

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ 3С 120 И СТА 102 С ПРИМЕНЕНИЕМ АНАЛИЗА СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРА И ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

А.И.ДОНСКИХ¹, М.И.РЯБОВ², А.Л.СУХАРЕВ², М.АЛЛЕР³

Поступила 12 октября 2015

Принята к печати 23 марта 2016

В статье исследуется переменность потоков радиоизлучения квазара СТА 102 и радиогалактики 3С 120 по данным Мичиганской радиоастрономической обсерватории (UMRAO) Анн Арбор. Данные для исследований на трех частотах (14.5, 8 и 4.8 ГГц) были получены на 26-м радиотелескопе. Анализ данных проводился двумя дополняющими друг друга методами: вейвлет-анализом и анализом сингулярного спектра. Вейвлет-анализ основан на преобразовании Фурье, в то время как анализ сингулярного спектра не использует анализирующую функцию. У исследуемых источников были обнаружены долговременные компоненты переменности в интервале ~ 4 -11 лет (3С 120) и интервале ~ 1.5 -3 года (СТА 102). Для кратковременных их компонент переменности характерно проявление периодов продолжительностью ~ 0.7 -3.4 года для 3С 120 и ~ 0.5 -0.8 лет для СТА 102. Также было сделано сравнение полученных данных с РСДБ-картами архива MOJAVE (Monitoring Of Jets in Active galactic nuclei with VLBA Experiments) для исследования эволюции компонент в джетах исследуемых квазаров.

Ключевые слова: *квазар; переменность радиоизлучения; 3С 120, СТА 102*

1. *Введение.* Исследуемые в работе данные были получены в рамках мониторинга внегалактических радиоисточников на 26-м радиотелескопе Мичиганского университета. Данный мониторинг является уникальным по длительности и непрерывности наблюдений. Наблюдения источника 3С 120 проводились на частотах: 14.5 ГГц (1974-2010гг.), 8 ГГц (1966-2010гг.), 4.8 ГГц (1980-2009гг.). Наблюдения СТА 102 проводились на всех трех частотах с 1999 по 2011гг. Методика калибровки и обработки данных описана в статьях [1,2].

Радиогалактика 3С 120 (0430+052) находится на расстоянии 143 Мпк и является галактикой Сейферта 1 типа. Красное смещение $z \sim 0.033$ [3]. Объект обладает джетом, видимым в оптическом, радио и рентгеновском диапазонах. По данным РСДБ-наблюдений видимая максимальная скорость компонент в джете 6.44 с [4]. В статье [5] сообщается о существовании прецессии джета 3С 120 с периодом 12.3 года. Предполагают наличие в центре системы двух черных дыр (верхний предел массы для первичной ЧД равен $3.0 \cdot 10^7 M_{\odot}$, нижний предел массы $4.0 \cdot 10^6 M_{\odot}$ для вторичной ЧД). В течение многих лет проводится мониторинг этого источника в

обсерватории Metsahovi. Авторами [6] обнаружена периодичность во временном масштабе 4.3 и 1.4 года на частотах 22 и 37 ГГц. Также определено наличие периодов 0.5 года на частоте 22 ГГц и 0.3 года на 37 ГГц. На частоте 90 ГГц обнаружен период 2.7 года.

Квazar СТА 102 (2230+114) находится на расстоянии 6943 Мпк. Красное смещение источника $z \sim 1.037$ [7]. Видимая максимальная скорость компонент в джете 8.62 с [4]. В 2006г. у источника наблюдалась мощная вспышка активности. В качестве объяснения этой активности авторами [8] предлагалась модель "the shock-in-jet" (ударной волны в джете). В статье [9] оценивается масса центральной черной дыры в $5.5 \cdot 10^9 M_{\odot}$. С 1986г. источник наблюдается в обсерватории Metsahovi. Авторами [10] были найдены периоды переменности плотности потока на частоте 37 ГГц продолжительностью 5.2 и 9.7 лет; на 22 ГГц - 4.9 и 8.4 лет; на 14.5 ГГц - 9.2, 8.3 и 4.3 года; на 4.8 ГГц - 3.8, 8.5 и 9.8 года. При исследовании переменности потоков внегалактических радиоисточников применяются различные подходы. Изучению общих свойств большого числа радиоисточников на радиотелескопе РАТАН-600 на 6 частотах посвящена работа [11]. Исследовалась переменность в масштабах времени от нескольких дней до нескольких лет. Авторами статьи указывается, что у большинства наблюдаемых источников переменность вызвана прохождением ударной волны в джете.

