

DOI: 10.12737/22111

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ХОЛОДОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Д.В. БЕЛОЩЕНКО, Е.В. МАЙСТРЕНКО, Ю.Ю. КОРОЛЕВ, К.П. ЩИПИЦИН

*БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры»,
пр. Ленина, д. 1, г. Сургут, 628400, Россия*

Аннотация. Проблема изучения вклада климатозоологических особенностей территорий в формирование условий среды обитания, ее комфортность, адаптационные возможности организма и здоровье человека в целом является весьма актуальной уже несколько последних десятилетий для северных территорий Российской Федерации. Экологические и антропогенные факторы Севера формируют неблагоприятный фон для функционального состояния организма и связанного с ним здоровья человека. В связи с этим появляется необходимость по-новому рассматривать и прогнозировать на индивидуальном и популяционном уровнях состояние функциональных систем организма человека, проживающего на территории ХМАО – Югры. В данной работе изучается влияние кратковременного локального холодового воздействия на параметры нервно-мышечной системы организма человека, а именно электромиограмм мышцы (отводящей мизинец).

Ключевые слова: электромиограмма, биоэлектрический потенциал мышцы, теория хаоса-самоорганизации, локальное холодовое воздействие.

STOCHASTIC EVALUATION OF NEURO-MUSCULAR SYSTEM PARAMETERS OF HUMAN BODY UNDER LOCAL COLD EXPOSURE

D.V. BELOSHENKO, E.V. MAISTRENKO, YU.YU. KOROLEV, K.P. SHCHIPITSIN

Surgut State University, Lenina pr., 1, Surgut, 628400, Russia

Abstract. The problem of studying territories with specific climate and environment features and their effects on conditions forming the living environment, comfort, adaptation capacity of human body and health in general is a very urgent problem for last decades for the northern territories of Russian Federation. Ecological and anthropogenous factors of the North create an adverse background for a functional condition of humans and related health of the person. In relation to the stated above there is a need in a new way to consider and predict individually and globally status of functional systems of people living in the territory of KhMAO – Yugra. In this work influence of short-term local cold exposure impact on neuromuscular system of human body has been studied by parameters of electromyograms.

Key words: electromyogramm, bioelectric muscle potential, chaos theory and self-organization, local cold exposure.

Введение. Организм, человека постоянно находится в тесной взаимосвязи с состоянием окружающей среды, которая оказывает непосредственное влияние на его регуляторные системы. В условиях Севера человек вынужден прежде всего адаптироваться к холоду, особенно в холодный период года, когда организм жителей Севера

находится в состоянии напряжения, что связано с необходимостью поддерживать температурный гомеостаз на должном уровне [1,2,10,11,17]. В связи с этим, изменения, возникающие в различных системах организма, так или иначе сказываются на деятельности двигательной системы, которая, таким образом, отражает поведение

организма как единого целого.

Исходя из этого вопросы изучения влияния холода на человеческий организм и все его системы в целом остаются актуальными не только для территорий крайнего Севера, но и в целом для любых климатических зон проживания. В данной работе используется стохастический подход и метод анализа нервно-мышечной системы человека при изучении *электромиограмм* (ЭМГ), с позиций теории хаоса-самоорганизации. Исследуются параметры ЭМГ испытуемого в условиях локального охлаждения.

Объект и методы исследования.

Объектом для наблюдения являлся испытуемый – девушка в возрасте 30 лет, проживающая на Севере РФ более 15 лет, которая подвергалась локальному холодовому воздействию по стандартной методике [7,11,18]. Изначально испытуемая находилась в положении сидя с вытянутыми руками вдоль туловища в относительно комфортных условиях при полном отсутствии какой-либо нагрузки на мускулатуру. Испытуемой закреплялись 2 электрода: к мышце (передних пучков дельтовидной правой руки) отводящей мизинец кисти был прикреплен накожный вилочковый электрод с постоянным межэлектродным расстоянием, а к самой кисти (где находится лучезапястный сустав) был прикреплен заземляющий электрод. Находясь в комфортном сидячем положении испытуемой необходимо было сжимать рабочую часть *динамометра* (ДК) мышечной силой 10 *деканьютонов* (даН) кистью правой верхней конечности, вытянутой в горизонтальном положении. В течение 5 секунд по 15 раза записывались показания ЭМГ. Показатели снимались до и после локального холодового воздействия. В режиме биполярного отведения с последующей регистрацией в памяти ЭВМ. Основа исследований – многократное повторение блоков [16,20].

