

ЛОКАЛЬНЫЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШУМОПОДОБНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДОМ ВСЕХ СОЧЕТАНИЙ В ДИАПАЗОНЕ ПЕРИОДОВ 1–115 МИНУТ

© 2015 г. В.А. Панчелюга, М.С. Панчелюга

*Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
142290, Пушкино Московской области, ул. Институтская, 3*

E-mail: panvic333@yahoo.com

Поступила в редакцию 28.12.14 г.

Приведены результаты анализа 329-суточного массива флуктуаций скорости альфа-распада ^{239}Pu с использованием развитого нами локального фрактального анализа шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний. С помощью данного метода в анализируемом массиве данных выявлена устойчивая частотная структура. Обнаружено совпадение найденного набора частот с частотами собственных колебаний Земли. Приведен краткий обзор работ, в которых анализируется временной ход флуктуаций в протекании процессов различной природы. Показано, что периодичности, найденные в этих работах, совпадают с обнаруженными нами, свидетельствуя, таким образом, об универсальном характере обнаруженного феномена.

Ключевые слова: фрактальная размерность, временные ряды, шумы, локальный анализ временных рядов, метод минимальных покрытий.

В предыдущих работах [1,2], основываясь на идее вычисления фрактальной размерности методом минимальных покрытий, развитого в работах [3–6], и на основных свойствах гистограммного метода [7–9], был развит метод локального фрактального анализа шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний (МВС-метод). Данный метод синтезировал в себе идеи вычисления фрактальной размерности по малым выборкам, содержащиеся в методе минимальных покрытий [3–6], и методику анализа шумоподобных временных рядов при помощи гистограммного метода [7–9] и обеспечивал определение фрактальной размерности для коротких (десятки точек) отрезков шумоподобных временных рядов, создавая тем самым основу для их локального фрактального анализа.

Особенности МВС-метода были рассмотрены в работах [1,2], где отмечается, что он обладает всеми свойствами гистограммного метода, хорошо апробированного при исследовании шумоподобных временных рядов различного происхождения [8–11]. Также в работе [2] отмечалось, что анализируемым параметром в МВС-методе является определенный тип порядка, присутствующий в отрезке временного ряда,

т.е. он имеет неэнергетический характер. Еще одной особенностью этого метода является возможность нахождения периодичностей, которые необнаружимы традиционными методами анализа временных рядов.

Настоящая работа имеет своей целью применение МВС-метода для анализа большого массива регистраций флуктуаций скорости α -распада. При этом нами ставится задача исследования возможности существования устойчивой частотной структуры в такого рода шумоподобных временных рядах.

Говоря «шумоподобных», необходимо отметить, что радиоактивный распад – это, в некотором смысле, эталон случайного процесса, подчиняющийся статистике Пуассона. Практически сразу после открытия радиоактивности были предприняты интенсивные исследования возможности внешнего воздействия на радиоактивный распад. В качестве примера подобных исследований того времени можно привести эксперимент Резерфорда [12], в котором некоторое количество радиоактивного газа радона заключалось в сосуде высокого давления вместе с бездымным порохом. Согласно оценкам, в момент детонации взрывчатого вещества максимальная температура в сосуде достигала 2500°C и давление порядка 1000 атм. При этих условиях γ -активность радона оставалась неиз-

Сокращения: МВС-метод – метод всех сочетаний, СКЗ – собственные колебания Земли.

менной. Результатом такого рода исследований стало заключение о том, что скорость радиоактивного распада постоянна при любых условиях [13].

Развитие экспериментальной техники и дальнейшее изучение возможности внешних влияний на радиоактивный распад показали, что экстремальные воздействия (сверхсильные магнитные поля, давление, изменение химического окружения, степень ионизации атома) все-таки могут приводить к изменению скорости различных типов β - и γ -распада.

Очередное изменение мирового научного мнения о возможности внешнего влияния на скорость радиоактивного распада произошло с появлением серии работ, инициированной работами Фишбаха с соавторами [14–16]. Данная серия началась с работы [14], в которой было продемонстрировано наличие годового периода в многолетних рядах измерений скорости β -распада, коррелирующего с ходом зависимости $1/R^2$, где R – расстояние между Землей и Солнцем. Упомянутая работа [14], первоначально депонированная в электронном архиве Корнельского университета, очень быстро приобрела мировую известность и уже в 2009 году была практически без изменений напечатана в журнале *Astroparticle Physics* [15]. Последовавшая за упомянутыми публикациями серия работ как самого Фишбаха [16–24], так и других авторов [25–30] обеспечили теме зависимости радиоактивного распада от различных природных факторов надежную прописку на страницах мировой научной печати.

В этих работах, в отличие от упомянутых выше работ Резерфорда [12,13], в качестве внешнего воздействия, судя по всему, выступает некий природный фактор, который на настоящий момент является невыявленным. Возможные кандидаты на роль такого фактора являются предметом интенсивных дискуссий [16].

Упомянутые выше работы [14–30] рассматривают некоторый энергетический параметр, в то время как в настоящей работе анализ основан на неэнергетическом параметре – фрактальной размерности. Феноменология работ [14–30] основана на малых изменениях измеренной с большой точностью средней скорости радиоактивного распада, приводящих в итоге к отклонению от закона радиоактивного распада. Так, в обзоре Фишбаха [16] предполагается, что константа распада может быть функцией времени. Зависимости, которые анализируются в настоящей работе, не изменяют средней скорости радиоактивного распада, так как они не связаны с изменением энергии исследуемого процесса.

То что регистрируемый параметр является неэнергетическим, может иметь следствием его высокую чувствительность к очень слабым внешним воздействиям.

Как уже отмечалось, задачей настоящей работы является исследование МВС-методом большого массива экспериментальных данных, состоящего из 1-секундных регистраций флуктуаций скорости α -распада препаратов ^{239}Pu с целью ответа на вопрос: существует ли устойчивая частотная структура в получаемых после МВС-анализа распределениях интервалов в диапазоне периодов 1–115 мин.

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МВС-МЕТОДОМ

Кратко рассмотрим методику построения распределения интервалов с использованием МВС-метода. Более детально данная методика была рассмотрена в работах [1,2].

В качестве исходного экспериментального материала были использованы временные ряды непрерывных 1-секундных измерений флуктуаций скорости α -распада препарата ^{239}Pu , полученные в ходе экспериментов, выполненных в 2000–2013 гг.

Из исходных временных рядов для дальнейшей обработки выделялись части, длина которых была кратна 86400, т.е. числу целых суток, из которых в дальнейшем формировалась матрица данных, столбцами которой служили 86400-точечные (1-суточные) отрезки исходных рядов. Таким образом, число столбцов равнялось числу целых суток эксперимента и в нашем случае было равно 329. Начала суточных рядов, составляющих столбцы матрицы данных, относятся к различным моментам времени и специально не упорядочивались.

Перед вычислением фрактальной размерности МВС-методом соседние точки суточных рядов суммировались: №1 + №2, №3 + №4, ..., №86399 + №86400, и, таким образом, каждый 86400-точечный столбец преобразовывался в 43200-точечный, в котором каждой точке соответствовал 2-секундный временной интервал.

Фрактальная размерность FD вычислялась по 30-точечным (длительностью 1 мин) последовательным отрезкам суточных временных рядов МВС-методом [1,2]. Таким образом 43200-точечный временной ряд преобразовывался в 1440 30-точечных отрезков, для каждого из которых вычислялось соответствующее значение фрактальной размерности.

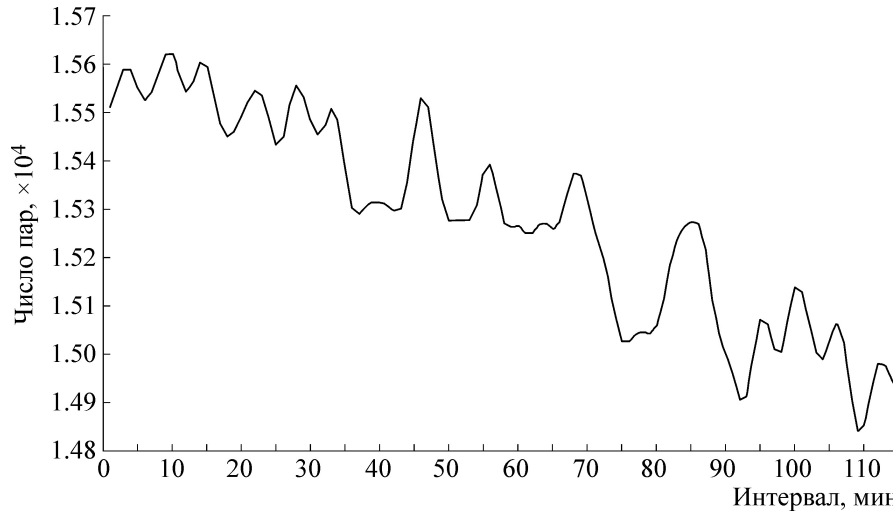


Рис. 1. Сумма 329 двухсуточных распределений интервалов для диапазона периодов 1–115 мин.

