



ISSN 1607–2855

Том 6 • № 2 • 2009 С. 174 – 180

## Применение различных методов определения периодов переменности внегалактических радиисточников 3C120, 3C345, OJ287 по 30-летним наблюдениям на сантиметровых волнах

М.И. Рябов, А.Л. Сухарев

Радиоастрономическая обсерватория «УРАН-4» РИ НАН Украины

В работе были использованы данные почти 40-летнего мониторинга потоков радиисточников 3C120, 3C345, OJ287, проведённого на 26-ти метровом радиотелескопе Мичиганского университета, на частотах 14.5 ГГц (1974–1999 гг.), 8 ГГц (1965–1999 гг.) и 4.8 ГГц (1978–1999 гг.). Применена методика обработки, позволяющая последовательно выявлять периоды переменности потоков от самых продолжительных до самых коротких. Основными периодами долговременной переменности потоков у источника 3C120 были 11, 13 и 13.5 лет, у источника 3C345 — 18, 20.5 и 24.7 года, OJ287 — 16, 17.7 и 23 года. Кроме того, найдено большое число коротких периодов в интервале 0.8–3 года у всех источников на различных частотах. Для каждого радиисточника выделялись отдельные периоды активности, одновременно наблюдаемые на трёх частотах. В каждом периоде активности выделялись фазы роста потока, фазы максимума и минимума, а также промежуточные экстремумы. Показано, что в каждом периоде активности временной сдвиг изменений потока между соседними различными парами частот отличался на различных фазах активности. При этом для источника 3C120 максимальный временной сдвиг в зависимости от частоты был в пределах 0.10–1.06 года, для 3C345 0.88–2.60 года, и для OJ287 0.06–0.94 года.

ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДІВ ЗМІННОСТІ ПОЗАГАЛАКТИЧНИХ РАДІОДЖЕРЕЛ 3C120, 3C345, OJ287 ПО 30-РІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕННЯХ НА САНТИМЕТРОВИХ ХВИЛЯХ, Рябов М.І., Сухарев А.Л. — У роботі були використані дані майже 40-річного моніторингу потоків радіоджерел 3C120, 3C345, OJ287, проведеного на 26-ти метровому радіотелескопі Мичиганського університету, на частотах 14.5 ГГц (1974–1999 рр.), 8 ГГц (1965–1999 рр.) і 4.8 ГГц (1978–1999 рр.). Застосовано методику обробки, що дозволяє послідовно виявляти періоди змінності потоків від самих тривалих до самих коротких. Основними періодами довгострокової змінності потоків у джерела 3C120 були 11, 13 і 13.5 років, у джерела 3C345 — 18, 20.5 і 24.7 роки, OJ287 — 16, 17.7 і 23 року. Крім того, знайдена велика кількість коротких періодів в інтервалі 0.8–3 роки у всіх джерел на різних частотах. Для кожного радіоджерела виділялися окремі періоди активності, одночасно спостережувані на трьох частотах. У кожному періоді активності виділялися фази росту потоку, фази максимуму й мінімуму, а також проміжні екстремуми. Показано, що в кожному періоді активності часове зрушення змін потоку між сусідніми різними парами частот відрізнявся на різних фазах активності. При цьому для джерела 3C120 максимальне часове зрушення залежно від частоти був у межах 0.10–1.06 року, для 3C345 0.88–2.60 роки, і для OJ287 0.06–0.94 року.