Вместе с тем для получения детальной картины переменности каждого радиоисточника в отдельности необходимо применение методов анализа данных способных решить эту задачу. К таким методам относится вейвлет-анализ и анализ сингулярного спектра.

2. Исходные данные и предварительная обработка. В работе

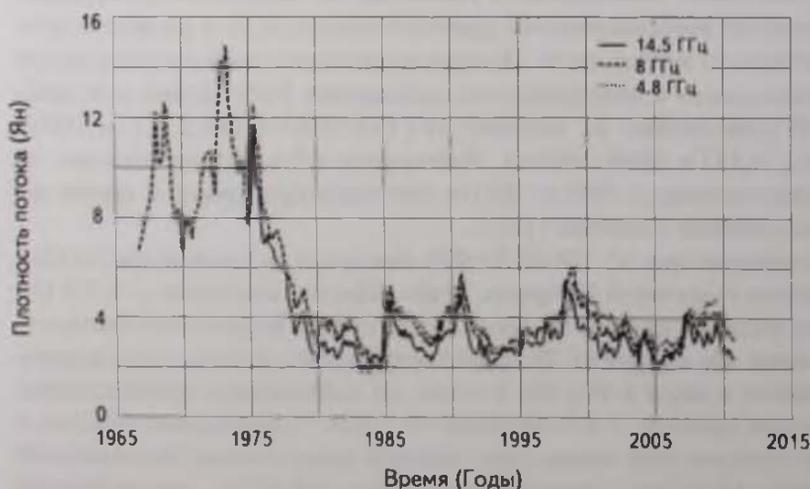


Рис.1. Плотность потока источника 3С 120 на частотах 14.5, 8 и 4.8 ГГц.

использовались данные наблюдений плотности потоков усредненные за 7 дней. Производилось сглаживание полиномиальным (2-й степени) скользящим средним и вычитание трендов для выявления короткопериодических составляющих. Для получения исходных данных с равномерными отчетами по времени (0.02 года) была использована тригонометрическая интерполяция [12].

Предварительный анализ используемых наблюдений показывает наличие трендовых составляющих изменений потока и кратковременных вариаций на их фоне. В последующем вейвлет-анализе расчеты велись отдельно для этих двух компонент. Исходные сглаженные данные источников 3С 120 и СТА 102 на трех частотах изображены ниже на рис.1 и 2.

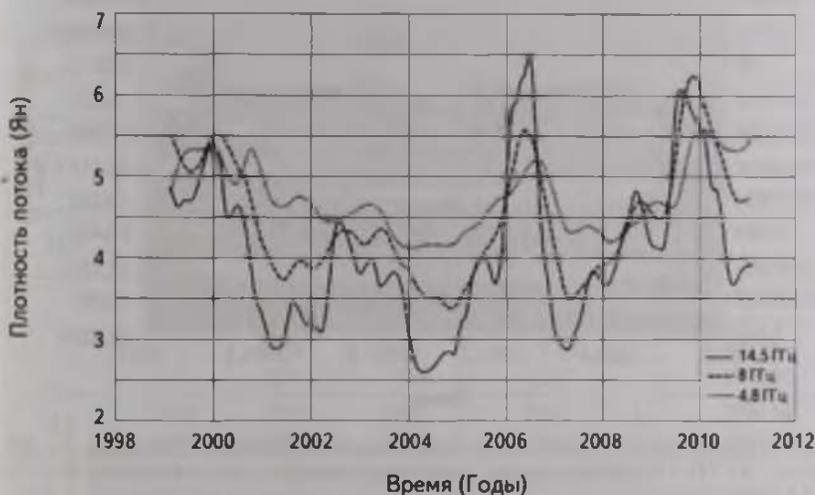


Рис.2. Плотность потока источника СТА 102 на частотах 14,5, 8 и 4,8 ГГц.

3. *Вейвлет-анализ.* Перед использованием вейвлет-анализа применялась FFT фильтрация для выделения короткопериодических компонент.

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 ($a, b \in R, a \neq 0$). Функция $\psi(t)$ - материнский вейвлет [13]. Исходную функцию можно восстановить с помощью обратного вейвлет-преобразования:

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

где C_{ψ} - постоянная допустимости, которая должна соответствовать критерию допустимости $C_{\psi} < \infty$.

В данной работе используется хорошо локализованный по времени и частоте вейвлет Морле. Подробное описание метода можно найти в работах [14,15]. Примеры применения вейвлет-анализа для обработки данных внегалактических источников описаны в работе [16].

