

УДК 612.67:612.17:519.722

**ПРОВЕРКА ТЕОРЕМЫ ГЛЕНСДОРФА–ПРИГОЖИНА ПО РАСЧЕТУ ЭНТРОПИИ
БИОСИСТЕМ****В. М. Еськов, Д. В. Горбунов, М. И. Зимин, Г. А. Шадрин***Сургутский государственный университет*

Рассматривается эволюция биосистем на примере изменения параметров квазиаттракторов и значений энтропии Шеннона женщин трех возрастных групп коренного и пришлого населения Югры. Параметры x_i состояния сердечно-сосудистой системы трёх возрастных групп женщин изменялись в пределах ограничивающих объемов V_G фазового пространства состояний, которые определялись как квазиаттракторы. По параметрам квазиаттрактора женщин коренного населения Югры строилась модель Ферхлюста–Пирла, а для женщин пришлого населения изменение параметров квазиаттракторов демонстрировало параболическую зависимость с минимумом в среднем возрасте, что и представляет реальную эволюцию биосистем (переход от одного устойчивого состояния в другое).

Ключевые слова: энтропия Шеннона, системы третьего типа, модель..

**VERIFICATION OF GLANSDORFF-PRIGOGINE THEOREM ON THE CALCULATION OF THE
BIOSYSTEMS ENTROPY****V. M. Eskov, D. V. Gorbunov, M. I. Zimin, G. A. Shadrin***Surgut State University*

The article examines the evolution of biological systems using as the example the alteration of the parameters and values of the quasiattractors for Shannon entropy among women of three age groups of indigenous and alien population of Ugra. x_i parameters of the cardiovascular system of the three age groups of women ranged in limiting volume V_G of the phase space of states, which are defined as quasiattractor. According to the Native Women's quasiattractor parameters Ferhlyust–Pearl model was built, quasiattractor parameter alteration for alien population demonstrated a parabolic relationship with minimum average age, which represents a real evolution of biosystems (transition from one stable state to another).

Keywords: Shannon entropy, systems of the third type, model.

Введение

Термин эволюция в настоящее время существенно расширен и распространен в различных разделах науки и даже изменил свое исходное биологическое значение, расширив свое присутствие далеко за пределы биологии. От весьма специфического понятия эволюции видов Ч. Дарвина в середине 19-го века мы подошли в начале 21-го века к широкой трактовке этого понятия. На бытовом уровне сейчас мы говорим об эволюции морали и нравственности в обществе, об эволюции взглядов и мнений как отдельного человека, так и отдельных стратов общества, об эволюции психики отдельного человека в его социальном развитии или даже об эволюции организма отдельного человека при его возрастных изменениях. Все это примеры в определенном смысле медленных изменений параметров той или иной системы (организма, социума, биосферы Земли) с течением времени. При этом мы можем описывать эти параметры некоторым вектором состояния системы (ВСС) $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в определенном, m -мерном фазовом пространстве состояний (ФПС). Сейчас доказано, что для особых сложных систем – систем третьего типа (СТТ) мы имеем непрерывное изменение всех параметров $x_i(t)$ такого вектора состояния системы (ВСС) $x(t)$ [9-14; 18; 19]. Это создает трудности в разделении понятия эволюции ВСС от хаотического движения $x(t)$ в ФПС, когда непрерывно $dx/dt \neq 0$ [1-3; 5-16]. иными словами, поскольку непрерывно $x(t)$ изменяется в ФПС, то что считать за существенное изменение (эволюцию), а что считать условно неизменным состоянием? Подчеркнем, что это – не проблема относительности движения $x(t)$ а проблема стационарности и движения любой эволюционирующей биосистемы. При этом все изучаемые сложные системы (СТТ) обладают разной скоростью эволюции, т.е. скоростью v изменения координат x_i в виде $dx/dt = v(t)$.

