

УДК: 519.8

Применение методики корреляционной адаптометрии в спортивных и медико-биологических исследованиях

М. И. Шпитонков

Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Федерального исследовательского центра
«Информатика и управление» Российской академии наук,
Россия, 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, к. 2

E-mail: mixash@bk.ru

Получено 19.11.2016, после доработки — 27.01.2017.

Принято к публикации 03.03.2017.

В работе излагаются подходы к математическому моделированию механизмов, лежащих в основе широко используемых в биологии и медицине методов корреляционной адаптометрии. Построение базируется на конструкциях, лежащих в основе описания структурированных биологических систем. Предполагается, что плотность распределения численности биологической популяции удовлетворяет уравнению Колмогорова–Фоккера–Планка. С использованием данной методики оценивается эффективность лечения больных с ожирением. Все пациенты, в зависимости от степени ожирения и характера сопутствующей патологии, были разделены на три группы. Показано уменьшение веса корреляционного графа, вычисленного на измеренных у пациентов показателях для трех групп пациентов, что характеризует эффективность проведенного лечения для всех исследуемых групп. Данная методика также была использована для оценки напряженности тренировочных нагрузок у гребцов академической гребли трех возрастных групп. Было показано, что с наибольшим напряжением работали спортсмены молодежной группы. Также с использованием методики корреляционной адаптометрии оценивается эффективность заместительной гормональной терапии (ЗГТ) у женщин. Все пациентки, в зависимости от назначенного препарата, были разделены на четыре группы. При стандартном анализе динамики средних величин показателей было показано, что в ходе всего лечения наблюдалась нормализация средних показателей для всех групп пациенток. Однако с использованием методики корреляционной адаптометрии было получено, что в течение первых шести месяцев вес корреляционного графа снижался, а в течение вторых шести месяцев этот вес повышался для всех исследуемых групп. Это свидетельствует о чрезмерной продолжительности годового курса ЗГТ и целесообразности перехода к полугодовому курсу.

Ключевые слова: корреляционная адаптометрия, вес корреляционного графа, больные с ожирением, спортсмены-гребцы, заместительная гормональная терапия

UDC: 519.8

Application of correlation adaptometry technique to sports and biomedical research

M. I. Shpitonkov

Dorodnicyn Computing Centre, Federal Research Center “Computer Science and Control”
of Russian Academy of Sciences,
44, b. 2, Vavilov st., Moscow, 119333, Russia

E-mail: mixash@bk.ru

*Received 19.11.2016, after completion — 27.01.2017.
Accepted for publication 03.03.2017.*

The paper outlines the approaches to mathematical modeling correlation adaptometry techniques widely used in biology and medicine. The analysis is based on models employed in descriptions of structured biological systems. It is assumed that the distribution density of the biological population numbers satisfies the equation of Kolmogorov-Fokker-Planck. Using this technique evaluated the effectiveness of treatment of patients with obesity. All patients depending on the obesity degree and the comorbidity nature were divided into three groups. Shows a decrease in weight of the correlation graph computed from the measured in the patients of the indicators that characterizes the effectiveness of the treatment for all studied groups. This technique was also used to assess the intensity of the training loads in academic rowing three age groups. It was shown that with the highest voltage worked with athletes for youth group. Also, using the technique of correlation adaptometry evaluated the effectiveness of the treatment of hormone replacement therapy in women. All the patients depending on the assigned drug were divided into four groups. In the standard analysis of the dynamics of mean values of indicators, it was shown that in the course of the treatment were observed normalization of the averages for all groups of patients. However, using the technique of correlation adaptometry it was found that during the first six months the weight of the correlation graph was decreasing and during the second six months the weight increased for all study groups. This indicates the excessive length of the annual course of hormone replacement therapy and the practicality of transition to a semiannual rate.

Keywords: correlation adaptometry, the weight of the correlation graph, patients with obesity, athletes-rowers, hormone replacement therapy

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2017, vol. 9, no. 2, pp. 345–354 (Russian).