4. Результаты применения вейвлет-анализа. Примеры

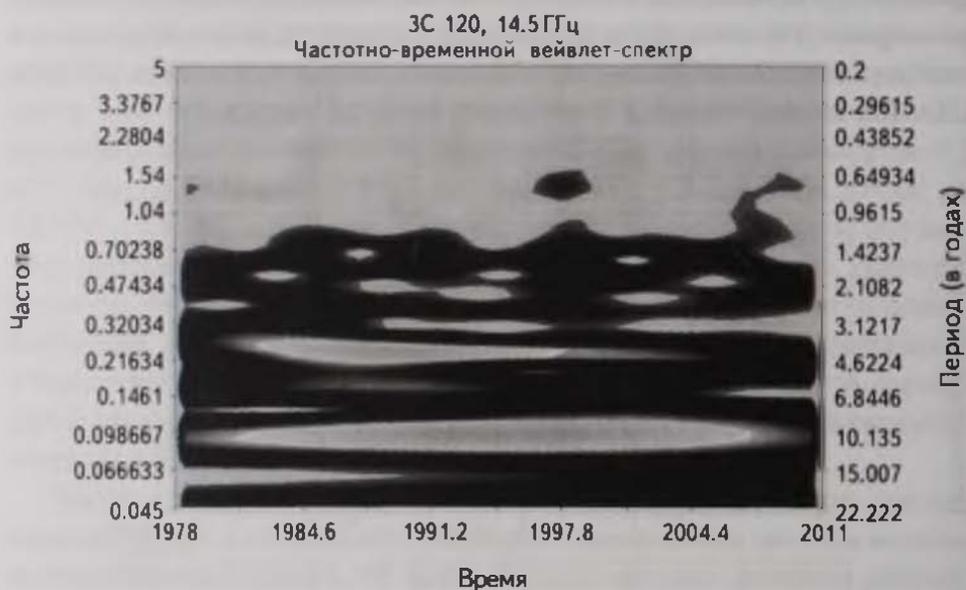


Рис.3. Пример вейвлет-спектра для долговременной составляющей источника ЗС 120 на частоте 14.5 ГГц. На спектре видно присутствие периодов продолжительностью ~11 лет и 4.4 года.



Рис.4. Пример вейвлет-спектра для кратковременной составляющей для источника ЗС 120 на частоте 14.5 ГГц. Заметно наличие периодов продолжительностью ~0.7 и 1.6 года.

полученных частотно-временных вейвлет-спектров в логарифмическом масштабе для короткопериодической и трендовой составляющих, показаны на рис.3 и 4. Здесь гармонические компоненты сигнала видны как яркие пятна вдоль оси времени. С помощью вейвлет-спектров были выявлены кратковременные и долговременные компоненты, а также время и продолжительность их проявления. Погрешность определения периодов ~0.07-0.30 года.

Результаты вейвлет-анализа для источника 3С 120 показаны в табл.1.

Результаты расчетов вейвлет-анализа для источника СТА 102 представлены в табл.2.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ИСТОЧНИКА 3С 120

Долговременная составляющая					
Частота (ГГц)	Период (годы)	Начало периода	Конец периода	Максимальная спектральная мощность	Даты максимальной спектральной мощности
14.5	10.89	1977	2010	156.4	1992.96
	4.44	1982	2010	149.7	1989.92
8	7.98	1975	2009	480.99	1975.09
	4.44	1967	2009	623.26	1970.93
	2.25	1968	1976	277.69	1973.87
	1.30	1970	1975	110.7	1973.87
4.8	10.90	1980	2009	258.8	1996.84
	4.44	1980	2009	134.42	1987.96
Кратковременная составляющая					
14.5	1.64	1980 1990	1983 2000	3.79	1997.89
	0.74	1978 1996 2007	1984 2000 2009	2.12	1997.89
8	3.40	2000	2009	4.54	2006.97
	3.06	1976	1978	3.04	1977.92
	1.69	1976 1988 1995 2007	1982 1993 1999 2009	3.96	1980.01
4.8	3.40	1987	2009	1.82	1987.03
	3.03	1980	1985	2.28	1982.93
	2.69	1986 1992	1989 1994	1.98	1986.09
	1.88	1999	2002	1.53	2000.71
	1.50	1990 2003	1994 2006	2.35	1991.35

