

# ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ АКТИВНОСТИ КВАЗАРА 3C273 В РАДИО-РЕНТГЕНЕ-УЛЬТРАФИОЛЕТЕ

М.И.Рябов, А.Л.Сухарев

Одесская обсерватория «Уран-4» Радиоастрономического института НАН Украины

Dynamics of development of activity process of a quasar 3C273 according to published data of radio (Green Bank, Algonquin, UMRAO, Haystack, Metsahovi, Itapetinga, Crimea), ultra-violet (IUE, XMM-Newton) and x-ray (RXTE, CGRO, GINGA, ASCA, EXOSAT, HEAO2, GRANAT, ROSAT) supervision are investigated. Periodogram and wavelet analysis methods are applied for definition of the basic periods of variability in each range and dynamics of their changes for 30-40 years of observation. Properties of the separate periods of activity during 6-8 years are considered. On spectral indexes, time shifts, spectra of maximum activity and data VLBI of observation properties of extreme displays of activity in system «core-accretion disk-jet» are defined.

## Введение

Радиосточник 3C 273 – самый яркий квазар на звёздном небе Земли, с видимой звёздной величиной  $12,9^m$  ( $z=0.158$  расстояние 2.44 млрд. св.лет) ввиду чего может наблюдаться даже в любительские телескопы. Масса его центрального компонента оценивается в  $886 \pm 187 M_{\odot}$ . С помощью космического телескопа «Хаббл» и наземных РСДБ систем получены данные об изменениях 3C273 в системе «ядро-джет». Линейная протяжённость джета составляет  $\sim 200$  тыс. св.лет ( $\sim 62$  кпс), а видимый размер –  $23''$ . [1].

## Наблюдательные данные

Используемые наблюдательные данные представляли собой объединённые в общие ряды, наблюдения нескольких обсерваторий в радио, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах. В радио-диапазоне использовались данные длительного мониторинга 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). Также использовались данные радиобсерваторий Green Bank, Algonquin, Haystack, Met-

sahovi, Itapetinga. В ультрафиолетовом диапазоне использовали данные обсерваторий IUE, XMM-Newton, а в рентгеновском – обсерваторий RXTE, CGRO, GINGA, ASCA, EXOSAT, HEAO2, GRANAT, ROSAT.

## Методика обработки данных

Используемые данные наблюдений источников представлены в виде средних значений за период в 1 и 7 суток на указанных выше временных интервалах с неравномерной сеткой отсчётов. С помощью интерполяции данные были приведены к равномерному шагу по времени. По гистограмме распределения временных интервалов между отсчётами был выбран оптимальный интервал интерполяции в 0.02 года (7,3 дня).

## Фурье-анализ

Для поиска периодичностей в данных использовался метод Lomb-Scargle построения периодограммы для неравномерных временных рядов [2].

Для повышения эффективности спектрального анализа Фурье исходные данные были сглажены а также вычтены тренды [3]. Пример проведенных расчетов показан на Рис.1.

## WAVELET-анализ

Так как переменность радиосточников представляет сложные, нестационарные процессы, то использование вейвлет-анализа позволяет получить больше информации о структуре сигнала на разных частотах, чем при использовании Фурье анализа [4].

В нашей работе использовалось непрерывное вейвлет-преобразование на основе функции Морле.

На частотно-временных спектрах гармонические компоненты сигнала видны в виде ярких пятен, вытягивающихся в полосы вдоль оси времени (см.рис.2).

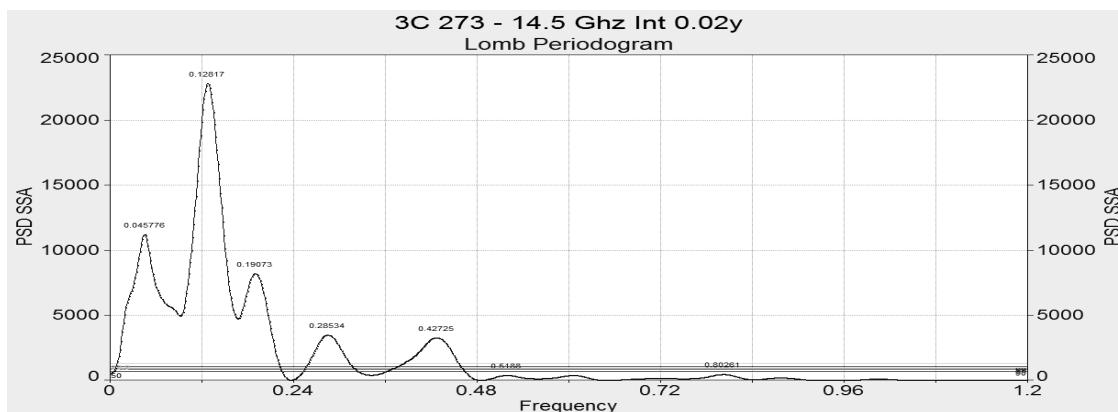


Рисунок 1: Пример периодограммы для частоты 14.5 ГГц.