На основе полученного 1440-точечного ряда значений фрактальной размерности вычислялось распределение интервалов $I(\Delta)$:

$$I(\Delta) = \sum_{j=1}^{1440} \sum_{i=1}^{j-1} \eta(i,j) \varepsilon(|i-j|\Delta t - \Delta), \quad (1)$$

где $\Delta t = 1$ мин – интервал времени между соседними точками ряда значений фрактальной размерности, Δ – величина интервала времени, разделяющего две точки во временном ряду: $\Delta = |t_i - t_j| = |i - j|\Delta t = 1,1439$. Значение ε определяется следующим условием:

$$\varepsilon(x) = \begin{cases} 1, & x = 0, \\ 0, & x \neq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Матрица $\eta(i, j)$ содержит в себе результаты сравнения вычисленных МВС-методом величин фрактальной размерности согласно нижеследующему условию:

$$\eta(i,j) = \begin{cases} 1, & |FD(i) - FD(j)| < 0,0009, \\ 0, & |FD(i) - FD(j)| \geq 0,0009. \end{cases} \quad (3)$$

Как следует из выражения (1), интервал Δ между моментами времени t_i и t_j входит в распределение интервалов с весом, равным единице, если соответствующие этим моментам времени значения фрактальной размерности $FD(i)$ и $FD(j)$ отличаются на величину, не превышающую значение 0,0009. В противном случае интервал входит в распределение с весом, равным нулю.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После вычисления фрактальной размерности с использованием рассмотренных выше процедур мы можем перейти к главному вопросу, который исследуется в настоящей работе: существует ли устойчивая частотная структура на распределениях интервалов, полученных на основе МВС-анализа флуктуаций скорости α -распада ^{239}Pu ?

Для выявления возможной частотной структуры нами использованы методы, рассмотренные ниже. Первый метод, который мы использовали, – простая сумма полученных распределений интервалов. Для этого мы поочередно суммировали 329 двухсуточных распределений интервалов. Результат суммирования представлен на рис. 1. Можно видеть, что пики на полученном суммарном распределении интервалов (рис. 1) «засыпаются», сливаются друг с другом. Причиной этого является большая изменчивость индивидуальных двухсуточных распределений. В силу этого представление суммарного распределения интервалов в виде суммы индивидуальных распределений представляется не самым удачным для решения поставленной в начале параграфа задачи.

Чтобы исследовать вопрос о неслучайности пиков на получаемых распределениях интервалов, построим распределение частот их встречаемости. Для этого преобразуем каждое из исходных двухсуточных распределений интервалов в 115-точечную вектор-строку, все элементы которой равны нулю за исключением соответствующих X -координат пиков на двухсуточных распределениях интервалов, которые примем равными единице. Вместе все 329 век-

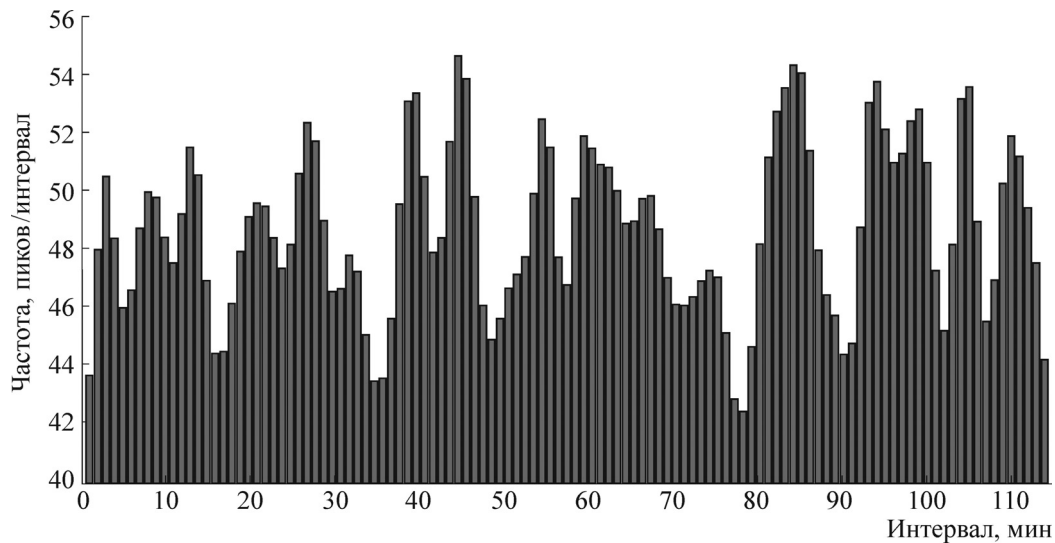


Рис. 2. Распределение частот встречаемости пиков для диапазона периодов 1–115 мин. Построено на основе 329 двухсуточных распределений интервалов, содержащих 5695 пиков.

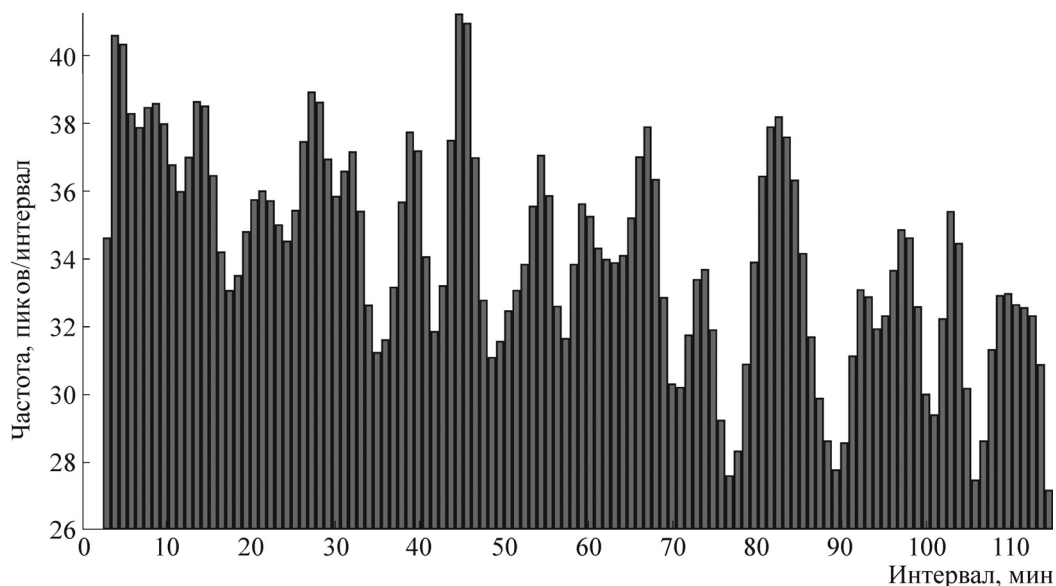


Рис. 3. Распределение частот встречаемости пиков для диапазона периодов 1–115 мин. Построено на основе 329 двухсуточных нормированных по амплитуде распределений интервалов, содержащих 5695 пиков.

тор-строки образуют прямоугольную матрицу размерности 329×115 . Сумма по столбцам полученной матрицы дает распределение частот встречаемости пиков, которое представлено на рис. 2.

Легко видеть (рис. 2), что существует ряд периодов, для которых вероятность появления пиков повышена. В распределении, представленном на рис. 2, использована информация только о положении пика. Так как пики на исходных распределениях интервалов обладают различной амплитудой, то учет их амплитуд

может сказаться на форме результирующего распределения интервалов.

Применим ту же методику построения частот встречаемости пиков, что и для рис. 2, с тем отличием, что исходные распределения интервалов нормируются на единицу, а координаты пиков входят в результирующее распределение с амплитудами, полученными в результате нормировки. На рис. 3 представлено полученное распределение нормированных частот встречаемости пиков.

