

doi: 10.15407/knit2016.03.041

УДК 524.7

**А. И. Донских**

Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, Одесса

## СТРУКТУРА ПЕРЕМЕННОСТИ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА КВАЗАРА 3С273 В РАДИОДИАПАЗОНЕ

---

*Анализируются изменения плотности потока внегалактического радиоисточника 3С 273 по результатам уникального по длительности мониторинга (1974—2011 гг.), выполненного Мичиганской радиоастрономической обсерваторией. Применение взаимодополняющих методов вейвлет-анализа и анализа сингулярного спектра позволили выявить свойства переменности, не отмеченные ранее. Выявлены долговременные компоненты переменности плотности потока 3С 273 в интервале периодов 7.2...8.3 г. и кратковременные компоненты в интервале периодов 2...3.9 г. Данные временных изменений вейвлет-спектра на частоте 14.5 ГГц сравнивались с пространственными изменениями в джете 3С 273 (по данным РСДБ-наблюдений программы MOJAVE на частоте 15.4 ГГц).*

**Ключевые слова:** активные галактики, джеты.

---

### ВВЕДЕНИЕ

В работе на основе данных наблюдений на частотах 14.5, 8 и 4.8 ГГц исследуется структура изменений плотности потока радиоизлучения квазара 3С 273 по программе длительного мониторинга (1974 — 2011 гг.) на 26-м радиотелескопе Мичиганского университета (UMRAO). Данные мониторинга были предоставлены обсерваторией UMRAO Одесской обсерватории «УРАН-4» Института радиоастрономии НАН Украины, в которой автором была выполнена данная работа. Для получения данных о структуре изменений потоков впервые совместно применены анализ сингулярного спектра [10] и вейвлет-анализ [7].

Кварзар 3С 273 является одним из наиболее известных и изучаемых квазаров. Кварзар 3С 273 классифицируется как блазар и в тоже время он демонстрирует свойства сейфертовской галак-

тики [18]. Красное смещение  $z = 0.158$  [17]. В работе [5] период переменности в 16 лет связывается с прецессией в джете 3С 273. Предполагается, что к источнику применима модель двойной сверхмассивной чёрной дыры. В данной модели наличие компаньона вызывает прецессию аккреционного диска более массивной черной дыры [16]. Джет источника обладает большим количеством ярких компонент, движущихся относительно РСДБ-ядра. Формирование этих ярких компонентов связывают с ускорением релятивистских частиц в ударных волнах, распространяющихся по джету [12, 15]. Наблюдения в рамках VLBI Space Observatory Programme (VSOP) выявили двойную спиральную структуру в джете 3С 273. Существование такой структуры объяснялось в работе [14] наличием неустойчивости Кельвина — Гельмгольца.

Мониторинг источника 3С 273 длительное время проводится обсерваторией Метсахови на частотах 22, 37 и 90 ГГц. С помощью вейвлет-

---

© А. И. ДОНСКИХ, 2016

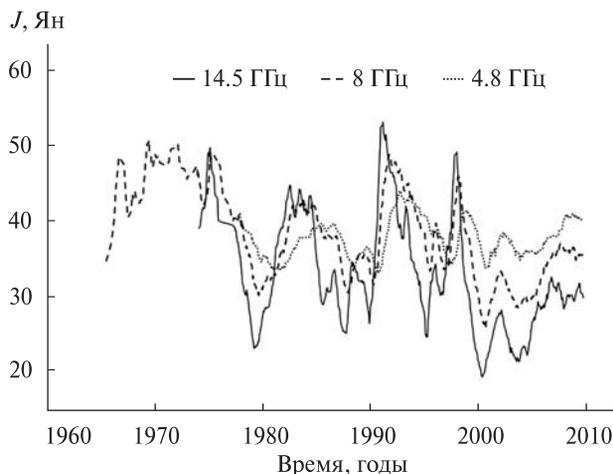


Рис. 1. График исходных данных плотности потока источника 3С273 на частотах 14.5, 8 и 4.8 ГГц

анализа полученных данных были обнаружены периоды 6.9 лет на частоте 22 ГГц, 7.7 лет на частоте 37 ГГц и 4.3 лет на частоте 90 ГГц. В тоже время устойчивость этих периодов не изучалась.

### АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

В качестве исходных данных применялись средние значения плотности потока за 7 сут. Наблюдения 3С 273 велись на частотах 14.5, 8, 4.8 ГГц. Методика калибровки и обработки данных описана в работе [6]. В работе данные на частоте 14.5 ГГц сравнивались с результатами каталога VLBI-наблюдений MOJAVE на частоте 15.4 ГГц.

Результаты наблюдений на трёх исследуемых частотах показаны на рис. 1. Из графика исходных данных для двух вспышек активности в 1991 и 1998 гг. заметно наличие временных задержек, зависящих от частоты. Так, повышение плотности потока сначала происходит на частоте 14.5 ГГц, далее на 8 ГГц, а затем — на 4.8 ГГц. Также наблюдаются существенные различия амплитуд изменений плотности потока — на частоте 14.5 ГГц амплитуда изменений выше, чем на других двух частотах.