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ
ИСТОЧНИКА СТА 102**

Долговременная составляющая					
Частота (ГГц)	Период (годы)	Начало периода	Конец периода	Максимальная спектральная мощность	Даты максимальной спектральной мощности
14.5	3.1	1999	2011	12.62	2005.97
	1.7	2007	2011	6.99	2007.97
8	3.0	1999	2009	6.5	2005.93
	1.8	2003	2011	3.63	2008.91
4.8	3.5	2004	2011	2.48	2006.95
	1.7	1999	2011	1.13	2007.98
Кратковременная составляющая					
14.5	0.8	1999	2000	1.92	2005.97
	0.4	2004 2005 2010	2010 2008	1.42	2006.32
8	0.9	2000 2007	2003 2008	0.86	2008.97
	0.5	2000 2005	2001	0.47	2005.03
4.8	0.9	2002 2005 2010	2006	0.66	2002.02
	0.7	1999 2008	2000 2009	1.26	2000.49

Периоды в интервале $-0.7-3.4$ года для ЗС 120 и $-0.5-0.8$ лет для СТА 102 ассоциируются с быстрыми изменениями структуры джета. Они проявляются в появлении новых компонент или движением по джету уже существующих узлов яркости. Более продолжительные периоды от 4 до 11 лет для ЗС 120, для СТА 102 - от 1.5 до 3 лет указывают на активность ядра. Максимальная активность у источников наблюдается при совпадении времени проявления активности долговременной и кратковременной компонент. Спектральная мощность по величине имеет большие значения у долговременных компонент, что соответствует активности в системе "ядро-аккреционный диск".

У источника ЗС 120 в период 1966-1975гг. наблюдалась аномально высокая активность на частоте 8 ГГц (на двух других частотах наблюдения в это время не проводились) в связи с этим значения спектральной мощности здесь максимальны.

5. "Спектры периодов" и сравнение с РСДБ-картами MOJAVE.

По результатам вейвлет-анализа были построены "спектры периодов" как графики зависимости "период - спектральная мощность" для каждого года наблюдений. Они позволяют определить периоды, вносящие наибольший вклад в формирование фаз активности исследуемого источника, а также время и продолжительность их существования. Построение такого типа данных на основе результатов вейвлет-анализа проведено впервые. На основе "спектров периодов" можно наблюдать развитие динамики процесса переменности на различных временных масштабах.

Для изучения структуры радиоисточников в периоды их максимальной активности, исследовались РСДБ-карты из архива MOJAVE на частоте 15.4 ГГц (подробнее о мониторинге MOJAVE см. [17]). Недостатком РСДБ наблюдений является их эпизодичность. В то же время непрерывные данные о "спектрах периодов" нуждаются в их пространственном отождествлении. Для совпадающих по дате РСДБ наблюдениям были определены соответствия пространственной и временной структуры. В качестве примера изображены "спектры периодов" долговременной и кратковременной компонент для источника 3С 120 в период одной из его фаз повышенной активности в 1998г. (см. рис.5). На РСДБ-картах MOJAVE можно увидеть увеличение радиояркости РСДБ-ядра и появление новой компоненты в джете. Из графиков "период-спектральная мощность" видно, что в это время проявляются периоды ~0.7 и 1.5 лет (кратковременные), а также ~4.4 и 11 лет (долговременные).

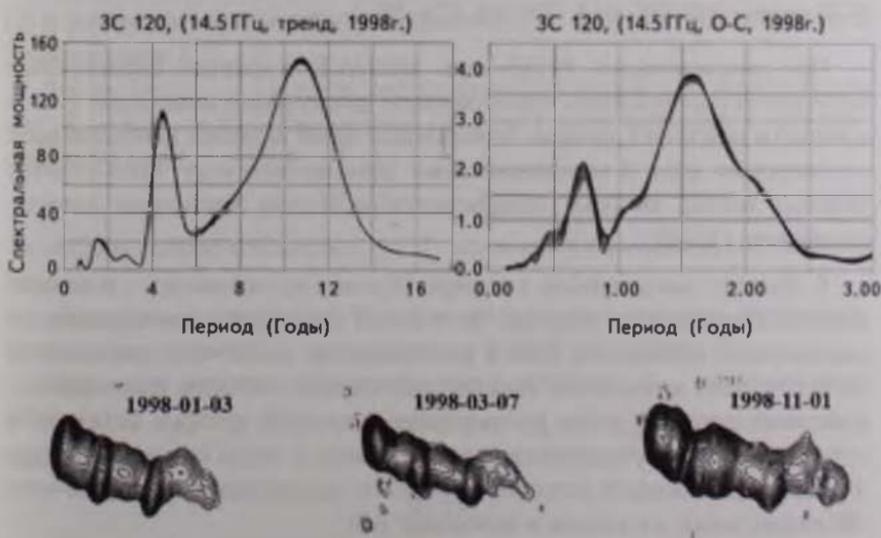


Рис.5. Сравнение графиков "спектральная мощность-период" на частоте 14.5 ГГц с РСДБ-картами MOJAVE (15.4 ГГц) для 3С 120.

