

УДК [612.1:612.68](571.122)

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОЖИТЕЛЬНОСТИ У РОССИЙСКОЙ НАРОДНОСТИ ХАНТЫ ПО ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКЕ ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

© 2014 г. В. В. Еськов, О. Е. Филатова,  
Т. В. Гавриленко, О. И. Химикина

Сургутский государственный университет, г. Сургут

Динамика численности народов ханты и манси в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре создает определенное социальное беспокойство на отдаленную перспективу. Особенно неблагоприятный прогноз идет по продолжительности жизни и кривой смертности мужского населения не только представителей коренных народов Югры, но даже пришлого мужского населения. Более того, бытует мнение, что цивилизация, сделав доступными негативные «блага» (курение, употребление алкоголя, изменение привычного рациона пищи и т. д.), резко усугубила эту негативную картину именно для коренного населения обского Севера России.

Не менее важной проблемой старения коренного населения Югры является биологический потенциал долголетия народов ханты и манси. Иными словами, не приводит ли длительная адаптация к особым северным условиям к изменению общей продолжительности жизни на Севере России? Эта проблема имеет общепроизводное и экологическое значение для жизни всех северных народов мира, а в аспекте возможностей глобального похолодания (как альтернативы глобальному потеплению) эта проблема приобретает и общемировое значение (она актуальна для всего населения Земли). Таким образом, проблема снижения качества жизни коренного населения Севера России за счет урбанизации и проблема возможных генетических изменений под действием особых условий Севера определяют важную общую биомедицинскую проблему долголетия жителей северных территорий России и многих других северных стран мира.

В настоящем сообщении изучаются возрастные аспекты поведения сердечно-сосудистой системы (ССС) коренных народов Севера России с позиций теории хаоса — самоорганизации (ТХС). В частности, рассматриваются возможности использования параметров квазиаттракторов (КА) в поведении компонент вектора состояния ССС в фазовом пространстве состояний (ФПС) для оценки возрастных аспектов поведения ССС.

### Методы

Методами электрокардиографии и вариационной пульсографии было обследовано 192 человека — представителей народа ханты трех возрастных групп: 1-я группа — 20–35 лет; 2-я группа — 35–55 лет; 3-я группа — 55–102 года. Использовались автоматизированные комплексы «Кадивизор» и Элокс-01 М. Для обработки данных применялись традиционные статистические методы и методы ТХС, которые обеспечили расчет параметров КА поведения вектора состояния системы (ВСС) в ФПС. Для этих целей динамика кардиоинтервалов быстрым преобразованием Фурье представлялась в виде амплитудно-частотной развертки и строились фазовые плоскости, где в качестве функции

Методами теории хаоса — самоорганизации и методами классической статистики изучалось поведение вектора состояния сердечно-сосудистой системы человека. Наблюдалась коренные жители Севера Российской Федерации. Методами теории хаоса — самоорганизации показаны различия в параметрах квазиаттракторов для коренных жителей Севера РФ. Произведено сравнение с результатами классической статистики. Показано, что параметры квазиаттракторов сердечно-сосудистой системы человека имеют строгую тенденцию на уменьшение с возрастом, и эта тенденция позволяет выдавать индивидуальный прогноз на долголетие. Резкие колебания экологических факторов среды вызывают расширение квазиаттракторов именно у индивидуумов с неблагоприятным геронтологическим прогнозом. Выраженная симпатотония с возрастом создает благоприятный прогноз на долголетие. **Ключевые слова:** квазиаттрактор, переменность сердечного ритма, вектор состояния системы

$x_1 = x_1(t)$  использовались сами кардиоинтервалы (как функции времени  $t$ ), а вторая фазовая координата  $x_2 = x_2(t) = dx_1 / dt$  являлась скоростью изменения  $x_1(t)$  [4, 5].

