

УДК 577

## ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ

© 2018 В.Т. Волов

Самарский государственный университет путей сообщения

Статья поступила в редакцию 04.07.2018

На основе разработанных (Бурдаков, 1997; Volov, 2013) фрактально-кластерных критериев развития сложных самоорганизующихся систем и статистических данных по биологическим организмам получены три фундаментальные закономерности развития биологических организмов: 1) вероятностная; 2) эволюционная; 3) энергетическая. Показано, что полученная энергетическая закономерность для биологических организмов представляет собой термодинамическое решение проблемы «хищник-жертва».

*Ключевые слова:* фрактально-кластерные соотношения, фрактально-кластерная энтропия, свободная фрактально-кластерная энергия биологического организма,  $D$ -критерий.

Начиная с развития фрактальной геометрии (Cantor, 1883; Koch, 1904; Hausdorff, 1914; Sierpinsky, 1915; Feigenbaum, 1977; Mandelbrot, 1977), представляющей собой новую ступень познания окружающего мира, понятие «фрактал» проникло практически во все области научных и практических знаний: биологию, химию, математику, астрофизику, экономику, социологию, образование, информатику и т.д.

Обширный обзор исследований по фракталам представлен в монографии (Peitgen et al., 1992), где приведены программные продукты построения фракталов и их иллюстрации. Все новые и новые подтверждения свойств фрактальности находят исследователи в различных сферах деятельности (Barsley, 1988; Fleishmann et al., 1989). Всесторонние исследования фрактальных свойств и их количественных характеристик для биологических и экологических систем представлены в (Розенберг, 2011; Гелашвили и др., 2013).

Среди всего спектра исследований по данной проблематике особняком стоит исследование Бурдакова В.П. (1997).

В результате многолетних статистических исследований (Бурдаков, 1997) было показано, что в любых самоорганизующихся системах: социальных, биологических системах, прошедших эволюционный путь развития, системах машина-человек всегда имеется пять базовых потребностей, названных кластерами (Бурдаков, 1997). Несомненно, что потребностей у любого организма существенно больше, но их можно упаковать в эти базовые (кластеры) потребности. Это энергетический ( $C_1$ ), транспортный

( $C_2$ ), экологический ( $C_3$ ), технологический ( $C_4$ ), и информационный ( $C_5$ ) кластеры, имеющие в условиях нормального функционирования определенные (идеальные) значения, выраженные в процентах или долях целого для экстенсивного параметра системы (масса, время, объем, и т.п.). Для энергетического кластера это значение приблизительно составляет 38%, транспортного – 27%, экологического – 16%, технологического – 13%, информационного – 6%. (рис. 1). Данные соотношения, названные фрактально-кластерными соотношениями (ФКС) представляют собой термодинамический отпечаток хорошо функционирующего организма любой природы. Под «организмом» подразумевается исключительно самоорганизующиеся системы, в которых можно выделить пять базовых вышеприведенных кластеров (потребностей). Любая сложная система, в которой в рамках данного подхода нельзя выделить пять соответствующих кластеров, не является «организмом».

Каждый из пяти кластеров имеет пять самоподобных подкластеров, например: в энергетическом – энергетическая поддержка самой энергетической системы, энергетическая поддержка транспорта, экологии, технологии, информатики и т.д. И остальные подкластеры соответствующим образом подразделяются на пять подкластеров следующего уровня, т.е. имеет место иерархическая самоподобная структура распределения ресурсов, представляющая собой фрактал (рис. 2).

Для анализа функционирования биологических, технических и антропогенных систем, как правило, достаточно второго или третьего уровня ФКС. Общая сумма ресурса во всей системе за исследуемый промежуток времени остается постоянной величиной. Такая кластеризация (Бурдаков, 1997) позволила производить оценку функционирования сложной системы. Однако,

*Волов Вячеслав Теодорович, д.т.н., д.ф.-м.н., д.э.н., д.с.н., д.п.н., профессор, заведующий объединенной кафедрой «Естественные науки».*  
E-mail: vtvolov@mail.ru

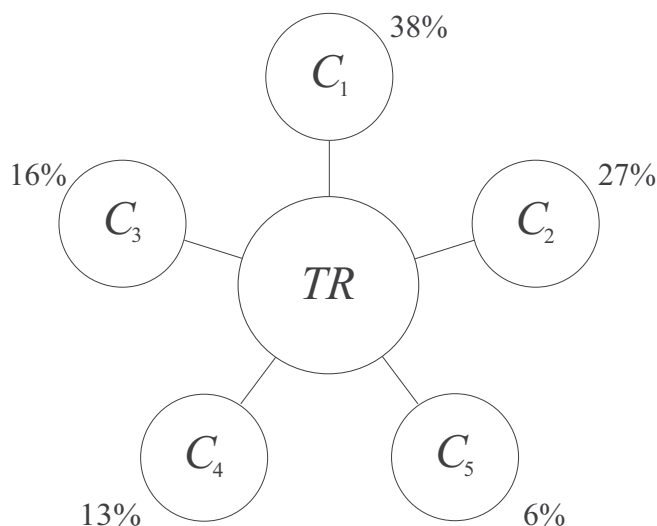


Рис. 1. Фрактально-кластерное структурирование ресурсов организмов по базовым потребностям, TR – общий ресурс организма