The work was supported by RFBR. Project code 15-07-06947.

1. Введение

В конце прошлого века исследователи, работающие с медико-биологической информацией, обнаружили эффект изменения уровня корреляций между физиологическими параметрами организмов при возникновении внешнего воздействия на популяцию [Горбань, Манчук, Петушкова, 1987; Светличная, Смирнова, Покидышева, 1997].

Подход к оценке этого воздействия был назван методом корреляционной адаптометрии. Попытка обоснования этого метода, базирующаяся на использовании экстремального принципа Холдейна, нашла свое отражение в работах А. Н. Горбаня и его сотрудников [Горбань, Манчук, Петушкова, 1987; Светличная, Смирнова, Покидышева, 1997; Смирнова, Чеусова, Зайцева, 1995]. Исследования, связанные с практическими применениями данного метода для оценки эффективности лечения некоторых заболеваний, были продолжены рядом авторов [Стрыгина, Дементьев, Усков, Чернышов, 2000; Волошенко, Мансурова, Нефедов, 2002; Васильев, Мальцев, Хрущева, Разжевайкин, Шпитонков, 2007; Разжевайкин, Шпитонков, Герасимов, 2002]. В последнее время методика корреляционной адаптометрии стала использоваться не только в медицине и биологии, но и в экономике и финансах. В этих областях на ее основе, например, предсказывают экономические кризисы [Масаев, Доррер, 2010; Gorban, Smirnova, Tyukina, 2010]. В работе [Разжевайкин, Шпитонков, 2008] на основе методов эволюционной оптимальности была построена и обоснована диффузионная модель корреляционной адаптометрии для n -мерной выпуклой области параметров биологической популяции. В данной работе теоретическое исследование дополняется соответствующими примерами из медицины и спорта.

2. Исследование диффузионной модели со сносом и ее применение к задаче корреляционной адаптометрии

Рассмотрим некую абстрактную популяцию, особи которой могут отличаться друг от друга не только своим местоположением в пространстве, но и значениями некоторых индивидуальных параметров. Считаем, что число этих параметров конечно, они непрерывны и ограничены, так что каждый их набор может быть описан некоторым элементом $x \in \Omega \subset R^n$ (n — число рассматриваемых параметров). При этом ограниченная область Ω (область гомеостаза) считается фиксированной, что соответствует малости рассматриваемых характерных времен по сравнению с временами эволюционных изменений.

Далее, будем считать, что изменения параметров отдельно взятой особи могут быть описаны непрерывным диффузионным марковским процессом. Тогда плотность вероятности локализации особи в окрестности точки области Ω , изменения которой описывается этим процессом, а, следовательно, и плотность распределения численности самой популяции $u(x, t)$ (в условиях большой численности) в обозначенной области пространства параметров будут предполагаться удовлетворяющими уравнению Колмогорова–Фоккера–Планка:

$$\partial_t u = -(\nabla, \vec{b}u) + a\Delta u, \quad (1)$$

здесь $u = u(x, t)$, $a > 0$ — коэффициент диффузии, $\vec{b} \neq 0$ — n -мерный вектор направленного сноса, моделирующий внешнее воздействие, $x = (x_1, \dots, x_n) \in \Omega \subset R^n$, $t \in R_+$, $\nabla = (\partial_{x_1}, \dots, \partial_{x_n})$, $\partial_{x_i} = \partial / \partial x_i$, $\Delta = (\nabla, \nabla)$ — оператор Лапласа по x , (\cdot, \cdot) — скалярное произведение в R^n . Выбор постоянных коэффициентов a и \vec{b} связан с отсутствием априорной необходимости учета какой-либо пространственной неоднородности. Считается, что ограниченная область Ω имеет достаточно гладкую границу $\partial\Omega$, на которой существует единственная точка $s(\vec{b}) \in \partial\Omega$