**Результаты**

Научная школа Сургутского государственного университета выделяет класс сложных биологических динамических систем (БДС), к которым относятся и все функциональные системы организма (ФСО) человека как системы третьего типа (СТТ) с особыми пятью свойствами и 13 отличиями от обычных систем, изучаемых в традиционном детерминистско-стохастическом подходе. В рамках разрабатываемой нами ТХС [7, 13, 17] такие СТТ имеют компартментно-кластерное строение и особое свойство — мерцание. Это последнее свойство удовлетворяет второму постулату ТХС: конкретное значение ВСС в ФПС не имеет информационного значения (точка в ФПС не дает информации о состояниях БДС). В этом случае необходимо наблюдать ВСС за некоторый период времени  $T$  и определять области в ФПС, в пределах которых ВСС движется в ФПС [14]. Эти области мы определяем как КА, а их параметры имеют информационное значение (их объем  $V_G$  и координаты их центра, а также положение этих КА для группы обследуемых по отношению к другой группе обследуемых) [15, 16].

Таким образом, в ТХС мы можем определять параметры КА как для отдельных испытуемых, так и их групп и сравнивать их хаотическую динамику во времени или в ФПС. Поскольку в рамках ТХС система регуляции кардиоритма на любом отрезке времени  $T_1$  не может повторять динамику кардиосокращений на любом другом отрезке  $T_2$  ( $T_1 = T_2$ ) (любой отрезок, состоящий из кардиоинтервалов невоспроизводим и неповторим в принципе), мы рассматривали кар-

диоритмы как особый хаотический процесс (однако к ним нельзя применять экспоненты Ляпунова и автокорреляционные функции) и для него строили фазовые плоскости с ВСС, которые описывали особенности регуляции кардиоинтервалов  $x = x(t) = (x_1, x_2)^T$ , где  $x_1 = x_1(t)$  параметры кардиоинтервалов как функции времени (получаются в результате анализа электрокардиограмм и пульсографии), а  $x_2 = x_2(t) = dx_1 / dt$  рассчитывает ЭВМ и строит фазовые плоскости с КА, которые имеют вид рис. 1В. В результате анализа КА различных возрастных групп были выявлены особенности хаотической динамики кардиоритма у возрастных групп: 20–35 лет; 35–55 лет; 55–102 года.

*1. Особенности хаотической динамики кардиоритма у первой (20–35 лет) и второй (35–55 лет) возрастных группах*

Многолетние исследования коренного населения северных территорий РФ показали доминирование парасимпатического (ПАР) отдела вегетативной нервной системы над симпатическим (СИМ). На рис. 1 представлены результаты исследования ССС испытуемых из двух групп на основе данных, полученных методом пульсоинтервалографии. Из рис. 1А видно, что ССС испытуемых 1-й и 2-й групп демонстрирует довольно высокую вариабельность, что характерно практически для любого здорового (без явных патологий) человека. Подобная картина справедлива для большинства населения нашей планеты. Необходимо отметить что, у коренного населения ХМАО — Югры у подавляющего большинства (> 80 %) испытуемых 2-й группы на амплитудно-частотной характеристике видно, что амплитуды колебаний на низких частотах доминируют, а разброс частот сокращается. Это свидетельствует о снижении вариабельности сердечного ритма (ВСР) в среднем возрасте. Качественно хаотическую динамику работы ССС представителей