THE USE OF DIFFERENT METHODS OF DETERMINING THE PERIODS OF VARIABILITY OF EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES 3C120, 3C345, OJ287 AT 30 YEARS OF OBSERVATIONS AT CENTIMETER WAVELENGTHS, by Ryabov M.I., Suharev A.L. — The paper used data from almost 40 years of monitoring the fluxes of radio sources 3C120, 3C345, OJ287, held on the 26-meter radio telescope from the University of Michigan, at frequencies of 14.5 GHz (1974–1999) 8 GHz (1965–1999) and 4.8 GHz (1978–1999). Applied processing technique, which allows consistently identify periods of flux variability from the longest to the shortest. The main periods of long-term variability of fluxes at the source 3C120 were 11, 13 and 13.5 years, at the source 3C345 — 18, 20.5 and 24.7 years, OJ287 — 16, 17.7 and 23 years. Also, found a large number of short periods in the range of 0.8–3 years from all sources at different frequencies. For each radio allocated separate periods of activity, observed simultaneously at three frequencies. In each period of active growth phase flux are allocated, the maximum and minimum phase, as well as intermediate extrema. We show that in each period of activity changes in the flux of time shift between adjacent pairs of different frequencies differed in the various phases of activity. This source 3C120 maximum time shift, depending on the frequency was within the 0.10–1.06 years, 3C345 0.88–2.60 years and for OJ287 0.06–0.94 years.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Радиисточники 3C120, 3C345 и OJ287 относятся к числу ярких и быстропеременных объектов называемых блазарами, и исследуются во всех диапазонах электромагнитного спектра. Блазары представляют собой мощные источники электромагнитного излучения вокруг сверхмассивных черных дыр в ядрах активных галактик. Они характеризуются непрерывным спектром излучения во всех диапазонах (гамма, рентгеновском, ультрафиолетовом, оптическом, инфракрасном и радио) и очень слабыми, иногда не видимыми, спектральными линиями. Для блазаров типичны также быстрые и значительные изменения светимости во всех диапазонах спектра за период времени в несколько суток или

даже часов. Одной из самых интересных структурных деталей блазаров являются струи или джеты. Эти протяжённые образования начинаются в ядре галактики и тянутся на сотни и тысячи световых лет, заканчиваясь гигантскими облаками газа, называемые лобами. Радиоизлучение джетов и лобов имеет синхротронную природу. Согласно теоретическим моделям, струи формируются во внутренних частях аккреционного диска вокруг сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик. Главную роль в коллимации и сдерживании струи играет, вероятно, магнитное поле. Область формирования струи столь компактна, что ее прямое наблюдение возможно только путем совместных наблюдений на VLBA, VLA и других радиотелескопах [1].

## **2. НАБЛЮДЕНИЯ РАДИОИСТОЧНИКОВ 3C120, 3C345, OJ287**

Длительный мониторинг потоков радиоизлучения блазаров на сантиметровых и миллиметровых волнах проводится на РТ-26 Радиоастрономической обсерватории Мичиганского университета (UMRAO) в США (4.8, 8 и 14.5 ГГц), РТ-22 НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» (22 и 36.8 ГГц). На частотах 22.2 и 36.8 ГГц наблюдения проводились на 22-м радиотелескопе НИИ «КрАО» с использованием модуляционных радиометров, имеющих флуктуационную чувствительность 0.04 К при постоянной времени 1 секунда [2,3]. Для уменьшения влияния флуктуаций от неоднородностей атмосферы применялся двухрупорный прием с модуляцией (переключением) диаграммы направленности антенны. Перед измерением потока источника уточнялось его положение методом сканирования. Поглощение в атмосфере Земли определялось с использованием метода приема излучения атмосферы на различных углах места антенны (метод «разрезов» атмосферы). Антенная температура от источников измерялась методом ON–ON [4]. Измеренные антенные температуры, исправленные за поглощение излучения в атмосфере Земли, пересчитывались в плотности потоков по данным наблюдений источников DR21, 3C274, NGC7027. Данные для калибровочных источников приведены в работе [2]. На частотах 4.8, 8 и 14.5 ГГц. наблюдения проводились на 26-метровом радиотелескопе радиообсерватории Мичиганского университета (РТ-26 UMRAO) с 1965 года. Методика наблюдений и обработки данных на РТ-26 описаны в работе [5].

## **3. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

При обработке данных наблюдений применялись методы анализа временных рядов с применением различных методов фильтрации данных в предположении, что наблюдаемые изменения потока представляют собой суперпозицию различных процессов и периодов активности. Используемые данные наблюдений источников представлены в виде средних значений за период в 7 суток на указанных выше временных интервалах с неравномерной сеткой отсчетов (рис. 1,2,3). Количество «пропусков» в данных было невелико, и это позволило применить обычный метод интерполяции. По гистограмме распределения временных интервалов между отсчетами был выбран оптимальный интервал интерполяции в 0.04 года (14.6 дня).