такая, что вектор внешней нормали к границе в этой точке совпадает как по направлению, так и по знаку с вектором \vec{b} , причем вся область находится по одну сторону от $s(\vec{b})$ по направлению \vec{b} . Будем считать, что ортогональная система координат в R^n выбрана таким образом, что $s(\vec{b})$ находится в ее начале, а $-x_n$ совпадает с направлением вектора \vec{b} , так что $\vec{b} = -b\vec{e}_n$, где $b > 0$, а \vec{e}_n — единичный вектор в направлении x_n . Для граничных условий непроницаемости

$$(bu - a\nabla u, \nu)|_{\partial\Omega} = 0, \quad (2)$$

где ν — вектор внешней нормали к $\partial\Omega$, существует единственное (с точностью до умножения на константу) стационарное решение задачи (1) вида

$$u(x) = v(x_n) = v_0 e^{-\frac{bx_n}{a}}. \quad (3)$$

То, что (3) является решением, проверяется его непосредственной подстановкой в (1), (2), а его единственность следует из знакопостоянства, обеспечивающего принадлежность собственному подпространству, соответствующему максимальному собственному значению оператора L , определяемого правой частью (1) при краевых условиях (2). Этот оператор является самосопряженным неограниченным оператором в гильбертовом пространстве $L_2(\Omega)$ со скалярным произведением $\langle u, v \rangle = \int_{\Omega} e^{-\frac{bx_n}{a}} u(x)v(x)dx$. Его максимальное собственное значение является простым, а соответствующая собственная функция — знакопостоянная как доставляющая максимум форме $\frac{\langle Lu, v \rangle}{\langle u, v \rangle}$.

Отметим также, что стационарность решения (3), означающая также равенство нулю максимального собственного значения оператора L , влечет также устойчивость этого решения с точностью до пропорциональных изменений.

Математической моделью измеряемых в задачах корреляционной адаптометрии величин являются наборы линейных функций

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i x_i, \quad \psi = \sum_{i=1}^n \psi_i x_i \quad (4)$$

с ненулевым набором компонент, а моделью определяющих значимые свойства адаптации статистических характеристик (вес корреляционного графа и т. п.) — их коэффициенты корреляции по распределению (3):

$$K(\varphi, \psi) = \frac{M[(\varphi - M\varphi)(\psi - M\psi)]}{(M[(\varphi - M\varphi)^2]M[(\psi - M\psi)^2])^{1/2}}, \quad (5)$$

где

$$M\varphi(x_1, \dots, x_n) = \frac{\int_{\Omega} \varphi(x)u(x)dx}{\int_{\Omega} u(x)dx} \quad (6)$$

— среднее значение функции $\varphi(x)$ по распределению $u(x)$ в области Ω .

Рассмотрим задачу исследования зависимости выражения (5) от параметров уравнения (1) с учетом (4). В случае общего положения в окрестности точки $s(b)$ граница области $\partial\Omega$ может быть представлена в виде $\partial\Omega = \left\{ x : x_n = \sum_{i=1}^{n-1} a_i x_i^2 + o(x^2) \right\}$, где все $a_i > 0$, $i = 1, \dots, n-1$.

Параболической аппроксимацией области Ω в точке $s(\vec{b})$ будем называть параболическую область вида

$$\Omega_p = \left\{ x : x_n \geq \sum_{i=1}^{n-1} a_i x_i^2 \right\}. \tag{7}$$

Расчеты коэффициентов корреляции (5) для распределения (3) будем проводить для области (7), так что в этом разделе в (6) интегрирование осуществляется по области Ω_p вместо Ω .

Каждой функции φ из (4) сопоставим вектор $\vec{\varphi} = \left(\frac{\varphi_1}{\sqrt{a_1}}, \dots, \frac{\varphi_{n-1}}{\sqrt{a_{n-1}}}, 0 \right)$. Угол между векторами $\vec{\varphi}$ и $\vec{\psi}$ будем обозначать как $\angle \vec{\varphi} \vec{\psi}$.