Если, социумы (человечество в целом) могут эволюционировать десятилетиями или даже столетиями, то организм человека может выполнить эволюцию (как изменение своих параметров, которое

описывается вектором состоянием системы в виде $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ за месяцы или даже за сутки. Скорость эволюции $v(t)$ разных систем различна, но механизмы и количественные закономерности при этом могут быть похожими. Для разных биосистем мы будем иметь разные скорости эволюции, но в любом случае мы должны иметь формальный математический аппарат, который бы описывал все эти процессы. Сейчас для сложных, многокомпонентных систем, у которых размерность ФПС велика ($m \gg 1$), не существует интегративных методов расчета скорости эволюции в рамках теории, разработанной И.Р. Пригожиным и П. Гленсдорфом [3;16]. Термодинамический подход в оценке эволюции оказался неэффективным для СТТ, при этом на уровне молекулярных систем он выполняется – работает известная теорема И.Р. Пригожина (Нобелевская премия за термодинамику неравновесных систем) [16]. Где граница между живой и неживой природой, граница для самой термодинамики неравновесных систем – ТНС?

Теоретическое и экспериментальное обоснование эволюции и стационарности СТТ

В рамках постнеклассики, третьей парадигмы и ТХС у нас возникают новые представления о стационарных режимах сложных биологических и социальных систем (СТТ – complexity) и новые представления об эволюции сложных систем [1; 2; 4-9]. Что мы сейчас под этим понимаем и где проходит методический и мировоззренческий водораздел между детерминисткой и стохастической – ДСН и ТХС (постнеклассикой, третьей парадигмой)? Ответы на внешне тривиальные вопросы затрагивают фундаментальные, глубинные проблемы естествознания. В этой связи мы делаем сейчас аналогию с квантовой механикой начала 20-го века. Тогда для элементарных частиц возникла проблема точного измерения двух фундаментальных физических понятий: положение частицы в пространстве (координаты $x_1 = x_1(t)$) и ее скорости ($x_2 = dx_1/dt$). До этого в классической механике измерение x_1 и x_2 не вызывало проблем и это составляло основу всей физики. Принцип неопределенности Гейзенберга нарушил эти каноны, здание классической физики закачалось. Нечто подобное сейчас мы вводим и в ТХС, в теории гомеостатических систем [5-14; 19]

Хаос СТТ отличен от детерминированного хаоса (т.е. СТТ – не объект ДСН). Динамика поведения любой сложной, самоорганизующейся системы (СТТ-complexity) особенная уже из-за уникальности СТТ. Например, все (по классификации П.К. Анохина) функциональные системы организма (ФСО) человека, (как было показано исследователями в области ТХС [4-8]), не имеют стационарных состояний своих параметров, которые описываются их вектором состояния $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в фазовых пространствах состояний (ФПС) с размерностью m . Такая постоянная нестабильность (неустойчивость с позиций ДСН) кажется нереальной для физика, математика или специалиста технического профиля, т.к. в рамках детерминизма для многих физических, химических, технических систем, описываемых математическими уравнениями и равенствами, достигнуть условия $dx_1/dt = 0$ (т.е. $x_2 = 0$ и $x_1 = \text{const}$) довольно просто. Но в ТХС основу составляет глобальная нестабильность (базовое свойство всех СТТ), о которой 26 лет назад пытался сказать И.Р. Пригожин, но его выступление осталось незамеченным [16]. И.Пригожин подчеркивал, что уникальные системы – это не объект современной науки а Р. Пенроуз вообще говорил о таких объектах в смысле того, что у них можно изучать [15]?

Если брать выборки не от одного человека подряд 15 раз, (т.е. $n=15$, например), а от 15-ти разных испытуемых, находящихся (якобы) в одинаковом состоянии, то результаты расчета матриц парных сравнений и на основе их числа k совпадений выборок в этой матрице парных сравнений их (выборок) функций распределения (матрица 15×15) будут демонстрировать для одного и того же параметра гомеостаза приблизительно одинаковое число k ($k_1 \approx k_2 \approx k_3$ и т.д.). Отсюда легко сделать вывод: гомеостаз у разных людей приблизительно одинаков, если эти люди находятся в приблизительно одинаковом в физиологическом состоянии. Но эта схожесть (подобие) проявляется не в прямом равенстве функций распределения $f(x)$, а в их числе «совпадений» пар выборок k . Это означает, что точно функции $f(x)$ не совпадают, но с высокой вероятностью ($p \geq 0,95$) выборки принадлежат одной генеральной совокупности [5-14;19;20].