Следующим шагом стало выявление трендов в данных и проведение процедуры сглаживания с целью определения многолетних изменений потока радиоисточников. Тренды, присутствовавшие на всех частотах для источника OJ287 и на частотах 14.5 и 8 ГГц для источника 3C120, могли быть описаны полиномами 4–6 степеней. Для повышения эффективности спектрального анализа Фурье все данные были освобождены от трендов и сглажены полиномиальным скользящим средним. Это уменьшало вероятность «рассеяния» целевых частот на близкие частоты (могут быть найдены большие значения периодограммы для двух близких частот, когда в действительности существует только одна основная функция синуса или косинуса с частотой, которая попадает на одну из этих частот или лежит между найденными частотами). Для выделения частот с большими спектральными плотностями, т.е. частотные области, состоящие из многих близких частот, которые вносят наибольший вклад в периодическое поведение всего ряда, использовалось окно Парзена. Для выявления короткопериодических изменений потоков, данные аппроксимировались тригонометрическими полиномами, которые затем вычитались из ряда сглаженных данных, образуя ряды O–C [6].

Подготовленные таким образом данные создали основу для применения спектрального анализа Фурье для поиска периодичностей в изменении потока радиоисточников. Для расчёта периодов нами применялись две программы: программный пакет для статистических исследований StatSoft Statistica 8 и программа ISDA, широко используемая в исследованиях переменных звёзд. Использование двух программ позволяло сравнить точность используемых в них методов периодограммного анализа.