Для параболической области (7) и функций из (4) справедлива

Теорема 1.

1. При $b \rightarrow \infty$ и $\vec{\varphi} \neq 0$, $\vec{\psi} \neq 0$ $K(\varphi, \psi) \rightarrow \cos(\angle \vec{\varphi} \vec{\psi})$.
2. При $b \rightarrow 0$ и $\varphi_n \psi_n \neq 0$ $K(\varphi, \psi) \rightarrow \text{sign}(\varphi_n \psi_n)$.

Обычно критерий интенсивности адаптации популяции к внешним воздействиям рассчитывается путем введения оценки связности анализируемых параметров при помощи веса корреляционного графа G . Это следующая величина: $G = \sum_{i < j, i, j=1}^n |r_{i,j}|$, где $r_{i,j}$ — коэффициент корреляции между i -м и j -м параметрами.

3. Спортивный пример

Данный метод был использован для оценки напряженности тренировочных нагрузок у гребцов академической гребли трех возрастных групп (юноши, молодежь, взрослые). В исследование было включено 63 спортсмена. У этих групп исследовались следующие показатели: процент мышечной массы, процент жировой массы, мощность порога анаэробного обмена (вт и вт/кг), максимальное потребление кислорода (л/мин и мл/мин/кг) и максимальная мощность (вт и вт/кг). Были вычислены веса корреляционных графов для этих групп спортсменов. Анализ данных показал, что с наибольшим напряжением работали спортсмены второй (молодежь) группы (у них больший вес корреляционного графа). Меньшее напряжение у спортсменов третьей (взрослые) группы, т. е. спортсмены третьей группы (наиболее возрастные и квалифицированные) более легко переносят предложенные нагрузки. Спортсмены первой группы (юноши) занимают промежуточное положение.

Таким образом, использование методики корреляционной адаптометрии в спортивных исследованиях является достаточно перспективным направлением. С его помощью возможно оценить эффективность тренировочных нагрузок для данной группы спортсменов, а также, исследуя временную динамику этого показателя, можно контролировать состояние перетренированности исследуемой группы.



Рис. 1. Динамика веса корреляционного графа в трех возрастных группах

4. Оценка эффективности лечения больных ожирением

В исследование было включено 235 больных в возрасте от 34 до 79 лет, страдающих ожирением 1–3 степени. Все пациенты, в зависимости от степени ожирения и характера сопутствующей патологии, были разделены на 3 группы. В первую группу исследования вошли больные ожирением 1 степени. Вторую группу составили пациенты, страдающие ожирением 2–3 степени в сочетании с функциональными нарушениями различных органов и систем организма (дискинетические расстройства органов пищеварительной системы, гипертоническая болезнь 1 степени, астенический синдром). В третью группу вошли больные, у которых на фоне ожирения 2 и 3 степени констатировались органические поражения (язвенная болезнь, гипертоническая болезнь 3 степени, состояние после инфаркта, инсульта и т. д.). Все пациенты в течение 60 дней получали традиционный курс лечения, направленный на снижение массы тела и коррекцию метаболических и органных нарушений. Лечение пациентов первой группы ограничивалось только диетотерапией, второй группы — с дополнительным назначением статиновых препаратов (крестор), третьей группы — с дополнительным включением патогенетической медикаментозной терапии.

В исследование были включены следующие показатели: индекс массы тела, жировая масса, тощая масса, общая вода, общий холестерин, холестерин высокой плотности, холестерин низкой плотности, креатинин, триглицериды.

