

**СОСТОЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПО ДАННЫМ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ**

В.М.ЕСЬКОВ*, О.Е.ФИЛАТОВА*, В.В.ЕСЬКОВ*, М.А.ФИЛАТОВ*, К.А.ХАДАРЦЕВА**

* ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры»,
пр.Ленина, д.1, г.Сургут, Россия, 628412

** Медицинский институт, Тульский государственный университет,
ул. Болдина, 128, г. Тула, Россия, 300012

Аннотация. В работе обоснована актуальность изучения возрастных особенностей организма с использованием современных биофизических подходов и их математического моделирования. Поставлена цель – установить закономерности поведения параметров квазиаттракторов сердечнососудистой системы учащихся школ г. Сургута в многомерном фазовом пространстве состояний. Использованы результаты мониторингового обследования у 2038 человек с применением общепринятых и новых синергетических подходов. Результаты обработаны математически. Доказана значимость математического моделирования для получения объективной информации, показано преобладание активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, независимо от времени года и профиля обучения, более выраженная возрастная стабильность состояния систем организма у обучающихся в гимназии по сравнению со средней школой. Установлена большая девятикратная выраженность сезонных изменений параметров вегетососудистой регуляции у учеников средней школы по сравнению с гимназистами на основе динамики их квазиаттракторов.

Ключевые слова: синергетика, квазиаттракторы, функциональные системы организма, симпатическая и парасимпатическая регуляция.

**THE STATE OF FUNCTIONAL SYSTEMS OF THE HUMAN BODY ACCORDING TO THE
MATHEMATICAL MODELING OF AGE FEATURES**

V.M.ESKOV*, O.E.FILATOVA*, V.V.ESKOV*, M.A.FILATOV*, K.A.KHADARTSEVA**

*Surgut State University, Lenina, 1, Surgut, Russia, 628412

**Medical Institute, Tula State University, ul. Boldin, 128, Tula, Russia, 300012

Abstract. In this paper the relevance of the study of age features of the organism on the basis of modern biophysical approaches and mathematical modeling is justified. The study purpose was to establish the patterns of behavior parameters of quasi-attractors of cardiovascular system in the pupils of the Surgut schools in the multidimensional phase space of states. The results of monitoring surveys in 2038 persons with the use conventional and new synergetic approaches were used and treated mathematically. The importance of mathematical modeling for obtaining objective information proved. It is established that there is a predominance of activity of the parasympathetic nervous system, regardless of the time of year and profile of education, more expressed age stability body systems in the pupils of gymnasium compared with a secondary school. The authors have identified nine times greater severity of seasonal changes of the vegetative-vascular regulation in the pupils of secondary school in comparison with the pupils of gymnasium on the basis of the dynamics of their quasi-attractors.

Key words: synergetics, quasi-attractors, functional systems of organism, sympathetic and parasympathetic regulation.

Принципы системного изучения деятельности важнейших регуляторных и функциональных систем организма (ФСО), впервые обозначенные И.М. Сеченовым и И.П. Павловым, а затем в деталях разработанные П.К. Анохиным, К.В. Судаковым, Н.А. Фудиным, В.Г. Зиловым (1993-2010) [11, 14] и др., до сих пор не потеряли своей актуальности и являются исходной научно-теоретической основой при исследовании динамики функционального состояния и адаптационных реакций организма человека в различных условиях жизнедеятельности. Системообразующим фактором, определяющим целесообразное адаптивное поведение организма и избирательное подключение в его комплексное реагирование тех или иных частных механизмов, является полезный результат деятельности организма как целостной системы. При использовании определенных методических подходов, параметры работы отдельных ФСО могут составить образ поведения организма как целостной системы. В частности, такая возможность предоставляется в условиях формального, с биофизических позиций, описания поведения сложных биосистем в фазовом пространстве состояний и при создании новых математических моделей таких систем [6].

В рамках биофизического подхода важно определить иерархические уровни организации процес-

сов управления как отдельными ФСО человека, так и их комплексами в общей системе регуляции гомеостаза. Биофизическим следствием развития теории ФСО П.К. Анохина является проблема изучения некоторых глобальных интегративных механизмов управления всеми ФСО человека, которая должна базироваться на некоторых общих принципах работы ЦНС, как высшего уровня регуляции функций организма. В соответствии с данной концепцией, центральным регулятором ФСО является некое корпоративное объединение центральных нервных структур, обеспечивающее интегрированное управление моторными и висцеральными функциями [3, 7, 11, 12].

Несоответствие адаптационного потенциала ФСО школьников и интенсивности учебной нагрузки приводит к возникновению состояний предболезни с последующим переходом в серьезные патологии, риск которых наиболее высок среди молодых жителей территорий с тяжелыми климатическими условиями, в т.ч. Югры [1, 3, 13].

Использование современных биофизических подходов при регистрации параметров деятельности ФСО, в первую очередь системы кровообращения как наиболее чувствительной к неблагоприятным воздействиям, у детей может служить основой для выработки новых стратегий в образовательной системе и создания эффективных здоровьесберегающих технологий.

Цель исследования: в рамках дальнейшей разработки и развития синергетического подхода в биофизике сложных систем с использованием аппаратных исследований и математического моделирования установить закономерности поведения параметров квазиаттракторов сердечнососудистой системы организма учащихся Югры в многомерном фазовом пространстве состояний.

Объект и методы исследований. Применение традиционных детерминистско-стохастических методов для обработки параметров ВСП человека, а также анализ спектральных частот мощности сердца, позволяет оценить дисперсию параметров, достоверность полученных результатов и осуществить определенный прогноз. Однако, в настоящее время в мире наблюдается изменение центральной парадигмы естествознания путем перехода от детерминистско-стохастического подхода в изучении различных природных, биологических и социальных процессов к методам *теории хаоса и синергетики* (ТХС). При этом затрагивается не только естествознание (физика, химия, биология и медицина), на базе которых сформировалась ТХС как научное направление но и различные социальные, экономические сферы деятельности. Центральным звеном этого подхода является разработка новых методов идентификации *параметров порядка*, т.е. наиболее важных диагностических признаков, и русел–уравнений, законов, по которым развивается динамика исследуемых *биологические динамические системы* (БДС). Состояния, в которых находятся все БДС имеют стохастическо-хаотическую динамику (например, изменения параметров внутренней среды организма в границах некоторых интервалов), которая подчиняется внешним влияниям (физическим, химическим и др.), также имеющим хаотическую структуру и являющимся возмущающими факторами для регуляторных систем организма [8, 9].