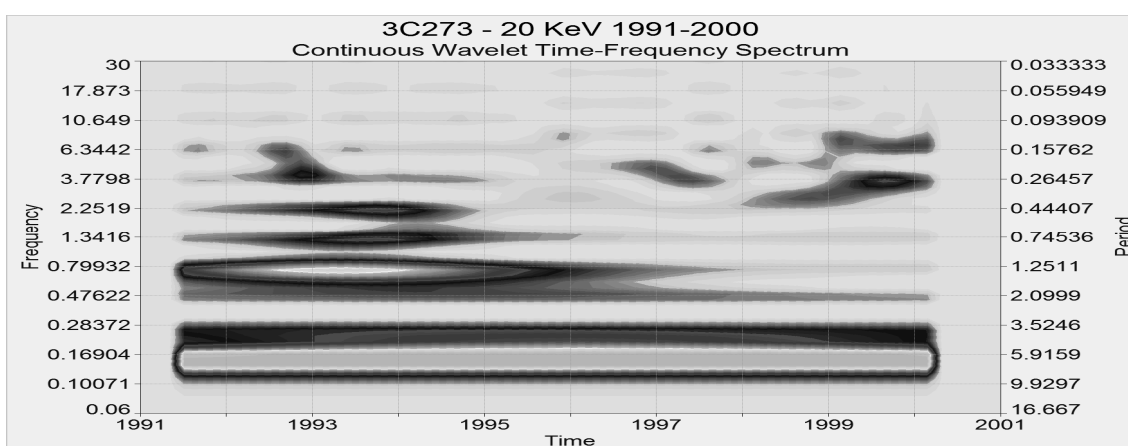


Рисунок 2: Пример непрерывного wavelet-спектра для рентгена 20 КэВ.

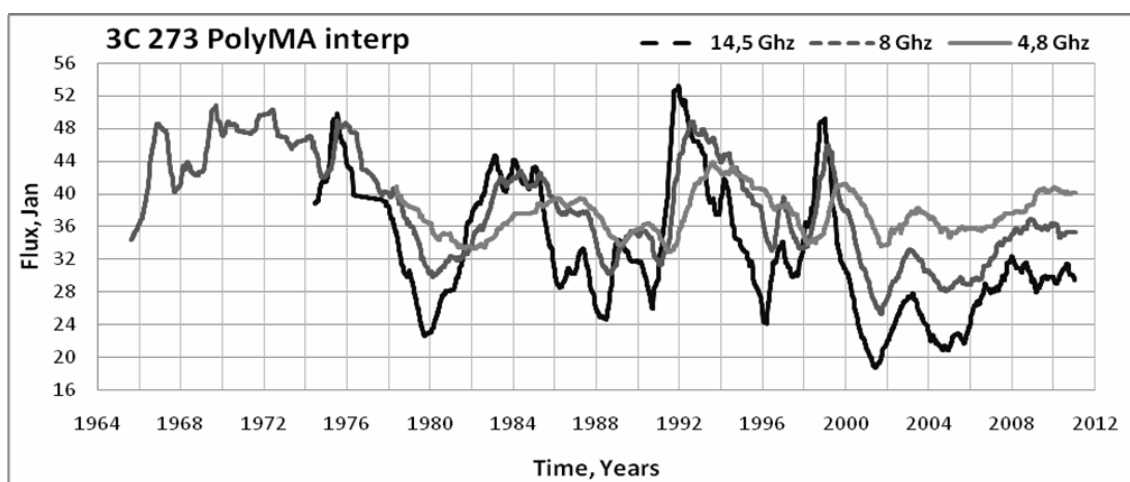


Рисунок 3: Графики исходных данных по радиоисточнику 3C 273 на частотах 14.5, 8 и 4.8 ГГц после интерполяции с интервалом по оси времени 0.02 года и сглаживания скользящим средним с полушириной интервала 5 точек. Наблюдения обсерватории UMRAO.