Таблица 1. Вес корреляционного графа

	До лечения	После лечения
Группа 1	8.24	7.33
Группа 2	10.74	8.09
Группа 3	13.41	11.72

Анализ данных в таблице показывает, что вес корреляционного графа G монотонно увеличивается от группы 1 к группе 3, то есть от более легких больных к более тяжелым. Аналогичная картина наблюдается у больных до и после лечения. Уровень значимости оценок коэффициентов корреляции был задан равным 0.05. На фоне проведенной диетотерапии величина G после лечения становится меньше, чем до лечения, причем это наблюдается для всех трех групп больных. При этом различия между группами несколько сглаживаются.

5. Оценка эффективности лечения заместительной гормональной терапии

В настоящее время для описания выраженности патологического состояния чаще всего используют отклонение средних (или иных, связанных с ней, таких как медиана) величин показателей от нормы, а для проверки эффективности лечения — динамику этих показателей. Если в процессе лечения показатели приближаются к «норме», то лечение считается эффективным. При сравнительной оценке эффективности разных методов лечения более эффективным считают те, при которых этот эффект более выражен. Однако во многих случаях в процессе лечения больной не столько вылечивается, сколько переводится из одного патологического состояния в другое. Сравнить же степень выраженности разных патологических состояний при помощи сравнения отклонений показателей от нормы при помощи этого подхода нельзя, так как разные патологические состояния проявляются в разной степени выраженности отклонений разных показателей.

Поэтому для оценки эффективности лечения заместительной гормональной терапии (ЗГТ) у женщин в постменопаузе, с циркулирующей волчаночной антикоагулянт без клинических проявлений антифосфолипидного синдрома, нами был применен метод корреляционной адаптометрии. Необходимость этого была обусловлена тем, что в последние годы многоцентровые исследования указали на повышенный риск ряда ятрогенных эффектов ЗГТ, отсутствие первичной и вторичной профилактики сердечно-сосудистых заболеваний на фоне длительной ЗГТ. В связи с этим все более активно обсуждается вопрос об обоснованности повсеместного назначения и определении длительности приема ЗГТ.

В рассматриваемом исследовании были использованы данные 125 женщин, получавших в течение года различные препараты ЗГТ. Основную группу женщин мы разделили на четыре клинические группы: первая группа состояла из 21 человек, принимавших терапию эстрогенами, препарат «Эстрофем»; во второй группе — 20 человек, они принимали препарат «Клиогест»; третья группа — 25 женщин, которые принимали препарат «Климодиен». 31 пациентка четвертой группы принимала препарат «Фемостон 1/5». В группу сравнения вошли 28 относительно здоровых женщин в постменопаузе длительностью 2 и более года, не имеющих циркуляцию ВА и не принимающих препараты ЗГТ.

У пациенток в течение года (с интервалом в 3 месяца) контролировались следующие параметры: индекс массы тела (ИМТ), модифицированный менопаузальный индекс (ММИ), общий холестерин, ферменты печени АСТ и АЛТ, показатели гемостазиограммы (проба с ядом гадюки для определения циркуляции волчаночной антикоагулянта (ВА), показатели тромбоэластографии (ТЭГ)).

При стандартном анализе динамики средних величин показателей было получено, что в ходе лечения наблюдалась нормализация средних показателей. Наиболее выраженные позитивные эффекты наблюдались в первые 6 месяцев лечения, за вторые 6 месяцев лечения улучшение было выражено меньше или отсутствовало (рис. 2).

При анализе динамики коэффициентов корреляции была получена другая картина (рис. 3).

Таким образом, выраженность корреляционных связей в течение первых 6 месяцев в целом снижалась, в то время как в течение вторых 6 месяцев повышалась и в результате достигла величин, больших исходного уровня. Это свидетельствует о чрезмерной продолжительности годового курса ЗГТ для рассматриваемой группы и целесообразности перехода к полугодовому курсу, так как в первые полгода лечения наблюдалась выраженная динамика нормализации средних величин показателей и снижения выраженности корреляционных связей, а во вторые полгода лечения положительная динамика в средних показателях была мало выражена, а веса корреляционного графа росла.