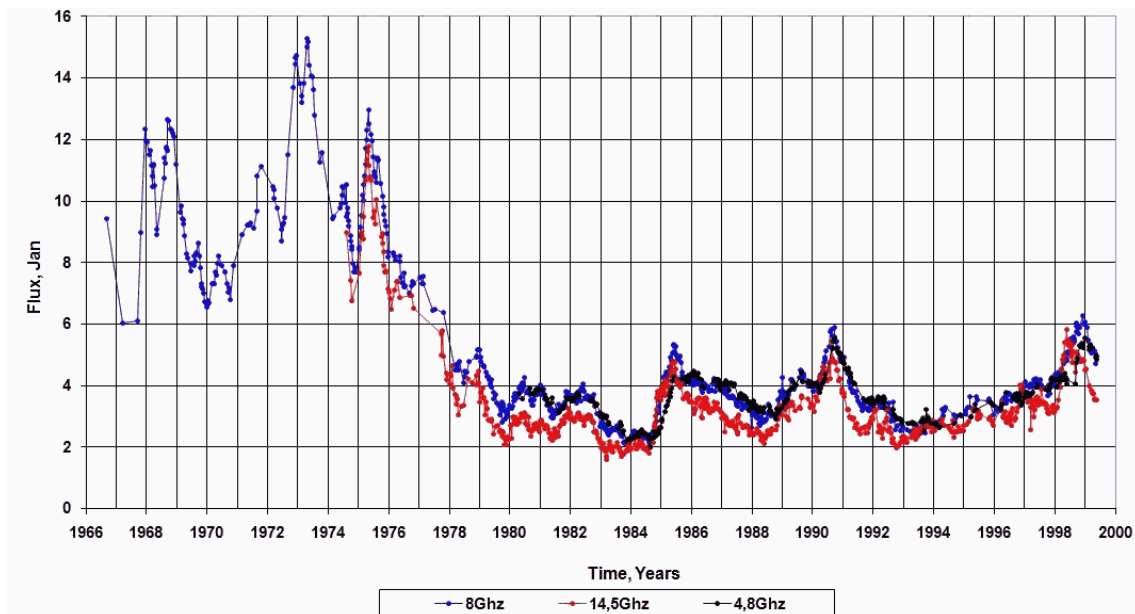


Рис. 1. 3C120 совмещенные частоты

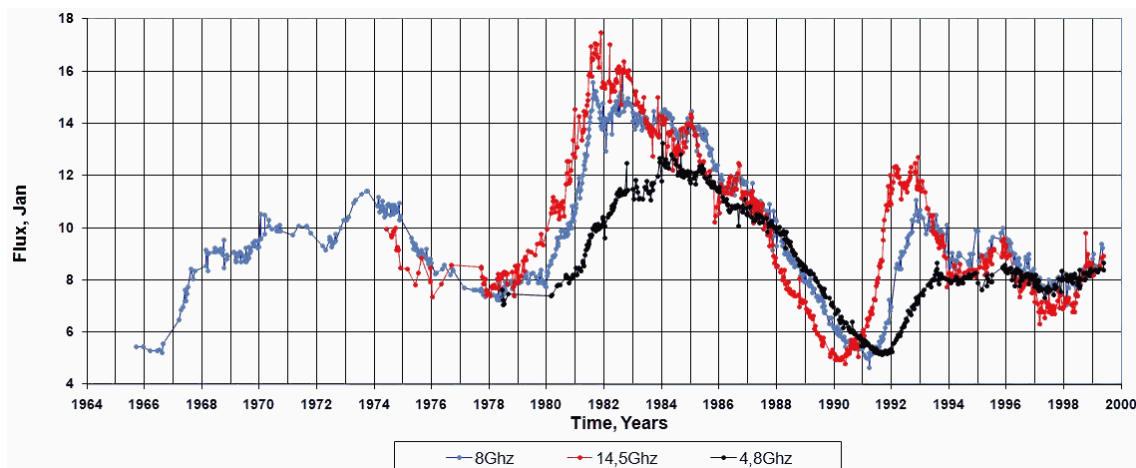


Рис. 2. 3C345 совмещенные частоты

#### 4. СВЕДЕНИЯ ОБ ИССЛЕДУЕМЫХ РАДИОИСТОЧНИКАХ

##### 3C120

Радиогалактика 3C120 (красное смещение  $z = 0.033$ ) находится на расстоянии 450 миллионов св. лет. Радиогалактика обладает двухсторонним джетом. У этого радиоисточника, как и в микроквазарах, за спадами рентгеновского излучения следуют сверхсветовые выбросы ярких облаков плазмы в радио-джетах со скоростями от 4.1 до 5 скоростей света [7]. У 3C120 обнаружено движение со сверхсветовой скоростью, 4-6с (1.8-2.8 мс дуги/г.). Рентгеновский спектр 3C120 сходный с двойной системой, содержащей черную дыру. Радиоисточник обладает структурой ядро-струя с несколькими движущимися компонентами, которые эволюционируют, и с течением времени распадаются. Джет радиогалактики имеет изгиб вблизи ядра. В среднем в джет выбрасывается 2–3 компоненты в год, хорошо отождествляемые на радиокартах. Каждому такому компоненту предшествует падение плотности потока в рентгеновском диапазоне от нескольких дней до недели при этом плотность потока уменьшается почти в два раза.

##### 3C345

Квazar 3C345 ( $z = 0.595$ ) обладает компактным ядром и джетом в котором распространяются компактные компоненты — облака релятивистских частиц и ударные волны в периоды проявлений активности. Временные шкалы переменности уменьшаются с уменьшением длины волны. У этого радиоисточника односторонний джет и гало. В радиодиапазоне на длинах волн более 3 мм. спектр ядра источника плоский, а спектры облаков степенные. Видимые скорости движения облаков, распространяющихся в джете, по данным VLBI наблюдений находятся в пределах 10–20 с. При этом, угол