В рамках детерминистско-стохастических и новых синергетических подходов и методов в нашей работе использованы результаты мониторингового обследования состояния *сердечнососудистой системы* (ССС) детей по параметрам ВСП с учетом пола, возраста и сезонов года у учащихся с 1-го по 11-е классы школ двух типов: МОУ гимназия № 4 и МОУ СОШ № 4 г. Сургута. Всего обследовано 2038 учащихся (мальчиков и девочек). Первичные данные исходно обрабатывались общепринятыми математическими методами с использованием редактора электронных таблиц “MS Excel”. Достоверность различий средних величин оценивали по методу Фишера-Стьюдента, а также вычисляли коэффициенты корреляции элементов матриц (r) по Спирмену. При этом достоверными считались различия с уровнем значимости $p < 0,05$, $0,01$ и $0,001$.

Результаты и их обсуждение.

1. Детерминистско-стохастический анализ параметров variability сердечного ритма учащихся. Население, проживающее на территории Среднего Приобья, подвергается комплексному воздействию неблагоприятных климато-географических факторов, оказывающих существенное негативное влияние на качество жизни и уровень здоровья. Детская часть населения, в силу незавершенности морфофункционального развития организма, незрелости ряда его регуляторных механизмов, высокой лабильности и активности энергетического обмена, является той возрастной группой, которая наиболее остро реагирует на воздействие факторов внешней среды, способные вызвать дестабилизацию гомеостаза.

Известно, что параметры *вегетативно-сосудистой регуляции* (ВСП) являются объективным показателем состояния ССС и регуляторных систем организма, т.к. непосредственно характеризуют активность нейровегетативного системного комплекса. Изменения параметров ВСП могут характеризовать степень напряжения регуляторных механизмов при стрессовых воздействиях, либо отражать связь наблюдаемых изменений активности отделов вегетативной нервной системы, состоянием сосудистого центра и высших вегетативных центров и т.д.

В первом блоке исследований для статистического анализа параметров ВСП были использованы результаты пульсоинтервалографии 2038 мальчиков и девочек в возрасте от 6 до 17 лет. Анализ ВСП

проводился в 3 этапа: 1-й – с учетом возраста и пола; 2-й – с учетом сезонов года; 3-й этап – с учетом специфики школьного обучения.

Во втором блоке исследований выполнен сравнительный анализ данных для разных сезонов года (осень 2007 г. и зима 2008 г.), которые были отмечены как сезоны с особо неблагоприятными метеорологическими (погодными) условиями. Было выдвинуто предположение, что в состоянии ССС при анализе больших массивов данных должны быть зарегистрированы достоверные различия между возрастными половыми группами испытуемых как по математическим ожиданиям, так и по дисперсиям этих больших выборок.

В табл. 1 и 2 представлены сводные результаты статистической обработки параметров ВСР с учетом возрастного-половых различий учащихся МОУ гимназии №4 и МОУ СОШ №4 в осенний период 2007-2008 учебного года.

Из таблиц, а также приведенных ниже рис. 1 и 2 видно, что во всех возрастных группах обследованных школьников, причем как в осенний, так и в зимний периоды года, в регуляции деятельности ССС преобладает активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Нормотоническое состояние установлено только для учащихся 1-го класса (СИМ – 5,96 у.е., ПАР – 9,32 у.е.).

Таблица 1

**Результаты статистической обработки показателей ВСР учащихся МОУ СОШ № 4
г. Сургута (осень 2007-2008 уч.г.)**

кл.	Пол	СИМ	ПАР	SDNN	ЧСС	ИНБ	SPO ₂
1	Жен.	5,00±1,51**	10,59±1,79**	51,86±6,6*	101,4±10,51	72,36±21,43	97,8±0,47
	Муж.	5,96±1,71	9,32±2,2	50,0±8,25*	115,5±31,5	107,04±42,9	97,7±0,38
2	Жен.	4,04±1,96	14,35±2,39	70,57±11,35	99,3±5,56	57,87±28,97	97,39±0,67
	Муж.	3,63±0,96	13,0±1,94	58,9±7,25	96,63±4,57	56,33±16,07	97,38±0,67
3	Жен.	4,33±2,15	12,73±3,01	55,47±13,16	92,8±0,73	66,27±40,89	97,2±0,73
	Муж.	3,32±1,18	13,84±2,35	56,42±9,32	96,11±4,86	51,16±17,05	97,89±0,39
4	Жен.	6,44±4,78	12,67±3,4	54,5±12,0	96,72±6,26	89,44±20,26	97,61±0,87
	Муж.	2,63±1,3	15,58±2,96	63,37±11,56	90,89±6,44	39,74±14,66	98,32±0,32
5	Жен.	2,68±1,01	14,32±2,23	62,08±12,49	87,68±6,9	43,6±16,62	97,48±0,87
	Муж.	2,28±0,72**	16,28±2,09	69,31±9,02	85,53±6,64*	38,0±17,07**	97,75±0,59*
6	Жен.	2,85±0,78	14,35±1,94	54,96±7,78	88,85±3,88	42,38±10,12	98,0±0,28
	Муж.	2,67±1,71	16,14±2,36	63,94±8,85	88,43±3,95	38,31±19,36	97,57±0,26
7	Жен.	2,94±0,82	14,29±1,63	56,26±5,79*	91,0±3,83	49,97±9,8*	97,5±0,26
	Муж.	2,09±0,49	16,00±1,31**	61,04±4,93**	86,22±4,89	28,65±4,67	96,96±0,78*
8	Жен.	2,32±1,21	16,52±2,21	66,36±7,98	80,96±5,42	29,36±12,02	97,6±0,62
	Муж.	3,61±1,49	12,96±2,01	50,43±6,87	88,61±5,07	54,32±23,72	97,79±0,54
9	Жен.	2,77±0,95	15,51±1,63	61,13±7,19	87,72±3,21	42,26±15,63	97,67±0,37*
	Муж.	3,74±1,67**	13,74±2,31	58,87±8,51*	90,7±6,0**	49,35±22,59**	97,35±0,38**
10	Жен.	2,43±1,06	15,29±2,84	59,22±11,34	85,79±6,99	38,07±15,04	97,71±0,48
	Муж.	3,44±1,59	13,11±2,5	53,0±9,23**	90,3±9,56**	49,0±23,92**	98,0±0,36*
11	Жен.	2,41±0,8	15,69±2,13	63,76±9,59	82,24±4,49	33,31±9,63	97,86±0,46
	Муж.	2,08±0,8	16,85±3,26	69,23±13,31	80,8±5,89	23,62±8,85	92,46±11,54

Примечание: * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p <0,001 – достоверность отличий по полу от учащихся МОУ Гимназии №4

Наибольшие значения ПАР были выявлены у мальчиков МОУ СОШ № 4 в осенний период в 5-м (16,28 у.е.), 6-м (16,14 у.е.) и 11-м (16,85 у.е.) классах, тогда как у гимназистов в 7-м, 9-м и 11-м классах (соответственно 17,9; 16,88 и 17,75 у.е.). Средние значения СИМ у школьников (и мальчиков, и девочек) МОУ СОШ № 4 осенью равнялись 3,34 у.е., ПАР – 14,19 у.е.; в зимний период средний показатель СИМ составлял 2,62 у.е., ПАР – 14,77 у.е. У гимназистов наблюдалась похожая картина, например, в осенний период СИМ был равен 2,6 у.е., ПАР – 15,35 у.е., а зимой 2,49 и 15,75 у.е. соответственно. Преобладание уровня парасимпатических влияний на кардиоритм у всех учащихся говорит о формировании у них холинергического гомеостаза и смещении активности регуляторных систем организма, в целом, в сторону тонического компонента.