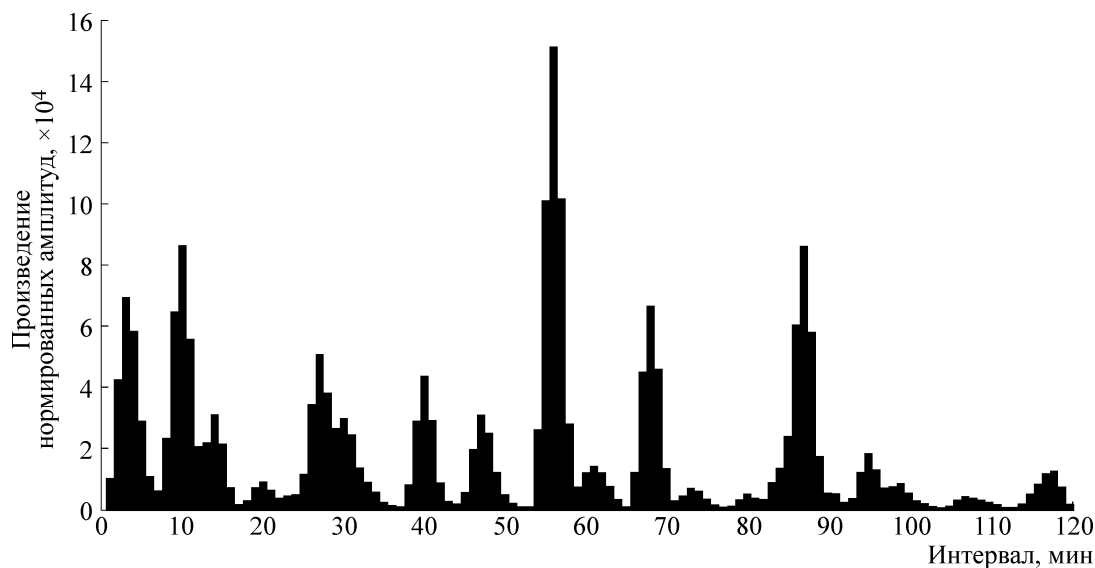


Рис. 4. Результаты перемножения 329 двухсуточных нормированных распределений интервалов для диапазона периодов 1–115 мин.

Сравнение рис. 2 и рис. 3 показывает, что переход к нормированным амплитудам пиков (рис. 3) сохраняет частотную структуру распределения, но приводит к небольшому увеличению амплитуды пиков в высокочастотной части распределения интервалов. Таким образом, ставя перед собой задачу исследования, в первую очередь частоты встречаемости пиков на распределениях интервалов между близкими значениями фрактальной размерности согласно выражению (3), можно рассматривать представленные методы построения распределений частот встречаемости пиков (рис. 2 и рис. 3), как приводящие к одним и тем же результатам.

Последний способ построения суммарного распределения интервалов, который мы рассмотрим в настоящей работе, – произведение нормированных распределений интервалов. Методика построения результирующего распределения интервалов, в данном случае, заключается в следующем. Исходные двухсуточные распределения интервалов нормируются на 2, после чего производится их покомпонентное перемножение (перемножаются между собой 329 компонент распределений интервалов, имеющие одинаковые номера).

Для построения результирующего распределения использовались те же 329 двухсуточных нормированных распределений интервалов, которые использовались для построения рис. 1–3. Результаты перемножения представлены на рис. 4. Как можно видеть из результата, представленного на рис. 4, использованный метод приводит к очень острому, хорошо выраженным

пикам большой амплитуды. При этом, как очевидно из рис. 4, набор частот, для которых наблюдаются пики, совпадает с таковым на рис. 1–3.

Как следует из рис. 1–4, суммарное распределение интервалов, полученное методом перемножения, наиболее чувствительно к частотной структуре, выявляемой МВС-методом во временных рядах флуктуаций скорости α -распада ^{239}Pu .

ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице в строках с номерами I–VI дана сводка периодов, содержащихся в приведенных на рис. 1–4 распределениях. Все найденные периоды пронумерованы, номера последовательных периодов приведены в первой строке таблицы. В следующих четырех строках I–IV приведены координаты пиков, найденные на представленных в предыдущем разделе распределениях интервалов (см. рис. 1–4). В строке V приведены границы интервалов, в которых находятся координаты пиков, приведенные в строках I–IV. И наконец, строка VI задает временной интервал, который можно соотнести с «шириной» пика или с шириной его «основания». Это необходимо для того, чтобы идентифицировать принадлежность к тому или иному столбцу (1–22) периодов из строк 1–35 в случае, если их значение выходит за границы интервала, указанного в строке V таблицы. При определении временных интервалов, приведенных

Сводная таблица периодов, найденных в настоящей работе (I–VI) и в работах других авторов [31–77].

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Примечания	
I	3	9	14	22	28	33		40		46	56	Рис.1	
II	3	8	13	21	27	32		40		45	55	Рис.2	
III	4	9	14	22	28	33		40		46	56	Рис.3	
IV	3	10	14	20	27	30		40		47	56	Рис.4	
V	3–4	8–10	13–14	20–22	27–28	30–33		40		45–47	55–56	Σ 1–4	
VI	2–5	7–10	12–15	18–23	25–28	29–34		38–42		44–48	52–58	Шир.	
№	Периоды, найденные в цитируемых работах											[Источник]	
1											51,5 52,8 53,8 55,2 56,3 58,2	[31,32]	
2	8S_5 ...	1S_7 ...	0T_6	0T_4	0T_3			0S_3		2S_1	0T_2	0S_2	[33]
3	${}^{15}S_2$ ${}^0S_{20}$ 5,79	${}^0S_{10}$ 9,76		0S_0 20,46	0S_4 25,76			0S_3 35,56		2S1		0S_2 53,83	[35]
4	${}^0T_{20}$ 5,99	${}^0T_{10}$ 10,31		0T_4 21,72	0T_3 28,37						0T_2 43,94		
5			15,5	20,5									[36]
6			15	19	25						46		[37]
7						31						58,7	[38]
8								35					[39]
9													[40]
10													[41]
11											57		[42]
12													[43]
13													[44]
14	2–3					15–43							[45]
15													[46]
16								38					[47]
17						29 ± 3		37,9					[48]
18				23–24	27	30		40 ± 4			42–46	58 ± 5	[48]
19			12; 15	18,22	25	29		32–37			46	53	
20			12; 15	20	24	31		42	43			55	[55]
21							35,8	39	43			56	
22	1–3;4–6	5–9	11–18		20–30					40–50		58	[56]
23	1–6		15–20					30–40					[57]
24			15					30–60					[59]
25	2–4		15–20										[60]
26			15	20	25								[61]
27												57–58	[62]
28						32,25						53,41	
29						30; 34,4	36,9	41,3;39,9				56,4	[63]
30		7–10	13–17	23	27								[64–67]
31	2.6	10											[68]
32				20–24	25; 26	31,7	36,8			44–46	54–57		[70]
33				19; 21						45	58		[71–73]
34			10–20										[74]
35	1,7–6,7	10,1	14,3	21,5									[75]
35													[76,77]

Таблица. Окончание

№	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Примечания
I			68				85	95	100	106	113	Рис.1
II	60		68		75		85	95	100	106	111	Рис.2
III	61		69		76		85	95	100	106	113	Рис.3
IV	61		68	73		80	87	95	99	107		Рис.4
V	60–61		68–69	73	75–76	80	85–87	95	99–100	106–107	111–113	Σ 1–4
VI	60–63		67–71	72–74	75–77	79–81	83–88	93–96	98–102	105–108	109–115	Шир.
№	Периоды, найденные в цитируемых работах											[Источник]
1	59,2 60,8	63,7	67,8	72	77	82	86,7	95,2	103	107		[31,32]
2												[33]
3												[35]
4												
5												[36]
6	60											[37]
7	60,4	63,4	69	73	77,5	81,6	87,2	92,4				[38]
8	60				75		86		100			[39]
9	62			73			83		98			[40]
10						80			100			[41]
11	60		66		75		83					[42]
12				72,6	74,9; 76,8							[43]
13	60				75		86		100			[44]
14												[45]
15	60											[46]
16			67,4									[47]
17			70 ± 7									
18	60		66–72	76		90				111		[48]
19	63					80,6		96		107		
20												[55]
21	58			70								[56]
22												[57]
23		60										[59]
24	30–60											[60]
25											2–4	[61]
26	62				75	82			98			[62]
27	60,09	64,92	68,48			80,68		95,97				[63]
28				72,4	75,4	82,3	85,3				111,7	
29												[64–67]
30												[68]
31	60–62										111–112	[70]
32	62				76							[71–73]
33	60											[74]
34										108		[75]
35												[76,77]

в строке V, учитывалась информация, содержащаяся в графиках, приведенных на рис. 1–4.

Нами был рассмотрен ряд работ, в которых отмечается существование периодов в флуктуациях процессов различной природы. Хотелось бы особо подчеркнуть, что в таблице приведены все периоды и в том порядке, как они даны в цитируемых работах для исследуемого нами диапазона 1–115 мин. По этой причине в таблице присутствуют столбцы с номерами 7, 9 и

13, в которые попали периоды, упоминаемые в рассмотренном массиве литературных источников, но отсутствующие на распределениях, приведенных на рис. 1–4.

Так как источниками временных рядов флуктуаций, измеренных и проанализированных в представленных в таблице работах [31–77], являлись самые разнообразные процессы от флуктуаций в стандартах времени и частоты

до флуктуаций параметров, характеризующих биологические процессы, то в нижеследующем рассмотрении мы попытались, по возможности, сгруппировать рассмотренные работы [31–77].