Для корректного применения используемых методов были проведены необходимые процедуры интерполяции, скользящего среднего и удаления случайных выбросов. Для выделения кратковременной составляющей сигнала применена фурье-фильтрация [9].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Вейвлет-преобразование обеспечивает частотно-временное представление сигналов. Следующее выражение определяет непрерывное вейвлет-преобразование:

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt,$$

где  $a$  — параметр масштаба,  $b$  — параметр сдвига ( $a, b \in \mathbf{R}, a \neq 0$ ). Функция  $\psi(t)$  — материнский вейвлет [3]. Исходную функцию можно восстановить с помощью обратного вейвлет-преобразования:

$$x(t) = C_{\psi}^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W(a,b) \psi \left( \frac{t-b}{a} \right) \frac{1}{\sqrt{a}} \frac{dad b}{a^2},$$

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} |\hat{\psi}|^2 |\omega|^{-1} d\omega,$$

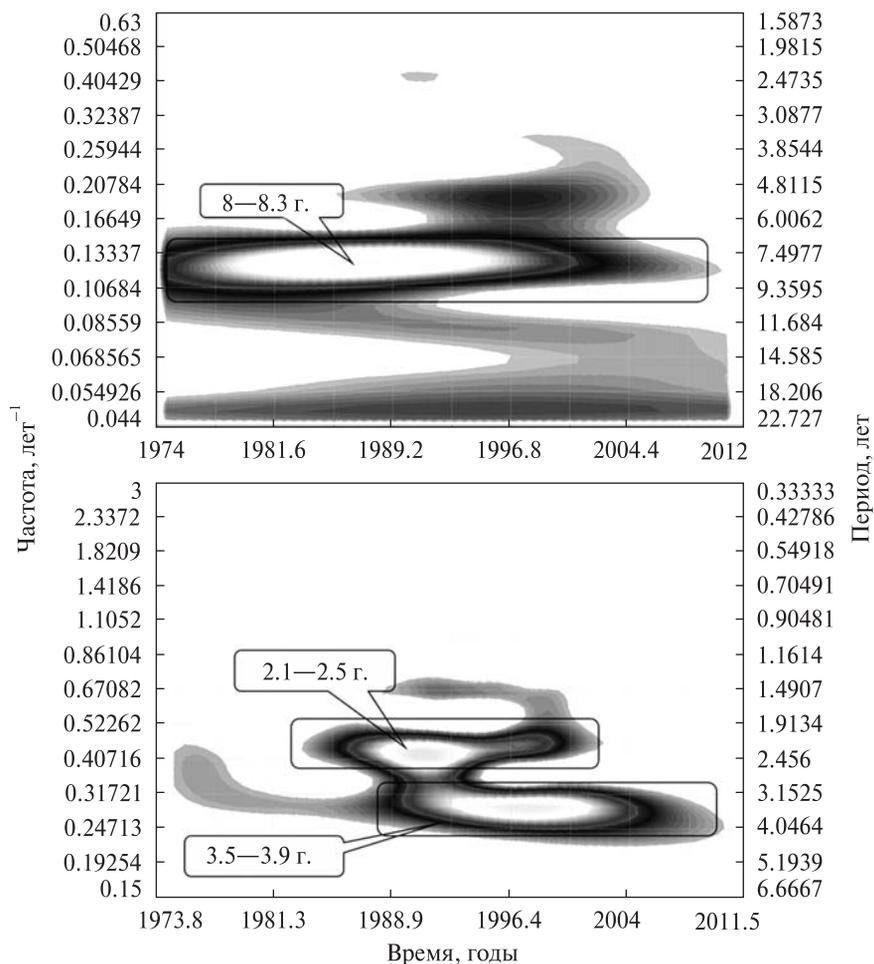
где  $C_{\psi}$  — постоянная допустимости, которая должна соответствовать критерию допустимости  $C_{\psi} < \infty$ . В данной работе используется хорошо локализованный по времени и частоте вейвлет Морле.

Вейвлет-анализ позволяет получить не только значения квазипериодов, но и время их проявления и их изменения за период наблюдений. Описание метода, в частности, дано в работе [19]. Также нами применено построение графиков «период — спектральная мощность» на основании матрицы вейвлет-коэффициентов [8].

На первом этапе по данным обработки наблюдений анализировалась динамика изменений долговременной составляющей переменности потока радиоисточника. После исключения долговременной составляющей методом цифровой фильтрации ( $O - C$ ) анализировалась кратковременная составляющая изменений потока радиоисточника.

**Частота 14.5 ГГц.** Полученные частотно-временные вейвлет-спектры в логарифмическом масштабе для исходных и фильтрованных данных на частоте 14.5 ГГц приведены на рис. 2. Гармонические компоненты сигнала видны как яркие пятна, растянутые вдоль оси времени.

В долговременной составляющей изменений потока источника на частоте 14.5 ГГц обнаружено изменение периода от 8 до 8.3 г. ( $\pm 0.07$  г.) за



**Рис. 2.** Вейвлет спектры на частоте 14.5 ГГц для исходного сигнала (вверху) и выделенной кратковременной составляющей (внизу) в полосе 2.1–3.9 года. На флажках — значения периодов в годах

время его наблюдения с 1974 по 2010 гг. Для кратковременной составляющей на данной частоте отмечаются периоды 3.5...3.9 ( $\pm 0.02$  г.) в интервале 1992—2010 гг. Обнаружено изменение периода от 2.1 до 2.5 г. ( $\pm 0.005$  г.) за 1982—2001 гг.