Результаты статистической обработки показателей ВСР учащихся МОУ гимназия № 4 г. Сургута (осень 2007-2008 уч. г.)

кл	пол	СИМ	ПАР	SDNN	ИНБ	ЧСС	SPO ₂
1	Жен.	2,79±0,69**	14,21±1,56**	58,26±7,56*	39,63±10,64	96,68±4,37	97,95±0,30
	Муж.	4,36±1,30	12,92±2,45	59,92±12,93*	55,68±16,32	101,44±4,30	96,80±1,25
2	Жен.	3,00±0,81	14,68±1,87	56,11±8,30*	44,00±13,82	94,68±4,07	97,89±0,22
	Муж.	2,79±0,67	14,11±1,90	56,32±8,13	40,42±8,24	94,26±4,06	97,11±0,72
3	Жен.	3,11±0,53	13,33±1,32	55,61±5,71	42,97±6,62	94,92±2,78	97,78±0,27
	Муж.	3,14±0,87	13,67±1,96	55,00±5,41	45,14±10,27	97,71±4,60	97,86±0,32
4	Жен.	2,54±0,72	15,33±1,62	58,96±6,16	38,83±8,71	91,29±3,34	98,00±0,27
	Муж.	3,44±1,23	14,17±2,75	53,61±10,89	53,67±19,45	94,11±5,25	97,94±0,21
5	Жен.	3,26±0,81	14,00±1,71	55,92±7,54	48,95±11,44	94,03±3,55	97,58±0,38
	Муж.	4,13±1,38**	13,06±1,79	55,19±6,28	59,03±25,88**	96,34±4,20*	97,66±0,24*
6	Жен.	2,36±0,74	15,69±1,59	62,21±6,53	36,31±9,58	87,26±2,80	97,72±0,28
	Муж.	2,63±0,97	15,32±2,13	65,11±10,15	35,32±14,66	89,05±4,63	97,58±0,49
7	Жен.	1,83±1,29	17,25±3,24	69,25±12,64*	28,58±11,86*	87,25±6,22	97,58±0,74
	Муж.	1,30±0,59	17,90±3,06**	70,70±15,82**	22,70±8,02	81,70±6,32	98,30±0,35*
8	Жен.	1,89±0,92	16,50±2,16	66,50±9,44	28,89±10,88	82,17±4,01	97,72±0,59
	Муж.	2,80±1,10	14,75±2,20	62,25±9,89	35,45±12,47	97,25±3,91	97,15±0,94
9	Жен.	1,88±0,58	16,68±1,38	65,93±5,53	27,93±7,51	82,33±3,38	97,80±0,33*
	Муж.	2,12±0,82**	16,88±2,36	71,00±9,64*	28,85±8,48**	81,65±4,74**	97,42±0,41**
10	Жен.	2,36±0,67	16,04±2,26	63,92±9,72	33,60±8,69	83,36±4,81	97,28±0,35
	Муж.	2,05±0,81	16,80±2,10	73,65±10,82**	25,05±7,69**	80,65±5,29**	97,35±0,44*
11	Жен.	1,94±0,76	16,81±2,41	63,69±9,12	29,13±8,37	83,75±4,52	97,94±0,41
	Муж.	1,63±0,55	17,75±2,09	70,75±11,17	23,88±6,54	79,88±5,30	97,19±0,44

Примечание: * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p<0,001 – достоверность отличий по полу от учащихся МОУ СОШ №4

В ранее выполненных исследованиях было показано, что выраженная парасимпатотония снижает параметры памяти, мышления, влияет на когнитивные способности учащихся в целом. В совокупности с этими данными наши результаты можно расценивать как свидетельство низкой степени синергизма ФСО и признак напряжения адаптационных механизмов организма школьников Севера, что может вызывать у них дополнительные трудности в процессе обучения, т.к. ребенок (особенно в начальных классах) испытывает огромные физиологические, социально-психологические и информационные нагрузки, а иногда и перегрузки.

Обращает внимание возрастная динамика активности парасимпатического отдела ВНС. В частности, следует отметить прирост его значений у учащихся обоих типов школ в препубертатный период (4-6-й классы), некоторое снижение к 7-му классу и последующее увеличение практически у всех старшеклассников с выходом на выраженный пик в 11-м классе, соответствующем собственно пубертатному возрасту. Примером такой динамики ПАР, в частности у мальчиков, служат графики, представленные на рис. 1 и 2.

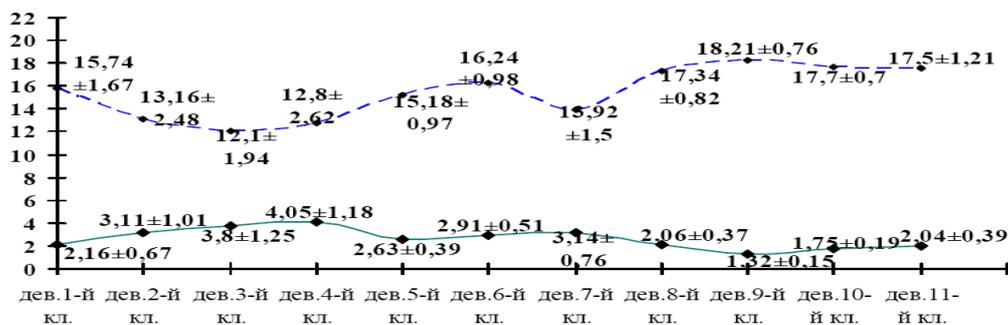


Рис. 1. Соотношение уровней активности симпатического (сплошная линия) и парасимпатического (пунктирная линия) отделов вегетативной нервной системы у девочек разных возрастных групп (классов) МОУ гимназия № 4 г. Сургута в зимний период 2007-2008 уч.г.