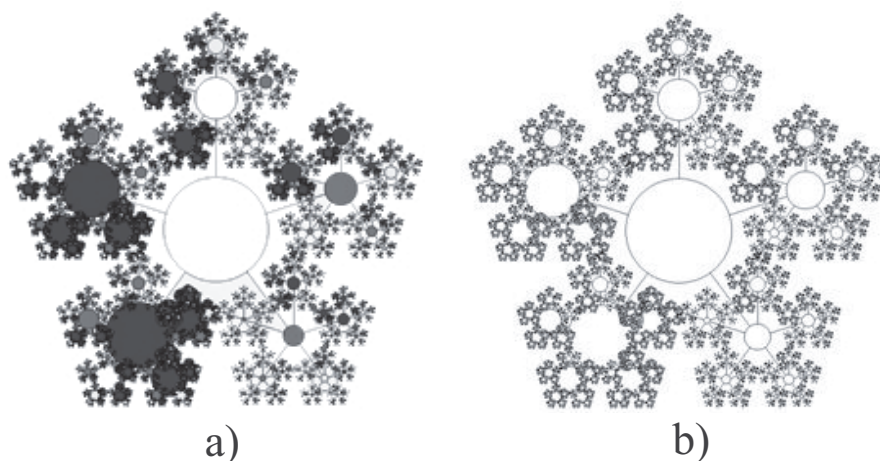


Рис. 2. Иллюстрация фрактально-кластерного структурирования ресурсов «организма» на уровне  $n=6$ ; а) неидеальное распределение ресурсов; б) идеальное распределение ресурсов

теории или математических моделей на основе ФКС создано не было. Базируясь на инструментарию неравновесной термодинамики в ее информационной интерпретации (Гленсдорф, Пригожин, 1973) и ФКС была разработана фрактально-кластерная теория и ее критериальный аппарат (Volov, 2013), а также проведен анализ механизмов ресурсораспределения в закрытых фрактально-кластерных системах (Volov, Zubarev, 2016). Поэтому целью данной работы было обобщение статистических данных по развитию биологических организмов на основе разработанных фрактально-кластерных критериев (Volov, 2013).

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В исследовании используется критериальный аппарат фрактально-кластерной (ФК) теории, разработанный в (Volov, 2013), и статистические данные по 39 видам биологических

организмов, которые были кластеризованы в соответствии с фрактально-кластерными соотношениями (Бурдаков, 1997) (табл. 1).

При анализе были использованы следующие критерии:

1) фрактально-кластерная энтропия  $H$  (Volov, 2013), определяющая долю ресурсов организма, идущую на удовлетворение всех его энергетических потребностей, имеет следующий вид:

$$H(n) = \bar{C}_1 + \sum_{i=2}^5 \left( \sum_{j_1=1}^5 \dots \sum_{j_{n-2}=1}^5 \bar{C}_{j_1 \dots j_{n-2} 1} \right), \quad (1)$$

где  $n$  – номер уровня ( $n > 2$ ),  $\bar{C}_1 = C_1 / \sum_{i=1}^5 C_i$  и

$$\bar{C}_{j_1 \dots j_{n-2} 1} = C_{j_1 \dots j_{n-2} 1} / \sum_{i=1}^5 C_i.$$

2) высокочувствительный фрактально-кластерный критерий ресурсораспределения  $D$  определяется согласно (Volov, 2013) формулой:

Таблица 1. Матрица идеальных фрактальных-кластерных соотношений

$\frac{C_i}{C_\Sigma}$						
0,38	$\bar{C}_1$	$\bar{C}_{11}$	$\bar{C}_{12}$	$\bar{C}_{13}$	$\bar{C}_{14}$	$\bar{C}_{15}$
		0,144	0,1026	0,0608	0,0494	0,0228
0,27	$\bar{C}_2$	$\bar{C}_{21}$	$\bar{C}_{22}$	$\bar{C}_{23}$	$\bar{C}_{24}$	$\bar{C}_{25}$
		0,1026	0,0729	0,042	0,0351	0,0162
0,16	$\bar{C}_3$	$\bar{C}_{31}$	$\bar{C}_{32}$	$\bar{C}_{33}$	$\bar{C}_{34}$	$\bar{C}_{35}$
		0,0608	0,0256	0,0208	0,0169	0,0078
0,13	$\bar{C}_4$	$\bar{C}_{41}$	$\bar{C}_{42}$	$\bar{C}_{43}$	$\bar{C}_{44}$	$\bar{C}_{45}$
		0,0228	0,0351	0,0208	0,0169	0,0078
0,06	$\bar{C}_5$	$\bar{C}_{51}$	$\bar{C}_{52}$	$\bar{C}_{53}$	$\bar{C}_{54}$	$\bar{C}_{55}$
		0,0228	0,0162	0,0096	0,0078	0,0036
1	$C_\Sigma$	0,38	0,27	0,16	0,13	0,06

$$D = \frac{\log_5 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 \dots \sum_{m=1}^5 \bar{a}_{ijk\dots m}^*}{\log_5 N}, \quad (2)$$

где  $\bar{a}_{ijk\dots m}^* = 1 - \sqrt{\left(\frac{\bar{C}_{ijk\dots m}^{ideal}}{\bar{C}_{ijk\dots m}} - 1\right)^2}$ ,  $\bar{C}_{ijk\dots m}$  – значе-

ния кластеров и подкластеров  $n$ -го уровня для идеальной и фактической матрицы отнесенных к суммарному ресурсу системы;  $N$  – общее число кластеров и подкластеров структурирования.  $D$ -критерий (2) при внешнем сходстве с формулой определения Хаусдорфовой размерности (Peitgen et al., 1992) имеет качественные отличия от последней. Хаусдорфова размерность геометрического пространства может принимать целые и дробные значения, а размерность фрактально-кластерного пространства ( $D$ -критерий), кроме того, может принимать отрицательные значения. При этом значения кластеров, входящих в определение  $D$ -критерия (2) подчиняются закону сохранения ресурса организма на определенном интервале времени. На рис. 3 представлено распределение ресурсных состояний ФК-системы в фазовой плоскости ( $D$ -критерий –  $C_1$ ). Из рис. 3 видно, что, начиная с определенных отрицательных значений  $D$ -критерия  $D \leq -1,5$ , возникают необратимые нарушения ресурсораспределения ФК-системы.