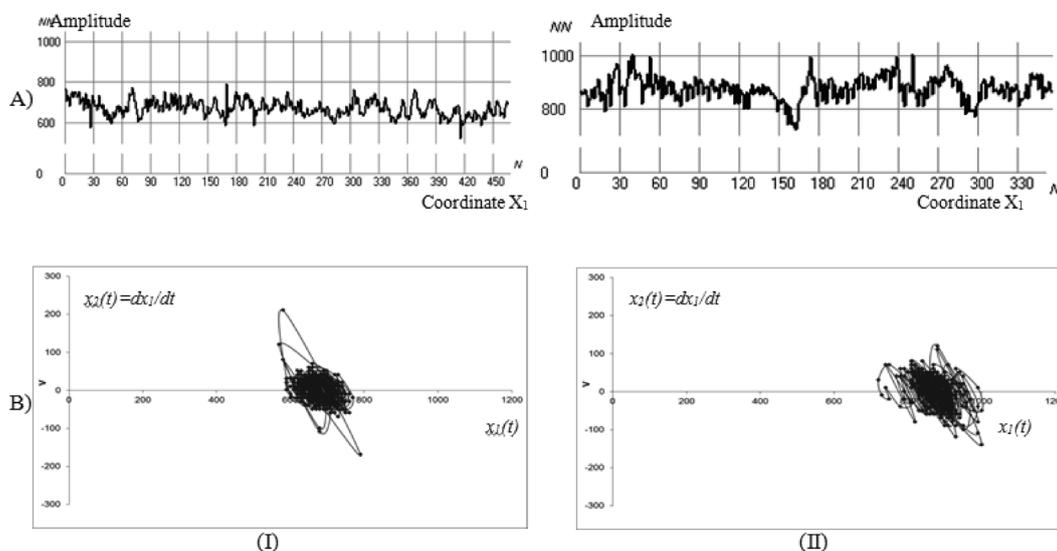


Рис. 1. Зависимость кардиоинтервалов  $x_1 = x_1(t)$  по данным пульсоинтервалографии — А, фазовый портрет сигнала  $x_1$  на плоскости с координатами  $x_1, x_2 = dx_1 / dt$  — В (для испытуемых двух возрастных групп): (I) испытуемая РЗ, возраст на момент обследования 25 лет; (II) испытуемая Е, возраст на момент обследования 48 лет

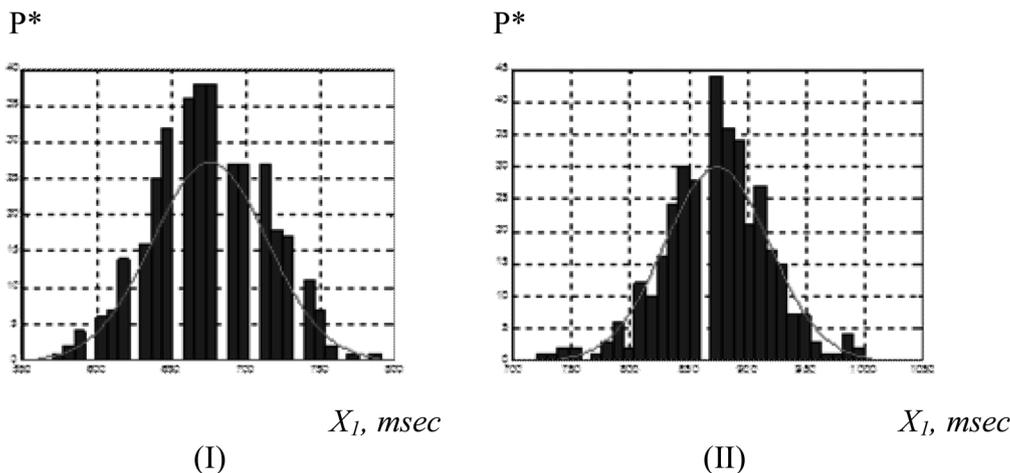


Рис. 2. Распределение значений кардиоинтервалов при расчете энтропии Шеннона: (I) испытуемая R3, возраст на момент обследования 25 лет; (II) испытуемая E, возраст на момент обследования 48 лет

1-й и 2-й групп можно увидеть на фазовой плоскости (рис. 1B) в виде количественных характеристик КА  $V_G$  (значения площадей КА) в табл. 2.

Средние величины параметров всего ВСС (ФПС имеет размерность = 7), характеризующие состояние кардиореспираторной системы, получены для 1-й и 2-й групп испытуемых. Следует обратить внимание на значение индекса напряженности (ИБ) (по Р. М. Бавескому), характеризующего состояние адаптационной реакции организма в целом, для 1-й и 2-й групп испытуемых ИБ обычно не превышает 80 ед.

Для статистической оценки параметров хаоса в регистрируемых сигналах в качестве сравнения с ТХС рассчитывалась энтропия Шеннона. На рис. 2 представлены гистограммы распределений значений кардиоинтервалов, сформированные при расчете значений энтропии (значения энтропии и площади КА см. табл. 2).

Таблица 1

Значения энтропии Шеннона и площадей квазиаттракторов испытуемых из первой и второй возрастных групп

	Испытуемая R3 (25 лет)	Испытуемая E (48 лет)
Площадь КА $V_G$ (y. е.)	83 600	72 800
Энтропия Шеннона $Ssh$	3.4281	3.6892

Из данных табл. 1 видно, что оценки параметров хаоса (и как следствие, ВСП) по Шеннону и в рамках ТХС имеют разные величины. Большому значению площади КА  $V_G$  соответствует меньшее значение энтропии  $Ssh$ .