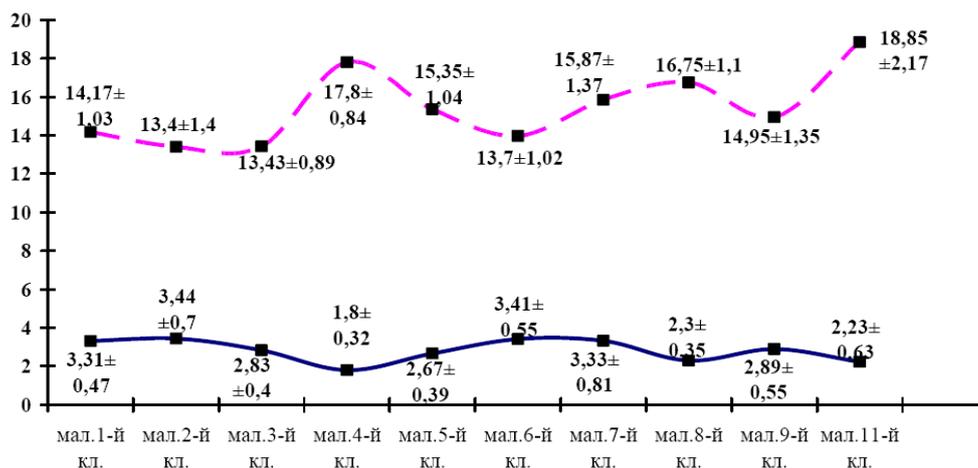


Рис. 2. Соотношение уровней активности симпатического (сплошная линия) и парасимпатического (пунктирная линия) отделов вегетативной нервной системы у мальчиков разных возрастных групп (классов) МОУ СОШ № 4 г. Сургута в зимний период 2007-2008 уч.г.

Важно отметить, что практически все обследованные гимназисты и школьники родились на территории, приравненной к территории крайнего Севера, и являются мигрантами 2-го поколения. Сопоставление наших данных с результатами других исследований [11] позволяет считать, что у обследованных нами учащихся функциональная организация механизма нейровегетативного регулирования отличается от таковой у детей и подростков, проживающих на Севере не более 5 лет, т.е. мигрантов 1-го поколения.

2. Сравнительный динамики поведения вектора состояния организма учащихся для разных сезонов года. Анализ динамики поведения вектора состояния организма (ВСО) учащихся Югры в шестимерном ($m=6$) ФПС и расчет параметров квазиаттракторов смещения этого ВСО выполняли на базе авторской программы «Identity» [4]. На рис. 3 представлены результаты идентификации общих объемов квазиаттракторов вектора состояния организма учащихся МОУ СОШ №4 и МОУ гимназии №4 с учетом возрастнo-половых особенностей. Динамика движения вектора интегративных показателей ССС у учащихся СОШ № 4 имеет более выраженный колебательный характер, чем у учащихся гимназии. Максимальные значения объема квазиаттрактора ВСО были установлены у учащихся начальных классов СОШ № 4 (например, в 1 классе 25,7 у.е., в 4-м –17,8 у.е.), что значительно больше чем у их сверстников из гимназии №4(1 класс –2,3 у.е., 4 класс – 0,2 у.е.).

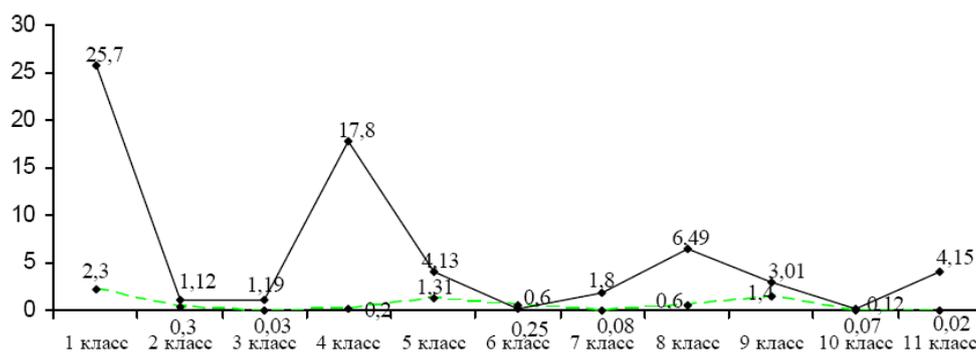


Рис. 3. Объемы квазиаттракторов (у.е.) движения вектора состояния организма учащихся в 6-мерном фазовом пространстве (усреднение по всем классам). Сплошная линия – учащиеся МОУ СОШ №4, пунктирная – МОУ гимназии №4 (осень, 2007)

В зимний период обучения в целом наблюдалось снижение объемов квазиаттракторов во всех возрастных группах (классах), при этом значения объемов квазиаттракторов колеблются от 0,15 до 2,52 у.е. Суммарные значения этих объемов (V) в осенний период у гимназистов равны 6,91 у.е., в то время как у школьников $V = 65,76$ у.е., т.е. почти в 10 раз больше. Кроме того, в изучаемый сезон года отмечался значительный спад амплитуды колебаний значений объемов квазиаттракторов ВСО у учащихся

СОШ всех классов (суммарное значение $V=10,86$ у.е.) тогда как у гимназистов возрастная динамика изменения этих показателей осталась практически неизменной ($V=5,25$ у.е.).

Этот блок данных свидетельствуют о зависимости состояния нейровегетативного регулирования ССС учащихся от трех факторов – возраста, сезона года (фактически, метеоусловий) и типа школы (т.е. специфики учебного процесса. Индикатором характера адаптационных процессов детей и подростков при действии этих социальных и биологических факторов является динамика параметров ВСР, коэффициентов СИМ, ПАР и ИНБ учащихся профильных и непрофильных школ (гимназия, лицей, школа общего среднего образования). В частности, в наших исследованиях установлено, что дети, поступившие в 1-й класс гимназии, имеют меньшие объемы квазиаттракторов ВСО как в осенний, так и в зимний периоды года, соответственно состояние их нейровегетативного статуса направлено в сторону нормотонического регулирования, что отличает их от учащихся средней образовательной школы.

В табл. 3 и 4 приведены матрицы, в которых представлены все возможные расстояния между центрами квазиаттракторов в 6-мерном фазовом пространстве параметров ССС учащихся разных типов школ и возраста в гипотезе хаотического и стохастического распределения.

Установлено, что наибольшие расстояния в гипотезе равномерного распределения было установлено между учащимися 7 классов гимназии №4 и СОШ № 4 ($329,7$ у.е.), на втором месте по величине данного параметра стоят ученики 10 классов (в абсолютных значениях – $306,92$ у.е., в относительных $27,9$ у.е.), а затем следуют учащиеся 11 классов (в абсолютных – $306,53$ у.е., в относительных – $27,8$ у.е.) и 9 классов – в абсолютных – $301,66$ у.е., в относительных – $27,4$ у.е. В остальных возрастных группах значения расстояний между хаотическими центрами квазиаттракторов находятся в интервале от $149,8$ до $235,2$ у.е. В гипотезе неравномерного (статистического) распределения параметров квазиаттракторов вектора ССС учащихся наибольшие значения расстояний между центрами отмечены в 7 классах ($1647,02$ у.е.), а наименьшие 6-х классов. При этом выраженной сезонной зависимости расстояния между хаотическими центрами квазиаттракторов у представителей большинства возрастных групп выявить не удалось, за исключением учащихся 9-11-х классов.