**Частота 8 ГГц.** В долговременной составляющей изменений потока источника на частоте 8 ГГц обнаружено изменение периода от 7.2 до 8.1 г. ( $\pm 0.07$  г.) за время его наблюдения с 1970 по 2010 гг. Для кратковременной составляющей на данной радиочастоте отмечаются колебания с периодом от 3.2 до 3.6 г. ( $\pm 0.01$  г.) в интервале 1991 — 2003 гг. Обнаружено изменение периода от 2.4 до 2.8 г. ( $\pm 0.005$  г.) за 1965—1996 гг. Частот-

но-временные вейвлет-спектры в логарифмическом масштабе для исходных и фильтрованных данных на частоте 8 ГГц показаны на рис. 3.

**Частота 4.8 ГГц.** В долговременной составляющей изменений потока источника на частоте 4.8 ГГц обнаружено изменение периода от 7.8 до 8.1 г. ( $\pm 0.07$  г.) за время его наблюдения с 1978 по 2010 гг. Для кратковременной составляющей на данной радиочастоте отмечаются колебания с периодом от 3 до 3.3 г. ( $\pm 0.01$  г.) за 1989—2010 гг. Частотно-временные вейвлет-спектры в логарифмическом масштабе для исходных и фильтрованных данных на частоте 4.8 ГГц показаны на рис. 4.

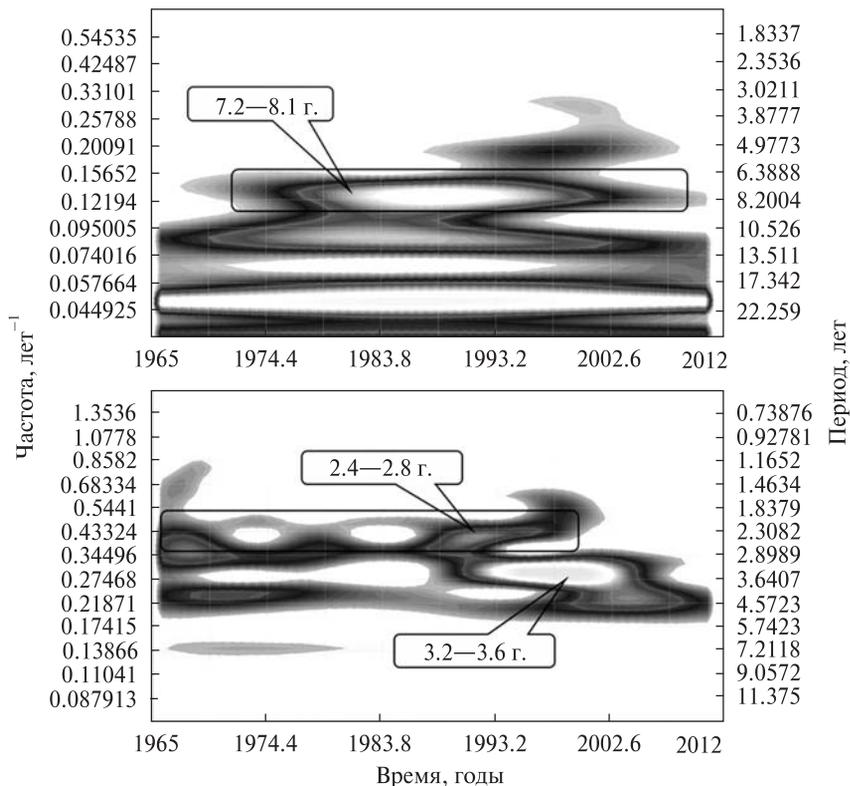


Рис. 3. Вейвлет спектры на частоте 8 ГГц для исходного сигнала (вверху) и выделенной кратковременной составляющей (внизу) в полосе 2.4—3.6 года. На флажках — значения периодов в годах