Геофизические периоды. В данном разделе рассмотрены периоды, исходным экспериментальным материалом для которых служили временные ряды, получаемые от различного рода сейсмических преобразователей. Эти периоды можно разделить на две группы. К первой из них относятся периоды, формально относящиеся к диапазону, связанному с собственными колебаниями Земли (СКЗ), верхняя граница которого соответствует мультиплету основного сфероидального колебания Земли (52–56 мин, столбец № 11) [31]. Существуют подробные обзоры, например [32], обобщающие как теоретический спектр СКЗ, так и имеющиеся его экспериментальные регистрации. Необходимо отметить, что в рассмотренном диапазоне периодов существуют порядка полутора тысяч предсказанных теоретически частот СКЗ, большая часть которых подтверждена экспериментально [32]. Вторая группа периодов, которую мы затрагиваем в настоящей работе, связана с так называемыми сейсмогравитационными (СГКЗ) или длиннопериодными колебаниями Земли. В таблице эта часть колебаний Земли связана со столбцами № 12–22. В дальнейшем для простоты мы иногда будем говорить «собственные колебания Земли» или «колебания Земли», подразумевая под этим моды колебаний, принадлежащих как СКЗ, так и СГКЗ.

В первой строке таблицы (столбцы 11–21) приведены средние значения периодов колебаний, «наблюденных после четырех землетрясений тремя разными приборами: наклономером и гравиметром в Талгаре после землетрясения на Аляске в 1964 г. с магнитудой $M = 8,25$, а также длиннопериодным сейсмографом в СПбГУ после землетрясения 17.06.1973 г. на Кунашире с $M = 7,8$ и землетрясения 26.06.1973 г. там же с $M = 7,0$ » [31]. Из таблицы видно очень хорошее совпадение периодов сейсмогравитационных колебаний [31,32] с периодами полученного нами спектра.

Во второй строке таблицы даны периоды, взятые из сводной таблицы периодов СКЗ, которая приведена в работе [33]. Основное собственное сфероидальное колебание Земли ${}_0S_2$ соответствует периодам в 11 столбце таблицы. Как известно, данное колебание состоит из мультиплета, диапазон периодов которого составляет 52,0–56,2 мин [31–34]. В десятом столбце представлены периоды, которые близки к основной моде кругильного колебания ${}_0T_2$, период которого равен 44,2 мин [32]. Упомянутые

периоды ${}_0S_2$ и ${}_0T_2$ всегда очень хорошо выражены на получаемых распределениях, в то время как периоды под номерами 1–9 обладают значительно большей изменчивостью.

Периоды, приведенные в восьмом столбце таблицы, близки к ${}_2S_1$ (41,3 мин). Для пятого столбца наиболее близким колебанием является ${}_0T_3$ (28,4 мин), для четвертого – ${}_0T_4$ (21,7 мин), для третьего – ${}_0T_6$ (15,5 мин) [33].

Необходимо отметить, что в высокочастотной части спектра число мод собственных колебаний Земли экспоненциально возрастает. Так, для пятого столбца мы можем дополнительно указать ${}_0S_4$ (25,8 мин), для четвертого – ${}_0S_5$ (19,8 мин). Для третьего столбца, вместе с указанным в таблице ${}_0T_6$ существует шесть периодов (в порядке возрастания) ${}_1T_2 \dots {}_1S_4$ (12,6 мин ... 14,2 мин). Для периодов, указанных во втором столбце, существует 20 мод собственных колебаний ${}_5S_2 \dots {}_1S_7$ (7,97 мин ... 10,1 мин), а для периодов, указанных в первом столбце – 164 типа колебаний ${}_{15}S_2 \dots {}_8S_5$ (3 мин ... 4 мин) [33]. Поэтому в случае увеличения разрешения можно ожидать соответствующее изменение спектра регистрируемых периодов в его высокочастотной области.

Рассмотрим еще работы, в которых отмечены периоды, найденные в геофизических данных. В работе [36] (строка № 5) приведены периоды 15,5 и 20,5 мин, которые выделялись в микросейсмических колебаниях без специального спектрального анализа. В работе [37] (строка № 6) обнаружен набор периодов в колебаниях вертикального градиента силы тяжести, который хорошо ложится в обнаруженный нами спектр.

В работе [38] приведена достаточно длинная последовательность периодов 58,7; 60,4; 63,4; 69; 73; 77,5; 81,6; 87,2 и 92,4 мин, которые получены с использованием сложного механического осциллятора специальной конструкции. Данная последовательность без пропусков один в один ложится на соответствующий участок спектра, представленного в строках I–VI таблицы. В строке № 8 приведены периоды 60, 75, 86 и 100 мин, которые наблюдались с использованием сейсмографа с фотоэлектрическим преобразователем [39].

В работе [40] (строка № 9) говорится о периодах 62, 73, 83 и 98 мин, а в работе [41] (строка № 10) отмечаются периоды 80 и 100 мин. Анализ работ по сверхнизкочастотным колебаниям Земли, выполненный в работе [42] (строка № 11), выявил периоды 31, 57, 60, 66, 75, 83, 128 и 160 мин. Последние два из приведенных в работе [42] периодов выходят за диапазон рассматриваемых в настоящей ра-

боте, поэтому в таблице не приведены. Периоды 72,6; 74,9 и 76,8 мин получены из анализа микросейсм [43] (строка № 12). Также наблюдались периоды 60, 75, 86 и 100 мин [44] (строка № 13).

Приведенный очень краткий обзор геофизических периодов не претендует на полноту и систематичность. Тем не менее приведенный в строках № 1–13 материал показывает убедительное совпадение найденных нами периодов (строки I–VI) с периодами собственных колебаний Земли. При этом хотелось бы отметить, что это совпадение особенно выражено в длинноволновой части спектра колебаний Земли. Возможно, это связано с тем, что точность определения периодов в настоящей работе составляет порядка ± 1 мин, что вполне достаточно для идентификации колебаний с периодами порядка или больше часа, но в высокочастотной части спектра колебаний Земли такая точность становится недостаточной.

Обнаруженное совпадение спектра периодов найденного в рядах флуктуаций скорости α -распада с собственными колебаниями Земли, на наш взгляд, чрезвычайно важно, так как позволяет идентифицировать фактор, обуславливающий появление полученного МВС-методом спектра периодов. Практически полное совпадение двух спектров дает основание предположить, что действующий фактор или непосредственно связан с собственными колебаниями Земли, или же генерируется в процессе этих колебаний.

Кварцевые генераторы. Стандарты времени и частоты. Следующая группа работ относится к рассмотрению флуктуаций в устройствах, служащих эталоном стабильности: кварцевые часы персонального компьютера [45], высокостабильные кварцевые генераторы, используемые в частотоизмерительной аппаратуре [46,47] и, наконец, водородный и рубидиевый стандарты Государственной службы времени и частоты СССР [48]. Рассмотрим их более детально.

В работе [45] (строка № 14) были исследованы флуктуации «компьютерного времени», обеспечиваемого кварцевыми генераторами. Для этого регистрировали время исполнения цикла с программно-фиксированной длиной (6,8 с) для DOS-системы. Эксперимент проводили с 3 по 15 февраля 2001 г. На фурье-спектрах обнаружены обладающие высокой спектральной плотностью регулярные флуктуации с периодами 0,5 и 1,0 мин (не включены в таблице). На их фоне часто наблюдаются импульсы – резкие увеличения длительности цикла с амплитудой, значительно превосходящей ин-

тервал обычных регулярных флуктуаций. Временной интервал между импульсами варьирует от 15 до 43 мин, тогда как внутри этого интервала период колебаний составляет 2–3 мин. Отмечено, что обнаруженные закономерности подобны представленным в работе [49].

В серии работ [46,47] исследовалась разность фаз в системе, состоящей из двух прецизионных кварцевых генераторов, расположенных таким образом, чтобы плоскости колебаний их кварцевых кристаллов были ортогональны. Очевидно, в силу этого обстоятельства, авторы назвали выходной сигнал системы T-сигналом. В спектре мощности T-сигнала, зарегистрированного 5–12 августа 1991 г., обнаружены пики в области 60 и 38 мин [46]. В работе [47], являющейся продолжением исследований, начатых в работе [46], были найдены периоды 37,9 и 67,4 мин. В то время как период 37,9 мин можно рассматривать как уточненное значение периода 38 мин, то период 67,4 мин, по нашему мнению, является новым и относится к другой группе периодов (14-й столбец в таблице), чем период 60 мин (12-й столбец в таблице).

Авторы работ [46,47] отмечают, что близкие к обнаруженным ими периоды присутствуют в спектре мощности рентгеновского излучения Солнца: 36,3 и 59,5 мин [50].