Таблица 3

Матрица расстояний Z_{ij} между центрами хаотических квазиаттракторов вектора состояния сердечнососудистой системы организма учащихся МОУ гимназия № 4 и МОУ СОШ № 4 в 6-мерном фазовом пространстве состояний (осень, 2007 г.)

		школа											
		Z	1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.	5 кл.	6 кл.	7 кл.	8 кл.	9 кл.	10 кл.	11 кл.
ГИМНАЗИЯ	1 кл.		47,5	52,8	48,6	51,1	39,9	59,9	74,1	66,8	72,9	73,1	73,7
	2 кл.		7,6	13,2	13,4	10,9	11,9	15,6	27,7	21,7	27,1	27,1	28,4
	3 кл.		11,5	15,9	12,5	13,8	2,8	22,8	37,4	29,7	36,1	36,5	36,7
	4 кл.		19,1	23,3	20,6	20,4	10,1	28,3	42,5	35,0	40,9	41,0	41,8
	5 кл.		15,7	12,9	17,1	11,3	20,7	4,7	15,3	8,5	13,6	13,7	14,8
	6 кл.		12,9	5,9	10,7	6,9	17,9	5,5	19,1	10,8	17,6	18,7	17,4
	7 кл.		9,5	6,1	8,1	2,9	11,1	9,9	24,8	16,6	23,1	23,8	23,4
	8 кл.		13,1	8,7	11,5	6,1	14,2	8,4	23,0	14,5	20,9	21,4	21,0
	9 кл.		10,6	7,5	10,7	4,5	13,6	7,1	21,9	13,8	20,2	20,6	20,7
	10 кл.		12,5	6,7	10,0	5,3	14,8	7,8	22,5	13,9	20,6	21,3	20,5
	11 кл.		22,1	16,4	21,2	16,6	27,2	7,9	11,4	3,9	8,7	9,7	8,1
	Σ		182,0	169,4	184,4	149,8	184,2	185,8	329,7	235,2	301,7	306,9	306,5
	\bar{X}		16,5	15,4	16,8	13,6	16,7	16,9	29,9	21,4	27,4	27,9	27,9

Матрица расстояний z_{ij} между центрами стохастических квазиаттракторов вектора состояния сердечнососудистой системы учащихся МОУ гимназия № 4 и МОУ СОШ №4 в 6-мерном фазовом пространстве состояний (осень, 2007 г.)

		школа										
Z		1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.	5 кл.	6 кл.	7 кл.	8 кл.	9 кл.	10 кл.	11 кл.
ГИМНАЗИЯ	1 кл.	271,5	281,4	300,9	275,3	195,6	273,4	320,4	292,3	283,7	325,0	319,4
	2 кл.	23,7	37,0	58,2	24,0	109,6	21,3	76,2	45,03	36,5	77,8	74,8
	3 кл.	70,7	83,2	105,1	69,7	63,4	64,7	123,8	91,1	83,6	124,6	121,8
	4 кл.	190,8	205,6	227,1	191,1	61,1	185,6	244,1	212,6	203,1	244,1	242,7
	5 кл.	30,9	46,6	64,3	31,1	108,1	26,6	77,9	50,1	39,9	77,3	77,0
	6 кл.	35,7	21,6	10,07	32,1	162,6	37,9	22,9	13,9	24,8	24,9	20,7
	7 кл.	65,6	80,7	101,7	65,8	66,5	60,6	118,1	87,3	77,6	118,3	116,8
	8 кл.	89,9	103,2	124,9	89,2	43,4	83,9	143,0	110,7	102,5	143,5	141,1
	9 кл.	67,4	82,8	103,8	67,9	64,1	62,7	120,3	89,5	79,5	120,5	119,1
	10 кл.	29,3	9,7	15,3	21,2	152,4	27,1	35,5	5,7	22,8	37,3	31,9
	11 кл.	43,7	37,3	37,1	43,4	160,4	45,8	44,4	31,6	40,9	44,6	42,6
	Σ	919,2	989,1	1148,5	910,8	1187,2	889,6	1647,0	1029,8	994,9	1337,9	1307,9
\bar{X}	83,6	89,9	104,4	82,8	107,9	80,9	149,7	93,6	90,4	121,6	118,9	

На рис. 4 и 5 представлены межаттракторные расстояния (z_{kf}) между хаотическими (рис. 4) и стохастическими (рис. 5) центрами квазиаттракторов (объемов ФПС) параметров ССС учащихся в 6-ти мерном фазовом пространстве состояний (СИМ, ПАР, SDNN, INB, SPO₂, ЧСС,). Диагональные элементы матриц межаттракторных расстояний хаотических центров объемов квазиаттракторов в осенний период у учащихся 1–11 классов гимназии и СОШ, характеризуются заметной тенденцией снижения расстояний между центрами. При этом обращает внимание максимальная величина Z (на графике – пик) у учащихся 1 класса.

Такие особенности, наблюдаемые у первоклассников, вероятно, связаны с тем, что при поступлении в школу у детей возникает эмоционально-стрессовая реакция на изменение привычного стереотипа жизни, возрастает психоэмоциональная нагрузка, о чем свидетельствуют указанные ранее высокие значения ИНБ и СИМ. При этом из анализа данных следует, что у гимназистов такая смена динамического стереотипа имеет меньшую физиологическую стоимость.

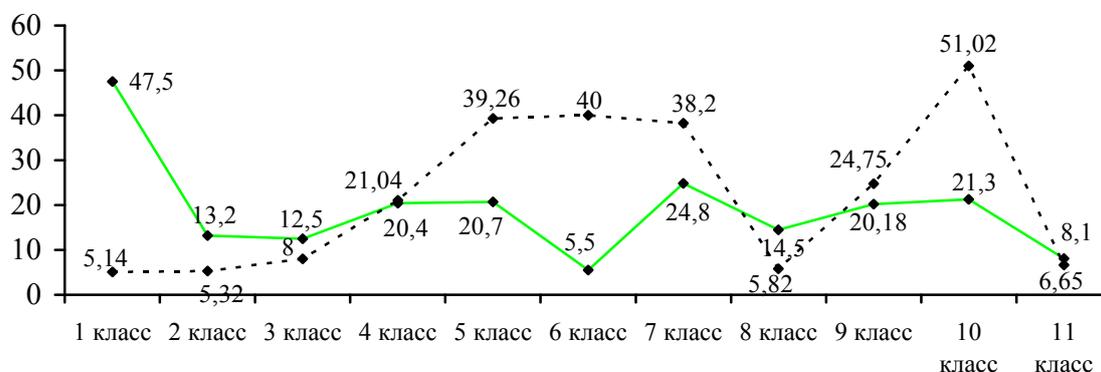


Рис. 4. Межаттракторные расстояния (Z, у.е.) между хаотическими центрами квазиаттракторов параметров сердечнососудистой системы учащихся в 6-мерном фазовом пространстве состояний в зависимости от возраста (класса) и сезона года (сплошная линия – для учащихся МОУ гимназии №4 и МОУ СОШ №4 в осенний период; пунктирная – в зимний период)