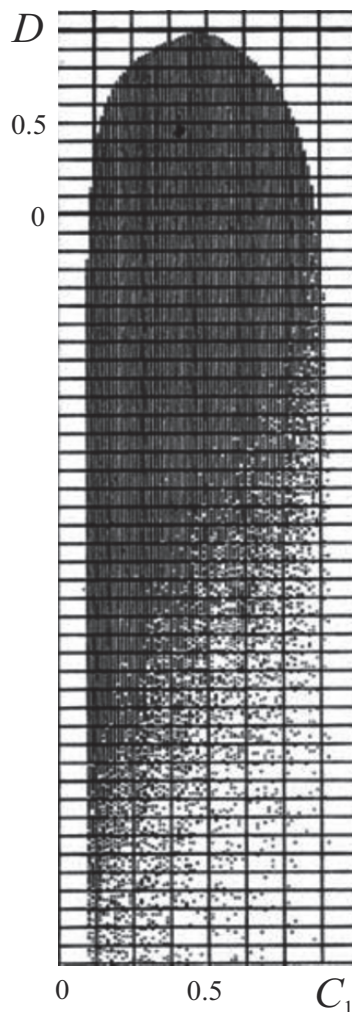
Для определения фрактально-кластерной вероятности  $P(D)$  как функции  $D$ -критерия был проведен численный эксперимент по возможным комбинациям кластеров в области их допустимых значений (Volov, 2013):

$$\begin{aligned} \bar{C}_1^{\min} &= 0,078, & \bar{C}_1^{\max} &\cong 0,8, \\ \bar{C}_2^{\min} &= 0,063, & \bar{C}_2^{\max} &\cong 0,73, \\ \bar{C}_3^{\min} &= 0,035, & \bar{C}_3^{\max} &\cong 0,7, \\ \bar{C}_4^{\min} &= 0,03, & \bar{C}_4^{\max} &\cong 0,65, \\ \bar{C}_5^{\min} &= 0,02, & \bar{C}_5^{\max} &\cong 0,55, \end{aligned}$$

удовлетворяющих аналогу закона сохранения:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l \dots \sum_{z=1}^q \bar{C}_{ijk\dots z} = 1. \quad (3)$$

В результате было получено фрактально-кластерное (ФК) распределение возможных ресурсных комбинаций (рис. 4). ФК-вероятность  $P(D)$  определяется как отношение ресурсных комбинаций значений кластеров, удовлетворяющих аналогу закона сохранения ресурса (3) к общему числу комбинаций. Локальное натяжение известных распределений на ФК-распределение не привело к позитивному результату, что свидетельствует о новом вероятностном распределении. Аппроксимация данного распределения имеет следующий вид:



**Рис. 3.** Фазовая плоскость  $D$ -критерия ресурсных состояний и энергетического кластера «организма»

$$P(D) = \frac{a + b \cdot D + c \cdot D^2}{h + t \cdot D + g \cdot D^2} \cdot (1 - D)^d, \quad (4)$$

$$c_1 \left( \exp\left(\frac{1 - D}{c_2}\right) - 1 \right)$$

где  $a = -9,391$ ;  $b = 8,308$ ;  $c = 0,705$ ;  $f = -5,776$ ;  $g = 3,474$ ;  $h = 2,617$ ;  $H_0 = 0,618$ ;  $d = 4H_0$ ;

$$c_1 = -0,592; \quad c_2 = \frac{H_0^{1/2}}{2 \cdot \left(1 - \frac{H_0}{50}\right)}.$$

Предельное значение распределения при  $n = 100$  представлено на рис. 4f.

Для оценки максимальной энергии «организма» использовался термодинамический потенциал  $F$ , определяемый следующим образом:

$$F = U - TS, \quad (5)$$

где  $U$  – внутренняя энергия системы,  $T$  – температура,  $S$  – термодинамическая энтропия. Дан-

ный потенциал называется свободной энергией и характеризует максимальную возможную работу, которую может совершить «организм». Аналогом потенциала  $F$  во фрактально-кластерных моделях (Volov, 2013) является свободная фрактально-кластерная энергия «организма», определяемая следующим выражением:

$$F = \bar{C}_1 - H. \quad (6)$$

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе статистических данных по биологическим организмам (табл. 2), их кластеризации и использования фрактально-кластерных критериев получены следующие результаты, представленные в табл. 3.