В группе сравнения, не получавшей ЗГТ, нормализация средних показателей была выражена в значительно меньшей степени, однако вес корреляционного графа по окончании лече-

ния не превысил исходный уровень. В этой группе лечение в основном сводилось к коррекции образа жизни, и полученная динамика соответствует схеме лечения с маловыраженным положительным эффектом, но без отрицательных побочных явлений.

Используемый метод также позволил сравнить клиническую эффективность разных лекарственных средств, используемых при ЗГТ.

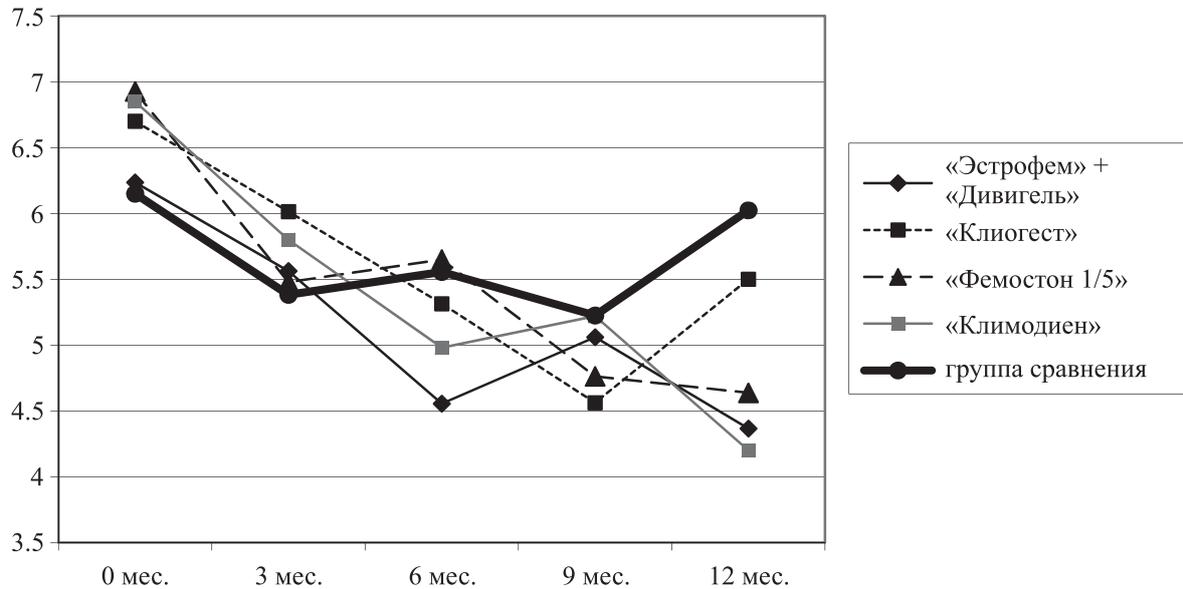


Рис. 2. Динамика уровня общего холестерина в трех клинических группах на фоне ЗГТ и в группе сравнения (в норме до 5.7 ед.)