2. Особенности хаотической динамики кардиоритма у третьей возрастной группы (55–102 года)

Наиболее интересные результаты были полу-

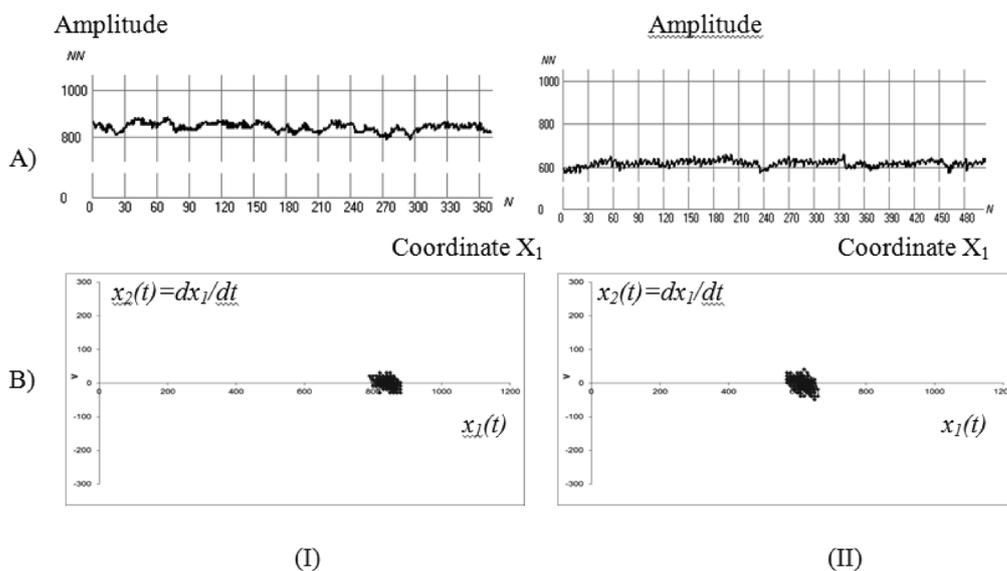


Рис. 3. Зависимость кардиоинтервалов  $x_1 = x_1(t)$  б по данным пульсоинтервалографии – А, фазовый портрет сигнала на плоскости с координатами  $x_1, x_2 = dx_1/dt$  – В, для испытуемых 3-й возрастной группы: (I) испытуемая R1, возраст на момент обследования 102 года; (II) испытуемая R2, возраст на момент обследования 72 года

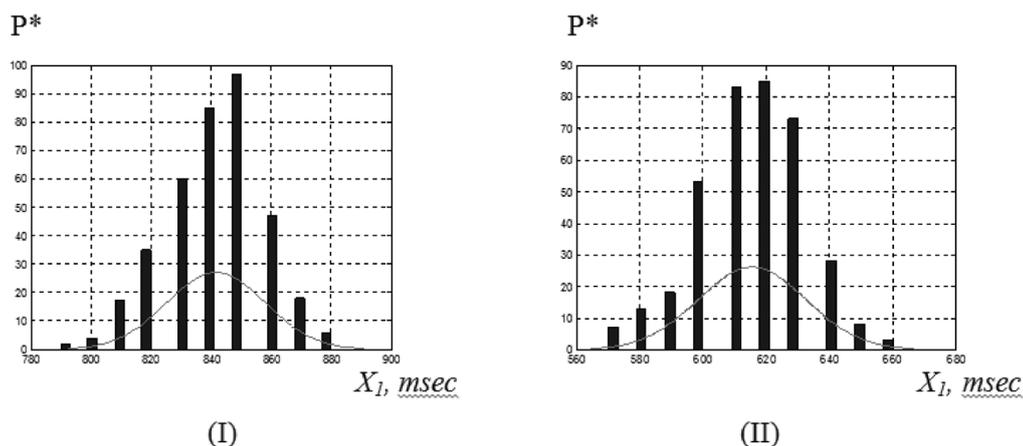


Рис. 4. Распределение значений кардиоинтервалов при расчете энтропии Шеннона для испытуемых 3-й возрастной группы: (I) испытуемая R1, возраст на момент обследования 102 года.; (II) испытуемая R2, возраст на момент обследования 72 года

чены при исследовании 3-й возрастной группы, и особенно представителей коренного населения северных территорий РФ в возрасте от 70 лет и старше. Бытует мнение, что коренное население северных регионов обладает крайне низкой продолжительностью жизни, но при проведении исследования была выявлена достаточно большая группа испытуемых в возрасте от 55 лет и старше, кроме того, обнаружены истинные долгожители > 100 лет [2]. Примеры обработки данных испытуемых из 3-й возрастной группы представлены на рис. 3 (I испытуемая – 102 года; II испытуемая – 72 года). На рис. 1 и 3 видно, что ритмограммы испытуемых 3-й возрастной группы существенно отличаются от ритмограмм испытуемых 1-й и 2-й групп. Но наиболее разительные отличия мы имеем для КА младшей и старшей возрастной групп.