Во всех случаях у испытуемой регистрировались ЭМГ с частотой дискретизации $\mu=0.25$ мс. Записи ЭМГ обрабатывались программным комплексом для формирования вектора $x=(x_1, x_2)^T$, где $x_1=x(t)$ – абсолютное значение *биопотенциалов* мыш-

цы (БПМ) на некотором интервале времени Δt , а x_2 – скорость изменения x_1 , т.е. $x_2=dx_1/dt$. Использовалось двухмерное пространство для расчета квазиаттракторов [4,5,9,19].

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программного пакета «*Statistica 6.1*». Проверка данных на соответствие закону нормального распределения оценивалась на основе вычисления критерия Шапиро-Уилка. Дальнейшие исследования в зависимости от распределения производились методами параметрической и непараметрической статистики (критерий Вилкоксона). Систематизация материала и представленных результатов расчетов выполнялась с применением программного пакета электронных таблиц *Microsoft Excel* [10,12,14].

Результаты и их обсуждение. Статистическая обработка временной развертки сигнала электромиограмм (анализ спектра периодических биомеханических показателей человека) с помощью программы «*Mio Ecg 2*» были получены 20000 значений сокращений мышцы при каждом из многократных повторях до и после локального холодового воздействия. Все эти повторы были направлены на разработку методов индивидуальной медицины в которой необходимо учитывать эффект Еськова-Зинченко [3,13,15].

Для визуальной оценки данных, полученных с электромиографа, строилась временная развертка сигнала (рис. 1-2), которая преобразовывалась дискретизацией сигнала в некоторые числовые ряды. Выбраны первые 500 значений *биоэлектрической активности мышцы* (БАМ) в течении 0,125 сек. При анализе полученных временных рядов по данным электромиографии видно, что получаемый сигнал уникален. Это проявляется в хаотической динамике статистических функций распределения ЭМГ получаемых выборок. Невозможно подряд произвольно получить две одинаковые $f(x)$ ($f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$). Это и есть эффект Еськова-Зинченко [3,13,15,20].

На рис. 1 представлены наиболее типичные, выраженные амплитудные характеристики ЭМГ параметров сокращений

мышцы у испытуемого до и после локального холодого воздействия каждые 0,00025 сек в течении 0,125 сек.

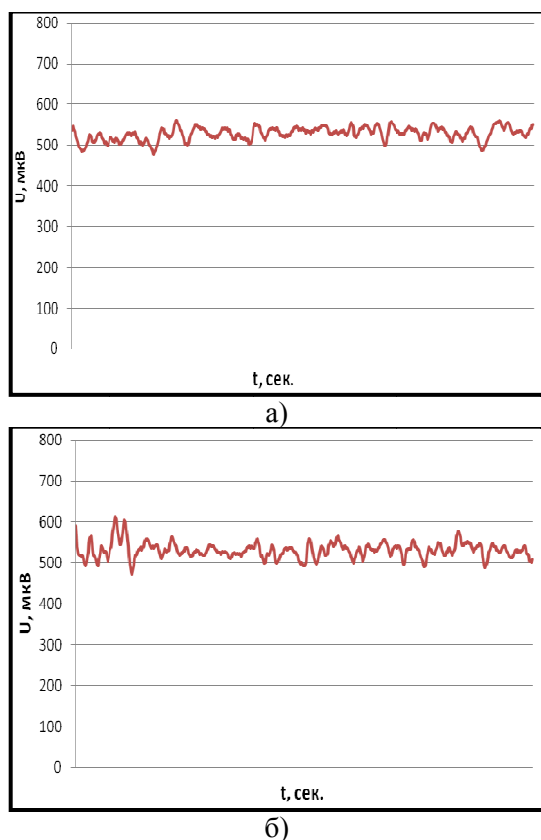


Рис. 1. Динамика параметров электромиограмм: а) до локального холодого воздействия на испытуемого, б) после локального холодого воздействия на испытуемого. Здесь: по оси y – амплитуда напряжения (абсолютное значение биопотенциалов мышцы (мкВ)); по оси x – время (0,125 сек.)

Была отмечена различная динамика параметров ЭМГ при анализе 0,125-ти секундной временной развертки сигнала. Типичный пример представлен на рис.1, который демонстрируют существенную разницу в поведении значений амплитуд параметров ЭМГ во времени – до и после локального холодого воздействия у испытуемого. Наблюдается увеличение амплитуды параметров сокращения мышцы отводящей мизинец кисти правой верхней конечности испытуемого, находящейся в условиях физической нагрузки после локального холодого воздействия. Напряжение мышцы (ЭМГ) до локального холодого воздействия варьирует в районе 472,561 мкВ, после локального холодого воздей-

ствия – 474,613 мкВ, что подтверждается рис. 1.