С другой стороны мы имеем совершенно иную картину с позиции ТХС. Расчет параметров КИ для разных возрастных групп показывает совершенно иную картину возрастных групп для параметров ССС. Движение КА в ФПС для трех возрастных групп женщин – ханты можно рассматривать как поступательное движение. В ФПС внешний вид квазиаттракторов только для одной координаты (кардиоинтервалы – x_i^k) в двумерном ФПС $(x(t) = (x_1^k, x_2^k)^T$, где $x_2 = dx_1/dt$), представлен на рис. 1. Существенно, что квазиаттракторы кардиоинтервалов x_1^k не являются простыми поступательными движениями

(скорее это ускоренное движение), т.к. координаты центра на этой ФПС (с x_1^k, x_2^k) сначала сдвигаются влево и вниз (исходно, для первого характерного испытуемого, 23 года $x_1^c = (835, 15)$ а для второго, возраст 45 лет, $x_2^c = (670, -10)$), и затем для испытуемого из третьей группы (59 лет) $x_3^c = (720, 5)$ показывает некоторое возрастное движение. По параметрам кардиоинтервалов наблюдается частичный возврат третьего КА³ к первому КА¹. Однако, площади этих всех трех КА неуклонно уменьшаются в объеме (почти экспоненциально, $V_G \sim e^{-\lambda t}$) и показывают следующие значения: $S_{G1} = 60900$ у.е.; $S_{G2} = 36000$ у.е.; $S_{G3} = 9000$ у.е. для этих испытуемых. Почти циклическое движение центров квазиаттракторов демонстрирует почти экспоненциальное убывание их площадей S_{Gi} [10-14].

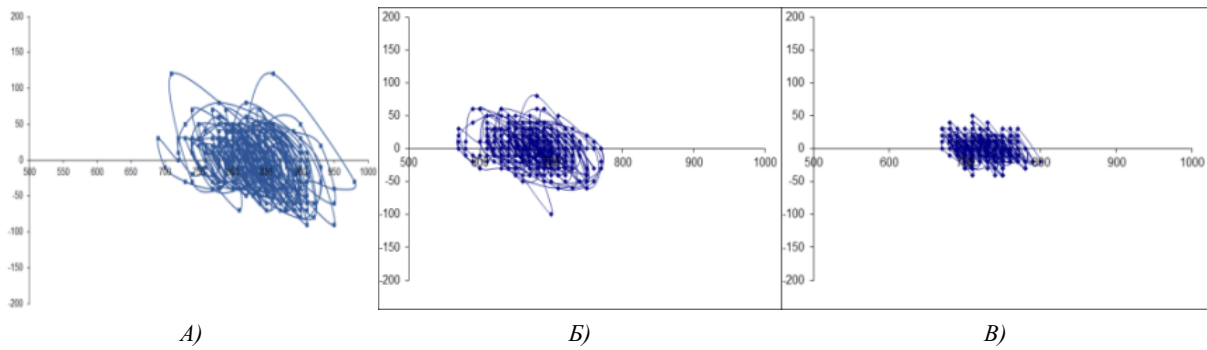


Рис. 1. Внешний вид квазиаттракторов для одной координаты (кардиоинтервалы — x_1^k) в двумерном ФПС $(x(t) = (x_1^k, x_2^k)^T$, где $x_2 = dx_1/dt$): А) для испытуемого, 23 года; Б) для испытуемого, возраст 45 лет; С) для испытуемого, 59 лет.

На рисунке 2 представлена динамика реальных и модельных усредненных (по всей группе) данных возрастных изменений площадей квазиаттракторов кардиоинтервалов (КИ) женщин ханты, которая описывается уравнением Ферхюльста–Пирла $dx/dt = (a - bx)x$, где $a = 0,0000284$, $b = 0,0000526$. Сама скорость изменения функции площади $S=x$ имеет вид параболы (нелинейная зависимость) вдали от минимума $x_{\min} = a/b$.