В результате проведенного анализа на основе фрактально-кластерного подхода были выявлены три фундаментальных закономерности для биологических организмов:

1) вероятностная ФК-закономерность определяет вероятность возникновения биологических организмов в зависимости от совершенства распределения ресурсов в организме, определяемого  $D$ -критерием. Как видно из рис. 5, имеется биекция – наиболее древние биологические организмы (менее совершенные), например, хламидомонады, гидры и др., имели наибольшую вероятность возникновения  $P(D) \sim 0,01$ ;

2) эволюционная ФК-закономерность (рис. 6) иллюстрирует увеличивающуюся сложность и совершенство возникающих организмов во времени, начиная с древнейших организмов и до человека;

3) энергетическая закономерность (рис. 7) характеризует энергетическое совершенство биологических организмов (зависимость фрактально-кластерной энтропии  $H$  или критерия  $F$  о нормализованного значения энергопотребления на 1 кг веса организма в сутки).

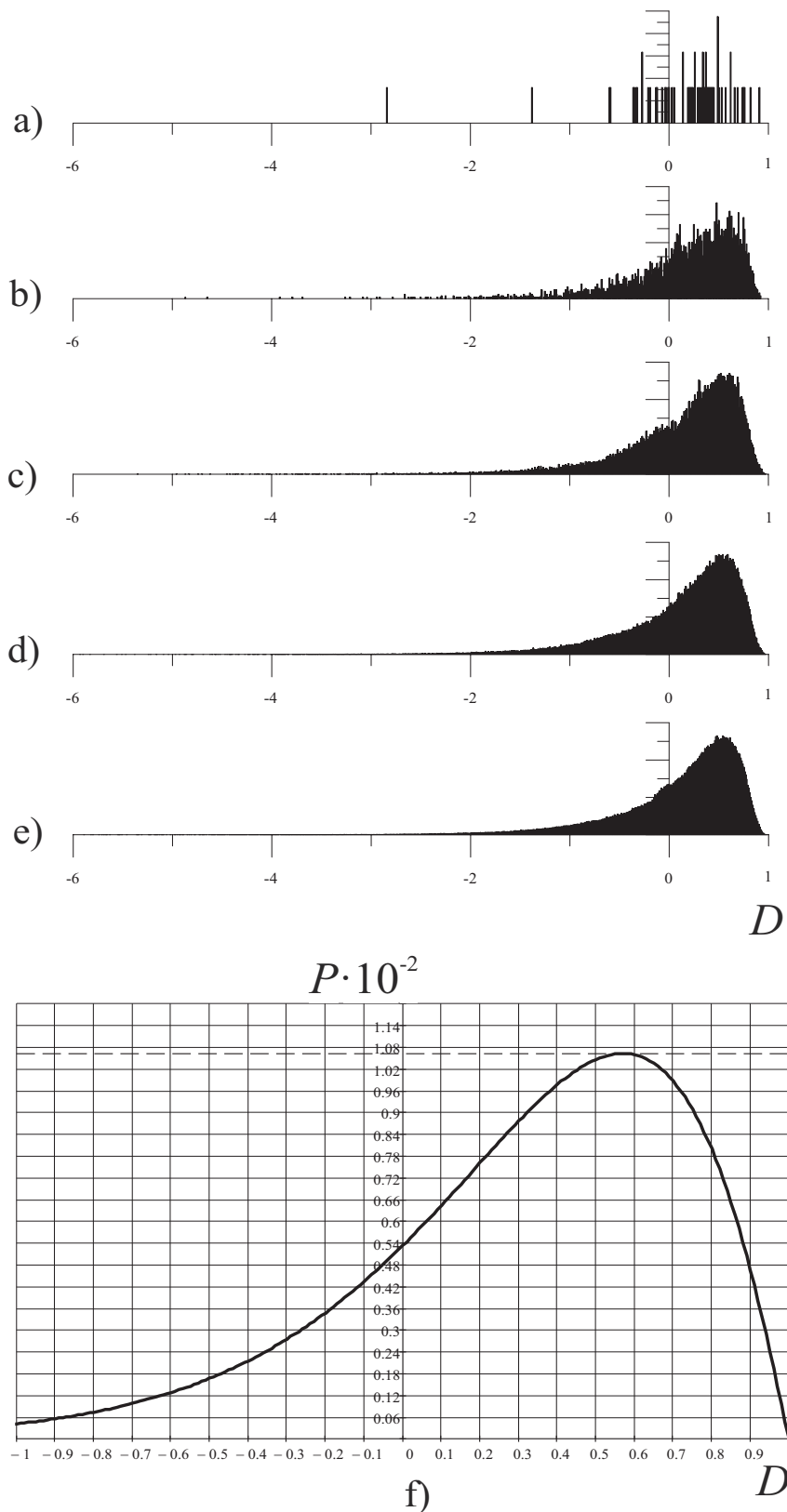
## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вероятностная закономерность развития биологических организмов получается за счет распределения возможных состояний фрактально-кластерной системы в зависимости от  $D$ -критерия и соотношения данного распределения с обработанными значениями  $D$ -критерия для биологических организмов (табл. 2).

Из рис. 5 видно, что фрактально-кластерная вероятность появления человека на Земле имеет вполне ощутимое значение  $P(D) \approx 5 \times 10^{-4}$ .

Вторая ФК-закономерность показывает рост совершенства распределения ресурсов в организмах ( $D$ -критерий) во времени (рис. 6).