Временной ход флуктуаций в стандартах времени и частоты был изучен в работе [48]. В данном экспериментальном исследовании источниками флуктуаций служили водородные и рубидиевые стандарты Государственной службы времени и частоты СССР. Выходной сигнал формировался путем сличения частот водородного и рубидиевого стандартов. На основе полученных временных рядов строились их спектры мощности. Авторы особо выделяют значительную амплитуду относительной мощности отдельных периодов: 29 ± 3 , 40 ± 4 , 58 ± 5 , 70 ± 7 мин, которые приведены в 17-й строке таблицы. В рассматриваемой работе приведены пять спектров мощности выходного сигнала. Кроме упомянутых выше периодов (17-я строка таблицы), в спектрах можно выделить и другие пики (18-я строка таблицы), имеющие несколько меньшие амплитуды. Таким образом, можно дополнительно отметить периоды, приведенные в столбцах 4, 5, 10, 12, 15, 16, 18, 22 таблицы (строка № 18), которые хорошо согласуются с данными, содержащимися в I–VI строках таблицы. В работе [56] (строка № 21) также сообщается о периодах 160, 70, 58 мин в разности частот двух квантовых стандартов частоты – водородного и рубидиевого.

В работе особо подчеркивается, что аппаратные и геофизические помехи с такими временными характеристиками исключены, и предполагается, что причиной наблюдаемых периодов является непосредственное воздействие солнечных процессов на стандарты времени и частоты посредством гравитационных волн. Авторы пишут: «В итоге мы приходим к выводу, что гравитационные волны от Солнца, Земли и всей Вселенной могут заметно возмущать ход атомных стандартов частоты. Возможно, что именно гравитационные шумы и ограничивают стабильность атомных стандартов» ([48], с. 20).

Гравитационно-волновой механизм возмущения стандартов частоты в настоящее время представляется достаточно спорным. Но на то, что роль гравитационного поля в данном случае важна и должна учитываться в ходе наблюдений, указывают измерения, выполненные во время солнечных затмений. В них, с одной стороны, отмечается локальное изменение силы тяжести [51], а с другой – наблюдаются возмущения в ходе атомных стандартов частоты [52–54]. Совместное рассмотрение этих работ [51–54] наводит на мысль о проверочном эксперименте, в котором моделируется небольшое по амплитуде, периодическое изменение силы тяжести. Присутствие моделируемых периодов в рядах флуктуаций стандартов частоты могло бы стать решающим аргументом в пользу действующего механизма, который обуславливает наличие периодической компоненте в спектре измеряемых флуктуаций.

Суммируя результаты настоящего раздела, кратко представленные в строках № 14–18 и № 21, также можно отметить очень хорошее совпадение представленных в таблице периодов с найденными нами. Данное совпадение удивительно, в первую очередь, тем, что источники флуктуаций, о которых шла речь в этом разделе, являются, пожалуй, наиболее защищенными от внешних воздействий приборами. Особенно это касается национальных стандартов времени и частоты.

Шумы в электронных приборах. В работе [55] проведен подробный анализ фурье-спектров данных мониторинга токов микросхем, шумов ФЭУ, поля тепловых нейтронов близ земной поверхности, накопленных в 2003–2005 гг. на установке «ЭКЗАКТ». В регистрируемых величинах обнаружен набор квазиустойчивых периодов (строки № 19–20). Отмечается, что периоды меньше часа оказались в пределах ошибок, совпадающими с периодами собственных колебаний Земли – сфероидальными и торроидальными. Предполагается, что полученные данные могут быть истолкованы как модуляция

упомянутыми собственными колебаниями выхода радона из грунта. Этот процесс должен сопровождаться слабой электромагнитной эмиссией в диапазоне низких частот. Этот физический агент, вероятно, в состоянии воздействовать на параметры полупроводниковых структур и, следовательно, влияет на токи p - n -переходов, работу выхода электронов фотокатода ФЭУ.

В работе [57] (строка № 22) утверждается, что в результате исследования динамики физико-химических характеристик воды с помощью различных методов (ИК-спектроскопия, рамановская спектроскопия, СВЧ-радиометрия, рН-метрия, ЯМР) во всех экспериментах были обнаружены следующие хорошо воспроизводимые периоды вариаций измеряемых величин: 1–3 мин, 4–6 мин, 5–9 мин, 11–18 мин, 20–30 мин, 40–50 мин. Амплитуды перечисленных квазипериодических изменений порядка 10%. Но при удалении из измерительной кюветы воды, т.е. когда регистрировались только шумы приборов, наблюдались те же периоды [58]. По нашему мнению, последнее обстоятельство говорит о том, что наблюдаемые периоды связаны, в первую очередь, с электронными шумами используемых приборов, а не со свойствами воды.

Флуктуации в воде. В настоящем разделе представлены, на наш взгляд, наиболее удивительные примеры совпадения периодов, найденных в флуктуационных процессах, с периодами, обнаруженными в настоящей работе. Речь идет о периодах, характеризующих динамику различных биологических систем. Сюда мы включили также периоды, обнаруженные в воде и водных системах. С последних и начнем наше рассмотрение.

В работе [59] (строка № 23) методом светорассеяния в воде, водных растворах электролитов и белков обнаружены периодические колебания. Большинство регистрируемых периодов составляли 30–45, 15–20, 1–6 мин и десятки секунд, также регистрировались колебания с периодом 1 ч и более. Амплитуда в разных экспериментах меняется от 10 до 40% от среднего, обычно колебания с большим периодом имели и большую амплитуду – порядка 10–40%. В глицерине и ксилоле это явление отсутствовало. Магнитное поле могло менять в некоторых пределах периоды колебаний. Автор, исходя из теории молекулярного рассеяния света, предлагает связать регистрируемые колебания с динамикой структуры исследуемых сред.

В работе [60] того же автора (строка № 24) по той же методике наблюдались периоды колебаний светорассеяния в воде, водных раство-

рах гемоглобина и ДНК величиной 15 мин и медленные изменения от 30 до 60 мин. О периодах 2–4 мин и 15–20 мин сообщается в работе [61] (строка № 25). Отмечается, что обнаруженные колебания формируются поляризованной компонентой и устраняются анализатором. Остающиеся при этом флуктуации за счет деполаризованной компоненты имеют более высокую частоту с очень слабо выраженной периодичностью и низкую амплитуду.

Интересный набор периодов представлен в работе [62] (строка № 26): 15, 20, 25, 57–58, 62, 75, 82 и 98 мин. Эти периоды были зарегистрированы в период 13–17 августа 1974 г. в прибрежной полосе Якимварского залива Ладожского озера, где проводились длительные наблюдения за флуктуациями электрического поля для учета их при обнаружении движущихся кораблей. Измерения велись с 10 до 20 ч местного времени. Были обнаружены: группы колебаний с периодами около 20–25 мин, имеющие амплитуды порядка $(5-7) \cdot 10^{-4}$ В/м; группа с периодами около 60 мин – примерно $(10-15) \cdot 10^{-6}$ В/м; самые долгопериодные колебания с периодами 75–98 мин и более – примерно $30 \cdot 10^{-4}$ В/м.

Автор работы [62] отмечает: «На записях флуктуаций поля можно проследить, как долгопериодные колебания (особенно 62-минутные) отделяются друг от друга группами или сгустками короткопериодных колебаний (по четыре-пять всплесков в группе), которые длятся 10–12 мин, а потом исчезают. Отмеченные долгопериодные колебания не могут быть однозначно связаны с гидродинамическими источниками (волны, течения, вихревые пульсации), поскольку такие периоды нехарактерны для динамики водных масс данного объекта. По всей вероятности, их источник следует искать в более общих планетарных возмущениях». В качестве таких общих планетарных возмущений предлагается рассматривать собственные колебания Земли.

Флуктуации в биологических системах. К сожалению, существует очень мало исследований биологических систем, в которых бы проводилось тщательное изучение периодов с периодичностью единицы–десятки минут. Несколько таких работ представлены в настоящем разделе.

В работе [63] (строки № 27–28) представлены результаты спектрально-временного анализа 54 ритмограмм, зарегистрированных от 14 животных в период с марта по июль 1994 г. Ритмограмму получали подсчитывая количество движений животных за пятиминутный интервал. Это позволило детально охарактеризовать цир-

ка- и ультрадианную организацию ритма животных. Периоды, представленные в строке № 27, вычислены с большей точностью, чем периоды в строке № 28.

Авторы работы [63] отмечают, что в ультрадианном диапазоне ритмов двигательной активности животных всегда присутствует набор гео- и гелиофизически значимых периодов, которые имеют различную устойчивость. Согласование указанных периодов в организме животных обуславливает сложную «шумоподобную» структуру их ритмодвигательной активности. Наиболее вероятные ультрадианные периоды, как правило, являются гармониками суток, что следует рассматривать как проявление оптимальной стратегии организма при одновременном использовании нескольких «датчиков времени» разной природы, периоды которых существенно различаются.