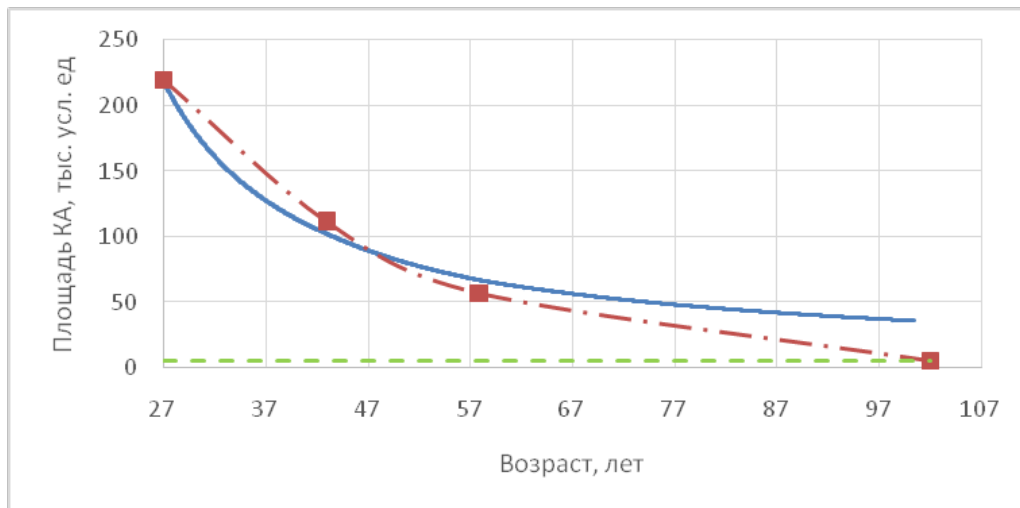


Рис. 2. Динамика реальных и модельных данных возрастных изменений средних значений площадей квазиаттракторов кардиоинтервалов (КИ) женщин ханты. Здесь: сплошная линия – модельные данные, штрих пунктирная – реальные данные, штрих – асимптота $y_a = a/b = 5,4$ тыс. усл. ед. для долгожительницы Р.Е.А. 102 года. Здесь $a = 0,0000284$, $b = 0,0000526$.

Таким образом, в рамках теории хаоса и детерминистского подхода (совместно) строились модели и изучалась возрастная особенность динамики поведения кардиоинтервалов КИ у представителей женского населения оборогенов Югры (ханты). Использовались три возрастные группы со средним возрастом 23, 43 и 58 лет. Для этих трех возрастных групп женщин хантов была прасчитана энтропия

Шеннона, данные представлены в таблице 1. Проверка на нормальность закона распределения выборок, полученных значений энтропии Шеннона, показала, что 2-е выборки из 3-х имеют ненормальное распределение данных. Уровень значимости p представлен в таблице 2. Из этой таблицы видно, что ни одна пара не имеет статистически достоверных различий это говорит нам о том, что все три группы можно отнести к одной генеральной совокупности.

Таблица 1

Результаты расчетов энтропии Шеннона E для выборок кардиоинтервалов женщин ханты трех возрастных групп. Примечание. N – нормальный тип распределения; NN – не нормальный тип распределения

<T>	Женщины ханты			Женщины пришлое население Югры (работники ЗСК)		
	<T ₁ >=27 лет, E ₁	<T ₂ >=43 года, E ₂	<T ₃ >=58 лет, E ₃	<T ₁ >=27 лет, E ₁	<T ₂ >=43 года, E ₂	<T ₃ >=58 лет, E ₃
1	3.684	3.584	2.561	3.654	3.153	3.348
2	3.584	3.346	3.346	3.524	3.319	3.075
3	3.684	3.404	3.684	3.403	2.717	2.882
4	3.722	3.784	2.661	3.618	3.700	3.380
5	3.309	3.984	3.246	3.784	3.669	3.343
6	3.884	3.922	3.746	3.494	3.734	3.673
7	1.557	3.022	3.984	3.479	3.559	3.698
8	3.446	2.839	3.784	3.123	3.673	3.654
9	2.939	3.546	3.746	3.483	3.475	3.669
10	3.784	3.641	3.484	3.944	3.814	3.428
11	3.346	3.622	3.404	3.479	3.814	3.403
12	3.722	3.241	3.722	3.673	3.589	2.843
13	3.822	2.759	3.722	4.054	3.444	3.304
14	3.922	2.441	3.139	3.753	3.559	1.894
15	3.646	3.684	3.522	3.784	2.432	3.574
16	3.884	3.209	3.504	3.620	3.319	3.829
17	1.657	3.684	3.822	3.643	3.784	3.414
18	2.796	4.022	3.622	3.544	3.243	3.524
19	3.641	3.646	2.561	3.704	3.814	3.974
20	3.584	1.122	3.584	3.298	3.254	1.784
21	3.546	2.423	3.209	4.024	3.860	3.654
22	2.319	3.609	3.441	3.814	3.494	3.589
23	3.784	3.784	3.784	3.525	3.894	2.573
24	3.341	3.646	2.661	3.593	2.843	3.764
25	4.022	3.246	3.484	3.749	3.588	3.704
26	3.784	3.441	3.846	3.784	3.479	3.475
27	3.622	3.822	3.646	3.574	3.734	2.843
28	3.784	3.509	2.071	3.574	3.669	2.962
29	2.759	2.423	3.541	3.913	3.254	3.157
30	2.796	3.722	3.684	3.829	3.124	3.704
31	3.746	3.546	3.384	3.544	3.403	3.589
32	3.884	2.319	3.446	3.913	3.704	3.639
33	3.409	3.584	3.722	3.494	3.384	3.669
34	3.884	3.622	3.446	3.734	3.624	3.669
35	3.646	3.346	3.346	3.780	3.620	3.639
36	3.684	3.322	3.346	3.593	3.734	2.512
37	3.004	3.641	3.346	3.814	3.284	3.428
38	3.004	1.657	3.346	3.864	3.414	3.764
Среднее	3.411	3.294	3.411	3.662	3.478	3.343
Медиана	3.644	3.546	3.484	3.648	3.559	3.500
Тип распределения	NN	N	NN	N	NN	NN