Была произведена статистическая обработка динамики параметров ЭМГ (анализ 20000 значений сокращений мышцы) у испытуемого до и после локального холодого воздействия. Результаты проверки на нормальность типа распределения параметров ЭМГ по критерию Шапиро-Уилка показали, что значения параметров биоэлектрической активности мышцы имеют непараметрический тип распределения (распределение, отличное от нормального $p < 0,05$) следовательно, значения сокращения мышцы нужно описывать непараметрическими методами статистики [20].

Исходя из этого, для построения динамики значений параметров ЭМГ испытуемого до и после локального холодого воздействия были использованы значения медиан, что представлено на рис. 2.

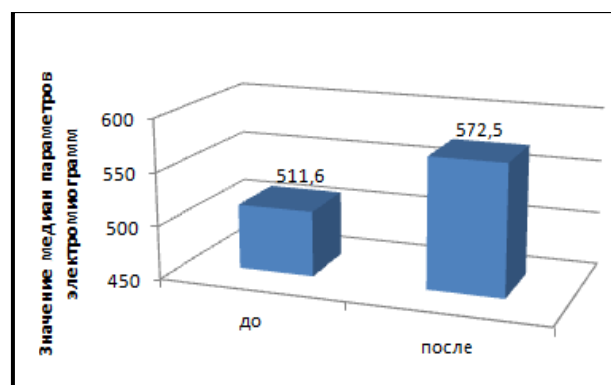


Рис. 2. Динамика значений медиан параметров электромиограмм испытуемого до и после локального холодого воздействия (суперпозиция 20000 значений) при повторных экспериментах

Согласно рис. 2 следует отметить, что у испытуемого при повторных экспериментах после локального холодого воздействия наблюдается увеличение значения медиан параметров ЭМГ на 60,9 у.е. Это увеличение характерно для всего массива, но при разовых измерениях (парные сравнения) мы наблюдаем статистические различия выборок.

Подводя итог выше сказанному, отметим, что любое направленное холодое воздействие изменяет значения параметров электромиограмм НМС человека, о чем свидетельствуют изменения значения ме-

диан сокращений мышцы. Полученный результат статистически значим, о чем говорят результаты табл., из которых видно, что при повторных экспериментах у испытуемого до и после локального холодового воздействия наблюдается достоверное различие по значениям медиан параметров ЭМГ чьи значения ниже критического уровня значимости ($p < 0,05$).

Таблица

Уровни значимости для попарных сравнений значений медиан параметров электромиограмм испытуемого до и после локального холодового воздействия при повторных экспериментах с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (Wilcoxon Signed Ranks Test)

Попарные сравнения медиан параметров ЭМГ	N	T	Z	p-уров.
До – после	15	0,00	3,40	0,00

Примечание: T – сумма положительных и отрицательных рангов; наименьшая из двух сумм (независимо от знака) используется для расчета величины Z , по которой рассчитывается уровень значимости критерия; p – достигнутый уровень значимости при попарном сравнении с помощью критерия Вилкоксона (с измененным критическим уровнем значимости принятым равным $p < 0,05$)

Литература

1. Адайкин В.И., Брагинский М.Я., Еськов В.М., Русак С.Н., Хадарцев А.А., Филатова О.Е. Новый метод идентификации хаотических и стохастических параметров экосреды // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. 13, № 2. С. 39–41.
2. Адайкин В.И., Берестин К.Н., Глушук А.А., Лазарев В.В., Полухин В.В., Русак С.Н., Филатова О.Е. Стохастические и хаотические подходы в оценке влияния метеофакторов на заболеваемость населения на примере ХМАО-Югры // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. 15, № 2. С. 7–9.
3. Веракса А.Н., Горбунов Д.В., Шадрин Г.А., Стрельцова Т.В. Эффект Еськова-Зинченко в оценке параметров теппинга методами теории хаоса-самоорганизации и энтропии // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 17–24.
4. Гавриленко Т.В., Баженова А.Е., Балтикова А.А., Башкатова Ю.В., Майстренко Е.В.

Заключение.