Табл. 1 (б): Таблица значений спектральных мощностей по отдельным гармоническим компонентам исследуемых сигналов на частотах 14.5, 8, 4.8 ГГц, в ней обозначены значения найденных периодов  $P_r$ , максимумы спектральных мощностей  $P_w$  и времена  $T$  проявлений этих максимумов.

3C 273											
Fr, GHz	Pr, Yr	T	Pw	Fr, GHz	Pr, Yr	T	Pw	Fr, GHz	Pr, Yr	T	Pw
14,5	7,8	1984,5	26702	8	8,13	1986,5	9409	4,8	16,3	2000,5	1050
	5,3	1996,2	10509		5,2	1996,4	4737		8,5	1988,5	3190
	3,4	1997,5	4809		4	2001	2341		4,8	2001,5	605
	2	1985,7	337		3,2	1998,7	2113		3,4	1999	1040
		1998	1178		2,5	1967,4	1295		2	1991,4	17
1,3	1979,7	68			1989	1063			1998	47	
	1990	451			2000,4	457			2006,7	15	
	1999,5	192	1,3	1966	1320	1,2	1997	15			
				1990,7	1200						

**Радио**

В радиодиапазоне наилучшим заполнением, малым шумом, и наибольшей длиной обладали ряды данных, полученные обсерваторией UMRAO. Поэтому они брались за основу в расчётах и для детального сравнения с наблюдениями на более высоких частотах, полученными в Крымской обсерватории и Метсахови. Графики исходных данных приведены на рисунке 3.

Далее были построены Lomb-Scargle периодограммы с использованием спектрального окна Барлетта, а также wavelet-спектры мощности. Значения периодов по данным обсерватории UMRAO представлены в таблице 1 (а). Значения максимумов спектральных мощностей для выделенных периодов, и времён, в которые эти максимумы наблюдались, приведены в таблице 1 (б).

Таблица 1(а): Таблица значений периодов для радиоисточника 3C 273 на частотах 14.5, 8 и 4.8 ГГц, в ней обозначены начальное и конечное время ( $P_{start}$ ,  $P_{end}$ ), длительность проявления периодических компонентов ( $\Delta T$ ), начальное и конечное значение периодов ( $T_{start}$ ,  $T_{end}$ ) (существенно отличается при наличии изменения частоты гармоника со временем).

Freq, GHz	$P_{start}$ , Yr	$P_{end}$ , Yr	$T_{start}$	$T_{end}$	$\Delta T$ , Yr
14,5	8,5	7,8	1976,7	2001,3	24,6
	5,3	5,3	1978,5	2003,5	25
	3,2	3,4	1989	2003,7	14,7
	2,1	2	1985,7	2000,2	14,5
	1,3	1,3	1988	1999,7	11,7
8	10,5	8,13	1973	2000,7	27,7
	5,2	5,2	1992,7	2009,5	16,8
	4	4	1968,3	1985,5	17,2
	3,2	3,2	1992,7	2005,4	12,7
	2,5	2,5	1966,1	1981	14,9
	2	2	1990,8	2003,1	12,3
	1,3	1,3	1989	2000	11
4,8	16,3	15,5	1991,8	2009,7	17,9
	8,5	8	1980,5	2006,5	26
	4,8	4,8	1995,3	2009,5	14,2
	3,4	3,4	1989,7	2006	16,3
	2	2	1991,2	2004,5	13,3
	1,2	1,2	1991,3	2001	9,7

Все найденные значения периодов приведены в таблице 2.

Табл. 2: Таблица значений периодов для радиоисточника 3C 273 на частотах 37, 22, 15, 10, 5, 2.5 ГГц, в ней обозначены, временной интервал наблюдений ( $T_{obs}$ ), значение периодов ( $P$ ), отметка есть ли изменение со временем значений периодов ( $P_{mod}$ ) и спектральная мощность ( $P_w$ ).

Freq, GHz	$T_{obs}$	P, Yr	$P_{mod}$	$P_w$
37	1970 – 2006	13	Нет	280
		8,4	Нет	410
		4,3	Нет	240
		2,5	Нет	120
22	1976 – 2004	14,1	Нет	200
		7,2	Есть	690
		3,7	Нет	160
		2,3	Нет	165
15	1963 – 2006	21	Нет	300
		12,5	Нет	370
		8,1	Нет	1100
		5,4	Нет	250
10	1979 – 1994	2,3	Есть	230
		8,1	Нет	900
		4	Нет	780
		2,5	Есть	880
5	1967 – 2006	1,3	Нет	230
		23	Нет	410
		7,7	Нет	690
		3,5	Нет	290
2,5	1979 – 1994	8,1	Нет	4000
		4,5	Нет	1700
		2,1	Нет	760
		1,1	Есть	690

Итак, при анализе радио-данных было обнаружено преобладание на всех исследуемых частотах периода, значение которого близко к 8 годам. Также на всех частотах, за исключением 2.5, 10 и 37 ГГц обнаружен период со значением, близким к 24 годам.