На рис. 7 представлена третья выявленная



**Рис. 4.** Распределение фрактально-кластерной вероятности как функции  $D$ -критерия. Здесь графики (a), (b), (c), (d), (e) и (f) соответствуют значениям разбиения допустимых интервалов кластеров на 10, 20, 30, 40, 50 и 100 равных частей

ФК-закономерность, определяющая связь свободной фрактально-кластерной энергии биологических организмов и уровнем энергопотребления на 1 кг веса. Данная закономерность

представляет собой в определенном смысле энергетический ответ на проблему «маятника» Лотки-Вольтерры («хищник-жертва»): судя по уровню свободной фрактально-кластерной



Таблица 2. Фрактально-кластерные соотношения масс биологических организмов (самцы)

Название организма	Масса, кг	ФКС, %				
		Э (C <sub>1</sub> )	Тр (C <sub>2</sub> )	Эк (C <sub>3</sub> )	Тех (C <sub>4</sub> )	И (C <sub>5</sub> )
Chlamydomonas	3·10 <sup>-11</sup>	40±10	10±8	30±6	10±5	10±5
Hydra vulgaris	10 <sup>-5</sup>	40±10	30±8	10±6	10±5	10±5
Micromys minutus	5·10 <sup>-3</sup>	40±6	27±5	16±4	10±3	7±2
Agrionemys horsfieldi	0,1	38±6	20±5	30±4	7±3	5±1
Larus argentatus	1,0	39±6	28±5	16±4	10±3	7±2
Lepus timidus	5,0	40±6	28±5	16±4	11±3	5±2
Castor fiber	30	40±6	26±5	17±5	12±3	5±2
Pan Oken	60	39±6	28±5	16±3	11±2	6±2
<b>Homo Sapiens</b>	<b>68</b>	<b>38±6</b>	<b>27±5</b>	<b>16±4</b>	<b>13±2</b>	<b>6±1</b>
Gorilla	250	39±6	28±5	16±3	11±2	6±1
Galeocerdo cuvier	500	40±6	30±5	16±4	8±3	6±2
Hippopotamus amphibious	3000	40±6	28±5	16±4	10±3	6±2
Loxodonta africana	5000	40±6	28±5	16±4	10±3	6±2
Balaena mysticetus	1,5·10 <sup>5</sup>	42±5	28±4	16±3	8±2	6±1
Balaenoptera musculus	2·10 <sup>5</sup>	42±5	28±4	16±3	8±2	6±1

энергии ( $F$ ) у биологических организмов (включая млекопитающих, рыб, насекомых и т.д., за исключением червей – крайние правые точки на рис. 7) – имеется в среднем энергетический баланс между «хищниками» и их «жертвами» – «хищник» не может догнать свою «жертву». Полученная энергетическая закономерность для биологических организмов (рис. 7) является термодинамическим подтверждением решения проблемы – «хищник-жертва»: «хищники» не могут уничтожить всех потенциальных «жертв» (рис. 8), т.е. гибнут только особи, имеющие уровень свободной энергии ниже среднего по популяции.

Важно отметить, что математическое выражение для второй и третьей закономерности имеет один и тот же вид:

$$Z(x) = a - \frac{x^\alpha}{\beta}, \quad (7)$$

где  $a, \beta, \alpha$  – константы.

Выражение (7) для эволюционной ФК-закономерности имеет вид:

$$D = 1 - \frac{\tau^{0,275}}{H_0 \cdot 10^3}, \quad (8)$$

где  $H_0=0,618$  – энтропия «золотого сечения».

Энергетическая фрактально-кластерная закономерность запишется следующим образом:

$$|F| = \gamma - \frac{E^{3H_0}}{H_0 \cdot 10^8}, \quad (9)$$

где  $\gamma=0,24$ . В выражении (9) свободная фрактально-кластерная энергия берется по абсолютной величине, так как свободная энергия в физике определяется термодинамическим потенциалом Гельмгольца, имеющим отрицательное значение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный критериальный анализ 39 видов биологических организмов позволил выявить три фундаментальные закономерности: 1) вероятностную; 2) эволюционную; 3) энергетическую. Вероятностная закономерность связывает термодинамическое совершенство организма ( $D$ -критерий) с фрактально-кластерной вероятностью и с временем возникновения биологического вида: менее совершенные организмы ( $D$ -критерий меньше) имели большую вероятность их возникновения. Эволюционная закономерность связывает термодинамическое совершенство организма с временем его возникновения. Энергетическая закономерность представляет собой термодинамический ответ на проблему «маятника» Лотки-Вольтерры –