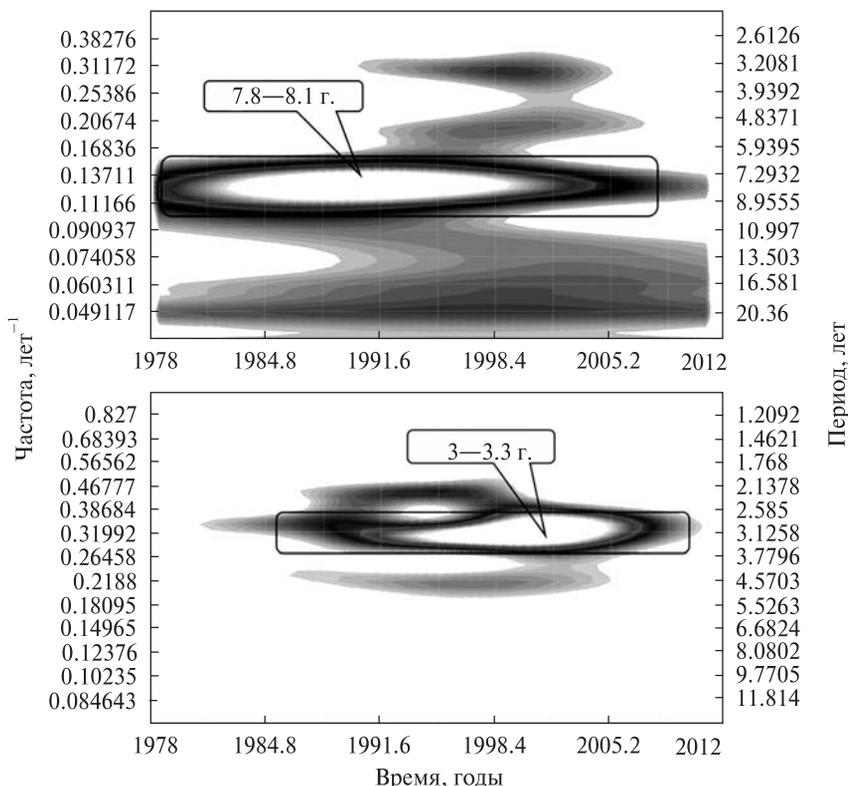


Рис. 4. Вейвлет спектры на частоте 4.8 ГГц для исходного сигнала (вверху) и выделенной кратковременной составляющей (внизу) в полосе 3—3.3 года. На флажках — значения периодов в годах

Долговременные периоды могут быть связаны с орбитальным движением и прецессионными возмущениями аккреционного диска в двойной системе сверхмассивных чёрных дыр [16]. Мы предполагаем, что обнаруженные нами короткие периоды переменности потока могут объясняться в рамках модели а shock-in-jet, предложенной в работах [6, 15]. Согласно этой модели в джете возникают ударные волны, влияющие на его структуру.

### АНАЛИЗ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРА

Значения периодов изменений плотности потока 3С 273, полученных на основе применения вейвлет-анализа, уточнились с применением анализа сингулярного спектра. В работе для этих целей применён программный пакет «Гусеница-SSA». Подробное описание метода можно найти в работах [1, 2]. Процедура анализа сингулярного спектра раскладывает исходный сигнал на набор узкополосных фильтров. Они содержат трендовые, периодические составляющие и шум. Особенность анализа сингулярного спектра заключается в том, что в своих расчётах он не использует анализирующую функцию, поэтому эти расчёты позволяют с большой точностью выделять различные компоненты исследуемого ряда.

Анализ сингулярного спектра основан на преобразовании одномерного временного ряда в многомерный с помощью однопараметрической сдвиговой процедуры, после чего применяется метод главных компонент.

Для того чтобы анализировать временной ряд  $F_N = (f_0, \dots, f_{N-1})$  длины  $N$ , используется целочисленный параметр  $L$  (длина окна), который выбирается произвольно [2]. Вначале составляется траекторная матрица ряда размерности  $L \times K$  (где  $K = N - L + 1$  — количество векторов вложения):

$$\mathbf{X} = [\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_K].$$

Далее происходит сингулярное разложение матрицы  $\mathbf{X}$ , в результате получаем

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_1 + \mathbf{X}_2 + \dots + \mathbf{X}_d,$$

$$\mathbf{X}_i = \sqrt{\lambda_i} \mathbf{U}_i \mathbf{V}_i^T,$$

где  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_d > 0$  — собственные числа матрицы  $\mathbf{X}\mathbf{X}^T$ ,  $\mathbf{U}_i$  — собственный вектор,  $\mathbf{V}_i^T$  — фак-

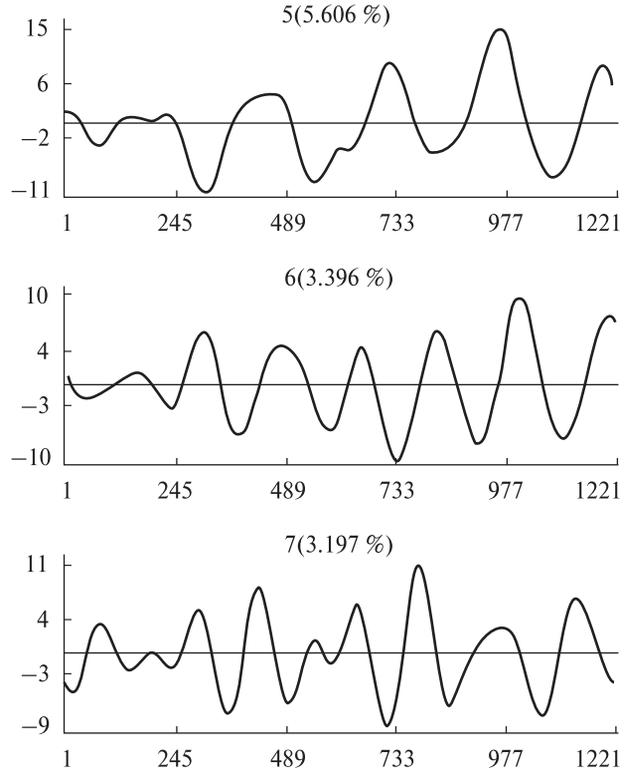


Рис. 5. Собственные векторы сингулярного разложения траекторной матрицы ряда (одномерные диаграммы) для 3С 273 на частоте 14.5 ГГц

торный вектор. Выражение  $\sqrt{\lambda_i} \mathbf{U}_i \mathbf{V}_i^T$  называют  $i$ -й собственной тройкой [1, 4].