На рис. 3 видно, что ССС испытуемых 3-й группы обладает очень низкой ВСР, что является маркером долгожительства (и не только у народов ханты). Фактически ритмограммы (см. рис. 1А) выстраиваются в порядке убывания, поэтому можно говорить о том, что сердце работает в крайне упорядоченном режиме (временные интервалы между ударами сердца практически одинаковые). Амплитудно-частотные характеристики демонстрируют значения амплитуд сигнала (по сравнению с испытуемыми 1-й и 2-й групп) на всем частотном диапазоне. В некоторых случаях наблюдается проявление высокочастотных составляющих сигнала. Фазовый портрет испытуемых 3-й группы сжимается в точку, что в рамках ТХС свидетельствует о крайне низкой ВСР [3, 10, 11].

Средние величины параметров, характеризующих состояние кардиореспираторной системы в 3-й группе отличаются от таковых в 1-й и 2-й группах, у испытуемых 3-й группы доминирует СИМ, что свидетельствует о высокой напряженности состояния организма, в свою очередь, ИБ также имеет крайне высокое значение, превышающее показатели хорошо физически тренированных людей (80–240 ед.).

Как и для первых двух групп испытуемых, для 3-й группы была рассчитана статистическая оценка – энтропия Шеннона. На рис. 4 представлены гистограммы распределений значений кардиоинтервалов, сформированные при расчете значений энтропии. При одинаковых параметрах расчета энтропии и построения гистограмм наблюдается существенная дискретность распределения кардиоинтервалов. Рассчитанные значения энтропии Шеннона представлены в табл. 1.

Таблица 2  
Значения энтропии Шеннона и площадей квазиаттракторов испытуемых из третьей возрастной группы

	Испытуемая R1 (102 года)	Испытуемая R2 (72 года)
Площадь КА $V_G$ (у. е.)	5 400	8 100
Энтропия Шеннона $S_{sh}$	1.9589	2.0256

Из данных табл. 2 видно, что и статистическая оценка, и оценка в рамках ТХС находятся на очень низком уровне [8, 9]. Это согласуется в полной мере с общей динамикой хаоса (параметров КА) при изменении возрастных изменений состояния кардиореспираторной системы коренных жителей Севера РФ.

### Обсуждение результатов

Исследования хаотической динамики параметров ССС коренного население северных территорий РФ позволяет выдать прогноз на долгожительство. Возникает возможность, во-первых, определить биологический потенциал долгожительства, во-вторых, выявить отличительные особенности параметров ССС коренных жителей и пришлого населения и, в-третьих, выявить механизмы регуляции ФСО человека в неблагоприятных климатических условиях, особенно в свете повышения уровня климатической нестабильности [1, 6, 12].

В результате проведенных исследований показано, что испытуемые в возрасте до 55 лет обладают до-

статочны высокым уровнем ВСР, который характерен для любого человека, находящегося в нормогенезе, и характеризуется большим объемом КА. У всех испытуемых до 55 лет выявлено доминирование ПАР. После 55 лет картина резко меняется, уровень variability на основе оценки методами ТХС сокращается на порядок (в 10 раз и более). Кроме того, показано, что в старшей возрастной группе по параметрам ССС доминируют СИМ и высокие значения ИБ. Необходимо отметить, что дополнительные аппаратные исследования испытуемых 3-й возрастной группы (при условии отсутствия выраженных патологий) демонстрировали показатели, соответствующие показателям здоровых молодых людей. Исследования параметров КА ССС характеризуют состояние здоровья испытуемых в 3-й возрастной группе и являются эффективными в прогнозе долгожительства. Если в молодые годы увеличенные значения объемов КА – норма, то в старшем – это весьма тревожный диагностический признак.