Из таблицы 2 следует, что парное сравнение выборок энтропии Шеннона для 1-й и 2-й групп имеет самое низкое значение критерий $p = 0.17$, что значительно больше 0.05, т.е. эти результаты статистически недостоверны. Остальные пары (1-я и 3-я $= 0.28$ и 2-я с 3-й с $p = 0.71$) дают еще более худшие результаты по различию выборок. В целом все парные сравнения не дают статистически значимых различий и на основании этого мы можем говорить, что энтропия Шеннона для трех возрастных групп женщин-ханты не может быть индикатором значимых различий выборок для кардиоинтервалов у всех трех групп.

Таким образом, возраст изменяется, человек стареет, а энтропия выборок кардиоинтервалов не может показать никаких возрастных различий. Хотя статистика по всем 15-ти параметрам состояния кардиоритма все-таки дает некоторые различия (правда не по всем x_i).

Таблица 2

Матрица уровня значимости p для парных сравнений выборок значений энтропии Шеннона E для значений кардиоинтервалов (КИ) женщин (ханты) трех возрастных групп (критический критерий значимости Краскела–Уоллиса $p < 0.05$)

<возраст>	Женщины ханты			Пришлое население		
	27 лет	43 года	58 лет	27 лет	43 года	58 лет
27 лет		0.17	0.28		0.28	0.02
43 года	0.17		0.71	0.28		1.00
58 лет	0.28	0.71		0.02	1.00	

Одновременно проводился сравнительный анализ для женщин пришлое население Югры трех возрастных групп, средний возраст которых совпадает с о средним возрастом аборигенов. По нашим данным женщины ханты 3-й группы как бы находятся в условиях непрерывной физической нагрузки, чего нельзя сказать о пришлых женщинах. Следовательно, другие люди (не долгожители, парасимпатотоники) должны искусственно создавать для себя выраженную симпатотонию, если у них имеется желание стать долгожителем. Простой способ такой динамики – усиление физической нагрузки, что в условиях урбанизированного Севера РФ почти невозможно. Отметим, что пришлое население по своим параметрам динамики КА с возрастом резко отличается от аборигенов. Модели для женщин пришлое население уже не применимы.

В первую очередь это обусловлено проживанием в урбанизированных экосистемах, что снижает и работоспособный период, и продолжительность жизни. У мужчин это выглядит еще хуже, что только усиливает тезис: нормальное старение должно давать динамику КА в виде убывающей кривой. Повышение S для КА с возрастом – это плохой прогноз на продолжительность жизни и работоспособного возраста. Любая физическая нагрузка сразу и резко снижает объемы КА и тогда у третьей группы мы бы могли получить аналог (нормального старения).

По данным из таблицы 1 и таблицы 2 женщин пришлое население Югры видно, что, в целом, энтропийный подход демонстрирует схожую динамику изменения значений энтропии Шеннона для пришлых женщин как и у женщин за исключением одной пары сравнения младшей возрастной группы со старшей возрастной группой, здесь $= 0.02$, что весьма существенно ниже уровня значимости критерия Краскела–Уоллиса $p < 0.05$.