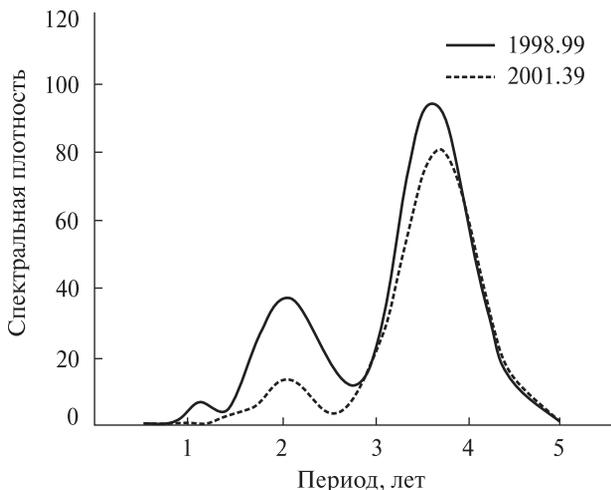
Затем проводится группировка компонентов разложения; ряд  $\{1, \dots, d\}$  разбивается на  $m$  непересекающихся подмножеств  $I_j$ :

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_{I_1} + \mathbf{X}_{I_2} + \dots + \mathbf{X}_{I_m}, \quad \mathbf{X}_{I_j} = \sum_{k \in I_j} \mathbf{X}_k.$$

Окончательно по сгруппированным матрицам восстанавливают исходный ряд.

Периодические составляющие исследуемого ряда образуют пару соседних компонентов.

Собственные тройки с номерами 2...11 соответствуют искомым гармоникам, а собственные тройки с номерами 12 и более являются шумом. Ниже показаны примеры главных компонентов, полученных с помощью анализа сингулярного спектра, для источника 3С 273 на частоте 14.5 ГГц (рис. 5).



**Рис. 6.** Графики «период – спектральная мощность» источника 3С273 для одной из фаз повышенной активности в 1998 г. и во время одной из фаз минимума его активности в 2001 г. на частоте 14.5 ГГц (кратковременный компонент)

С помощью анализа сингулярного спектра на частоте 14.5 ГГц были обнаружены колебания с периодами  $8 \pm 0.2$ ,  $5 \pm 0.2$ ,  $3.5 \pm 0.14$  и  $2.7 \pm 0.2$  г; на частоте 8 ГГц — с периодами  $5 \pm 0.05$  и  $3.4 \pm 0.02$  г; на частоте 4.8 ГГц — с периодами  $7.3 \pm 0.1$ ,  $5.4 \pm 0.06$ ,  $3 \pm 0.04$ ,  $2.4 \pm 0.02$  и  $1.7 \pm 0.01$  г.

Большинство найденных периодов подтверждаются обоими применёнными методами. Сочетание двух методов обеспечивает объективный и независимый анализ данных.

### СОПОСТАВЛЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ С VLBA-КАРТАМИ МОJAVE

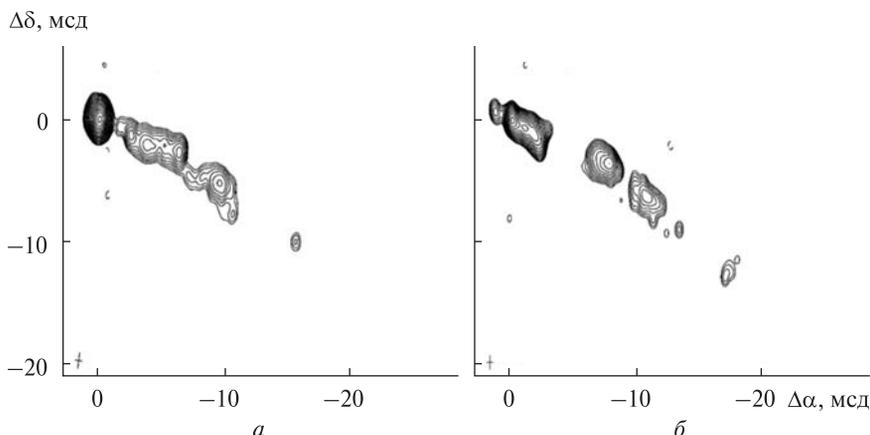
Результаты обработки данных методом вейвлет-анализа на частоте 14.5 ГГц сравнивались с радиокартами архива MOJAVE (Monitoring Of Jets in Active galactic nuclei with VLBA Experiments) [13]. В рамках этой программы с 1995 г. с помощью системы VLBA осуществляется построение радиокарт АЯГ на частоте 15.4 ГГц.

По результатам вейвлет-анализа были построены графики «период – спектральная мощность» для каждого года наблюдений. Сопоставляя эти графики с картами из архива MOJAVE, можно исследовать структурные изменения в джете исследуемого источника.

На рис. 6 показаны графики «период – спектральная мощность» для фазы активности в 1998 г. и для фазы спада активности в 2001 г. на частоте 14.5 ГГц. Видно, что максимальную спектральную мощность в 1998 г. имели периоды 3.7 и 2.1 г. Во время фазы минимума в 2001 г. наблюдается только один период 3.7 г.

Для фаз максимальной и минимальной активности на рис. 7 показаны соответствующие им радиокарты, полученные группой мониторинга MOJAVE.

Сравнивая карты максимума и минимума активности, можно видеть, что для фазы максимума яркость ядра выше, и в джете есть большее количество компонентов. Во время другой фазы



**Рис. 7.** РСДБ-карты (архив мониторинга MOJAVE) источника 3С 273 во время его фазы активности в 1998 г. (слева) и во время фазы минимума в 2001 г. (справа)

активности 3С 273 в 1991 г. РСДБ-наблюдения ещё не проводились. С помощью вейвлет-спектров обнаружено, что для кратковременной переменности в этой фазе активности также проявляется период продолжительностью 2.5 г. В отличие от РСДБ-наблюдений, являющихся эпизодическими, мониторинг на РТ-26 Мичиганской обсерватории проводился регулярно с 1960-х гг. по 2012 г.