На рис.6 показаны "спектры периодов" и РСДБ-карты для фазы активности источника СТА 102, происходившей в 2006г. На графиках видно, что основной вклад в эту активность вносят короткие периоды продолжительностью ~ 0.4 и 0.8 лет, а также более длительные ~ 1.7 и 3.1 года.

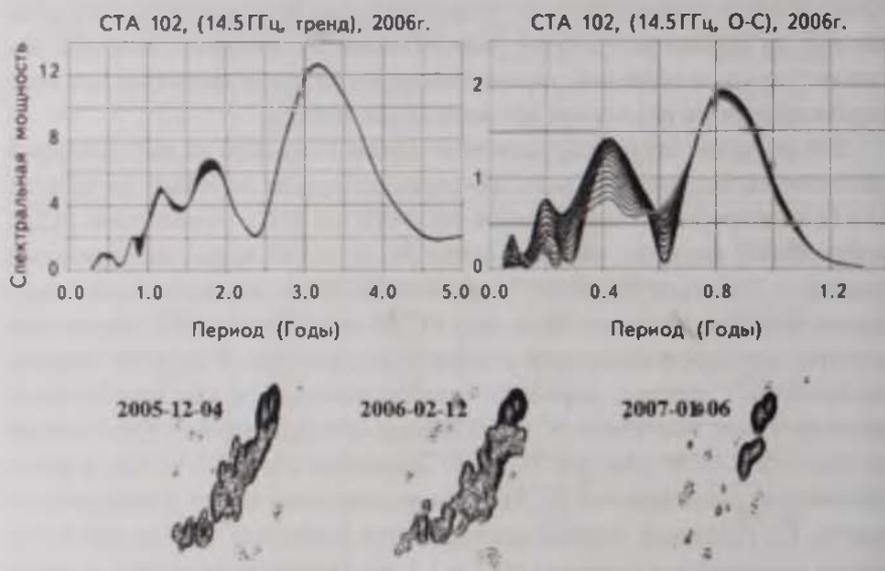


Рис.6. Сравнение графиков "спектральная мощность-период" на частоте 14.5 ГГц с РСДБ-картами MOJAVE (15.4 ГГц) для СТА 102.

При исследовании РСДБ-карт MOJAVE в джетах исследуемых источников обнаружилось существование движущихся компонент (узлов яркости) и компонент, которые определенное время являются неподвижными относительно ядра. В последнем случае объяснением могут быть стоячие ударные волны, которые предлагаются в статьях некоторых авторов (например, [18-20]).

6. Анализ сингулярного спектра. Данные исследовались с помощью анализа сингулярного спектра. Этот метод основан на преобразовании одномерного временного ряда в многомерный, после чего применяется метод главных компонент. Анализ сингулярного спектра раскладывает исходный сигнал на набор узкополосных фильтров, которые включают в себя трендовые, периодические составляющие и шумы сигнала. Главные компоненты исходной матрицы могут быть исследованы и упорядочены по возрастанию их вклада в исходный ряд.

Анализ сингулярного спектра состоит из разложения и восстановления исходного ряда данных.

6.1. *Разложение.* Этап разложения включает в себя вложение и сингулярное разложение.

Вложение преобразует исходный временной ряд в последовательность многомерных векторов. L - длина окна (целое число), $1 < L < N$. Вложение образует $K = N - L + 1$ векторов вложения $X_i = (f_i, \dots, f_{i+L-1})^T$, $1 \leq i \leq K$, имеющих размерность L . Траекторная матрица ряда F

$$X = [X_1; \dots; X_K] \quad (1)$$

состоит из векторов вложения в качестве столбцов [21].

Сингулярное разложение. В результате этого шага строится сингулярное разложение траекторной матрицы ряда.

Пусть $S = XX^T$, $\lambda_1, \dots, \lambda_L$ - собственные числа матрицы S , ($\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_L \geq 0$) и U_1, \dots, U_L - ортонормированная система собственных векторов матрицы S , соответствующих собственным числам.

Пусть $d = \max\{i: \lambda_i > 0\}$, если $V_i = X^T U_i / \sqrt{\lambda_i}$, $i = 1, \dots, d$, то сингулярное разложение матрицы X будет

$$X = X_1 + \dots + X_d, \quad (2)$$

где $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T$. Набор $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i)$ является i -й собственной тройкой сингулярного разложения (2).

6.2. *Восстановление.* Процедура восстановления включает в себя группировку и диагональное усреднение.