Электромиограммы являются характерным примером хаотической динамики поведения параметров любой сложной биосистемы. Параметры ЭМГ (биоэлектрической активности мышцы), демонстрируют неповторимую динамику, которую невозможно изучать в рамках традиционной науки, т.е. детерменизма или стохастики. Функции распределения у испытуемого непрерывно изменяются при повторных экспериментах, а значит, любые статистические результаты имеют ежесекундный (для ЭМГ) характер изменения (хаотического). Статистический анализ параметров электромиограмм при повторных экспериментах до и после локального холодового воздействия демонстрирует определенную статистическую закономерность: образуются выборки с непараметрическим типом распределения, которые существенно отличаются до и после гипотермического воздействия. ЭМГ у напряженной мышцы до локального холодового воздействия отличается от биоэлектрической активности после локального холодового воздействия. Об этом свидетельствуют полученные статистически достоверные результаты.

References

- Adaykin VI, Braginskiy MY, Es'kov VM, Rusak SN, Khadartsev AA, Filatova OE. Novyy metod identifikatsii khaoticheskikh i stokhasticheskikh parametrov ekosredy. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2006;13(2):39-41. Russian.
- Adaykin VI, Berestin KN, Glushchuk AA, Lazarev BV, Polukhin VV, Rusak CN, Filatova OE. Stokhasticheskie i khaoticheskie podkhody v otsenke vliyaniya meteofaktorov na zabolevaemost' nasele-niya na primere KhMAO-Yugry. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2008;15(2):7-9. Russian.
- Veraksa AN, Gorbunov DV, Shadrin GA, Strel'tsova TV. Effekt Es'kova-Zinchenko v otsenke parametrov teppinga me-todami teorii khaosa-samoorganizatsii i entropii. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:17-24. Russian.
- Gavrilenko TV, Bazhenova AE, Baltikova AA, Bashkatova YV, Maystrenko EV. Metod mnogo-

Метод многомерных фазовых пространств в оценке хаотической динамики тремора // Вестник новых медицинских технологий. 2013. № 1. С. 24–29.

5. Даянова Д.Д., Берестин Д.К., Вохмина Ю.В. Моделирование показателей функциональных систем организма человека на основе двухкластерной трехкомпарментной системы управления // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 4. С. 7–10.
6. Еськов В.М., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Новые методы изучения интервалов устойчивости биологических динамических систем в рамках компарментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий. 2004. Т. 11, № 3. С. 5–6.
7. 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.
8. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Фрактальные закономерности развития человека и человечества на базе смены трёх парадигм // Вестник новых медицинских технологий. 2010. Т. 17, № 4. С. 192–194.
9. Еськов В.М., Еськов В.В., Хадарцев А.А., Филатов М.А., 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.
10. Еськов В.М., Филатов М.А., Буров И.В., Филатова Д.Ю. Возрастная динамика изменений параметров квазиаттракторов психофизиологических функций учащихся школ Югры с профильным и непрофильным обучением // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Т. 9, № 3. С. 599–603.
11. Еськов В.М., Баженова А.Е., Буров И.В., Джалилов М.А. Соотношение между теоремой Бернулли и параметрами квазиаттракторов биосистем // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 3. С. 332.
12. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В., Филатова О.Е. Использование статистических методов и методов многомерных фа-

mernykh fazovykh prostranstv v otsenke khaoticheskoy dinamiki tremora. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2013;1:24-29. Russian.

Dayanova DD, Berestin DK, Vokhmina YV. Modelirovanie pokazateley funk-tsional'nykh sistem organizma cheloveka na osnove dvukhklasternoy trekhkompartmentnoy sistemy upravleniya. Vestnik novykh medi-tsinskikh tekhnologiy. 2014;21(4):7-10. Russian.

Es'kov VM, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Novye metody izucheniya intervalov ustoychivosti biologicheskikh di-namicheskikh sistem v ramkakh kompartmentno-klasterного podkhoda. Vestnik novykh medi-tsinskikh tekhnologiy. 2004;11(3):5-6. Russian.

Es'kov VM, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Problema vybora optimal'nykh matematicheskikh modeley v teorii identifikatsii biologicheskikh dinamicheskikh system. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2004;3(2):150-2. Russian.

Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, Khadartsev AA. Fraktal'nye zakonomernosti razvitiya cheloveka i chelovechestva na baze smeny trekh paradigm. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(4):192-4. Russian.

Es'kov VM, Es'kov VV, Khadartsev AA, Filatov MA, Filatova DY. Metod sistemnogo sinteza na osnove rascheta mezhattraktornykh rasstoyaniy v gipoteze ravnomernogo i neravnomernogo raspredeleniya pri izuchenii effektivnosti kineziterapii. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(3):106-10. Russian.

Es'kov VM, Filatov MA, Burov IV, Filatova DY. Vozrastnaya dinamika izmeneniy parametrov kvaziattraktorov psikhofiziologicheskikh funktsiy uchashchikhsya shkol Yugry s profil'nym i neprofil'nym obucheniem. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2010;9(3):599-603. Russian.