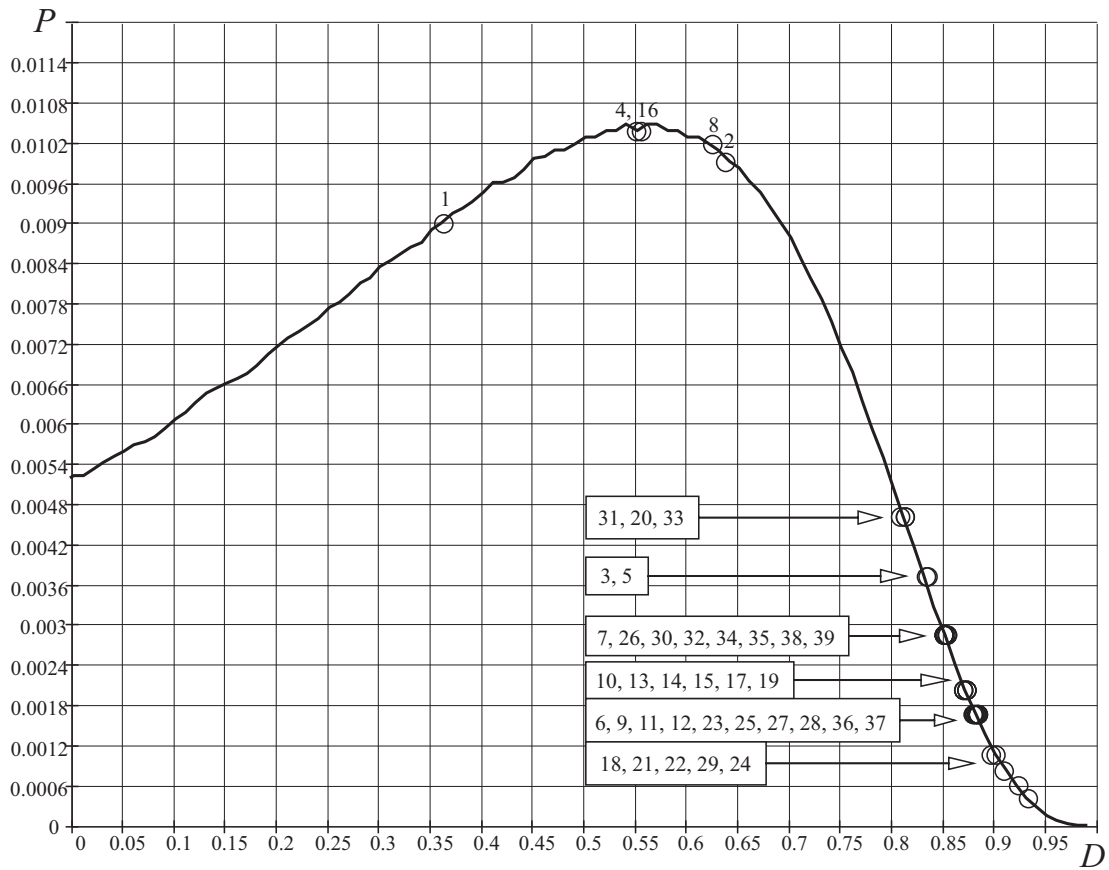


Рис 5. Вероятностная ФК-закономерность возникновения биологических организмов. Нумерация на рисунке соответствует порядковым номерам биологических организмов (Табл. 3)

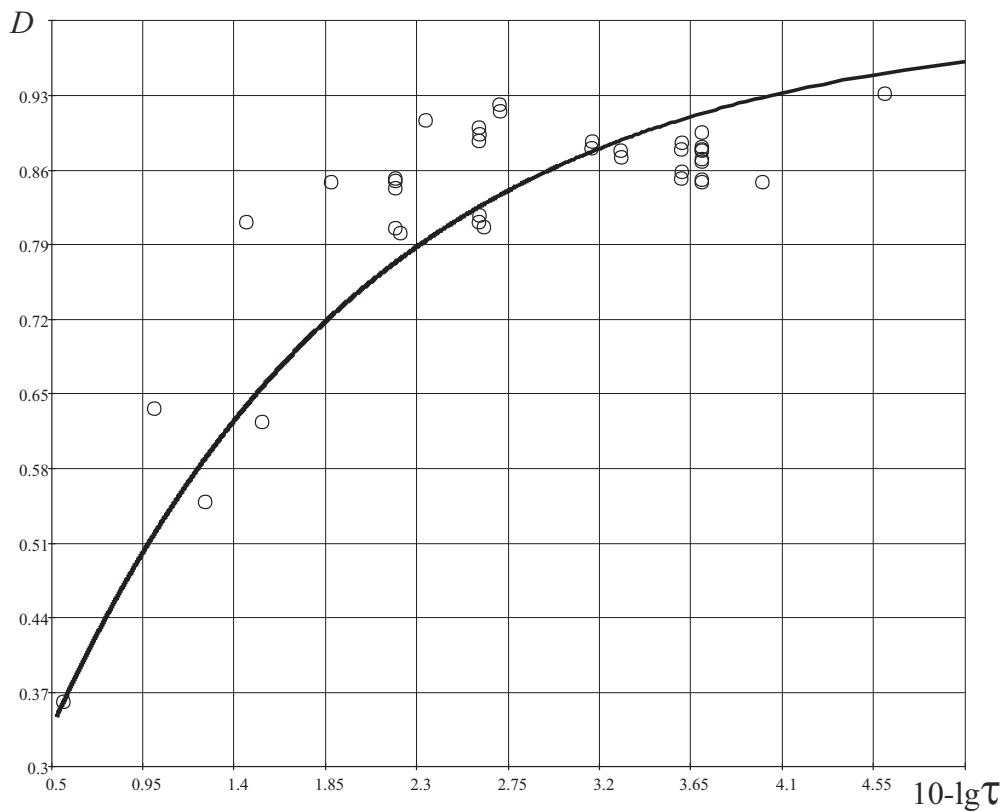


Рис. 6. Эволюционная ФК-закономерность для биологических организмов,  $\tau$  – время, направленное в прошлое,  $^{\circ}$  – значения  $D$ -критерия для организмов (Табл. 3)