Таким образом, в периоды, когда РСДБ-наблюдения не проводились, изменения пространственной структуры источника могут быть исследованы по данным мониторинга изменений плотности потока.

На рис. 8 показаны графики «период — спектральная мощность» на частоте 8 ГГц для фазы активности в 1999 г. и для фазы спада активности в 2001 г. Видно, что максимальную спектральную мощность в 1999 г. имеет период 3.6 г. Во время фазы минимума в 2001 г. наблюдается то же колебание с периодом 3.6 г., но значение его спектральной мощности ниже, чем в фазе максимума в 1999 г.

На рис. 9 показаны графики «период — спектральная мощность» на частоте 4.8 ГГц для фазы активности в 1999 г. и для фазы спада активности в 2001 г. Видно, что максимальную спектральную мощность в 1999 г. имеет период 3.3 г. Во время фазы минимума в 2001 г. отмечаются колебания с периодом 2.9 г.

## ВЫВОДЫ

В данной работе показано, что совместное использование методов вейвлет-анализа и анализа сингулярного спектра позволяет провести детальный анализ вариаций изменений потока, недоступный другими методами. Проведённый вейвлет-анализ изменений плотности потока квазара 3С273 на частоте 14.5 ГГц показывает наличие квазипериодов (8...8.3, 3.5...3.9 и 2.1...2.5 гг.). На частоте 8 ГГц обнаружены квазипериоды продолжительностью 7.2...8.1, 3.2...3.6 и 2.4...2.8 г. На частоте 4.8 ГГц выявлены периоды 7.8...8.1 и 3...3.3 г. Определены также изменения периодов и время их жизни.

Анализ сингулярного спектра показывает наличие периодов 8, 5, 3.5 и 2.7 г. на частоте 14.5 ГГц;

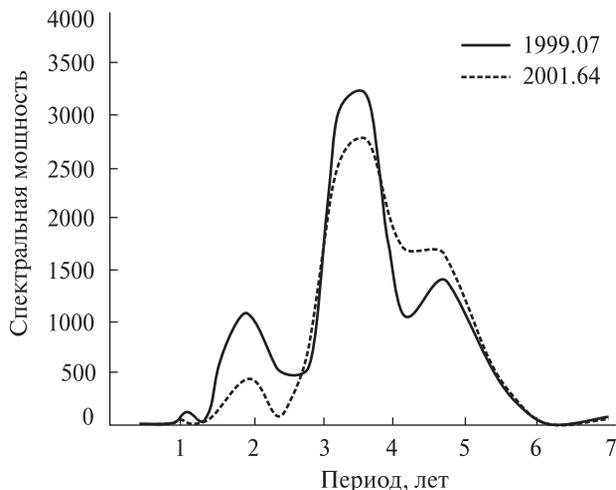


Рис. 8. Графики «период — спектральная мощность» источника 3С273 для одной из фаз повышенной активности в 1999 году и во время одной из фаз минимума его активности в 2001 г. на частоте 8 ГГц (кратковременный компонент)

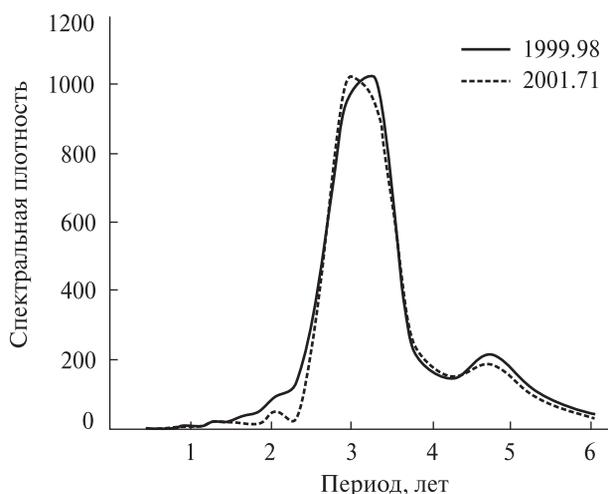


Рис. 9. Графики «период — спектральная мощность» источника 3С273 для одной из фаз повышенной активности в 1999 г. и во время одной из фаз минимума его активности в 2001 г. на частоте 4.8 ГГц (кратковременный компонент)

5 и 3.4 г. на частоте 8 ГГц; 7.3, 5.4, 3, 2.4 и 1.7 г. на частоте 4.8 ГГц. Данные свойства переменности являются основой для составления моделей переменности в радиодиапазоне. Получаемые в результате применения вейвлет-анализа данные об изменении основных периодов, формирующих

фазы активности плотности потока источников, сопоставлены с данными РСДБ-наблюдений. Для фазы активности в 1998 г. характерно проявление периодов 8, 3.7 и 2.1 г, что проявляется структурными изменениями в джете. В период отсутствия РСДБ-данных в фазе активности 1991 г. показано наличие периодов продолжительностью 8 лет и 2.5 г. Всё это свидетельствует о том, что в каждой фазе проявления активности источника проявляются различные физические процессы. Долговременные периоды могут быть связаны с орбитальным движением и прецессионными возмущениями аккреционного диска в двойной системе сверхмассивных чёрных дыр [16]. Кратковременные периоды ассоциируются с быстрыми процессами в джете. В их числе прохождение ударной волны согласно модели а shock-in-jet [12, 15].