В серии работ [64–67] (строка № 29) говорится о периодах 7–10, 13–17, 23 и 27 мин, которые найдены во временных рядах флуктуаций R–R-интервалов. Примерно в половине случаев наблюдается хорошая корреляция периодов в R–R-интервалах с такими же периодами в магнитном поле Земли. В остальных случаях наблюдается тот же спектр периодов в R–R-интервалах, но нет соответствующих синхронных изменений магнитного поля. Как следует из таблицы, приведенной для R–R-интервалов спектр периодов хорошо совпадает с частью спектра периодов, полученного в настоящей работе. Последнее обстоятельство, возможно, указывает на то, что вариации магнитного поля Земли не единственный фактор, определяющий наблюдаемые в работах [64–67] периоды.

В работе [68] обсуждаются некоторые физические свойства биологического объекта (*Blattella germanica*), обнаруженные по его динамической диэлектрической постоянной ϵ , измеряемой при помощи двухканального микроволнового рефрактометра. В одном плече рабочий резонатор был загружен биологическим «приемо-передатчиком», в другом – эталонным образцом – вакуумом. После интерференции опорного и информационного сигналов измеряемый параметр на выходе прибора регистрировался с погрешностью не более 0,1%. В ходе мониторинга измеряемого параметра был обнаружен спектр периодов 10,2; 2,57; 0,93; 0,67; 0,45 мин. Периоды 2,6 и 10,2 мин приведены в строке № 30 таблицы и хорошо совпадают с полученными нами периодами, приведенными в первом и втором столбцах таблицы.

Приведенный краткий обзор периодов, найденных во временных рядах флуктуаций раз-

личных биологических процессов, показывает их хорошее соответствие с периодами, найденными МВС-методом в рядах флуктуаций скорости α -распада. Возможно, что общим действующим фактором в этом случае является локальное изменение гравитационного потенциала, генерируемое сфероидальными модами СКЗ. В пользу этой точки зрения говорит работа [69], в которой показана зависимость ритмов функционирования коры надпочечников и щитовидной железы собак от характера изменений приливных изменений силы тяжести.

Периоды в скорости радиоактивного распада. Работы [70–76], данные которых приведены в строках № 31–35 таблицы, наиболее близки к теме настоящей статьи: в них рассматриваются периоды, найденные при изучении скорости радиоактивного распада различных изотопов. Суммарно, данные работы охватывают основные типы распада: α -распад [70,76,77], β -распад [74,75] и γ -распад [71–73]. Общей особенностью упомянутых работ является следующее: в них найдены «короткие» (десятки минут) периоды, которые выявлены с использованием преимущественно стандартных методов анализа временных рядов: спектральный анализ, основанный на быстром преобразовании Фурье.

Необходимо отметить, что наличие подобных периодов обычно воспринималось как экспериментальный артефакт [78–79]. Это связано, как уже упоминалось во введении, с устоявшимся мнением, что любые внешние воздействия на радиоактивный распад невозможны. Несмотря на то, что ситуация, в мировом научном мнении, изменилась с появлением серии работ [14–30], рассмотренные ниже работы [70–76] вызывают некоторое сомнение не столько возможностью нахождения периодов в «невозмущенном» радиоактивном распаде, сколько принятой в них методикой «извлечения» этих периодов из шумоподобных временных рядов. Рассмотрим работы [70–76] более детально.

В работе [70] проанализированы изменения во времени величины стандартного отклонения σ и размаха выборки R (разности между максимальным и минимальным значениями в выборке) для рядов флуктуаций α -распада препарата ^{239}Pu . Исходные временные ряды разбивались на последовательные непересекающиеся отрезки по 60 или 1440 точек. Для каждого такого отрезка определялись величины σ и R . Полученные временные ряды для σ и R исследовались: 1) стандартным методом автокоррелограммы, 2) методом «наложения эпох» с построением стробоскопического спектра по схе-

ме Бюй–Балла, 3) методом построения вейвлет-спектра с использованием вейвлета Морле.

Значения большинства из полученных периодов (строка № 31, таблицы: 22–24, 44–46, 54–57, 60–62, 111–112, 142–147, 173–177, 181–189, 744 мин) совпадают с периодами, присутствующими в собственных колебаниях Земли, лунными приливами, колебаниями скорости вращения Земли и собственными колебаниями Солнца. Можно также отметить хорошее совпадение найденных в работе [70] периодов с частью периодов из I–VI строк таблицы. Также, по нашему мнению, предварительная параметризация временного ряда с последующим анализом полученных параметризованных рядов выделяет данную работу из остальных работ, представленных в строках № 32–34, таблицы.

В серии работ [71–73], при изучении данных по мониторингу вариаций γ -активности 20-граммового образца руды из Забайкальского уранового месторождения, был выявлен ряд периодов, представленный в строке № 32 таблицы. В работе на основе полученного временного ряда флуктуаций скорости γ -распада при трехминутном усреднении строился его фурье-спектр. В результате сравнения полученного спектра с периодами собственных осцилляций Солнца авторами отмечается множественное совпадение периодичностей во временных вариациях активности радиоактивного источника с периодичностями собственных осцилляций Солнца с точностью до «третьего-четвертого знака» ([71], с.56).

Необходимо отметить, что в таблице (строка № 32) приведена только низкочастотная часть из 39 периодов, полученных в [71]. Несмотря на хорошее совпадение с периодами из I–VI строк таблицы, данные работ [71–73], на наш взгляд, требуют повторного независимого воспроизведения. Вызывает сомнение алгоритм соотношения периодов из спектра Фурье (имеет шумоподобный со множеством пиков вид) со спектром собственных колебаний Солнца. Также, несмотря на трехминутное усреднение, большая часть из приведенных в работе [71] 39 периодов отличаются между собой на десятки доли минуты.

В работе [74] проводились непрерывные измерения активности эталона трития методами жидкостного сцинтиляционного счета. С сентября 1985 г. по июнь 1986 г. (период крайне низкой солнечной активности) было выполнено 11 серий одномоментных измерений продолжительностью от 1 до 6 суток. При обработке данные группировались по 10 последовательных результатов измерений. Для каждой из

таких групп вычислялось среднее X и среднеквадратичное отклонение S .

В общем случае вариации значений в рядах исходных результатов и рядах средних из десяти величин не выходили за рамки, предусмотренные статистикой радиоактивного распада. Особое внимание в работе [74] было уделено поведению временных рядов значений S , так как предполагалось, что эта величина более чувствительна к влиянию различных воздействий. Авторы отмечают, что анализ временных рядов значений S позволил обнаружить колебания в диапазоне 10–20 мин. Сглаженные по 3 или 11 точкам ряды S в некоторых случаях позволяют предположить также и наличие вариаций с периодами около 60 мин или 3 ч. Амплитуда этих вариаций достаточно велика при невозмущенном геомагнитном поле (K -индекс порядка 2–3), но становится заметно меньше в периоды с K -индексом 4 и более.

В работе [75] (строка № 34) приведены предварительные результаты длительного экспериментального исследования изменений в скорости β -распада ^{60}Co с февраля по август 2010 г. с использованием сцинтилляционных детекторов на основе кристаллов LaBr_3 и методики на совпадение. На приведенном в работе фурье-спектре полученного временного ряда присутствуют следующие периоды: 108, 360, 720, 1008 и 1282 мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог настоящей работе, мы можем утверждать, что в результате проведенного нами исследования удалось обнаружить устойчивую частотную структуру во временных рядах флуктуаций скорости α -распада. Спектры найденных периодов приведены на рис. 1–4 и суммированы в I–VI строках таблицы. Дополнительным подтверждением реальности обнаруженного нами спектра периодов является тот факт, что найденные периоды приводятся также и в работах других авторов (строки № 1–35), где изучались флуктуации в протекании процессов различной природы.

Достаточно трудно предположить набор метеофакторов, искусственных воздействий, которые могли бы приводить к полученному в работе спектру периодов. Этим данная работа отличается от работ [14–30], в которых исследуется, в первую очередь, годовой период, с которым неразрывно связано комплексное энергетическое воздействие Солнца, изменяющееся с этим же периодом. Подобное воздействие на регистрирующую аппаратуру хорошо известно

и трудно устранимо. Поэтому никогда нельзя окончательно отделаться от возражения о том, что зарегистрированные эффекты – приборного происхождения. В случае коротких периодов и достаточно сложного спектра, который они образуют, приборные эффекты выглядят намного менее вероятными.

Также влияние внешних факторов, как правило, приводит к изменению средних значений измеряемой величины. Но такого рода изменения, как показано в работе [2], не влияют на результаты МВС-анализа временных рядов. Т.е. если бы и были воздействия на измерительную систему, приводящие к небольшому изменению средних величин с обнаруженными нами периодами, то такое изменение осталось бы незаметным для использованного в настоящей работе МВС-метода.

