квазипериоды имеют значения ~ 15 , 3-4 дня и, возможно, ~ 1.4 месяца. Возможные периоды внутрисуточной переменности в радиодиапазоне ~ 5 и 2-3 часа с минимальными характерными временами переменности 1.4 часа (6.7 ГГц) и 0.6 (6.1 ГГц) часа.

4. Проведено сравнение основных квазипериодов в радиодиапазоне с

предположительными квазипериодами в оптическом диапазоне (фильтры V , R , I), по данным наблюдений Одесской (Украина), Вигорлатской (Словакия) и Балдоне (Латвия) обсерваторий.

5. В оптическом диапазоне IDV являлась нерегулярной. Возможные долговременные квазипериоды ~60, 36-37, 13 дней.

6. Показатель цвета $V-R$ не показал трендовых изменений на интервале времени наблюдений.

7. Оптическая вспышка 2 апреля пришлась на минимум плотности потока на частоте 6.7 ГГц.

8. Повышенная яркость в оптическом диапазоне 6 апреля, возможно, соответствует небольшому и резкому увеличению плотности потока на 6.7 ГГц, произошедшему 7 апреля.

9. Полученные результаты показывают перспективность дальнейшего проведения исследований на основе используемых инструментов и методов обработки. Это позволит по мере накопления данных выявить взаимосвязь внутрисуточной переменности OJ 287 в радио и оптическом диапазоне и определить его природу.

Работа Артема Сухарева профинансирована постдокторским грантом ЕФРР № 1.1.1.2/VIAA/2/18/363 "Исследование внутрисуточной и межсуточной переменности различных типов внегалактических радиоисточников на телескопах Вентспилсского Международного радиоастрономического центра (RISE)".

Проект выполняется в Вентспилсском Университете Прикладных Наук.

¹ Вентспилсский Международный Радиоастрономический центр (VIRAC), Латвия, e-mail: artem.sukharev@venta.lv

² Радиоастрономический институт НАН Украины

³ Астрономическая обсерватория Одесского Национального университета им. И.И.Мечникова, Украина

⁴ Астрономическая обсерватория Балдоне Рижского университета, Латвия

⁵ Вигорлатская астрономическая обсерватория, Словакия

RESEARCH FAST VARIABILITY OF BLAZAR OJ 287 IN RADIO AND OPTICAL RANGES

A.SUKHAREV^{1,2}, M.RYABOV², V.BEZRUKOV¹, A.ORBIDANS¹,
M.BLEIDERS¹, S.UDOVICHENKO³, L.KEIR³, I.EGLITITS⁴, P.DUBOVSKY⁵

The extragalactic radio source OJ 287 is one of the most studied blazars. A huge amount of data has been accumulated over it (in radio range for more

than 40 years and in optical range for more than 100 years). In connection with possible presence of double black hole system in this radio source, which includes central object and its satellite, it is of interest to study fast variations of the radio flux and optical magnitude of this object with characteristic times from several hours to several days. This paper presents results of search and study of intraday (IDV) and interday variability of OJ 287 radio source (March-May 2019) at frequencies 6.1, 6.7 GHz on VIRAC telescopes (Ventspils International Radioastronomy Center, Latvia), in comparison with optical variability in filters V, R, I (April-May 2019). Optical light curves were obtained on 1.2-m Schmidt telescope at the Baldone Astronomical Observatory, Latvia, on 1-m VNT telescope at the Vihorlat Astronomical Observatory (Slovakia), and AZT-3 telescope at the Mayaki Astronomical Observatory of Odessa I.I. Mechnikov National University (Ukraine). Similarities of long-term quasiperiods in radio (15, 42 days) and optical (13, 36-37 days) ranges are obtained. Minimum characteristic time of changes in flux density was 1.4 hours and 0.6 hours at frequencies 6.7 and 6.1 GHz with main quasiperiods of about 5 and 2-3 hours for different observation sessions. Comparison of results obtained in this work with results of other authors is also presented.

Keywords: *intraday variability: interday variability: radio source: periodogram: OJ 287*

ЛИТЕРАТУРА

1. J.Tang, H.J.Zhang, Q.Pang, Astron. Astrophys., **35**, 301, 2014.
2. M.Valtonen, S.Ciprini, Memorie della Societa Astronomica Italiana, **83**, 219, 2012.
3. J.H.Fan, G.Z.Xie, E.Pecontal et al., Astrophys. J., **507**, 173, 1998.
4. X.Liu, P.P.Yang, J.Liu et al., Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **469**, 2457, 2017.
5. W.Zeng, Q.J.Zhao, Ze-Jun Jiang et al., Galaxies. **5**, 85, 2017.
6. P.A.Hughes, H.D.Aller, M.F.Aller et al., Astrophys. J., **503**, 662, 1998.
7. T.Jie, Scientia Sinica Physica, Mechanica & Astronomica, **44**, 771, 2014.
8. M.Bleiders, A.Orbidans, Vl.Bezrukovs, Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, **54**, 6, 2017.
9. J.T. Van der Plas, Astrophys. J. Suppl. Ser., **236**, 16, 2018.
10. W.H.Press, G.B.Rybicki, Astrophys. J., **338**, 277, 1989.
11. P.Kataria, R.Mehra, International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), **2**, 1691, 2013.
12. I.A.Ahmad, A.R.Mugdadi, Journal of Nonparametric Statistics, **15**, 273, 2003.
13. T.J.Cavicchi, IEE Proceedings F-Radar and Signal Processing, **139**, 207, 1992.
14. D.Ventzas, N.Petrellis, Peak searching algorithms and applications. The IASTED

International Conference on Signal and Image Processing and Applications. SIPA 2011, June 22-24, 2011 in Crete, Greece.

15. *M.K.Transtrum, J.P.Sethna*, arXiv:1201.5885v1 [physics.data-an], 2012.
16. *D.Boyd*, JAAVSO, **40**, 990, 2012.
17. *M.Fiorucci, G.Tosti*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **116**, 403, 1996.
18. *Н.А.Садовникова, Р.А.Шмойлова*, Анализ временных рядов и прогнозирование. Вып. 3: Учебно-методический комплекс, М., Изд. Центр ЕАОИ, 2009, с.264.
19. *N.Visvanathan, J.L.Elliot*, Astrophys. J., **179**, 721, 1973.
20. *L.Carrasco, D.Dultzin-Hacyan, I.Cruz-Gonzalez*, Nature, **314**, 146, 1985.
21. *W.M.Kinzel, R.L.Dickman, C.R.Predmore*, Nature, **331**, 48, 1988.
22. *E.Valtaoja, H.Lehto, P.Teerikorpi et al.*, Nature, **314**, 148, 1985.
23. *J.W.Dreher, D.H.Roberts, J.Lehar*, Nature, **320**, 239, 1986.
24. *Wu.Jianghua, Xu.Zhou, Xue-Bing Wu et al.*, Astron. J., **132**, 1256, 2006.
25. *Y.Liu, J.H.Fan, H.G.Wang et al.*, Proceedings of the International Astronomical Union, **8**, 269, 2013.
26. *P.Pihajoki, M.Valtonen, S.Ciprini*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **434**, 3122, 2013.
27. *A.C.Gupta, P.J.Wiita, H.Gaur et al.*, Astron. J., **157**, 95, 2019.
28. *A.L.Sukharev, M.I.Ryabov, G.I.Donskikh*, Astrophysics, **59**, 213, 2016.
29. *S.N.Udovichenko*, Odessa Astron. Publ., **25**, 32, 2012.