Кроме того на частотах 22, 10 и 8 ГГц обнаружено изменение периодов с течением времени.

На всех исследуемых частотах присутствует большое количество быстропеременных компонентов с периодами от 4 до 1 года.

### Ультрафиолет

В ультрафиолетовом диапазоне исследовались данные, полученные на следующих длинах волн – 1300, 1525, 1700, 1950, 2100, 2425, 2700, 3000 Ангстрем. Все найденные значения периодов в ультрафиолетовом диапазоне приведены ниже в таблице 3.

Табл. 3: Таблица значений периодов для радиоисточника 3С 273 на длинах волн  $\lambda$  1300, 1700, 1950, 2100, 2425, 2700, 3000 Ангстрем в ультрафиолетовом диапазоне, в ней обозначены, временной интервал наблюдений ( $T_{obs}$ ), значение периодов (P), отметка есть ли изменение со временем значений периодов ( $P_{mod}$ ) и спектральная мощность (Pw).

$\lambda$ , А	$T_{obs}$	P, Yr	$P_{mod}$	Pw
1300	1978 -- 1996	11,1	Нет	1000
		5,1	Нет	700
		2,6	Есть	400
		1,8	Нет	180
1525	1978 -- 1996	11,1	Нет	1100
		8,1	Нет	500
		5	Нет	800
		2,7	Есть	320
		1,7	Нет	230
1700	1978 -- 1996	11,2	Нет	1050
		8,2	Нет	600
		5,3	Нет	920
		3	Нет	350
		2	Нет	300
1950	1978 -- 1996	11,2	Нет	1000
		8,2	Нет	570
		5,5	Нет	880
		3	Нет	370
		1,7	Нет	310
2100	1978 -- 2005	9,7	Нет	800
		5,6	Нет	630
		2,7	Есть	310
2425	1978 -- 2005	9,6	Нет	870
		5,5	Есть	640
		2,7	Есть	290
2700	1978 -- 1996	9,3	Нет	750
		5,3	Нет	900
		2,5	Нет	250
3000	1978 -- 2005	9,5	Нет	1100
		5,3	Нет	750

Обобщая результаты, полученные по восьми длинам волн, видно, что, несмотря на некоторое отличие спектров, на всех длинах волн можно выделить гармонические компоненты с близкими значениями периодов. Преобладающий период, как и в радиодиапазоне, близок к 8 – 9 годам. Значение периода в 11 лет близко к длине рядов наблюдений, поэтому требует подтверждения на более длительных рядах наблюдений. Кроме вышперечисленных, существуют близкие значения периодов 5, 3, 2 года. На длинах волн 1300А, 1525А, 2100А, 2425А, 3-х лет-

няя гармоника изменяет свой период в пределах 0.4 года, а на длине волны 2425А изменение периода на 0.5 года заметно у гармоника с периодом, близким к 5 годам.

### Рентген

В рентгене данные были представлены наблюдениями в следующих энергетических диапазонах – 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 КэВ. Все найденные значения периодов приведены ниже в таблице 4.

Табл. 4: Таблица значений периодов для радиоисточника 3С 273 в рентгеновском диапазоне, в ней обозначены, временной интервал наблюдений ( $T_{obs}$ ), значение периодов (P), отметка есть ли изменение со временем ( $P_{mod}$ ) и спектральная мощность (Pw).