Особо хотелось бы отметить хорошее, в пределах достигнутой в работе точности, соответствие найденного набора частот с частотами собственных колебаний Земли, особенно в низкочастотной части представленного в таблице спектра. Обнаруженное нами соответствие позволяет планировать дальнейшие исследования, посвященные поиску фактора, ответственного за воздействие на флуктуации скорости α -распада. В отличие от упоминавшихся во введении работ [14–30] найденный нами уникальный набор относительно коротких периодов позволяет более эффективно учитывать влияние изменений параметров внешней среды (температура, давление, влажность, электрические и магнитные поля и пр.), которые в случае больших периодов (сутки и более) никогда нельзя полностью исключить из рассмотрения.

Полученные нами результаты можно было бы наиболее просто объяснить, если предположить существование некоторой универсальной причины, одинаково и одновременно изменяющей скорость протекания любых процессов. Такой универсальной причиной могло бы быть локальное изменение скорости хода времени. Причем, согласно полученным результатам, скорость хода времени должна модулироваться собственными колебаниями Земли.

Интересно, что именно такая картина выстраивается на основании большой серии теоретических работ [80–92], в которых утверждается, что мощные нестационарные процессы могут являться источником гиперболических полей, проявлением которых как раз и будет локальное изменение скорости хода времени.

Гипотетическим источником гиперболических полей, в нашем случае, могут выступать собственные колебания Земли. Необходимо от-

метить, что эти колебания являются, пожалуй, наиболее мощным периодическим процессом, достижимым в земных условиях.

Поисковые эксперименты [93–98], выполненные в последние годы, с целью обнаружения изменения скорости хода времени в окрестности мощных нестационарных процессов показали результаты, которые могут быть истолкованы в пользу существования гиперболических полей.

Говоря о возможных механизмах появления полученного спектра периодов в флуктуациях скорости α -распада, хотелось бы, в заключение, обратить внимание на работы [76,77], приведенные в 35-й строке таблицы, которые исходят из идеи глобальной синхронизации периодических процессов.

В этих работах ставилась задача анализа спектров ряда природных явлений, протекающих в Солнечной системе и на Земле. Было показано, что изменения во времени большинства природных процессов представляют собой конечную сумму гармонических колебаний с определенными амплитудами, фазами и периодами, причем последние подчиняются простому соотношению:

$$T_n = \frac{T_1}{n^2}, \quad (4)$$

где T_1 – основной период колебаний синхронизирующего процесса, $n = 1, 2, 3, \dots$. Соотношение (4) позволяет, привязавшись к характерному периоду некоторого процесса T_1 , получить связанный с ним спектр T_n . На основе анализа спектров ряда природных процессов (колебания температуры поверхности Земли и геомагнитного поля, изменения ширины колец деревьев, урожайности сельскохозяйственных культур и т.д.) было показано, что вращение Солнечной системы вокруг Местного центра звезд оказывает синхронизирующее воздействие на ряд процессов, протекающих на Земле и в Солнечной системе.

Идеи и причины глобальной синхронизации периодов в различных процессах, близкие к работам [76–77], рассмотрены также в серии работ [99–103].

Рассмотренные выше идеи объяснения универсальности обнаруженного в настоящей работе спектра периодов, на настоящий момент, имеют, в определенной степени, гипотетический характер и нуждаются в дальнейшем теоретическом и экспериментальном обосновании. В то же время известен ряд хорошо исследованных механизмов, по которым собственные колебания Земли модулируют практически все процессы в геосферах: электрическое и магнит-

ное поля, микрофлуктуации атмосферного давления, выход радона и т.д. Каждый из этих процессов может быть причиной появления периодов в процессах, представленных в строках 1–35 таблицы и сопадающих с определенной частью спектра собственных колебаний Земли.

Необходимо отметить, что любое внешнее воздействие на Землю в целом преобразуется в спектр собственных колебаний Земли, которые модулируют изменение большого множества параметров во всех геосферах, которые, в свою очередь, приводят к появлению связанного с собственными колебаниями Земли спектра периодов во временных рядах флуктуаций параметров систем различной природы, рассмотренных выше в таблице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. А. Панчелюга и М. С. Панчелюга, Биофизика **58** (2), 377 (2013).
2. В. А. Панчелюга и М. С. Панчелюга, Гиперкомплексные числа в геометрии и физике **11** (21), 107 (2014).
3. М. М. Dubovikov, N. V. Starchenko, and M. S. Dubovikov, Physica A **339**, 591 (2004).
4. М. М. Дубовиков и Н. В. Старченко, Успехи физ. наук **181** (7), 779 (2011).
5. М. М. Дубовиков, А. В. Крянев и Н. В. Старченко, Вестн. РУДН, Сер. «Прикладная и компьютерная математика» **3** (1), 30 (2004).
6. Н. В. Старченко, Дисс. канд. физ.-мат. наук (Московский инженерно-физический институт (государственный университет, М., 2005).
7. С. Э. Шноль и В. А. Панчелюга, Мир измерений **6**, 49 (2007).
8. С. Э. Шноль, В. А. Коломбет, Э. В. Пожарский и др., Успехи физ. наук **168** (10), 1129 (1998).
9. С. Э. Шноль, Т. А. Зенченко, К. И. Зенченко и др., Успехи физ. наук **170** (2), 214 (2000).
10. В. А. Панчелюга и С. Э. Шноль, Гиперкомплексные числа в геометрии и физике **3** (6), 188 (2006).
11. В. А. Панчелюга, В. А. Коломбет, М. С. Панчелюга и С. Э. Шноль, Гиперкомплексные числа в геометрии и физике **3** (5), 116 (2006).
12. E. Rutherford, *Radioactive Substances and Their Radiations* (Cambridge University Press, New York, 1913).
13. S. E. Rutherford, J. Chadwick, and C. Ellis, *Radiations from Radioactive Substances* (Cambridge University Press, 1930).
14. J. H. Jenkins, E. Fischbach, J. B. Buncher, et al., arXiv:0808.3283v1 [astro-ph] 25 Aug 2008.
15. J. H. Jenkins, E. Fischbach, J. B. Buncher, et al., *Astroparticle Phys.* **32**, 42 (2009).
16. E. Fischbach, J. B. Buncher, J. T. Gruenwald, et al., *Space Sci. Rev.* **145**, 285 (2009).
17. J. H. Jenkins and E. Fischbach, *Astroparticle Phys.* **31**, 407 (2009).
18. E. Fischbach, K. J. Chen, R. E. Gold, et al., *Astrophys. Space Sci.* **337**, 39 (2012).