Группировка. В результате группировки происходит разделение аддитивных компонент ряда. На основе этапа сингулярного разложения (2) группировка делит множество индексов $\{1, \dots, d\}$ на m непересекающихся подмножеств I_1, \dots, I_m .

Пусть $I = \{i_1, \dots, i_p\}$, тогда результирующая матрица X_I определяется как $X_I = X_{i_1} + \dots + X_{i_p}$. Разложение (2) может быть записано в сгруппированном виде

$$X = X_{I_1} + \dots + X_{I_m}. \quad (3)$$

Процедура выбора множеств I_1, \dots, I_m является группировкой собственных троек

Диагональное усреднение. На этом этапе каждая матрица сгруппированного разложения (3) переводится в новый ряд длины N .

Применив диагональное усреднение к матрицам X_{I_k} , получаем ряды $\tilde{F}^{(k)} = (\tilde{f}_0^{(k)}, \dots, \tilde{f}_0^{(k)}, \dots, \tilde{f}_{N-1}^{(k)})$. Исходный ряд (f_0, \dots, f_{N-1}) раскладывается в таком виде

$$f_n = \sum_{k=1}^m \tilde{f}_n^{(k)}. \quad (4)$$

Более подробно анализ сингулярного спектра описан в книге [21].

Периодические составляющие исследуемого ряда образуют пару соседних компонент. Ниже показаны примеры главных компонент, полученных с помощью анализа сингулярного спектра, для источника СТА 102 на частоте 8 ГГц (рис.7 и 8).

Особенность анализа сингулярного спектра заключается в том, что в своих расчетах он не использует анализирующую функцию, поэтому эти расчеты позволяют с большой точностью выделять различные компоненты исследуемого ряда. Для получения представления о временной эволюции спектральной мощности исследуемого сигнала, к узкополосным компонентам, вычисленных с помощью анализа сингулярного спектра, применялось

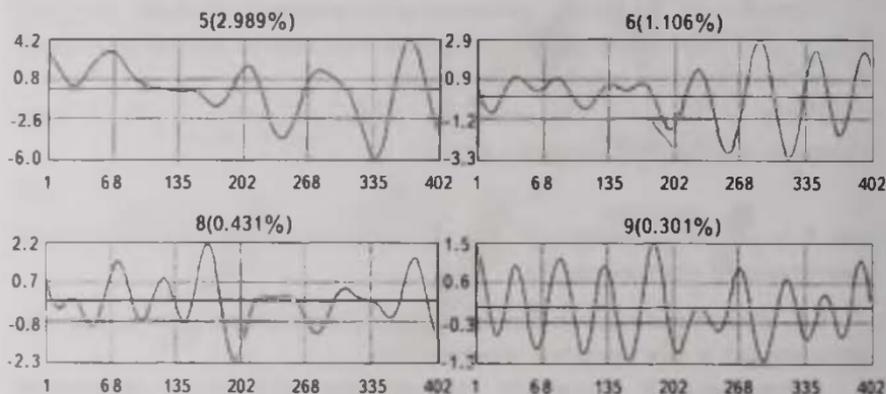


Рис.7. Главные компоненты сингулярного разложения траекторной матрицы ряда (одномерные диаграммы) для СТА 102 на частоте 8 ГГц.

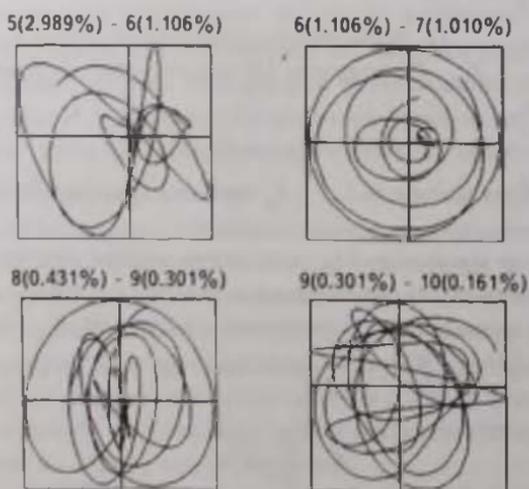


Рис.8. Главные компоненты (двумерные диаграммы) для СТА 102 на частоте 8 ГГц.

Оконное Фурье-преобразование или кратковременное Фурье-преобразование [13].