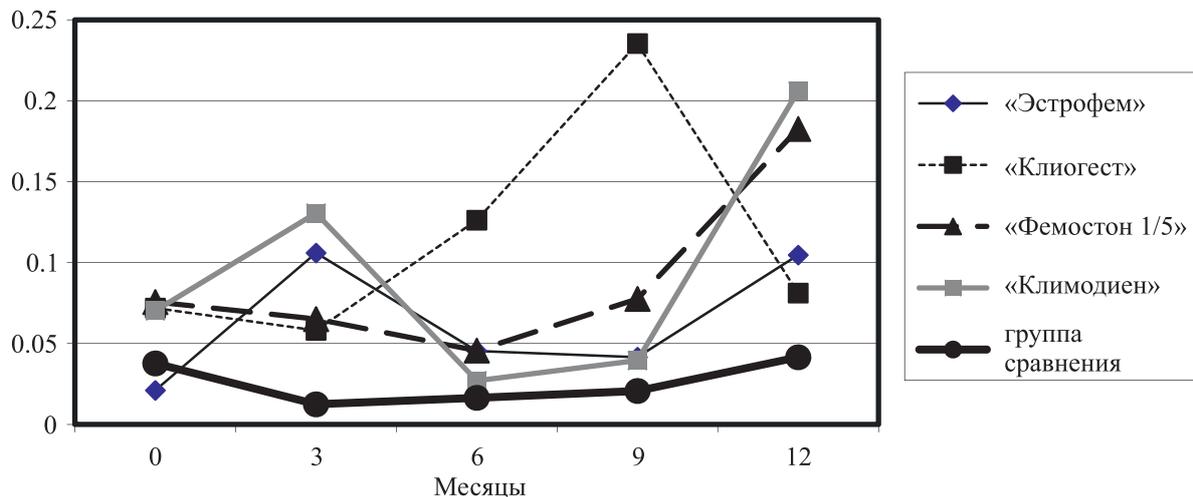


Рис. 3. Динамика нормированного веса корреляционного графа в трех клинических группах на фоне ЗГТ и в группе сравнения

Список литературы (References)

- Васильев А. В., Мальцев Г. Ю., Хрущева Ю. В., Разжевайкин В. Н., Шпитонков М. И.* Применение метода корреляционной адаптометрии для оценки эффективности лечения больных ожирением // Вопросы питания. — 2007. — Т. 76, № 2. — С. 36–38.
Vasil'ev A. V., Mal'tsev G. Yu., Khrushcheva Yu. V., Razhevajkin V. N., Shpitionkov M. I. Primenenie metoda korrelyatsionnoj adaptometrii dlya otsenki effektivnosti lecheniya bol'nykh ozhireniem [Application of correlation adaptometry technique to assess the effectiveness of treatment of patients with obesity] // The nutrition issues. — 2007. — Vol. 76, no. 2. — P. 36–38 (in Russian).
- Горбань А. Н., Манчук В. Е., Петушкова Е. В.* Динамика корреляций между физиологическими параметрами и эколого-эволюционный принцип полифакториальности // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. — Т. 10. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — С. 187–198.
Gorban' A. N., Manchuk V. E., Petushkova E. V. Dinamika korrelyatsij mezhdru fiziologicheskimi parametrami i ekologo-evolucionnyj printsip polifaktorial'nosti [Dynamics of correlations between physiological parameters and ecological-evolutionary principle of polyfactorial] // Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovanie ekosistem [Ecological monitoring problems and ecosystems modeling]. — Vol. 10. — Leningrad: Gydrometeoizdat, 1987. — P. 187–198 (in Russian).
- Масаев С. Н., Доррер М. Г.* Оценка системы управления компанией на основе метода адаптивной корреляции к внешней среде // Проблемы Управления. — 2010. — № 3. — С. 45–50.
Masaev S. N., Dorrer M. G. Otsenka sistemy upravleniya kompaniej na osnove metoda adaptastionnoj korrelyatsii k vneshnej srede [Assessment of the company's management system based on the method of adaptive correlation to the environment] // Control Problems. — 2010. — No. 3. — P. 45–50 (in Russian).
- Пругов П. В., Волошенко Е. В., Мансурова Т. П., Неведов В. П.* Оценка эффективности использования клофелина с помощью метода корреляционной адаптометрии // Труды VIII Всероссийского съезда анестезиологов-реаниматологов, 11–15 сентября 2002 г., Омск. — С. 43–48.
Prugov P. V., Boloshenko E. V., Mansurova T. P., Nefedov V. P. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya klofelina s pomoshch'yu metoda korrelyatsionnoj adaptometrii [Evaluation of effectiveness to use of clonidine by the correlation adaptometry technique] // Trudy VIII Vserossijskogo s'ezda anesteziologov-reanimatologov [Proc. of the VIII all-Russian Congress of anaesthesiologists]. — Omsk, 2002. — P. 43–48 (in Russian).
- Разжевайкин В. Н., Шпитонков М. И.* Корреляционная адаптометрия. Модели и приложения к биомедицинским системам // Математическое моделирование. — 2008. — Т. 20, № 8. — С. 13–27.
Razhevajkin V. N., Shpitionkov M. I. Korrelyatsionnaya adaptometriya. Modeli i prilozheniya k biomeditsinskim sistemam [Correlation adaptometry. Models and applications to biomedical systems] // Mathematical modeling. — 2008. — Vol. 20, no. 8. — P. 13–27 (in Russian).
- Разжевайкин В. Н., Шпитонков М. И., Герасимов А. Н.* Применение метода корреляционной адаптометрии в медико-биологических задачах // Исследование операций (модели, системы, решения). — М.: ВЦ РАН, 2002. — С. 51–55.
Razhevajkin V. N., Shpitionkov M. I., Gerasimov A. N. Primenenie metoda korrelyatsionnoj adaptometrii v medicobiologicheskikh zadachakh [Application of the correlation adaptometry technique to biomedical tasks] // Trudy CCRAS Issledovanie operatsij (modeli, sistemy, resheniya) [Operations research (models, systems, solutions)]. — 2002. — P. 51–55 (in Russian).
- Светличная Г. Н., Смирнова Е. В., Покидышева Л. И.* Корреляционная адаптометрия как метод оценки кардиоваскулярного и респираторного взаимодействия // Физиология человека. — 1997. — Т. 23, № 3. — С. 58–62.
Svelichhaya G. N., Smirnova E. V., Pokidysheva L. I. Korrelyatsionnaya adaptometriya kak metod otsenki kardiovaskulyarnogo i respiratornogo vzaimodejstviya [Correlation adaptometry as a method of evaluating cardiovascular and respiratory interaction] // Human physiology. — 1997. — Vol. 23, no. 3. — P. 58–62 (in Russian).
- Смирнова Е. В., Чеусова Е. П., Зайцева О. И.* Оценка эффективности проводимой терапии методом корреляционной адаптометрии // Тез. докл. II научно-практической конференции «Проблемы информатизации города», 1995 г. — Красноярск, 1995. — С. 106–108.