19. P. A. Sturrock, G. Steinitz, E. Fischbach, et al., *Astroparticle Phys.* **36**, 18 (2012).
20. D. E. Krause, B. A. Rogers, E. Fischbach, et al., *Astroparticle Phys.* **36**, 51 (2012).
21. J. H. Jenkins, K. R. Herminhuysen, Th. E. Blue, et al., *Astroparticle Phys.* **37**, 81 (2012).
22. P. A. Sturrock, L. Bertello, E. Fischbach, et al., *Astroparticle Phys.* **42**, 62 (2013).
23. P. A. Sturrock, A. G. Parkhomov, E. Fischbach, and J. H. Jenkins, *Astroparticle Phys.* **35** (11), 755 (2012).
24. P. A. Sturrock, E. Fischbach, D. Javorsek II, et al., *Astroparticle Phys.* 2014 (in press).
25. P. S. Cooper, *Astroparticle Phys.* **31** (4), 267 (2009).
26. E. N. Alexeyev, V. V. Alekseenko, Ju. M. Gavriljuk, et al., *Astroparticle Phys.* **46**, 23 (2013).
27. K. Bikit, J. Nikolov, I. Bikit, et al., *Astroparticle Phys.* **47**, 38 (2013).
28. K. Kossert and O. J. Nahle, *Astroparticle Phys.* **55**, 33 (2014).
29. Yu. A. Baurov, Yu. G. Sobolev, Yu. V. Ryabov, and V. F. Kushniruk, *Physics of Atomic Nuclei* **70** (11), 1825 (2007).
30. D. P. Veprev and V. I. Muromtsev, *Astroparticle Phys.* **36**, 26 (2012).
31. Е. М. Линьков, *Сейсмические явления* (Изд-во ЛГУ, Л., 1987).
32. Л. Н. Петрова, *Вулканология и сейсмология* **4-5**, 116 (1999).
33. T. G. Masters and R. Widmer, in *Free oscillations: frequencies and attenuations*, Ed. by T.J. Ahrens (American Geophysical Union, 1995), pp. 104–125.
34. R. Buland, J. Berger, and F. Gilbert, *Nature* **277** (5695), 358 (1979).
35. Д. Браун и А. Массет, *Недоступная Земля* (Мир, М., 1984).
36. Л. Н. Рыкунов, О. Б. Хаврошкин и В. В. Цыплаков, *Докл. АН СССР* **238** (2), 303 (1978).
37. Ю. В. Антонов, И. Ю. Антонова, А. К. Рыбин и Г. Г. Щелочков, *Изв. вузов, Геология и разведка* **6**, 51 (2010).
38. К. Аки и П. Ричардс, *Количественная сейсмология. Теория и методы* (Мир, М., 1983), т. 1.
39. *Собственные колебания Земли* (Мир, М., 1964).
40. Е. М. Линьков, Л. Н. Петрова, Н. Г. Савина и Т. Б. Яновская, *Докл. АН СССР* **262** (2), 321 (1982).
41. Л. Н. Петрова, *Биофизика* **37** (3), 508 (1992).
42. Л. М. Антонова и Н. Г. Савина, в кн. *Применение длинноволновых лазерных интерферометров в геофизике* (Владивосток, 1987).
43. О. Б. Хаврошкин, *Некоторые проблемы нелинейной сейсмологии* (ОИФЗ РАН, М., 1999).
44. Е. М. Линьков и С. Я. Типисев, в кн. *Динамические процессы в дискретных геофизических системах* (Владивосток, 1986).
45. С. Н. Шаповалов, Э. С. Горшков, В. В. Борисова и др., *Биофизика* **46** (5), 819 (2001).
46. Н. В. Клочек, Л. Э. Паламарчук, Л. А. Плюснина и М. В. Никонова, *Биофизика* **37** (4), 656 (1992).
47. Н. В. Клочек, Л. Э. Паламарчук и М. В. Никонова, *Биофизика* **40** (4), 889 (1995).
48. Г. И. Долгих, У. Х. Копвиллем, О. Б. Хаврошкин и В. В. Цыплаков, *Деп. ВИНТИ, № 3070-79* (М., 1979).
49. Э. С. Горшков, С. Н. Шаповалов, В. В. Соколовский и О. А. Трошичев, *Биофизика* **45** (5), 947 (2000).
50. Н. В. Клочек и М. В. Никонова, *Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца* (Наука, М., 1988).
51. Qian-Shen Wang, Xin-she Yang, Chuan-zhen Wu, et al., *Phys. Rev. D* **62**, 041101 (2000).
52. S. W. Zhou and B. J. Huang, *Il Nuovo Cimento* **15C** (2), 133 (1992).
53. В. С. Казачок, О. Б. Хаврошкин и В. В. Цыплаков, *Поведение атомного и механического осцилляторов во время солнечного затмения* (ВНИИМС, 1976).
54. О. Б. Хаврошкин и В. В. Цыплаков, *Инженерная физика* **3**, 25 (2014).
55. А. В. Брунс и Б. М. Владимирский, *Изв. Крымской астрофизической обсерватории* **102**, 164 (2006).
56. Б. М. Владимирский, *Биофизика* **37** (3), 500 (1992).
57. А. В. Дроздов, Квазипериодический характер межмолекулярных взаимодействий в воде. <http://www.biophys.ru/archive/spb2013/proc-p19.pdf>
58. А. В. Дроздов: личное сообщение.
59. Ф. Р. Черников, *Биофизика* **31** (4), 596 (1986).
60. Ф. Р. Черников, *Биофизика* **35** (5), 711 (1990).
61. Ф. Р. Черников, *Биофизика* **35** (5), 717 (1990).
62. В. В. Александров, *Экологическая роль электромагнетизма* (Изд-во Политехн. ун-та, СПб., 2006).
63. В. С. Мартынюк, *Биофизика* **48** (5), 789 (1998).
64. Т. А. Зенченко, А. А. Медведева, Н. И. Хорсева и Т. К. Бреус, *Геофизические процессы и биосфера* **12** (4), 73 (2013).
65. Т. А. Зенченко, П. М. Нагорский, Т. К. Бреус и С. В. Смирнов, в сб. *Тезисы IV Международной конференции «Человек и электромагнитные поля»* (Саров, 2013), с.39.
66. Т. А. Зенченко, П. М. Нагорский, Т. К. Бреус и С. В. Смирнов, в сб. *Тезисы X Международной конференции «Космос и биосфера»*, (Крым, Коктебель, 2013), сс. 187–189.
67. Т. А. Зенченко, в сб. *Тезисы Международной конференции «Влияние космической погоды на здоровье человека в космосе и на Земле»* (Москва, 2012), сс. 120–121.
68. У. Х. Копвиллем, Р. З. Шарипов, А. М. Запольский и Н. А. Айздайчер, *Биофизика* **37** (4), 643 (1992).
69. Г. И. Бортникова, *Биофизика* **37** (3), 533 (1992).
70. М. В. Федоров, Е. В. Дещеревская, С. Н. Шаповалов и др., *Биофизика* **46** (5), 795 (2001).
71. О. Б. Хаврошкин и В. В. Цыплаков, *Инженерная физика* **8**, 53 (2013).
72. O. Khavroshkin and V. Tsyplakov, *Natural Sci.* **3** (8), 733 (2011).

73. О. В. Khavroshkin and V. V. Tsyplakov, *Natural Sci.* **5** (9), 1001 (2013).
74. Е. Н. Авдонина и В. Б. Лукьянов, *Биофизика* **40** (4), 876 (1995).
75. Ю. А. Бауров, Н. А. Демчук, А. Ю. Бауров и др., *Прикл. физика* **5**, 12 (2011).
76. А. В. Шабельников и К. Г. Кирьянов, *Биофизика* **43** (5), 874 (1998).
77. А. В. Шабельников, *Биофизика* **37** (3), 572 (1992).
78. Б. М. Владимирский, *Биофизика* **37** (3), 500 (1992).
79. Б. М. Владимирский, *Вестн. Калужского ун-та* **1**, 25 (2007).
80. Д. Г. Павлов, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **1** (1), 5 (2004).
81. Д. Г. Павлов, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **1** (1), 20 (2004).
82. Д. Г. Павлов, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **1** (1), 33 (2004).
83. Г. И. Гарасько, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **1** (1), 75 (2004).
84. С. В. Лебедев, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **1** (1), 68 (2004).
85. С. В. Сипаров, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **2** (4), 51 (2005).
86. Р. Г. Зарипов, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **3** (5), 27 (2006).
87. Г. И. Гарасько, *Начала финслеровой геометрии для физиков* (Тетру, М., 2009).
88. Д. Г. Павлов и С. С. Кокарев, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **5** (10), 3 (2008).
89. Д. Г. Павлов, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **6** (13), 3 (2010).
90. Д. Г. Павлов и С. С. Кокарев, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **6** (13), 78 (2010).
91. Д. Г. Павлов и С. С. Кокарев, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **16** (2011).
92. Д. Г. Павлов и С. С. Кокарев, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **7** (14), 11 (2010).
93. С. С. Кокарев, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **9** (17), 175 (2012).
94. D. G. Pavlov, S. S. Kokarev, M. S. Panchelyuga, and V. A. Panchelyuga, *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series III: Mathematics, Informatics, Physics* **5** (54), 53 (2012).
95. Д. Г. Павлов, С. С. Кокарев, М. С. Панчелюга и В. А. Панчелюга, *Пространство и время* **10** (4), 50 (2012).
96. Д. Г. Павлов, М. С. Панчелюга и В. А. Панчелюга, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **9** (17), 162 (2012).
97. Д. Г. Павлов, М. С. Панчелюга и В. А. Панчелюга, *Метафизика* **1**, 151 (2014).
98. Д. Г. Павлов, М. С. Панчелюга, С. Ф. Чалкин и В. А. Панчелюга, *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике* **11** (21), 96 (2014).
99. H. Muller, *Prog. Phys.* **2**, 72 (2009).
100. H. Muller, *Prog. Phys.* **1**, 62 (2010).
101. H. Muller, *Prog. Phys.* **3**, 61 (2010).
102. A. Ries and M. V. L. Fook, *Prog. Phys.* **1**, 103 (2011).
103. V. A. Panchelyuga and M. S. Panchelyuga, *Prog. Phys.* **4**, 48 (2012).

Local Fractal Analysis of Noise-like Time Series by All Permutations Method for 1–115 Min Periods

V.A. Panchelyuga and M.S. Panchelyuga

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, ul. Institutskaya 3, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia

Results of local fractal analysis of 329-per-day time series of ^{239}Pu alpha-decay rate fluctuations by means of all permutations method (APM) are presented. The APM-analysis reveals in the time series some steady frequency set. The coincidence of the frequency set with the Earth natural oscillations was demonstrated. A short review of works by different authors who analyzed the time series of fluctuations in processes of different nature is given. We have shown that the periods observed in those works correspond to the periods revealed in our study. It points to a common mechanism of the phenomenon observed.

Key words: fractal dimension, time series, noise, local analysis of time series, method of minimal cover