E, KeV	$T_{obs}$	P, Yr	$P_{mod}$	Pw
1	1969 -- 2005	10,3	Есть	500
		5,7	Нет	1300
		4,3	Нет	800
2	1969 -- 2005	11,7	Нет	1800
		5,7	Нет	1700
		4	Нет	700
		2,7	Нет	700
5	1969 -- 2005	12,5	Нет	1750
		6,2	Нет	800
		3,4	Нет	600
		2,2	Нет	500
10	1969 -- 2005	12,7	Нет	1700
		6,7	Нет	680
		3,5	Нет	400
20	1991 -- 2000	6	Нет	900
		1,3	Есть	600
		0,7	Нет	300
		0,4	Есть	300
20	2001 -- 2005	0,2	Есть	450
		2,1	Нет	1000
		0,8	Нет	900
20	2001 -- 2005	0,3	Есть	500
		0,1	Есть	300
		5	Нет	880
		1,8	Есть	520
50	1991 -- 2000	0,4	Есть	340
		0,1	Нет	270
		2	Нет	770
50	2001 -- 2005	0,8	Нет	450
		0,5	Нет	300
		0,3	Нет	270
		0,1	Нет	200
100	1991 -- 2000	2,3	Есть	700
		0,7	Нет	500
		0,4	Нет	430
		0,2	Есть	270
100	2001 -- 2005	2,1	Нет	1000
		1	Нет	700
		0,5	Нет	300
		0,3	Нет	470
		0,2	Есть	250
200	1991 -- 2000	4,3	Нет	600
		1,5	Есть	870
		0,8	Нет	350
		0,4	Нет	300
		0,2	Нет	480

При исследовании рентгеновских данных было обнаружено, что существуют наиболее мощные периоды, значения которых близки к 6 и 12 годам. Кроме того было найдено множество гармоник с изменяющимися с течением времени периодами, как правило они меньше двух лет, также существует множество быстрых квазипериодических всплесков, которые на wavelet-спектрах видны в виде множества светлых пятен располагающихся вдоль оси времени с небольшим разбросом значений периодов.

### Выводы

В результате проделанной работы обнаружено, что основной период переменности радиоисточника 3C 273 имеет значение, близкое к 8 годам. Это наиболее заметно в радио и ультрафиолетовом диапазонах, в рентгеновском диапазоне наиболее близкий период переменности имеет значение около 6 лет.

Такая квазипериодическая переменность является следствием глобального процесса, действие которого проходит через различные диапазоны излучения. Найденные значения коротких периодов переменности чаще всего соответствуют гармоникам с ограниченным временем проявления в исследуемых сигналах.

Скорее всего, медленные и быстрые компоненты переменности образуются разными физическими процессами. Долгопериодические волны переменности могут отражать 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 [5]. Несмотря на совпадения периодов переменности в радио, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах скорее всего они формируются в различных областях пространства и отличаются наличием временного сдвига, что станет предметом дальнейших исследований.

Средние и короткие периодичности в радиодиапазоне, могут быть описаны моделью ударной волны в джете. 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 [6].

В случае устойчивых периодов на длительных временах наблюдений, особый интерес представляют модели переменности на основе магнитного динамо. В активных ядрах галактик, также как и в микрокварах, аккреционные диски связаны с джетами магнитным полем. Таким образом нестабильности в аккреционном диске могут передаваться в джеты [7, 8, 9].

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 [10].

### Литература

1. Uchiyama, Yasunobu; Urry, C. Megan; Cheung, C. C.; Jester, Sebastian; Van Duynе, Jeffrey; Coppi, Paolo; Sambruna, Rita M.; Takahashi, Tadayuki; Tavecchio, Fabrizio; Maraschi. "Shedding New Light on the 3C 273 Jet with the Spitzer Space Telescope". *The Astrophysical Journal* 648 (2): 910–921.
2. Витязев В.В. Анализ неравномерных временных рядов. Издательство Санкт-Петербургского университета, 2001.
3. И. Гайдышев, Анализ и обработка данных (специальный справочник), Издательский дом «Питер» 2001.
4. Н. Смоленцев: Вейвлет-анализ в MATLAB. ДМК-Пресс, 2010.
5. Активные ядра и звёздная космогония. Под редакцией Д.Я. Мартынова. Издательство Московского университета, 1987 г.
6. А.П. Маршер, С.Г. Эрштадт, Взгляд на активные ядра галактик из прошлого и настоящего. Труды конференции «Астрономия 2006: традиции, настоящее и будущее», СПбГУ, 2006.
7. F. Meyer, E. Meyer-Hofmeister. The effect of disk magnetic fields on the truncation of geometrically thin disks in AGN.
8. Vladimir I. Pariev, Stirling A. Colgate. A Magnetic  $\alpha$ - $\omega$  Dynamo in AGN Disks. I. The Hydrodynamics of Star-Disk Collisions and Keplerian Flow.
9. de Vries, M. & Kuijpers, J. A magnetic flare model for X-ray variability in AGN. *Astronomy and Astrophysics* (ISSN 0004-6361), vol. 266, no. 1, p. 77-84.
10. Mario Livio, J. E. Pringle and A. R. King. THE DISK-JET CONNECTION IN MICROQUASARS AND AGN.