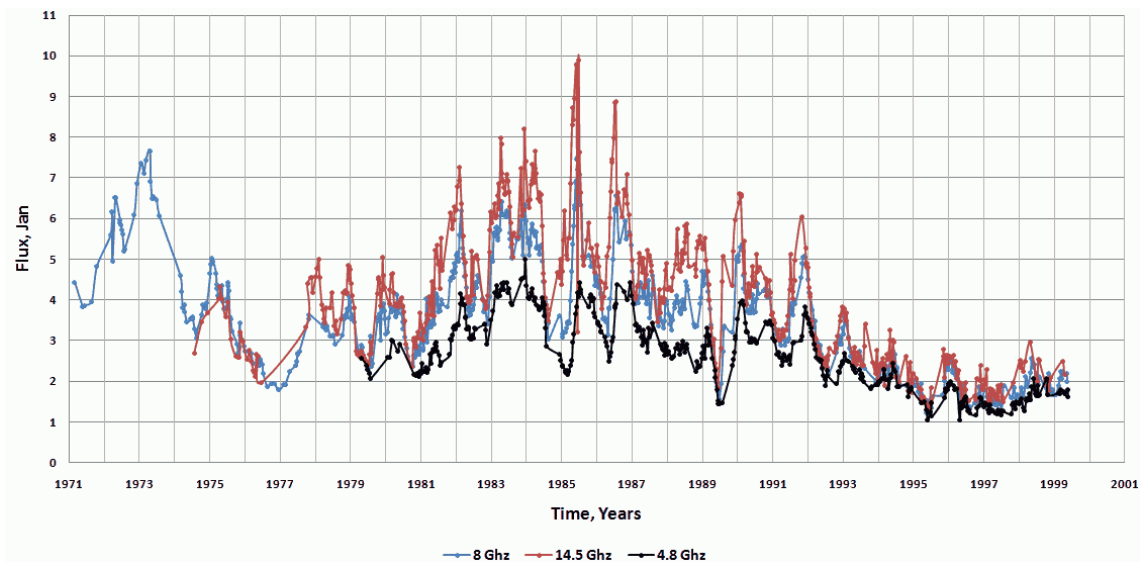


Рис. 3. OJ287 совмещенные частоты

между лучом зрения на ядро источника и направлением джета составляет  $7^\circ$ . За период наблюдений с 1965 до 2000 гг. отмечались два продолжительных периода повышенной активности источника. С 1980 по 1990 гг. и с 1990 до 2000 г. по данным VLBI наблюдений на волне 18 см с 1981.11 до 1985.27 регистрировалось 5 компактных компонент, а в 1990.72 г. отмечалось наличие 7 облаков плазмы на различных расстояниях от ядерной компоненты. Последующие VLBI наблюдения на волнах 1.3, 2, 3.6 и 6 см за 3 эпохи 1995.84, 1996.41 и 1996.81 показывали последовательное наличие кроме ядра и джета с начала 2, а затем 6 компактных компонент на частотах 5, 8.4, 15 и 22 ГГц в изображении источника 3C345.

#### OJ287

Этот радиоисточник, относящийся к классу BL LAC ( $z=0.306$ ), обладает плоским радиоспектром и заметно отличается от остальных быстрой и сильной по амплитуде переменностью на всех частотах. Джет у радиоисточника односторонний. OJ287 является источником гамма излучения. Масса черной дыры, расположенной в центре квазара OJ287 в 18 млрд. раз превышает массу Солнца. Кроме радиодиапазона этот радиоисточник обладает быстрой переменностью в оптическом и инфракрасном диапазонах, а также сильными и быстрыми изменениями радио и оптической линейной поляризации. Квазар OJ287 каждые 12 лет посылает в космос два мощных световых сигнала. Согласно последним данным в OJ287 могут находиться две чёрные дыры, вращающиеся вокруг общего центра масс с периодом 12 лет. Одна из черных дыр два раза за период пересекает аккреционный диск вокруг второй, что и приводит к вспышкам [8]. Масса меньшей чёрной дыры оценивается примерно в 100 млн. масс Солнца. По джету радиоисточника распространяются компоненты с очень маленькими угловыми размерами.

### 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Проведённый спектральный анализ показал наличие в исследуемых рядах данных несколько периодических составляющих. В результате, по каждой из трёх частот для каждого радиоисточника были получены периодограммы и спектральные плотности, по которым были определены периоды изменения потоков радиоизлучения для источников 3C120, 3C345, OJ287. На основе полученных периодов были построены модели кривых изменения плотности потоков радиоизлучения для исследуемых источников, в результате был сделан вывод, что наилучшим образом кривые изменения плотности потоков описываются моделями, построенными на основе периодов, вычисленных с помощью программы ISDA.