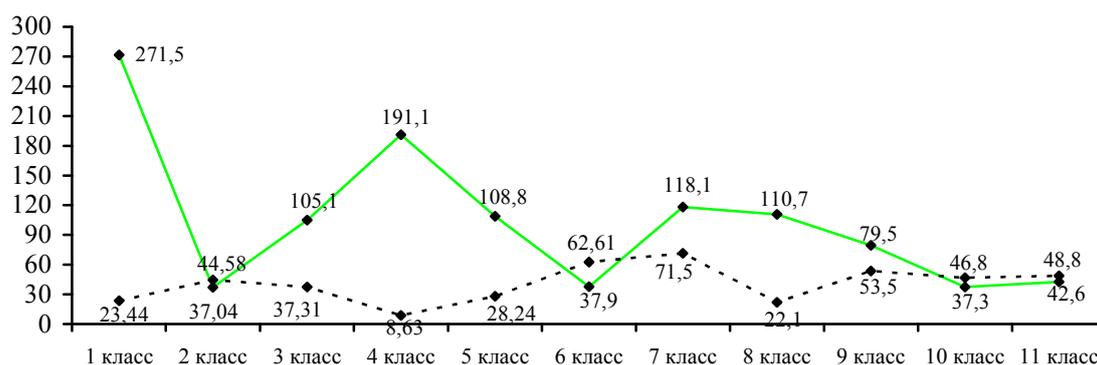


Рис. 5. Межаттракторные расстояния (Z , у.е.) между стохастическими центрами параметров сердечнососудистой системы учащихся в 6-ти мерном фазовом пространстве состояний в зависимости от возраста (класса) и сезона года (сплошная линия – для учащихся МОУ гимназии №4 и МОУ СОШ №4 в осенний период; пунктирная – в зимний период)

Обращает внимание, что в зимний период возрастная динамика Z_{kf} в гипотезе хаотического и стохастического распределения параметров ССС имеет волнообразную зависимость с максимумами у учащихся 5-7 классов (пубертатный период) и у учащихся 10 классов. В зимний сезон (спустя 6 месяцев после начала учебного года) у учащихся 1-3 классов разных типов школ мы наблюдали уменьшение расстояния между центрами хаотических квазиаттракторов параметров ВСР, что свидетельствует об адаптации к учебному процессу, ослаблении функционального напряжения компенсаторных систем, т.е. наступление относительно устойчивой фазы приспособления к системе нагрузок, связанных с обучением.

Таким образом, системный синтез и разработанные нами системные методы изучения параметров ССС организма человека открывают принципиально новые возможности для текущей оценки и прогнозирования динамики функционального состояния организма детей и подростков. Особенно актуально эта проблема стоит именно в нашем Северном крае, где показатели параметров вегетативного статуса учащихся значительно отличаются от таковых у учащихся, проживающих на европейской части территории РФ.

В качестве убедительной иллюстрации вышеприведенных данных мы приводим рис. 6-9, где в графическом виде представлено положение квазиаттракторов параметров ВСР в трехмерном фазовом пространстве (гипотеза равномерного распределения) для учащихся 11-х классов гимназии (рис. 6) и МОУ СОШ № 4 (рис. 7) в осенний сезон.

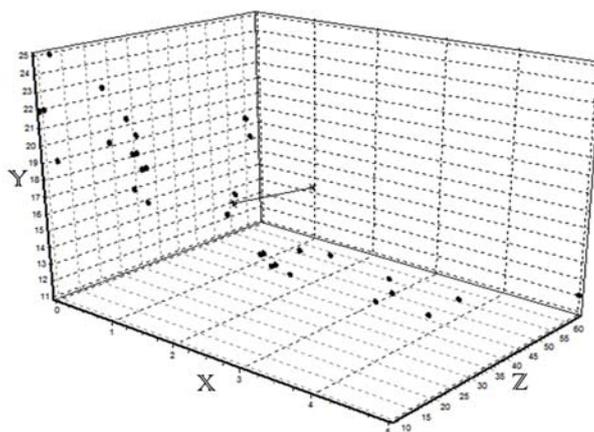


Рис. 6. Объемы квазиаттракторов (V_x , у.е.) вектора состояния организма учащихся 11-х классов гимназии № 4 в осенний период (2007-2008 учебный год) в 3-х мерном фазовом пространстве (X – СИМ; Y – ПАР; Z – ИНБ, у.е.; r_x (генеральная асимметрия) = 9.19%; V_x (объем квазиаттрактора) = $3,85 \cdot 10^3$ у.е.)

Объемы квазиаттракторов составили $3,85 \cdot 10^3$ и $21,54 \cdot 10^3$ соответственно, т.е. у школьников в 4 раза они больше, чем у гимназистов. Аналогичные примеры, но только для зимнего периода учебного года, представлены на рис. 1.5.8 и 1.5.9. Как видно, у гимназистов $V_3 = 9,11 \cdot 10^3$, а у школьников $V_x = 173,37 \cdot 10^3$, т.е. различие в 18 раз. При этом следует напомнить, что максимальные различия по этим

параметрам отмечались между учащимися 1-х классов профильной и непрофильной школ, с учетом того, как отмечалось выше, что у гимназистов адаптация к обучению в школе значительно выше, чем у школьников.

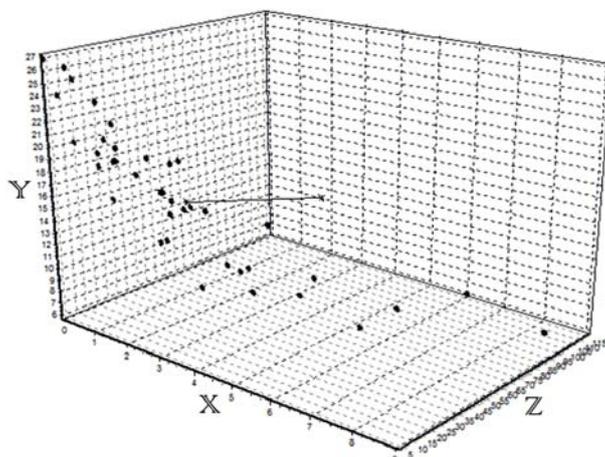


Рис. 7. Объемы квазиаттракторов (V_x , у.е.) вектора состояния организма учащихся 11-х классов СОШ № 4 в осенний период (2007-2008 учебный год) в 3-х мерном фазовом пространстве (X – СИМ; Y – ПАР; Z – ИНБ, у.е.; r_x (генеральная асимметрия)=29.7%; V_x (объем квазиаттрактора)= $21,54 \times 10^3$ у.е.)