Smirnova E. V., Cheusova E. P., Zajtseva O. I. Otsenka effektivnosti provodimoj terapii metodom korrelyatsionnoj adaptometrii [Evaluation of the therapy effectiveness by the correlation adaptometry technique] // Trudy II Nauchno-practicheskoy konferentsii "Problemy informatizatsii goroda" [Proc. 2th scientific-practical conference "Problems of the city informatization"]. — Krasnoyarsk, 1995. — P. 106–108 (in Russian).

Стрыгина С. О., Дементьев С. Н., Усков В. М., Чернышов Г. И. Динамика системы корреляционных взаимодействий между физиологическими параметрами больных инфарктом миокарда // Труды конференции «Математика, компьютер, образование (МКО)», 24–29 января 2000 г. — Дубна, 2000. — Вып. 7. — С. 685–689.

Strygina S. O., Dement'ev S. N., Uskov V. M., Chernyshov G. I. Dinamika sistemy korrelyatsionnykh vzaimodejstvij mezhdur fiziologicheskimi parametrami bol'nykh infarktomy miokarda [The dynamics of the system correlation interactions between physiological parameters of patients with myocardial infarction] // Trudy konferentsii "Matematika, komp'yuter, obrazovanie" [Proc. conference "Mathematics, computer, education"]. — Dubna, 2000. — Issue 7. — P. 685–689 (in Russian).

Gorban A. N., Smirnova E. V., Tyukina T. A. Correlations, Risk and Crisis: from Physiology to Finance // Physica A. — 2010. — Vol. 389, issue 16. — P. 3193–3217.