#### 3C120

Временной интервал используемых нами данных по радиоисточнику 3C120 на частоте 14.5 ГГц составил 25 лет, на частоте 8 ГГц — 33 года и на частоте 4.8 ГГц — 19 лет. Весь набор полученных значений периодов приведён в табл.1. Долговременные периоды изменений потока продолжительностью около 10–13 лет присутствуют на всех частотах. Менее продолжительные периоды около 4 и 5 лет также существуют на различных частотах. В то же время результаты расчёта периодов по рядам O–C данных показывают набор из шести различных периодов по трём частотам в интервале

**Таблица 1.** Сравнительная таблица, радиоисточник ЗС120 (на 14.5 ГГц и 8 ГГц вычтен тренд)

Частота, ГГц	Врем. интервал, годы	Периоды, годы (Statistica v.8)	Периоды, годы (ISDA v.3)	Периоды О–С, годы (Statistica v.8)	Периоды О–С, годы (ISDA v.3)
14.5	1974–1999	4.92 12.32	13.4498 ± 0.3671 4.5782 ± 0.0425	1.250	1.2860 ± 0.00341 1.5742 ± 0.00511
8	1966–1999	4.15 16.60	12.9857 ± 0.2540 4.4227 ± 0.0295	1.270 1.738	1.7322 ± 0.00455 1.2619 ± 0.00241
4.8	1980–1999	4.74 9.48	10.8361 ± 0.3103 5.4904 ± 0.0797	0.854 1.044	1.2100 ± 0.00391 0.8545 ± 0.00195

**Таблица 2.** Сравнительная таблица, радиоисточник ЗС345 (до 2000 года)

Частота, ГГц	Врем. интервал, годы	Периоды, годы (Statistica v.8)	Периоды, годы (ISDA v.3)	Периоды О–С, годы (Statistica v.8)	Периоды О–С, годы (ISDA v.3)
14.5	1974–1999	12.41	20.4862 ± 0.812 10.7160 ± 0.222	3.74	1.3341 ± 0.00344
8	1965–1999	11.38	24.6858 ± 0.875 11.9670 ± 0.206	2.65 3.53	3.8242 ± 0.02116 1.7378 ± 0.004337
4.8	1978–1999	10.43	18.4746 ± 0.789	2.75 1.28	2.5861 ± 0.0158 1.0889 ± 0.0028

**Таблица 3.** Сравнительная таблица, радиоисточник ОJ287 (вычтен тренд)

Частота, ГГц	Врем. интервал, годы	Периоды, годы (Statistica v.8)	Периоды, годы (ISDA v.3)	Периоды О–С, годы (Statistica v.8)	Периоды О–С, годы (ISDA v.3)
14.5	1974–1999	1.63 4.08 12.24	23.5547 ± 1.12540 15.5766 ± 0.4922 1.6675 ± 0.00562	1.064	1.0680 ± 0.00231
8	1971–1999	1.66 14.16	17.7563 ± 0.5574 9.1442 ± 0.1478	1.113 1.265	1.2908 ± 0.00299 1.0846 ± 0.00211
4.8	1979–1999	3.98 6.64	16.3048 ± 0.6394 7.8502 ± 0.1538	0.866	0.8679 ± 0.00188

**Таблица 4.** ЗС120 — временные задержки между частотами 14.51 ГГц – 4.8 ГГц

Временной интервал, годы	Временная задержка, годы
1984–1989	Фаза мин. : 0.18 Фаза роста : 0.04 Фаза макс. : 0.70 Фаза спада : 1.06 Фаза мин. : 0.26
1989–1993	Фаза мин. : 0.41 Фаза роста : 0.10 Фаза макс. : 0.20 Фаза спада : 0.50 Фаза мин. : 0.42

**Таблица 5.** ЗС345 — временные задержки между частотами 14.5 ГГц – 4.8 ГГц

Временной интервал, годы	Временная задержка, годы
1978–1993	Фаза мин. : 1.00 Фаза роста : 2.10 Фаза макс. : 2.60 Фаза спада : 0.88 Фаза мин. : 1.56

от 0.85 до 1.73 года. Существуют близкие значения периодов 1.28 (14.5 ГГц), 1.26 (8 ГГц) и 1.21 (4.8 ГГц) которые могут быть проявлением одного процесса, идущего на различных частотах. Кроме того значения периодов 4.57 и 4.42 года на частотах, соответственно 14.5 и 8 ГГц тоже близки между собой.