При использовании Оконного Фурье-преобразования сигнал делится на отрезки ("окна"), в пределах которого он считается стационарным. К сигналу применяется оконная функция, ширина которой равна ширине окна. Оконное преобразование Фурье (ОПФ) представляет собой Преобразование Фурье-сигнала, умноженного на оконную функцию. ОПФ можно записать как

$$F(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)W(\tau - t)e^{-i\omega\tau} d\tau,$$

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРА ДЛЯ
ЗС 120 И СТА 102

Частота (Гц)	ЗС 120		СТА 102	
	Период (годы)	Дата макс. активности	Период (годы)	Дата макс. активности
14.5	8.0	1975.2, 1990.9, 2007.9	2.7	2004.7, 2007.5
	4-4.8	1990.9, 1992.5, 1996.8, 2003.7, 2007.8	2.0	2005.7, 2006, 2007.1, 2008.7, 2010.5
	6.0	1975.9, 2008.9	1.3	2006, 2008.7, 2009
	2.7	1977.7, 1979, 1991, 1995.6, 2005.7, 2008.1	1.1-1.2	2002, 2003.9, 2005, 2006.6, 2007.7, 2008.5, 2009, 2010.5
	1.6	1975.3, 1992.2	1.0 0.8	2005.9, 2006.9, 2008.7, 2009.5 2003.2, 2005.9, 2006, 2010.5
8	7.4	1971.1, 1973, 1991	4.0	2010.5
	5.9	1995.6, 1999.2, 2008	2.7	2001.9, 2005.9
	4.2	1971.1, 1972.9, 1973, 1991, 1999.9, 2000.5	2.0 1.6	2009.5 2002.4, 2008.7
	3.3	1972.9, 1999.4	1.15	2001.9, 2007.1, 2008.5, 2009.6, 2010.5
	1.97	1973, 1990.3, 1991, 1999.7		
	1.74	1973, 1999.9	0.6-0.9	2001.9, 2003.1, 2007.1, 2008.4
4.8	9.7	1988.1	3.5	2002.7
	6.5	1984.8, 2000.7, 2004.1	2.3	2005.9
	4.85	2000	1.4	2003.9
	3.2	2000.3	1.0	2003.9, 2004.1, 2008, 2009.7
	2.8	1984.8, 1990.9, 1999.9, 2000.7, 2005.2		
	1.9	2000.3	0.5-0.7	2003.5, 2004.1, 2005.2, 2010.1
	1.4	2000, 2001.9, 2005.7		

где $W(\tau-t)$ - некоторая оконная функция.

Вычисляя кратковременное Фурье-преобразование для каждой компоненты, которая была получена в ходе анализа сингулярного спектра, можно получить распределение спектральной мощности этой компоненты со временем.

Результаты применения анализа сингулярного спектра для исследуемых источников показаны в табл.3.

В табл.3 подчеркиванием выделены даты максимальной активности, которые совпадают для нескольких периодов. Максимумы амплитуды потока радиоизлучения на различных частотах являются результатом совпадения по времени различных периодических составляющих.

7. Выводы. Применение методов анализа сингулярного спектра и вейвлет-анализа позволяет определить детальную картину развития переменности потоков внегалактических радиоисточников. В целом в большинстве работ по исследованию переменности потоков радиоизлучения внегалактических радиоисточников определялось наличие основных периодов на всем временном интервале. В данной работе исследуется наличие основных периодов и времени их проявления. Картина проявления активности представляется достаточно сложной, что отражает многообразие формирующих ее процессов. Такие данные позволяют представить полную картину проявления переменности на различных временных масштабах, что позволит в дальнейшем создать физическую модель переменности, соответствующую наблюдательным данным.

Сопоставление с данными эпизодических РСДБ наблюдений позволяет связать эти процессы с изменением пространственной и угловой структуры радиоисточника. В результате проведенной работы у исследуемых внегалактических радиоисточников были обнаружены долговременные компоненты переменности в интервале $\sim 4-11$ лет (3С 120) и интервале $\sim 1.5-3$ года (СТА 102), ассоциирующиеся с активностью ядра. Для кратковременной переменной компоненты, связанной с активностью джета, характерно проявление периодов в интервале $\sim 0.7-3.4$ года (3С 120) и $\sim 0.5-0.8$ лет (СТА 102). Результаты расчетов анализа сингулярного спектра периодичности потоков внегалактических источников сравнивались с результатами вейвлет-анализа. Полученные результаты с использованием двух разных по своей природе методов анализа временных рядов показали хорошее соответствие между собой. Для продолжительных рядов данных время расчета у вейвлет-метода значительно меньше, чем у анализа сингулярного спектра. Анализ сингулярного спектра позволяет более точно определять значения периодов переменности, чем вейвлет-анализ. Данные сравнивались с РСДБ-картами, полученными по программе MOJAVE, что позволило изучить изменения структуры джетов и связать эти изменения с проявлением определенных

периодов. Наличие выявленной сложной картины проявления переменности потоков исследуемых источников является основой для построения моделей системы "ядро-аккреционный диск - джет" активных ядер галактик и представления динамики их развития.