В статье использовались данные из архива мониторинга MOJAVE, который проводится группой MOJAVE [13].

1. Александров Ф. И., Голяндина Н. Э. Автоматизация выделения трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках метода «Гусеница-SSA» // *Exponenta Pro. Математика в приложениях*. — 2004. — № 3-4. — С. 54—61.
2. Голяндина Н. Э. Метод «Гусеница-SSA»: анализ временных рядов (учебное пособие). — Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. — 74 с.
3. Поликар П. Введение в вейвлет-преобразование / Пер. с англ. В. Г. Грибунин. — Санкт-Петербург: АВТЭКС, 2013. — С. 59.
4. Чистякова А. А., Шамша Б. В. Автоматизация выделения трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках метода «Гусеница-SSA» // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. — 2011. — № 4 (52). — С. 105—111.
5. Abraham Z., Romero G. E. Beaming and precession in the inner jet of 3C 273 // *Astron. and Astrophys.* — 1999. — **344**. — P. 61—67.
6. Aller H. D., Aller M. F., Latimer G. E., Hodge P. E. Spectra and linear polarizations of extragalactic variable sources at centimeter wavelengths // *Astrophys. J. Suppl.* — 1985. — **59**. — P. 513—768.
7. Daubechies I. Ten lectures on wavelets. — Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992. — 343 p.
8. Donskykh G., Ryabov M., Suharev A., Aller M. Analysis of the variability and the spectrum of periods of extragalactic source OJ 287 in the radio waves // *Odessa Astron. Publ.* — 2013. — **26**, N 2. — P. 240—242.
9. Donskykh G. I., Ryabov M. I., Sukharev A. L., Aller M. F. The study of extragalactic sources 3C 446 and 3C 345 with using the singular spectrum analysis and wavelet analysis // *Odessa Astron. Publ.* — 2015. — **28**, N 2. — P. 217—221.
10. Golyandina N., Shlemov A. Variations of singular spectrum analysis for separability improvement: non-orthogonal decompositions of time series // *Statistics and Its Interface*. — 2015. — **8**, N 3. — P. 277—294.
11. Hovatta T., Lehto H. J., Tornikoski M. Wavelet analysis of a large sample of AGN at high radio frequencies // *Astron. and Astrophys.* — 2008. — **488**, N 3. — P. 897—903.
12. Hughes P. A., Aller H. D., Aller M. F. Polarized radio outbursts in Bl-Lacertae. II. The flux and polarization of a piston-driven shock // *Astrophys. J.* — 1985. — **298**, N 1. — P. 301—315.
13. Lister M. L. Cohen M. H. Homan D. C., et al. MOJAVE: Monitoring of jets in active galactic nuclei with VLBA Experiments. VI. Kinematics analysis of a complete sample of blazar jets // *Astron. J.* — 2009. — **138**, N 6. — P. 1874—1892.
14. Lobanov A. P., Zensus J. A., Abraham Z., et al. Imaging and monitoring the parsec-scale jet in 3C 273 with the VSOP mission // *Advs in Space Res.* — 2000. — **26**, N 4. — P. 669—672.
15. Marscher A. P., Gear W. K. Models for high-frequency radio outbursts in extragalactic sources, with application to the early 1983 millimeter-to-infrared flare of 3C 273 // *Astrophys. J.* — 1985. — **298**, N 1. — P. 114—127.
16. Romero G. E., Chajet L., Abraham Z., Fan J. H. Beaming and precession in the inner jet of 3C 273. II. The central engine // *Astron. and Astrophys.* — 2000. — **360**. — P. 57—64.
17. Strauss M. A., Huchra J. P., Davis M., et al. A redshift survey of IRAS galaxies. VII - The infrared and redshift data for the 1.936 Jansky sample // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 1992. — **83**, N 1. — P. 29—63.
18. Türler M., Paltani S., Courvoisier T. J.-L., et al. 30 years of multi-wavelength observations of 3C 273 // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* — 1999. — **134**. — P. 89—101.
19. van den Berg J. C. Wavelets in Physics. — Cambridge: Cambridge University Press, 2004. — 478 p.

Стаття надійшла до редакції 09.06.16

## REFERENCES

1. Aleksandrov F. I., Golyandina N. E. Automation of selected trend and periodic components of a time series in the framework of the "Caterpillar" method -SSA. *Exponenta Pro. Matematika v prilozhenijah*, N 3-4, 54—61 (2004) [in Russian].
2. Golyandina N. E. The Caterpillar-SSA Method: Time Series Analysis, 74 p. (SPb Gos. Univ., St. Petersburg, 2004) [in Russian].