#### Список литературы

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Марачев А. Г. Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1985. 215 с.
2. Агаджанян Н. А. Адаптационная и этническая физиология: продолжительность жизни и здоровья человека. М.: РУДН, 2009. 34 с.
3. Буганов А. А., Лобова В. А. Человек на Севере: психологические аспекты здоровья. Тюмень: Сити-пресс, 2008. 256 с.
4. Гавриленко Т. В., Балтикова А. А., Дегтярев Д. А., Еськов В. В., Пашнин А. С. Хаотическая динамика произвольных движений конечности человека в 4-мерном фазовом пространстве // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2012. № 1. С. 85–93.
5. Газя Г. В., Добрынин Ю. В., Соколова А. А. Матрицы межаттракторных расстояний параметров физиологических функций организма взрослого населения ханты // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 12. С. 26–28.
6. Гудков А. Б., Попова О. Н., Небученных А. А. Новосёлы на Европейском Севере. Физиолого-гигиенические аспекты: монография. Архангельск: Изд-во СГМУ, 2012. 285 с.
7. Еськов В. М., Газя Г. В., Соколова А. А., Васильева А. Ю. Сравнительный анализ стохастических и хаотических матриц квазиаттракторов поведения вектора состояния организма коренного и пришлого населения Югры // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, № 3. С. 586–591.
8. Еськов В. М., Еськов В. В., Добрынин Ю. В., Гришаева Ю. Е. Системный анализ параметров квазиаттракторов кардиореспираторной системы больных, постоянно проживающих в условиях Севера РФ, в стадии обострения хронических заболеваний в зависимости от пола и возраста // Вестник медицинских технологий. 2010. Т. 17, № 1. С. 19–21.
9. Еськов В. М., Берестин К. Н., Лазарев С. Н., Русак С. Н., Полухин В. В. Хаотическая и стохастическая оценка влияния динамики метеофакторов Югры на организм человека // Вестник медицинских технологий. 2009. Т. 16, № 1/1. С. 121–123.
10. Карпин В. А., Гудков А. Б., Катюхин В. Н. Мониторинг заболеваемости коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека. 2003. № 3. С. 3–8.
11. Карпин В. А., Филатова О. Е., Солтыс Т. В., Соколова А. А., Башкатова Ю. В., Гудков А. Б. Сравнительный анализ и синтез показателей сердечно-сосудистой системы у представителей арктического и высокогорного адаптивных типов // Экология человека. 2013. № 7. С. 3–9.
12. Манчук В. Т., Надточий Л. А. Состояние и формирование здоровья коренных малочисленных народов Севера и Сибири. Красноярск, 2008. 179 с.
13. Churchland M. M., Cunningham J. P., Kaufmann M. T. Neural population dynamics during reaching // Nature. 2012. Vol. 487. P. 51–56.
14. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Filatov M. A. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science // Journal of Biomedical Science and Engineering. 2012. Vol. 5, N 10. P. 602–607.
15. Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Filatova O. E., Filatova D. U. Chaotic approach in biomedicine: Individualized medical treatment // J. Biomedical Science and Engineering. 2013. Vol. VI, N 6. P. 847–853.
16. Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Filatova O. E. Quantitative Registration of the Degree of the Voluntariness and Involuntariness (of the Chaos) in Biomedical systems // Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation. 2013. Vol. VI, N 3. P. 67–74.
17. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques. 2011. Vol. 53(12), P. 1404–1410.