Таблица 3

	Species of Biological organism	$D$	$H$	$C_i$	$F$
1	Chlamydomonas	0,361	0,622	0,387	-0,235
2	Hydra vulgaris	0,636	0,637	0,4	-0,237
3	Scorpiones mingrelicus	0,833	0,561	0,338	-0,223
4	Oligochaeta	0,549	0,342	0,19	-0,152
5	Anisoptera libellula depressa	0,832	0,832	0,4	-0,238
6	Micromys minutus	0,882	0,639	0,4	-0,239
7	Rana ridibunda	0,849	0,639	0,4	-0,239
8	Testudo horsfieldi	0,624	0,614	0,38	-0,234
9	Cuculus canorus	0,882	0,639	0,4	-0,239
10	Procellariida	0,872	0,662	0,42	-0,242
11	Larus argentatus	0,883	0,627	0,39	-0,237
12	Heroestes edwardsi	0,879	0,639	0,4	-0,239
13	Ciconia ciconia	0,868	0,664	0,421	-0,243
14	Lepus timidus	0,871	0,639	0,4	-0,239
15	Grus grus	0,868	0,664	0,421	-0,243
16	Paralithodes camtchatica	0,553	0,359	0,2	-0,159
17	Pelecanida onocrotalus	0,871	0,639	0,4	-0,239
18	Vulpes	0,895	0,639	0,4	-0,239
19	Castor fiber	0,868	0,664	0,421	-0,243
20	Acinonyx jubatus	0,811	0,639	0,4	-0,239
21	Canis lupus	0,9	0,639	0,4	-0,239
22	Pan troglodytes	0,907	0,627	0,39	-0,237
23	Orycturopus afer	0,881	0,633	0,395	-0,238
24	Homo sapiens	0,932	0,614	0,38	-0,234
25	Ursus arctos	0,879	0,639	0,4	-0,239
26	Cervina nippon	0,852	0,639	0,4	-0,239
27	Sus scrofa	0,878	0,639	0,4	-0,239
28	Pongo pygmaeus	0,883	0,627	0,39	-0,237
29	Gorilla gorilla	0,922	0,627	0,39	-0,237
30	Equida burchelli	0,849	0,636	0,4	-0,239
31	Tursiops	0,806	0,659	0,42	-0,242
32	Equus caballus	0,849	0,636	0,4	-0,239
33	Galeocerdo cuvieri	0,811	0,639	0,4	-0,239
34	Camelus bactrianus	0,851	0,639	0,4	-0,239
35	Giraffa cameleopardalis	0,852	0,639	0,4	-0,239
36	Hippopotamus amphibius	0,878	0,639	0,4	-0,239
37	Loxodonta africana	0,878	0,639	0,4	-0,239
38	Balaena mysticetus	0,849	0,663	0,42	-0,243
39	Balaenoptera musculus	0,849	0,663	0,42	-0,243