3. Polikar R. Introduction to Wavelet transformation, Transl. from english by V. G. Gribunin, 59 p. (AVTJeKS, St. Petersburg, 2013) [in Russian].
4. Chistyakova A. A., Shamsha B. V. Identification of the structure of nonstationary time series with the Singular Spectrum Analysis Method. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi*, N 4 (52), 105—111 (2011) [in Russian].
5. Abraham Z., Romero G. E. Beaming and precession in the inner jet of 3C 273. *Astron. and Astrophys.*, **344**, 61—67 (1999).
6. Aller H. D., Aller M. F., Latimer G. E., Hodge P. E. Spectra and linear polarizations of extragalactic variable sources at centimeter wavelengths. *Astrophys. J. Suppl.*, **59**, 513—768 (1985).
7. Daubechies I. Ten lectures on wavelets, 343 p. (Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1992).
8. Donskykh G., Ryabov M., Suharev A., Aller M. Analysis of the variability and the spectrum of periods of extragalactic source OJ 287 in the radio waves. *Odessa Astron. Pubs.*, **26** (2), 240—242 (2013).
9. Donskykh G. I., Ryabov M. I., Sukharev A. L., Aller M. F. The study of extragalactic sources 3C 446 and 3C 345 with using the singular spectrum analysis and wavelet analysis. *Odessa Astron. Pubs.*, **28** (2), 217—221 (2015).
10. Golyandina N., Shlemov A. Variations of singular spectrum analysis for separability improvement: non-orthogonal decompositions of time series. *Statistics and Its Interface*, **8** (3), 277—294 (2015).
11. Hovatta T., Lehto H. J., Tornikoski M. Wavelet analysis of a large sample of AGN at high radio frequencies. *Astron. and Astrophys.*, **488** (3), 897—903 (2008).
12. Hughes P. A., Aller H. D., Aller M. F. Polarized Radio Outbursts in Bl-Lacertae. II. The Flux and Polarization of a Piston-Driven Shock. *Astrophys. J.*, **298** (1), 301—315 (1985).
13. Lister M. L., Cohen M. H., Homan D. C., et al. MOJAVE: Monitoring of Jets in Active Galactic Nuclei with VLBA Experiments. VI. Kinematics Analysis of a Complete Sample of Blazar Jets. *Astron. J.*, **138** (6), 1874—1892 (2009).
14. Lobanov A. P., Zensus J. A., Abraham Z., et al. Imaging and monitoring the parsec-scale jet in 3C 273 with the VSOP mission. *Adv. in Space Res.*, **26** (4), 669—672 (2000).
15. Marscher A. P., Gear W. K. Models for high-frequency radio outbursts in extragalactic sources, with application to the early 1983 millimeter-to-infrared flare of 3C 273. *Astrophys. J.*, **298** (1), 114—127 (1985).
16. Romero G. E., Chajet L., Abraham Z., Fan J. H. Beaming and precession in the inner jet of 3C 273. II. The central engine. *Astron. and Astrophys.*, **360**, 57—64 (2000).
17. Strauss M. A., Huchra J. P., Davis M., et al. A redshift survey of IRAS galaxies. VII - The infrared and redshift data for the 1.936 Jansky sample. *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **83**(1), 29—63 (1992).
18. Türler M., Paltani S., Courvoisier T. J.-L., et al. 30 years of multi-wavelength observations of 3C 273. *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, **134**, 89—101 (1999).
19. van den Berg J. C. Wavelets in Physics, 478 p. (Cambridge University Press, Cambridge, 2004).

G. I. Донських

Одеський національний університет  
імені І. І. Мечникова

#### СТРУКТУРА ЗМІННОСТІ ГУСТИНИ ПОТОКУ КВАЗАРА 3C 273 В РАДІОДІАПАЗОНІ

Аналізуються зміни густини потоку позагалактичного радіоджерела 3C 273 за результатами унікального по тривалості моніторингу (1974—2011 рр.), що провадився Мічиганською радіоастрономічною обсерваторією. Застосування взаємодоповнювальних методів вейвлет-аналізу та аналізу сингулярного спектру дало змогу виявити властивості змінності, не помічені раніше. Виявлено довгоперіодні компоненти зміни густини потоку 3C 273 в інтервалі періодів 7.2...8.3 р. і короткоперіодні компоненти в інтервалі періодів 2...3.9 р. Дані часових змін вейвлет-спектру на частоті 14.5 ГГц порівнювалися з просторовими змінами у джеті 3C 273 (за даними РНДБ-спостережень програми MOJAVE на частоті 15.4 ГГц).

**Ключові слова:** активні галактики, джети.

G. I. Donskykh

Odessa National I. I. Mechnikov University

#### THE VARIABILITY PATTERN AND PREDICTION OF THE QUASAR 3C 273 FLUX DENSITY VARIATIONS IN THE RADIO BAND

We present results of the analysis of the extragalactic radio source 3C 273 flux density variations, which was performed on the basis of the monitoring data obtained at the University of Michigan Radio Astronomy Observatory over the period of 37 years (1974—2011). Despite the large number of papers dedicated to the study of this radio source, this monitoring is unique and has no analogues. Using complementary methods of wavelet analysis and the singular spectrum analysis we found the properties of variability, which are not described before. The presence of long-term variability components in the interval of  $\sim 7.2$ – $8.3$  years was detected in the 3C 273 flux density variations. We detected the presence of short-term components in the time interval of  $\sim 2$ – $3.9$  years, when excluding the long-term component. The temporal variations of the short-term component of wavelet spectrum at 14.5 GHz were compared to the spatial variations in the 3C 273 jet (using the Very-Long-Baseline Interferometry monitoring data at 15.4 GHz by the MOJAVE program).

**Key words:** active Galaxies, jets.