#### References

1. Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Marachev A. G. *Patologiya cheloveka na severe* [Human pathology in the North], Moscow, 1985, 215 p.
2. Agadzhanian N. A. *Adaptatsionnaya i etnicheskaya fiziologiya: prodolzhitel'nost' zhizni i zdorov'ya cheloveka* [Adaptation and ethnic physiology: life expectancy and human health]. Moscow, 2009, 34 p.
3. Baganov A. A., Lobova V. A. *Chelovek na Severe: psihologicheskie aspekty zdorov'ya* [Human in the North: psychological aspects of health]. Tyumen, 2008, 256 p.
4. Gavrilenko T. V., Baltikova A. A., Degtyarev D. A., Eskov V. V., Pashnin A. S. Chaotic dynamics of involuntary movement of human limb in 4-dimensional phase space. *Sloshnost'. Razum. Postneklassika* [Complexity. Mind. Postnonclassics]. 2012, 1, pp. 85-93. [in Russian]
5. Gazya G. V., Dobrinina J. V., Sokolova A. A. Matrices of interattractor distances of physiological functions of Khanty adults. *Sovremennye naukoymkie tehnologii* [Modern Scientific Technologies]. 2012, 12, pp. 26-28. [in Russian]
6. Gudkov A. B., Popova O. N., Nebuchennyh A. A. *Novosjoly na Evropejskom Severe. Fiziologo-gigienicheskie aspekty* [Settlers in the European North. Physiological and hygienic aspects]. Arkhangelsk, 2012, 285 p.
7. Eskov V. M., Gazya G. V., Sokolova A. A., Vasilieva A. Yu. Comparative analysis of stochastic and chaotic matrices of quasi-attractors of human body state vector of indigenous people and new comers in Ugra. *Sistemny analiz i upravlenie biomedicinskih sistemah* [The system analysis and control in biomedical systems]. 2012, 11 (3), pp. 586- 591. [in Russian]
8. Eskov V. M., Eskov V. V., Dobrinin Y. V., Grishaeva Y. E. System analysis of quasi-attractor parameters of cardiorespiratory system in patients, living in the North for a long period of time, under the acute condition of chronic disease depending on sex and age. *Vestnik medicinskih*

*tehnologiy* [Medical Technologies Bulletin]. 2010, 17 (1), pp. 19-21. [in Russian]

9. Eskov V. M., Berestin K. N., Lazarev S. N., Rusak S. N., Polukhin V. V. Chaotic and stochastic assessment of impact of meteorological factors on human body in Ugra. *Vestnik medicinskih tehnologiy* [Medical Technologies Bulletin]. 2009, 16 (1/1), pp. 121-123. [in Russian]

10. Karpin V. A., Gudkov A. B., Katyuhin V. N. Monitoring of sickness rate in indigenous people in Ugra. *Ecologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2003, 3, pp. 3-8. [in Russian]

11. Karpin V. A., Filatova O. E., Soltys T. V., Sokolova A. A., Bashkotova J. V., Gubkov A. B. Comparative analysis and synthesis of cardiovascular system values in representatives of arctic and high-mountain adaptive types. *Ecologiya cheloveka* [Human Ecology], 2013, 7, pp. 3-9. [in Russian]

12. Manchuk V. T., Nadtochiy L. A. *Sostoyanie i formirovaniye zdorov'ya korennykh malochislennykh narodov Severa i Sibiri* [State of health in indigenous minorities of the North and Siberia]. Krasnoyarsk, 2008, 179 p.

13. Churchland M. M., Cunningham J. P., Kaufmann M. T. Neural population dynamics during reaching. *Nature*. 2012, 487, pp. 51-56.

14. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Filatov M. A. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science. *Journal of Biomedical Science and Engineering*. 2012, 5 (10), pp. 602-607.

15. Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Filatova O. E., Filatova D. U. Chaotic approach in biomedicine: Individualized medical treatment. *J. Biomedical Science and Engineering*. 2013, VI (6), pp. 847-853.

16. Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Filatova O. E. Quantitative Registration of the Degree of the Voluntariness and Involuntariness (of the Chaos) in Biomedical systems. *Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation*. 2013, VI (3), pp. 67-74.

17. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. *Measurement Techniques*. 2011, 53 (12), pp. 1404-1410.

#### **PREDICTION OF KHANTY PEOPLE LIFE EXPECTANCY ACCORDING TO CHAOTIC DYNAMICS OF THEIR CARDIOVASCULAR SYSTEM PARAMETERS**

**V. V. Eskov, O. E. Filatova, T. V. Gavrilenko, O. I. Khimikova**

*Surgut State University, Russia*

We have studied behavior of the human cardiovascular system vector by applying of methods of the chaos-self organization theory and methods of classical statistics. In the study, we observed Khantys, the indigenous people of Northern Russia. Using the methods of the chaos-self organization theory, we have shown differences in the quasi-attractors' parameters of the human cardiovascular system vector of the Khanty people. We have compared the obtained results with the results calculated with classical statistics.

**Keywords:** quasi-attractor, heart rate variability, system state vector

#### **Контактная информация:**

*Гавриленко Тарас Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»

Адрес: 628412, Тюменская область, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

E-mail: taras.gavrilenko@gmail.com