**ЗС345**

Для радиоисточника ЗС345 длина временных рядов составляет 25 лет на частоте 14.5 ГГц, 34 года на частоте 8 ГГц и 21 год на частоте 4.8 ГГц. Весь набор полученных значений периодов приведён в табл.2. На всех частотах преобладают длительные периоды изменений потока, от 24 до 10 лет. На частотах 14.5 ГГц и 8 ГГц присутствуют близкие периоды 10.71 и 11.96 лет. Диапазон коротких периодов также весьма широк. Мы получили пять значений периодов на трёх частотах, в интервале от трёх до одного года. На различных частотах периоды заметно отличаются друг от друга.

**ОJ287**

Для радиоисточника ОJ287 длина временных рядов составляет 25 лет на частоте 14.5 ГГц, 28 лет на частоте 8 ГГц и 20 год на частоте 4.8 ГГц. Весь набор полученных значений периодов приведён в

**Таблица 6.** OJ287 - временные задержки между частотами 14.51 ГГц – 4.8 ГГц

Временной интервал, годы	Временная задержка, годы	
1980.5 – 1982.5	Фаза мин. : 0.18 Фаза макс. : 0.18 Фаза мин. : 0.06	Фаза роста : 0.94 Фаза спада : 0.22
1982.5 – 1985.0	Фаза мин. : 0.06 Фаза макс. : 0.30 Фаза мин. : 0.34	Фаза роста : 0.14 Фаза спада : 0.22
1984.5 – 1986.5	Фаза мин. : 0.34 Фаза макс. : 0.26 Фаза мин. : 0.10	Фаза роста : 0.26 Фаза спада : 0.14
1986.0 – 1987.5	Фаза мин. : 0.10 Фаза макс. : 0.14 Фаза мин. : 0.10	Фаза роста : 0.14 Фаза спада : 0.26
1989.5 – 1991.5	Фаза мин. : 0.22 Фаза макс. : 0.22 Фаза мин. : 0.28	Фаза роста : 0.10 Фаза спада : 0.18
1991.0 – 1993.0	Фаза мин. : 0.28 Фаза макс. : 0.14 Фаза мин. : 0.28	Фаза роста : 0.18 Фаза спада : 0

табл.3. Спектральный анализ выделил на частоте 14.5 ГГц самый длительный период в 23 года. Кроме того на всех частотах присутствуют близкие периоды величиной 15 лет (14.5 ГГц), 17 лет (8 ГГц) и 16 лет (4.8 ГГц). Набор коротких периодов состоит из четырёх значений, причём самый короткий период (0.8 года) проявляется на частоте 4.8 ГГц, а на частотах 14.5 и 8 ГГц присутствуют очень близкие периоды величиной 1.06 и 1.08 лет соответственно. Высокая вспышечная активность радиоисточника OJ287 с периодом, близким к значению 12 лет на всех частотах, может быть объяснена тем, что в центре радиоисточника имеется тесная двойная система из двух чёрных дыр и аккреционного диска, причём массивная чёрная дыра периодически проходит через аккреционный диск, вызывая мощные истечения вещества вдоль магнитных силовых линий [8]. Также в системе существуют более долгие и плавные изменения плотности потока с длительностью более 24 лет. Эти изменения могут быть связаны с прецессионными движениями в системе двух чёрных дыр. Периоды с величиной около года можно объяснить за счёт нутационного движения в тесной двойной системе чёрных дыр.

## 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПЕРИОДОВ АКТИВНОСТИ

На рис. 1–3 видно, что в данных изменений потока обнаруживается наличие отдельных периодов активности заметно различающихся по характеру изменения потока на различных частотах. Для каждого такого периода нами были определены основные точки определяющие изменения потока на различных частотах: начало фазы роста, фаза максимума, фаза спада и фаза минимума. Взаимные положения этих точек на различных частотах отличаются в различных циклах активности. На основе этого подхода сглаженные временные ряды были разделены на временные интервалы, для источника 3C120 (1984–1989; 1989–1993 гг.), для источника 3C345 (1978–1993 гг.) и для источника OJ287 (1980.5–1982.5, 1982.5–1985.0, 1984.5–1986.5, 1986.0–1987.5, 1989.5–1991.5, 1991.0–1993.0). По каждому из этих частей был произведён расчёт временных сдвигов-лагов между соседними парами частот 14.5-8 ГГц и 4.8 ГГц. Для различных временных сдвигов определялась величина коэффициента корреляции зависимости изменений потока на двух частотах. Временной сдвиг, соответствующий максимальной величине коэффициента корреляции, определял величину временного лага. Результаты расчётов временных сдвигов приведены в табл.4–6. Видно, что каждый из исследуемых источников имеет свои характерные периоды переменности, однако в пределах каждого цикла активности реализуются свои короткопериодические вариации и временные сдвиги на различных частотах.