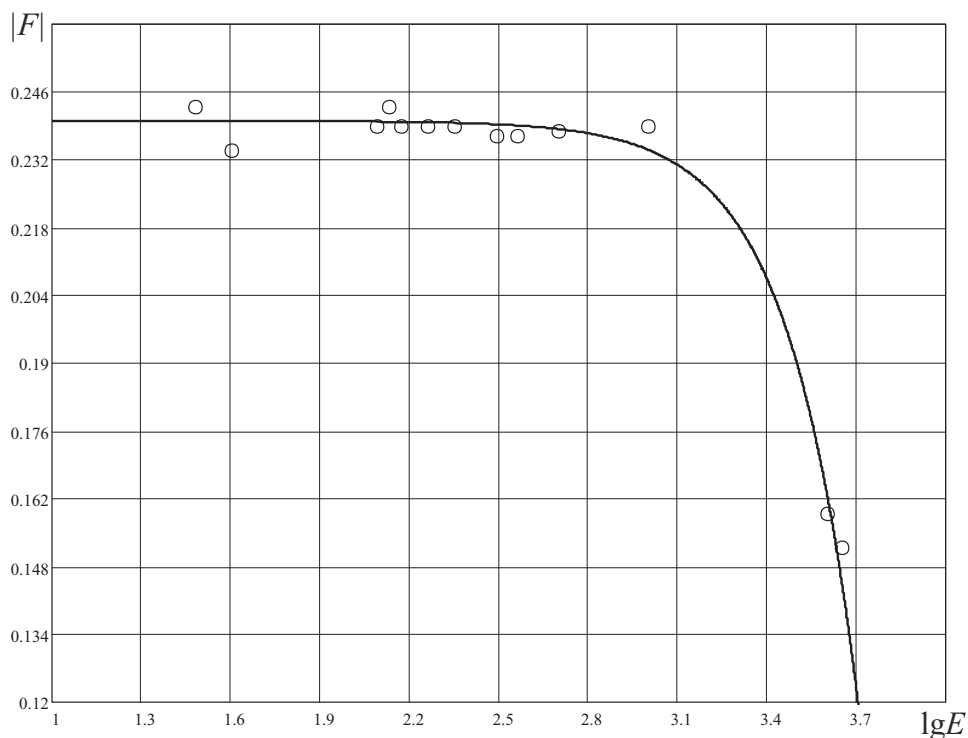


Рис. 7. Энергетическая ФК-закономерность для биологических организмов

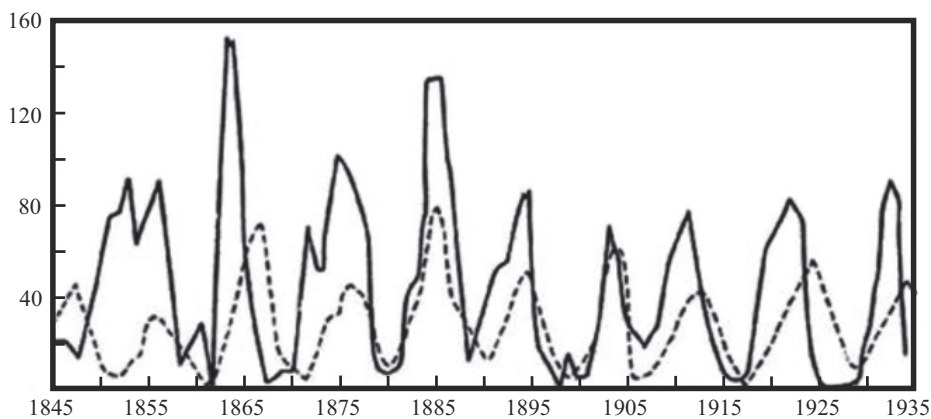


Рис. 8. Динамика популяции рысей и зайцев (сплошная линия – популяция зайцев, штрихованная линия – популяция рысей)

«хищник-жертва». Популяция «хищников», так же, как и популяция «жертв», не может полностью исчезнуть, поскольку в среднем их свободная фрактально-кластерная энергия имеет одно и то же значение, т.е. «хищник» не может догнать «жертву» - гибнут «жертвы», имеющие свободную фрактально-кластерную ниже среднего уровня по популяции. Обобщая выше сказанное можно констатировать, что «маятник» Лотки-Вольтерры является динамическим энергетическим условием невозможности уничтожения «хищниками» своих потенциальных «жертв», а полученная оценка на основе критерия свободной фрактально-кластерной энергии популяции «хищников» и их «жертв» - статическим энергетическим условием.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдаков В.П., 1997. Эффективность жизни. М.: Энергоиздат. 304 с.
2. Гленсдорф П., Пригожин И., 1973. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир. 280 с.
3. Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н., Солнцев Л.А., 2013. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университета. 370 с.
4. Розенберг Г.С., 2011. Экология и физика: параллели или сети // Биосфера. Т. 3. С. 286-303.
5. Barsley M., 1988. Fractals Everywhere. San-Diego: Academic Press.
6. Cantor G., 1883. Uber unendliche, lineare Punktmannigfaltigkeiten. V. Mathematische Annalen

21. pp. 545-591.
7. Feigenbaum M. J., 1977. Universality in complex discrete dynamical systems, Los Alamos Theoretical Division Annual Report, 1977, 98.
  8. Fleishmann M., Tildsley D., Ball R.C., 1989. Fractals in the Natural Sciences. Prenceton: Prenceton University Press.
  9. Hausdorff F., 1914. Grundzuge der Mengenlehre. Verlag von Veit&Comp.
  10. Hausdorff F., 1918. Dimension und auberer Mab. Math. Ann. 79. pp.157-179.
  11. Koch H., Sur une courbe continue sans tangente obtenue par une construction geometrique elementaire, Norstedt & Soner, 1904.
  12. Koch H., Une methode geometrique elementaire pour l'etude de certaines questions de la theorie des courbes planes, Acta mathematica, 30 (1) (1883) 145.
  13. Mandelbrot B.B., 1977. Fractals: Form, Chance, and Dimension. San Francisco: W.H. Freeman and Co.
  14. Mandelbrot B. B., 1983. The fractal geometry of nature, New York, WH Freeman and Co., 1983.
  15. Mandelbrot B. B., Blumen A., 1989. Fractal geometry: what is it, and what does it do? Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences.
  16. Mandelbrot B. B., Stewart I., 1998. Fractals and scaling in finance, Nature, 391(6669) 758.
  17. Peitgen H.-O., Jurgens H., Saupe D., 1992. Chaos and fractals New Frontiers of Science, New York, Springer-Verlag, 984 p.
  18. Sierpinsky W., 1915. Sur une courbe cantorienne dont tout point est un point de ramification. Paris: C.R. Acad. 302.
  19. Sierpinsky W., 1916. Sur une courbe cantorienne qui contient une image buinivoquet et continue detoute courbe donnee. Paris: C.R. Acad 162. pp. 629-632.
  20. Volov V.T., 2013. Fractal-cluster theory and thermodynamic principles of the control and analysis for the self-organizing systems. ArXiv: 1309.1415v1 [nlin.AO]. <https://Arxiv.org/pdf/1309.1415v1.pdf>.
  21. Volov V.T., Zubarev A.P., 2016. Resource redistribution mechanism in the closed fractal-cluster resource model. Fractals, Vol. 24, No. 04, P. 1650049.

## FRACTAL-CLUSTER APPROACH TO THE DESCRIPTION OF FUNDAMENTAL LAWS OF THE BIOLOGICAL ORGANISMS' DEVELOPMENT

© 2018 V.T. Volov

Samara State University of Transport

On the basis of the developed fractal-cluster criteria (Burdakov, 1997; Volov, 2013) and statistic data on the biological organisms three fractal-cluster laws of development of biological organisms have been revealed: 1) probabilistic; 2) evolutionary and 3) energy. It is shown that FC energy law of the biological organisms development represents the thermodynamic solution of the "predator-prey" problem.

*Keywords:* fractal-cluster correlation, fractal-cluster entropy, free fractal-cluster energy of a biological organism, *D*-criterion.

---

*Vyacheslav Volov, Doctor of Technics, Doctor of Physics and Mathematics, Doctor of Economics, Doctor of Sociology, Doctor of Pedagogics, Professor, Head at the Natural Science Department.*  
E-mail: vtvolov@mail.ru