¹ Кафедра астрономии, Одесский Национальный университет им. И.И.Мечникова, Одесса, Украина, e-mail: donskikh_ann@yandex.ua

² Радиоастрономический институт НАН Украины, Обсерватория "УРАН-4", Одесса

³ Факультет астрономии, Мичиганский университет, Анн Арбор, США

STUDY OF VARIABILITY OF EXTRAGALACTIC SOURCES 3C 120 AND CTA 102 IN THE RADIO RANGE, USING THE SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS AND THE WAVELET ANALYSIS

G.I.DONSKYKH¹, M.I.RYABOV², A.L.SUKHAREV², M.ALLER³

In this paper we study the variability of radio fluxes of quasar CTA 102 and radio galaxy 3C 120 according to the data of the Michigan Radio Astronomy Observatory (UMRAO) Ann Arbor. The data for the investigations at three frequencies (14.5, 8 and 4.8 GHz) were obtained by 26 m radio telescope. The data were analyzed by two complement each other methods: the wavelet analysis and singular spectrum analysis. Wavelet analysis is based on the Fourier transform, while the singular spectrum analysis does not use the analyzing function. Long-period components of variability were detected in the range ~4-11 years (3C 120) and ~1.5-3 years (CTA 102). For short-period components of variability is characteristic the manifestation of periods ~0.7-3.4 years for 3C 120 and ~0.5-0.8 years for CTA 102. A comparison of the obtained data with the VLBI maps (the archive MOJAVE) was made to study the evolution of the components in the jets of studied quasars.

Key words: *quasar: variability of the radio emission: 3C 120, CTA 102*

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.F.Aller, H.D.Aller, P.A.Hughes*, Bull. American Astron. Soc., **33**, 1516, 2001.
2. *P.A.Hughes, H.D.Aller, M.F.Aller*, Astrophys. J., **396**, Part 1, 469, 1992.
3. *A.Michel, J.Huchra*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **100**, 1423, 1988.
4. *M.L.Lister, M.F.Aller, H.D.Aller et al.*, Astron. J., **146**, 22, 2013.
5. *A.Caproni, Z.Abraham*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **349**, 1218, 2004.
6. *T.Hovatta, H.J.Lehto, M.Tornikoski*, Astron. Astrophys., **488**, 897, 2008.
7. *R.Falomo, R.Scarpa, M.Bersanelli*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **93**, 125, 1994.
8. *C.M.Fromm, M.Perucho, E.Ros et al.*, Astron. Astrophys., **531**, 14, 2011.
9. *S.Zhang, W.Collmar, V.Schoenfelder et al.*, <http://arXiv:astro-ph/0107173>, 2001.
10. *N.A.Kudryavtseva, T.B.Pyatunina*, A Search for Periodicity in the Light Curves of Selected Blazars, <http://arXiv:astro-ph/0511707v1> 24 Nov, 2005.
11. *А.Г.Горшков, В.К.Конникова, М.Г.Мингалиев*, Астрон. ж., **89**, 388, 2012.
12. *A.L.Sukharev, M.F.Aller*, Odessa Astron. Publ., **27**, 78, 2014.
13. *R.Polika*, Введение в вейвлет-преобразование, пер. с англ. В.Г.Грибунин, Санкт-Петербург: АВТЭКС, 2013, 59с.
14. *И.Добеши*, Десять лекций по вейвлетам, пер. с англ., Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001, 464с.
15. *В.В.Витязев*, Вейвлет-анализ временных рядов: Учебное пособие, СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001, 58с.
16. *A.L.Sukharev, M.F.Aller*, Odessa Astron. Publ., **26**, 256, 2013.
17. *M.L.Lister et al.*, Astron. J., **138**, 1874, 2009.
18. *S.Jorstad, A.P.Marscher, J.R.Mattox et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **134**, 181, 2001.
19. *S.Britzen, R.C.Vermeulen, R.M.Campbell et al.*, Astron. Astrophys., **484**, 119, 2008.
20. *A.Alberdi, J.L.Gomez, J.M.Marcaide, A.P.Marscher, M.A.Perez-Torres*, Astron. Astrophys., **361**, 529, 2000.
21. *Н.Э.Голяндина*, Метод "Гусеница"-SSA: анализ временных рядов (учебное пособие), Изд. Санкт-Петербургского университета, 2004, 74с.