## 7. ВЫВОДЫ

Поведение многих блазаров хорошо описывается моделью «ударной волны в джете», предложенной Маршером и Гиром [9]. Эта модель предполагает, что излучение разных частот рождается в джете, электроны ускоряются только на фронте ударной волны и теряют энергию, удаляясь от фронта. Электроны самых высоких энергий, которые излучают на коротких длинах волн сохраняются только вблизи фронта, в то время как более низкие частоты излучаются в большей по объёму области. В этом случае переменность на высоких частотах будет больше по амплитуде и быстрее по времени, а флуктуации потока на более низких частотах имеют более сглаженный характер, что обычно и

наблюдается в большинстве блазаров. Полученные нами результаты в целом согласуются с ранее опубликованными работами по исследованию переменности блазаров. В тоже время они дают более детальную картину позволяющую анализировать применимость тех или иных физических моделей. Разнообразие результатов по различным источникам, различным периодам активности дает основу для рассмотрения целой совокупности физических процессов происходящих одновременно. Кроме того многолетние наблюдения переменности активных ядер галактик в радиодиапазоне показывают, что существует общая «организация» изменений потоков у разных источников — переменность существует на двух различных масштабах времени. Медленные компоненты переменности с характерными временами порядка десяти лет и более, и более короткие быстрые компоненты продолжительностью от нескольких месяцев до нескольких лет. Скорее всего, эти компоненты переменности образуются разными физическими процессами. По-видимому, длинные волны переменности отражают некоторые макроскопические процессы, например квазипериодические изменения темпа аккреции на ядро, тогда как короткопериодические колебания плотности потока представляют, вероятно, более или менее случайные явления, протекающие в непосредственной близости от центрального источника, например падение отдельных облаков вещества на аккреционный диск [10]. Однако периодичности изменений плотности потоков в ряде работ интерпретируются в рамках модели орбитальных и прецессионных периодических изменений системы аккреционный диск-джет при возможном наличии системы из двойных черных дыр [11].

1. *Маршер А.П., Эрштадг С.Г.* Взгляд на активные ядра галактик из прошлого и настоящего // Труды конференции «Астрономия 2006: традиции, настоящее и будущее». — СПбГУ, 2006.
2. *Моисеев И.Г., Нестеров Н.С.* // Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. — 1985. — **73**. — С.154.
3. *Струков И.А., Скулачев Д.П.* // Итоги науки и техники. Серия «Астрономия». — Т.31. — М.: ВИНТИ, 1986.
4. *Ефанов В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С.* // Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. — 1979. — **60**. — С.3.
5. *Aller M.F., Aller H.D., Hughes P.A.* // Bulletin of the American Astronomical Society. — 2001. — **33**. — P.1515.
6. *Гайдышев И.* Анализ и обработка данных: специальный справочник. — СПб.: Питер, 2001.
7. *Marscher A.P., Jorstad S.G., Gomez J.L., Aller M.F., Terasranta H., Lister M.L., Stirling A.M.* Observational evidence for the accretion-disk origin for a radio jet in an active galaxy // Nature. — 2002. — **417**. — P.625–627.
8. *Valtonen M.J., et al.* A massive binary black-hole system in OJ287 and a test of general relativity // Nature. — 2008. — **452**. — P.851–853.
9. *Marscher A.P., Gear W.K.* // Astrophys.J. — 1985. — **298**. — P.114.
10. Активные ядра и звёздная космогония / Под ред. Д.Я.Мартынова. — М.: Изд-во МГУ, 1987.
11. *Вольвач А.Е., Вольвач Л.Н., Ларионов М.Г., Аллер Х.Д., Аллер М.Ф.* Мощная вспышка излучения в источнике 3C454.3 // Астрономический журнал. — 2007. — **84**, № 6. — С. 1–11.

Поступила в редакцию 18.10.2009