Заключение

В целом, групповой возрастной анализ динамики КА в фазовом пространстве способен определить нормальное старение (без патологий) и спрогнозировать возможность долгожительства, как всей группы, так и ее отдельных представителей. Сейчас проводится индивидуальный анализ, т.е. выявляется, какие пациенты стареют по нормальному закону, а какие попадают в КА как на рисунке рис. 4. С этих позиций становится очевидным роль физических нагрузок в геронтологии: они уменьшают с возрастом КА для кардиоинтервалов, а значения площадей S для КА дают прогноз на долгожительство (положительный или отрицательный).

Так же следует отметить, что термодинамический подход (расчет значений энтропии Шеннона) в оценке прогнозирования долгожительства оказался неэффективным. Это не означает, что нужно

полностью отказаться энтропийного подхода, а говорит нам о том, что данный метод нуждается в существенной доработке.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ р_урал_a 15-41-00034.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адайкин В. И., Брагинский М. Я., Еськов В. М. и др. Новый метод идентификации хаотических и стохастических параметров экосреды // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. 13, № 2. С. 39–41.
2. Брагинский М. Я., Бурькин Ю. Г., Майстренко Е. В., Козлова В. В. Состояние показателей произвольных движений учащихся в условиях физической нагрузки в разные сезоны года // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 1. С. 61–63.
3. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: «Мир», 1973. 280 с.
4. Даниелян В. В., Карпин В. А., Филатов М. А. Постнеклассическая философия как методологическое основание построения современной эволюционной теории // Философия науки. 2013. № 2(57). С. 82–91.
5. Добрынина И. Ю., Еськов В. М., Живогляд Р. Н., Чантурия С. М., Шипилова Т. Н. Особенности гестозов и нарушений углеводного обмена // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. 13, № 3. С. 14–16.
6. Еськов В. М., Филатова О. Е., Фудин Н. А., Хадарцев А. А. Проблема выбора оптимальных математических моделей в теории идентификации биологических динамических систем // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2004. Т. 3, № 2. С. 150–152.
7. Еськов В. М., Майстренко В. И., Майстренко Е. В., Филатов М. А., Филатова Д. Ю. Исследование корреляции показателей функциональной асимметрии полушарий головного мозга с результатами учебной деятельности учащихся // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 3. С. 205–207.
8. Еськов В. М., Брагинский М. Я., Козлова В. В., Майстренко Е. В. Диагностика физиологических функций женщин-пловцов Югры методом расчета матриц межкластерных расстояний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Т. 9, № 3. С. 500–504.
9. Еськов В. М., Буров И. В., Козлова В. В., Волкова И. Ю., Яруллина Л. Н. Оценка физиологических параметров человека в условиях влияния физических нагрузок методом расчета расстояний между центрами квазиаттракторов // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. 19, № 1. С. 13–15.
10. Еськов В. М., Хадарцев А. А., Филатова О. Е., Хадарцева К. А. Околосуточные ритмы показателей кардиореспираторной системы и биологического возраста человека // Терапевт. 2012. № 8. С. 36–43.
11. Еськов В. М., Хадарцев А. А., Еськов В. В., Гавриленко Т. В., Филатов М. А. Complexity - особый тип биомедицинских и социальных систем // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 1. С. 17–22.
12. Еськов В. В., Филатова О. Е., Гавриленко Т. В., Химикова О. И. Прогнозирование долгожительства у российской народности ханты по хаотической динамике параметров сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2014. № 11. С. 3–8.
13. Еськов В. М., Еськов В. В., Гавриленко Т. В., Вохмина Ю. В. Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем – complexity // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2015. № 2. С. 62–73.
14. Козлова В. В., Голушков В. Н., Ведясова О. А., Майстренко Е. В. Измерение расстояний между центрами квазиаттракторов вектора состояния организма тренированных и нетренированных г.Самары и г.Сургута // Ученые заметки ТОГУ. 2010. Т. 1, № 1. С. 27–30.
15. Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: Эдиториал УРСС, 2003. 384 с.
16. Пригожин И. Р. Философия нестабильности // Вопросы философии. 1991. № 6. С. 47–52.
17. Русак С. Н., Козупица Г. С., Филатова О. Е., Еськов В. В., Шевченко Н. Г. Динамика статуса вегетативной нервной системы у учащихся младших классов в погодных условиях г. Сургута // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 4. С. 92–95.