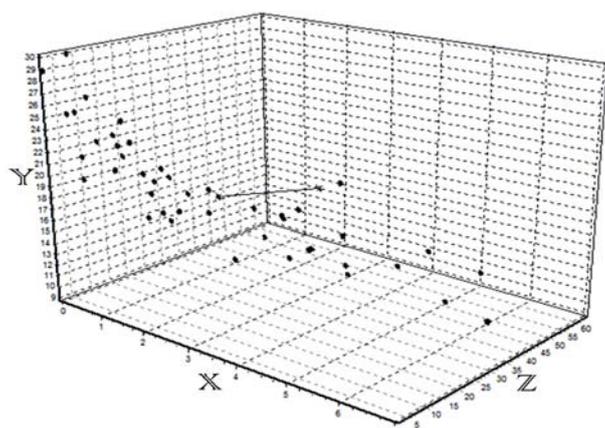


Рис. 8. Объемы квазиаттракторов (V_x , у.е.) вектора состояния организма учащихся 11-х классов гимназии № 4 в зимний период (2007-2008 учебный год) в 3-х мерном фазовом пространстве (X – СИМ; Y – ПАР; Z – ИНБ, у.е.; r_x (генеральная асимметрия) = 7,85%; V_x (объем квазиаттрактора)= $9,11 \times 10^3$ у.е.)

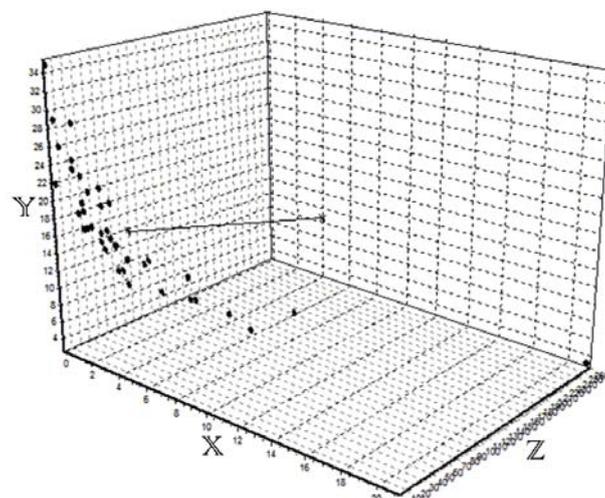


Рис. 9. Объемы квазиаттракторов (V_x , у.е.) вектора состояния организма учащихся 11-х классов СОШ № 4 в зимний период (2007-2008 учебный год) в 3-х мерном фазовом пространстве (X – СИМ; Y – ПАР; Z –

ИНБ, у.е.; r_X (генеральная асимметрия) = 94.01%; V_X (объем квазиаттрактора) = 173, 37×10^3 у.е.)

Таким образом, применение новых биофизических методов в рамках ТХС с использованием компьютерных программ позволяет идентифицировать сезонные изменения параметров variability сердечного ритма и вегетативного статуса учащихся в многомерном фазовом пространстве состояний. Расчет расстояний между центрами хаотических и стохастических квазиаттракторов обеспечивает системное понимание динамики изменений параметров variability сердечного ритма и представление об оптимальной нагрузке учащихся с целью профилактики развития заболеваний, а также для своевременной информации о риске нарушения здоровья, а следовательно своевременной коррекции физической и умственной нагрузок, предъявляемых школой.

Выводы:

1. Метод математического моделирования параметров ВСП учащихся в многомерном фазовом пространстве состояний (в сочетании с традиционными детерминистско-стохастическими методами) обеспечивает получение объективной информации о функциональном состоянии, механизмах нейровегетативной регуляции функций и степени адекватности реакций организма на факторы учебного процесса и условия жизнедеятельности.

2. В регуляции деятельности ССС учащихся Югры, независимо от профиля обучения и сезона года, превалирует активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, что свидетельствует о формировании у них холинергического гомеостаза, который наиболее выражен в препубертатную и пубертатную фазы подросткового возраста.

3. Возрастная динамика квазиаттракторов движения вектора параметров ВСП учащихся общеобразовательных средних школ г. Сургута имеет более выраженный колебательный характер (диапазон объемов от 0,12 до 25,7 у.е.) по сравнению с учащимися гимназии (диапазон объемов от 0,07 до 2,3 у.е.). Это демонстрирует определенную возрастную стабильность состояния сердечнососудистой системы у гимназистов, их более высокие адаптационные возможности.

4. Установлены различия параметров квазиаттракторов поведения вектора состояния организма учащихся двух разных типов школ г. Сургута: учащиеся гимназии демонстрируют меньшие объемы квазиаттракторов и другое их положение в фазовом пространстве сравнительно с параметрами квазиаттракторов учащихся СОШ № 4.

5. Сезонные изменения параметров квазиаттракторов ВСП у школьников МОУ СОШ №4 более выражены, чем у гимназистов. Осенью объемы квазиаттракторов у школьников и гимназистов суммарно различаются почти в 9 раз (65,7 и 6,91 у.е. соответственно). В зимнее время объемы квазиаттракторов у школьников (10,86 у.е.) резко снижаются относительно осенних значений, тогда как у гимназистов остаются практически на том же уровне (5,25 у.е.), что и осенью.

Литература

1. Буров И.В., Майстренко В.И., Филатова Д.Ю. Анализ межаттракторных расстояний параметров variability сердечного ритма учащихся в разные сезоны года. // Материалы Всероссийской научной конференции «Современные проблемы биологических исследований в Западной Сибири и на сопредельных территориях». Сургут, 2011. С.130-133.

2. Ветрова Ю.В., Гуськова-Алексеева О.В., Морозов В.Н., Хадарцев А.А. Неспецифические (синтоксические и кататоксические) механизмы адаптации к длительному воздействию холодового раздражителя // Вестник новых медицинских технологий. 2000. № 3. С. 100.

3. Еськов В.М., Еськов В.В. Компартментный подход в исследованиях регуляторных процессов в сердечно-сосудистой системе жителей севера // Вестник новых медицинских технологий. 2002. Т. 9. № 3. С. 40-41.

4. Еськов В.М., Еськов В.В., Козлова В.В., Филатов М.А. Способ корректировки лечебного или физкультурно-спортивного воздействия на организм человека в фазовом пространстве состояний с помощью матриц расстояний // Патент № 2432895(13) С1 /14 от 10.11.2011.

5. Еськов В.М., Мишина Е.А., Шумилов С.П., Филатова Д.Ю. Оценка параметров психофизиологических функций работников умственного и физического труда с позиции теории хаоса и синергетики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Т. 9. № 1. С. 98-101.

6. Еськов В.М., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Новые методы изучения интервалов устойчивости биологических динамических систем в рамках компартментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий. 2004. № 3. С. 5-6.

7. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатова Д.Ю. Метод системного синтеза на основе расчета межаттракторных расстояний в гипотезе равномерного и неравномерного распределения при изучении эффективности кинезитерапии // Вестник новых медицинских технологий. 2010. Т. 17. № 3. С. 106-110.

8. Исаева Н.М., Субботина Т.И., Хадарцев А.А., Яшин А.А. Код Фибоначчи и «золотое сечение» в

экспериментальной патофизиологии и электромагнитобиологии: Монография / Под ред. Т.И. Субботиной и А.А. Яшина. Москва – Тверь – Тула: ООО «Издательство «Триада», 2007. 136 с. (Серия «Экспериментальная электромагнитобиология», вып. 4)

9. Кидалов В.Н., Хадарцев А.А. Тезиография крови и биологических жидкостей / Под ред. А.А. Хадарцева. Тула: Тульский полиграфист, 2009. 244 с.

10. Кочуров В.Н., Кочурова О.И., Сорокина С.Ю., Филатова Д.Ю. Системный анализ психофизиологических функций учащихся в разные сезоны года // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Т. 16. №1/1. С. 13-14.

11. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Часть IX. Биоинформатика в изучении физиологических функций жителей Югры. // Под ред. В.М. Еськова, А.А. Хадарцева, Самара: Изд-во ООО «Офорт» (гриф РАН), 2011. 173 с.

12. Скупченко В. В., Милюдин Е. С. Фазатонный гомеостаз и врачевание. Самара: СамГМУ, 1994. 256 с.

13. Сорокина С.Ю., Филатов М.А., Хисамова А.В., Филатова Д.Ю. Системный анализ квазиаттракторов параметров вектора состояния психофизиологических функций человека на Севере // Информатика и системы управления. 2009. № 4 (22). С. 15-16.

14. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Дедов В.И., Морозов В.Н., Кидалов В.Н., Наумова Э.М., Валентинов Б.Г., Олейникова М.М., Каменев Л.И., Устинов Ю.А., Квасов Д.В. Адаптогены в медицинских и биологических системах (Теория и практика восстановительной медицины. Том III): Монография / [науч. ред. А.А. Хадарцева и В.М. Еськова]. Тула: ООО РИФ «ИНФРА», 2005. 220 с.

References

1. Burov IV, Maystrenko VI, Filatova DYu. Analiz mezhattrak-tornykh rasstoyaniy parametrov variab-elnosti serdechnogo ritma uchashchikhsya v raznye sezony goda. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Sovremennye problemy biologicheskikh issledovaniy v Zapadnoy Sibiri i na sopredel'nykh territoriyakh». Surgut; 2011. Russian.

2. Vetrova YuV, Gus'kova-Alekseeva OV, Morozov VN, Khadartsev AA. Nespetsificheskie (sintoksicheskie i katatoksicheskie) mekhanizmy adaptatsii k dlitel'nomu vozdeystviyu kholodovogo razdrashitel'ya [Non-specific (syntoxic and catatoxic) mechanisms of an adaptation to a long-term exposure to a chilling irritant]. Vestnik no-vykh meditsinskikh tekhnologiy. 2000;7(3):100. Russian.

3. Es'kov VM, Es'kov VV. Kompartmentnyy podkhod v issledovaniyakh regulatorynykh protsessov v serdechno-sosudistoy sisteme zhiteley severa [A compartmental approach to the investigation of cardio-system regulation according to the northern-russian condition]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2002;9(3):40-1. Russian.

4. Es'kov VM, Es'kov VV, Kozlova VV, Filatov MA, inventors; Sposob korrektyrovki lechebnogo ili fizkul'turno-sportivnogo vozdeystviya na organizm cheloveka v fazovom prostranstve sostoyaniy s pomo-shch'yu matritsy rasstoyaniy. Russian Federation patent RU 2432895(13) S1 /14. 2011. Russian.

5. Es'kov VM, Mishina EA, Shumilov SP, Filatova DYu. Otsenka parametrov psikhofiziologicheskikh funktsiy rabotnikov umstvennogo i fizicheskogo truda s pozitsii teorii khaosa i sinergetiki. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2010;9(1):98-101. Russian.

6. Es'kov VM, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Novye metody izucheniya intervalov ustoychivosti biologicheskikh dinamicheskikh sistem v ramkakh kompartmentno-klaster'nogo podkhoda [New methods of investigation of biological dynamic systems' stability according to compartmental-cluster approach]. Vestnik no-vykh meditsinskikh tekhnologiy. 2004;11(3):5-6. Russian.

7. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova DYu. Metod sistemnogo sinteza na osnove rascheta mezhattrak-tornykh rasstoyaniy v gipoteze ravnomernogo i neravnomernogo raspredeleniya pri izuchenii effektivnosti kineziterapii [Method of system synthesis based on computing in-cluster distances applying hypothesis of uniform and nonuniform distribution in analysis of kinesitherapy efficiency]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(3):106-10. Russian.

8. Isaeva NM, Subbotina TI, Khadartsev AA, Yashin AA. Kod Fibonachchi i «zolotoe sechenie» v eksperimental'noy patofiziologii i elektromagnitobiologii. Moscow – Tver' – Tula: ООО «Izdatel'stvo «Triada»; 2007. Russian.

9. Kidalov VN, Khadartsev AA. Teziografiya krovi i biologicheskikh zhidkostey. Tula: Tul'skiy poligrafist; 2009. Russian.

10. Kochurov VN, Kochurova OI, Sorokina SYu, Filatova DYu. Sistemnyy analiz psikhofiziologicheskikh funktsiy uchashchikhsya v raznye sezony goda [Systemically analysis of the psychophysiological functions of pupils in different seasons]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2009;16(1/1):32-4. Russian.

11. Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii v biologii i meditsine. Chast' IX. Bioinformatika v izuchenii fiziologicheskikh funktsiy zhiteley Yugry. Samara: Izd-vo ООО «Ofort» (grif RAN); 2011. Russian.

12. Skupchenko VV, Milyudin ES. Fazatonnyy gomeostaz i vrachevanie. Samara: SamGMU; 1994. Russian.
13. Sorokina SYu, Filatov MA, Khisamova AV, Filatova DYu. Sistemnyy analiz kvaziatraktorov parametrov vektora sostoyaniya psikhofiziologicheskikh funktsiy cheloveka na Severe. Informatika i sistemy upravleniya. 2009;4(22):15-6. Russian.
14. Khadartsev AA, Es'kov VM, Dedov VI, Morozov VN, Kidalov VN, Naumova EM, Valentinov BG, Oleynikova MM, Kamenev LI, Ustinov YuA, Kvasov DV. Adaptogeny v meditsinskikh i biologicheskikh sistemakh (Teoriya i praktika vosstanovitel'noy meditsiny. Tom III). Tula: OOO RIF «INFRA»; 2005. Russian.