Es'kov VM, Bazhenova AE, Burov IV, Dzhalilov MA. Cootnoshenie mezhd teoremoy Bernulli i parametrami kvaziattraktorov biosistem. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(3):332. Russian.

Es'kov VM, Khadartsev AA, Kozlova VV, Filatova OE. Ispol'zovanie statisticheskikh metodov i metodov mnogomernykh fazovykh prostranstv pri ot-

- зовых пространств при оценке хаотической динамики параметров нервно-мышечной системы человека в условиях акустических воздействий // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 2. С. 6–10.
13. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Поскина Т.Ю. Эффект Н.А. Бернштейна в оценке параметров тремора при различных акустических воздействиях // Национальный психологический журнал. 2015. № 4(20). С. 66–73.
 14. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Литовченко О.Г. Проблема оценки эффективности лечения на основе кинематической характеристики вектора состояния организма // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 1. С. 143–152.
 15. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Еськов В.В. Понятие эволюции Гленсдорфа-Пригожина и проблема гомеостатического регулирования в психофизиологии // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2016. № 1. С. 3–24.
 16. Козлова В.В., Антонова Р.А., Баженова А.Е., Поборский А.Н. Матрицы межаттракторных расстояний в оценке параметров организма человека при физических нагрузках // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. 18, № 2. С. 420.
 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.
 18. Восстановительная медицина: Монография / Под ред. А.А. Хадарцева, С.Н. Гонтарева, В.М. Еськова. Тула: Изд-во ТулГУ – Белгород: ЗАО «Белгородская областная типография», 2010. Т. I. 298 с.
 19. Хадарцев А.А., Несмеянов А.А., Еськов В.М., Кожемов А.А., Фудин Н.А. Принципы тренировки спортсменов на основе теории хаоса и самоорганизации // Теория и практика физической культуры. 2013. № 9. С. 87–93.
 20. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине / Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В. [и др.] // Том XI Системный синтез параметров функций организма жителей Югры на базе нейрокомпьютинга и теории хаоса-самоорганизации в биофизике сложных систем. Самара: Офорт, 2014. 192 с.
- senke khaoticheskoy dinamiki parametrov nervno-myshechnoy sistemy cheloveka v usloviyakh akusticheskikh voz-deystviy. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(2):6-10. Russian.
- Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Poskina TY. Effekt NA. Bernshteyna v otsenke parametrov tremora pri razlichnykh akusticheskikh voz-deystviyakh. Natsional'nyy psikhologicheskiy zhurnal. 2015;4(20):66-73. Russian.
- Es'kov VM, Khadartsev AA, Filatova OE, Khadartseva KA, Litovchenko OG. Problema otsenki effektivnosti lecheniya na osnove kinematoicheskoy kharakteristiki vektora sostoyaniya organizma. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(1):143-52. Russian.
- Zinchenko YP, Es'kov VM, Es'kov VV. Ponyatie evolyutsii Glensdorfa-Prigozhina i problema gomeostaticheskogo regulirovaniya v psikhofiziologii. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14: Psikhologiya. 2016;1:3-24. Russian.
- Kozlova VV, Antonova RA, Bazhenova AE, Poborskiy AN. Matritsy mezhattraktornykh rasstoyaniy v otsenke parametrov organizma cheloveka pri fizicheskikh nagruzkakh. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;18(2):420. Russian.
- Rusak SN, Kozupitsa GS, Filatova OE, Es'kov VV, Shevchenko NG. Dinamika statusa vegetativnoy nervnoy sistemy u uchashchikhsya mladshikh klassov v pogodnykh usloviyakh g. Surguta. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2013;20(4):92-5. Russian.
- Vosstanovitel'naya meditsina: Monografiya / Pod red. A.A. Khadartseva, S.N. Gontareva, V.M. Es'kova. Tula: Izd-vo TulGU – Belgorod: ZAO «Belgorodskaya oblastnaya tipografiya»; 2010. T. I. Russian.
- Khadartsev AA, Nesmeyanov AA, Es'kov VM, Kozhemov AA, Fudin NA. Printsipy trenirovki sportsmenov na osnove teorii khaosa i samoorganizatsii. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2013;9:87-93. Russian.
- Es'kov VM, Khadartsev AA, Kozlova VV, et al. Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii v biologii i meditsine. Tom XI Sistemnyy sintez parametrov funktsiy organizma zhiteley Yugry na baze neyrokomp'yutinga i teorii khaosa-samoorganizatsii v biofizike slozhnykh sistem. Samara: Ofort; 2014. Russian.